

ABB drives

Libro de Guías Técnicas de Accionamientos de CA

Power and productivity
for a better world™



ABB drives - Libro de Guías Técnicas de Accionamientos de CA

© Copyright 2014 ABB. Todos los derechos reservados.

Las especificaciones pueden cambiar sin previo aviso.

3AFE64546376 REV H ES 9.9.2014

Índice

1. La guía **Control Directo del Par** explica qué es el DTC; por qué y cómo ha evolucionado; la teoría básica que respalda su éxito; y las características y ventajas de esta nueva tecnología.

1

2. La guía **Directivas del Consejo de la UE y Sistemas de Accionamiento de Potencia Eléctrica de Velocidad Ajustable** proporciona una explicación clara de la relación existente entre las diversas Directivas del Consejo de la UE y los Sistemas de Accionamiento de Potencia.

2

3. La guía **Instalación Compatible con la EMC y Configuración de un Sistema de Accionamiento** de Potencia asiste al personal encargado del diseño y la instalación en el momento de verificar que se cumplen los requisitos de la Directiva EMC en los sistemas e instalaciones del usuario al emplear accionamientos de CA.

3

4. La **Guía de Accionamientos de Velocidad Variable** describe los fundamentos de distintos accionamientos de velocidad variable (VSD) y cómo se emplean en procesos industriales.

4

5. La guía **Corrientes de los Cojinetes en Sistemas de Accionamiento de CA Modernos** explica cómo evitar daños.

5

6. La **Guía de los Armónicos con Accionamientos de CA** describe la distorsión por armónicos, sus orígenes y efecto y, asimismo, el cálculo y evaluación de la distorsión con especial atención a los métodos para reducir los armónicos con accionamientos de CA.

6

7. **Dimensionado de un Sistema de Accionamiento.** La realización de un correcto dimensionado es el modo más rápido de ahorrar dinero. Es posible incrementar el ahorro en gran medida si se evita cometer los errores más básicos. En esta guía se detallan los fundamentos y los aspectos más avanzados relativos al dimensionado.

7

8. La guía **Frenado Eléctrico** describe las soluciones prácticas para la reducción de la energía almacenada y para usar de nuevo la energía almacenada como energía eléctrica.

8

9. La **Guía de tecnología para el control de movimiento** da un vistazo general sobre los accionamientos de altas prestaciones y el control del movimiento.

9

10. La guía **Seguridad funcional** nos introduce en la Directiva de Máquinas y los estándares que deben tomarse en consideración cuando se diseña una máquina para garantizar su seguridad operacional.

10

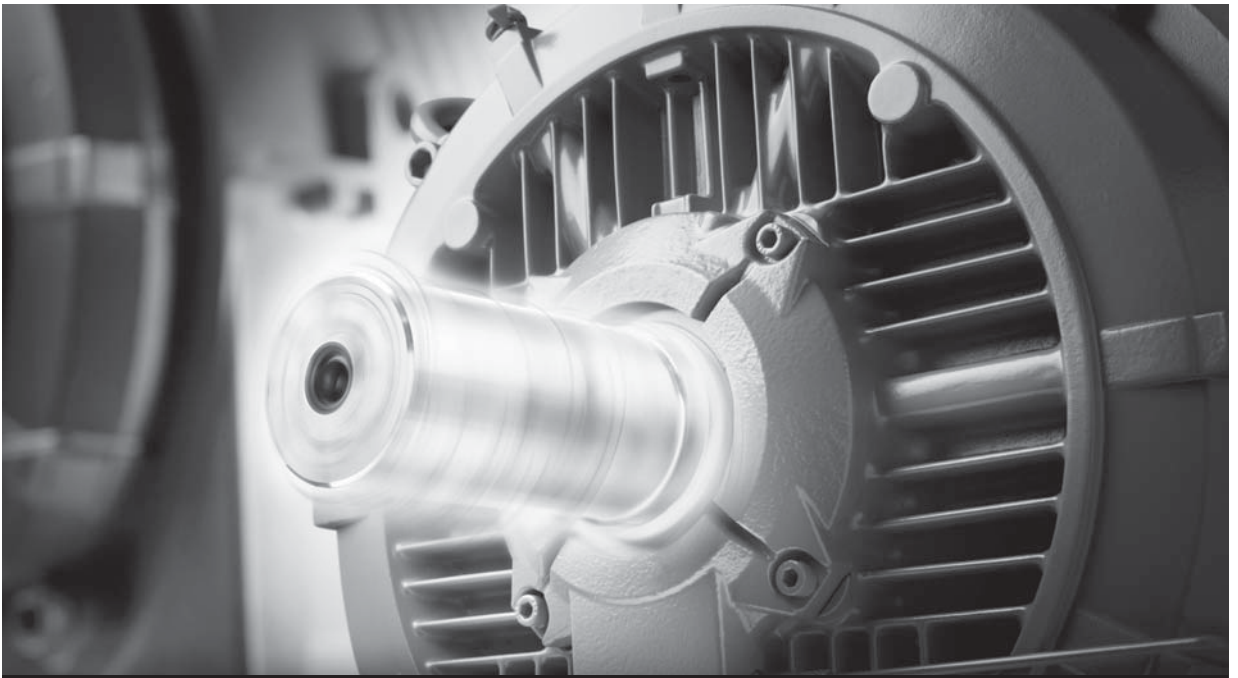


ABB drives

Guía técnica nº 1 Control Directo del Par - La tecnología de accionamiento de CA más avanzada del mundo

Guía técnica nº 1

Control Directo del Par -

La tecnología de accionamiento de CA más avanzada del mundo

1

Contenido

1	Introducción	7
	General	7
	Propósito de este manual	7
	Cómo utilizar esta guía	7
2	Evolución del Control Directo del Par	8
	¿Qué es un accionamiento de velocidad variable?	8
	Resumen	8
	Accionamientos de motor CC	9
	Características.....	9
	Ventajas	9
	Inconvenientes	10
	Accionamientos de CA - Introducción.....	10
	Accionamientos de CA - Control de frecuencia con PWM.....	11
	Características.....	11
	Ventajas	12
	Inconvenientes	12
	Accionamientos de CA - Control de vector de flujo mediante PWM.....	12
	Características.....	12
	Ventajas	13
	Inconvenientes	13
	Accionamientos de CA - Control Directo del Par	14
	Variables de control	14
	Comparación de accionamientos de velocidad variable	15
3	Preguntas y respuestas.....	17
	General.....	17
	Rendimiento.....	18
	Funcionamiento.....	24
4	Teoría de control básico.....	28
	¿Cómo funciona el DTC?	28
	Bucle de control del par.....	29
	Paso 1 Medición de la tensión y la corriente.....	29
	Paso 2 Modelo de Motor adaptable.....	29
	Paso 3 Comparador de par y comparador de flujo	30
	Paso 4 Selector de pulsos óptimos.....	30
	Control de la velocidad	31
	Paso 5 Regulador de la referencia del par	31
	Paso 6 Regulador de la velocidad.....	31
	Paso 7 Regulador de la referencia de flujo.....	31
5	Índice	32

Capítulo 1 - Introducción

General

1

El Control Directo del Par - o DTC - es la tecnología de accionamiento de CA más desarrollada de las que se fabrican en el mundo.

Propósito de este manual

El objetivo de la presente Guía Técnica es explicar qué es el DTC; por qué y cómo ha evolucionado; la teoría básica que se esconde detrás de su éxito y las características y ventajas de esta nueva tecnología.

Aunque pretende ser lo más práctica posible, esta guía requiere una comprensión básica de los principios de control del motor de CA.

La guía está dirigida a los responsables de la toma de decisiones, incluidos los ingenieros, redactores de especificaciones, directores comerciales, fabricantes de equipos originales y usuarios finales de todos los sectores, como el del agua, el químico, el de la pulpa y el papel, el de la generación de energía, el del tratamiento de materiales y el del aire acondicionado, entre otros.

De hecho, cualquier persona que utilice accionamientos de velocidad variable (VSD) y desee aprovechar las ventajas de la tecnología VSD comprobará que esta Guía Técnica constituye una lectura fundamental.

Cómo utilizar esta guía

Esta guía ha sido diseñada para exponer de forma lógica las causas que llevaron al desarrollo del DTC y la forma en que se realizó.

Aquellos lectores que deseen conocer la evolución de los accionamientos desde las primeras técnicas de CC, pasando por la CA, hasta llegar al DTC deben comenzar la lectura en el Capítulo 2 (página 6).

Los que busquen respuestas sobre el rendimiento del DTC, su funcionamiento y su potencial de aplicación pueden dirigirse directamente al Capítulo 3 (página 15) Preguntas y respuestas.

Para comprender la Teoría del control básico del DTC, consulte la página 26.

Capítulo 2 - Evolution of direct torque control

¿Qué es un accionamiento de velocidad variable?

Para comprender la respuesta a esta pregunta, es necesario entender que la función básica de un accionamiento de velocidad variable (VSD) es controlar el flujo de energía de la red al proceso.

La energía se suministra al proceso mediante el eje del motor. Dos cantidades físicas describen el estado del eje: el par y la velocidad. Por tanto, para controlar el flujo de energía debemos controlar estas cantidades.

En la práctica, se controla cualquiera de las dos y se habla de “control del par” o “control de la velocidad”. Cuando el VSD funciona en el modo de control del par, la velocidad se determina por la carga. Del mismo modo, cuando funciona en el modo de control de la velocidad, el par también se determina por la carga.

En un principio, los motores de CC se utilizaban como VSD porque alcanzaban con facilidad la velocidad y el par requeridos sin necesidad de emplear mecanismos electrónicos sofisticados.

No obstante, la evolución de la tecnología del accionamiento de CA de velocidad variable se ha visto impulsada, en parte, por el deseo de emular el excelente rendimiento del motor de CC como, por ejemplo, su rápida respuesta del par y su precisión en la velocidad, pero utilizando motores CA resistentes y económicos que no requieran ningún mantenimiento.

Resumen

En esta sección estudiaremos la evolución del DTC. Para ello estableceremos los cuatro hitos de los accionamientos de velocidad variable, a saber:

- Los accionamientos de motor de CC - 9
- Los accionamientos de CA, el control de frecuencia, PWM - 11
- Los accionamientos de CA, el control de vector de flujo, PWM - 12
- Los accionamientos de CA, el control directo del par - 14

Examinaremos cada uno de estos puntos para obtener una visión global que identifique las diferencias clave existentes entre sí.

Accionamientos de motor CC

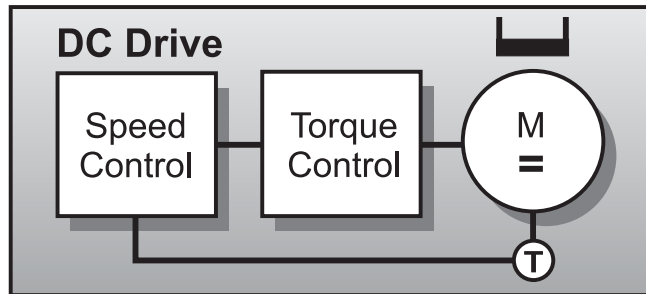


Figura 1: Bucle de control de un accionamiento de motor de CC

Características

- Orientación de campo mediante conmutador mecánico
- Las variables de control son la corriente del inducido y la intensidad de campo, medidas DIRECTAMENTE desde el motor
- El control del par es directo

En un motor de CC, la corriente crea el campo magnético mediante las bobinas inductoras del estator. Este campo siempre forma un ángulo recto con el campo creado por el bobinado del inducido. Esta situación, denominada orientación de campo, es necesaria para generar el par máximo. El grupo de escobillas del conmutador garantiza esta situación, cualquiera que sea la posición del rotor.

Una vez se consigue la orientación de campo, el par del motor de CC se controla con facilidad variando la corriente del inducido y manteniendo constante la corriente de magnetización.

La ventaja de los accionamientos de CC es que la velocidad y el par - las dos preocupaciones principales del usuario final - se controlan directamente mediante la corriente del inducido: es decir, el par es el bucle de control interior y la velocidad es el bucle de control exterior (véase la Figura 1).

Ventajas

- Control rápido y preciso del par
- Respuesta altamente dinámica de la velocidad
- Fácil de controlar

En un principio, los accionamientos de CC se utilizaban para controlar la velocidad variable porque alcanzaban con facilidad un par y una velocidad buenos de alta precisión.

Una máquina de CC puede producir un par que sea:

- **Directo** - el par del motor es proporcional a la corriente del inducido; por tanto, el par puede controlarse de forma directa y precisa.
- **Rápido** - el control del par es rápido; el sistema de accionamiento puede tener una respuesta muy dinámica de la velocidad. El par puede cambiarse de forma instantánea si el motor se alimenta de una fuente de corriente ideal. Un accionamiento con alimentación de tensión tiene una respuesta rápida, ya que ésta se determina sólo por la constante de tiempo eléctrico del rotor (es decir, la inductancia y resistencia total del circuito del inducido).
- **Simple** - la orientación de campo se obtiene mediante un dispositivo mecánico simple denominado grupo de escobillas del conmutador. De este modo, no es necesario utilizar un complejo conjunto de circuitos de control electrónico que incrementaría el coste del regulador del motor.

Inconvenientes

- Menor fiabilidad del motor
- Mantenimiento regular
- Alto precio de compra del motor
- Necesidad de un codificador para la realimentación

El principal inconveniente de esta técnica es la menor fiabilidad del motor de CC; el desgaste de las escobillas y de los conmutadores que requieren un mantenimiento regular; el alto precio de compra del motor de CC, y la necesidad de utilizar codificadores para la realimentación de la velocidad y la posición.

Mientras que un accionamiento de CC produce un par fácil de controlar desde cero hasta la velocidad de base y superior, la mecánica del motor es más compleja y requiere un mantenimiento regular.

Accionamientos de CA - Introducción

- Tamaño reducido
- Robusto
- Diseño simple
- Ligero y compacto
- Bajo mantenimiento
- Bajo coste

La evolución de la tecnología del accionamiento de CA de velocidad variable se ha visto impulsada, en parte, por el deseo de emular el rendimiento del accionamiento de CC como, por ejemplo, su respuesta rápida del par y su precisión de la velocidad, pero utilizando al mismo tiempo las ventajas que ofrece el motor de CA estándar.

Accionamientos de CA - control de frecuencia con PWM

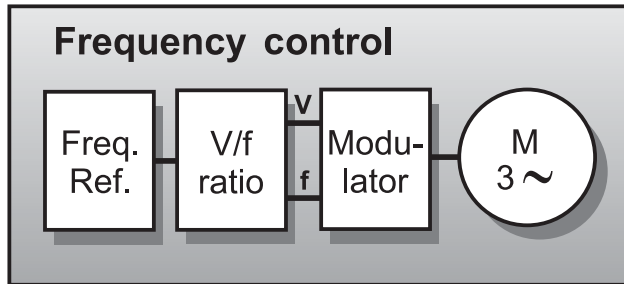


Figura 2: Bucle de control de un accionamiento de CA con control de frecuencia mediante PWM

Características

- Las variables de control son la tensión y la frecuencia
- Simulación de la onda sinusoidal variable de CA mediante un modulador
- Flujo proporcionado con un coeficiente constante de V/f
- Accionamiento de bucle abierto
- La carga determina el grado del par

A diferencia del accionamiento de CC, la técnica de control de la frecuencia del accionamiento de CA utiliza como variables de control parámetros generados fuera del motor, concretamente la tensión y la frecuencia.

Las referencias de la tensión y de la frecuencia se introducen en un modulador que simula una onda sinusoidal de CA que alimenta el bobinado del estator del motor. Esta técnica se denomina Modulación por Anchura de Impulsos (PWM) y se basa en el hecho de que existe un rectificador de diodos hacia la red y de que la tensión de CC intermedia permanece constante. El inversor controla el motor a modo de un tren de ondas PWM que establece la tensión y la frecuencia.

Cabe destacar que este método no utiliza un dispositivo de retroalimentación que toma las medidas de velocidad o posición del eje del motor y que las introduce en el bucle de control.

Este sistema, sin dispositivo de retroalimentación, se denomina "accionamiento de bucle abierto".

Ventajas

- Bajo coste
- No requiere un dispositivo de retroalimentación - simple

Dado que no existe un dispositivo de retroalimentación, el principio de control ofrece una solución simple de bajo coste para controlar los motores económicos de inducción de CA.

Este tipo de accionamiento es apto para aplicaciones que no requieren una alta precisión, tales como bombas o ventiladores.

Inconvenientes

- No se utiliza la orientación de campo
- Se ignora el estado del motor
- No se controla el par
- Se utiliza un modulador retardatorio

Con esta técnica, a veces denominada Control Escalar, no se utiliza la orientación de campo del motor. En lugar de ello, la frecuencia y la tensión son las variables de control principales y se aplican al bobinado del estator. El estado del rotor se ignora, es decir, no se retroalimenta la señal de velocidad ni de posición.

Por tanto, el par no puede controlarse con precisión. Además, la técnica utiliza un modulador que, básicamente, ralentiza la comunicación entre las señales de entrada de tensión y frecuencia y la necesidad del motor de responder a esta señal cambiante.

Accionamientos de CA - control de vector de flujo mediante PWM

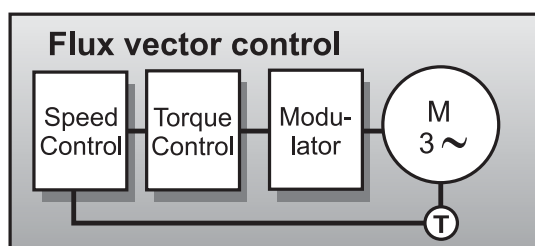


Figura 2: Bucle de control de un accionamiento de CA con control de frecuencia mediante PWM

Características

- Control orientado de campo - simula el accionamiento de CC
- Se simulan las características del motor eléctrico - "Modelo de Motor"
- Accionamiento de bucle cerrado
- El par se controla INDIRECTAMENTE

Para emular las condiciones magnéticas de funcionamiento de un motor CC, es decir, para realizar el proceso de orientación de campo, el accionamiento de vector de flujo necesita conocer la posición espacial angular del flujo del rotor en el interior del motor de inducción de CA.

Con accionamientos de PWM de vector de flujo, la orientación de campo se obtiene por medios electrónicos en lugar de utilizar el grupo mecánico de escobillas del conmutador del motor CC.

En primer lugar, la información sobre el estado del rotor se obtiene retroalimentando, mediante un codificador de impulsos, la velocidad del rotor y la posición angular referentes al campo del estator. Un accionamiento que utilice codificadores de velocidad se denomina “accionamiento de bucle cerrado”.

Además, las características eléctricas del motor se modelan matemáticamente con microprocesadores utilizados para procesar los datos.

El regulador electrónico de un accionamiento de vector de flujo crea cantidades eléctricas, tales como la tensión, la corriente y la frecuencia, que son las variables de control, y las alimenta, mediante un modulador, al motor de inducción de CA. Por tanto, el par se controla INDIRECTAMENTE.

Ventajas

- Buena respuesta del par
- Control preciso de la velocidad
- Todo el par a velocidad cero
- Rendimiento parecido al del accionamiento de CC

El control de vector de flujo alcanza todo el par a velocidad cero, con lo cual ofrece un rendimiento muy parecido al del accionamiento de CC.

Inconvenientes

- Se requiere retroalimentación
- Coste elevado
- Se requiere modulador

Para obtener un alto nivel de respuesta del par y de precisión de la velocidad, se requiere un dispositivo de retroalimentación. Esto puede resultar costoso y, además, complica el tradicional motor simple de inducción de CA.

Asimismo, se utiliza un modulador que ralentiza la comunicación entre las señales de entrada de tensión y frecuencia y la necesidad del motor de responder a esta señal cambiante.

A pesar de que el motor es simple desde el punto de vista mecánico, el accionamiento es complejo desde el punto de vista eléctrico.

Accionamientos de CA - Control Directo del Par

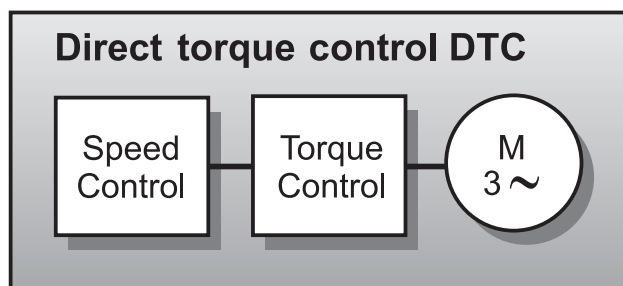


Figura 4: Bucle de control de un accionamiento de CA con DTC

Variables de control

Con la tecnología revolucionaria de DTC desarrollada por ABB, la orientación de campo se obtiene sin retroalimentación utilizando teorías avanzadas del motor para calcular directamente el par del motor sin utilizar la modulación. Las variables de control son el flujo magnetizante y el par del motor.

Con el DTC no hay modulador y no se requiere un tacómetro o un codificador de posición para retroalimentar la velocidad o la posición del eje del motor.

El DTC utiliza el hardware más rápido de señales digitales disponible y un concepto matemático del funcionamiento del motor más avanzado.

El resultado es un accionamiento con una respuesta de par 10 veces más rápida que la de cualquier accionamiento de CA o CC. La precisión dinámica de la velocidad de los accionamientos DTC será 8 veces superior a la de cualquier accionamiento de CA de bucle abierto y comparable a un accionamiento de CC que utilice retroalimentación.

El DTC produce el primer accionamiento “universal” con capacidad para funcionar bien como un accionamiento de CA o como uno de CC.

El resto de secciones de esta guía destacan las características y ventajas del DTC.

Comparación de accionamientos de velocidad variable

Analicemos con más detenimiento cada uno de estos bloques de control para detectar algunas diferencias.

1

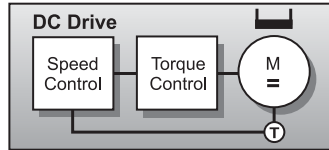


Figura 1: Bucle de control de un accionamiento de CC

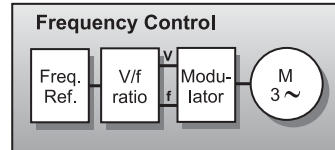


Figura 2: Bucle de control con control de frecuencia

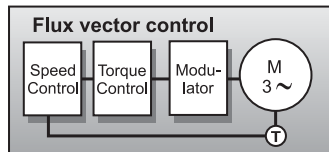


Figura 3: Bucle de control con control de vector de flujo

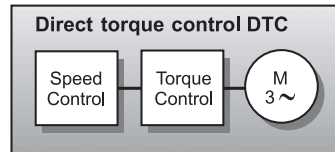


Figura 4: Bucle de control de un accionamiento de CA con DTC

La primera observación es la similitud entre el bloque de control del accionamiento de CC (Figura 1) y el CDT (Figura 4).

Ambos utilizan parámetros del motor para controlar el par directamente.

Pero el DTC tiene más ventajas, tales como: el hecho de no utilizar un dispositivo de retroalimentación; todas las ventajas de un motor CA (véase página 8); y el hecho de no necesitar excitación externa.

DRIVE	CONTROL VARIABLES
DC DRIVES	Armature Current, I_A Magnetising Current, I_M
AC DRIVES (PWM)	Output Voltage, U Output Frequency, f
Direct Torque Control	Motor Torque, T Motor Magnetising Flux, Ψ

Tabla 1: Comparación de las variables de control

Como puede comprobarse en la Tabla 1, tanto el accionamiento de CC como el DTC utilizan parámetros reales del motor para controlar el par y la velocidad. Por tanto, el rendimiento dinámico es fácil y rápido. Además, con el DTC, no se necesita, para la mayoría de las aplicaciones, un tacómetro o codificador para retroalimentar una señal de velocidad o posición.

Si se compara el DTC (Figura 4) con los otros dos bloques de control de accionamiento de CA (Figuras 2 & 3) se observan varias diferencias, siendo la principal que, con el DTC, no se requiere un modulador.

Con los accionamientos de PWM de CA, las variables de control son la frecuencia y la tensión, las cuales necesitan atravesar varias fases antes de aplicarse al motor. Por tanto, con los accionamientos de PWM, el control se realiza dentro del regulador electrónico y no dentro del motor.

Capítulo 3 - Preguntas y respuestas

General

1

¿Qué es el Control Directo del Par?

El Control Directo del Par - o DTC - es lo último de ABB en tecnología de accionamiento de CA, y está destinado a sustituir en un futuro cercano los tradicionales accionamientos PWM de las clases de bucle abierto y de bucle cerrado.

¿Por qué se denomina Control Directo del Par?

El Control Directo del Par describe la manera en la que el control del par y de la velocidad se basan directamente en el estado electromagnético del motor, de forma similar al motor de CC, pero de forma contraria a la manera en la que los accionamientos PWM convencionales utilizan la frecuencia y tensión de entrada. El DTC es la primera tecnología que controla las variables de control “reales” de par y de flujo del motor.

¿Cuál es la ventaja?

Dado que el par y el flujo son parámetros del motor que se controlan de forma directa, no es necesario utilizar un modulador, como en el caso de los accionamientos PWM, para controlar la frecuencia y la tensión. Con ello, por tanto, se elimina el intermedio y se acelera considerablemente la respuesta del accionamiento ante cambios en el par requerido. Además, el DTC ofrece un control preciso del par sin necesidad de utilizar un dispositivo de retroalimentación.

¿Por qué es necesaria otra tecnología de accionamiento de CA?

El DTC no es únicamente otra tecnología de accionamiento de CA. La industria exige más y la tecnología de accionamiento existente no es capaz de cumplir con estas exigencias.

Por ejemplo, la industria desea:

- Una mejor calidad del producto, que puede obtenerse, en parte, mediante una mejor precisión de la velocidad y un control más rápido del par.
- Menos tiempo de parada por avería, lo cual significa un accionamiento que no se dispare innecesariamente; un accionamiento que no sea complejo a causa de los caros dispositivos de retroalimentación; y un accionamiento que no se vea muy afectado por interferencias tales como los armónicos o las RFI.
- Menos productos. Un accionamiento capaz de cubrir todas las necesidades de las aplicaciones, bien sean de CA, CC o servo. Un accionamiento que sea realmente “universal”.
- Un entorno de trabajo cómodo con un accionamiento que produzca un sonido mucho menos audible.

Estas son sólo algunas de las exigencias de la industria. El DTC puede ofrecer soluciones para todos estos requisitos además de aportar nuevas ventajas para muchas de las aplicaciones estándar.

¿Quién inventó el DTC?

ABB ha investigado el DTC desde 1988, después de la publicación en 1971 y 1985 de la teoría del doctor alemán Blaschke y su colega Depenbrock. El DTC se basa en la teoría del control de orientación de campo de las máquinas de inducción y en la teoría del autocontrol directo. ABB ha invertido el equivalente de más de 100 años de investigación desarrollando esta tecnología.

Rendimiento

¿Cuáles son las ventajas principales de la tecnología de DTC en comparación con la tecnología tradicional del accionamiento de CA?

Son muchas las ventajas de la tecnología de DTC. Pero la más importante es que los accionamientos que utilizan la tecnología DTC tienen las siguientes características excepcionales de rendimiento dinámico, muchas de las cuales se obtienen sin necesidad de un codificador o un tacómetro para controlar la posición o velocidad del eje:

- **Respuesta del par:** - ¿Con qué rapidez puede el valor de salida del accionamiento alcanzar el valor especificado cuando se aplica un escalón de referencia nominal del par del 100%? Para el DTC, una respuesta típica del par es de 1 a 2ms por debajo de 40Hz en comparación a los 10-20ms de los accionamientos de vector de flujo y de CC con codificador integrado. Con los accionamientos PWM de bucle abierto (véase la página 9) el tiempo de respuesta es normalmente muy superior a los 100ms. De hecho, con su respuesta del par, el DTC ha conseguido el límite natural. Con la tensión y corrientes disponibles, el tiempo de respuesta no puede ser inferior. Incluso en los accionamientos más nuevos “sin sensores”, la respuesta del par es de cientos de milisegundos.
- Un control del par preciso con bajas frecuencias, incluida la velocidad cero, así como un par a plena carga a velocidad cero sin la necesidad de un dispositivo de retroalimentación como, por ejemplo, un codificador o un tacómetro. Con el DTC, la velocidad puede controlarse a frecuencias inferiores a 0,5Hz y ofrecer todavía un par al 100% durante todo el proceso hasta llegar a la velocidad cero.
- **Repetitibilidad del par:** - Con qué precisión repite el accionamiento su par de salida con la misma orden de referencia de par.
- El DTC, sin un codificador, ofrece una repetitibilidad del par del 1 al 2% del par nominal en toda la gama de velocidades. Este porcentaje es la mitad del que ofrecen otros accio-

namientos de CA de bucle abierto y equivalente al de los accionamientos de CA y CC de bucle cerrado.

- **Precisión de la velocidad estática del motor:** - Error entre la referencia de velocidad y el valor real a carga constante. Para el DTC, la precisión de la velocidad es el 10% del deslizamiento del motor, lo cual, con un motor de 11kW es equivalente a un 0,3% de precisión de la velocidad estática. Con un motor de 110kW, la precisión de velocidad es del 0,1% sin codificador (bucle abierto). Esto satisface el requisito de precisión del 95% de las aplicaciones industriales de los accionamientos. No obstante, para obtener la misma precisión con accionamientos de CC, es necesario un codificador.

Por el contrario, con los accionamientos PWM de control de frecuencia, la precisión de la velocidad estática suele encontrarse entre el 1 y el 3%. Por tanto, el potencial de mejora de los procesos de los clientes es notablemente superior con accionamientos estándar que utilizan la tecnología DTC.

Un accionamiento DTC que utilice un codificador con 1024 impulsos/revolución puede alcanzar una precisión de velocidad del 0,01%.

- **Precisión de la velocidad dinámica:** - Integral de tiempo de la desviación de velocidad cuando se aplica una velocidad de par nominal del 100%.
- La precisión de velocidad dinámica del bucle abierto DTC se encuentra entre 0,3 y 0,4%seg. Esto depende del ajuste de ganancia del regulador, que puede adaptarse a los requisitos del proceso.

Con otros accionamientos de CA de bucle abierto, la precisión dinámica es ocho veces inferior y, en la práctica, de alrededor de 3%seg. Si se dota al regulador DTC de un codificador, la precisión de velocidad dinámica será de 0,1%sec, valor equivalente al del rendimiento del servoaccionamiento.

¿Cuáles son las ventajas prácticas de estos valores de rendimiento?

- **Respuesta rápida del par:** - Esto reduce de forma considerable el tiempo de caída de la velocidad durante una oscilación de la carga, con lo cual se mejora el control del proceso y se obtiene una calidad más consistente del producto.
- **Control del par a bajas frecuencias:** - Este aspecto es especialmente beneficioso para las grúas y los ascensores, donde la carga debe iniciarse y detenerse de forma regular sin sacudidas. Asimismo, con una bobinadora puede controlarse la tensión de cero a la velocidad máxima. En comparación con los accionamientos de vector de flujo PWM, el DTC ofrece una ventaja de ahorro ya que no es necesario el uso de un tacómetro.

- **Linealidad del par:** - Esto es importante en las aplicaciones de precisión, como en el caso de las bobinadoras utilizadas en la industria del papel, donde es imprescindible un nivel preciso y consistente del bobinado.
- **Precisión de la velocidad dinámica:** - Después de un cambio súbito de la carga, el motor puede recuperarse y alcanzar un estado estable con una rapidez considerable.

FUNCIÓN	RESULTADO	VENTAJA
Buena precisión de la velocidad del motor sin tacómetro	Permite controlar la velocidad de modo que la precisión es superior al 0,5%. No se necesita tacómetro en el 95% de todas las aplicaciones.	Ahorro del coste de inversión. Mayor fiabilidad. Mejor control del proceso. Mejor calidad del producto. Conduce a un accionamiento realmente universal.
Excelente control del par sin tacómetro	Accionamiento para aplicaciones exigentes. Permite alcanzar siempre el par requerido. Repetibilidad del par del 1%. Tiempo de respuesta del par inferior a 5ms.	Rendimiento similar al del CC pero sin tacómetro. Reducción de las averías mecánicas de las máquinas. Menor tiempo de paro. Menor inversión.
Todo el par a velocidad cero con o sin tacómetro/codificador	No requiere freno mecánico. Transición suave entre el accionamiento y el freno. Permite utilizar el accionamiento en aplicaciones tradicionales de accionamientos de CC.	Ahorro del coste de inversión. Mejor control de la carga. Puede utilizar el accionamiento y motor de CA en lugar de CC. El motor de CA estándar implica un menor mantenimiento y un coste más bajo.
Control de la velocidad hasta cero y de la posición con codificador.	Rendimiento de servoaccionamiento.	Rentable, accionamiento de par de alto rendimiento; ofrece control de la posición y mejor precisión estática. Alto control de precisión con motor estándar de CA.

Tabla 2: Funciones de rendimiento dinámico y ventajas ofrecidas por la tecnología DTC

¿Además de unos excelentes valores de rendimiento dinámico, ofrece más ventajas la tecnología de accionamiento DTC?

Sí, existen muchas ventajas. Por ejemplo, los accionamientos DTC no necesitan un tacómetro ni un codificador para controlar la velocidad y la posición del eje del motor a fin de obtener la respuesta de par más rápida jamás alcanzada por un accionamiento de CA, lo cual representa un ahorro en el coste inicial.

FUNCIÓN	RESULTADO	VENTAJA
Control rápido de la tensión de enlace de CC	Funcionamiento con cortes de la red.	El accionamiento no se dispara. Menor tiempo de paro. Evita las interrupciones del proceso. Menor desgaste en proceso continuo.
Arranque automático (Rearranque directo)	Arranque con inductancia residual del motor presente. No requiere demora de rearranque.	Puede arrancar en un motor que está en funcionamiento sin esperar la caída del flujo. Puede transferir el motor de línea a accionamiento. Sin rearranque ni interrupciones en el proceso.
Arranque automático (Arranque con geirando)	Sincroniza con el motor en rotación.	No interrumpe el proceso. Control suave de la maquinaria. Recupera el control en todas las situaciones.
Frenado del flujo	Frenado controlado entre dos puntos de velocidad.	Ahorro en el coste de inversión. Mejor control del proceso. No requiere demora como en el frenado de CC. Puede utilizarse para desacelerar a velocidades distintas de la velocidad cero. Menor necesidad de chopper y resistencia de frenado.
Optimización del flujo	Se minimizan las pérdidas de motor. Menor ruido del motor.	Motor controlado.
Autoidentificación/ Autoajuste	Ajuste del motor para el accionamiento a fin de obtener el máximo rendimiento.	Montaje fácil y preciso. Sin ajuste de parámetros. Menos tiempo de puesta en marcha. Par de arranque garantizado. Modificación fácil para cualquier sistema de CA.
Sin patrón de conmutación predeterminado de los dispositivos de potencia.	Nivel bajo de ruido. Sin soporte fijo, por tanto el ruido es razonable debido a un espectro de ruido "blanco".	Ahorro de coste en barreras acústicas para aplicaciones sensibles al ruido. Sin resonancias mecánicas dañinas. Menor esfuerzo en engranajes, ventiladores y bombas.
Sin límites en el índice máximo de aceleración y desaceleración.	Puede acelerarse y desacelerarse en el tiempo más rápido posible sin restricciones mecánicas.	Mejor control del proceso.

Tabla 3: Funciones y ventajas para el usuario ofrecidas por la tecnología DTC

Además, un accionamiento DTC ofrece un arranque rápido en todos los estados electromagnéticos y mecánicos del motor. El motor arranca de inmediato sin demora.

Al parecer, los accionamientos DTC son los más ventajosos para aplicaciones de accionamiento de alto rendimiento. ¿Qué ventajas aporta DTC a los accionamientos estándar?

Las aplicaciones estándar representan el 70% de todos los accionamientos de velocidad variable instalados en la industria. Dos de las aplicaciones más comunes son los ventiladores y las bombas para la industria como, por ejemplo, en la industria de la calefacción, la ventilación y el aire acondicionado (HeVAC), o del agua, de los alimentos y las bebidas.

En estas aplicaciones, DTC ofrece soluciones a problemas tales como los armónicos y el ruido.

Por ejemplo, la tecnología DTC puede controlar la unidad generadora de líneas de entrada del accionamiento en la que se sustituye el puente de diodos convencional por un puente controlado.

Esto significa que pueden reducirse los armónicos de forma notable con un puente de entrada controlado por DTC. El bajo nivel de distorsión de la tensión con un puente controlado por DTC será inferior a la configuración convencional de 6 o 12 impulsos y el factor de potencia podrá alcanzar la cifra del 0,99.

En las aplicaciones estándar, los accionamientos DTC resisten con facilidad pares de carga enormes y repentinos debidos a cambios rápidos del proceso, sin que ello produzca un disparo por sobretensión o sobreintensidad.

Además, si hay un fallo momentáneo de la red, el accionamiento debe permanecer energizado. La tensión de enlace de CC no debe caer por debajo del nivel de control inferior del 80%. Para ello, DTC tiene un ciclo de control de 25 microsegundos.

¿Cuál es el impacto de DTC en el control de bombas?

DTC tiene un impacto sobre todas las clases de bombas. Dado que DTC nos conduce a un accionamiento universal, todas las bombas, bien sean centrífugas o de par constante (bomba espiral), pueden controlarse ahora con una configuración de accionamiento, al igual que los aireadores y los compresores. La tecnología DTC permite que un accionamiento se autoajuste a las diferentes necesidades de aplicación.

Por ejemplo, en las bombas espirales, un accionamiento con tecnología DTC se autoajusta para lograr un par de arranque suficiente que garantice el arranque.

Un mejor funcionamiento con cortes de la red mejora la disponibilidad de bombeo durante fallos momentáneos de la red.

La función inherente de control de par de la tecnología DTC permite limitar el par a fin de evitar esfuerzos mecánicos en bombas y tuberías.

¿Cuál es el impacto de la tecnología DTC sobre el ahorro de energía?

1

Una característica de DTC que contribuye a un uso eficaz de la energía es la denominada optimización del flujo del motor.

Con esta función, la eficacia del accionamiento completo (es decir, el regulador y el motor) mejora de forma considerable en las aplicaciones de bombas y ventiladores.

Por ejemplo, con una carga del 25% hay hasta un 10% de mejora del uso eficaz de la energía total. Con una carga del 50% la mejora puede ser del 2%.

Esto tiene un impacto directo sobre los costes de funcionamiento. Esta función también reduce de forma notable el ruido del motor en comparación con el ruido generado por la frecuencia de conmutación de un accionamiento PWM convencional.

¿Se ha utilizado la tecnología DTC en muchas instalaciones?

Sí, en cientos de miles de instalaciones en activo. Por ejemplo, uno de los mayores fabricantes del mundo de máquinas de imprimir con papel continuo puso a prueba la tecnología DTC en una bobinadora durante un proceso de acabado de una película.

El requisito:

Control exacto del par de la bobinadora para producir rollos de alta calidad.

La solución:

Accionamientos DTC de bucle abierto que sustituyen los convencionales accionamientos de CC y los posteriores accionamientos de CA de control de vector de flujo en los accionamientos centrales de la estación de rebobinado.

Las ventajas:

El diseño de la estación bobinadora se simplifica y aumenta la fiabilidad. El coste de un tacómetro y del cableado correspondiente es equivalente al de un motor CA de 30kW CA motor. Esto representa un ahorro significativo en el coste de la inversión.

Funcionamiento

¿Cuál es la diferencia entre el método DTC y el método tradicional PWM?

– Control PWM y vector de flujo PWM

Los accionamientos PWM tradicionales utilizan la tensión de salida y la frecuencia de salida como las variables de control principales, pero necesitan modularse por anchura de impulsos antes de aplicarse al motor.

Esta fase del modulador aumenta el tiempo de procesamiento de las señales y, por tanto, limita el nivel de respuesta del par y de la velocidad posible desde el accionamiento PWM.

Por regla general, un modulador PWM requiere un tiempo 10 veces superior que el DTC para responder al cambio real.

– Control DTC

DTC permite utilizar el par y el flujo del estator del motor como variables de control principales, y ambas se obtienen directamente del propio motor. Por tanto, con DTC, no es necesario un modulador independiente PWM para controlar la tensión y la frecuencia. Otra gran ventaja del accionamiento DTC es que, en el 95% de todas las aplicaciones de accionamiento, no se requiere un dispositivo de retroalimentación.

¿Por qué no necesita DTC un tacómetro o un codificador de posición para identificar la situación exacta del eje del motor en todo momento?

Existen cuatro razones principales:

- La precisión del Modelo de Motor (véase página 29).
- Las variables de control se toman directamente del motor (véase página 29).
- Las velocidades rápidas de procesamiento de DSP y el hardware del selector de pulsos óptimo (véase página 30).
- No es necesario un modulador (véase página 14).

Cuando estas funciones se combinan para formar un accionamiento DTC, se obtiene un accionamiento capaz de calcular 40.000 veces por segundo las tensiones de conmutación ideales. Es lo bastante rápido como para controlar los impulsos de conmutación individuales. En pocas palabras, es el accionamiento más rápido jamás conseguido.

Una vez cada 25 microsegundos, se suministra un patrón de conmutación óptimo a los semiconductores del inversor para producir el par requerido. Este coeficiente de actualización es muy inferior a cualquier constante de tiempo del motor. Por tanto, ahora es el motor el componente limitador y no el inversor.

¿Cuál es la diferencia entre el DTC y otros accionamientos sin sensores disponibles en el mercado?

Existen dos diferencias esenciales entre el DTC y muchos accionamientos sin sensores. Pero la más importante es que el DTC ofrece un control preciso incluso a bajas velocidades hasta cero, sin utilizar la retroalimentación de un codificador. Con frecuencias bajas, el escalonado de par nominal puede aumentarse en menos de 1ms. Es el mejor que existe.

¿Cómo logra un accionamiento DTC el rendimiento de un servoaccionamiento?

Con bastante facilidad, ya que el motor ahora es el elemento que limita el rendimiento y no el accionamiento. Una precisión de velocidad dinámica habitual para un servoaccionamiento es de 0,1%. Un accionamiento DTC puede alcanzar esta precisión dinámica con la retroalimentación opcional de velocidad de un tacómetro.

¿Cómo consigue el DTC estas mejoras significativas en comparación a la tecnología tradicional?

La diferencia más destacable es la velocidad con la que funciona el DTC. Tal como se ha mencionado anteriormente, la respuesta del par es la más rápida del mercado.

A fin de obtener un bucle rápido de par, ABB ha utilizado la última tecnología de procesamiento de señales a alta velocidad y ha invertido 100 años hombre desarrollando el avanzado Modelo de Motor que simula con precisión los parámetros reales del motor dentro del regulador.

Para más información sobre la teoría del control DTC, consulte la página 28.

¿Un accionamiento DTC utiliza una lógica difusa dentro del bucle de control?

No. La lógica difusa se utiliza en algunos accionamientos para mantener la corriente de aceleración dentro de los límites de corriente a fin de evitar que el accionamiento se dispare de forma innecesaria. Dado que el DTC controla el par de forma directa, la corriente puede mantenerse dentro de estos límites en todas las condiciones de funcionamiento.

Se dice que un accionamiento que utiliza la tecnología DTC no se dispara. ¿Cómo se ha logrado esto?

Muchos fabricantes han invertido años en intentar evitar el disparo del accionamiento durante la aceleración y la desaceleración, pero han encontrado el proceso extraordinariamente difícil. El DTC logra que el accionamiento funcione sin dispararse controlando el par real del motor.

La velocidad y la precisión de un accionamiento, que más bien dependen de parámetros de control calculados y no de parámetros medidos, nunca pueden ser realistas, pues si no se controla el eje, no se obtiene una visión completa. ¿Sucede lo mismo con el DTC?

El DTC sí que obtiene una visión completa. Tal como se ha explicado anteriormente, gracias a la sofisticación del Modelo de Motor y a la habilidad de realizar 40.000 cálculos por segundo, un accionamiento DTC sabe con exactitud lo que está haciendo el eje del motor. Nunca existen dudas acerca del estado del motor. Esto queda reflejado en las cifras excepcionalmente altas de respuesta del par y de precisión de la velocidad citadas en las páginas 16 y 17.

A diferencia de los accionamientos de CA convencionales, donde se desperdiciaba hasta un 30% de los conmutadores, un accionamiento que utiliza la tecnología DTC sabe con exactitud dónde se encuentra el eje, con lo cual no desperdicia ninguno de los conmutadores.

El DTC puede cubrir el 95% de todas las aplicaciones industriales. Las excepciones, en su mayoría aplicaciones en las que se necesita un control de la velocidad extremadamente preciso, se solucionan añadiendo un dispositivo de retroalimentación que proporciona un control de bucle cerrado. Sin embargo, este dispositivo puede ser más sencillo que los sensores que se necesitan para los accionamientos de bucle cerrado convencionales.

Incluso con los semiconductores más rápidos, se introduce algún tiempo muerto. Por tanto, cuál es el grado de autoajuste de un accionamiento DTC?

El autoajuste se utiliza en la marcha de identificación inicial de un accionamiento DTC (véase la página 29). El tiempo muerto se mide y es tenido en cuenta por el Modelo de Motor al calcular el flujo real. Si lo comparamos con un accionamiento PWM, el problema de PWM se encuentra en la fase de 20 a 30Hz, que causa un rizado del par.

¿Qué clase de estabilidad tendrá un accionamiento DTC con cargas ligeras y a baja velocidad?

La estabilidad hasta la velocidad cero es buena y la precisión del par y de la velocidad pueden mantenerse con velocidades bajas y cargas ligeras. Hemos definido las precisiones del modo siguiente:

Precisión del par: Con un coeficiente de velocidad del 2 al 100% y un coeficiente de carga del 10 al 100%, la precisión del par es del 2%.

Precisión de la velocidad: Con un coeficiente de velocidad del 2 al 100% y un coeficiente de carga del 10 al 100%, la precisión de la velocidad es del 10% del deslizamiento del motor. El deslizamiento de un motor de 37kW es aproximadamente del 2%, con lo cual la precisión de la velocidad es del 0,2%.

¿Cuáles son las limitaciones del DTC?

Si se conectan varios motores en paralelo en un inversor controlado por DTC, el grupo funciona como un motor grande. No tiene información sobre el estado de ninguno de los motores. Si varía el número de motores o la potencia del motor permanece por debajo de 1/8 de la potencia establecida, es mejor seleccionar la macro de control escalar.

¿El DTC puede trabajar con cualquier clase de motor de inducción?

Sí, con cualquier motor de jaula de ardilla asíncrono.

Capítulo 4 - Teoría de control básico

¿Cómo funciona el DTC?

En la figura 5 aparece el diagrama completo de bloques del Control Directo del Par (DTC).

Un recorrido por el bloque

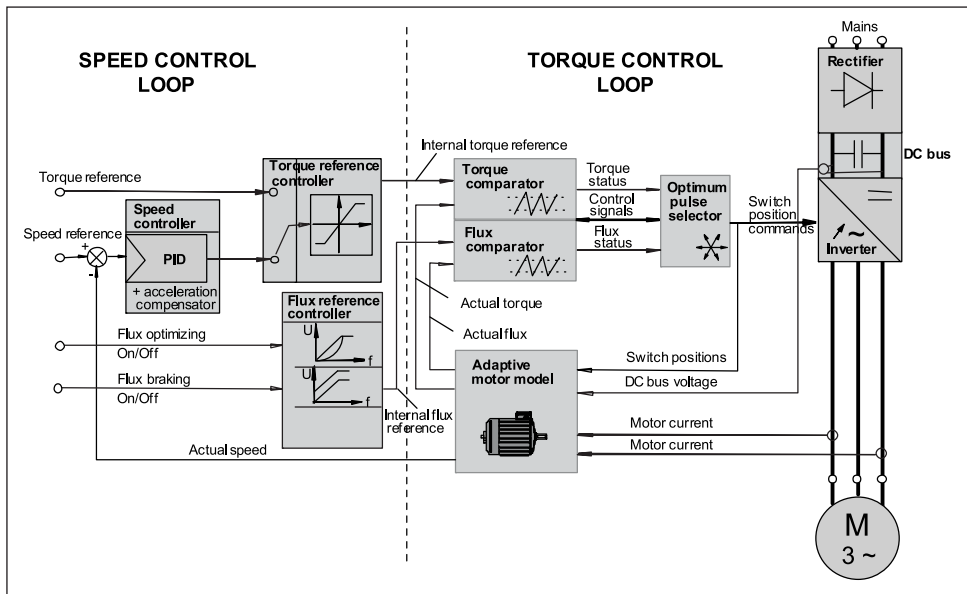
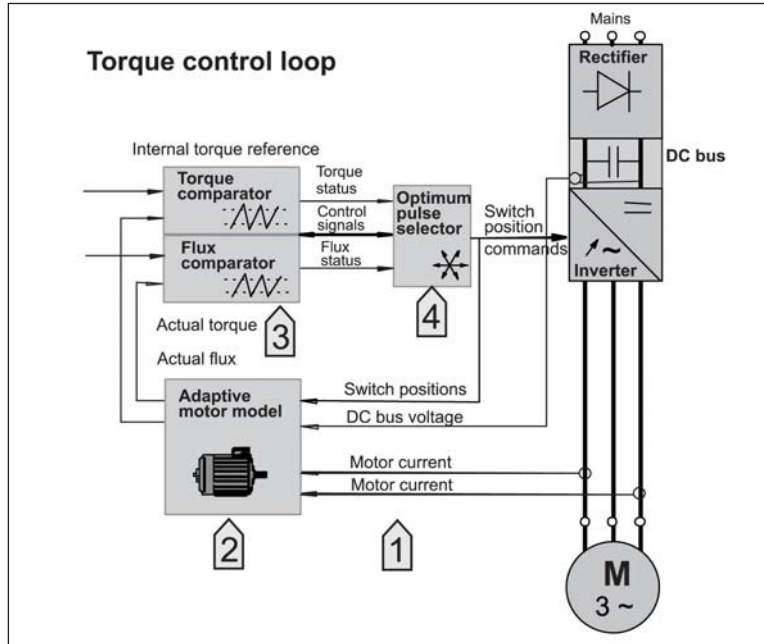


Figura 5: El DTC comprende dos bloques clave: Control de la velocidad y control del par

El diagrama de bloques muestra que el DTC tiene dos secciones fundamentales: el bucle de control del par y el bucle de control de la velocidad. Ahora recorreremos estos bloques, exploraremos cada una de las fases y veremos cómo se integran entre sí.

Empecemos con el bucle de control del par del DTC.

Bucle de control del par



Paso 1 Medición de la tensión y la corriente

Durante el funcionamiento normal, se miden simplemente dos intensidades de fase del motor y la tensión de bus de CC, junto con las posiciones de los conmutadores del inversor.

Paso 2 Modelo de Motor adaptable

La información medida del motor se alimenta al Modelo de Motor adaptable.

La sofisticación de este Modelo de Motor permite calcular datos precisos sobre el motor. Antes de iniciar el accionamiento DTC, el Modelo de Motor recibe información sobre el motor, que se recoge durante la marcha de identificación del motor. A este proceso se le denomina autoajuste y, junto con la inercia del motor, se determinan datos tales como la resistencia del stator, la inductancia mutua y los coeficientes de saturación. La identificación de los parámetros del modelo de motor puede efectuarse sin que gire el eje del motor. Ello facilita la aplicación de la tecnología DTC incluso en modificaciones. La calibración extremadamente precisa del modelo de motor se logra cuando la marcha de identificación incluye también el accionamiento del eje del motor durante algunos segundos.

No es necesario retroalimentar la velocidad o la posición del eje con tacómetros o codificadores si el requisito de precisión de la velocidad es superior al 0,5%, como suele serlo para la mayoría de aplicaciones industriales. Esto representa un avance significativo

sobre el resto de tecnologías de accionamiento de CA. El Modelo de Motor es, de hecho, la clave para el rendimiento sin precedentes del DTC a baja velocidad.

El Modelo Motor emite señales de control que representan directamente el par del motor y el flujo de estator reales. La velocidad del eje también se calcula en el Modelo de Motor.

Paso 3 Comparador de par y comparador de flujo

La información para controlar los conmutadores de alimentación se produce en el comparador de par y en el de flujo.

Tanto el par real como el flujo real se alimentan a los comparadores, donde son comparados cada 25 microsegundos con un valor de referencia del par y del flujo. Las señales de estado del par y del flujo se calculan utilizando un método de control de histéresis de dos niveles.

A continuación, estas señales se alimentan al selector de pulsos óptimos.

Paso 4 Selector de pulsos óptimos

Para determinar la lógica de conmutación del inversor, en el selector de pulsos óptimos se encuentra, junto con el hardware ASIC, el procesador más avanzado de señales digitales de 40MHz (DSP). Además, todas las señales de control se transmiten por enlaces ópticos para conseguir una transmisión de datos de alta velocidad.

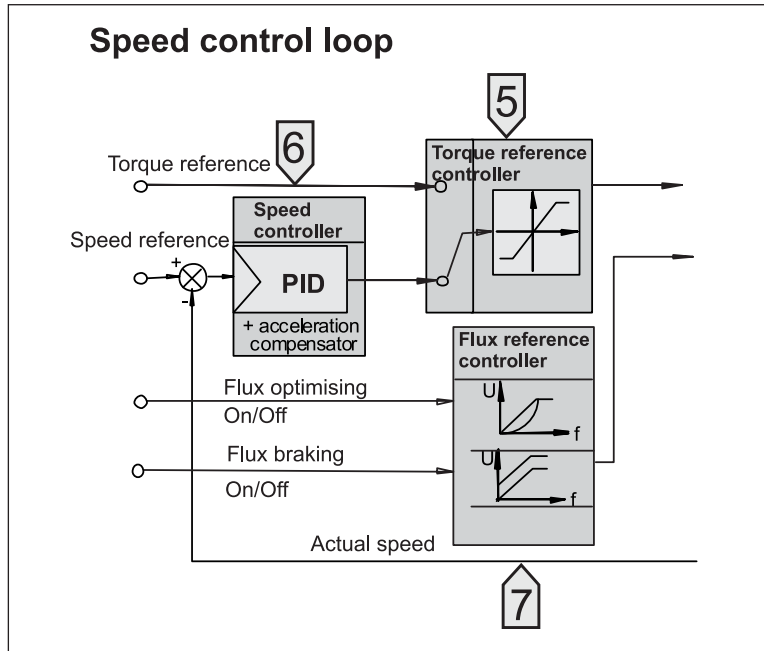
Esta configuración ofrece una gran velocidad de procesamiento de modo que, cada 25 microsegundos, se suministra un pulso óptimo a los dispositivos de conmutación del semiconductor del inversor para alcanzar o mantener un par preciso del motor.

La combinación correcta de los conmutadores se determina en cada ciclo de control. No existe un patrón determinado de los conmutadores. El DTC también es denominado conmutación “justo a tiempo”, porque, a diferencia de los accionamientos PWM convencionales, donde hasta el 30% de todos los cambios de conmutación son innecesarios, en el DTC, todos y cada uno de los conmutadores son necesarios y se utilizan.

Esta alta velocidad de conmutación es fundamental para el éxito del DTC. Los principales parámetros de control del motor se actualizan 40.000 veces por segundo. Con ello se obtiene una respuesta extremadamente rápida en el eje que es necesaria para que el Modelo de Motor (véase el Paso 2) pueda actualizar esta información.

Es gracias a esta velocidad de procesamiento que se obtienen cifras tan elevadas de rendimiento, incluida una precisión de control de velocidad estática, sin codificador, de $\pm 0,5\%$, y una respuesta del par inferior a 2ms.

Control de la velocidad



1

Paso 5 Regulador de la referencia del par

En el regulador de la referencia del par, el valor de salida de control de la velocidad está limitado por los límites de par y la tensión de bus de CC.

También incluye el control de la velocidad para casos en los que se utiliza una señal de par externa. La referencia de par interna de este bloque se alimenta al comparador de par.

Paso 6 Regulador de la velocidad

El bloque regulador de la velocidad se compone de un regulador PID y de un compensador de aceleración. La señal de referencia de velocidad externa se compara con la velocidad real producida por el Modelo de Motor. La señal de error se alimenta entonces tanto al regulador PID como al compensador de aceleración. El valor de salida es la suma de los valores de salida de ambos.

Paso 7 Regulador de la referencia de flujo

El regulador de la referencia de flujo puede dar un valor absoluto del flujo del estator al bloque comparador de flujo. La capacidad de controlar y modificar este valor absoluto ofrece una manera fácil de realizar muchas funciones del inversor, tales como la optimización del flujo y el frenado del flujo (véase la página 21).

Capítulo 5 - Índice

A

acabado de una película 21
accionamiento con alimentación de tensión 8
accionamiento de bucle abierto 9
accionamiento de bucle cerrado 10, 11
accionamiento de CA 5, 6, 8, 9,
10, 12, 13, 14, 15, 16, 17,
18, 21, 24, 28
accionamiento de CA con control de flujo de
vector 10
accionamiento de CA con DTC 12, 13
accionamiento de CC 7, 8, 9, 10,
11, 12, 13, 14, 18
accionamiento de motor de CC 6
accionamiento de velocidad variable de CA
6, 8
accionamiento PWM de CA 11, 14, 21, 22,
24, 28
accionamientos de CA de bucle abierto 12
accionamientos de velocidad variable
5, 6, 13, 20
accionamientos PWM de vector de flujo 11
agua 5, 20
ahorro de energía 21
aire acondicionado 5, 20
aireador 20
alimentación 20
armónicos 15, 20
arranque 5, 19, 20, 26
arranque 17, 18, 19
ascensor 17
ASIC 28
autoajuste 19, 24, 27

B

Blaschke 16
bobinado del inducido 7
bobinado del stator 9, 10
bobinadora 17, 21, 22
bomba 10, 19, 20, 22
bucle cerrado 10, 11, 15, 16
bucle de control 7, 9, 10, 12, 13, 24, 26,
27, 29
bucle de control del par 26
bucle de control de la velocidad 26

C

calefacción 20
campo del stator 11
ciclo de control 28
cinta transportadora 20
codificador 8, 11, 12, 14, 18, 22, 23, 27, 28
codificador de la posición 12, 22
coeficiente de saturación 27
comparador de flujo 28, 29
comparador de par 28, 29
comparador de par y el de flujo 28

compensador de aceleración 29
constante de tiempo 8, 23
constante de tiempo eléctrico 8
control de frecuencia 6, 9, 13, 22
control de histéresis 28
control de la posición 18
control de la precisión 18
control de la velocidad 6, 7, 24, 26, 28, 29
Control de Orientación de Campo 16
control de vector de flujo 6, 10, 11, 13
Control Directo del Par 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11,
12, 13, 14, 15, 26
control escalar 10, 25
corriente del inducido 7
corriente de magnetización 7
coste 8, 10, 11, 18, 19, 21
coste inicial 18
coste operativo 21

D

Depenbrock 16
disparo 15, 19, 20, 24
dispositivo de retroalimentación
9, 10, 11, 13, 15, 16, 22, 24
DSP 22, 28
DTC 5, 6, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20,
21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28

E

engranaje 19
enlace óptimo 28
esfuerzo 19, 21
estabilidad 25

F

factor de potencia 20
fallo de la red 20
fiabilidad 8, 18
flujo del rotor 11
flujo del stator 22, 28, 29
flujo magnetizante del motor 12
frecuencias bajas 16, 17, 23
frecuencia de entrada 15
frecuencia de salida 22
frenado 19, 29
frenado de flujo 19, 29
freno mecánico 18
funcionamiento con cortes de la red 19, 21

G

grupo de escobillas del conmutador 7

H

HeVAC 22

I

impulsos de conmutación 23
inductancia mutua 27

industria del papel 17
 inercia 27
 intensidad de campo 7

L

lógica difusa 24

M

mantenimiento 6, 8, 18
 máquina de imprimir con papel continuo 21
 Modelo de Motor 10, 22, 23, 24, 27, 28, 29
 modificación 19
 modulación por anchura de impulsos 9
 modulador 9, 10, 11, 12, 14, 22
 motor de CA 5, 6, 8, 13, 18
 motor de CC 6, 7, 8, 11, 15
 motor de inducción de CA 10, 11

O

OEM 5
 optimización de flujo 19, 21, 29
 optimización del flujo del motor 21
 orientación de campo 7, 8, 10, 11, 12

P

par 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16,
 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 28, 29
 - bucle 23
 - carga total con velocidad cero 16
 - control 5, 6, 7, 8, 10, 12, 18, 21, 26
 - control a baja frecuencia 16
 - linealidad 17
 - repetibilidad 18
 - respuesta 6, 8, 11, 12, 18, 23, 24, 28
 - rizado 24
 par de carga 16, 20
 par del motor 8, 12, 28
 paso nominal del par 23
 patrón de conmutación 19, 23, 28
 posición angular 11
 posición del rotor 7
 precisión de la velocidad
 6, 8, 11, 12, 15, 17, 18, 23, 24, 25, 27
 precisión de la velocidad
 dinámica 12, 17
 precisión de velocidad estática 17, 27
 precisión estática 18
 predeterminado 19, 28
 procesamiento de señales 12, 22, 23
 procesamiento de señales digitales 12
 puente de diodos 20
 puente de entrada controlado 20
 puesta en marcha 19
 PWM 6, 9, 10, 11, 14, 15, 16, 20,
 21, 24, 27

R

rearranque 19
 rectificador de diodos 9
 referencia externa de la
 velocidad 29
 regulador de la referencia de flujo 29
 regulador de la referencia de par 29
 regulador de la velocidad 29
 regulador del moto r 8
 regulador electrónico 11, 14
 regulador PID 29
 resistencia del stator 27
 respuesta de la velocidad 7, 8, 22
 respuesta de la velocidad dinámica 8
 retroalimentación de la posición 8
 RFI 15
 ruido 15, 19, 20, 21
 ruido del motor 19, 21
 rotor 7, 8, 10, 11

S

selector de pulsos óptimos 28
 señal de par externa 29
 servoaccionamiento 18, 23
 sin sensores 23
 stator 7, 9, 10, 11, 2, 27, 28, 29

T

tacómetro 12, 14, 16, 17, 18, 22, 23, 27
 tensión de bus de CC 27, 29
 tensión de enlace de CC 19, 20
 tensión de salida 22
 tensión 8, 9, 10, 11, 15, 16, 19, 20, 22, 23,
 27, 29
 tiempo de procesamiento de señales 22
 tuberías 21

U

unidad generadora de líneas de entrada del
 accionamiento 20
 universal 12, 15, 18, 20

V

valor de salida de control de la velocidad 29
 variables de control 9, 11, 12, 14, 22
 variables de control 10, 13, 15, 22
 vector de flujo 6, 10, 11, 13, 16, 21, 22
 velocidad 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15,
 16, 17, 17, 18, 19, 20, 22, 23, 24, 25, 26, 27,
 28, 29
 velocidad a cero 11, 16, 18, 19, 23, 25
 velocidad del rotor 11
 velocidad estática del motor 17
 ventilación 20
 ventilador 10, 19, 20, 21
 VSD 5, 6

Contacte con nosotros

Para obtener más información, póngase en contacto con su representante local de ABB o a través de:

www.abb.es

www.abb.com/drivespartners

© Copyright 2014 ABB. Todos los derechos reservados. Las especificaciones pueden cambiar sin previo aviso.

3BFE64278011 REV C ES 3.7.2014 #17188



ABB drives

Guía técnica N.º 2

Directivas del Consejo de la UE y sistemas de accionamiento de potencia de velocidad ajustable

Power and productivity
for a better world™



Guía técnica N.º 2

Directivas del Consejo de la UE y sistemas de accionamiento de potencia de velocidad ajustable

Índice

Capítulo 1 - Introducción	9
Objeto de esta guía	9
Cómo emplear esta guía	10
Responsabilidades y acciones	10
Casillas de verificación	10
Referencias cruzadas	10
Capítulo 2 - Preguntas y respuestas generales	11
¿Qué son las Directivas del Consejo de la UE?	11
¿Cómo me afecta la Directiva EMC?	11
¿Qué es la EMC?	11
¿Qué es un entorno electromagnético?	12
¿Cómo se manifiesta la interferencia electromagnética?	12
¿Qué emisiones pueden causar los convertidores?	12
¿Cómo se detecta esta emisión?	13
¿Cómo se evita la interferencia electromagnética?	13
Entonces los fabricantes de convertidores tienen que cumplir las normas EMC?.....	13
Si un convertidor tiene Etiquetaje CE, no tengo que preocuparme. ¿No es cierto?.....	13
Capítulo 3 - Etiquetaje CE	15
¿Qué es el Etiquetaje CE y cuál es su importancia para los convertidores?	15
¿Para qué es el Etiquetaje CE?.....	15
¿Es el Etiquetaje CE una marca de calidad?.....	16
¿Cuál es la postura legal respecto al Etiquetaje CE?.....	16
¿Cuál es la importancia del Etiquetaje CE para los compradores de convertidores?	16
Si compro un convertidor con Etiquetaje CE, ¿cumpliré los requisitos técnicos de las directivas?	16
Si como usuario final monto un sistema, ¿debo ponerle Etiquetaje CE?	17
¿Qué hay acerca de las piezas que compro para un convertidor? ¿Se invalida el Etiquetaje CE si sustituyo un componente?	17
Si los convertidores se clasifican como componentes, los subconjuntos no pueden tener la certificación EMC o llevar el Etiquetaje CE, ¿no es cierto?	17
En resumen.....	18
Componentes o subconjuntos destinados a ser incorporados en un aparato por los usuarios finales.....	18
Componentes o subconjuntos destinados a ser incorporados en un aparato por otro fabricante o montador	18

Equipo acabado	19
Equipo acabado destinado a usuarios finales	19
Equipo acabado destinado a otro fabricante o montador	19
Sistemas (combinación de equipos acabados)	19
Todas las disposiciones de la Directiva EMC, definidas para un aparato, son de aplicación al conjunto en su totalidad.	20
Aparatos	20
Instalación fija.....	20
Equipo	20
Capítulo 4 - Decisiones de compra para PDS	21
Qué necesita saber y hacer.....	21
Si es usted fabricante de máquinas y compra un PDS.....	25
Acciones que debe emprender	26
Si es usted diseñador de sistemas y compra un PDS... ..	28
Vía 1	29
Acciones que debe emprender	29
Vía 2	30
Acciones que debe emprender	31
Si es usted usuario final y compra un CDM/BDM o PDS.....	31
...Tiene las siguientes responsabilidades.....	31
Acciones que debe emprender	32
Si es usted cuadrista y compra un CDM/BDM	32
Acciones adicionales.....	34
Si es usted distribuidor y compra un CDM/BDM... ..	34
Si es usted instalador y compra un CDM/BDM o PDS.....	35
Capítulo 5 - Terminología.....	36
Documentación técnica (DT)	36
¿Qué es la documentación técnica?	36
¿Por qué se considera importante la documentación técnica?	36
¿Reciben siempre los clientes una copia de la documentación técnica?	37
¿Cuál es la vida de la documentación técnica?	37
¿Cómo garantizo que se efectúen las pruebas?	37
¿Pueden ayudar más los fabricantes de convertidores?.....	37
Cómo elaborar la DT	38
1. Descripción del producto	38
2. Procedimientos para garantizar la conformidad del producto	38
3. Si se selecciona una declaración de un órgano notificado.....	39
4. Acciones del órgano notificado.....	39
Archivo técnico (para aspectos de seguridad mecánica).....	40
¿Qué es un archivo técnico?	40
Cómo elaborar un archivo técnico	40
Dibujos y diagramas.....	40
Salud y seguridad	40
Diseño de la máquina.....	40
Otros certificados requeridos.....	40

Certificado de adecuación	41
¿Y si no se pueden aplicar plenamente las normas?	41
Cómo obtener un Certificado de adecuación	41
Declaración	41
Cuando se requiere la declaración	41
Cómo obtener un informe	42
Declaración de conformidad (para aspectos de EMC y de seguridad eléctrica)	43
Cómo obtener una declaración de conformidad	43
¿Qué es una declaración de incorporación?	44
¿No es posible librarse de este tipo de declaración?	45
Contenido de una declaración de incorporación	45
Certificación de tipo	46
Cómo obtener una certificación de tipo	46
Capítulo 6 - Autoridades y órganos	47
Autoridad competente	47
Órgano notificado	47
Capítulo 7 - Normas y directivas	48
¿Directiva o norma?	48
Normas armonizadas para PDS	48
Cómo reconocer una norma europea	49
Respuestas a sus preguntas	50
¿Qué normas se relacionan directamente con los convertidores?	50
¿Cuáles son los aspectos de EN 61800-3 y los convertidores?	50
¿Cuáles son las soluciones a las emisiones radiadas?	51
¿Debo cumplir las normas?	51
¿Pueden sancionarme si no cumplo las normas?	51
La norma específica para productos EN 61800-3	51
PDS de categoría C1:	52
PDS de categoría C2:	52
PDS de categoría C3:	53
PDS de categoría C4:	53
Ejemplos de aplicaciones con enfoques diferentes	54
Directiva de Máquinas 98/37/CE	55
¿Cómo afecta la Directiva de Máquinas a mi convertidor?	55
¿Dónde puedo obtener una copia de la Directiva de Máquinas?	56
Directiva de Baja Tensión	56
¿Cómo afecta la DBT a mi convertidor?	56
¿Por qué es importante la Declaración de conformidad?	57
Directiva EMC	57
¿Cómo afecta la Directiva EMC a mi convertidor?	57
¿Quién es el responsable de garantizar el Etiquetaje CE?	58
Resumen de responsabilidades	59
Obtención de la conformidad con las Directivas de seguridad CE	60
Índice	61

Capítulo 1 - Introducción

Objeto de esta guía

El objeto de la Guía técnica N.º 2* es proporcionar una explicación clara de cómo las diversas Directivas del Consejo de la UE se relacionan con los sistemas de accionamiento de potencia (PDS). Para obtener una explicación de la terminología de los PDS, véanse las páginas 21 y 22.

Aunque la compatibilidad electromagnética (EMC) es un tema al que se da la mayor consideración dentro del sector, debe tenerse en cuenta que la Directiva EMC es sólo una parte de la iniciativa global de la UE en cuanto a las normas de seguridad comunes.

La intención de esta Guía es ofrecer a los usuarios de sistemas de accionamiento de potencia de CA o CC, ya sean fabricantes de máquinas, diseñadores de sistemas, distribuidores, OEM, usuarios finales o instaladores, algunas directrices prácticas y claras y procedimientos de actuación.

*Notas

- 1 El contenido de esta Guía técnica es la interpretación de los hechos por parte de ABB Industry Oy en julio de 2007. No obstante, nos reservamos el derecho a desarrollar estas interpretaciones a medida que estén disponibles más detalles por parte de los Órganos notificados (véase el Capítulo 6) competentes, las Autoridades competentes (véase el Capítulo 6), las organizaciones y nuestras propias comprobaciones.
- 2 Otras guías técnicas en esta serie incluyen:

Guía técnica N.º 1 -
Control Directo de Par (3BFE64278011)

Guía técnica N.º 3 -
Instalación y configuración de un sistema de accionamiento de potencia de conformidad con la Directiva EMC (3BFE64312391)

Guía técnica N.º 4 -
Guía para los convertidores de velocidad variable (3BFE64301781)

Guía técnica N.º 5 -
Corrientes en los cojinetes de los sistemas de convertidores de CA modernos (3BFE64312413)

Guía técnica N.º 6 -
Guía sobre armónicos en convertidores de CA (3BFE64312413)

Guía técnica N.º 7 -
Dimensionamiento de un sistema de accionamiento (3BFE64401416)

Guía técnica N.º 8 -
Frenado eléctrico (3BFE64455575)

Guía técnica N.º 9 -
Guía de convertidores de frecuencia para control de movimiento
(3AUA0000163174)

Guía técnica N.º 10 -
Seguridad funcional (3AUA0000163173)

Cómo emplear esta guía

La guía se divide en 7 secciones.

La Sección 4 comenta las Decisiones de compra para PDS. Tenga en cuenta lo siguiente acerca de la estructura de esta sección:

Responsabilidades y acciones

A cada perfil de comprador se le ofrece una explicación de sus responsabilidades. Para su conocimiento. No se requieren acciones.

A continuación de las responsabilidades figura una serie de acciones. Si el comprador sigue dichas acciones, paso a paso, el cumplimiento de las Directivas relevantes será sencillo.

Casillas de verificación

Junto a las acciones figuran casillas de verificación. Los compradores pueden fotocopiar las páginas relevantes y emplearlas como una lista de comprobación marcando cada elemento en el momento en el que se satisfaga.

Referencias cruzadas

Debido a la complejidad de cumplir cada directiva, esta Guía contiene muchas referencias cruzadas a otras secciones. En el margen verá:

Definido en la página XX

Se le recomienda que pase a la página referenciada por el número. También hallará otras referencias dentro del texto. Pueden consultarse si el elemento no queda claro pero ello no es esencial para obtener el cumplimiento de las normas.

Punto clave:

Dentro del texto verá:

Punto clave

Son observaciones clave que deben considerarse.

Capítulo 2 - Preguntas y respuestas generales

Es muy importante que los usuarios de PDS comprendan plenamente todas las reglas y normas y cómo se aplican a los PDS. Este es el objeto de esta guía.

¿Qué son las Directivas del Consejo de la UE?

Es importante tener en cuenta que la EMC no puede separarse del resto de la legislación europea. Por tanto, antes de responder a esta pregunta debemos observar **otras** legislaciones y ver cómo afectan a la compra y la instalación de convertidores.

Simplemente, existen **tres Directivas** que afectan principalmente a la seguridad de un convertidor frente a riesgos y peligros. Son:

Directiva	Obligatoria	Página
Directiva de Máquinas	1995-01-01	p. 55
Directiva de Baja Tensión	1997-01-01	p. 56
Directiva EMC	1996-01-01	p. 57

Hablaremos de estas Directivas más adelante. Primero, explicaremos qué es la Directiva EMC y examinaremos algunas de las preocupaciones del sector.

¿Cómo me afecta la Directiva EMC?

Desde el 1 de enero de 1996, la Directiva para la compatibilidad electromagnética del Consejo de la UE (89/336/CEE y su sucesora 2004/108/CE) es obligatoria. Se aplica a todo equipo eléctrico y electrónico vendido dentro de la UE y afecta a la práctica totalidad de fabricantes e importadores de equipos eléctricos y electrónicos.

Punto clave:

El equipo eléctrico que no se ajusta a las normas no puede venderse dentro del EEE (Espacio Económico Europeo).

¿Qué es la EMC?

EMC son las siglas en inglés de **Electromagnetic Compatibility** (compatibilidad electromagnética). Es la capacidad del equipo eléctrico/electrónico de funcionar sin problemas dentro de un entorno electromagnético. Igualmente, el equipo no debe perturbar o interferir con ningún otro producto o sistema en las inmediaciones.

¿Qué es un entorno electromagnético?

El entorno electromagnético está en todas partes pero varía entre sitios distintos. La razón es que existen muchas fuentes distintas de perturbaciones que pueden ser naturales o artificiales.

Las fuentes naturales constan de descargas eléctricas entre nubes, rayos u otros fenómenos atmosféricos. Aunque no podemos influir en estas fuentes, podemos proteger nuestros productos y sistemas de sus efectos.

Las perturbaciones artificiales son las que generan, por ejemplo, los contactos eléctricos y los semiconductores, los sistemas digitales como los microprocesadores, los transmisores de radio móviles, los walkie-talkies, los teléfonos portátiles en el coche y los sistemas de accionamiento de potencia.

Esta variedad de equipos, cada uno con sus propias características de emisión, se emplea con frecuencia cerca de otros equipos eléctricos, por lo que es posible que la magnitud de campo creada interfiera.

Punto clave:

Es importante que todos los PDS sean inmunes a estas perturbaciones naturales y artificiales. Aunque los fabricantes de convertidores se esfuerzan por hacer que sus productos sean inmunes, la Directiva recoge unas normas mínimas para la inmunidad, con lo que se garantiza que todos los fabricantes lleguen al mismo nivel básico.

¿Cómo se manifiesta la interferencia electromagnética?

La interferencia electromagnética se manifiesta de distintos modos. Los ejemplos típicos de la interferencia incluyen un motor de coche o una dinamo con una supresión pobre; un taladro eléctrico que provoca un patrón en la pantalla del televisor, o la estática en una radio de AM.

Los componentes electrónicos de potencia y los microprocesadores tienen una rápida conmutación, y pueden provocar interferencias a elevadas frecuencias, a menos que se tomen las precauciones apropiadas.

¿Qué emisiones pueden causar los convertidores?

El funcionamiento normal de cualquier convertidor implica una conmutación rápida de altas tensiones y ello puede causar una emisión de radiofrecuencia. Esta radiación y emisión son las que se considera que tienen el potencial de perturbar otros circuitos con frecuencias por debajo de los 200 MHz.

El equipo moderno contiene bastantes componentes electrónicos digitales y de comunicaciones. Ello puede provocar emisiones considerables a frecuencias por encima de los 200 MHz.

¿Cómo se detecta esta emisión?

La emisión principal se da a través de la conducción a la red. La radiación del convertidor y de los cables conductores es otro tipo de emisión y es especialmente exigente en cuanto a alcanzar los límites de emisión radiada.

¿Cómo se evita la interferencia electromagnética?

Deben asegurarse dos aspectos:

- Que el equipo genere emisiones mínimas.
- Que el equipo sea inmune a los efectos exteriores.

Punto clave:

En el caso de sistemas de accionamiento de potencia, mucho depende de la calidad de la instalación.

La interferencia electromagnética tiene que conducirse a tierra (potencial de tierra) y ningún sistema puede funcionar a menos que se haya conectado a tierra correctamente.

¿Entonces los fabricantes de convertidores tienen que cumplir las normas EMC?

Desafortunadamente, el proceso no es tan simple. Prácticamente todo el mundo en la cadena de distribución tiene la responsabilidad de asegurarse de que un producto, un sistema y una instalación cumplan los requisitos esenciales de la Directiva EMC.

La clave es comprender plenamente quién tiene la responsabilidad para un área determinada. En las páginas siguientes vamos a observar distintos perfiles de compradores y examinaremos los pasos que cada uno de ellos debería tomar para satisfacer las tres directivas mencionadas en la página 11.

Todo el mundo, del fabricante al instalador, tiene la responsabilidad de cumplir las reglas de EMC.

Si un convertidor tiene Etiquetaje CE, no tengo que preocuparme. ¿No es cierto?

Esto es un malentendido muy extendido. Sólo porque un convertidor tenga el Etiquetaje CE no implica que cumpla la Directiva EMC.

Punto clave:

Todo ello se clarificará si se consulta la sección **Decisiones de compra para PDS**, página 21.

El Etiquetaje CE de conformidad con la Directiva EMC no puede aplicarse normalmente a un módulo que no sea más que un chasis con los terminales expuestos.

Capítulo 3 - Etiquetaje CE

¿Qué es el Etiquetaje CE y cuál es su importancia para los convertidores?

El Etiquetaje CE, que se muestra a continuación, es la firma oficial de la **Declaración de Conformidad** (véanse las páginas 43 y 44) tal como regula la Comisión Europea. Es un símbolo gráfico muy determinado y debe separarse de otros etiquetajes.

2



El Etiquetaje CE es un sistema de autocertificación para identificar los equipos que cumplen las directivas aplicables relevantes.

Si un convertidor está sujeto a diversas directivas y, por ejemplo, cumple la **Directiva de Baja Tensión** (véase la página 56), entonces, a partir de 1997, es obligatorio que el convertidor lleve **Etiquetaje CE**. Este etiquetaje indicará que el convertidor cumple también la **Directiva EMC** (página 57). El Etiquetaje CE indicará que se cumplen solamente las directivas aplicadas por el fabricante.

Punto clave:

NOTA: Debe haber documentación técnica que respalde la **Declaración de conformidad**.

Para más información sobre la **documentación técnica**, consulte las páginas 36 a 40.

¿Para qué es el Etiquetaje CE?

El Etiquetaje CE beneficia principalmente a las autoridades en los países de la UE y el EEE que controlan el movimiento de mercancías. El Etiquetaje CE demuestra que el producto cumple los requisitos esenciales de todas las Directivas relevantes, principalmente en el área de seguridad técnica, problemas de compatibilidad y valoración de la conformidad. Existen tres Directivas relevantes para los convertidores, pero es posible que el Etiquetaje CE se añada para demostrar el cumplimiento de tan sólo una (véase la página anterior).

¿Es el Etiquetaje CE una marca de calidad?

Definitivamente no. El Etiquetaje CE supone una autocertificación, y por lo tanto puede tener la seguridad de que se ha llevado a cabo la certificación.

¿Cual es la postura legal respecto al Etiquetaje CE?

Cualquiera que aplique el Etiquetaje CE es responsable ante la ley y tiene que demostrar la validez de sus acciones a las autoridades. El Etiquetaje CE confirma el cumplimiento de las Directivas que se listan en la Declaración de conformidad (ver páginas 43 y 44).

¿Cuál es la importancia del Etiquetaje CE para los compradores de convertidores?

Por lo que respecta a un comprador de un convertidor, cualquier elemento que lleve el Etiquetaje CE debe tener un valor funcional para él.

Por lo tanto, un producto de accionamiento completo que pueda cablearse y ponerse en marcha con seguridad, puede llevar el Etiquetaje CE.

Si compro un convertidor con Etiquetaje CE, ¿cumpliré los requisitos técnicos de las directivas?

En la práctica, verá productos de accionamiento con Etiquetaje CE. Sin embargo, es importante comprender por qué se le otorgó el Etiquetaje CE al producto en primer lugar.

Básicamente, un convertidor no tiene un valor funcional. Sólo es de uso práctico cuando se conecta a un motor que está conectado a una carga, por ejemplo.

Por lo tanto, por lo que respecta a la Directiva de Máquinas, un convertidor no puede tener el Etiquetaje CE a menos que forme parte de un “proceso” que comprenda el convertidor, el motor y la carga.

En cuanto a la Directiva EMC, el equipo que compone un “proceso” incluye el cableado, los convertidores y el motor. El Etiquetaje CE sólo puede adjuntarse si todos los elementos que forman este “proceso” se ajustan a los requisitos de la Directiva. Por lo tanto, los manuales de convertidores incluyen instrucciones detalladas para la instalación.

De todas formas, para la Directiva de Baja Tensión, un convertidor construido presenta funciones. Es decir, que a través de los parámetros del convertidor es posible programar el convertidor y obtener una señal de entrada y salida. Por ello, si un convertidor cumple la Directiva de Baja Tensión, puede llevar el Etiquetaje CE.

Consulte las páginas 58 a 60 para obtener explicaciones acerca de las tres directivas.

Si, como usuario final, monto un sistema, ¿debo ponerle Etiquetaje CE?

Sí. Cualquier persona que monte y ponga a punto un sistema es el responsable del Etiquetaje CE apropiado.

Punto clave:

Pase a la página 31 para obtener más detalles acerca de las responsabilidades del usuario final.

2

¿Qué hay acerca de las piezas que compro para un convertidor? ¿Se invalida el Etiquetaje CE si sustituyo un componente?

El equipo suministrado antes de la aplicación de las Directivas puede repararse y contar con piezas de recambio para devolverlo a la especificación original. Sin embargo, no puede mejorarse o reinstalarse sin que satisfagan las Directivas.

Para el equipo suministrado antes de la aplicación de las Directivas, el empleo de las piezas de recambio del fabricante no debería invalidar el Etiquetaje CE. Sin embargo, debería consultarse al fabricante o distribuidor acerca de la actualización, ya que determinadas acciones podrían afectar a los criterios de Etiquetaje CE.

Si los convertidores se clasifican como componentes, los subconjuntos no pueden tener la certificación EMC o llevar el Etiquetaje CE, ¿no es cierto?

En primer lugar debe comprender la terminología que se aplica en la actualidad a los convertidores. Véase la información siguiente y la que aparece en las páginas 21 y 22 con respecto a ello.

Un módulo de accionamiento completo (CDM) es normalmente un componente en un sistema y como tal no tiene valor funcional a menos que se conecte al motor cuando se convierte en un PDS.

El CDM llevará el Etiquetaje CE si se debe instalar con conexiones y ajustes simples que no requieren ningún conocimiento acerca de la EMC.

Si se requiere un conocimiento de la implicación de la EMC para instalar un CDM, no se considera un aparato. Por ello, no llevará el Etiquetaje CE de conformidad con las Directivas EMC.

Si un CDM o BDM va a incorporarse a un PDS y la operación la van a efectuar solamente fabricantes profesionales (cuadristas, fabricantes de máquinas), no llevará el Etiquetaje CE, ni el fabricante del CDM/BDM deberá proporcionar una Declaración de conformidad. En lugar de ello, deberán suministrarse instrucciones para la instalación para ayudar a los fabricantes profesionales.

En resumen:

La Directiva EMC define equipo como cualquier aparato o instalación fija. Puesto que hay disposiciones independientes para aparatos e instalaciones fijas, es importante determinar la categoría correcta del equipo.

Los términos siguientes se utilizan frecuentemente en clasificaciones técnico-comerciales: componentes, subconjuntos, equipos acabados (es decir, productos acabados), una combinación de equipos acabados (es decir, un sistema), aparatos, instalaciones fijas y equipos.

El problema fundamental es si el elemento a considerar está destinado a usuarios finales o no:

- Si está destinado a usuarios finales, la Directiva EMC es de aplicación.
- Si está destinado a fabricantes o montadores, la Directiva EMC no se aplica.

Componentes o subconjuntos destinados a ser incorporados en un aparato por los usuarios finales

Un fabricante puede comercializar componentes o subconjuntos en el mercado que:

- El usuario final incorporará en un aparato.
- Están disponibles para los usuarios finales y es probable que los usen.

Estos componentes o subconjuntos se considerarán como aparatos en lo que se refiere a la aplicación de la Directiva EMC. Las instrucciones de uso adjuntas al componente o subconjunto deben incluir toda la información relevante, y asumir aquellos ajustes o conexiones que pueda efectuar un usuario final que no conozca las implicaciones de la Directiva EMC.

Algunos productos de accionamiento de potencia de velocidad variable se enmarcan dentro de esta categoría, por ejemplo un convertidor con envoltorio comercializado como un módulo de accionamiento completo (CDM) al usuario final que lo instala en su propio sistema. Todas las disposiciones de la Directiva EMC son de aplicación (Etiquetaje CE, Declaración de conformidad y documentación técnica).

Componentes o subconjuntos destinados a ser incorporados en un aparato por otro fabricante o montador

Los componentes o subconjuntos destinados a ser incorporados en un aparato o en otro subconjunto por otros fabricantes o montadores no se consideran “aparatos” y, por lo tanto, no están cubiertos por la Directiva EMC. Estos componentes incluyen las resistencias, los cables, los bloques de terminales, etc.

Algunos productos de accionamiento de potencia de velocidad variable se enmarcan dentro de esta categoría, por ejemplo un módulo de accionamiento básico (BDM). Deben ser montados por un montador profesional (por ejemplo, un cuadrista o un fabricante de sistemas) en un armario que no se encuentra en los términos de entrega del fabricante del BDM. De conformidad con la Directiva EMC, el requisito para el proveedor del BDM son las instrucciones de instalación y uso.

Nota:

El fabricante o montador del cuadro o sistema es responsable del Etiquetaje CE, la Declaración de conformidad y la documentación técnica.

Equipo acabado

Un equipo acabado es cualquier dispositivo o unidad que contenga componentes o subconjuntos eléctricos y/o electrónicos que proporcionen una función y tengan su propia envolvente. De forma análoga a los componentes, la interpretación de equipo acabado puede dividirse en dos categorías: puede destinarse a usuarios finales o a otros fabricantes o montadores.

Equipo acabado destinado a usuarios finales

Un dispositivo acabado se considera como aparato según la Directiva EMC si está destinado a usuarios finales, y por tanto debe cumplir todas las disposiciones aplicables de la Directiva.

Equipo acabado destinado a otro fabricante o montador

Si el equipo acabado está destinado exclusivamente a una operación de montaje industrial para su incorporación en otro aparato, no se considera como aparato según la Directiva EMC y, por lo tanto, la Directiva EMC no es de aplicación a tales equipos acabados.

Sistemas (combinación de equipos acabados)

Combinación de varios equipos acabados que es combinada y/o diseñada y/o ensamblada por la misma persona (es decir, el fabricante del sistema) y está destinada al mercado para su distribución como una unidad funcional única para un usuario final y para su instalación y funcionamiento como un conjunto que efectúa una tarea específica.

Todas las disposiciones de la Directiva EMC, definidas para un aparato, son de aplicación al conjunto en su totalidad.

Aparato

Un aparato es aquel equipo acabado, o combinación de estos, disponible comercialmente (es decir, en el mercado) como una unidad funcional única, destinada a un usuario final, que puede generar perturbaciones electromagnéticas o cuyo funcionamiento puede verse afectado por tales perturbaciones.

Instalación fija

Combinación particular de diversos tipos de aparatos, equipos y/o componentes que se montan, instalan y están destinados para su uso permanente en una ubicación predefinida.

Equipo

Cualquier aparato o instalación fija.

Capítulo 4 - Decisiones de compra para PDS

Qué necesita saber y hacer

A partir de la página 23, ofrecemos una guía paso a paso relacionada con sus requisitos para la compra de sistemas de accionamiento de potencia.

Punto clave:

Antes de pasar a la página 23, **debe conocer** los siguientes términos para PDS y sus componentes, que pueden resultar poco familiares para algunos usuarios.

2

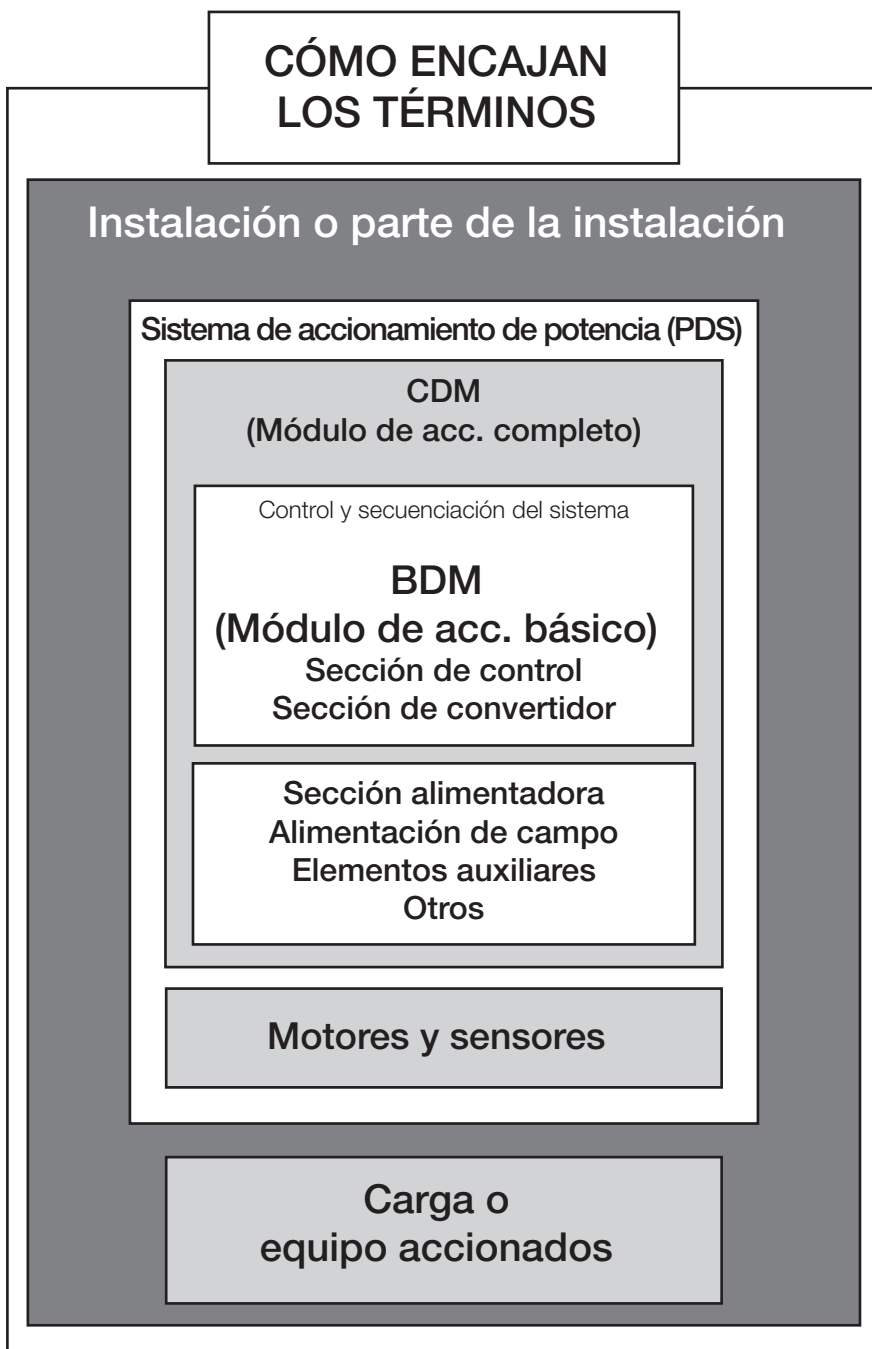
TÉRMINOS QUE DEBE CONOCER

1. Módulo de accionamiento básico (BDM): consta de la sección del convertidor y de los circuitos de mando necesarios para el par o la velocidad. Un BDM es la parte esencial del sistema de accionamiento de potencia que toma la alimentación eléctrica de una fuente de alimentación de una frecuencia constante de 50 Hz y la convierte en un modo variable para un motor eléctrico.

2. Módulo de accionamiento completo (CDM): consta del sistema de accionamiento sin el motor y los sensores acoplados mecánicamente al eje del motor. El CDM también incluye el módulo de accionamiento básico (BDM) y una sección alimentadora. Los dispositivos como un transformador de variación de fase de entrada para un convertidor de 12 pulsos se consideran parte del CDM.

3. Sistema de accionamiento de potencia, o PDS: se trata de un término empleado en toda esta Guía técnica. Un PDS incluye el convertidor de frecuencia y la sección de alimentación (el CDM y el BDM), motores, sensores, todo el cableado, los filtros, los cuadros y cualquier otro componente requerido para hacer que el PDS funcione de forma eficaz.

Nota: La carga no se considera parte del PDS, pero el CDM puede incorporar las secciones de alimentación y la ventilación.



Pase a la página 23 para descubrir en qué perfil de comprador se enmarca usted.

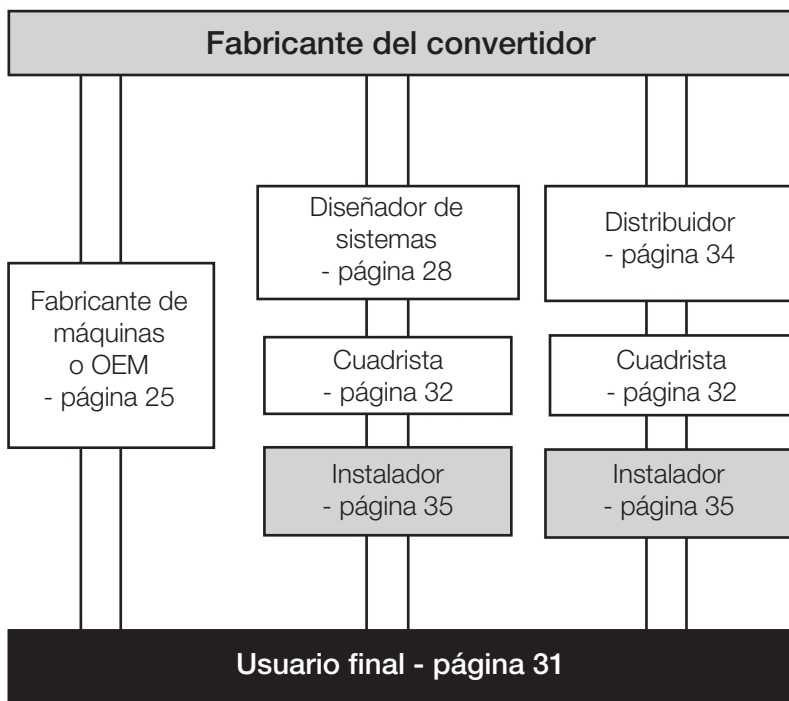
Para facilitar el uso de esta Guía técnica, también hemos identificado ciertos perfiles de comprador de los convertidores.

Identifique el perfil que guarde una mayor similitud con su trabajo y pase a la sección apropiada.

¿QUIÉN ES USTED?		SI ES USTED, PASE A LA PÁGINA...
<p>Fabricante de máquinas Es la persona que compra un PDS, CDM o BDM y otros componentes mecánicos o eléctricos, como una bomba, y los monta para formar una máquina. Nota: Una máquina se define como un conjunto de partes enlazadas o componentes, de los cuales al menos una se mueve. Incluye los actuadores adecuados, los circuitos de potencia y mando reunidos para una determinada aplicación, en particular para el proceso, el tratamiento, el traslado o el embalaje de material.</p>	25	
<p>Diseñador de sistemas Lleva a cabo todo el diseño eléctrico del sistema de accionamiento de potencia, y especifica todos los componentes que formarán parte del PDS.</p>	28	
<p>Usuario final Es el cliente final que va a emplear la máquina, PDS o CDM/BDM.</p>	31	
<p>Cuadrista Construye envolventes en las que un cuadrista va a instalar diversos componentes, incluyendo un CDM/ BDM y a veces el motor. De todas formas, la envolvente terminada no constituye una máquina.</p>	32	

Continúa en la página siguiente...

¿QUIÉN ES USTED?		SI ES USTED, PASE A LA PÁGINA...
<p>Distribuidor Actúa como el canal de distribución para la venta entre el fabricante del CDM/BDM y el usuario final, fabricante de máquinas, OEM, cuadrista o diseñador de sistemas.</p>		34
<p>Instalador Lleva a cabo toda la instalación eléctrica del PDS.</p>		35
<p>Fabricante de equipo original (OEM) Con el propósito de la compra de convertidores, un OEM se enmarcará normalmente dentro de la categoría de Fabricante de máquinas, Diseñador de sistemas o Cuadrista. Por ello, si se identifica como un OEM, consulte las páginas apropiadas acerca de cada una de estas ocupaciones.</p>		25 28 32



NOTA: Antes de leer esta sección le recomendamos encarecidamente que se familiarice con los términos detallados en las páginas 21-24.

Si es usted fabricante de máquinas y compra un PDS...

...Tiene las siguientes responsabilidades:

1. Dado que está construyendo una máquina completa, que incluye el acoplamiento de los motores al PDS y la protección mecánica entre otros aspectos, es usted responsable de la seguridad mecánica y eléctrica de la máquina en su totalidad como se especifica en la **Directiva de Máquinas**.

Por ello, el PDS es su responsabilidad final. Debe asegurarse de que todo el PDS satisfaga la **Directiva de Máquinas**. Sólo entonces se podrá aplicar el **Etiquetaje CE** a toda la máquina.

2. También es responsable de la seguridad eléctrica de todas las piezas del PDS como se especifica en la **Directiva de Baja Tensión**.

3. Debe asegurarse de que los equipos y componentes eléctricos se hayan fabricado de conformidad con la **Directiva EMC**. El fabricante de estas piezas es el responsable de la EMC para esa pieza en particular. No obstante, usted es el responsable de la EMC de la máquina. Puede seleccionar piezas eléctricas que no se ajusten a la directiva EMC, pero entonces usted será el responsable del cumplimiento por parte de las piezas.

Nota: Tenga en cuenta que el ensamblaje de componentes con el Etiquetaje CE podría no dar lugar automáticamente a un aparato que satisfaga los requisitos.

4. Debe asegurarse de que el PDS o sus componentes dispongan de **Declaraciones de conformidad** de acuerdo con los requisitos de seguridad eléctrica de la **Directiva de Baja Tensión**.
5. Debe poder garantizar a la **Autoridad competente** y a los clientes que la máquina se ha construido de conformidad con la **Directiva de Máquinas**, la **Directiva de Baja Tensión** y la **Directiva EMC**. Es posible que sea necesario emitir documentación técnica para demostrar dicha conformidad. Debe tener en cuenta que solamente usted tiene la responsabilidad del cumplimiento de las directivas.
6. El **Fabricante de máquinas** debe emitir una **Declaración de conformidad** de acuerdo con las directivas anteriores y debe fijarse el **Etiquetaje CE** a la máquina o sistema.

7. Cualquier máquina que no cumpla las normas debe retirarse del mercado.

Acciones que debe emprender

Para satisfacer la **Directiva de Máquinas** (ver página 55) tiene que:

- a. Cumplir la siguiente lista de comprobación de la seguridad mecánica.

El objeto es eliminar el riesgo de accidentes durante la vida de la máquina. No se trata de una lista completa; la lista detallada se halla en la Directiva de Máquinas:

- Elimine todos los riesgos posibles, tomando las medidas de protección apropiadas si no se pueden eliminar algunos riesgos.
- Informe a los usuarios de los riesgos residuales; indique si se requiere formación y subraye la necesidad de equipo de protección personal.
- El diseño, la construcción y las instrucciones de la máquina deben tener en cuenta todo uso anormal.
- En las condiciones previstas de uso, deben reducirse la incomodidad, el cansancio y el estrés del operador.
- El fabricante debe tener en cuenta las limitaciones del operador resultantes del uso de equipo de protección personal.
- La maquinaria debe contar con todo el equipo esencial para permitir su uso sin riesgos.

- b. Cumplir la siguiente lista de comprobación para la seguridad eléctrica: **Para garantizar la seguridad eléctrica de todas las piezas del PDS en la Directiva de Baja Tensión (véase la página 56) debe cumplir la siguiente lista de comprobación de seguridad, que no es necesariamente completa.**

- La alimentación eléctrica debería equiparse con un dispositivo de desconexión accionado a mano y con dispositivos de emergencia para la desconexión de la alimentación en caso de arranque inesperado.
- El equipo deberá proporcionar protección para el personal contra descargas eléctricas por contacto directo o indirecto.

El equipo se protege contra los efectos de:

- Sobreintensidad procedente de un cortocircuito.
- Intensidad de sobrecarga.
- Temperaturas anormales.
- Pérdida o reducción de la tensión de alimentación.
- Sobrevelocidad de las máquinas o los elementos de la máquina.

El equipo eléctrico está equipado con un circuito de unión equipotencial que consta de:

- Terminal PE.
 - Partes estructurales conductoras del equipo eléctrico y de la máquina.
 - Conductores protectores en el equipo o la máquina.
- Los circuitos de mando y las funciones de control garantizan el funcionamiento seguro incluyendo los bloqueos necesarios, el paro de emergencia, la prevención de re arranque automático, etc.

Definido en la página 40

c. Compile un **Archivo técnico** para la máquina, incluyendo el PDS.

Punto clave:

Generalmente, debe llevar el **Etiquetaje CE** y tener una **Declaración de conformidad**.

Para las máquinas que suponen un elevado riesgo de accidente, se requiere una **Certificación de tipo** (véase la página 46) de un **Órgano notificado**. Esta maquinaria se incluye en el Anexo IV de la **Directiva de Máquinas**.

La **Certificación de tipo** emitida debería incluirse en el **Archivo técnico** para la máquina o componente de seguridad. Consulte la página 40 ahora.

- 2. Declaraciones de conformidad de cada uno de los proveedores de componentes cuyos productos constituyan el PDS e incorpórelas a la documentación técnica, con referencia a las tres directivas. Si compra un PDS de un Diseñador de sistemas (ver a continuación), éste le debería proporcionar todas

las Declaraciones. Si un diseñador de sistemas o un proveedor de componentes no puede proporcionar la Declaración de conformidad, la responsabilidad de demostrar el cumplimiento de conformidad con la Directiva EMC o Directiva de Baja Tensión recae en el Fabricante de máquinas.

3. Pase esta documentación técnica a un Órgano notificado. El fabricante de la máquina NO DEBERÍA pasar el Archivo a un usuario final. Basándose en la documentación técnica, obtenga un Certificado de adecuación o un Informe técnico de un Órgano notificado.

Definido en las páginas 43, 45 y 46

4. Emita una Declaración de conformidad para toda la máquina. Sólo entonces podrá aplicar el Etiquetaje CE.
5. Pase la Declaración de conformidad relacionada con las tres directivas al usuario final de la máquina.
6. Aplique el **Etiquetaje CE** a la máquina.
7. ¡Enhorabuena! Acaba de cumplir con éxito con los requisitos principales para un manejo seguro y eficaz de la máquina.

Si es usted diseñador de sistemas y compra un PDS

Tiene las siguientes responsabilidades:

1. El PDS es un componente complejo de la máquina. Por ello, la **Directiva de Máquinas** debe cumplirse emitiendo una **Declaración de incorporación**.
2. Dado que el PDS no es una máquina, las únicas Directivas que se deben cumplir son las de **Baja Tensión** y **EMC**.
3. La responsabilidad de la **Declaración de conformidad** y de la aplicación del **Etiquetaje CE** recae en el Diseñador de sistemas y en el proveedor de los componentes que constituyen el sistema de accionamiento de potencia.

El Diseñador de sistemas tiene que decidir si va a colocar su producto en el mercado como una unidad funcional única

- Si la respuesta es Sí, el producto se clasifica como un sistema.
- Si la respuesta es NO, el producto se clasifica como una instalación.

- A.** Si el producto se clasifica como un sistema, el diseñador de sistemas tiene que elegir una de las siguientes alternativas:

Vía 1

Todos los componentes tienen cumplimiento EMC

1. **El comportamiento EMC se basa en el rendimiento de un componente.**
2. La responsabilidad recae en los **Proveedores de componentes** en cuanto al Etiquetaje CE de los componentes individuales **complejos**.
3. El PDS es un Sistema de acuerdo con la **Directiva EMC** (si se comercializa como una unidad funcional única).
4. La **Declaración de conformidad**, así como las instrucciones para el empleo, deben hacer referencia al sistema en su totalidad. El diseñador de sistemas asume las responsabilidad en cuanto al cumplimiento de la Directiva.

Nota 1: El diseñador de sistemas es el responsable de elaborar las instrucciones para el empleo del sistema en particular en su totalidad.

Nota 2: Tenga en cuenta que el ensamblaje de dos o más componentes con el Etiquetaje CE podría no dar lugar automáticamente a un sistema que satisfaga los requisitos.

5. No se requiere **Etiquetaje CE** para un sistema como conjunto, siempre que cada pieza lleve el Etiquetaje CE.

Acciones que debe emprender

- 1. Siga todas las **Directrices de instalación** emitidas por cada proveedor de componentes.
- 2. Emita **instrucciones de uso** para manejar el sistema.
- 3. Emita documentación técnica para el sistema.
- 4. Emita una **Declaración de conformidad**.
- 5. **NO** emita el **Etiquetaje CE**.

Vía 2

Componentes sin cumplimiento EMC

1. El comportamiento EMC se ha diseñado a nivel del sistema (no existe coste acumulado por filtros específicos para el dispositivo, etc).
2. La responsabilidad recae en el **Diseñador de sistemas** que decide la configuración (emplazamiento o un determinado filtro, etc).
3. El PDS es un sistema de conformidad con la **Directiva EMC** (comercializado en el mercado como una única unidad funcional).
4. La **Declaración de conformidad** y el **Etiquetaje CE** se requieren para el Sistema.

Acciones que debe emprender

- 1. Siga las **Directrices para la instalación** emitidas por cada proveedor de componentes.
- 2. Optimice la construcción de la instalación para garantizar que el diseño satisfaga el comportamiento EMC requerido, es decir, la ubicación de los filtros.

Definido en las páginas 36 - 46

- 3. Emita **instrucciones de uso** para manejar el sistema.
- 4. Emita **documentación técnica** para el sistema.
- 5. Emita una **Declaración de Conformidad** y el **Etiquetaje CE**.

B. Si el producto es una instalación, el Diseñador de sistemas puede seguir una vía:

Todos los componentes tienen cumplimiento EMC

1. **El comportamiento EMC se basa en el rendimiento de un componente.**
2. La responsabilidad recae en los **Proveedores de componentes** en cuanto al Etiquetaje CE de los componentes individuales **complejos**.
3. El PDS es una **Instalación** de conformidad con la **Directiva EMC**.

4. No se requiere **Declaración de conformidad** o **Etiquetaje CE** para una instalación fija (como una emisora de radio de difusión exterior). Para el resto de casos, se requieren ambos.

Acciones que debe emprender

- 1. Siga todas las **Directrices de instalación** emitidas por cada proveedor de componentes.
- 2. Transfiera todas las Directrices de instalación y Declaraciones de conformidad para cada uno de los componentes, tal como los emiten los proveedores, al Fabricante de máquinas.
- 3. **NO** emita una **Declaración de conformidad** o **Etiquetaje CE**, ya que no se permiten para las **instalaciones fijas**.

2

Si es usted usuario final y compra un CDM/BDM o PDS

Punto clave:

Un **Usuario final** puede llegar a un acuerdo con el proveedor del convertidor para que actúe como el **Fabricante de máquinas**. De todos modos, el **Usuario final** sigue siendo responsable de la seguridad de la máquina.

El proveedor que actúa como el **Fabricante de máquinas** emitirá una **Declaración de conformidad** al término del trabajo.

Cuando un **Cuadrista** intermediario incorpora un CDM/BDM a un cuadro, crea una parte del PDS.

El cuadrista tiene las mismas responsabilidades que el fabricante del convertidor.

...Tiene las siguientes responsabilidades

1. La total seguridad mecánica y eléctrica de la máquina en la que se encuentra el convertidor, como se especifica en la **Directiva de Máquinas**.
2. La seguridad eléctrica del convertidor como se especifica en la **Directiva de Baja Tensión**.
3. Garantizar que el convertidor tenga una **Declaración de conformidad** de acuerdo con los requisitos de seguridad eléctrica de la **Directiva de Baja Tensión**.
4. Poder demostrar a las autoridades que la máquina en la que se está instalando el convertidor se ha construido de conformidad con la **Directiva de Máquinas** y la **Directiva de Baja Tensión**.

5. El fabricante del convertidor es el responsable de determinar el comportamiento EMC del convertidor.
6. El comportamiento EMC resultante es responsabilidad del montador del producto final, siguiendo las recomendaciones y directrices del fabricante.

Acciones que debe emprender

Debe completarse lo siguiente por parte del Usuario final directamente o por parte de los terceros implicados en la construcción de la máquina.

1. Para satisfacer la **Directiva de Máquinas** (consulte la página 55) tiene que **seguir las Acciones listadas para un Fabricante de máquinas en las páginas 25-28**.
2. Siga la instrucción para la instalación emitida por los fabricantes para cumplir los requisitos de la **Directiva EMC** y la **Directiva de Baja Tensión**.
3. Asegúrese de que el equipo (CDM/BDM/PDS) se maneja de conformidad con las instrucciones del fabricante para garantizar su correcto manejo.

Si es usted cuadrista y compra un CDM/BDM

...Tiene las siguientes responsabilidades:

1. El cuadrista tiene dos opciones:

Opción A - Comprar componentes sin Etiquetaje CE

Ello podría ahorrar dinero al cuadrista ya que compra componentes que no se han comprobado para la EMC. De todas formas, la responsabilidad es del cuadrista y ello derivará en costes considerables ya que debe comprobarse todo el cuadro.

Si el cuadrista compra componentes sin Etiquetaje CE, es posible que tenga que hacerse que el convertidor cumpla los requisitos sin comprobaciones adicionales si los componentes se han comprobado. De todas maneras, los componentes comprobados no llevan el Etiquetaje CE pero deben tener instrucciones adecuadas para la instalación. Son estas instrucciones las que deben satisfacerse de forma demostrable.

Opción A - Acciones para afrontar las responsabilidades

1. Siga las **Directrices para la instalación** emitidas por cada proveedor de componentes.

- 2. Optimice la construcción de la instalación para garantizar que el diseño satisfaga el comportamiento EMC requerido, es decir, la ubicación de los filtros.
- 3. Emita **documentación técnica** para el sistema. Definido en las páginas 36 a 46.
- 4. Si escoge efectuar la comprobación usted mismo debe hacer referencia a las Directivas EMC:

2004/108/CE

Y a la norma armonizada:

EN 61800-3

Y debe hacer referencia a la Directiva de Baja Tensión:

2006/95/CE

Y a la norma armonizada correspondiente:

EN 61800-5-1 o EN 50178

- 5. Cuando se complete la comprobación, los resultados tienen que incluirse en la **documentación técnica (TD)** del cuadro.
- 6. Para demostrar la conformidad, usted mismo puede comprobar la **documentación técnica**. Asimismo, puede utilizar un **Órgano notificado** para la comprobación.
- 7. Debe emitir una **Declaración de conformidad** y el **Etiquetaje CE** para el cuadro.

Opción B - Comprar componentes con Etiquetaje CE

Opción B - Acciones para satisfacer estas responsabilidades

- 1. La compra de componentes con Etiquetaje CE crea un sistema o un aparato (consulte las páginas 17-20) en función de la naturaleza del cuadro.
- 2. Aunque el cuadrista no tiene que llevar a cabo comprobaciones, debe asegurarse de que cumple las directrices de instalación que facilitan los fabricantes de los componentes.
Nota: Tenga en cuenta que la combinación de dos o más componentes con Etiquetaje CE quizá no produzca de forma automática un sistema que satisfaga los requisitos.

- 3. ¡Atención! Estas directrices pueden ser muy distintas de las que se facilitan para la instalación normal dado que los componentes estarán muy cercanos entre sí.
- 4. Emita **instrucciones de uso** para manejar el sistema o **aparato**.
- 5. Emita **documentación técnica**.
- 6. Emita una **Declaración de conformidad**.
- 7. Aplique el **Etiquetaje CE** a su cuadro en el caso de un aparato. En el caso de un sistema, **NO** aplique el **Etiquetaje CE**.

Acciones adicionales

El cuadro puede venderse en el mercado o ser empleado como parte de una máquina. Para cada opción existen unos requisitos diferentes:

- 1. Si sabe que el cuadro va a emplearse como parte de una máquina, debe pedir al fabricante del CDM/BDM una **Declaración de incorporación**.
- 2. La **Declaración de incorporación** debe suministrarse con el cuadro al **Fabricante de máquinas**, pero **NO** debe añadirse el **Etiquetaje CE** según la Directiva de Máquinas. Ello se debe a que el **Etiquetaje CE** siempre requiere una **Declaración de conformidad**.

Punto clave:

La **Declaración de incorporación** **NO PUEDE** emplearse para aplicar el **Etiquetaje CE**.

- 3. El **Fabricante de máquinas** necesitará esta **Declaración de incorporación** ya que tiene que elaborar una **documentación técnica (TD)** para la máquina y en el archivo debe incluir todas las declaraciones.

Si es usted distribuidor y compra un CDM/BDM...

...Tiene las siguientes responsabilidades:

- 1. Si un distribuidor vende productos en su embalaje, como CDM/BDM (convertidores), directamente del fabricante, su única responsabilidad es pasar las **Directrices de instalación** al Usuario final, **Fabricante de máquinas** o **Diseñador de sistemas**. Además, la **Declaración de conformidad** debe pasarse al **Fabricante de máquinas** o **Diseñador de sistemas**.

2. Las **Directrices de instalación** y la **Declaración de conformidad** están disponibles del fabricante.

Acciones que debe emprender para satisfacer estas responsabilidades

1. Pase todas las **Directrices de instalación** y **Declaraciones de conformidad** al **Usuario final, Fabricante de máquinas** o **Diseñador de sistemas**.

Si es usted instalador y compra un CDM/BDM o PDS...

2

...Tiene las siguientes responsabilidades:

1. Debe asegurarse de que se observen las **Directrices de instalación** del **Fabricante de máquinas** y/o **Diseñador de sistemas**.

Acciones que debe emprender para satisfacer estas responsabilidades

1. Siga las **Directrices de instalación** del **Fabricante de máquinas** y/o **Diseñador de sistemas**.
2. Véase la Guía técnica N.º 3 para directrices y recomendaciones de instalación.

Capítulo 5 - Terminología

Documentación técnica (DT)

APLICADO A: Equipo eléctrico

RESPONSABILIDAD: Fabricante del equipo eléctrico, diseñador de sistemas, cuadrista, OEM, instalador

REQUERIDO POR: Directiva EMC, Directiva de Baja Tensión

¿Qué es la documentación técnica?

La **documentación técnica (TD)** debe proporcionarse para todo el equipo o sistema y, si se requiere, se usa para demostrar ante la Autoridad competente que se cumplen los requisitos esenciales de la **Directiva EMC** (véase la página 57) y la Directiva de Baja Tensión (véase la página 56).

El TD consta de tres partes:

1. Una descripción del producto.
2. Procedimientos para garantizar la conformidad del producto a los requisitos.
3. Una declaración de un órgano notificado si se sigue la vía de evaluación por terceros.

Nota: El uso de un órgano notificado es voluntario y la decisión puede tomarla el fabricante.

Punto clave:

El contenido completo de la documentación técnica se detalla en las páginas 36 a 39.

¿Por qué se considera importante la documentación técnica?

Cualquiera que comercialice un producto dentro de la UE debe poder demostrar que el producto satisface los requisitos de la **Directiva del Consejo de la UE** apropiada y debe poder probarlo ante una **Autoridad competente** sin necesidad de comprobaciones adicionales.

La documentación técnica permite la elaboración de la **Declaración de conformidad** apropiada.

¿Reciben siempre los clientes una copia de la documentación técnica?

El contenido de la documentación técnica se destina a las Autoridades, y por ello el fabricante de equipo eléctrico no tiene que facilitarla en absoluto al cliente.

De todas formas, dado que el cliente tiene que saber si el producto se ajusta a las normas, obtendrá la confirmación a través de la documentación entregada con el producto. No se necesita proporcionar una Declaración de conformidad con el producto, pero es posible que el usuario final se la pida al fabricante.

¿Cuál es la vida de la documentación técnica?

Las Autoridades deben poder acceder a cualquier documentación técnica durante 10 años después de la entrega del producto correspondiente.

¿Cómo garantizo que se efectúen las pruebas?

Todo el sistema se basa en la autocertificación y la buena fe. En diversas partes de Europa los métodos para garantizar el cumplimiento varían. La supervisión de estas reglamentaciones se lleva a cabo a través del control de mercado por parte de una Autoridad competente. Si el equipo no cumple los requisitos de la Directiva EMC y la Directiva de Baja Tensión, las Autoridades competentes pueden emplear la cláusula de salvaguardia de la Directiva EMC (retirar el producto del mercado, emprender acciones legales).

¿Pueden ayudar más los fabricantes de convertidores?

Los fabricantes aceptan que existe la necesidad de colaborar más estrechamente con los OEM y los Fabricantes de máquinas en los casos en los que el convertidor puede montarse dentro de la máquina. Debería emplearse un diseño o conjunto estándar para que no tengan que crearse nuevas partes de la documentación técnica.

De todas formas, el concepto de montar diversos convertidores en un centro de control de motores (CCM) debe estudiarse con más atención por parte de los especificadores de sistemas, ya que la suma de las emisiones de alta frecuencia para determinar los efectos en los terminales del CCM es un tema complejo y las posibilidades de acoplamientos cruzados se multiplican.

Cómo elaborar la DT

1. Descripción del producto

(Nota: Puede fotocopiar estas páginas y emplearlas como una lista de comprobación con casillas de verificación)

i. Identificación del producto

- a. Nombre comercial.
- b. Número de modelo.
- c. Nombre y dirección del fabricante o agente.
- d. Una descripción de la función prevista del aparato.
- e. Cualquier limitación del entorno de funcionamiento previsto.

ii. Descripción técnica

- a. Un diagrama de bloques que muestre la relación entre las distintas áreas funcionales del producto.
- b. Diagramas técnicos relevantes, incluyendo los diagramas de circuitos, los diagramas de montaje, la lista de piezas y los diagramas de instalación.
- c. Descripción de las interconexiones previstas con otros productos, dispositivos, etc.
- d. Descripción de las variantes del producto.

2. Procedimientos para garantizar la conformidad del producto

i. Detalles de los elementos de diseño significativos

- a. Características del diseño adoptadas especialmente para solucionar problemas de EMC y de seguridad eléctrica.
- b. Especificaciones de los componentes relevantes.
- c. Una explicación de los procedimientos empleados para controlar las variantes en el diseño junto con una explicación de los procedimientos empleados para evaluar si un cambio determinado en el diseño requerirá una nueva comprobación del aparato.
- d. Detalles y resultados de todo modelo teórico de los aspectos del rendimiento del aparato.

- e. Una lista de las normas aplicadas completamente o en parte.
- f. La descripción de la solución adoptada para cumplir la directiva.

ii. Pruebas (a presentar cuando corresponda)

- a. Una lista de las comprobaciones EMC y de seguridad eléctrica llevadas a cabo en el producto, e informes de comprobación relacionados, incluyendo los detalles de la comprobación, etc.
- b. Una descripción de los procesos lógicos empleados para decidir si las comprobaciones efectuadas en el aparato eran adecuadas para garantizar el cumplimiento de la directiva.
- c. Una lista de las comprobaciones llevadas a cabo en los subconjuntos críticos, e informes de comprobación y certificados relacionados.

3. Si se selecciona una declaración de un órgano notificado

Ello incluirá:

- i. Referencias al estado de construcción exacto del aparato evaluado.
- ii. Comentarios sobre la documentación técnica.
- iii. Declaración de los trabajos realizados para verificar el contenido y la autenticidad de la información de diseño.
- iv. Comentario, cuando proceda, de los procedimientos empleados para controlar las variantes, y de los factores ambientales, de instalación y mantenimiento que pueden ser relevantes.

4. Acciones del órgano notificado

El **Órgano notificado** estudiará la **documentación técnica** y emitirá una declaración que debería incluirse en esta **documentación**.

Nota: Al compilar la **documentación técnica** es posible que necesite todas las **declaraciones de los proveedores**, es decir, la **Declaración de conformidad** y la **Declaración de incorporación**, en función de las piezas, para garantizar que lleven el **Etiquetaje CE**.

Archivo técnico (para aspectos de seguridad mecánica)

APLICADO A: Máquinas y componentes de seguridad

RESPONSABILIDAD: Fabricante de máquinas/Diseñador de sistemas

REQUERIDO POR: Directiva de Máquinas

¿Qué es un archivo técnico?

Un archivo técnico es el archivo de diseño interno que debería mostrar cómo y dónde se cumplen las normas y es todo lo que se requiere para la autocertificación del equipo por la vía del cumplimiento de las normas.

Si se incluye una Declaración de incorporación en un pliego de documentos y demuestra que se cumplen las partes correspondientes de las normas y se limita a informar al usuario de que debe cumplir las normas con otras piezas de la máquina, es posible emplearla como parte del archivo técnico.

Cómo elaborar un archivo técnico

Dibujos y diagramas

1. Dibujos globales de la máquina.
2. Diagramas del circuito de mando.

Salud y seguridad

1. Todos los dibujos, cálculos y resultados de las comprobaciones empleados para comprobar la conformidad de la máquina con los requisitos esenciales de salud y seguridad.

Diseño de la máquina

1. Listas de los requisitos de salud y seguridad esenciales, **Normas armonizadas**, otras normas y especificaciones técnicas empleadas al diseñar la máquina.
2. Descripción de los métodos empleados para eliminar los riesgos provocados por la máquina.

Otros certificados requeridos

1. Un informe técnico o certificado emitido por un **Órgano notificado**, si se requiere.

2. Una copia de las instrucciones para la máquina.
3. Para las máquinas producidas en serie, las medidas de control que se emplean para garantizar la fabricación posterior de conformidad con la Directiva.

Certificado de adecuación

APLICADO A:	Máquinas y componentes de seguridad
RESPONSABILIDAD:	Órgano notificado/Fabricante de máquinas
REQUERIDO POR:	Directiva de Máquinas

2

¿Y si no se pueden aplicar plenamente las normas?

En este caso la idoneidad del **Archivo técnico** se prueba mediante un **Certificado de adecuación** emitido por un **Órgano notificado**.

Cómo obtener un Certificado de adecuación

El **Certificado de adecuación** es un documento elaborado por un **Órgano notificado**. Cuando el Órgano ha establecido que el **Archivo técnico** contiene toda la información necesaria, se emite el **Certificado de adecuación**.

Punto clave:

El **Certificado de adecuación** proporcionado debería incluirse en el **Archivo técnico**.

Declaración

APLICADO A:	Equipo eléctrico
RESPONSABILIDAD:	Órgano notificado
REQUERIDO POR:	Directiva EMC

Cuando se requiere la declaración

La vía principal para que el fabricante (o su representante autorizado en la Unión) demuestre el cumplimiento es utilizar métodos de control de producción internos. Si el fabricante lo elige, puede usar otro método basado en una evaluación de un **órgano notificado**.

Cómo obtener la declaración

El fabricante debe presentar la **documentación técnica** al **Órgano notificado** y solicitarle una evaluación. El fabricante debe especificar al **Órgano notificado** qué aspectos de los requisitos esenciales debe evaluar.

El **Órgano notificado** debe revisar la **documentación técnica** y evaluar si demuestra correctamente el cumplimiento de los requisitos de la **Directiva**. Si se confirma el cumplimiento del aparato, el **Órgano notificado** debe emitir una declaración de confirmación.

Punto clave:

La **Declaración** proporcionada debe incluirse en la **documentación técnica**.

Informe

APLICADO A: Equipo eléctrico

RESPONSABILIDAD: Órgano notificado/Órgano competente

REQUERIDO POR: Directiva de Baja Tensión

¿Y si no se pueden aplicar plenamente las normas?

En caso de dificultades, el fabricante o importador puede facilitar un Informe emitido por un Órgano notificado. Este informe se basa en el Archivo técnico.

Cómo obtener un informe

El informe es un documento elaborado por un Órgano notificado. Cuando el Órgano establece que la documentación técnica contiene toda la información necesaria y que el equipo cumple los requisitos de la Directiva de Baja Tensión, se emite el Informe.

Punto clave:

El Informe proporcionado debería incluirse en la documentación técnica.

Declaración de conformidad (para aspectos de EMC y de seguridad eléctrica)

APLICADO A: Equipo eléctrico y equipo eléctrico de máquinas

RESPONSABILIDAD: Fabricante de equipos

REQUERIDO POR: Directiva de Baja Tensión y Directiva EMC

2

Cómo obtener una Declaración de conformidad

Tiene que proporcionar lo siguiente:

1. una referencia a la(s) Directiva(s),
2. una identificación del aparato al que hace referencia (incluyendo nombre, tipo y número de serie);
3. el nombre y la dirección del fabricante y, según corresponda, el nombre y la dirección de su representante autorizado en la Unión;
4. una referencia fechada a las especificaciones bajo las que se declara la conformidad;
5. la fecha de la declaración;
6. la identificación y la firma de la persona autorizada para obligar al fabricante o a su representante autorizado.

Declaración de conformidad (para aspectos de seguridad mecánica)

APLICADO A: Máquinas

RESPONSABILIDAD: Fabricante de máquinas

REQUERIDO POR: Directiva de Máquinas

Cómo obtener una Declaración de conformidad

Tiene que proporcionar lo siguiente:

1. nombre de la empresa y dirección completa del fabricante o de su representante autorizado;
2. nombre y dirección de la persona autorizada para compilar el archivo técnico, que debe estar establecida en la Unión;

3. descripción e identificación de la maquinaria, incluyendo la denominación genérica, función, modelo, tipo, número de serie y nombre comercial;
4. una declaración que exprese que la maquinaria cumple todas las disposiciones pertinentes de la Directiva de Máquinas;
5. cuando proceda, el nombre, la dirección y el número de identificación del Órgano notificado que ha llevado a cabo el examen de tipo CE y el número del certificado del examen de tipo CE;
6. cuando proceda, el nombre, la dirección y el número de identificación del Órgano notificado que ha aprobado el sistema de calidad total;
7. una lista de las normas armonizadas o de otras normas técnicas y especificaciones usadas;
8. el lugar y la fecha de la declaración, así como la identificación y la firma de la persona autorizada para redactar la declaración en nombre del fabricante o de su representante autorizado.

Declaración de incorporación

APLICADO A: Máquinas o equipos destinados a su incorporación en otra maquinaria

RESPONSABILIDAD: Fabricante de convertidores/Fabricante de máquinas/Cuadrista

REQUERIDO POR: Directiva de Máquinas

¿Qué es una declaración de incorporación?

Los fabricantes de convertidores tienen que satisfacer las partes relevantes de la Directiva de Máquinas y proporcionar una Declaración de incorporación que manifieste que el convertidor no cumple las condiciones por sí solo y que tiene que incorporarse a otros equipos.

Esta Declaración demostrará las normas que se han aplicado a las piezas del sistema que corresponden al fabricante.

Esta declaración incluye una restricción para el usuario relativa a la puesta en servicio del equipo hasta que la maquinaria en la que se ha incorporado, o de la que debe ser un componente, se haya estimado y declarado que se ajusta a las disposiciones de la Directiva de Máquinas y la legislación de implementación nacional, es decir, en su totalidad incluyendo el equipo al que se hace referencia en esta Declaración.

La Declaración lista las normas relacionadas con las Directivas de Baja Tensión y de Máquinas que cumple el fabricante.

Finalmente, subraya que todo el equipo debe cumplir las disposiciones de la Directiva.

Simplemente, el fabricante pasa la responsabilidad de la máquina al fabricante de sistemas o máquinas.

¿Hay alternativa a este tipo de declaración?

2

No. Debe comprender que dado que es posible que el fabricante suministre solamente una pieza de una máquina, como el inversor, está legalmente obligado a garantizar que la persona que monte el sistema compruebe que es seguro.

Sólo entonces podrá el fabricante de máquinas o sistemas emplear la Declaración de incorporación en su archivo técnico de la máquina.

Punto clave:

La mayoría de los fabricantes incluirán una Declaración de incorporación que cubra la Directiva de Máquinas para todos los productos PDS construidos.

Contenido de una Declaración de incorporación

1. nombre de la empresa y dirección completa del fabricante o de su representante autorizado;
2. descripción e identificación de la maquinaria parcialmente completada, incluyendo la denominación genérica, la función, el modelo, el tipo, el número de serie y el nombre comercial;
3. una declaración que exprese qué requisitos esenciales de la Directiva se aplican y se cumplen;
4. un compromiso de transmitir, en respuesta a una solicitud razonada por las autoridades nacionales, información relevante de la maquinaria parcialmente completada;
5. una declaración de que la maquinaria parcialmente completada no debe ponerse en servicio hasta que la maquinaria final en la que deba incorporarse haya sido declarada de conformidad con las disposiciones de la Directiva;
6. el lugar y la fecha de la declaración, así como la identificación y la firma de la persona autorizada para redactar la declaración en nombre del fabricante o de su representante autorizado.

Certificación de tipo

APLICADO A: Máquinas y componentes de seguridad

RESPONSABILIDAD: Fabricante de máquinas/Órgano aprobado

REQUERIDO POR: Directiva de Máquinas

Cómo obtener la Certificación de tipo

La **Certificación de tipo** debe ser elaborada por un **Órgano notificado** que determinará que la unidad suministrada, junto con un **Archivo técnico**, pueden emplearse con seguridad y además que se han cumplido correctamente las **Normas**.

Cuando la **Certificación de tipo** haya determinado lo anterior, se emitirá un **Certificado de examen de tipo**.

Capítulo 6 - Autoridades y órganos

La responsabilidad de la conformidad de los productos se asigna al fabricante. Si existe alguna duda acerca de la conformidad, las Autoridades pueden solicitar la documentación técnica para demostrar que el producto cumple las directivas referentes al producto.

Al evaluar la conformidad del producto, un fabricante puede emplear a terceros para examinar la conformidad.

Existen los siguientes tipos de autoridades y órganos:

Autoridad competente

Una **autoridad competente** en cualquier país de la UE o el EEE supervisa los mercados para impedir que se vendan y comercialicen productos peligrosos. También puede retirar tales productos del mercado.

Órgano notificado

Un **órgano notificado** emite Certificados de tipo para productos que tienen sus propias directivas y/o requieren comprobación de tipo.

Para determinar una autoridad competente u **órgano notificado** adecuados puede contactar con:

Comisión UE

Dirección General de Empresa e Industria

Centro de documentación e información

BREY 5 / 150

B-1049 Bruselas

Bélgica

Tel.: +32 2 296 45 51

O puede hacerlo a través del sitio web:

http://ec.europa.eu/enterprice/electr_equipment/

Capítulo 7 - Normas y Directivas

El empleo de normas es voluntario, pero el cumplimiento de las Directivas sin el empleo de Normas armonizadas es muy complicado.

Existen dos modos de demostrar que un sistema de accionamiento de potencia o una parte de éste cumplen las normas:

- Empleo de Normas armonizadas (EN).
- Mediante documentación técnica cuando no existen Normas armonizadas, o si no pueden aplicarse todas las partes de la Norma armonizada.

Punto clave:

Se recomienda el empleo de documentación técnica incluso cuando las normas se han armonizado, ya que ello facilita demostrar la conformidad posteriormente, si lo requieren las Autoridades.

¿Directiva o norma?

La legislación de la Unión Europea se define mediante distintas directivas.

Las directivas relativas a los sistemas de accionamiento de potencia se conocen como Directivas de nueva aproximación, lo que implica que no incluyen cifras exactas o límites para los productos, sino requisitos esenciales para la salud y la seguridad que hacen que la aplicación de las Normas armonizadas apropiadas sea obligatoria.

Los requisitos de las Directivas se establecen claramente en las Normas. Las Normas proporcionan cifras y límites exactos para los productos.

La responsabilidad de la definición de las normas en Europa recae en tres comités: CEN, para áreas de seguridad común, CENELEC, para equipo eléctrico y ETSI, para telecomunicaciones.

Normas armonizadas para PDS

Para eliminar las barreras técnicas al comercio en países de la UE o el EEE, las normas se armonizan en los estados miembros.

En el procedimiento de armonización, todos los estados miembros están implicados en el desarrollo de las propuestas del Comité para su propia norma nacional. Una norma se convierte en armonizada cuando se publica en el Boletín Oficial de la UE.

La idea consiste en que si un producto se ajusta a la **Norma armonizada** se ha fabricado legalmente, y si se comercializa en uno de los países puede comercializarse en el resto de los países miembros.

Cómo reconocer una norma europea

Las Normas armonizadas cuentan con el siguiente formato:

XX EN 60204-1

donde

XX = el prefijo nacional (por ejemplo BS = RU; SFS = Finlandia)
 EN = la abreviatura de Euronorma
 60204-1 = un ejemplo de número de norma

La numeración de las normas europeas sigue una secuencia estructurada y organizada:

- EN 50225:1996 (el año de disponibilidad de la EN se separa del número con dos puntos)
- EN 50157-2-1:1996 (el número de la parte se indica con un guión)

Los dos primeros números indican el origen de la norma:

- 40xxx a 44xxx cubren dominios de actividades CEN/ CENELEC comunes que pertenecen al campo de TI
- 45xxx a 49xxx cubren dominios de actividades CEN/ CENELEC comunes que no pertenecen al campo de TI
- 50xxx a 59xxx cubren actividades CENELEC, donde
 - EN 50xxx hace referencia a las normas emitidas solamente por CENELEC
 - EN 55xxx hace referencia a la implementación de los documentos CISPR
- 60000 a 69999 hacen referencia a la implementación CENELEC de los documentos IEC con o sin cambios

Las normas europeas son adoptadas y confirmadas por los países miembros de CENELEC añadiendo el prefijo antes de la identificación de la norma (por ejemplo: SFS-EN 60601-1, DIN EN 60601-1, BS EN 60601-1).

También hay algunas pistas acerca del estado de una norma:

prEN 50082-2 = propuesta para una norma enviada a los estados miembros

ENV 50 = norma previa que está en vigor durante 3 años para obtener una experiencia práctica de los estados miembros

Respuestas a sus preguntas

¿Qué normas se relacionan directamente con los convertidores?

En este momento, existen tres **Normas específicas de producto** relacionadas directamente con el cumplimiento de las Directivas UE. Se conocen como “EN 61800-3 Sistemas de accionamiento de potencia eléctricos de velocidad ajustable. Parte 3: Requisitos EMC y métodos de prueba específicos.”, vinculada con la **Directiva EMC**, “EN 61800-5-1 Sistemas de accionamiento de potencia eléctricos de velocidad ajustable. Parte 5-1: Requisitos de seguridad: Eléctricos, térmicos y energéticos.”, vinculada con la **Directiva de Baja Tensión** y “EN 61800-5-2 Sistemas de accionamiento de potencia eléctricos de velocidad ajustable. Parte 5-2: Requisitos de seguridad funcional”, vinculada con la **Directiva de Máquinas**.

Además, hay otras normas que es necesario tener en cuenta:

- EN 60204-1, Equipo eléctrico de las máquinas, que, además de ser una norma de la **Directiva de Baja Tensión** para todo el equipo eléctrico, es también una norma de seguridad eléctrica en virtud de la **Directiva de Máquinas**.
- EN 50178 de conformidad con la **Directiva de Baja Tensión** y
- EN 61800-1/2/4, que indica especificaciones para Sistemas de Accionamiento de Potencia (PDS de BT CC, BT CA y MT CA, respectivamente).
- EN 61000-3-2 y EN 61000-3-12, que proporcionan requisitos para corrientes armónicas causadas por equipos.

¿Cuáles son los aspectos de EN 61800-3 y los convertidores?

Para las emisiones hay que considerar dos aspectos principales:

Emisiones conducidas: se detectan en los cables de alimentación y se medirán en las conexiones de control, mientras que las emisiones radiadas son aéreas.

Las emisiones conducidas a bajas frecuencias se conocen como armónicos, que han supuesto un problema familiar para muchos usuarios de PDS. Cuando se trata de armónicos, la EN 61800-3 hace referencia a la EN 61000-3-2, que se aplica al equipo por debajo de 16 A por fase. Además, la norma sobre armónicos EN 61000-3-12 se aplica hasta 75 A por fase.

En este momento pueden diferenciarse los siguientes grupos:

- Por debajo de 16 A por fase
 - Profesional, por encima de 1 kW => Sin límites.
 - Otros > Los límites especificados.
- Entre 16 y 75 A por fase
 - Equipos para sistemas de baja tensión públicos => Los límites especificados.
 - Equipos para otros sistemas => Los límites especificados.

La conformidad con las emisiones conducidas puede lograrse con un buen diseño del producto y se alcanza fácilmente en la mayoría de las situaciones empleando filtros, siempre que se trate de un solo convertidor.

Emisiones radiadas: Son más problemáticas. Aunque es posible convertir la envolvente del convertidor en una jaula de Faraday y atenuar toda la radiación a tierra, en la práctica es en las conexiones de salida donde el cableado inadecuado irradia emisiones y se acopla con otros cables en las inmediaciones. Los métodos de atenuación importantes son los cables apantallados y la conexión a tierra a 360°.

¿Cuáles son las soluciones a las emisiones radiadas?

Las soluciones más importantes son una buena práctica de instalación, una envolvente bien cerrada, cables apantallados y conexión a tierra a 360° (véase la Guía técnica N.º 3 para directrices y recomendaciones de instalación).

¿Debo cumplir las normas?

El empleo de normas es voluntario, pero el cumplimiento de las Directivas sin el empleo de **Normas armonizadas** es complicado en la mayoría de los casos.

¿Pueden sancionarme si no cumplo las normas?

Sí. Si no se cumple alguna de las Directivas se incurre en una falta penada.

La norma específica para productos EN 61800-3

La norma define la emisión requerida y los niveles de inmunidad de los PDS y los métodos de comprobación para medir los niveles. En Europa, la norma toma precedencia sobre todas las normas EMC genéricas o de familia de productos previamente aplicables.

La norma define dos entornos donde pueden utilizarse equipos:

Primer entorno

- Entorno que incluye instalaciones domésticas. También incluye establecimientos conectados directamente y sin transformadores intermedios a una red de alimentación de baja tensión que alimenta a edificios empleados con fines domésticos. Ejemplos de este tipo de ubicaciones: casas, apartamentos, locales comerciales u oficinas en un edificio residencial.

Segundo entorno

- Entorno que incluye todos los establecimientos distintos de los conectados directamente a una red de alimentación de baja tensión que alimenta a edificios empleados con fines domésticos. Ejemplos de ubicaciones de segundo entorno: zonas industriales y zonas técnicas de cualquier edificio alimentado mediante un transformador dedicado.

La norma divide los PDS y sus componentes en cuatro categorías dependiendo del uso previsto

PDS de categoría C1:

Un PDS de tensión nominal inferior a 1000 V, destinado a ser usado en el primer entorno. Un PDS o CDM vendido “acabado de construir” al usuario final

Descripción

Comercializado. Circulación libre basada en el cumplimiento de la Directiva EMC. La **Declaración de conformidad CE** y el **Etiquetaje CE** se requieren.

El fabricante del PDS es el responsable del comportamiento EMC en las condiciones especificadas. Las medidas EMC adicionales se describen de un modo fácil de entender y pueden ser implementadas por una persona no iniciada.

Cuando se va a incorporar un PDS/CDM a otro producto, el comportamiento EMC resultante de ese producto es responsabilidad del montador del producto final, al seguir las recomendaciones y directrices del fabricante.

PDS de categoría C2:

PDS con tensión nominal inferior a 1000 V, que no sea ni un dispositivo enchufable ni móvil, destinado a ser instalado y puesto en marcha técnicamente por un profesional.

Un PDS (o CDM/BDM) vendido para incorporarlo a un aparato, sistema o instalación.

Descripción:

Comercializado. Destinado solamente a montadores o instaladores profesionales que tienen el nivel de competencia técnica de EMC necesario para instalar un PDS (o CDM/BDM) correctamente. El fabricante del PDS (o CDM/BDM) es el responsable de proporcionar las **Directrices de instalación**. La **Declaración de conformidad CE** y el **Etiquetaje CE** se requieren.

Cuando se va a incorporar un PDS/CDM/BDM a otro producto, el comportamiento EMC resultante de ese producto es responsabilidad del montador del producto final.

PDS de categoría C3:

Un PDS de tensión nominal inferior a 1000 V, destinado a ser usado en el segundo entorno.

Un PDS (o CDM/BDM) vendido “acabado de construir” al usuario final para incorporarlo a un aparato, sistema o instalación.

2

Descripción

Comercializado. Circulación libre basada en el cumplimiento de la Directiva EMC. La **Declaración de conformidad CE** y el **Etiquetaje CE** se requieren.

El fabricante del PDS es el responsable del comportamiento EMC en las condiciones especificadas. Las medidas EMC adicionales se describen de un modo fácil de entender y pueden ser implementadas por una persona no iniciada.

Cuando se va a incorporar un PDS/CDM a otro producto, el comportamiento EMC resultante de ese producto es responsabilidad del montador del producto final, al seguir las recomendaciones y directrices del fabricante.

PDS de categoría C4:

PDS con tensión nominal igual o superior a 1000 V o intensidad nominal igual o superior a 400 A o destinado a ser utilizado en sistemas complejos en el segundo entorno.

Un PDS (o CDM/BDM) vendido para incorporarlo a un aparato, sistema o instalación.

Descripción

Los requisitos de la Categoría C4 comprenden todos los otros requisitos EMC, excluyendo las emisiones de radiofrecuencia. Sólo se evalúan cuando se instalan en la ubicación prevista. Por lo tanto, los PDS de Categoría C4 se tratan como una instalación fija, y de este modo no requieren **Declaración de conformidad CE** o **Etiquetaje CE**.

La Directiva EMC requiere la documentación complementaria para identificar la instalación fija, sus características de compatibilidad electromagnética y la persona responsable, además de indicar las precauciones que deben tomarse para no comprometer la conformidad de esa instalación.

Para cumplir con los requisitos indicados más arriba en el caso de PDS de Categoría C4 (o CDM/BDM), el usuario y el fabricante deben ponerse de acuerdo sobre un plan EMC para satisfacer los requisitos EMC de la aplicación prevista. En esta situación, el usuario define las características EMC del entorno, incluyendo toda la instalación y los alrededores. El fabricante del PDS debe proporcionar información sobre niveles de emisión típicos y directrices de instalación del PDS que se instalará. El comportamiento EMC resultante es responsabilidad del **instalador** (p. ej., siguiendo el plan EMC).

Si se observan indicaciones de no cumplimiento del PDS de categoría C4 tras la puesta en marcha, la norma incluye un procedimiento para medir los límites de emisión fuera del límite de una instalación.

Ejemplos de aplicaciones con enfoques diferentes

1. BSM usado para fines domésticos o industriales, vendido sin ningún control de la aplicación.

El fabricante es responsable de que se obtenga una EMC suficiente, incluso por una persona no iniciada. Aunque la Directiva EMC sólo se aplica a los aparatos e instalaciones fijas (normalmente se excluyen los componentes), incluye los componentes cuyo uso previsto sea la incorporación en aparatos por el usuario final y que pueden generar perturbaciones electromagnéticas. Por ello, si una persona (**usuario final**) compra un componente listo para usar, no tendrá que preocuparse sobre el cumplimiento cuando lo instale en su máquina. Por lo tanto, la responsabilidad sobre el cumplimiento y el **Etiquetaje CE** de tales componentes EMC reside en el fabricante. Dependiendo de la ubicación de instalación prevista, se permiten equipos de categoría C1 o C3.

2. PDS o CDM/BDM con fines domésticos o industriales, vendido a un montador profesional.

Se vende como un subconjunto a un montador profesional que lo incorpora a una máquina, aparato o sistema. Las condiciones de empleo se especifican en la documentación del fabricante. El intercambio de datos técnicos permite la optimización de las soluciones de EMC. Además de las categorías C1 y C3, también se permite la Categoría C2.

3. PDS o CDM/BDM para uso en instalaciones.

Las condiciones de uso se especifican en el momento del pedido, y por lo tanto es posible un intercambio de datos técnicos entre el proveedor y el cliente. Puede consistir en distintas unidades comerciales (PDS, mecánica, control de procesos, etc.).

La combinación de sistemas en una instalación debería considerarse con el objeto de definir los métodos de mitigación que deben emplearse para limitar emisiones. La compensación de armónicos es un ejemplo evidente de ello, por razones técnicas y económicas.

Además de las categorías C1, C2 y C3, también se permite la Categoría C4.

4. PDS o CDM/BDM para uso en una máquina.

PDS o CDM/BDM combinado con un dispositivo de aplicación (máquina) como una aspiradora, ventilador, bomba o similar, es decir, un aparato listo para el uso. De forma análoga, los inversores (subconjuntos E.Q. de BDM) pertenecen a esta clase de componentes. Por sí solos no tienen una función intrínseca para el **usuario final**, pero se venden a **instaladores** profesionales que los incorporarán a una máquina, aparato o sistema. No se venden directamente al **usuario final**.

Por lo tanto, desde el punto de vista de la Directiva EMC los PDS/CDM/BDM son en este caso componentes que están excluidos de la Directiva. El fabricante de máquinas es responsable de todos los aspectos relativos a EMC. El fabricante de PDS/CDM/BDM es responsable de facilitar instrucciones de instalación, mantenimiento y funcionamiento al fabricante de máquinas para satisfacer la Directiva EMC.

No obstante, se recomienda usar PDS/CDM/BDM de las categorías C1, C2, C3 o C4 y prescindir de los convertidores que no cumplan la Directiva.

Directiva de Máquinas 98/37/CE

¿Cómo afecta la Directiva de Máquinas a mi convertidor?

Esta Directiva afecta a todas las combinaciones de componentes unidos de forma mecánica, en los que al menos una pieza se mueve, y que tienen el equipo de control y los circuitos de entrada de potencia necesarios.

La Directiva afecta a todas las máquinas pero no a las parecidas a ascensores, que tienen una Directiva específica.

La nueva Directiva de Máquinas 2006/42/CE ya se ha publicado. Puesto que la antigua Directiva 98/37/CE puede usarse hasta el 29 de diciembre de 2009, los cambios debidos a la nueva Directiva se tendrán en cuenta en futuras ediciones de esta Guía.

Punto clave:

Por lo que respecta a los convertidores, la nueva versión de EN 60204-1 ed. 5 ya se ha publicado. Las versiones nueva y vieja pueden usarse hasta el 1 de junio de 2009. Tras esa fecha, sólo podrá aplicarse la nueva versión.

Por sí solo, el **módulo de accionamiento completo (CDM)** no tiene un valor funcional para el usuario. Siempre requiere un motor acoplado a la carga accionada antes de que pueda funcionar de forma eficaz. Por ello, no puede llevar el **Etiquetaje CE** basado en la **Directiva de Máquinas**.

¿Dónde puedo obtener una copia de la Directiva de Máquinas?

Para obtener una copia de la **Directiva de Máquinas**, póngase en contacto con una autoridad competente local o descárguela de la web de la Unión Europea relativa a legislación (<http://europa.eu.int/eur-lex/>).

Directiva de Baja Tensión

¿Cómo afecta la DBT a mi convertidor?

2006/95/CE

Esta Directiva afecta a todo el equipo eléctrico con tensiones nominales de 50 V a 1 kV CA y 75 V a 1,5 kV CC.

El objeto de la Directiva es ofrecer protección ante los riesgos eléctricos, mecánicos, de fuego y radiación. Intenta garantizar que solamente se comercialicen productos inherentemente seguros.

Todas las piezas de un PDS, desde los convertidores y el motor a los engranajes de control, deben ajustarse a la **Directiva de Baja Tensión**.

Para garantizar el cumplimiento de un producto, el fabricante debe proporcionar una **Declaración de conformidad**. Se trata de una declaración de que el producto se ajusta a los requisitos detallados en esta Directiva.

Si un producto se ajusta a la Directiva y tiene una **Declaración de conformidad**, debe poseer el **Etiquetaje CE**.

En el caso de un sistema de accionamiento de potencia, la **Declaración de conformidad** se requiere para cada uno de sus componentes. Por ello, la **Declaración de conformidad** para el módulo de accionamiento completo (CDM) y para el motor deben proporcionarse por separado y debe hacerlo el fabricante de cada producto.

Punto clave:

La mayoría de los fabricantes incluirán una **Declaración de conformidad** que cubra la **Directiva de Baja Tensión** para todos los PDS/CDM construidos. Estos convertidores se construyen en una envolvente que puede conectarse a la alimentación y ponerse en marcha sin que tengan que emprenderse tareas adicionales. Ello contrasta con un chasis abierto (BDM), que es un componente y requiere una envolvente.

¿Por qué es importante la Declaración de conformidad?

Punto clave:

Sin la **Declaración de conformidad** el CDM no puede llevar el **Etiquetaje CE** y por ello no puede comercializarse dentro de los países del EEE ni emplearse legalmente en ningún sistema.

Directiva EMC

¿Cómo afecta la Directiva EMC a mi convertidor?

2004/108/CE

La intención de la **Directiva EMC** es, como su nombre implica, conseguir la compatibilidad EMC con otros productos y sistemas. La Directiva tiene el objeto de garantizar que las emisiones de un producto sean lo bastante bajas para no interferir en el nivel de inmunidad de otro producto.

Deben considerarse dos aspectos de la **Directiva EMC**:

- La **inmunidad** del producto.
- Las **emisiones** de ese producto.

Aunque la Directiva presupone que se tiene en cuenta la EMC al diseñar un producto, de hecho la EMC no puede diseñarse solamente, también debe medirse cuantitativamente.

Punto clave:

La mayoría de convertidores llevan el **Etiquetaje CE**. No obstante, algunos convertidores que forman parte de maquinaria o sistemas/equipos de proceso y se clasifican como componentes, no están incluidos en la Directiva EMC.

El **fabricante de máquinas**, por lo tanto, tiene la responsabilidad final de garantizar que la máquina, incluyendo cualquier PDS y otros dispositivos eléctricos, satisfaga los requisitos EMC.

En cada etapa del proceso de fabricación, desde el componente hasta el sistema, cada fabricante es responsable de aplicar las partes apropiadas de la directiva. Esto puede hacerse mediante instrucciones para instalar o montar el equipo sin causar problemas. No implica que exista una cadena de **Declaraciones de conformidad** que se recopilen en un manual.

¿Quién es el responsable de garantizar el Etiquetaje CE?

Un convertidor de frecuencia es probablemente tan sólo una parte de un sistema de accionamiento de potencia.

Sin embargo, el sistema o la maquinaria en su totalidad son los que deben satisfacer los requisitos de la Directiva EMC.

Por lo tanto, los fabricantes de convertidores están en una posición en la que pueden escoger si colocan el **Etiquetaje CE** en un convertidor de frecuencia para indicar el cumplimiento de la **Directiva EMC** o lo proporcionan como un componente sin Etiquetaje CE.

Punto clave:

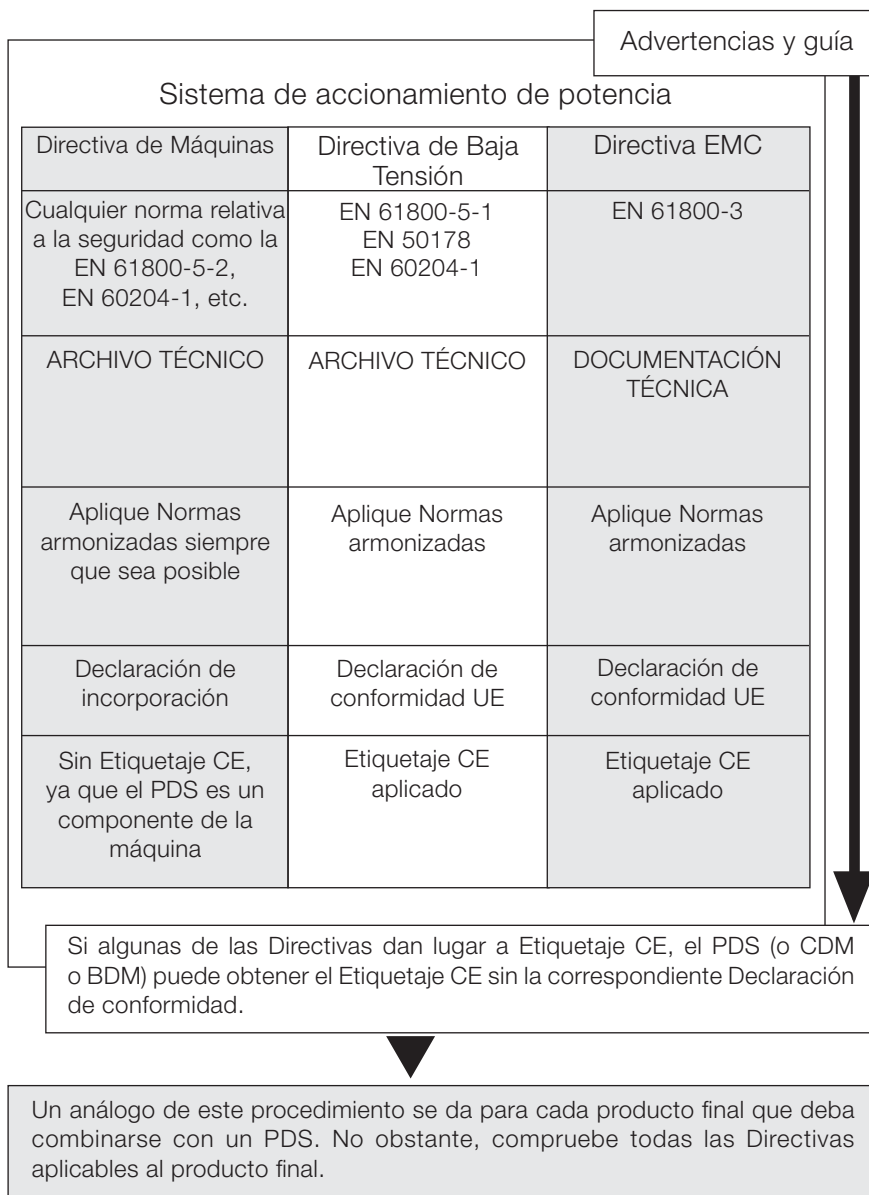
Es responsabilidad de la persona que finalmente implementa el sistema garantizar el cumplimiento EMC.

El **fabricante de máquinas** o el **proveedor de sistemas** tienen la responsabilidad final de que la máquina o el sistema, incluyendo el convertidor y el resto de los dispositivos eléctricos y electrónicos, satisfagan los requisitos de EMC.

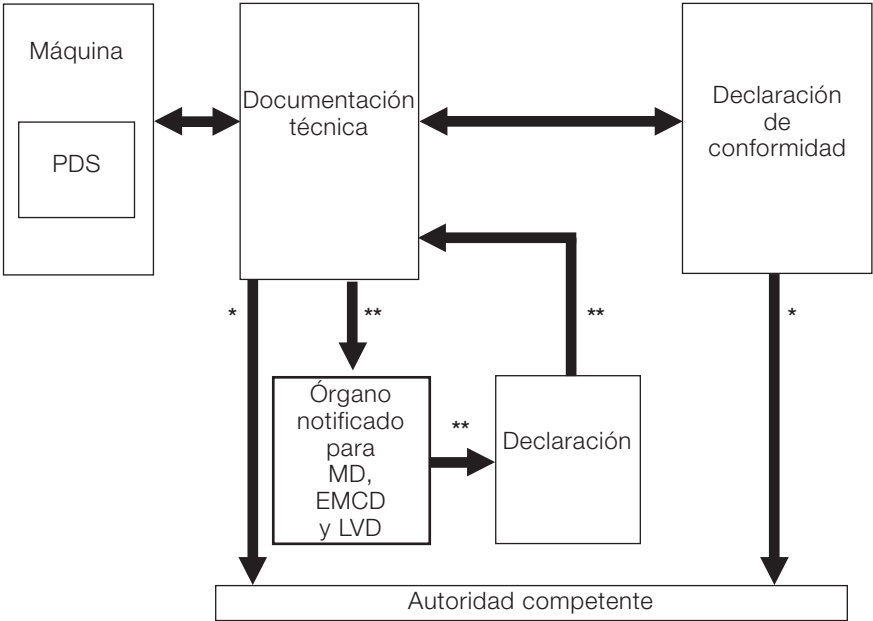
Un fabricante de convertidores puede ayudar a un **fabricante de máquinas** o **proveedor de sistemas** proporcionando BDM/CDM/PDS conforme a la Directiva CE y con el **Etiquetaje CE**.

Resumen de responsabilidades

Resumen de las responsabilidades del fabricante en la aplicación de las Directivas CE a los sistemas con PDS:



Obtención de la conformidad con las Directivas de seguridad CE



- * Solamente si se requiere durante la vigilancia del mercado
- ** Procedimiento opcional, si lo elige el fabricante

Índice

- A**
 - Aparato 33, 38
 - Archivo de construcción técnica 38
 - Archivo técnico 27, 59, 60
 - Armónicos 9, 50
 - Autocertificación 15, 16, 37
 - Autoridad competente 47, 60
- B**
 - BDM 22, 31, 32, 34, 35, 57, 59
- C**
 - CCM 37
 - CDM 22
 - CEN 48, 49
 - CENELEC 48, 49
 - Certificación de tipo 46
 - Certificado de adecuación 41
 - Certificado de examen de tipo 46
 - Certificado de tipo 27
 - Compatibilidad electromagnética 53
 - Componente de seguridad 40, 41, 46
 - Componentes 30, 33
 - Contacto indirecto 26
 - Convertidor 22, 24
 - Convertidor de frecuencia 21, 58
 - Corriente de sobrecarga 27
 - Cortocircuito 27
 - Cuadrista 23, 24, 32
- D**
 - Declaración de conformidad 29, 30, 34, 57, 59
 - Declaración de incorporación 34, 59
 - Diagramas de circuitos de control 40
 - Directiva de Baja Tensión 11, 56, 57, 59
 - Directiva de Máquinas 11, 40, 41, 46, 55, 59
 - Directiva EMC 30
 - Directivas del Consejo de la UE 11
 - Diseñador de sistemas 23, 24, 30, 34
 - Distribuidor 24
 - Documentación técnica 15, 28, 29, 30, 32, 33, 34, 36, 37, 39, 42, 47, 48
- E**
 - EEE 11, 15, 47, 48, 57
 - EMC 11, 29, 30, 32, 33, 36, 39, 57, 59
 - Emisiones por conducción 51
 - EN61800-3 33, 50
 - Etiquetaje CE 32, 33, 59
 - ETSI 48
- F**
 - Fabricante de máquinas 23, 24, 25, 35, 40, 41, 46
 - Filtro 30, 32
- I**
 - IEC 49
 - Instalación 22
 - Instalador 24
 - Instrucciones de instalación 17, 29, 30
- J**
 - Jaula de Faraday 51
- M**
 - Microprocesador 12
 - Módulo de accionamiento básico 22
 - Módulo de accionamiento completo 22
 - Motor 22
- N**
 - Norma armonizada 48, 49
 - Normas 39, 40, 46, 48, 50, 51
- O**
 - OEM (Fabricantes de equipos originales) 24
 - Órgano notificado 40, 41
- P**
 - Pantalla 12
 - Parámetros 16
 - PDS 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 48, 57, 59, 60
 - Proveedor de componentes 29, 30, 32
- R**
 - Radiotransmisores móviles 12
- S**
 - Seguridad eléctrica 25, 26, 31, 50
 - Sensor 22
 - Sistema de accionamiento de potencia 22, 59
 - Sistemas 1, 3, 9, 11, 12, 13, 21, 48, 50, 53, 55, 57, 59
- T**
 - TD 33, 34, 36, 38
 - Teléfonos portátiles para coches 12
 - Transformador de cambio de fase 21
- U**
 - UE 11, 49, 59
 - Unidad funcional única 28, 29, 30
 - Unión Europea 48
 - Usuario final 23, 24
- W**
 - Walkie-talkies 12

Contacte con nosotros

Para obtener más información, póngase en contacto con su representante local de ABB o visite:

www.abb.es

www.abb.com/drivespartners

© Copyright 2014 ABB. Todos los derechos reservados.
Las especificaciones están sujetas a cambio sin previo aviso.

3BFE 64312375 REV E ES 12.6.2014 #17148

Power and productivity
for a better world™



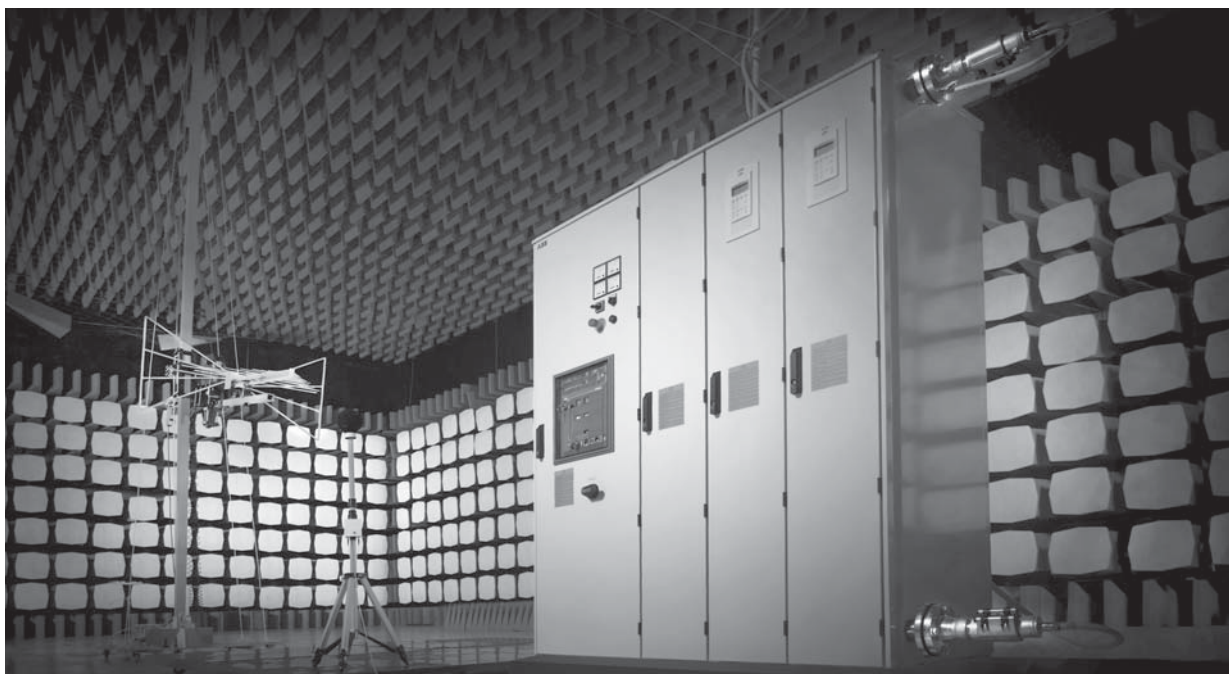


ABB drives

Guía técnica N.º 3

Instalación y configuración de un sistema de accionamiento de potencia de conformidad con la Directiva EMC

Power and productivity
for a better world™



Guía técnica N.º 3

Instalación y configuración de un sistema de accionamiento de potencia de conformidad con la Directiva EMC

Índice

Capítulo 1 - Introducción	7
Generalidades	7
Objeto de esta guía	7
Directivas relativas al convertidor.....	7
¿Quién es el fabricante?	7
Responsabilidad del fabricante.....	7
Cliente OEM como fabricante.....	8
Cuadrista o integrador de sistemas como fabricante	8
Definiciones	8
Instalaciones y sistemas prácticos.....	8
Principios de conexión a tierra	9
Manuales específicos para productos.....	9
Capítulo 2 - Definiciones	10
Compatibilidad electromagnética (EMC) del PDS	10
Inmunidad.....	10
Emisiones	10
Sistema de accionamiento de potencia	11
Tipo de equipo.....	12
Componentes y subconjuntos destinados a su incorporación.....	12
en un aparato por el usuario final	12
Componentes y subconjuntos destinados a su incorporación.....	12
en un aparato por otros fabricantes o montadores.....	12
Equipo acabado	13
Equipo acabado destinado a usuarios finales.....	13
Equipo acabado destinado a otro fabricante o montador.....	13
Sistemas (combinación de equipos acabados).....	14
Aparatos.....	14
Instalación fija	14
Equipo	14
Etiquetaje CE para EMC	14
Entornos de instalación	15
Primer entorno	15
Segundo entorno	16
Límites de emisión EMC	16
PDS de Categoría C1.....	16
PDS de Categoría C2.....	16
PDS de Categoría C3.....	16
PDS de Categoría C4.....	17
Capítulo 3 - Soluciones de EMC	19
Generalidades	19
Soluciones para la compatibilidad EMC	19
Emisiones	19

Emisión conducida	19
Emisión radiada.....	20
Envolvente.....	20
Cableado y conexiones	20
Instalación	21
Parte limpia y sucia	21
Filtrado RFI	22
Selección del filtro RFI	23
Instalación del filtro RFI.....	23
Selección de una envolvente secundaria.....	23
Orificios en las protecciones	24
Conexión a tierra a 360° de AF	25
Conexión a tierra de AF con pasacables.....	25
Conexión a tierra de AF con manguito conductor.....	26
Conexión a tierra a 360° en el extremo del motor.....	27
Juntas conductoras con cables de control.....	28
El apantallamiento debería cubrirse con cinta conductora.	28
Instalación de accesorios.....	29
Cableado interno.....	29
Cableado y cables de control.....	31
Cables de potencia.....	32
Impedancia de transferencia	33
Empleo de anillos de ferrita.....	33
Instalación simple.....	35
Instalación típica	35
Capítulo 4 - Ejemplos prácticos	35
Ejemplo de un sistema de by-pass <100 kVA	36
Ejemplo típico de convertidor de 12 pulsos.....	37
Ejemplo de plan EMC	39
Capítulo 5 - Bibliografía.....	41
Capítulo 6 - Índice	42

Capítulo 1 - Introducción

Generalidades

Esta guía constituye una ayuda para el personal encargado del diseño y la instalación en el momento de tratar de garantizar el cumplimiento de los requisitos de radiofrecuencia la Directiva EMC en los sistemas e instalaciones del usuario al emplear convertidores de CA. El rango de radiofrecuencia empieza en 9 kHz. No obstante, la mayoría de normas actuales hacen referencia a frecuencias superiores a 150 kHz.

El rango de frecuencia inferior a 9 kHz, o sea, los armónicos, es tratado en la Guía técnica N.º 6 “Guía sobre armónicos en convertidores de CA”.

Objeto de esta guía

El objeto de esta guía es orientar a los fabricantes de equipos originales (OEM), integradores de sistemas y cuadristas (montadores) en el diseño o la instalación de productos de accionamiento de CA y sus componentes auxiliares en sus propios sistemas e instalaciones. Los elementos auxiliares incluyen contactores, conmutadores, fusibles, etc. Al seguir estas instrucciones es posible cumplir los requisitos de EMC y proporcionar el Etiquetaje CE en los casos en los que sea necesario.

Directivas relativas al convertidor

Existen tres directivas relativas a los convertidores de velocidad variable. Son la Directiva de Máquinas, la Directiva de Baja Tensión y la Directiva EMC. Los requisitos y principios de las directivas y el empleo del Etiquetaje CE se describen en la Guía técnica N.º 2 “Directivas del Consejo de la UE y sistemas de accionamiento de potencia de velocidad ajustable”. Este documento sólo recoge la Directiva EMC.

¿Quién es el fabricante?

Según la Directiva EMC (2004/108/CE), la definición de fabricante es la siguiente: “Es la persona responsable del diseño y la construcción de un aparato que contempla la Directiva y que se destina a una comercialización en el mercado del EEE en su nombre. Cualquier persona que modifique sustancialmente un aparato para convertirlo en un producto nuevo con vistas a comercializarlo en el mercado del EEE también se convierte en el fabricante.”

Responsabilidad del fabricante

Según la Directiva EMC, el fabricante es el responsable de aplicar el Etiquetaje CE en cada unidad. Asimismo, el fabricante es responsable de elaborar y mantener la documentación técnica (TD).

Cliente OEM como fabricante

Es de dominio público que los clientes OEM venden equipo empleando sus propias marcas registradas y marcas comerciales. El cambio de la marca registrada, la marca comercial o el etiquetaje de tipo es un ejemplo de modificación que da como resultado un equipo nuevo.

Los convertidores de frecuencia vendidos como productos OEM se considerarán componentes (Módulo de accionamiento completo [CDM] o Módulo de accionamiento básico [BDM]). Un aparato es una entidad e incluye toda la documentación (manuales) destinada al cliente final. Por ello, el cliente OEM tiene la responsabilidad exclusiva y final en relación con la EMC del equipo, y deberá emitir una Declaración de conformidad y una documentación técnica para el equipo.

Cuadrista o integrador de sistemas como fabricante

De acuerdo con la Directiva EMC, un sistema se define como una combinación de varios tipos de equipo, productos acabados y/o componentes combinados, diseñados y/o ensamblados por la misma persona (el fabricante del sistema) con vistas a su lanzamiento al mercado para su distribución como una unidad funcional independiente para un usuario final y que se destina a instalarse y manejarse en su conjunto para llevar a cabo una tarea determinada.

Un cuadrista o un integrador de sistemas suele ser el encargado de llevar a cabo esta tarea. Por ello, el cuadrista o el integrador de sistemas tiene la responsabilidad exclusiva y final en cuanto a la EMC del sistema. No puede delegar esta responsabilidad en un distribuidor.

Para ayudar al cuadrista/integrador de sistemas, ABB Oy ofrece directrices de instalación relacionadas con cada producto así como directrices de EMC generales (este documento).

Definiciones

La Norma de productos EMC para sistemas de accionamiento de potencia, EN 61800-3 (o IEC 61800-3) se emplea como la norma principal para convertidores de velocidad variable. Los términos y definiciones que se definen en la norma se emplean también en esta guía.

Instalaciones y sistemas prácticos

Esta guía proporciona ejemplos prácticos y soluciones de EMC que no se describen en los manuales específicos de productos. Las soluciones pueden emplearse directamente o pueden ser aplicadas por el OEM o el cuadrista.

Principios de conexión a tierra

Los principios de conexión a tierra y de cableado de los convertidores de velocidad variable se describen en el manual “Conexión a tierra y cableado del sistema de accionamiento”, código 3AFY61201998. También incluye una breve descripción de los fenómenos de interferencia.

Manuales específicos para productos

Puede hallarse información detallada acerca de la instalación y el empleo de los productos, dimensiones de los cables, etc. en los manuales específicos para los productos. Esta guía debe emplearse junto con este tipo de manuales.

Capítulo 2 - Definiciones

Compatibilidad electromagnética (EMC) del PDS

EMC son las siglas en inglés de Electromagnetic Compatibility (compatibilidad electromagnética). Se trata de la capacidad del equipo eléctrico/electrónico de funcionar sin problemas dentro de un entorno electromagnético. A su vez, estos equipos no deben interferir con otros productos o sistemas situados a su alrededor. Este es un requisito legal para todos los equipos que entren en servicio dentro del Espacio Económico Europeo (EEE). Los términos empleados para definir la compatibilidad se muestran en la figura 2-1.

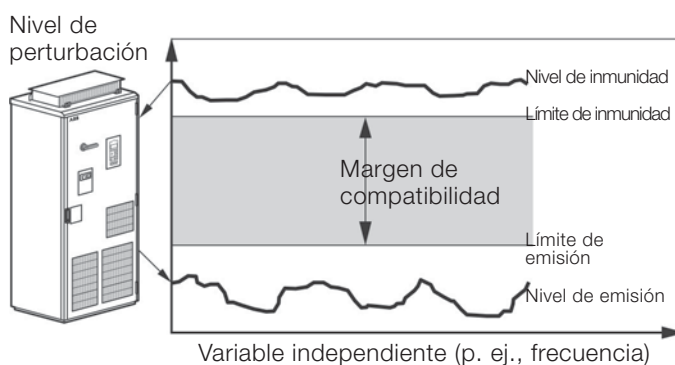


Figura 2-1 Compatibilidad de inmunidad y emisiones.

Dado que los convertidores de velocidad variable se describen como una fuente de interferencia, es natural que todas las piezas que estén en conexión eléctrica o aérea dentro del sistema de accionamiento de potencia (PDS) formen parte del cumplimiento de la EMC. El concepto de que un sistema es débil en su punto más débil es válido en este caso.

Inmunidad

El equipo eléctrico debería ser inmune a los fenómenos de alta y baja frecuencia. Los fenómenos de alta frecuencia incluyen descargas electrostáticas, ráfagas de transitorios rápidos, campos radiantes electromagnéticos, perturbaciones de radiofrecuencia conducidas y sobretensiones eléctricas transitorias. Los fenómenos típicos de baja frecuencia incluyen los armónicos en la tensión de red, las muescas y los desequilibrios.

Emisión

La fuente de las emisiones de alta frecuencia de convertidores de frecuencia es la conmutación rápida de los componentes de potencia como los IGBT y la electrónica de control. Esta emisión de alta frecuencia puede propagarse por conducción y por radiación.

Sistema de accionamiento de potencia

Las partes de un convertidor de velocidad variable que controla equipo accionado como parte de una instalación se describen en la Norma de producto EMC EN 61800-3. Un convertidor puede considerarse un Módulo de accionamiento básico (BDM) o un Módulo de accionamiento completo (CDM) de acuerdo con la norma.

Se recomienda que el personal encargado de la instalación y del diseño tenga a su disposición esta norma y que esté familiarizado con ella. Todas las normas están disponibles por parte de los organismos de normalización nacionales.

Los sistemas fabricados por un OEM o un cuadrista pueden constar más o menos únicamente de las piezas del PDS o puede haber diversos PDS en una configuración.

Las soluciones detalladas en esta guía se emplean dentro del ámbito de la definición del Sistema de accionamiento de potencia, pero las mismas soluciones pueden, o incluso deben, ampliarse a todas las instalaciones. Esta guía facilita principios y ejemplos prácticos de EMC que pueden aplicarse al sistema de un usuario.

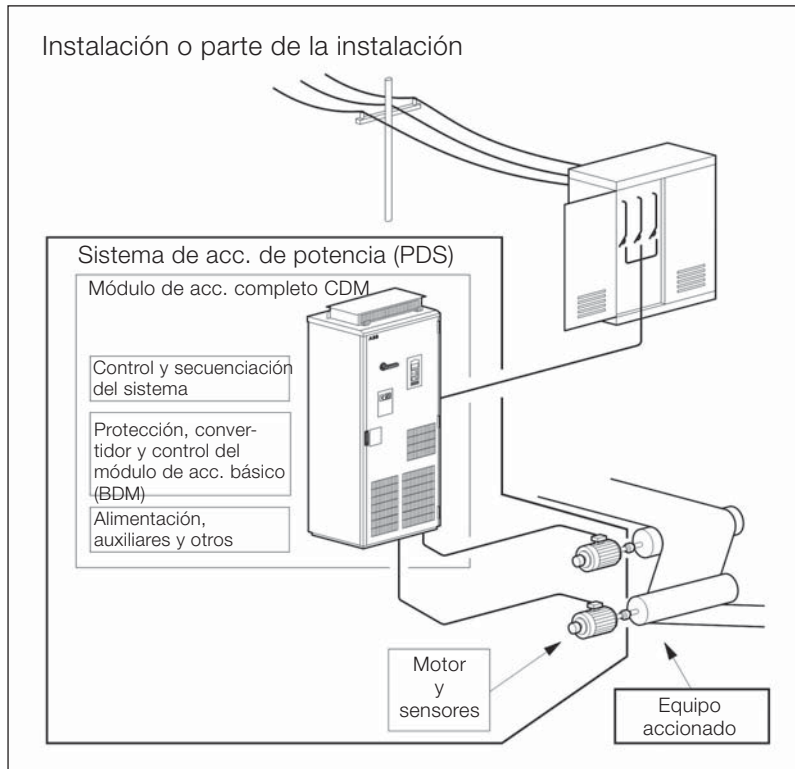


Figura 2-2 Abreviaturas empleadas en los convertidores.

Tipos de equipo

La Directiva EMC (2004/108/CE) define equipo como cualquier aparato o instalación fija. Puesto que hay disposiciones independientes para aparatos e instalaciones fijas, es importante determinar la categoría correcta del equipo (PDM, CDM o BDM).

La terminología indicada a continuación se utiliza frecuentemente en clasificaciones técnico-comerciales: componentes, subconjuntos, equipos acabados (es decir, productos acabados), una combinación de equipos acabados (es decir, un sistema), aparatos, instalaciones fijas y equipos.

El problema fundamental es si el elemento a considerar está destinado a usuarios finales o no:

- si está destinado a usuarios finales, la Directiva EMC es de aplicación,
- si está destinado a fabricantes o montadores, la Directiva EMC no se aplica.

Componentes y subconjuntos destinados a su incorporación en un aparato por el usuario final

Un fabricante puede comercializar componentes o subconjuntos en el mercado que:

- el usuario final incorporará en un aparato,
- están disponibles para los usuarios finales y es probable que los usen.

Estos componentes o subconjuntos se considerarán como aparatos en lo que se refiere a la aplicación de la Directiva EMC. Las instrucciones de uso adjuntas al componente o subconjunto deben incluir toda la información relevante, y asumir aquellos ajustes o conexiones que pueda efectuar un usuario final que no conozca las implicaciones de la Directiva EMC.

Algunos productos de accionamiento de potencia de velocidad variable se enmarcan dentro de esta categoría, por ejemplo un convertidor con envoltorio comercializado como un módulo de accionamiento completo (CDM) al usuario final que lo instala en su propio sistema. Todas las disposiciones de la Directiva EMC son de aplicación (Etiquetaje CE, Declaración de conformidad y documentación técnica).

Componentes y subconjuntos destinados a su incorporación en un aparato por otros fabricantes o montadores

Los componentes o subconjuntos destinados a ser incorporados en un aparato o en otro subconjunto por otros fabricantes o montadores no se consideran “aparatos” y, por lo tanto, no están cubiertos por la Directiva EMC. Estos componentes incluyen las resistencias, los cables, los bloques de terminales, etc.

Algunos productos de accionamiento de potencia de velocidad variable se enmarcan dentro de esta categoría, por ejemplo los módulos de accionamiento básico (BDM). Deben ser montados por un montador profesional (por ejemplo, un cuadrista o un fabricante de sistemas) en un armario que no se encuentra en los términos de entrega del fabricante del BDM. De conformidad con la Directiva EMC, el requisito para el proveedor del BDM son las instrucciones de instalación y uso.

Nota:

El fabricante o montador del cuadro o sistema es responsable del Etiquetaje CE, la Declaración de conformidad y la documentación técnica.

Equipo acabado

Un equipo acabado es cualquier dispositivo o unidad que contenga componentes o subconjuntos eléctricos y/o electrónicos que proporcionen una función y tengan su propia envolvente. De forma análoga a los componentes, la interpretación de equipo acabado puede dividirse en dos categorías: puede destinarse a usuarios finales o a otros fabricantes o montadores.

3

Equipo acabado destinado a usuarios finales

Un equipo acabado se considera como aparato según la Directiva EMC si está destinado a usuarios finales, y por tanto debe cumplir todas las disposiciones aplicables de la Directiva.

Los productos de accionamiento de potencia de velocidad variable que se enmarcan en esta categoría son sistemas de accionamiento de potencia (PDS) completos o módulos de accionamiento completos (CDM). En este caso todas las disposiciones de la Directiva EMC son de aplicación (Etiquetaje CE, Declaración de conformidad y documentación técnica). El fabricante del convertidor es responsable del Etiquetaje CE, la Declaración de conformidad y la documentación técnica.

Equipo acabado destinado a otro fabricante o montador

Si el equipo acabado está destinado exclusivamente a una operación de montaje industrial para su incorporación en otro aparato, no se considera como aparato según la Directiva EMC y, por lo tanto, la Directiva EMC no es de aplicación a tales equipos acabados.

Los productos de accionamiento de potencia de velocidad variable caen dentro de esta categoría, por ejemplo los módulos de accionamiento básicos (BDM). El enfoque es el mismo que para los componentes o subconjuntos cuando están destinados a su incorporación en un aparato por otro fabricante o montador. Por ello, el fabricante o montador del cuadro o sistema es responsable de todas las acciones relativas a la Directiva EMC.

Sistemas (combinación de equipos acabados)

Combinación de varios equipos acabados que es combinada y/o diseñada y/o ensamblada por la misma persona (es decir, el fabricante del sistema) y está destinada al mercado para su distribución como una unidad funcional única para un usuario final y para su instalación y funcionamiento como un conjunto que efectúa una tarea específica.

Todas las disposiciones de la Directiva EMC, definidas para un aparato, son de aplicación al conjunto en su totalidad. Los productos de accionamiento de potencia de velocidad variable caen dentro de esta categoría, por ejemplo los sistemas de accionamiento de potencia (PDS). Por ello, el fabricante del PDS es responsable de todas las acciones relativas a la Directiva EMC.

Aparato

Un aparato es aquel equipo acabado, o combinación de estos, disponible comercialmente (es decir, en el mercado) como una unidad funcional única, destinada a un usuario final, que puede generar perturbaciones electromagnéticas o cuyo funcionamiento puede verse afectado por tales perturbaciones.

Instalación fija

Combinación particular de diversos tipos de aparatos, equipos y/o componentes que se montan, instalan y están destinados para su uso permanente en una ubicación predefinida.

Equipo

Cualquier aparato o instalación fija.

Etiquetaje CE para EMC

Los componentes o subconjuntos destinados a ser incorporados en un aparato por los usuarios finales deben disponer del Etiquetaje CE para la EMC.

Los componentes o subconjuntos destinados a ser incorporados en un aparato por otro fabricante o montador no requieren el Etiquetaje CE para la EMC.

Nota: Los productos pueden llevar el Etiquetaje CE para otras directivas que no sean la EMC.

Los aparatos y los sistemas deben llevar el Etiquetaje CE.

Las instalaciones fijas deben satisfacer diversas partes de las Directivas, pero no es necesario que lleven el Etiquetaje CE.



Figura 2-3 El Etiquetaje CE.

Entornos de instalación

Los sistemas de accionamiento de potencia (PDS) pueden conectarse a redes de distribución eléctrica públicas o industriales. La categoría del entorno depende de la manera en que el PDS se conecta a la fuente de alimentación. La norma EN61800-3 diferencia dos categorías de entorno: el primer y el segundo entorno.

3

Primer entorno

“Entorno que incluye instalaciones domésticas. También incluye establecimientos conectados directamente y sin transformador intermedio a una red de alimentación de baja tensión que alimenta a edificios empleados con fines domésticos”.

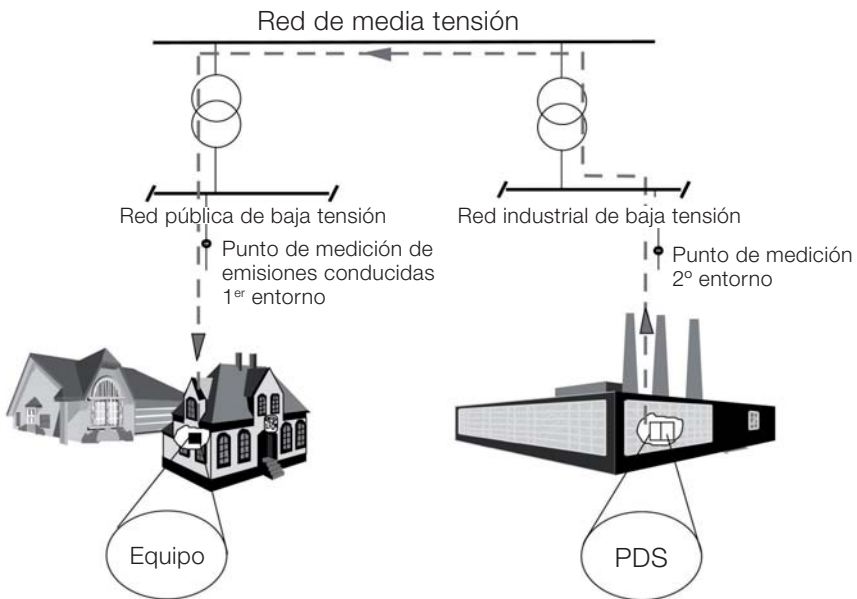


Figura 2-4 Ilustración de las categorías de entorno.

Segundo entorno

“Entorno que incluye todos los establecimientos distintos de los conectados directamente a una red de alimentación de baja tensión que alimenta a edificios empleados con fines domésticos”.

Límites de emisión EMC

La norma de producto EN 61800-3 divide los PDS en cuatro categorías según su uso previsto. En Europa, la norma toma precedencia sobre todas las normas EMC genéricas o de familia de productos previamente aplicables. Los límites para determinados estados pueden seleccionarse empleando el diagrama de flujo de la figura 2-5.

PDS de Categoría C1

Un PDS (o CDM) de tensión nominal inferior a 1000 V, destinado a ser usado en el primer entorno. Un PDS o CDM vendido “acabado de construir” al usuario final.

El fabricante del PDS es el responsable del comportamiento EMC en las condiciones especificadas. Las medidas EMC adicionales se describen de un modo fácil de entender y pueden ser implementadas por una persona no iniciada.

Cuando se va a incorporar un PDS/CDM a otro producto, el comportamiento EMC resultante de ese producto es responsabilidad del montador del producto final, siguiendo las recomendaciones y directrices del fabricante.

PDS de Categoría C2

PDS (o CDM/BDM) con tensión nominal inferior a 1000 V, que no sea ni un dispositivo enchufable ni móvil, destinado a ser instalado y puesto en marcha técnicamente por un profesional. Un PDS (o CDM/BDM) vendido para incorporarlo a un aparato, sistema o instalación.

Cuando se va a incorporar un PDS/CDM/BDM a otro producto, el comportamiento EMC resultante de ese producto es responsabilidad del montador del producto final.

PDS de Categoría C3

Un PDS (o CDM/BDM) de tensión nominal inferior a 1000 V, destinado a ser usado en el segundo entorno. Un PDS (o CDM/BDM) vendido “acabado de construir” al usuario final para incorporarlo a un aparato, sistema o instalación.

El fabricante del PDS es el responsable del comportamiento EMC en las condiciones especificadas. Las medidas EMC adicionales se describen de un modo fácil de entender y pueden ser implementadas por una persona no iniciada.

Cuando se va a incorporar un PDS/CDM a otro producto, el comportamiento EMC resultante de ese producto es responsabilidad del montador del producto final, siguiendo las recomendaciones y directrices del fabricante.

PDS de Categoría C4

PDS (o CDM/BDM) con tensión nominal igual o superior a 1000 V o intensidad nominal igual o superior a 400 A o destinado a ser utilizado en sistemas complejos en el segundo entorno. Un PDS (o CDM/BDM) vendido para incorporarlo a un aparato, sistema o instalación.

Los requisitos de la Categoría C4 comprenden todos los otros requisitos EMC, excluyendo las emisiones de radiofrecuencia. Sólo se evalúan cuando se instalan en la ubicación prevista. Por lo tanto, los PDS de Categoría C4 se tratan como una instalación fija, y de este modo no requieren Declaración de conformidad CE o Etiquetaje CE.

La Directiva EMC requiere la documentación complementaria para identificar la instalación fija, sus características de compatibilidad electromagnética y la persona responsable, además de indicar las precauciones que deben tomarse para no comprometer la conformidad de esa instalación.

Para cumplir con los requisitos indicados más arriba en el caso de PDS de Categoría C4 (o CDM/BDM), el usuario y el fabricante deben ponerse de acuerdo sobre un plan EMC para satisfacer los requisitos EMC de la aplicación prevista. En esta situación, el usuario define las características EMC del entorno, incluyendo toda la instalación y los alrededores. El fabricante del PDS debe proporcionar información sobre niveles de emisión típicos y directrices de instalación del PDS que se instalará. El comportamiento EMC resultante es responsabilidad del instalador (p. ej., siguiendo el plan EMC).

Si se observan indicaciones de no cumplimiento del PDS de categoría C4 tras la puesta en marcha, la norma incluye un procedimiento para medir los límites de emisión fuera del límite de una instalación.

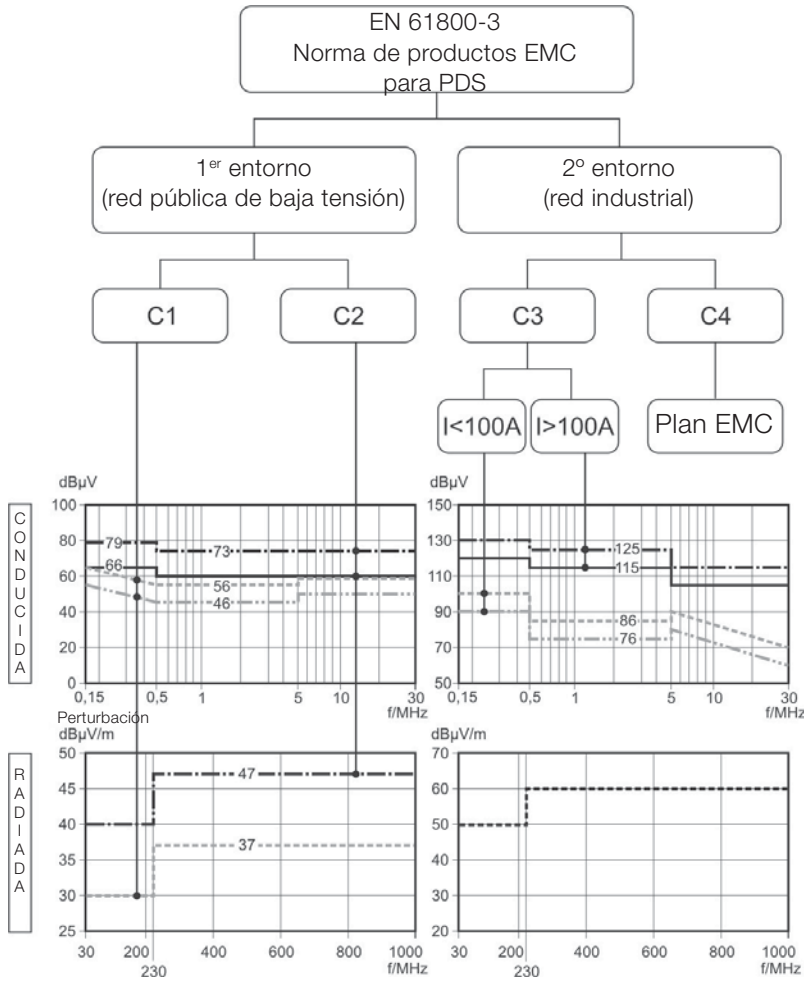


Figura 2-5 Límites de emisión para PDS.

Capítulo 3 - Soluciones de EMC

Generalidades

Las soluciones empleadas para lograr la inmunidad y los requisitos de emisiones radiadas y conducidas se describen en este capítulo.

Soluciones para compatibilidad EMC

Existen algunos principios básicos que deben respetarse al diseñar y emplear sistemas de accionamiento que incorporen productos de accionamiento de CA. Estos mismos principios se emplearon cuando estos productos se diseñaron y construyeron, momento en el que se dio gran consideración a aspectos como la estructura de la tarjeta de circuitos impresa, el diseño mecánico, el recorrido de los cables, las entradas de cable y otros puntos especiales.

3

Emisiones

Las emisiones pueden clasificarse en dos tipos, la emisión conducida y la radiada. Las perturbaciones pueden emitirse de varios modos, como muestra la figura:

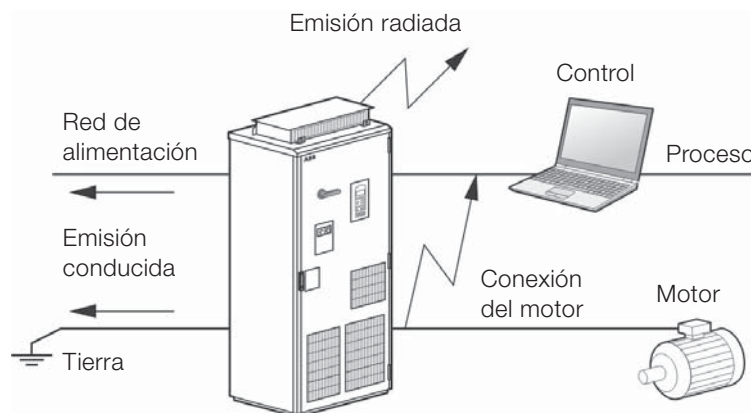


Figura 3-1 Emisiones.

Emisión conducida

Las perturbaciones conducidas pueden propagarse a otros equipos a través de todas las partes conductoras incluyendo el cableado, la conexión a tierra y el bastidor de metal de la envolvente.

Las emisiones conductoras pueden reducirse así:

- Mediante filtrado RFI para perturbaciones de AF
- Con anillos de ferrita en los puntos de conexión de potencia
- Con una reactancia de CC o CA (incluso si está destinada a reducir los armónicos, también reduce las perturbaciones de AF)
- Con un filtro LCL en el caso de convertidores regenerativos
- Con un filtro du/dt

Emisión radiada

Para poder evitar de manera efectiva las perturbaciones a través del aire, todas las piezas del sistema de accionamiento de potencia deberían formar una jaula de Faraday contra las emisiones radiadas. La instalación de un PDS incluye armarios, cajas auxiliares, cableado, motores, etc.

Algunos métodos para garantizar la continuidad de la jaula de Faraday son los siguientes:

Envolvente

- La envolvente debe tener un acabado de superficie sin pintar y no corrosivo en cada punto en el que contacten otros paneles, puertas, etc.
- Deben emplearse siempre contactos entre metal con juntas conductoras en los casos en los que sea apropiado.
- Emplee paneles de instalación sin pintar, unidos a un punto de tierra común, asegurándose de que todos los elementos de metal separados estén unidos firmemente para disponer de un solo camino a tierra.
- Emplee juntas conductoras en las puertas y las cubiertas. Separe la etapa radiativa, es decir, “sucia” de la “parte limpia” mediante cubiertas de metal y diseño.
- Deberían minimizarse los orificios en la envolvente.

Cableado y conexiones

- Emplee entradas de cable de AF especiales para la conexión a tierra de alta frecuencia de los apantallamientos de cables de alimentación.
- Emplee juntas conductoras para la conexión a tierra de AF del apantallamiento del cable de control.
- Emplee cables de control y potencia apantallados. Véanse los manuales específicos para el producto.
- Evite interrupciones en los apantallamientos de los cables.
- Seleccione conexiones apantalladas con baja impedancia (rango de MHz).
- Disponga los cables de control y potencia por separado.
- Emplee pares trenzados para evitar perturbaciones.
- Emplee anillos de ferrita para las perturbaciones, si es necesario.
- Seleccione y coloque los cables internos de forma correcta.
- Véanse los manuales específicos para el producto.

Instalación

- Los elementos auxiliares empleados con CDM deberían ser productos con Etiquetaje CE para las Directivas EMC y de Baja Tensión, NO SÓLO la Directiva de Baja Tensión, a menos que estén destinados a su incorporación en aparatos por otro fabricante o montador.
- Selección e instalación de accesorios de conformidad con las instrucciones del fabricante.
- En las unidades para montaje en pared, pele el revestimiento del cable de motor lo suficiente para dejar al descubierto la pantalla de hilo de cobre de modo que pueda retorcerla a modo de cable flexible. Conecte el cable flexible de longitud corta a tierra.
- En los modelos con armario, disponga los cables en el interior de la envolvente. Conecte a tierra el apantallamiento del cable a 360° en la entrada del armario. Véanse los manuales específicos para el producto.
- Conexión a 360° en el extremo del motor. Véanse los manuales del motor.

3

Parte limpia y sucia

El circuito antes del punto en el que se conecta la alimentación al CDM y en el que se inicia el filtrado se denomina la parte limpia. Las partes del BDM que pueden provocar perturbaciones se describen como la parte sucia.

Los convertidores con envolvente para montaje en pared se han diseñado para que el circuito seguido de la conexión de salida sea la única parte sucia. Este es el caso si se siguen las instrucciones de instalación del convertidor.

Para mantener la parte limpia en estado “limpio” las partes sucias se separan en una jaula de Faraday. Ello puede hacerse con paneles de separación o cableado.

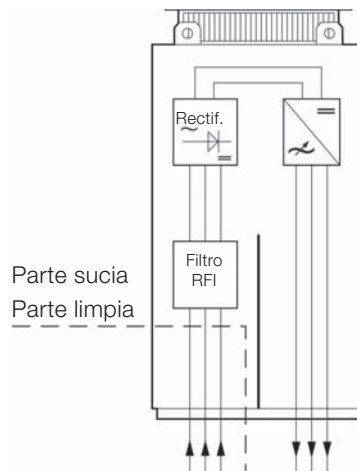


Figura 3-2 Partes “limpia” y “sucia” del BDM.

Al emplear paneles de separación, las reglas para los orificios de la envolvente son aplicables (véase la sección Orificios en protecciones más adelante en este capítulo).

Cuando la jaula de Faraday se forma con cableado, las reglas para el cableado deben aplicarse (véanse las secciones sobre cableado e hilos en este capítulo y siga las instrucciones específicas para el producto relativas al convertidor).

El empleo de componentes adicionales como contactores, aisladores, fusibles, etc., dificulta en algunos casos mantener la parte limpia y la sucia separadas.

Ello puede ocurrir cuando los contactores o conmutadores se emplean en circuitos para cambiar de la parte limpia a la sucia (por ejemplo, by-pass).

Algunos ejemplos de las soluciones se describen en el capítulo 4, Ejemplos prácticos.

Filtrado RFI

Los filtros RFI se emplean para atenuar las perturbaciones conducidas en un punto de conexión de línea en el que el filtro conduce las perturbaciones a tierra.

Los filtros de salida atenúan las perturbaciones en la salida de un PDS. Por ejemplo, los filtros du/dt y de modo común ofrecen algo de ayuda, incluso si no se han diseñado para el filtrado RFI.

Los filtros no pueden emplearse en redes flotantes (red IT) en las que hay una elevada impedancia o sin conexión física entre las fases y tierra.

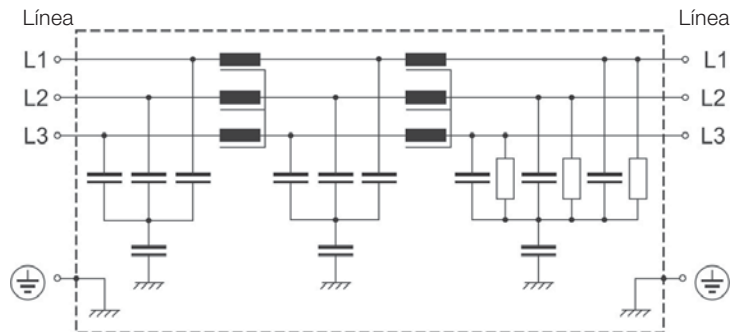


Figura 3-3 Ejemplo de filtrado integrado en módulo de accionamiento.

La Figura 3-3 muestra un ejemplo de filtrado integral y distribuido. Algunos productos de accionamiento requieren un filtro separado (véanse las instrucciones específicas para el producto).

Selección del filtro RFI

Un filtro RFI se selecciona para atenuar las perturbaciones conducidas. No es posible comparar las perturbaciones medidas de una fuente y la pérdida de inserción para un filtro, ya que la base de medición para los dos elementos de información no corresponderá.

Siempre es necesario comprobar un filtro junto con la fuente de perturbación para garantizar una atenuación adecuada y cumplir con los límites aplicables de emisión.

Instalación del filtro RFI

Las conexiones fiables de AF/baja impedancia son esenciales para garantizar un buen funcionamiento del filtro, por lo que deben seguirse las siguientes instrucciones.

- El filtro debe montarse sobre un panel de metal con puntos de conexión sin pintar de conformidad con las instrucciones de su fabricante.
- La orientación del filtro debe ser tal que proporcione una distancia suficiente entre la entrada y la salida del cableado del filtro para evitar el acoplamiento cruzado entre la parte limpia y la sucia.
- La longitud del cable entre el filtro y el convertidor debe minimizarse.
- El cable de entrada del filtro debe separarse del cable que conecta el filtro al convertidor.
- El cable de entrada del filtro debe estar separado del cable de motor.

Selección de una envolvente secundaria

Siempre es necesario proporcionar una envolvente EMC donde debe instalarse el BDM (por ejemplo un convertidor de chasis abierto IP 00) o si deben conectarse componentes adicionales a la parte sucia de una unidad que cumple las normas en todos los aspectos restantes.

Para los módulos de chasis adjuntos en los que las conexiones a motor se realizan directamente a los terminales de salida del convertidor, y todas las piezas de apantallamiento internas se han instalado, no existen requerimientos para envolventes especiales.

Si los convertidores cuentan con dispositivos de conmutación de salida, por ejemplo, se requerirá una envolvente EMC, dado que la jaula de Faraday integral no será aplicable.

A modo de recordatorio, la EMC sólo es una de las partes de la selección de la envolvente. La envolvente se dimensiona de conformidad con diversos criterios:

- Seguridad
- Grado de protección (grado IP)
- Capacidad de rechazo de calor
- Espacio para el equipo accesorio
- Aspectos estéticos
- Acceso a cables
- Cumplimiento de EMC
- Requisitos generales para compatibilidad EMC

Deben observarse las directrices del fabricante para la construcción y la conexión a tierra.

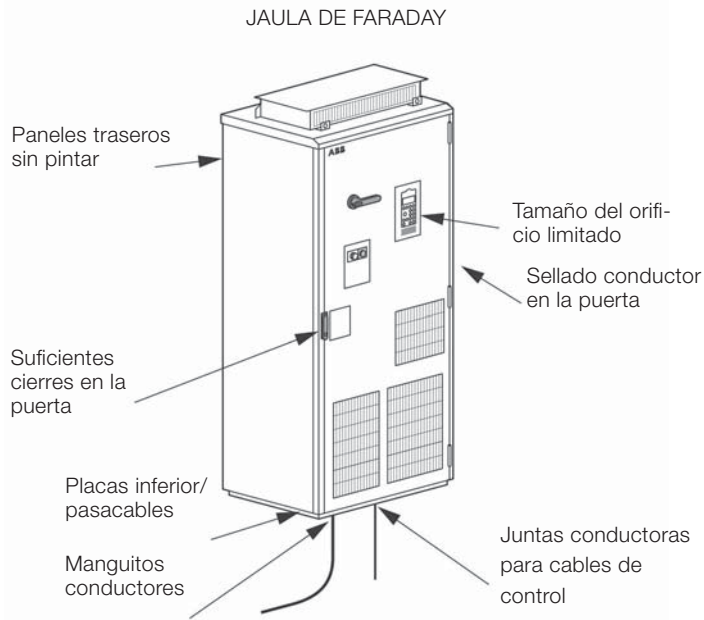


Figura 3-4 Detalle de la abertura de una envolvente típica.

Orificios en las envolventes

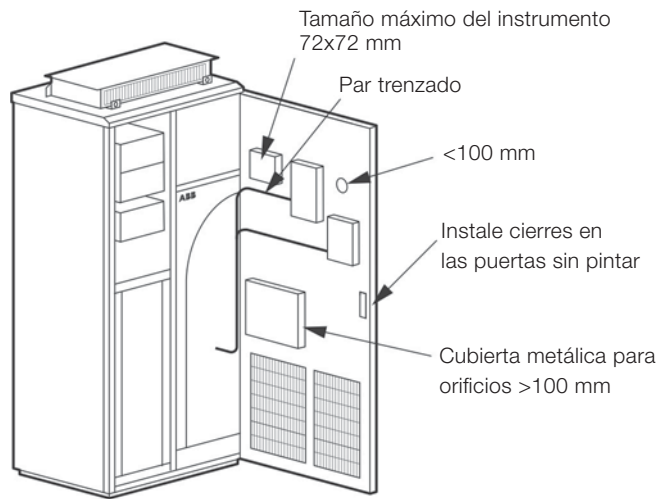
En la mayoría de los casos, deben realizarse algunos orificios en las envolventes, por ejemplo para los dispositivos de puerta, las persianas, los cierres, los cables, etc.

Cuando debe emplearse una envolvente EMC, el diámetro o diagonal máxima para cualquier orificio es de 100 mm, que es igual a 1/10 de la longitud de onda de una frecuencia de 300 MHz. Estas dimensiones se han determinado aceptables en las comprobaciones de EMC.

Los orificios mayores de 100 mm deben cubrirse con un bastidor de metal rodeando la abertura y conectado a tierra a la envolvente.

Los orificios para observación mayores pueden cubrirse con barnizado específico con capa conductora.

El barnizado debe conectarse a los contornos de metal no pintados con cinta conductora de dos caras o junta conductora.



Compruebe que no hay orificios >100 mm

Figura 3-5 Puntos esenciales de las conexiones de potencia.

Conexión a tierra a 360° de AF

La conexión a tierra a 360° de AF debe llevarse a cabo en todos los puntos en los que los cables entren en la envolvente del convertidor, la caja de conexión auxiliar o el motor. Existen diversos métodos para implementar la conexión a tierra de AF. Las soluciones empleadas en los productos CDM/BDM de ABB se describen aquí.

Conexión a tierra de AF con pasacables

Los pasacables, especialmente diseñados para la conexión a tierra a 360° de AF, son adecuados para cables de potencia con un diámetro inferior a 50 mm.

Los pasacables no se emplean normalmente para los cables de control debido al hecho de que la distancia de las conexiones de control a los pasacables suele ser demasiado larga para una conexión a tierra de AF fiable. Si los pasacables se emplean con cables de control, el apantallamiento de cable debe continuar tan cerca de las conexiones de control como sea posible. Sólo debería retirarse el aislamiento exterior del cable para exponer el apantallamiento de cable para la longitud del pasacables.

Para obtener el resultado óptimo de la conexión a tierra de AF, el apantallamiento del cable debería cubrirse con cinta conductora. La cinta debe cubrir toda la superficie del apantallamiento, incluyendo el cable flexible, y debería presionarse fuertemente con los dedos después de cada vuelta.

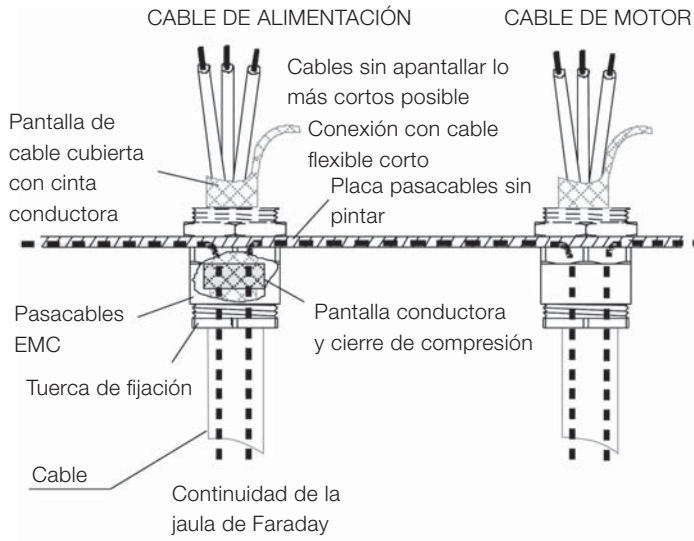


Figura 3-6 Puntos esenciales de las conexiones de potencia.

Conexión a tierra de AF con manguito conductor

La conexión a tierra a 360° de AF en las entradas de los cables de potencia puede efectuarse empleando un manguito conductor alrededor del apantallamiento de cable. El manguito se conecta a la jaula de Faraday fijándolo al collar especialmente diseñado en la placa pasacables.

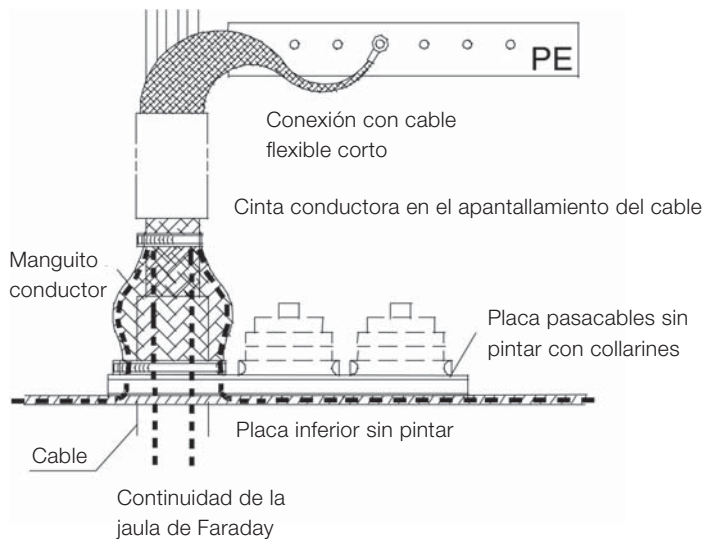


Figura 3-7 Conexión a tierra a 360° con manguito conductor.

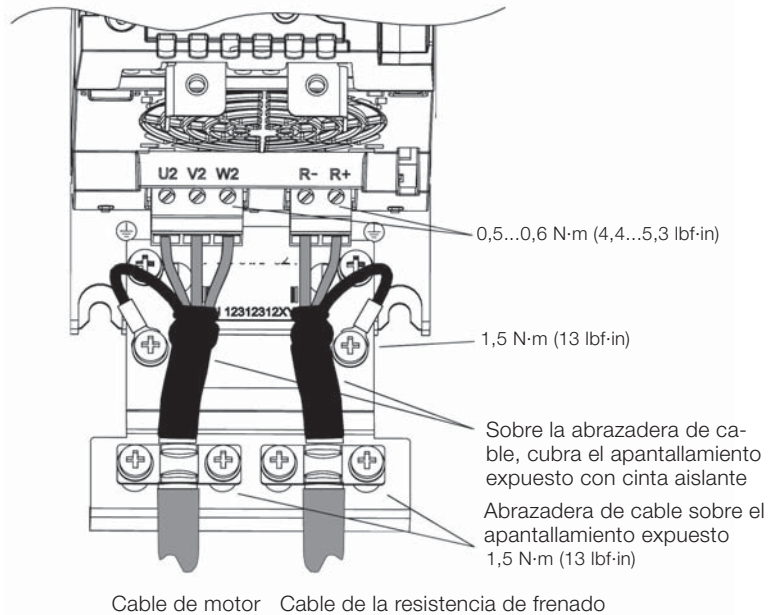


Figura 3-8 Conexión a tierra a 360° con abrazadera para el apantallamiento del cable.

La ventaja de esta solución es que el mismo manguito puede emplearse para cables con distintos diámetros.

El cable puede sostenerse de forma mecánica con abrazaderas, y no se requiere un pasacables específico.

Observe que el manguito no actúa como abrazadera de liberación de tensión.

Conexión a 360° en el extremo del motor

La continuidad de la jaula de Faraday en el extremo del motor debe garantizarse con los mismos métodos que en la entrada del armario, es decir:

- Jaula de Faraday y grado de protección IP 55. Esto incluye:
 - Emplear pasacables con contacto galvánico para fijar el cable.
 - Sellar el apantallamiento de cable con cinta conductora.
 - Emplear juntas conductoras para sellar la placa pasacables y la cubierta de la caja de terminales.
- Nota: Compruebe la disponibilidad con el fabricante del motor. Es habitual que esta sea una opción para el motor.
- Los cables flexibles de los conductores de conexión a tierra deben ser lo más cortos posible.

La Figura 3-9 muestra una solución de jaula de Faraday en el extremo del motor.

Para motores no protegidos completamente, como en el formato de refrigeración IC01, IC06, etc. la continuidad de la jaula de Faraday debe garantizarse igual que para la envolvente del convertidor

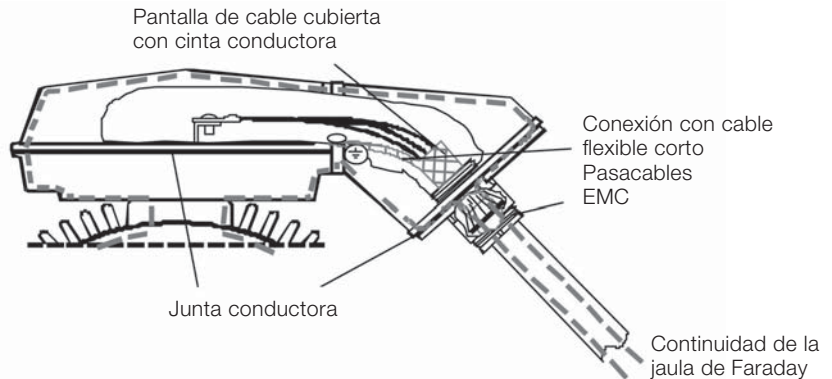


Figura 3-9 Puntos esenciales en el cableado de motor.

Juntas conductoras con cables de control

La conexión a tierra a 360° de AF para cables de control puede llevarse a cabo con juntas conductoras. En este método el cable de control apantallado se conduce a través de dos juntas y se comprime como se muestra en la figura 3-10.

Cuando se montan juntas en una placa pasacables, el apantallamiento del cable debe continuar tan cerca de las conexiones de control como sea posible. En este caso, el aislamiento externo del cable debe retirarse para permitir la conexión al apantallamiento en toda la longitud del paso de la junta.

Apantallamiento cubierto con cinta conductora

La mejor conexión a tierra de AF se logra si las juntas se montan lo más cerca posible de las conexiones de control.

Las juntas deben instalarse para conectar con las superficies sin pintar conectadas a tierra de la placa pasacables en el que se han montado.

Todos los extremos de conexión deberían ser lo más cortos posible y trenzarse en pares cuando proceda. El apantallamiento de cable debe conectarse a tierra con el extremo de conexión empleando un cable flexible corto.

El tamaño de orificio en una placa pasacables requerido por estas juntas suele ser de 200 x 50 mm.

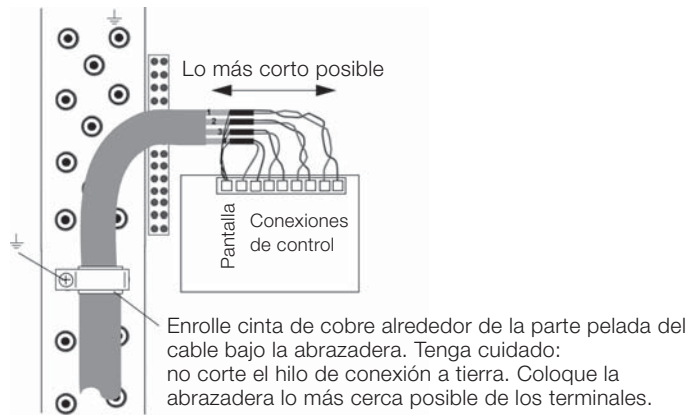


Figura 3-10 Puntos esenciales para el paso del cableado de control.

Instalación de accesorios

La variedad de accesorios que pueden instalarse es tan grande que sólo pueden facilitarse principios básicos para su selección e instalación.

De todas formas, los accesorios pueden dividirse en dos categorías dependiendo de lo inmunes/sensibles que sean. El dispositivo protegido en este contexto implica su capacidad de mantener la jaula de Faraday cerrada. Por ello se recomienda el uso de dispositivos protegidos/apantallados con metal cuando estos dispositivos estén disponibles.

Las reglas para los orificios en la envolvente deben aplicarse si hay dispositivos que forman un puente entre la parte limpia y la sucia que pueden ser perturbados.

Los dispositivos abiertos típicos son los fusibles, interruptores con fusibles, contactores, etc., que no tienen una cobertura de metal alrededor.

En general, estos dispositivos no pueden instalarse en la parte limpia sin paneles de apantallamiento metálicos de protección. Deben aplicarse las reglas para los orificios en la envolvente.

En el capítulo Ejemplos prácticos se facilitan algunos ejemplos de dispositivos abiertos y protegidos.

Cableado interno

Existen ciertas reglas básicas para el cableado interno:

- Mantenga siempre los cables de la parte limpia y la sucia separados y apantallados entre sí.
- Las conexiones de potencia internas limpias con unidades de accionamiento filtradas integralmente, por ejemplo del contactor a la entrada del convertidor, no requieren cables apantallados pero pueden requerir anillos de ferrita de desacoplamiento en los lugares en los que entran en la entrada del convertidor.

- Emplee hilos de par trenzado cuando sea posible.
- Emplee pares trenzados apantallados para el nivel de señal hacia fuera e hilos de retorno que salgan de la envolvente global.
- Evite mezclar pares con diferentes tipos de señal, por ejemplo: 110 V CA, 230 V CA, 24 V CA, analógica, digital.
- Coloque los cables a lo largo de la superficie de metal y evite que cuelguen en el aire, ya que pueden convertirse en una antena.
- Si se emplean canalizaciones de plástico, fijelas directamente a los paneles de instalación o al bastidor. No deje tramos en el aire, ya que podrían actuar como antenas.
- Mantenga el cableado de alimentación y control separado.
- Emplee señales aisladas galvánicamente (libres de potencial).
- Mantenga los hilos trenzados tan cerca del terminal como sea posible.
- Mantenga los cables flexibles tan cortos como sea posible.
- Las conexiones a tierra deberían ser lo más cortas posible con conductores de tira plana, multitrenzados o trenzados flexibles para una baja impedancia RFI.

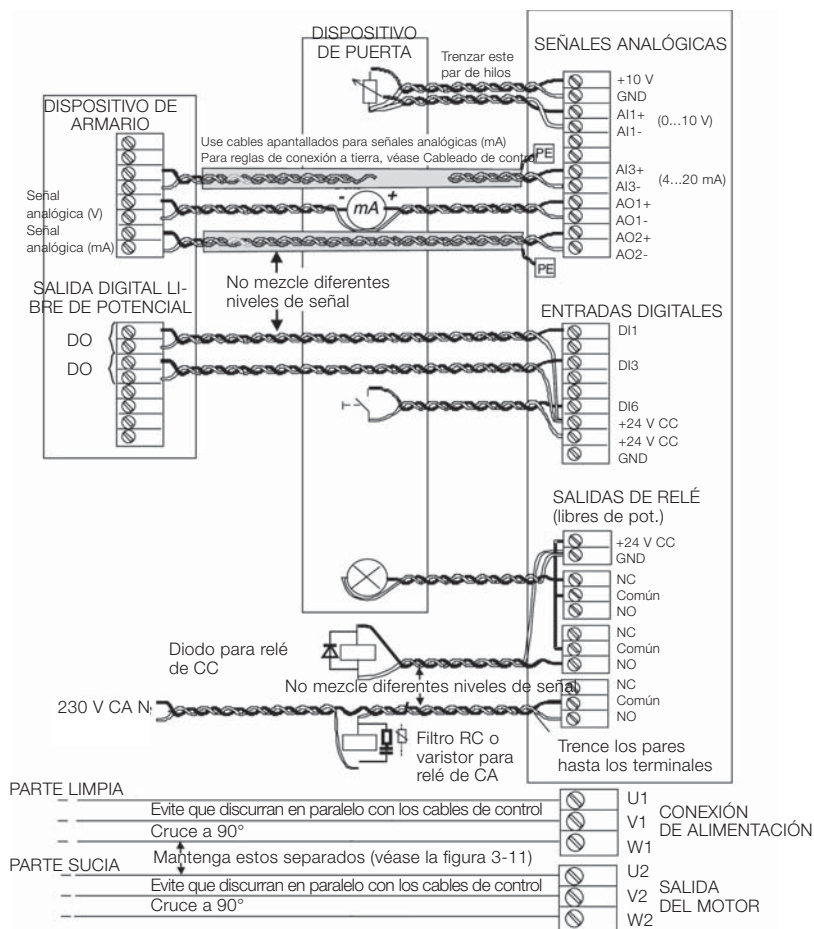


Figura 3-11 Principios de cableado dentro del CDM.

Cableado y cables de control

El cableado de control forma parte de la jaula de Faraday, como se describe en la sección Juntas conductoras con cables de control.

Además de la correcta conexión a tierra de AF, existen algunas reglas básicas para el cableado de control:

- Emplee siempre cables de par trenzado apantallado:
 - cable con apantallamiento doble para señales analógicas
 - el apantallamiento sencillo para otras señales es aceptable pero se recomienda cable con apantallamiento doble.
- No haga circular señales de 110/230 V en el mismo cable con los cables de menor nivel de señal.
- Mantenga los pares trenzados individuales para cada señal.
- Lleve a cabo la conexión a tierra directamente en la parte del convertidor de frecuencia.

Si las instrucciones para el dispositivo en el otro extremo del cable indican una conexión a tierra en ese extremo, conecte a tierra los apantallamientos internos en el extremo del dispositivo más sensible y el apantallamiento externo en el otro.

Coloque los cables de señal según la figura 3-12 en los casos en los que sea posible y siga las instrucciones proporcionadas por los manuales específicos para el producto.

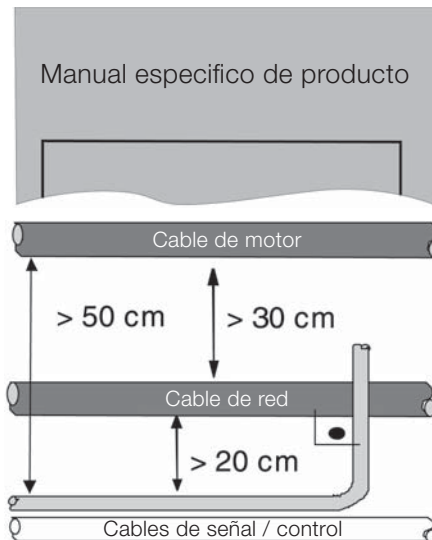


Figura 3-12 Pautas de colocación de los cables de control.

Hay más información acerca del cableado de control en los documentos “Conexión a tierra y cableado de los sistemas de accionamiento” y en los manuales específicos para el producto.

Cables de potencia

Dado que los cables forman parte del PDS, también forman parte de la jaula de Faraday. Para poder satisfacer los requisitos de EMC, deben emplearse cables de potencia con una buena eficacia en cuanto a apantallamiento.

El objetivo del apantallamiento es reducir las emisiones radiadas.

Para que sea eficaz, el apantallamiento debe tener una buena conductividad y cubrir la mayoría de la superficie del cable. Si el apantallamiento del cable se emplea como una conexión a tierra de protección, el área de sección transversal del apantallamiento (o la conductividad equivalente) debe ser al menos un 50% del área de sección transversal del conductor de fase.

Los manuales específicos del producto describen algunos tipos de cables que pueden emplearse en la alimentación de red y en la salida de motor.

Si estos tipos de cables no están disponibles localmente, y dado que los fabricantes de cables tienen distintas construcciones de apantallamientos, los tipos pueden evaluarse en virtud de la impedancia de transferencia del cable.

La impedancia de transferencia describe la eficacia del apantallamiento del cable. Se emplea de forma común con los cables de comunicación.

El cable puede constar de un apantallamiento trenzado o flexible, y el material del apantallamiento debería ser preferiblemente de cobre o de aluminio.

La idoneidad para determinados tipos de convertidores se menciona en los manuales específicos para el producto.

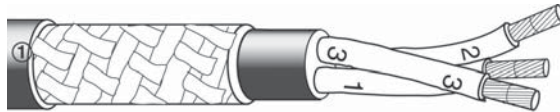


Figura 3-13 Hilo de acero galvanizado o cobre estañado con apantallamiento trenzado.

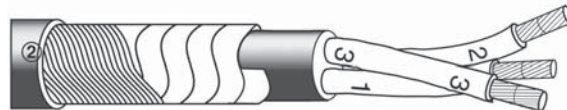


Figura 3-14 Capa de cinta de cobre con capa concéntrica de hilos de cobre.

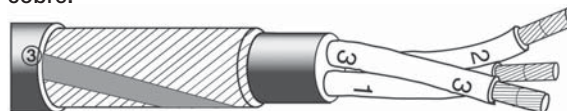


Figura 3-15 Capa concéntrica de hilos de cobre con una hélice abierta de cinta de cobre.

Impedancia de transferencia

Para satisfacer los requisitos para emisión radiada, la impedancia de transferencia debe ser menor que $100 \text{ m}\Omega/\text{m}$ en el rango de frecuencia de hasta 100 MHz . La mayor eficacia del apantallamiento se logra con un conductor de metal o un apantallamiento de aluminio ondulado. La figura 3-16 muestra los valores de impedancia de transferencia típicos de distintas construcciones de cable. Cuanto mayor es el recorrido del cable, menor es la impedancia de transferencia requerida.

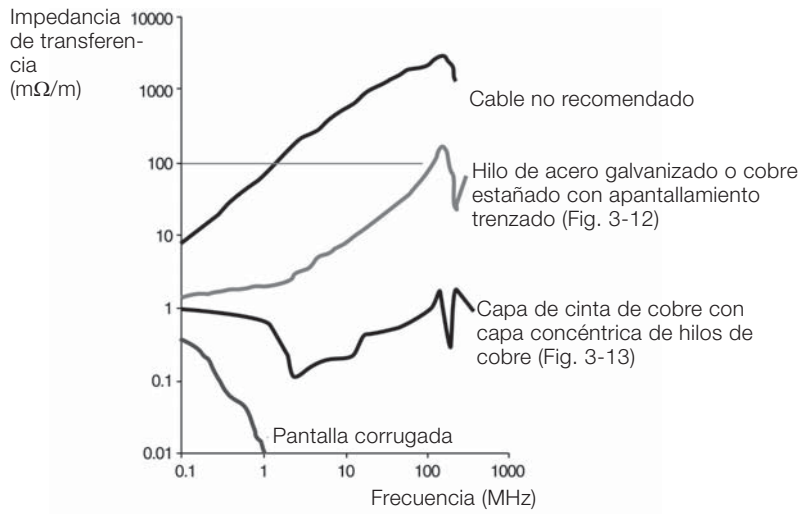


Figura 3-16 Impedancia de transferencia de los cables de potencia.

Empleo de anillos de ferrita

En determinados casos, debido a niveles de emisión elevados, pueden emplearse inductores de modo común en los cables de señal para evitar problemas de interfaz entre distintos sistemas.

Las perturbaciones de modo común pueden suprimirse conectando conductores a través del núcleo de ferrita del inductor de modo común (figura 3-17).

El núcleo de ferrita incrementa la inductancia de los conductores y la inductancia mutua, por lo que las señales de perturbación de modo común por encima de una determinada frecuencia se suprimen. Un inductor de modo común ideal no suprime una señal de modo diferencial.

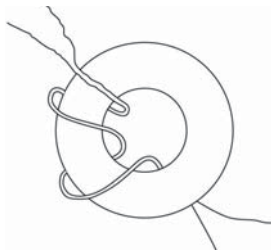


Figura 3-17 Anillo de ferrita en un cable de señal.

La inductancia (es decir, la capacidad de suprimir perturbaciones de AF) puede incrementarse dando varias vueltas al cable de señal.

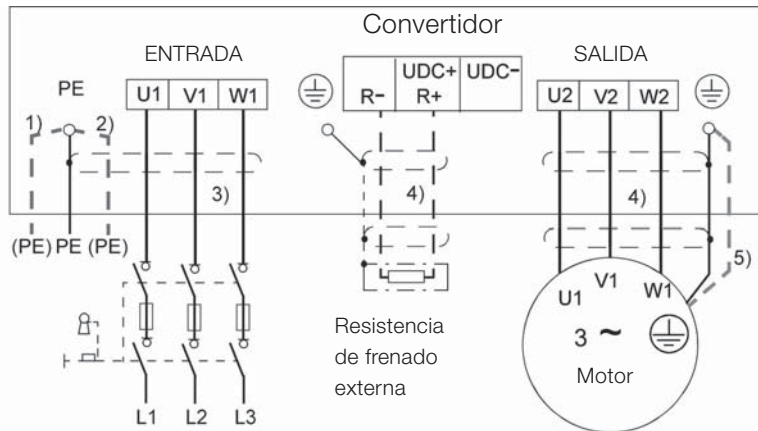
Cuando se emplee un anillo de ferrita con un cable de potencia, todos los conductores de fase deberían pasarse a través del anillo. El apantallamiento y el posible cable de conexión a tierra deben conectarse fuera del anillo para mantener el efecto de inductor de modo común. Con los cables de potencia no suele ser posible dar varias vueltas a través del anillo. La inductancia puede incrementarse empleando diversos anillos sucesivos.

Si por algún motivo las instrucciones para la instalación no pueden observarse y por lo tanto se añaden ferritas o filtros adicionales posteriormente, se recomienda que se tomen mediciones para confirmar su idoneidad.

Capítulo 4 - Ejemplos prácticos

Instalación simple

La mayoría de las instalaciones simples de PDS incluyen sólo tres cables: cable de alimentación, cable de motor y cable para la resistencia de frenado, como se muestra en la Figura 4-1.



Notas:

- 1), 2) Si se utiliza cable apantallado, use un cable PE independiente (1) o un cable con un conductor de conexión a tierra (2) si la conductividad del apantallamiento del cable de alimentación es <50% de la conductividad del conductor de fase.
Conecte a tierra el otro extremo de la pantalla o el conductor PE del cable de entrada a través del cuadro de distribución.
- 3) Conexión a tierra a 360 grados recomendada con cable apantallado.
- 4) Conexión a tierra a 360 grados requerida.
- 5) Utilice un cable de conexión a tierra independiente si la conductividad de la pantalla del cable es <50% de la conductividad del conductor de fase y no existe un conductor de conexión a tierra de estructura simétrica en el cable.

Figura 4-1 Instalación PDS más simple.

Instalación típica

Los cables apantallados se muestran interconectando las partes principales, garantizando la atenuación de las emisiones radiadas. La alimentación se lleva a cabo a través del filtro RFI.

La jaula de Faraday se conecta a tierra y todas las emisiones se descargan a tierra.

En el caso de la figura 4-2 no se requiere que el armario sea a prueba de EMC, ya que las conexiones se efectúan directamente en un convertidor de frecuencia que cumple EMC.

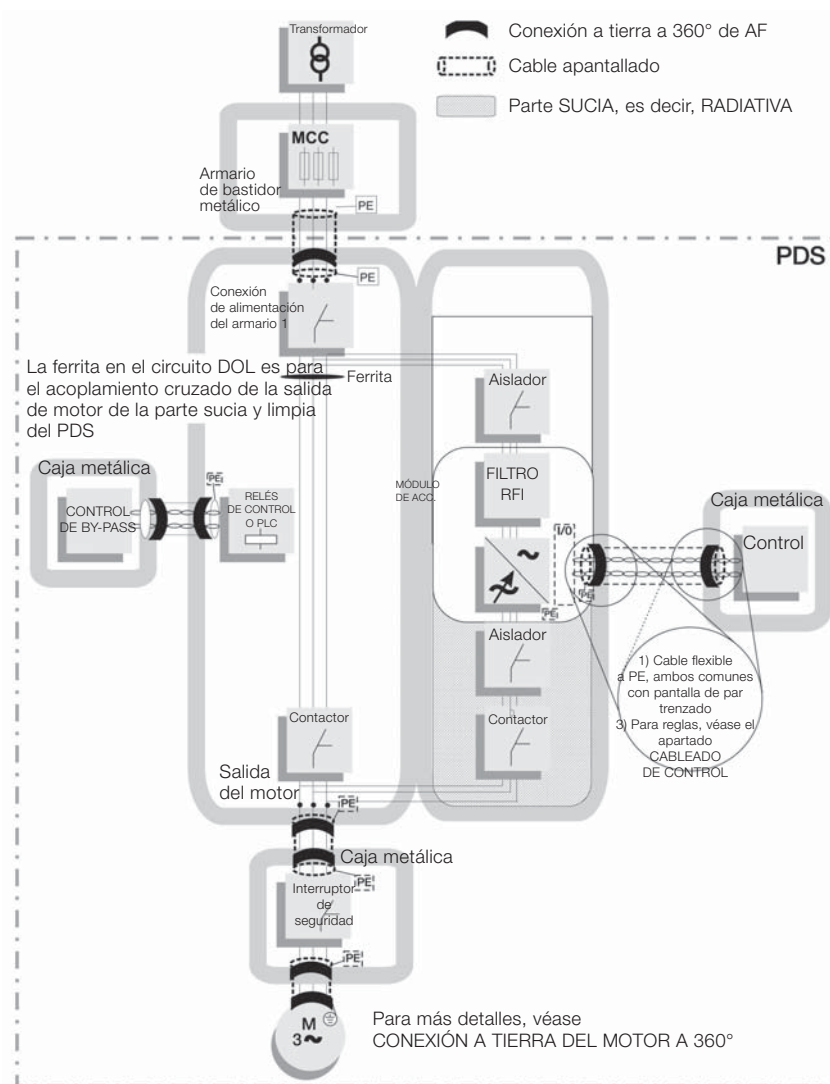


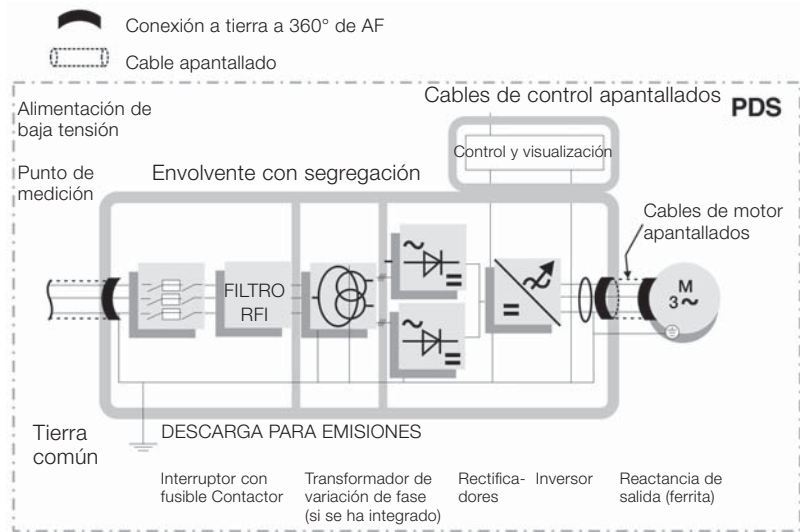
Figura 4-3 Esquema básico con by-pass.

Ejemplo típico de convertidor de 12 pulsos

En este caso un rectificador de 12 pulsos es una red IT, desconectada de tierra debido al bobinado en triángulo, por lo que cualquier filtro en la línea debe estar en el primario del transformador de variación de fase.

La experiencia ha demostrado que, en este caso, con conexiones cortas a los embarrados, el apantallamiento de tierra entre los bobinados del transformador no es adecuado para la atenuación de emisiones conducidas con vistas a su empleo en el primer entorno. Por lo tanto el filtro RFI puede ser necesario en el primario del transformador para el cumplimiento de la EMC. El filtro RFI no se requiere normalmente para el segundo entorno.

Para el equipo alimentado desde una red IT puede emplearse un procedimiento similar. Un transformador de aislamiento permite conectar a tierra el PDS y emplear un filtro adecuado para su uso en el primer entorno. El punto de acoplamiento está a una tensión media y las emisiones pueden considerarse como el siguiente punto de baja tensión de acoplamiento en el sistema. El nivel de emisiones debería corresponder a las pertinentes para el entorno apropiado. Para las definiciones, véase Entornos de instalación en el capítulo 2.



Nota: Todo el equipo en el interior debe protegerse
Figura 4-4 Sistema de convertidor de 12 pulsos alimentado en BT.

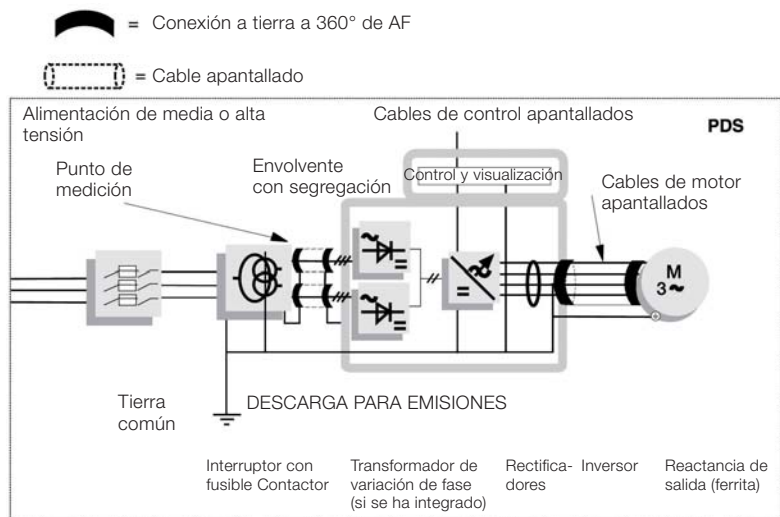


Figura 4-5 Sistema de convertidor de 12 pulsos alimentado en BT (CDM, transformador e interruptor con fusible con carcasa separada).

Example of EMC plan

This is a form for making an EMC plan where the user and the manufacturer analyze the installation and define the measures to be taken to achieve electromagnetic compatibility. The plan defines the responsibilities of the manufacturer, the installer and the user of the drive. All these parties establish the plan jointly. Fill in and answer the questions below.

Paso 1: Nombre de las partes	
Fabricante/proveedor	ABB Oy, Drives
Usuario final	ABC Paper company
N.º de pedido	123456789
Tipo de instalación (p. ej., planta química, máquina de papel)	Máquina de papel PM3
Aplicación (p. ej., bomba, ventilador, cinta transportadora)	Sistema de accionamiento seccional

Paso 2: Reúna datos de conexión a tierra y distribución de potencia		
Distribución de potencia	Punto de acoplamiento: código de identificación del panel de distribución, apartamento o transformador	
	Transformador T11	
	Tipo de red de distribución	TN-C, TN-S TT, IT
Bus de conexión a tierra	¿Cómo y cuándo se unió? En el transformador de alimentación T11	

Paso 3: Reúna datos de EMC (sólo en el rango de alta frecuencia)		
Equipo sensible a RFI en la instalación	¿Hay algún equipo en el edificio o cerca de la ubicación de instalación sensible a perturbaciones de RF (p. ej., medición y control de proceso, buses de datos, ordenadores, control remoto, etc.)? Describalo.	Sí / No Unidad de gestión de datos para el control del proceso
	Distancia aproximada del PDS y cableado del PDS	5 metros
	Camino de acoplamiento más probable para la perturbación	Conducido Radiado
Equipo sensible a RFI fuera de la instalación	¿Hay alguna antena receptora de comunicaciones o transmisión visible o cerca de la instalación (p. ej., radar, transmisión de radio/TV, aficionados, microondas u otras)? Describalo.	Sí / No
	Frecuencia	Hz
	Distancia desde la antena	metros
Paso 4: Defina las reglas de instalación		
Siga las reglas de instalación del Manual de hardware del convertidor.		
Evalúe los siguientes elementos y describa las soluciones.		
Eficacia EMC	Elementos a tener en cuenta	
Cableado	<ul style="list-style-type: none"> - cableado conforme a las normas y directrices de cableado de ABB (tipos de cables, instalación, bandejas separadas, etc.) - conexión a tierra conforme a las instrucciones de ABB (conexión a tierra de bandejas, etc.) 	
Transformador dedicado	<ul style="list-style-type: none"> - transformador de alimentación dedicado T11 con apantallamiento EMC estático 	

Firma(s) de la(s) persona(s) responsable(s) de la EMC

Fecha 26/09/2007

Firma(s)

Joe Smith

Capítulo 5 - Bibliografía

Hay varios textos a los que se hace referencia en esta guía. Se recomienda su lectura para ayudarle a alcanzar los requisitos de cumplimiento de las instalaciones:

EN 61800-3, Sistemas de accionamiento de potencia eléctrica de velocidad ajustable - parte 3, norma de producto EMC incluyendo comprobación específica (publicada por CENELEC, Bruselas, Bélgica y las organizaciones de normalización internacionales en los países miembros de la UE).

EN 61800-3:2004

Equipo electrónico sin interferencias por el Dr. Sten Benda (publicado por ABB Industry Ab, Västerås, Suecia)

Guía técnica N.º 2 - Directivas del Consejo de la UE y Sistemas de accionamiento de potencia eléctrica de velocidad ajustable, código 3AFE61253980 (publicado por ABB Oy Drives, Helsinki, Finlandia)

Conexión a tierra y cableado del sistema de accionamiento, código 3AFY61201998 (publicado por ABB Oy Drives, Helsinki, Finlandia)

Capítulo 6 - Índice

- A**
 - Acoplamiento cruzado 36
 - Anillo de ferrita 33, 34
 - Antena 30
 - Aparato 7, 12, 13, 14
 - Armario 13, 20, 27, 35
 - Armónicos 10
- B**
 - Bobinado delta 37
- C**
 - Cable con pantalla doble 31
 - Cable flexible de conexión 25, 27, 28
 - Campo electromagnético irradiado 10
 - Canalización de plástico 30
 - Cenelec 41
 - Cliente 8
 - Compatibilidad electromagnética 10
 - Componentes 12
 - Componentes de alimentación 10
 - Conducción 10
 - Convertidor 23, 28, 29, 35, 36, 38
 - Convertidor 7, 8, 9, 11, 12, 13, 14, 19, 20, 21, 22, 25, 29, 31, 32, 37, 39, 40
 - Convertidor de frecuencia 31, 35
- D**
 - Descarga electrostática 10
 - Desequilibrio 10
 - Directiva de baja tensión 7
 - Directiva de máquinas 7
 - Documentación técnica 7, 8, 12, 13
 - Dol 36
- E**
 - Eee 7, 10
 - Electrónica de control 10
 - Emisión de alta frecuencia 10
 - Entorno 10, 15, 16, 37
 - Entorno electromagnético 10
 - Envoltorio 12, 19, 20, 23, 24
 - Equipo 7, 8, 10, 11, 12, 13, 14
 - Equipo acabado 12, 13, 14
 - Escalones 10
 - Etiquetaje ce 7, 12, 14, 15
- F**
 - Fabricante 7, 8, 12, 13, 24, 27
 - Fabricantes de bienes de equipos (oem) 7
 - Fenómenos de alta frecuencia 10
 - Fenómenos de baja frecuencia 10
 - Filtro de interferencias de radiofrecuencia 20, 23, 35, 37
 - Fusible 38
- G**
 - Grapa para protección contra tirones 27
- I**
 - Instalación fija 12, 14, 15, 17
- J**
 - Jaula de faraday 20, 21, 22, 23, 26, 27, 28, 29, 31, 32
 - Junta 25
- M**
 - Módulo de accionamiento básico 8, 11
 - Módulo de accionamiento completo 8, 11
 - Montador 7, 12, 13, 16, 17, 21
 - Motor 25, 27
- N**
 - Núcleo de ferrita 33
- P**
 - Par trenzado 30, 31
 - Pasacables 25, 27
 - Perturbación electromagnética 14
 - Perturbaciones de radiofrecuencia por conducción 10
 - Placa pasacables 26
 - Primer entorno 15, 16, 37
 - Punto de acoplamiento 38
- R**
 - Radiación 10
 - Ráfaga de transitorios rápidos 10
 - Rectificador de 12 pulsos 37
 - Red de baja tensión 15
 - Red de media tensión 15
 - Red de suministro eléctrico 15, 16
 - Redes de distribución de alimentación 15
 - Red it 37, 38
- S**
 - Segundo entorno 16, 17
 - Sistema 7, 8, 9, 10, 11, 17
 - Sistema de accionamiento de potencia 1, 3, 10, 11
 - Sobretensión eléctrica 10
 - Subconjunto 12
- T**
 - Transformador 15, 37, 38
 - Transformador de aislamiento 38
 - Transformador de cambio de fase 37
- U**
 - Unidad funcional única 8, 14
 - Usuario 7, 8, 11, 12, 14, 16
 - Usuario final 12, 13, 16, 39

Contacte con nosotros

Para obtener más información, póngase en contacto con su representante local de ABB o visite:

www.abb.es

www.abb.com/drivespartners

© Copyright 2014 ABB. Todos los derechos reservados.
Las especificaciones están sujetas a cambio sin previo aviso.

3BFE 64312391 REV D ES 12.6.2014 #17149



ABB drives

Guía técnica N.º 4 Guía de Accionamientos de Velocidad Variable

Power and productivity
for a better world™



Guía técnica N.º 4

Guía de Accionamientos de Velocidad Variable

Contenido

Capítulo 1 - Introducción	7
General	7
Capítulo 2 - Los procesos y sus requisitos.....	8
¿Por qué un control de la velocidad variable?	8
Segmentos industriales con procesos AVV	9
Variables en los sistemas de procesamiento	10
Máquinas utilizadas para alterar las propiedades de los materiales... ..	11
Forma bien definida	11
Forma indefinida	11
...y para transportar materiales.....	12
Materiales sólidos	12
Materiales líquidos	12
Materiales gaseosos	12
Capítulo 3 - La fuerza motriz de la industria: el motor eléctrico.....	13
La mayoría de máquinas se accionan con motores eléctricos	13
Los motores convierten la energía eléctrica en mecánica.....	14
El convertidor de frecuencia controla la inducción electromagnética ...	15
La eficacia del sistema de accionamiento	16
A veces se requiere una rotación o un par inversos	17
La carga, la fricción y la inercia resisten la rotación.....	18
El motor debe superar el par de carga.....	19
El par de accionamiento y de la carga son equivalentes velocidad nominal.....	20
Capítulo 4 - Los volúmenes variables requieren algún tipo de control.....	21
Flujo de materiales variables y requisitos de entrada/salida.....	21
Métodos de control más sencillos	22
El mejor método de control es el AVV	23
AVV mecánicos, hidráulicos y eléctricos	24
Acoplamiento hidráulico	24
Accionamiento de CC	24
Accionamiento de CA	24
Los AVV eléctricos dominan el mercado	25
Costes de mantenimiento.....	25
Productividad	25
Ahorro de energía	25
Mayor calidad.....	25
El mercado de los accionamientos de CA crece con rapidez	26

Capítulo 5 - Accionamiento de CA: líder en métodos de control.....	27
Funciones básicas de un accionamiento de CA	27
Curvas de capacidad de carga de un motor con accionamiento de CA	28
Características del accionamiento de CA para controlar mejor los procesos.....	29
Inversión	30
Control del par.....	30
Eliminación de vibraciones mecánicas	30
Funcionamiento con cortes de la red	31
Función de bloqueo	31
Compensación de deslizamiento	32
Arranque con girando	32
Características medioambientales.....	33
EMC.....	33
Capítulo 6 - Coste-beneficio del accionamiento de CA.....	34
Diferencias técnicas entre otros sistemas y los accionamientos de CA	35
No se requieren piezas de control mecánicas	36
Factores que afectan al coste	37
Costes de inversión: componentes mecánicos y eléctricos.....	38
El motor	38
El accionamiento de CA	38
Costes de instalación: el regulador por estrangulación frente al accionamiento de CA	39
Costes operativos: mantenimiento y energía del accionamiento	40
Comparación del coste total	41
Capítulo 7 - Índice	42

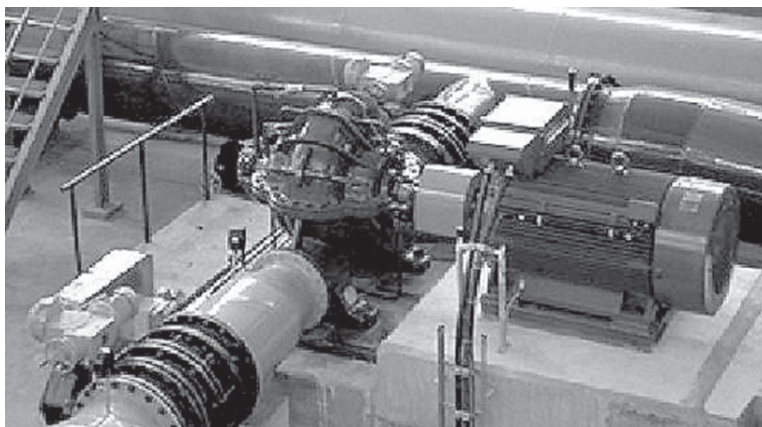
Capítulo 1 - Introducción

General

Con esta guía se continúa la serie de guías técnicas de ABB. En ella se describen diferentes accionamientos de velocidad variable (AVV) y su aplicación en procesos industriales. Se ha prestado especial atención a los AVV eléctricos y, sobre todo, a los accionamientos de CA.

Esta guía pretende ser lo más práctica posible. Aunque no es necesario tener conocimientos específicos sobre los AVV, sí es preciso disponer de conocimientos técnicos básicos a fin de comprender los términos y las descripciones utilizadas.

Capítulo 2 - Los procesos y sus requisitos



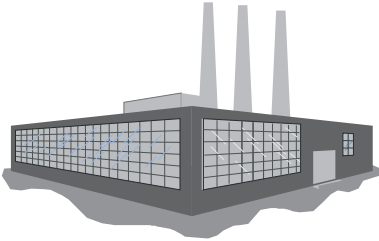
¿Por qué un control de velocidad variable?

Para entender por qué es necesario controlar la velocidad variable, primero es preciso comprender los requisitos de los diferentes procesos. Dichos procesos se pueden dividir en dos grandes categorías: el tratamiento de material y el transporte de material. No obstante, estos dos títulos básicos engloban numerosas subcategorías.

Ambas categorías comparten una característica común: su capacidad de ajustar procesos. El ajuste se consigue gracias a los AVV. En este capítulo se describen los principales procesos industriales y no industriales que utilizan AVV.

¡ Sólo unos ejemplos!

Industriales: Industria química Pulpa, papel, impresión Alimentación y bebidas Centrales de energía Minería Industria metalúrgica Talleres de maquinaria Plásticos Textiles	No industriales: HVAC Tratamiento de aguas
---	---

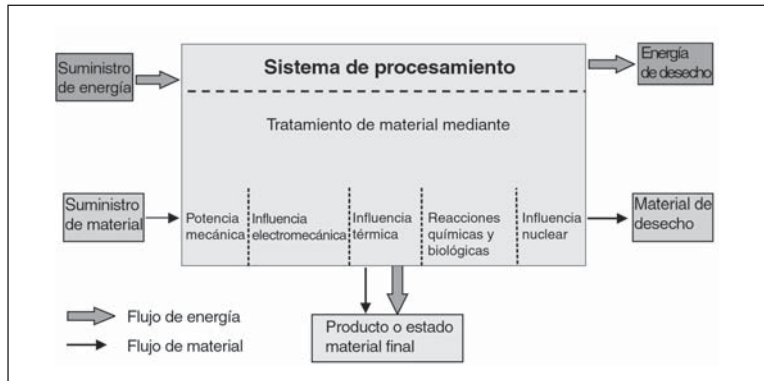


Segmentos industriales con procesos AVV

Son muchos los procesos industriales, pero en esta lista sólo se mencionan algunos segmentos industriales con procesos que utilizan AVV. El denominador común de estos procesos es que requieren algún tipo de control con AVV.

Por ejemplo, en las aplicaciones de aire acondicionado (parte del HVAC), los requisitos de corriente de aire varían según la humedad y la temperatura de la habitación. No obstante, estos requisitos pueden cumplirse ajustando los ventiladores de alimentación y retorno de aire y, dichos ajustes, se realizan con los AVV.

Los ventiladores también se utilizan en centrales de energía y en la industria química y, en ambos casos, deben ajustarse al proceso principal. En las centrales de energía, el proceso principal varía según la demanda de energía durante las diferentes partes del año, del día o de la semana. Los requerimientos de uso de los AVV también difieren en función del proceso.



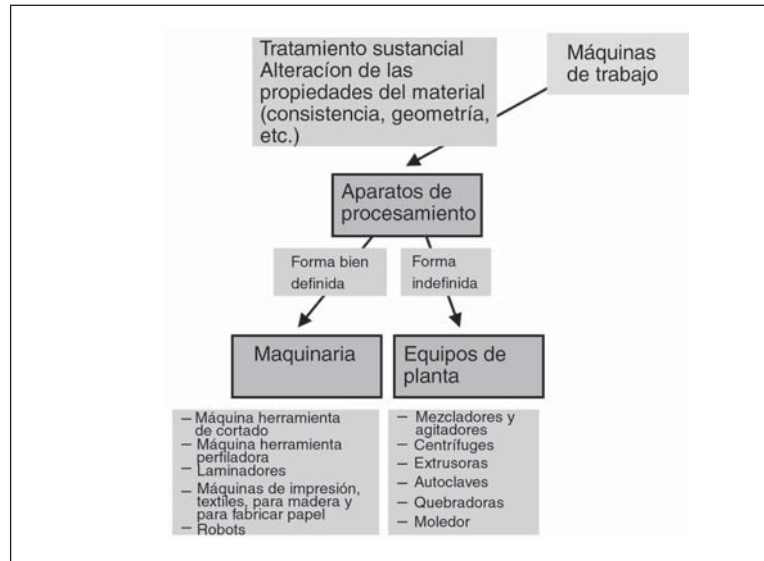
Variables en los sistemas de procesamiento

Este diagrama muestra las variables que afectan al sistema de procesamiento. Estas variables pueden dividirse en: variables de energía y variables de material. En el sistema de procesamiento, el material y la energía se procesan mediante potencia mecánica, influencia electromagnética, influencia térmica, reacciones químicas y biológicas e, incluso, energía nuclear.

Los procesos necesitan el material y la energía suministrados para completar los procesos requeridos. El resultado de los procesos es el producto o el estado material final pero, en todos los procesos también se producen también desechos, bien sean de tipo energético o material.

En los sistemas de procesamiento, los AVV se utilizan para controlar la potencia mecánica de las distintas máquinas implicadas en el proceso.

Los AVV también pueden controlar el tratamiento del material. Un buen ejemplo de ello es el horno de secado, que siempre debe mantener una temperatura de calor constante. Dicho proceso se regula con los AVV, que controlan la velocidad de los ventiladores de aire caliente.



Máquinas utilizadas para alterar las propiedades de los materiales...

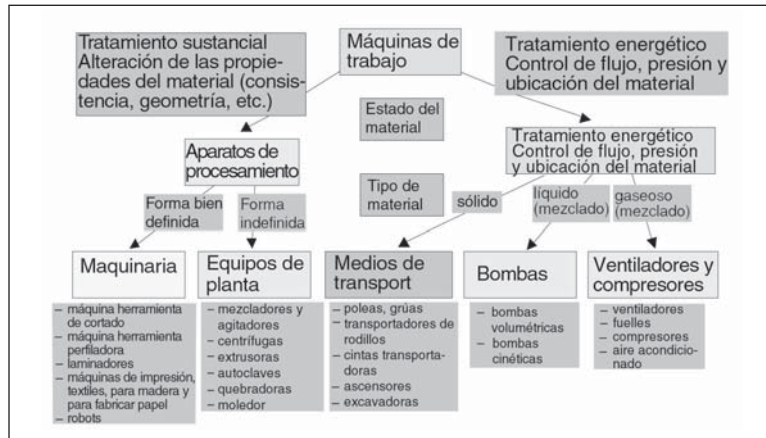
Tal y como se ha mencionado anteriormente, los procesos de las máquinas de trabajo se dividen en dos categorías, la primera de las cuales es el tratamiento de material, realizado con diferentes aparatos de procesamiento y cuyo objetivo es alterar las propiedades del material y dotarlo de una forma diferente.

Forma bien definida

Los aparatos de procesamiento se dividen en dos grupos en función de la forma resultante del material tratado, que puede ser bien definida o indefinida. Los materiales con una forma bien definida, tales como el papel, el metal o la madera, se procesan con máquinas. Un ejemplo de ello son las máquinas para fabricar papel, los laminadores y las líneas de las serrerías.

Forma indefinida

Los materiales con una forma indefinida, como algunos alimentos, plásticos, etc., se procesan con los equipos de planta. Un ejemplo de esta clase de equipo son los agitadores de margarina y diversos tipos de centrifugas y extrusoras.



...y para transportar materiales

En la segunda categoría se encuentran las máquinas que transportan el material al emplazamiento correspondiente. Este grupo está formado por máquinas transportadoras, dosificadoras y de cambio de presión. Dichas máquinas se dividen, a su vez, en tres subgrupos diferentes dependiendo de si el material tratado es sólido, líquido o gaseoso.

Materiales sólidos

Los materiales sólidos, como los contenedores de embarque, el metal, la madera, los minerales y, naturalmente, las personas, se transportan con máquinas transportadoras como grúas, cintas transportadoras y ascensores.

Materiales líquidos

Los materiales líquidos, tales como el agua, el aceite o las sustancias químicas líquidas se transportan con bombas.

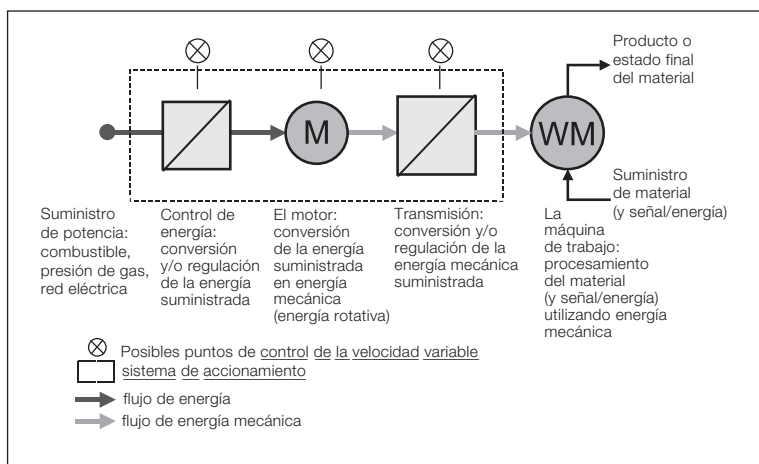
Materiales gaseosos

Los materiales gaseosos, como el aire, se transportan con ventiladores, compresores y fuelles. El aire acondicionado es una aplicación especial de estas máquinas.

En el diagrama superior se muestran cinco máquinas diferentes que modelan o transportan distintas clases de material, pero todas pueden utilizarse potencialmente como accionamientos de velocidad variable.

Capítulo 3 - La fuerza motriz de la industria: el motor eléctrico

Todas las máquinas mencionadas anteriormente se accionan con motores eléctricos. De hecho, podría afirmarse que el motor eléctrico es la fuerza motriz de los procesos industriales. En este capítulo analizaremos con mayor detalle los motores eléctricos, en especial el motor de jaula de ardilla de CA, el motor más común en los procesos industriales.

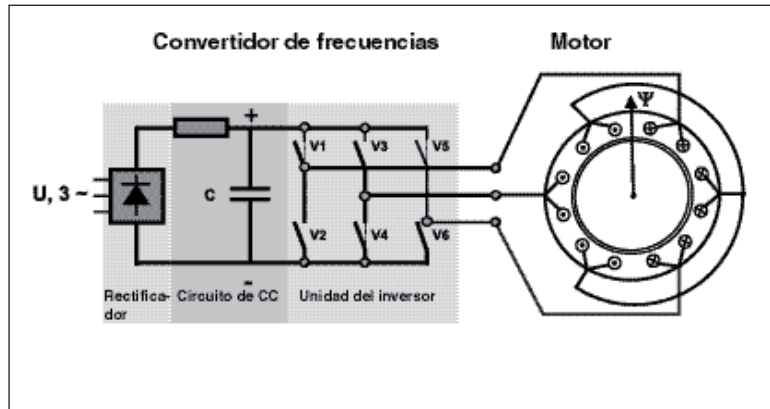


La mayoría de máquinas se accionan con motores eléctricos

Todas las máquinas están formadas por los cuatro componentes representados en el diagrama. Dichos componentes son: el control de energía, el motor, la transmisión y la máquina de trabajo. Los tres primeros forman, conjuntamente, el denominado “sistema de accionamiento”, que transforma un tipo de energía específico en la energía mecánica que utilizada después por la máquina de trabajo. La energía se transmite al sistema de accionamiento desde el suministro de energía.

En cada uno de los tres componentes del sistema de accionamiento es posible controlar la velocidad variable utilizando, por ejemplo, un convertidor de frecuencia a modo de dispositivo de control de energía, un motor de dos velocidades como motor y unos engranajes como transmisión.

Tal y como se ha afirmado anteriormente, la mayoría de máquinas están accionadas por un motor eléctrico, y éstos se dividen en motores de CA y de CC. Los motores de CA, en especial los de jaula de ardilla, son los más utilizados en los procesos industriales.



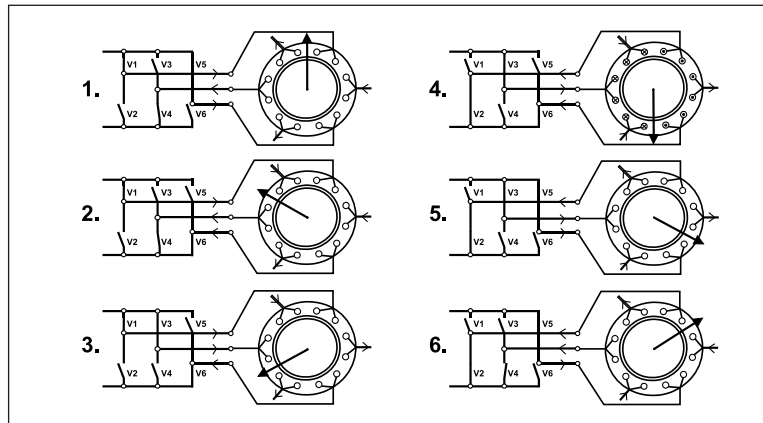
Los motores convierten la energía eléctrica en mecánica

La capacidad del motor de CA de convertir la energía eléctrica en mecánica se basa en la inducción electro-magnética. La tensión en el bobinado del estator genera la corriente y el flujo magnético. La dirección de flujo de la corriente del estator puede determinarse con la regla de los tres dedos.

Si se cambia la dirección de la tensión en el bobinado del estator, también puede cambiarse la dirección del flujo. Al variar, en el orden correcto, la dirección de la tensión en el bobinado del motor trifásico, el flujo magnético del motor comienza a girar. En ese instante, el rotor del motor empieza a seguir el flujo con un cierto deslizamiento. Este es el principio básico utilizado para controlar los motores de CA.

El control puede lograrse utilizando un convertidor de frecuencia. Tal y como sugiere su nombre, el convertidor de frecuencia cambia la frecuencia de la corriente y la tensión alterna. Un convertidor de frecuencia se compone de tres partes. El rectificador recibe la corriente trifásica normal de 50Hz y la convierte en corriente continua. La tensión de CC es transmitida al circuito de barras de CC que filtra la tensión pulsante. A continuación, el inversor conecta cada fase del motor a las barras de CC negativas o positivas siguiendo un orden específico.

Para recibir la dirección de flujo que aparece en el diagrama, los conmutadores $V1$, $V4$ y $V5$ deben estar cerrados. Para que el flujo gire en dirección contraria a las agujas del reloj, el conmutador $V6$ debe estar cerrado, pero el $V5$ abierto. Si el conmutador $V5$ no está abierto, el circuito sufrirá un corto circuito. El flujo ha girado 60° en dirección contraria a las agujas del reloj.



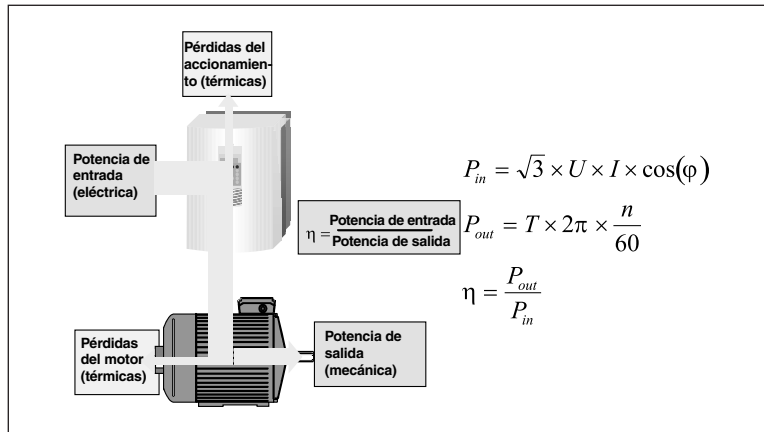
El convertidor de frecuencia controla la inducción electromagnética

En el inversor existen ocho posiciones diferentes de conmutación. En dos de estas posiciones la tensión es equivalente a cero, es decir, todas las fases están conectadas a la misma barra de CC, bien sea negativa o positiva. Por tanto, en las seis posiciones de conmutación restantes, en el bobinado del motor existe una tensión que genera un flujo magnético.

El diagrama muestra las tres posiciones de conmutación y las direcciones de flujo que la tensión del bobinado genera en cada caso. La tensión también genera corriente en el bobinado, la dirección de la cual está marcada con flechas para cada fase.

En la práctica el control no es tan simple como se presenta aquí. El flujo magnético genera unas corrientes en el rotor que complican la situación. Interferencias externas, tales como variaciones de temperatura o de carga, también pueden crear algunas dificultades de control. No obstante, con la tecnología y los conocimientos actuales, es posible tratar esta interferencia de forma eficaz.

Los AVV eléctricos también ofrecen ventajas adicionales, como es el ahorro de energía, dado que el motor no utiliza más energía eléctrica de la necesaria. Asimismo, el control es mejor que con los métodos convencionales, pues los AVV eléctricos permiten aplicar un control progresivo.



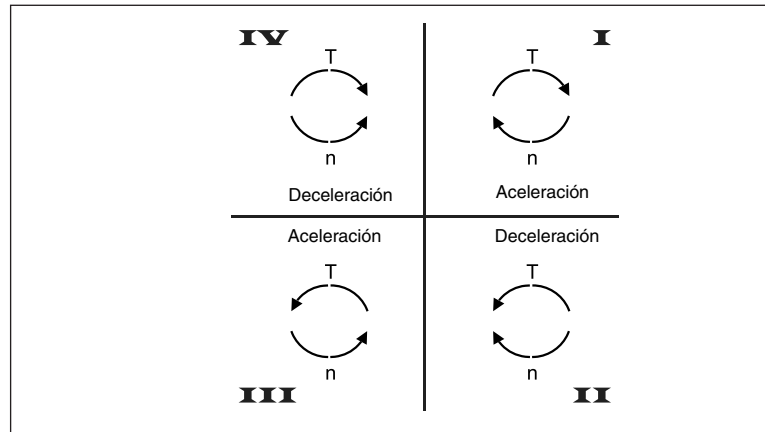
La eficacia del sistema de accionamiento

La eficacia total del sistema de accionamiento depende de las pérdidas del motor y de su control. Tanto las pérdidas del sistema de accionamiento como las del motor son térmicas, y por tanto aparecen en forma de calor. La potencia de entrada del sistema de accionamiento es eléctrica, mientras que la de salida es mecánica. Por esa razón, para calcular el coeficiente de eficacia (η) es necesario poseer conocimientos de ingeniería eléctrica y mecánica.

La potencia eléctrica de entrada P_{in} depende de la tensión (U), de la corriente (I) y del factor de potencia ($\cos\varphi$). El factor de potencia indica cuál es la proporción de potencia activa del total de la potencia eléctrica y qué porcentaje es potencia reactiva. A fin de producir la potencia mecánica requerida, es necesaria una potencia activa, mientras que la potencia reactiva es necesaria para producir una imantación en el motor.

La potencia mecánica de salida P_{out} depende del par requerido (T) y de la velocidad de rotación (n). Cuanto mayor sea la velocidad o el par requeridos, mayor será la potencia requerida, lo cual tiene un efecto directo sobre la cantidad de potencia que el sistema de accionamiento extrae del suministro eléctrico. Tal y como se ha mencionado anteriormente, el convertidor de frecuencia regula la tensión de suministro del motor y, de este modo, controla directamente la potencia utilizada en el motor y el proceso sometido a control.

La conmutación eléctrica con transistores es muy eficaz, así que la eficacia del convertidor de frecuencia es muy elevada, del 0,97 al 0,99. La eficacia del motor se halla normalmente entre el 0,82 y el 0,97, dependiendo del tamaño del motor y de la velocidad nominal. Por tanto, puede afirmarse que la eficacia total del sistema de accionamiento es siempre superior al 0,8 si está controlado por un convertidor de frecuencia.



A veces se requiere una rotación o un par inversos

En algunos casos, se requiere una rotación inversa del motor y, además, también pueden variar los requisitos de dirección del par. La combinación de estos factores forma el denominado “accionamiento de cuatro cuadrantes”. El nombre deriva de los cuatro cuadrantes diferentes (I al IV) que se muestran en el diagrama.

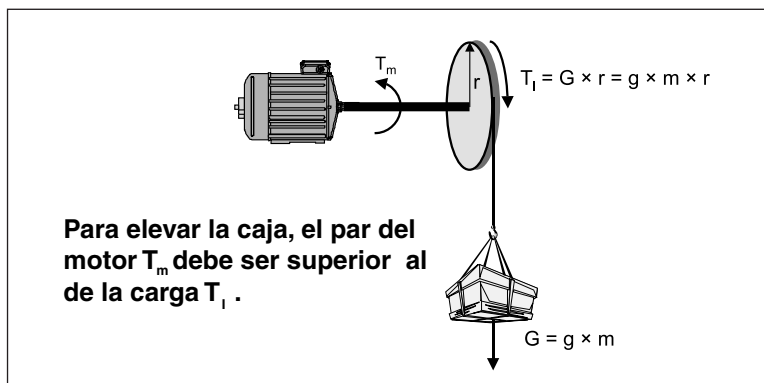
4

Cuadrante I: En el primer cuadrante el motor gira en la dirección de la agujas del reloj. Dado que el par sigue la misma dirección que la velocidad, el accionamiento se acelera.

Cuadrante II: En el segundo cuadrante el motor sigue girando en la dirección de las agujas del reloj, pero el par está en la dirección opuesta, así que el accionamiento se desacelera.

Cuadrantes III y IV: En el tercer y cuarto cuadrante, el motor gira en dirección contraria a las agujas del reloj y el motor vuelve a acelerarse o desacelerarse dependiendo de la dirección del par.

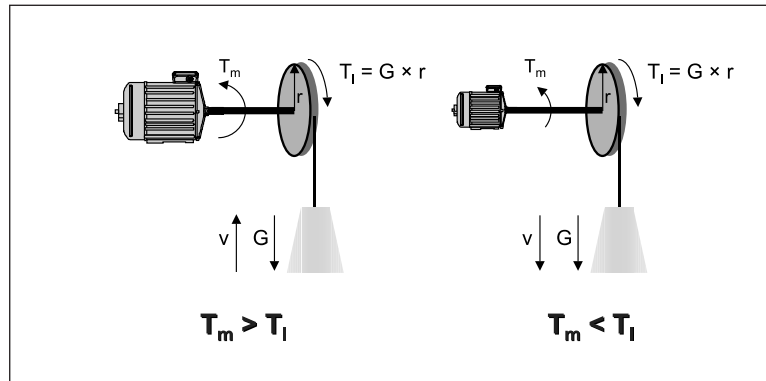
Con un convertidor de frecuencia, los cambios en la dirección del par pueden aplicarse independientemente de la dirección de giro. Para producir un accionamiento de cuatro cuadrantes eficaz, es necesario algún tipo de dispositivo de frenado. Esta clase de control del par es especialmente necesario para las aplicaciones de grúa, donde la dirección de rotación puede cambiar mientras que la del par permanece igual.



La carga, la fricción y la inercia resisten la rotación

El motor debe producir el par requerido para superar el par de carga. El par de carga se compone de la fricción, de la inercia de las partes en movimiento y de la propia carga, que depende de la aplicación. En el ejemplo del diagrama, para elevar la caja, el par del motor debe ser superior al de la carga, que depende de la masa de la caja.

Los factores de carga varían según la aplicación. Por ejemplo, en una trituradora, el par de carga no sólo depende de la fricción y de la inercia, sino también de la dureza del material a quebrar. En el caso de los ventiladores y los fuelles, un cambio en la presión de aire puede, entre otros factores, afectar al par de carga.

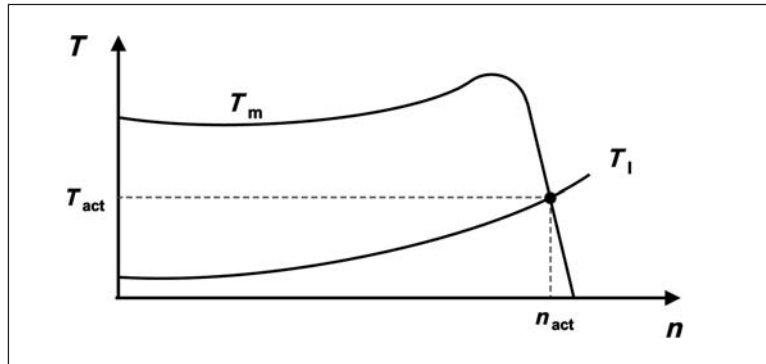


El motor debe superar el par de carga

En todos los casos, antes de seleccionar un motor para una aplicación, debe conocerse el par de carga y la velocidad requerida. Sólo entonces puede seleccionarse el motor apropiado para una aplicación determinada.

Si el motor es demasiado pequeño, no podrán cumplirse los requisitos específicos y puede ocasionar grandes problemas. Por ejemplo, en una aplicación con grúa, es posible que un motor demasiado pequeño no pueda levantar la carga lo bastante rápido y a la altura requerida o, incluso, que la grúa suelte la carga, tal como se muestra en el diagrama, lo cual tendría graves consecuencias para aquellas personas que trabajen en el puerto o emplazamiento donde se encuentra la grúa. Para calcular el par nominal del motor, puede utilizarse la siguiente fórmula:

$$T[Nm]=9550 \times \frac{P[kW]}{n[1/min]}$$



El par de accionamiento y el par de carga son equivalentes a velocidad nominal

La curva de par/velocidad de un motor es única y debe calcularse de forma independiente para cada tipo de motor. Una curva de par/velocidad típica es la que se muestra en el gráfico como T_m . Como puede observarse, el par de carga máximo se alcanza justo por debajo de la velocidad nominal.

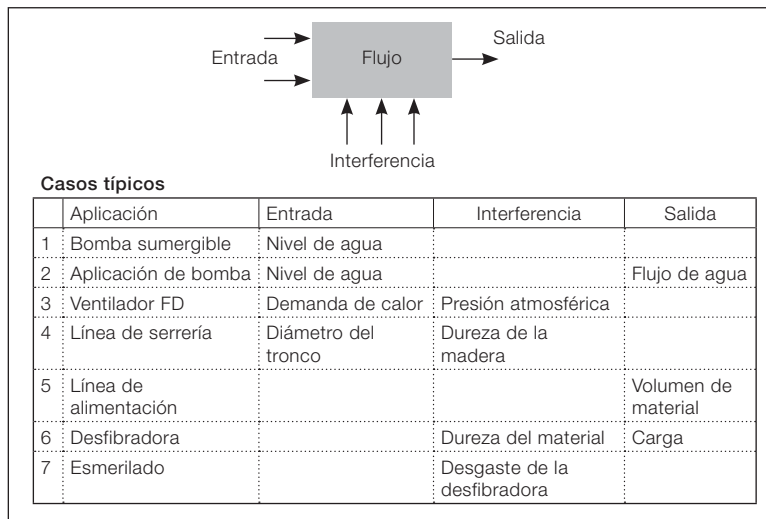
El par de carga T_l suele aumentar con la velocidad. Dependiendo de la aplicación, puede ser lineal o cuadrático. El motor se acelerará automáticamente hasta que el par de carga y el del motor sean equivalentes. Este punto se muestra en el gráfico en la intersección entre T_m y T_l . El par real (T_{act}) aparece en el eje de la y, mientras que la velocidad real (n_{act}) aparece en el eje de la x.

Estos son los principios que gobiernan el funcionamiento de un motor común de jaula de ardilla. Con un convertidor de frecuencia, puede obtenerse un rendimiento óptimo del control en el motor y en la totalidad del sistema de accionamiento. Este punto será presentado más adelante.

Capítulo 4 - Los volúmenes variables requieren algún tipo de control

En la mayoría de procesos existe como mínimo una variable. Esta variable requiere un ajuste del proceso. Por tanto, los procesos y volúmenes de material variables requieren algún tipo de control.

En este capítulo analizaremos los procesos y sus variables. Asimismo, examinaremos los diferentes métodos de control.



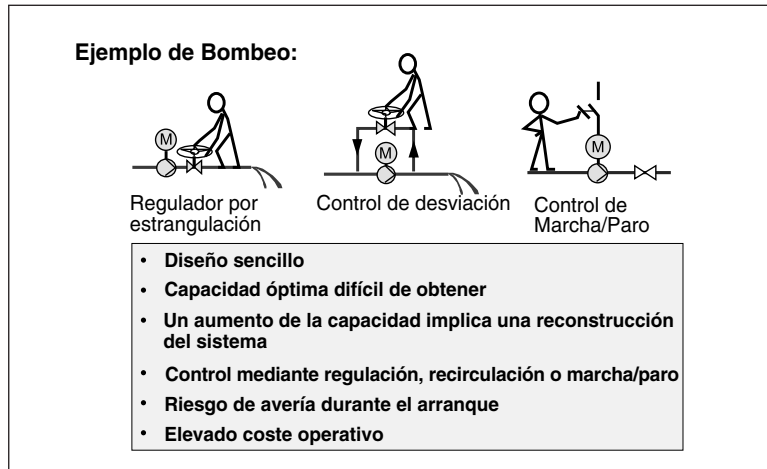
Flujo de material variable y requisitos de entrada/salida

En un proceso pueden existir numerosos parámetros distintos, pero los más comunes son la entrada, la salida y la interferencia. Es posible que estos parámetros deban ser constantes o que varíen en función de un patrón predeterminado. Tal como y se ha comentado en el primer capítulo, en los procesos siempre hay entradas y salidas y, casi siempre, interferencias.

En algunos procesos no existe interferencia alguna y la entrada es constante. Este tipo de procesos funcionan sin ningún control de velocidad variable. No obstante, si es necesario cambiar los parámetros de salida, la entrada es variable, o existen interferencias, un control de la velocidad variable puede ser la solución para cumplir con los requisitos del proceso.

En la tabla superior se muestra una lista de algunos procesos que exigen un control de velocidad variable así como las razones que determinan dicho control: la entrada, la interferencia o la salida.

Los volúmenes variables requieren algún tipo de control

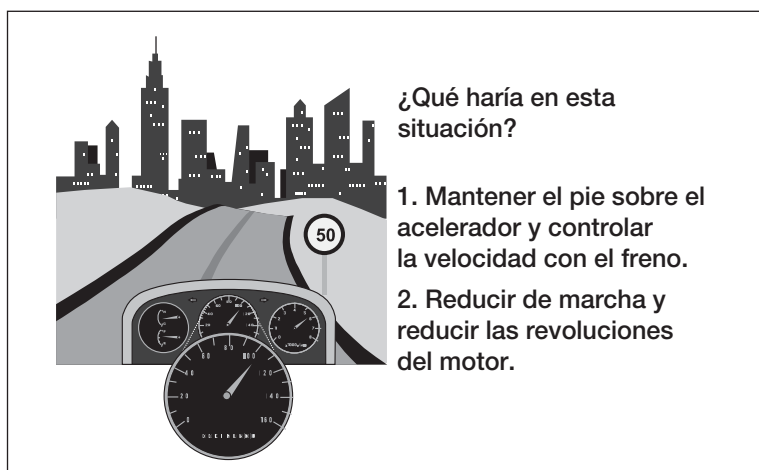


Métodos de control más sencillos

Existen muchos métodos de control más sencillos, tales como el regulador por estrangulación o el control de derivación. El diseño de esta clase de equipos suele ser bastante sencilla y, en un principio, la inversión puede parecer rentable.

Sin embargo, estos equipos presentan muchos inconvenientes. Por ejemplo, con un control sencillo, es muy difícil obtener una capacidad óptima del proceso y ofrecer la mejor calidad posible. Asimismo, un aumento en la capacidad de producción suele implicar una reconstrucción del proceso y, con cada arranque directo en línea, existe el riesgo de producir una avería eléctrica y/o mecánica.

Los métodos de control más sencillos también consumen más energía por lo que, además de representar un coste operativo superior al de los AVV, el impacto sobre el medio ambiente también es mayor. Las centrales de energía, por ejemplo, emiten una mayor cantidad de CO₂ a la atmósfera. En consecuencia, el coste del ciclo de vida total de los métodos de control más sencillos es muy superior al de los AVV.

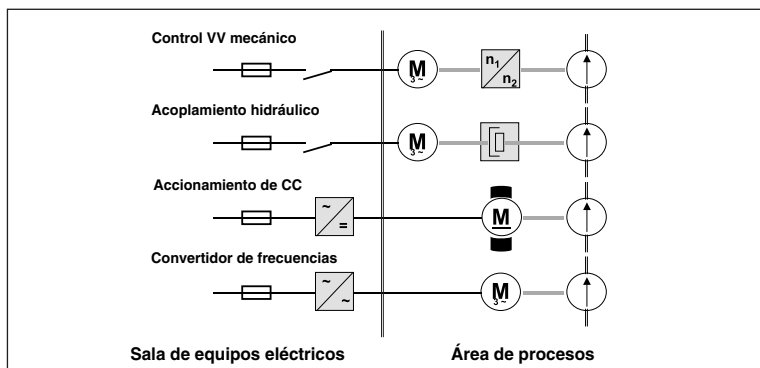


El mejor método de control es el AVV

En la mayoría de sistemas el mejor método de control es el AVV. Imagine, por ejemplo, que está conduciendo un coche por la autopista y que entra en una población. Para no arriesgar su vida ni la de otras personas, debe reducir la velocidad.

La mejor manera sería reducir la velocidad de rotación del motor levantando el pie del acelerador y, en caso necesario, reduciendo de marcha. Otra posibilidad consistiría en emplear la misma marcha, mantener el pie sobre el acelerador y simplemente frenar para reducir la velocidad. En este último caso no sólo produciría un desgaste del motor y los frenos, sino que además consumiría una gran cantidad de combustible y mermaría su control del vehículo. Además, de este modo tampoco cumpliría con el objetivo principal de no arriesgar su vida ni la de otras personas.

Los volúmenes variables requieren algún tipo de control



Mechanical, hydraulic and electrical VSDs

En el cuadro superior se muestran los cuatro AVV más habituales en el sector industrial. Los controles mecánicos de velocidad variable suelen utilizar un accionamiento por correa y se controlan moviendo de forma manual las poleas cónicas o bien utilizando motores de posicionamiento.

Acoplamiento hidráulico

En el acoplamiento hidráulico se aplica el principio de la turbina. Al cambiar el volumen de aceite en el acoplamiento, varía la diferencia de velocidad entre los ejes de accionamiento y los accionados. La cantidad de aceite se controla mediante bombas y válvulas.

Accionamiento de CC

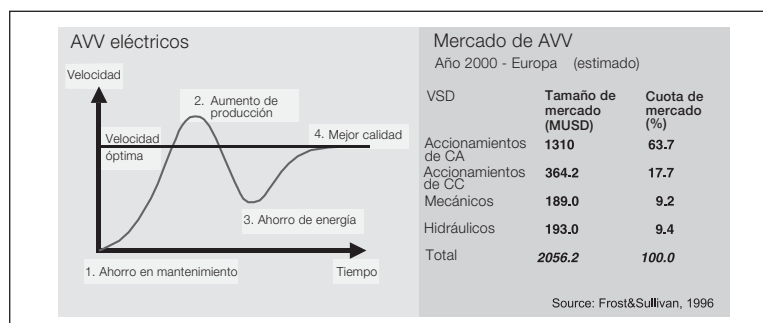
En el accionamiento de CC, un convertidor de CC cambia la tensión de alimentación suministrada al motor de CC. En el motor, un inversor mecánico -un conmutador- transforma la corriente continua en alterna.

Accionamiento de CA

En el convertidor de frecuencia o en el accionamiento de CA, se utiliza un motor de jaula de ardilla estándar y, por tanto, no se requieren inversores mecánicos. Tal y como se ha comentado al principio de esta guía, la velocidad del motor se regula con un convertidor de frecuencia que cambia la frecuencia de tensión del motor. El convertidor de frecuencias es controlado por señales eléctricas.

El diagrama muestra el emplazamiento del equipo de control para cada tipo de AVV. En el caso de los AVV mecánicos o hidráulicos, el equipo de control se encuentra entre el motor y la máquina de trabajo, lo cual significa que el mantenimiento es muy dificultoso.

En los AVV eléctricos, los sistemas de control se hallan en una sala de equipo eléctrico y sólo el motor de accionamiento se encuentra en el área de procesos, pero ésta es tan sólo una de las ventajas de los AVV eléctricos. En la página siguiente se presentan el resto de ventajas de este tipo de accionamiento.



Electrical VSDs dominate the market

Aquí se presentan los cuatro argumentos más importantes para utilizar AVV eléctricos así como la cuota de mercado de los AVV prevista en Europa para el año 2000. Las cuatro ventajas principales de los AVV eléctricos se resaltan en los puntos de inflexión de la curva de velocidad.

Costes de mantenimiento

El arranque directo en línea somete al motor y al equipo eléctrico a una serie de esfuerzos. Con los AVV eléctricos, se obtiene un arranque suave, que tiene una influencia directa sobre los costes de mantenimiento.

Productividad

Los equipos de procesos suelen estar diseñados de modo que puedan adaptarse a futuros aumentos de productividad. Reemplazar el equipo de velocidad constante para alcanzar volúmenes de producción más elevados implica un consumo de tiempo y dinero. Con los accionamientos de CA, un aumento del 5 al 20 por ciento de la velocidad no representa problema alguno ni requiere una inversión adicional.

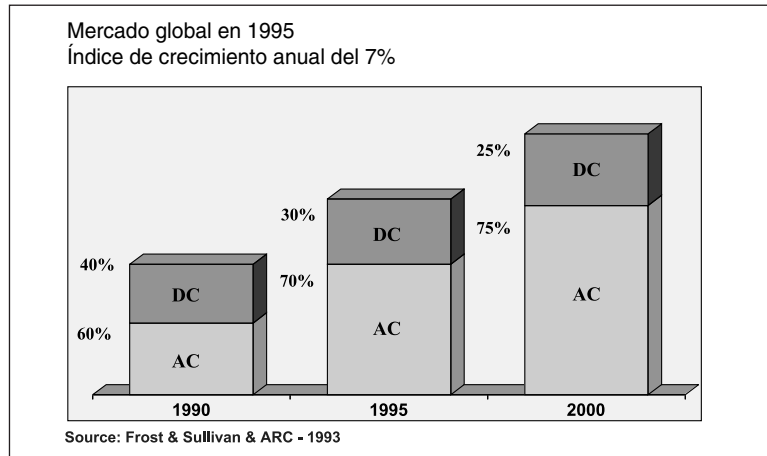
Ahorro de energía

En muchos procesos varían los volúmenes de producción, y cambiarlos de forma manual suele resultar muy ineficaz. Con los AVV eléctricos, es posible cambiar el volumen de producción simplemente cambiando la velocidad del motor. De este modo se ahorra una gran cantidad de energía, sobre todo en las aplicaciones de bombas y ventiladores, ya que la potencia del eje es proporcional a la velocidad de flujo elevada al cubo.

Mayor calidad

El control preciso de la velocidad que ofrecen los AVV eléctricos tiene como resultado una optimización de los procesos. Un control óptimo de los procesos permite obtener un producto de la mejor calidad y, por tanto, el mejor beneficio para el cliente.

Debido a estas ventajas y, tal como se refleja en la tabla superior, los AVV eléctricos dominan el mercado. Los accionamientos de CA y de CC representan, conjuntamente, más del 75% del mercado de AVV en Europa para el año 2000 y, los accionamientos de CA, más del 50%.



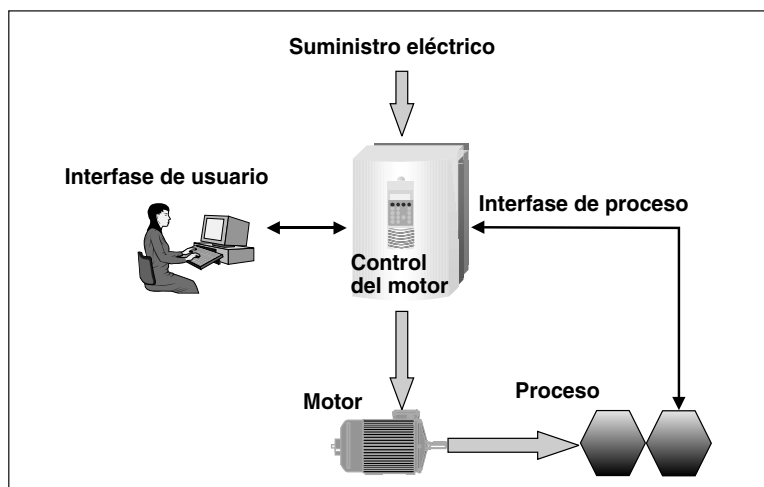
El mercado de los accionamientos de CA crece con rapidez

Este diagrama muestra el desarrollo previsto para el mercado de los AVV eléctricos en el año 2000. Como puede observarse, el mercado de los accionamientos de CA está creciendo a un ritmo aproximado del 10% anual, lo cual justifica el crecimiento global del mercado eléctrico y de los AVV. La cuota de mercado de los accionamientos de CC está disminuyendo, mientras que el mercado total de CC permanece aproximadamente constante. Este progreso se debe al desarrollo de la tecnología de los accionamientos de CA.

Tal como se ha mencionado anteriormente en esta guía, el accionamiento de CA ofrece muchas ventajas en comparación al resto de métodos de control de procesos. La diferencia entre el motor de CA y el de CC es que este último dispone de un conmutador mecánico con escobillas de carbón que requieren un mantenimiento regular. Además, el conmutador complica la estructura del motor y consume energía. Estas son las principales razones por las cuales la cuota de mercado de los accionamientos de CA está creciendo en comparación a la de los accionamientos de CC.

Capítulo 5 - Accionamiento CA: líder en métodos de control

Si se tiene en cuenta toda la información presentada hasta el momento, puede afirmarse que el accionamiento de CA es el líder en métodos de control. En el siguiente capítulo se analizará con mayor detalle las diferentes características del accionamiento de CA así como el grado de rendimiento que puede ofrecer.

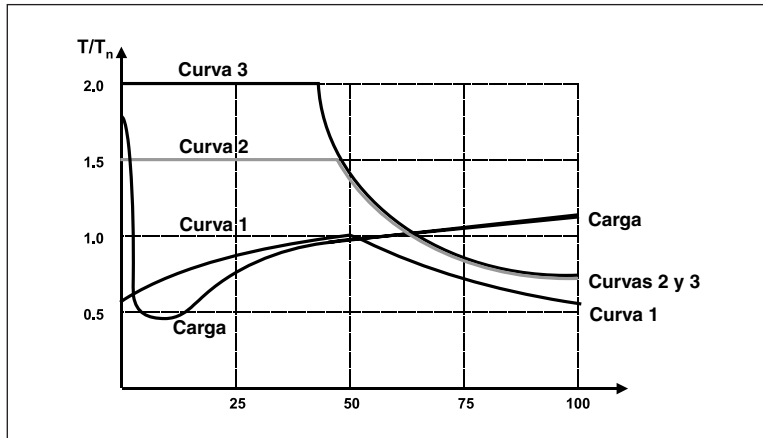


Funciones básicas de un accionamiento de CA

En este diagrama se presentan las funciones básicas de un accionamiento de CA. El control del motor de accionamiento de CA está formado por cuatro componentes distintos: la interfase de usuario, el motor, el suministro eléctrico y la interfase de proceso.

El suministro eléctrico ofrece al accionamiento la electricidad requerida; un criterio de selección para el accionamiento sería la tensión de suministro y la frecuencia. El accionamiento de CA convierte la frecuencia y la tensión, y alimenta al motor. El proceso de conversión se controla mediante señales del proceso o del usuario procedentes de las inferfases de proceso y usuario.

La interfase de usuario permite controlar el accionamiento de CA y obtener información sobre el proceso a través del accionamiento. De este modo, es fácil integrar el accionamiento con otros equipos de control de procesos y otros sistemas de sobrecontrol de procesos.



Curvas de capacidad de carga de un motor con accionamiento de CA

Si el motor se acciona sin un convertidor de frecuencia, no pueden modificarse las curvas de capacidad de carga; el motor producirá un par específico a una velocidad determinada y no podrá excederse el par máximo.

Con un accionamiento de convertidor de frecuencia, existen diferentes opciones de carga. La curva estándar, la Curva 1 del diagrama, puede utilizarse de forma continua, mientras que las otras curvas sólo pueden utilizarse durante ciertos períodos de tiempo, ya que el sistema de enfriamiento del motor no está diseñado para este uso tan pesado.

Los niveles de capacidad más elevados pueden ser necesarios, por ejemplo, durante el arranque. En ciertas aplicaciones, para el arranque se requiere hasta el doble del par normal. Ello es posible con un convertidor de frecuencia porque el motor se dimensiona en función de su uso normal y, de este modo, se logra reducir el coste de la inversión.

Para poder utilizar estas funciones, es muy importante que la carga, el accionamiento de CA y el motor sean compatibles. En caso contrario, el motor o el convertidor pueden sobrecalentarse y averiarse.

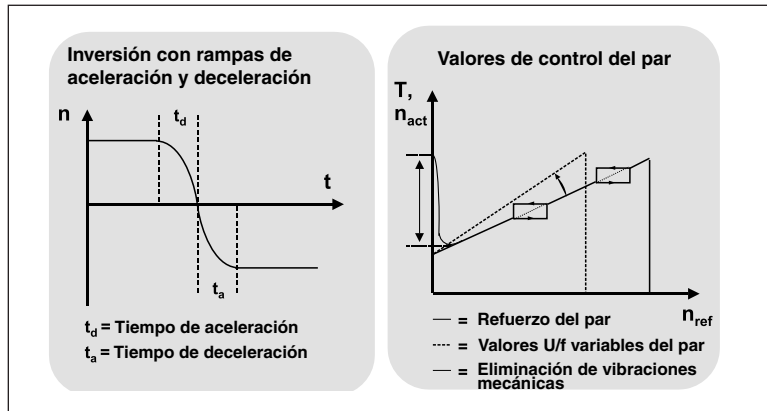
Características importantes:

- entradas y salidas
- función de inversión
- aceleración/deceleración de tiempos de rampa
- valores V/Hz del par variable
- refuerzo de par
- eliminación de vibraciones mecánicas
- límites de carga para evitar fallos por interferencia
- funcionamiento con cortes de la red

Características del accionamiento de CA para controlar mejor los procesos

El accionamiento de CA dispone de otras características y funciones internas a veces requeridas para controlar mejor los procesos. En la tabla se muestran algunos ejemplos de estas características. Por ejemplo, las entradas y salidas suministran información al accionamiento sobre los tipos de procesos y, de este modo, el accionamiento controla el motor en función de la información recibida. Asimismo, con el accionamiento de CA es posible limitar la carga para evitar fallos de interferencia y para proteger la máquina de trabajo y el sistema de accionamiento.

En las siguientes secciones se presentan estas características con mayor detalle.



Inversión

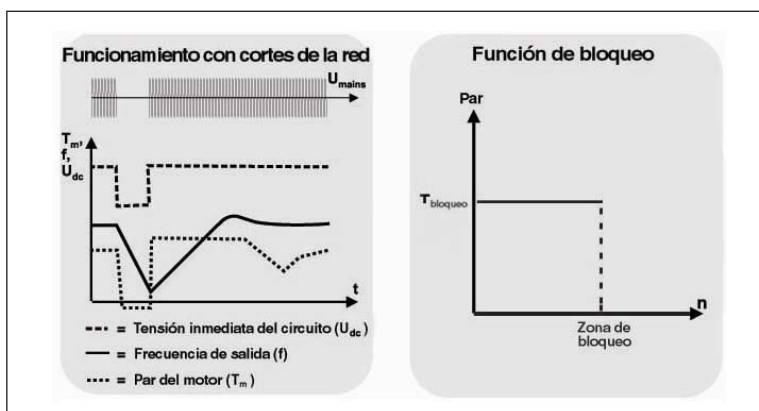
Con los accionamientos de CA invertir la rotación del motor resulta fácil y, con los convertidores de frecuencia de ABB, ello se consigue simplemente pulsando un botón. Asimismo, es posible establecer diferentes tiempos de aceleración y deceleración de rampa y modificar la forma de la rampa según los deseos del usuario. En el diagrama (arriba, izquierda) se muestra una rampa en S, mientras que otra posibilidad sería una rampa lineal.

Control del par

El control del par es relativamente fácil con los accionamientos de CA. El refuerzo del par, comentado anteriormente, es necesario si se requiere un par de arranque muy elevado. Los valores U/f variables del par permiten obtener un par máximo con una velocidad de rotación inferior a la normal.

Eliminación de vibraciones mecánicas

Es posible eliminar las vibraciones mecánicas si se evitan ciertas velocidades críticas. Es decir, si un motor se acelera cerca de su velocidad crítica, el accionamiento no permitirá que la velocidad real del motor siga la velocidad de referencia. Una vez superado el punto crítico, el motor regresará rápidamente a su curva regular y pasará la velocidad crítica.



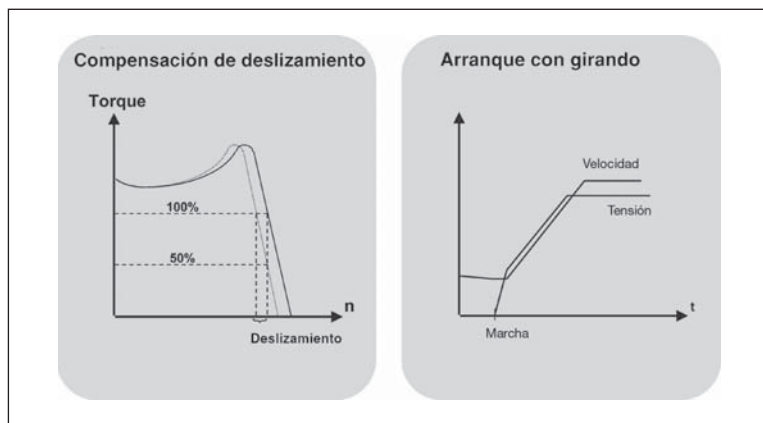
Funcionamiento con cortes de la red

El funcionamiento con cortes de la red es una función que se utiliza cuando hay cortes en la tensión de alimentación de entrada. En estos casos, el accionamiento de CA continúa funcionando con la energía cinética del motor en rotación. El accionamiento estará totalmente operativo siempre y cuando gire el motor y genere energía para el accionamiento.

Función de bloqueo

En caso de bloqueo, puede protegerse el motor con la función de bloqueo del accionamiento de CA. También es posible ajustar los límites de supervisión y seleccionar el modo de reacción del accionamiento en una situación de bloqueo. La protección se activa si se cumplen tres condiciones simultáneamente:

1. La frecuencia de accionamiento debe estar fijada por debajo de la frecuencia de bloqueo.
2. El par del motor debe alcanzar cierto límite, calculado por el software del accionamiento.
3. La última condición es que el motor haya permanecido en el límite de bloqueo durante un período de tiempo superior al establecido por el usuario.

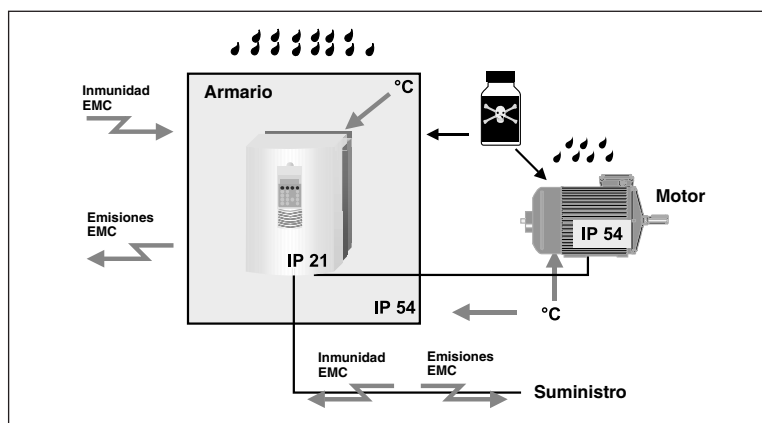


Compensación de deslizamiento

Si aumenta el par de carga del motor, la velocidad del motor disminuirá tal y como se muestra en el diagrama (arriba, izquierda). Para compensar este deslizamiento, puede modificarse la curva del par/de la velocidad con el convertidor de frecuencia a fin de aumentar el par con la velocidad anterior.

Arranque con el motor girando

La función de arranque con el motor girando se utiliza cuando el motor está conectado a un volante o a una carga de elevada inercia. La función de arranque con el motor girando funciona incluso sin realimentación de velocidad. En caso de que el motor esté girando, primero se arranca el convertidor con una tensión reducida para sincronizarse con la velocidad de rotación del rotor. Una vez sincronizado se incrementan la tensión y velocidad hasta llegar a los niveles correspondientes.



Características medioambientales

Todos los sistemas de accionamiento deben enfrentarse a diferentes presiones medioambientales, tales como la humedad o las perturbaciones eléctricas. El motor de jaula de ardilla es muy compacto y puede utilizarse en condiciones muy hostiles. El grado de protección IP 54 garantiza su funcionamiento en un entorno pulvígeno y bajo agua de aspersion procedente de cualquier dirección.

El convertidor de frecuencia suele disponer de un grado de protección IP 21, lo cual significa que no se debe entrar en contacto con las partes bajo tensión y que el goteo de agua vertical no resulta perjudicial. Si se requiere un nivel de protección superior, puede instalar, por ejemplo, un accionamiento en el interior de un armario que disponga del grado de protección requerido. En tal caso, es esencial garantizar que la temperatura interior del armario no exceda los límites permitidos.

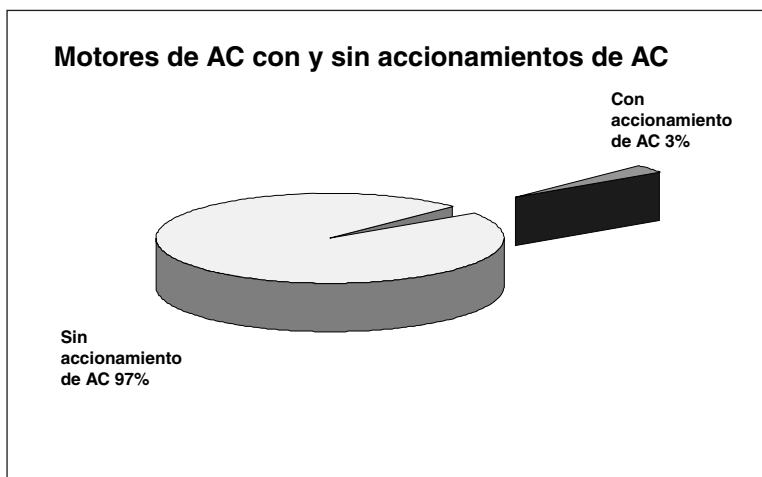
EMC

Otra característica medioambiental importante es la compatibilidad electromagnética (EMC). Es muy importante que un sistema de accionamiento cumpla con las directivas EMC de la Unión Europea. Es decir, el sistema de accionamiento debe soportar perturbaciones conductivas y radiantes y, además, no debe emitir perturbaciones conductivas ni radiantes al suministro eléctrico ni al medio ambiente.

Si desea obtener más información sobre las directivas EMC y su efecto sobre los accionamientos, consulte la Guía Técnica de ABB Nº 3, la guía EMC.

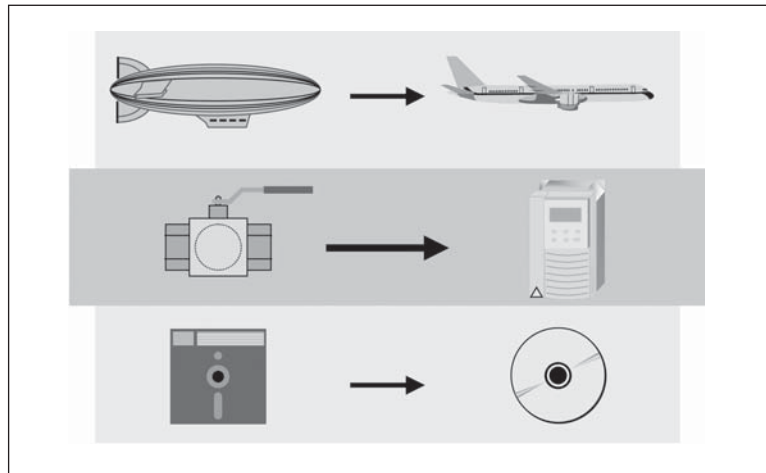
Capítulo 6 - Coste-beneficio del accionamiento de CA

Además de sus ventajas técnicas, los accionamientos de CA también ofrecen numerosas ventajas económicas. En este capítulo se analizarán dichas ventajas y se dividirán los costes en costes de inversión, instalación y operación.



En la actualidad siguen vendiéndose muchos motores sin accionamientos de CA de velocidad variable. En este gráfico sectorial se muestra cuántos motores con una potencia inferior a los 2,2 kW se venden con convertidores de frecuencia y cuántos sin. Anualmente, sólo un 3% de los motores de esta gama de potencia se venden con convertidor de frecuencia, mientras que el 97% se venden sin accionamiento de CA.

Éste es un dato sorprendente si se tiene en cuenta lo comentado en esta guía e, incluso más, después de analizar con detalle el coste de un accionamiento de CA en comparación con los métodos de control tradicionales. En primer lugar, compararemos la tecnología del accionamiento de CA con la de otros métodos de control.

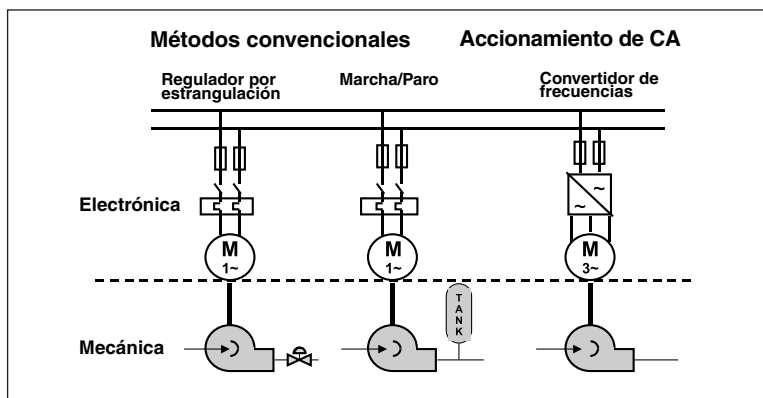


Diferencias técnicas entre otros sistemas y el accionamiento de CA

La tecnología del accionamiento de CA difiere completamente de la tecnología de otros métodos de control más sencillos. La diferencia es comparable a la existente entre un zepelín y un avión moderno.

También podría compararse la tecnología del accionamiento de CA con el desarrollo del disquete al CD-ROM. Aunque el disquete es un método de almacenamiento de información sencillo, sólo puede manejar una pequeña fracción de la información que puede tratar un CD-ROM.

Las ventajas de esta innovación son ampliamente conocidas. Del mismo modo, la tecnología del accionamiento de CA se basa en una tecnología totalmente diferente a la de los primeros métodos de control. En esta guía se presentan las ventajas del accionamiento de CA en comparación con otros métodos de control más sencillos.



No se requieren piezas de control mecánicas

A fin de realizar una comparación adecuada de los costes, es necesario analizar las configuraciones de los diferentes métodos de control. Hemos tomado como ejemplo el proceso de bombeo. En los métodos tradicionales, siempre existe una pieza mecánica y otra eléctrica.

En el caso de la regulación, se necesitan fusibles, contactores y reactores para el sistema eléctrico y válvulas para el mecánico. En un control Marcha/Paro, se precisan los mismos componentes eléctricos además de un depósito con fluido motor para el sistema mecánico. El accionamiento de CA ofrece una nueva solución para la que no se requiere un sistema mecánico porque todo el dispositivo de control se halla en el sistema eléctrico.

Otra ventaja en cuanto al coste es el hecho de que, con un accionamiento de CA, puede utilizarse un motor trifásico estándar, que resulta más económico que el motor monofásico utilizado en el resto de métodos de control. Asimismo, puede seguir utilizándose la corriente monofásica de 220 V para potencias inferiores a los 2,2 kW.

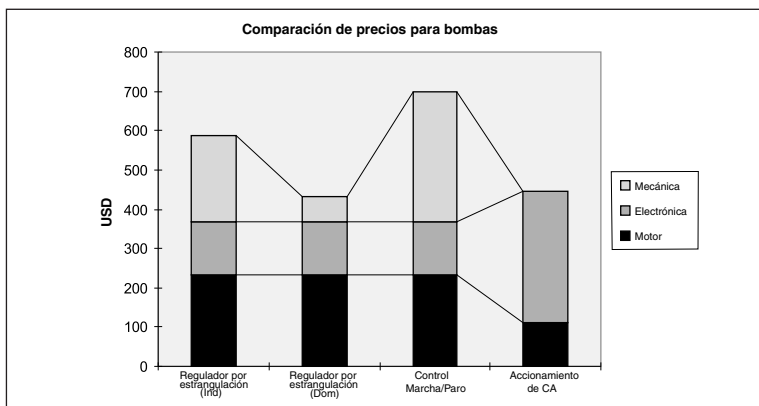
Métodos convencionales:	Accionamiento de CA:
piezas eléctricas y mecánicas	todo en uno
muchas piezas eléctric.	sólo un componente eléctrico
las piezas eléctricas requieren manten. regular	sin piezas mecánicas, sin desgaste
el control mecánico consume energía	ahorra energía

Factores que afectan al coste

En esta lista se comparan las características de los métodos de control tradicionales con las del accionamiento de CA junto con su impacto sobre el coste. En los métodos convencionales existen componentes mecánicos y eléctricos que, por regla general, deben adquirirse de forma independiente. El coste, por tanto, es superior al que representaría si los componentes se comparan de forma conjunta.

Asimismo, las piezas mecánicas sufren un desgaste rápido que afecta directamente al costes de mantenimiento y, a largo plazo, el mantenimiento representa un coste muy importante. Los métodos tradicionales también disponen de componentes eléctricos y, si existen diferentes clases de componentes en lugar de un solo tipo, los costes de instalación se multiplican, como mínimo, por dos.

Por último, pero no por ello menos importante, los controles mecánicos consumen una gran cantidad de energía, mientras que los accionamiento de CA prácticamente ahorran energía. Con ello no sólo se reducen los costes, sino que se minimiza el impacto sobre el medio ambiente reduciendo las emisiones de las centrales de energía.



Costes de inversión: componentes mecánicos y eléctricos

En este gráfico se muestra la estructura de costes y el precio total de cada método de control de bombeo. La bomba es el único elemento que no se agrega a los costes porque su precio permanece invariable se utilice un accionamiento de CA o válvulas. En el sistema de regulación, existen dos posibilidades según si la bomba es de uso industrial o doméstico. En un entorno industrial existen requisitos más estrictos para las válvulas, lo cual representa un incremento de los costes.

El motor

Como puede observarse, el motor utilizado para los métodos tradicionales es mucho más costoso que el utilizado para el accionamiento de CA. Ello se debe a que el motor empleado para el accionamiento de CA es trifásico y, para los otros métodos tradicionales, monofásico.

El accionamiento de CA

El accionamiento de CA no requiere piezas mecánicas, con lo cual se reducen significativamente los costes. Las piezas mecánicas suelen ser menos costosas que el convertidor de frecuencia, pero debe agregarse el coste de las piezas eléctricas al coste total de la inversión.

Si se tienen en cuenta todos los costes, el accionamiento de CA suele ser la inversión más económica en comparación con otros métodos de control. Únicamente el sistema de regulación para uso doméstico tiene un coste reducido equivalente al del accionamiento de CA. No obstante, ello no representa el total de los costes, pues además de analizar el coste de la inversión, es necesario tener en cuenta los costes de instalación y de operación.

	Regulador estrang.	Accionamiento CA
Material instalación	20 USD	10 USD
Trabajo instalación	5h x 65 USD = 325 USD	1h x 65 USD = 65 USD
Trabajo de puesta en marcha	1h x 65 USD = 65 USD	1h x 65 USD = 65 USD
Total	410 USD	140 USD
Ahorro en la instalación: 270 USD		

Costes de instalación: el regulador por estrangulación frente al accionamiento de CA

Dado que, después del accionamiento de CA, el regulador por estrangulación es la segunda inversión menos costosa, compararemos los costes de instalación y funcionamiento de este último con los del accionamiento de CA. Tal como mencionamos anteriormente, en el regulador por estrangulación existen componentes eléctricos y mecánicos, por lo cual se requiere el doble de material para la instalación.

La instalación del regulador por estrangulación también representa el doble de trabajo que la del accionamiento de CA. Instalar una válvula mecánica en un tubo no es tan sencillo y, además, el tiempo de instalación aumenta. Para que una válvula mecánica esté lista para usar suelen ser necesarias unas cinco horas, mientras que sólo se precisa una hora para dejar en estado de funcionamiento el accionamiento de CA. Si se multiplica el tiempo por el coste de una hora de trabajo de un instalador especializado, se obtiene el coste total de la instalación.

La puesta en marcha de un regulador por estrangulación no suele precisar más tiempo que el de un sistema de accionamiento de CA. En ambos casos el tiempo requerido es de una hora. Ahora podemos resumir el total del coste de instalación. Tal como hemos visto, con el accionamiento de CA puede ahorrar hasta 270 dólares USA por instalación. Por tanto, incluso si los costes de inversión del sistema de regulación fueran inferiores al precio de un motor monofásico (aproximadamente 200 dólares USA), el accionamiento de CA se amortizaría incluso antes de ponerlo en marcha un segundo.

	Regulador por estrang.	Accionam. CA ahorro del 50%
Potencia requerida	0.75 kW	0.37 kW
Energía anual 4000 horas/año	3000 kWh	1500 kWh
Coste de energía por 0.1 USD/kWh	300 USD	150 USD
Mantenimiento/año	40 USD	5 USD
Coste total/año	340 USD	155 USD
Ahorro en un año: 185 USD		

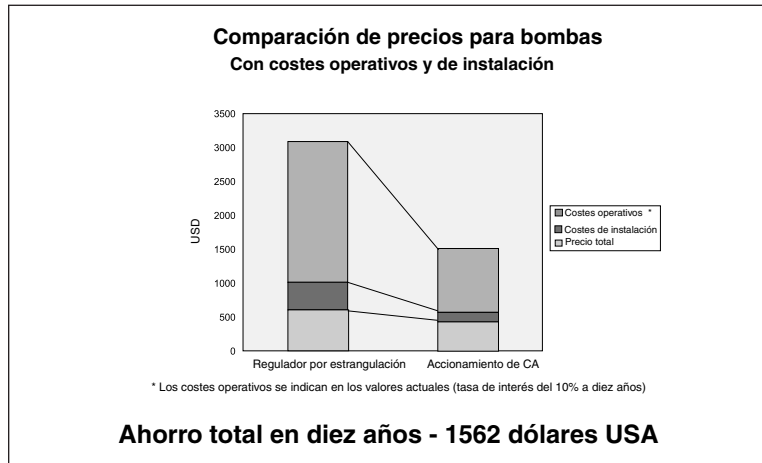
Costes operativos: mantenimiento y energía del accionamiento

Un amplio número de estudios y experimentos demuestran que es posible ahorrar un 50% de energía con un accionamiento de CA. Esto significa que un sistema de regulación requiere 0,75 kW de energía y un accionamiento de CA 0,37 kW. Si se utiliza una bomba 4000 horas al año, el sistema de regulación necesitaría 3000 kWh, mientras que el accionamiento de CA consumiría 1500 kWh de energía anuales.

Para calcular el ahorro, se multiplica el consumo de energía por el precio de la energía, que variará según el país. En este caso hemos utilizado la tarifa de 0,1 dólares USA por kWh.

Tal como se ha mencionado anteriormente, las piezas mecánicas sufren un gran desgaste y por ello requieren un mantenimiento frecuente. Se calcula que los costes de mantenimiento del sistema de regulación ascienden a 40 dólares USA anuales, mientras que los del accionamiento de CA representarían 5 dólares USA. En muchos casos, un convertidor de frecuencia no precisa mantenimiento.

Por tanto, el ahorro total en costes operativos ascendería a 185 dólares USA, lo cual representa casi la mitad del precio de un convertidor de frecuencias para esta gama de potencia. Ello significa que el período de amortización de un convertidor de frecuencias es de dos años. Por tanto, en lugar del coste anual de mantenimiento de una válvula vieja, quizá sea más rentable cambiar a un sistema de control con accionamiento de CA. El período de amortización para la readaptación de un regulador existente es de dos años.



Comparación del coste total

En la figura superior se resumen todos los costes. El período habitual para el cálculo del coste operativo de una inversión de esta clase suele ser de 10 años. En este caso, los costes operativos se han calculado al valor actual con un 10% de tasa de interés.

A largo plazo, el coste de un método convencional es el doble que el de un convertidor de frecuencia. La mayor parte del ahorro que representa un accionamiento de CA se debe a los costes operativos y, en especial, al ahorro de energía, mientras que en la instalación puede observarse el mayor ahorro individual. Este ahorro es patente tan pronto como se instala el accionamiento.

Si se tiene en cuenta el ahorro total, es muy difícil comprender por qué sólo el 3% de los motores vendidos disponen de un convertidor de frecuencia. El objetivo de esta guía era presentarles las ventajas del accionamiento de CA y explicar las razones por las que en ABB pensamos que este es el mejor método para controlar sus procesos.

Capítulo 7 - Índice

A

ABB 5, 28, 31, 39, 44
accionamiento de CA 5, 22,
23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30,
31, 32, 33, 34, 35, 36,
37, 38, 39
accionamiento de CC 22, 23, 24
accionamiento de cuatro cuad-
rantes 15
accionamientos de Velocidad Vari-
able 5, 10, 39
accionamiento por correa 22
acoplamiento hidráulico 22
agitadores de margarina 9
aire acondicionado 7, 10
arranque con girando 27, 30
arranque directo en línea 23
ascensores 10
AVV 5, 6, 7, 8, 13, 21, 22, 23, 24

B

barra de CC 12, 13
bobinado del motor 12, 13
bomba 10, 22, 23, 34, 36, 38

C

carga del motor 30
CD-ROM 33
centrales eléctricas 7, 20, 35
centrífugas 9
cintas transportadoras 10
coeficiente de eficacia 14
compatibilidad electromagnética
31
compresores 10
condición de bloqueo del motor
29
conmutador 22, 24
contactores 34
contenedores de embarque 10
control de derivación 20
control de procesos
23, 24, 25, 27
control de velocidad variable 11,
19, 22, 36
control progresivo 13
convertidor de CC 22
convertidor de frecuencia 11, 12,
14, 15, 18, 22, 26, 30, 31, 32, 36,
38, 39
corriente 12, 13, 14, 22
curvas de capacidad de carga 26

D

deslizamiento 12, 27, 30
directivas EMC 31
disquete 33
dosificación 10

E

eficacia del motor 14
EMC 31
energía 8, 11, 12, 13, 20, 23, 24,
29, 35, 38, 39
energía nuclear 8
engranajes 11
estator 12
extrusoras 9

F

factor de potencia 14
fallos de interferencia 27
fase del motor 12
flujo 12, 13
flujo magnético 12, 13
frecuencia de accionamiento 29
frecuencia de bloqueo 29
frenado 15, 21
fricción 16
fuelles 10, 16
función de bloqueo 27, 29
función de inversión 27
funcionamiento con cortes de la
red 27, 29
fusibles 34

G

grúa 10, 15, 17

H

horno de secado 8
humedad 7
HVAC 7

I

inducción electromagnética 12, 13
industria química 7
inercia 16, 30
influencia electromagnética 8
influencia térmica 8
interferencia 13, 19
inversor 12, 13, 22
IP 21 31
IP 54 31

L

laminadores 9
líneas de las serrerías 9

M

mantenimiento 2, 23, 24, 35, 38
máquina 8, 9, 10, 11, 22, 27
máquinas para fabricar papel 9
mercado de accionamientos de CA
3, 24
motor de CA 11, 12
motor de CC 11, 22, 24
motor de jaula de ardilla 11, 18,
22, 31

P

par 14, 15, 16, 17, 18, 26, 27,
28, 29, 30
pérdidas del motor 14
perturbaciones eléctricas 31
potencia activa 14
potencia de entrada 14
potencia de salida 14
potencia mecánica 8, 14
potencia reactiva 14
procesos industriales 5, 6, 7, 11
puerto 17
puesta en marcha 37

R

rampa en S 28
rampa lineal 28
reactores 34
rectificador 12
red 27, 29
regla de los tres dedos 12
regulación 20, 34, 36, 37, 38

S

sala de equipos eléctricos 22
sistema de accionamiento
11, 14, 18, 27, 31
sistema de procesamiento 8
software del accionamiento 29
suministro de potencia 11
suministro eléctrico 14, 25, 31

T

tamaño del motor 14
temperatura 7, 8, 13, 29, 31
tensión 12, 13, 14, 22, 25, 29, 30
transistores 14
transportar 10
transporte de material 6
tratamiento de material 6, 8, 9
trituradora 16

V

válvulas 22, 34, 36, 37, 38
velocidad crítica 28
velocidad de referencia 28

velocidad nominal 14
ventiladores 7, 8, 10, 16
vibraciones mecánicas 4, 27, 28
volante 30

Z

zepelín 33

Contacte con nosotros

Para obtener más información, póngase en contacto con su representante local de ABB o visite:

www.abb.es

www.abb.com/drivespartners

© Copyright 2014 ABB. Todos los derechos reservados.
Las especificaciones están sujetas a cambio sin previo aviso.

3BFE 64301781 REV C ES 12.5.2011



ABB drives

Guía técnica nº 5

Corrientes de los cojinetes en sistemas de accionamiento de CA modernos

Guía técnica nº 5

Corrientes de los cojinetes en sistemas de accionamiento de CA modernoss

Contenido

Capítulo 1 - Introducción	7
Generalidades	7
Cómo evitar las corrientes de los cojinetes	7
Capítulo 2 - Generación de corrientes de los cojinetes	8
Pulsos de corriente de alta frecuencia	8
Conmutación más rápida	9
¿Cómo se generan las corrientes de los cojinetes de AF?	9
Corriente de circulación	9
Corriente de conexión a tierra del eje	9
Corriente de descarga capacitativa	10
Circuito de modo común	10
Capacitancias parásitas	11
¿Cómo circula la corriente por el sistema?	12
Caídas de tensión	13
Transformador de modo común	14
Distribuidor de tensión capacitativo	15
Capítulo 3 - Cómo impedir los daños por corriente de los cojinetes de alta frecuencia	17
Tres enfoques	17
Cables a motor multipolares	17
Ruta de impedancia corta	18
Conexiones de unión de alta frecuencia	18
Siga las instrucciones específicas para el producto	19
Soluciones adicionales	19
Medición de corrientes de los cojinetes de alta frecuencia.....	19
Deje que los especialistas efectúen las mediciones.....	20
Capítulo 4 - Referencias	21
Capítulo 5 - Índice	22

Capítulo 1 - Introducción

Generalidades

Algunas nuevas instalaciones de convertidores pueden presentar fallos en los cojinetes apenas unos meses después de su puesta en marcha. Los fallos pueden ser provocados por corrientes de alta frecuencia que circulan a través de los cojinetes del motor.

Aunque las corrientes de los cojinetes se han venido dando desde la invención de los motores eléctricos, la incidencia de los daños que provocan se ha incrementado durante los últimos años. Ello se debe a que los convertidores de velocidad variable modernos con sus pulsos de tensión de rápido aumento y altas frecuencias de conmutación pueden provocar pulsos de corriente a través de los cojinetes cuya descarga repetida puede desgastar de forma gradual los anillos guía de los cojinetes.

Cómo evitar las corrientes de los cojinetes

Para evitar que se produzcan daños, es esencial proporcionar vías de conexión a tierra adecuadas y permitir que las corrientes de fuga vuelvan al bastidor del inversor sin tener que pasar a través de los cojinetes. La magnitud de las corrientes puede reducirse empleando cables a motor simétricos o filtrado en la salida del inversor. El correcto aislamiento de la construcción de los cojinetes del motor interrumpe la ruta de la corriente de los cojinetes.

Capítulo 2 - Generación de corrientes de los cojinetes

Pulsos de corriente de alta frecuencia

Las corrientes de los cojinetes se presentan de distintos modos. De todas formas, aunque las prácticas modernas de diseño de motores y fabricación casi han eliminado las corrientes de los cojinetes de baja frecuencia inducidas por la asimetría del motor, la conmutación rápida en los sistemas de accionamiento de CA modernos puede generar pulsos de corriente de alta frecuencia a través de los cojinetes. Si la energía de estos pulsos es lo bastante elevada, se lleva a cabo la transferencia de metal del cojinete y los rodillos guía al lubricante. Ello se conoce como maquinado de descarga eléctrica o EDM. El efecto de un solo pulso es insignificante, pero una pequeña caída EDM es una discontinuidad que aglutina más pulsos y se convierte en una gran caída típica EDM. La frecuencia de conmutación de los accionamientos de CA modernos es muy alta y el gran número de pulsos provoca una rápida acumulación del desgaste. Como resultado, es posible que tenga que sustituirse el cojinete aunque no lleve demasiado tiempo en servicio.

Las corrientes de los cojinetes de alta frecuencia han sido investigadas por ABB desde 1987. La importancia del diseño del sistema se ha recalcado en los últimos años. Cada elemento individual implicado, como el motor, la caja de engranajes o el controlador del convertidor, son el producto de técnicas de fabricación sofisticadas y normalmente presentan un tiempo medio entre fallos (MTBF) favorable. Sólo cuando se combinan estos componentes y se observa el sistema como un todo se hace evidente que se requieren ciertas prácticas para la instalación.

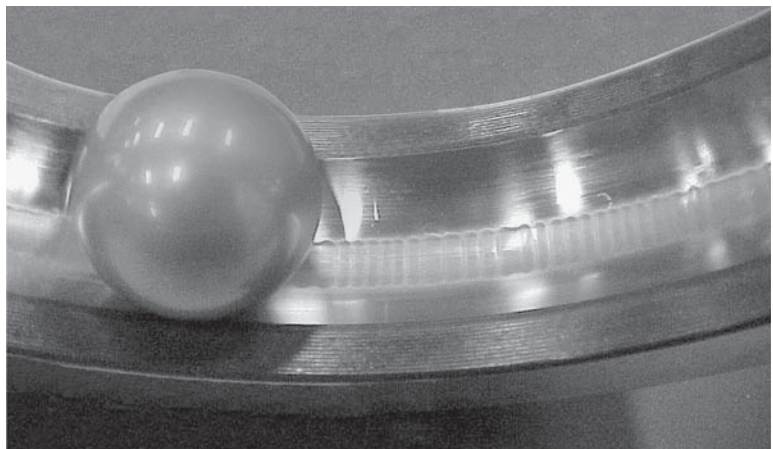


Figura 1: Las corrientes de los cojinetes pueden provocar “estrías de los cojinetes”, un patrón rítmico en los anillos guía de los cojinetes.

Conmutación más rápida

La tecnología de accionamiento de CA actual, que incorpora transistores bipolares de puerta aislada (IGBT), crea situaciones de conmutación 20 veces más rápidas que las que se consideraban normales hace diez años. Recientemente, el número de fallos en los cojinetes de tipo EDM ha aumentado en los sistemas de accionamiento de CA relativamente pronto después de la puesta en marcha, en un espacio de uno a seis meses. La incidencia depende de la arquitectura del sistema de accionamiento de CA y de las técnicas de instalación empleadas.

¿Cómo se generan las corrientes de los cojinetes de AF?

La fuente de las corrientes de los cojinetes es la tensión que se induce en el cojinete. En el caso de las corrientes de los cojinetes de alta frecuencia, esta tensión puede generarse de tres modos distintos. Los factores más importantes que definen el mecanismo relevante son el tamaño del motor y cómo se hallan conectados a tierra el bastidor y el eje del motor. La instalación eléctrica, es decir, el tipo de cable adecuado y las uniones adecuadas de los conductores protectores y del apantallamiento eléctrico, juega un papel importante. du/dt de los componentes de la etapa de potencia del accionamiento de CA y el nivel de tensión del enlace de CC afectan al nivel de las corrientes de los cojinetes.

Corriente de circulación

En motores grandes, la tensión de alta frecuencia se induce entre los extremos del eje del motor por el flujo de alta frecuencia que circula alrededor del estator. El flujo lo causa una asimetría neta de corriente capacitativa que se transmite del bobinado hacia el bastidor del estator a lo largo de la circunferencia del estator. La tensión entre los extremos del eje afecta a los cojinetes. Si es suficiente para superar la impedancia de la película de aceite de los cojinetes, una corriente que intenta compensar el flujo neto en el estator empieza a circular en el bucle formado por el eje, los cojinetes y el bastidor del estator. Esta corriente es una corriente de los cojinetes de alta frecuencia de tipo de circulación.

Corriente de conexión a tierra del eje

The current leaking into the stator frame needs to flow back to the inverter, which is the source of this current. Any route back contains impedance, and therefore the voltage of the motor frame increases in comparison to the source ground level. If the motor shaft is earthed via the driven machinery, the increase of the motor frame voltage is seen over the bearings. If the voltage rises high enough to overcome the impedance of the drive-end bearing oil film, part of the current may flow via the drive-end bearing, the shaft and the driven machine back to the inverter. This current is a shaft grounding type of high frequency bearing current.

Corriente de descarga capacitativa

La fuga de corriente al bastidor del estator tiene que circular de vuelta al inversor, que es la fuente de esta corriente. Cualquier ruta de vuelta contiene impedancia, y por ello la tensión del bastidor del motor aumenta en comparación con el nivel de tierra de la fuente. Si el eje del motor se conecta a tierra a través de la maquinaria accionada, el incremento de la tensión del bastidor del motor se aprecia por encima de los cojinetes. Si la tensión aumenta lo bastante para superar la impedancia de la película de aceite del cojinete del extremo del convertidor, parte de la corriente podría circular a través del cojinete del extremo del convertidor, el eje y la máquina accionada de vuelta al inversor. Esta corriente de los cojinetes es de un tipo de conexión a tierra del eje.

Circuito de modo común

Una fuente de alimentación sinusoidal trifásica típica está equilibrada y es simétrica en condiciones normales. Es decir, la suma de vectores de las tres fases siempre es igual a cero. Por ello, es normal que el neutro esté en cero voltios. De todas formas, este no es el caso con una fuente de alimentación trifásica conmutada PWM, en la que una tensión de cc se convierte a una tensión trifásica. Aunque los componentes fundamentales de frecuencia de las tensiones de salida son simétricos y equilibrados, es imposible obtener la suma de tres tensiones de salida de forma instantánea igualándola a cero con dos posibles niveles de salida disponibles. La tensión resultante de punto neutro no es cero. Esta tensión puede definirse como una fuente de tensión de modo común. Puede medirse en el punto cero de cualquier carga, por ejemplo el punto estrella del bobinado del motor.

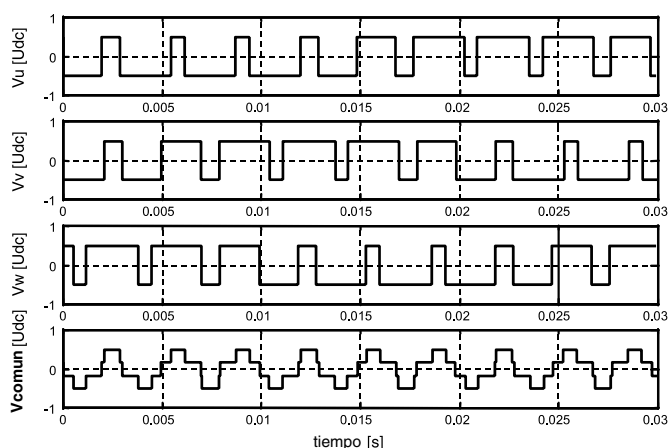


Figura 2: Este esquema muestra las tensiones de fase de una fuente de alimentación trifásica PWM típica y la media de las tres, o tensión en punto neutro, en un sistema de accionamiento de CA moderno. La tensión neutra es claramente distinta de cero y su presencia puede definirse como una fuente de tensión de modo común. La tensión es proporcional a la tensión de bus de CC, y tiene una frecuencia igual a la frecuencia de conmutación del inversor.

Siempre que se cambia una de las tres salidas del inversor de uno de los posibles potenciales a otro, se fuerza a una corriente proporcional a esta tensión a circular a tierra a través de las capacitancias de tierra de todos los componentes del circuito de salida. La corriente circula de vuelta a la fuente a través del conductor de tierra y las capacitancias de fuga del inversor, que son externas al sistema trifásico. Este tipo de corriente, que circula por el sistema en un bucle que está cerrado externamente al sistema, se denomina intensidad de modo común.

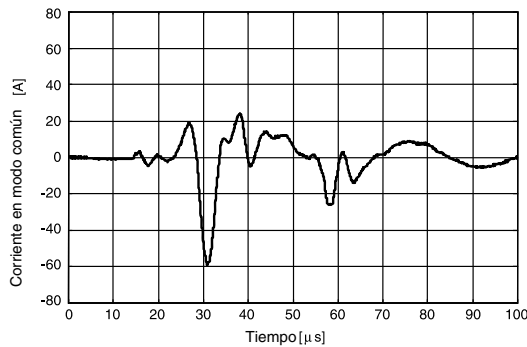


Figura 3: Un ejemplo de la intensidad de modo común en la salida del inversor. El pulso es una superposición de diversas frecuencias debido a las distintas frecuencias naturales de las rutas paralelas de la intensidad de modo común.

Capacitancias de fuga

Una capacitancia se crea siempre que dos componentes conductores están separados por un aislador. Por ejemplo, el hilo de fase de cable tiene capacitancia al hilo de PE separado mediante aislamiento de PVC, por ejemplo, y el arrollamiento del bobinado del motor está aislado del bastidor por una capa de barniz y por aislamiento de ranura, por lo que tiene un valor de capacitancia al bastidor del motor. Las capacitancias dentro de un cable y especialmente dentro del motor son muy reducidas. Una capacitancia reducida significa una elevada impedancia para altas frecuencias, con lo que se bloquean las corrientes de fuga de baja frecuencia. De todas formas, los pulsos de aumento rápido producidos por las fuentes de alimentación modernas contienen frecuencias tan elevadas que incluso las capacitancias pequeñas dentro del motor proporcionan una ruta de baja impedancia para que circule la corriente.

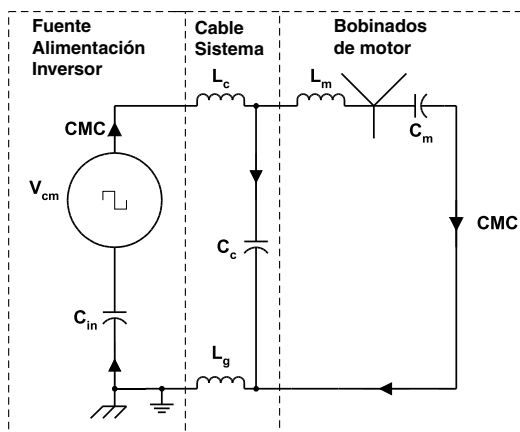


Figura 4: Bucle simplificado de la intensidad de modo común de un inversor PWM y el motor de inducción. La fuente de alimentación del inversor actúa como una fuente de tensión de modo común (V_{cm}). La intensidad de modo común (CMC) circula a través del cable de modo común y las inductancias de motor, L_c , L_m y a través de las capacitancias de fuga entre los bobinados del motor y el bastidor del motor, combinadas para ser C_m . Desde el bastidor del motor, la corriente pasa a través del circuito de tierra de la fábrica que tiene la inductancia L_g . L_g también recibe alimentación de intensidad de modo común desde la capacitancia de cable de fuga C_c . El bastidor del inversor se conecta a tierra a través del inversor de fuga a las capacitancias de bastidor, combinadas como C_{in} , de vuelta a la fuente de tensión de modo común.

¿Cómo circula la corriente por el sistema?

El camino de vuelta de la corriente de fuga del bastidor del motor de vuelta al bastidor del inversor consta del bastidor del motor, el apantallamiento de cable o conductores PE y posiblemente de las piezas de aluminio o acero de la estructura del edificio de la fábrica. Todos estos elementos contienen inductancia. La circulación de la intensidad de modo común a través de esta inductancia provocará una caída de tensión que eleva el potencial del bastidor del motor por encima del potencial de tierra de la fuente en el bastidor del inversor. Esta tensión del bastidor del motor es una parte de la tensión de modo común del inversor. La intensidad de modo común buscará una ruta con la menor impedancia. Si hay una gran cantidad de impedancia en las rutas previstas, como la conexión PE del bastidor del motor, la tensión del bastidor del motor hará que se desvíe una parte de la intensidad de modo común por una ruta no prevista a través del edificio. En las instalaciones prácticas existen diversas rutas paralelas. Muchas tienen un efecto menor sobre el valor de la intensidad de modo común o las corrientes de los cojinetes, pero pueden ser importantes para satisfacer los requisitos de EMC.

Caídas de tensión

Si el valor de esta inductancia es lo bastante elevado, la reactancia en el rango superior de las frecuencias de intensidad de modo común típicas, 50 kHz a 1 MHz, puede soportar caídas de tensión de más de 100 voltios entre el bastidor del motor y el bastidor dle inversor. Si, en tal caso, el eje del motor se conecta a través de un acoplamiento metálico a la caja de engranajes u otra maquinaria accionada que esté conectada a tierra sólidamente y cerca del mismo potencial de tierra que el bastidor del inversor, entonces es posible que parte de la intensidad de modo común del inversor circule a través de los cojinetes del motor, el eje y la maquinaria accionada de vuelta al inversor.

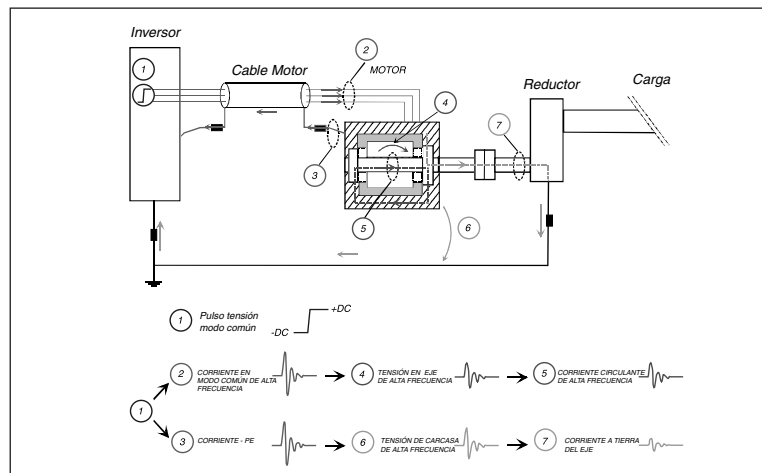


Figura 5: Una presentación esquemática que muestra la corriente de circulación y la corriente de conexión a tierra del eje; ésta última resulta de una tensión del bastidor del motor elevada con una conexión a tierra superior de la máquina.

Si el eje de la maquinaria no tiene contacto directo con el nivel de tierra, la corriente puede circular a través de la caja de engranajes o de los cojinetes de la máquina. Estos cojinetes pueden resultar dañados antes que los cojinetes del motor.

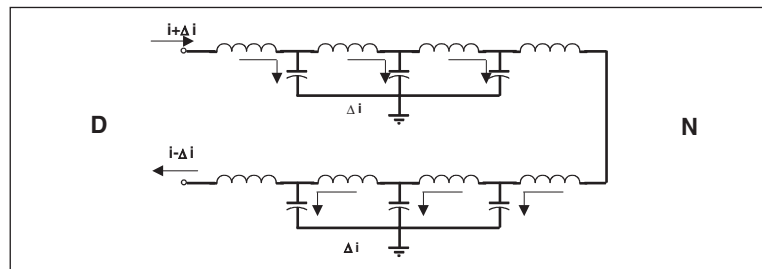


Figura 6: Fuente de la corriente de los cojinetes de circulación de alta frecuencia. La fuga de corriente a través de las capacitancias de estator distribuidas da una suma de corriente que no es cero en toda la circunferencia del estator. Ello lleva a un efecto de magnetización neto y a flujo alrededor del eje del motor.

Transformador de modo común

La mayor proporción de la capacitancia de fuga del motor se forma entre los bobinados del estator y el bastidor del motor. Esta capacitancia se distribuye alrededor de la circunferencia y a lo largo del estator. A medida que la corriente pasa al estator por la espira, el contenido de alta frecuencia de la corriente que entra en la espira del estator es mayor que la corriente saliente.

Esta corriente neta produce un flujo magnético de alta frecuencia que circulará en las laminaciones del estator, induciendo una tensión axial en los extremos del eje. Si la tensión se convierte en lo suficientemente elevada, puede circular una corriente de circulación de alta frecuencia interna al motor a través del eje y ambos cojinetes. En este caso, el motor puede considerarse un transformador, en el que la intensidad de modo común que circula en el bastidor del estator actúa como primario e induce la corriente de circulación al circuito del rotor o secundario. Esta corriente de los cojinetes se considera la más dañina con valores de cresta típicos de 3 a 20 amperios dependiendo de la potencia nominal del motor, du/dt de los componentes de la etapa de potencia del accionamiento de CA y nivel de tensión del enlace de CC.

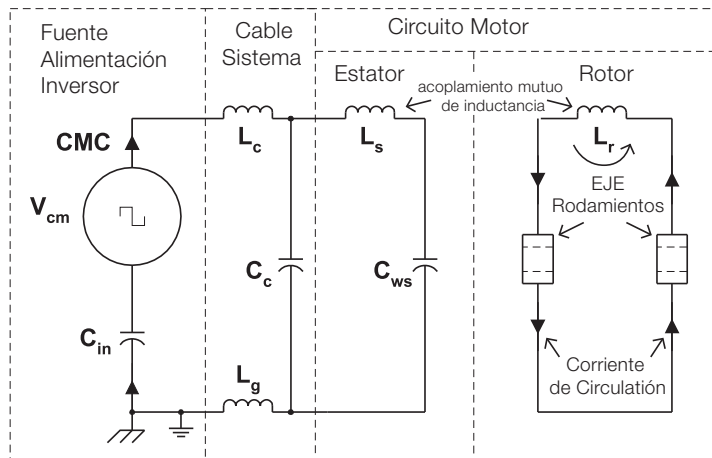


Figura 7: La tensión en el eje axial de alta frecuencia puede considerarse una resultante del efecto de transformador, en el que la intensidad de modo común que circula en el bastidor del estator actúa como un primario e induce la corriente de circulación hacia el circuito de rotor o secundario.

Otra versión de la corriente de los cojinetes de circulación ocurre cuando la corriente, en lugar de circular completamente dentro del motor, circula a través del eje y los cojinetes de la caja de engranajes o la maquinaria accionada y en un elemento estructural que es externo y común al motor y a la máquina accionada. El origen de la corriente es el mismo que para la corriente circulando

dentro del motor. Un ejemplo de esta corriente de los cojinetes de circulación “vagabunda” se muestra en la figura 8.

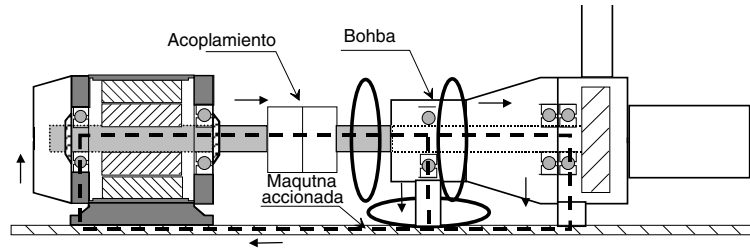


Figura 8: Corriente de los cojinetes de circulación “vagabunda”, donde el bucle de corriente es externo al motor.

Distribuidor de tensión capacitativo

También están presentes otras capacitancias de fuga en el motor, como la capacitancia entre los bobinados del estator y el rotor, o la que existe en el vacío de aire del motor entre el hierro del estator y el rotor. Incluso los cojinetes mismos pueden llegar a tener capacitancia de fuga.

La existencia de capacitancia entre los bobinados del estator y el rotor acopla de forma efectiva los bobinados del estator al hierro del rotor, que está también conectado al eje y a los anillos guía internos del cojinete. Los cambios rápidos de modo común desde el inversor pueden dar lugar a corrientes en la capacitancia alrededor de la circunferencia y a lo largo del motor, y además entre los bobinados del estator y el rotor hacia los cojinetes.

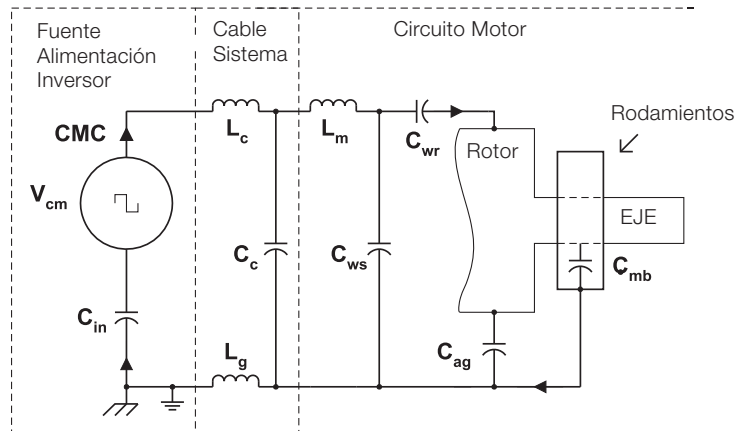


Figura 9: Bucle de modo común de un convertidor de velocidad variable, con capacitancias de fuga del estator, rotor y cojinete.

La circulación de corriente hacia los cojinetes puede cambiar con rapidez, ya que ello depende del estado físico del cojinete en un momento dado. Por ejemplo, la presencia de una capacitancia de fuga en los cojinetes sólo se mantiene mientras las bolas de los cojinetes están cubiertas de aceite o grasa y no son conductoras. Esta capacitancia, en la que la tensión del eje inducida aumenta, puede cortocircuitarse si la tensión de los cojinetes supera el umbral de su valor de transición conductiva o si un “punto elevado” en una bola atraviesa la película de aceite y entra en contacto con ambos anillos guía del cojinete. A una velocidad muy baja, los cojinetes tienen contacto metálico ya que las bolas no se han elevado por encima de la película de aceite.

Generalmente, la impedancia de los cojinetes gobierna el nivel de tensión en el que los cojinetes empiezan a conducir. Esta impedancia es una función no lineal de la carga de los cojinetes, la temperatura, la velocidad de rotación y el lubricante empleado, y la impedancia varía entre casos distintos.

Capítulo 3 - Cómo impedir los daños por corrientes de los cojinetes de alta

Tres enfoques

Existen tres enfoques para afectar a las corrientes de los cojinetes de alta frecuencia: un sistema de cableado y conexión a tierra correcto; la interrupción de los bucles de corriente de los cojinetes; y una amortiguación de la intensidad de modo común de alta frecuencia. Todos estos factores contribuyen a reducir la tensión de los cojinetes a valores que no inducen pulsos de corriente de los cojinetes de alta frecuencia en absoluto, o que amortiguan el valor de los pulsos a un nivel que no tiene efecto alguno sobre la vida de los cojinetes. Deben tomarse distintas medidas para cada tipo de corriente de los cojinetes de alta frecuencia.

La base del dominio de las corrientes de los cojinetes de alta frecuencia radica en un sistema de cableado correcto. Las prácticas de conexión a tierra estándar para los equipos se han diseñado principalmente para proporcionar una conexión de impedancia lo suficientemente baja para proteger al personal y al equipo contra fallos de la frecuencia del sistema. Un convertidor de velocidad variable puede conectarse a tierra eficazmente en las frecuencias elevadas de intensidad de modo común si la instalación sigue tres prácticas:

Cables a motor multipolares

Emplee solamente cables a motor simétricos multipolares. La disposición del conector a tierra (protección a tierra, PE) en el cable a motor tiene que ser simétrica para evitar las corrientes a frecuencia fundamental. La simetría del conductor PE se logra con un conductor alrededor de todas las conexiones de fase de un cable que contiene una disposición simétrica de tres conexiones de fase y tres conductores de tierra.

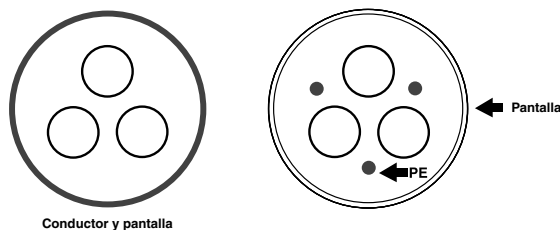


Figure 10: Recommended motor cable with symmetrical core configuration.

Ruta de impedancia corta

Defina una ruta de impedancia corta y baja para que la intensidad de modo común vuelva al inversor. El mejor modo, y el más sencillo, es emplear cables a motor apantallados. El apantallamiento debe ser

continuo y de un buen material conductor, como cobre o aluminio, y las conexiones en ambos extremos tienen que efectuarse con una terminación de 360°. Las figuras 11a y 11b muestran terminaciones de 360° para prácticas de cableado europeas y americanas.

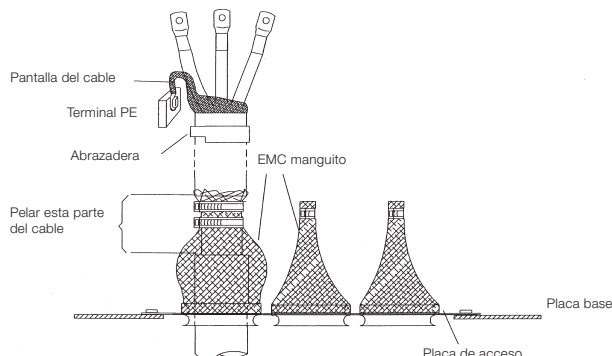


Figure 11 a: Terminación de 360° correcta para práctica de cableado europea. El apantallamiento se conecta con un cable flexible lo más corto posible al terminal PE. Para efectuar una conexión de 360° de alta frecuencia entre el manguito EMC y el apantallamiento del cable, el aislamiento exterior del cable se retira.

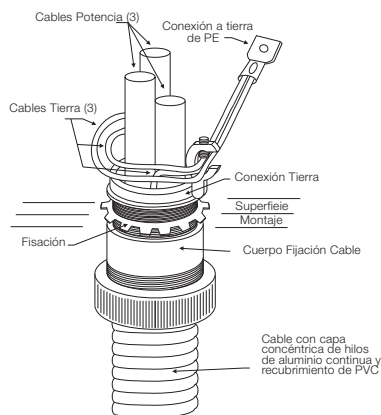


Figura 11 b: Terminación de 360° correcta para práctica de cableado americana. Debería emplearse un pasatapas aislado de conexión a tierra en ambos extremos del cable a motor para conectar eficazmente los cables de tierra a la armadura o conducto.

Conexiones de unión de alta frecuencia

Añada conexiones de unión de alta frecuencia entre la instalación y los puntos de referencia de tierra conocidos para igualar el potencial de los elementos afectados, empleando cintas trenzadas de cobre de 50-100 mm de anchura; los conductores planos proporcionarán una ruta de inductancia menor que los cables redondos. Ello debe realizarse en los puntos en los que se sospecha que existe una discontinuidad entre el nivel de tierra del inversor y el del motor. Además, es posible que sea necesario igualar el potencial entre los bastidores del motor y de la maquinaria accionada para puentear la ruta de corriente a través de los cojinetes de la máquina accionada y del motor.

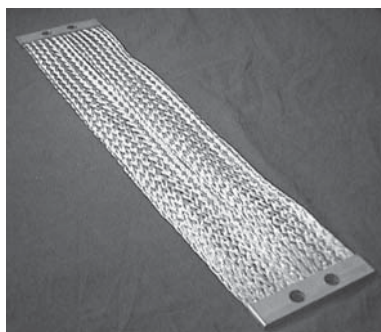


Figura 12: Cinta de unión de AF.

Siga las instrucciones específicas para el producto

Aunque los principios básicos de las instalaciones son los mismos, las prácticas de instalación idóneas para productos diferentes pueden diferir. Por ello, es vital que siga atentamente las instrucciones de instalación que se facilitan en los manuales específicos para el producto.

Soluciones adicionales

La interrupción de los bucles de corriente de los cojinetes se logra aislando la construcción de los cojinetes. La intensidad de modo común de alta frecuencia puede amortiguarse empleando filtros dedicados. Como fabricante de inversores y motores, ABB puede ofrecer la solución más apropiada en cada caso así como instrucciones detalladas acerca de las prácticas correctas de conexión a tierra y cableado.

Medición de las corrientes de los cojinetes de alta frecuencia

La monitorización del estado de los cojinetes debe llevarse a cabo con mediciones de vibración establecidas.

Es imposible medir las corrientes de los cojinetes directamente desde un motor estándar. Sin embargo, si se sospecha que existen corrientes de los cojinetes de alta frecuencia, pueden tomarse mediciones de campo para verificar la existencia de bucles de corriente que se sospecha que existen. El equipo de medición debe tener un ancho de banda amplio (mínimo 10kHz a 2 MHz) capaz de detectar valores de cresta de al menos 150 a 200A y valores RMS de por lo menos 10mA. El factor de cresta de las señales medidas no suele ser menor a 20. La corriente puede circular en lugares poco usuales, como los ejes en giro. Por ello, se requieren equipos y personal con experiencia.

ABB emplea un sensor flexible de corriente especialmente diseñado con núcleo de aire de tipo Rogowski con accesorios dedicados y posee una amplia experiencia con más de mil convertidores medidos en distintas aplicaciones en todo el mundo.

Los puntos de medición más importantes están dentro del motor. Durante las mediciones, la velocidad del motor tiene que estar al menos a un 10% del valor nominal para que los cojinetes se levanten por encima de la película de aceite. Como ejemplo, las mediciones básicas se muestran en la figura 13. La figura 14 muestra ejemplos de ondas de tensión de corriente medidas. Los inversores GTO se emplearon principalmente en los años 80 y en la actualidad se emplean los inversores IGBT. Observe las diferencias en la escala en los gráficos.

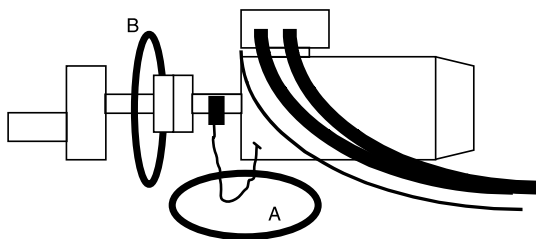
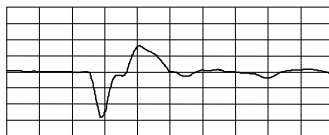
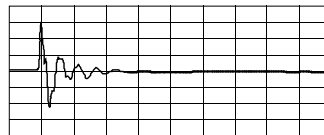


Figura 13: Mediciones básicas: A) Intensidad de circulación medida con un jumper; B) Corriente de conexión a tierra del eje.

A) Corriente de circulación

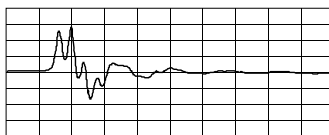


Inversor GTO, 5 μs/div, 2 A/div

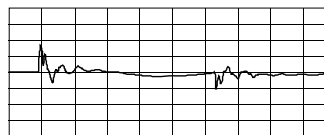


Inversor IGBT, 5 μs/div, 2 A/div

B) Corriente de conexión a tierra del eje



Inversor GTO, 2 μs/div, 10 A/div



Inversor IGBT, 5 μs/div, 500 mA/div

Figura 14: Ejemplos de ondas de tensión de corriente en los puntos de medición mostrados en la figura 13.

Deje que los especialistas efectúen las mediciones

Dado que el equipo de medición adecuado no está disponible de forma comercial en el mercado y se requiere una experiencia especializada para llevar a cabo las mediciones e interpretar los resultados, se aconseja que las mediciones de la corriente de los cojinetes sean realizadas solamente por personal especializado.

Capítulo 4 - Referencias

1. **Conexión a tierra y cableado del sistema de accionamiento,**
ABB Industry Oy, 3AFY 61201998 R0125
2. **Una nueva razón para los daños por corriente de los cojinetes en accionamientos de CA de velocidad variable** por J. Ollila, T. Hammar, J. Iisakkala, H. Tuusa. EPE 97, 7ª Conferencia europea sobre la electrónica y aplicaciones de potencia, 8-10 septiembre 1997. Trondheim, Noruega.
3. **Acerca de las corrientes de los cojinetes en los accionamientos de CA de velocidad variable y potencia media** por J. Ollila, T. Hammar, J. Iisakkala, H. Tuusa. procedimientos de la IEEE IEDMC en Milwaukee, mayo de 1997.
4. **Minimización de las corrientes eléctricas de los cojinetes en sistemas de accionamiento de velocidad ajustable** por Patrick Link. Conferencia sobre pulpa y papel IEEE IAS en Portland, ME, EEUU. Junio de 1998.
5. **Instrucción sobre la medición de corrientes de los cojinetes con una espira Rogowski,**
ABB Industry Oy, 3BFA 61363602.EN.
6. **Laakerivirta ja sen minimoiminen säädettyjen vaihtovirtakäyttöjen moottoreissa,**
I. Erkkilä, Automaatio 1999, 16.9.1999, Helsinki, Finlandia. (en finlandés).
7. **Corrientes de los cojinetes de alta frecuencia en motores asíncronos de baja tensión,**
ABB Motors Oy y ABB Industry Oy, 00018323.doc.
8. **Corrientes de los cojinetes en accionamientos de CA** por ABB Industry Oy y ABB Motors Oy. Conjunto de encabezados en la base de datos LN "Intranet de directorios de documentos" en ABB_FI01_SPK08/FI01/ABB
9. **La guía del motor**
GB 98-12.

Véanse también los manuales de instalación específicos para los productos.

Capítulo 5 - Índice

A

ABB 17, 18
Accionamiento de CA 6, 7, 8
acoplamiento metálico 10
anillos guía 6, 14
anillos guía de los cojinetes 5
apantallamiento 16
apantallamiento del cable 16
apantallamiento eléctrico 7
armadura 16

B

bastidor 17
bastidor del estator 7, 11, 12
bastidor del inversor 5, 10
bastidor del motor 7, 9, 10, 11
bobinado 7, 8, 9, 10, 11, 13
bobinados del estator 11, 13
bobinados del motor 10
bola 14
Bucle de modo común 9, 13
bucles de corriente de los cojinetes 15, 17

C

cable 15
cable a motor 15, 16
cable de modo común 10
cables a motor simétricos 5, 15
caída de tensión 10
caja de engranajes 6, 10, 12
capacitancia de fuga 7, 8, 10, 11, 13, 14
capacitancia del cable 10
cintas trenzadas 17
circuito de modo común 7
circuito del rotor 12
cojinetes 5, 6, 7, 12, 13, 14
cojinetes del motor 5
conducto 16
conductores planos 17
conexiones de unión 17
controlador del convertidor 6
convertidor de velocidad variable 5, 13, 15
corriente de circulación 12
corriente de circulación de alta frecuencia 12
corrientes de fuga 5
corrientes de los cojinetes 5, 6, 7, 12, 15, 18, 19
corrientes de los cojinetes de alta frecuencia 6, 7
corrientes de los cojinetes de baja frecuencia 6
cráter EDM 6

D

distribución de tensión interna 7
dominio de la corriente de alta frecuencia 15

E

eje 7, 12, 13
eje del motor 5, 7, 10
estator 7, 11, 13
extremos del eje 12

F

factor de cresta 18
filtrado de la salida del inversor 5
filtros dedicados 17
flujo de alta frecuencia 7
flujo magnético 12
frecuencia de conmutación del inversor 8
frecuencias de conmutación elevadas 5
fuente de alimentación del inversor 9
fuente de alimentación trifásica 7, 8

I

intensidad de modo común 8, 9, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 17
inversor 7, 8, 9, 10, 13, 16, 17
inversores GTO 18
inversores IGBT 18

L

laminaciones del estator 12

M

máquina accionada 7, 17
maquinado de descarga eléctrica (EDM) 6
maquinaria accionada 7, 10, 12
mediciones de campo 18
motor 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 15, 17, 18
motores eléctricos 5

P

película de aceite 7, 18
primario 12
pulsos de corriente 5
pulsos de tensión 5
PWM 7, 9

R

ranuras de los cojinetes 6
rotor 12, 13
rutas de corriente de los cojinetes 5

S

secundario 12
sensor de corriente tipo Rogowski 18

T

tensión axial 12
tensión de los cojinetes 14
tensión de modo común 7, 8, 10
tensión de punto neutro 8
Tensión de los cojinetes de alta
frecuencia 7
tensión del bus de CC 8
tensión del eje axial 12, 13
tensión del eje inducida 14
tensiones del eje 7
Terminación de 360° 16
Tiempo medio entre fallos (MTBF) 6
transformador 12
Transistores bipolares de puerta
aislada (IGBT) 6

V

vías de conexión a tierra 5

Contacte con nosotros

Para obtener más información, póngase en contacto con su representante local de ABB o visite:

www.abb.es

www.abb.com/drivespartners

© Copyright 2014 ABB. Todos los derechos reservados.
Las especificaciones están sujetas a cambio sin previo aviso.

3BFE 64312413 REV C ES 27.4.2011



ABB drives

Guía técnica nº 6 Guía de los armónicos con accionamientos de CA

Power and productivity
for a better world™



Guía técnica nº 6

Guía de los armónicos con accionamientos de CA

Contenido

Capítulo 1 - Introducción	7
General.....	7
Capítulo 2 - Fundamentos de los fenómenos por armónicos	8
Capítulo 3 - Fuentes de distorsión por armónicos y efectos	10
Capítulo 4 - Cálculo de la distorsión por armónicos mediante el software DriveSize	11
4.1 Diagrama de circuitos para el ejemplo de cálculo	11
4.2 Datos de entrada para la carga del motor	11
4.3 Selección del motor	12
4.4 Selección del inversor	12
4.5 Datos de la unidad de alimentación del inversor	12
4.6 Entrada de datos de red y transformador	13
4.7 Calculated harmonic current and voltage	13
4.8 Corrientes armónicas calculadas en formato gráfico	13
4.9 Parte del informe impreso	14
Capítulo 5 - Normas para los límites de armónicos	15
5.1 EN 61800-3 (IEC 1800-3) Sistemas de accionamiento de potencia eléctrica de velocidad ajustable.....	15
5.2 IEC 61000-2-2, Compatibilidad electromagnética (EMC)	16
5.3 IEC 61000-2-4, Compatibilidad electromagnética (EMC)	16
5.4 IEC 61000-3-2, Compatibilidad electromagnética (EMC).....	16
5.5 IEC 61000-3-4, Compatibilidad electromagnética (EMC).....	16
5.6 IEEE 519, Prácticas recomendadas y requisitos IEEE para el control de armónicos en sistemas de potencia eléctrica.....	17
Capítulo 6 - Evaluación de armónicos	19
Capítulo 7 - Reducción de armónicos con modificaciones estructurales en el sistema de accionamiento de CA	20
7.1 Factores en el accionamiento de CA que tienen efecto en los armónicos	20
7.2 Tabla: Lista de los distintos factores y sus efectos.....	21
7.3 Empleo de un rectificador de diodos de 6 pulsos	21
7.4 Empleo de un rectificador de diodos de 12 pulsos o 24 pulsos.....	22
7.5 Empleo de un rectificador de tiristores controlado por fase.....	22
7.6 Empleo de un puente de IGBT	23
7.7 Empleo de un inductor de CA o CC mayor.....	24

Capítulo 8 - Otros métodos para la reducción de armónicos.....	27
8.1 Tuned single arm passive filter	27
8.2 Tuned multiple arm passive filter	27
8.3 External active filter	28
Capítulo 9 - Resumen de la atenuación de armónicos	30
9.1 Rectificador de 6 pulsos sin inductor	30
9.2 Rectificador de 6 pulsos con inductor.....	30
9.3 Rectificador de 12 pulsos con transformador polycon	30
9.4 Rectificador de 12 pulsos con transformador de bobinado doble..	30
9.5 Rectificador de 24 pulsos	31
9.6 Rectificador de IGBT activo.....	31
Capítulo 10 - Definiciones	32
Índice.....	34

Capítulo 1 - Introducción

Generalidades

Esta guía constituye una adición a la serie de guías técnicas de ABB, y en ella se describe la distorsión provocada por los armónicos, sus fuentes y sus efectos, así como el cálculo de la distorsión y su evaluación. Se ha prestado una especial atención a los métodos relativos a la reducción de armónicos en los accionamientos de CA.

Capítulo 2 - Fundamentos de los fenómenos por armónicos

Las intensidades y tensiones de armónicos se crean a partir de cargas no lineales conectadas al sistema de distribución de potencia. La distorsión por armónicos es una forma de contaminación en la planta eléctrica que puede provocar problemas si la suma de las intensidades de armónicos supera ciertos límites.

Todos los convertidores electrónicos de potencia empleados en distintos tipos de sistemas electrónicos pueden aumentar las perturbaciones por armónicos introduciendo intensidades de armónicos directamente hacia la red. La Figura 2.1 muestra cómo los armónicos en intensidad (i_h) en la intensidad de entrada (i_s) de un convertidor electrónico de potencia afectan a la tensión de alimentación (u_t).

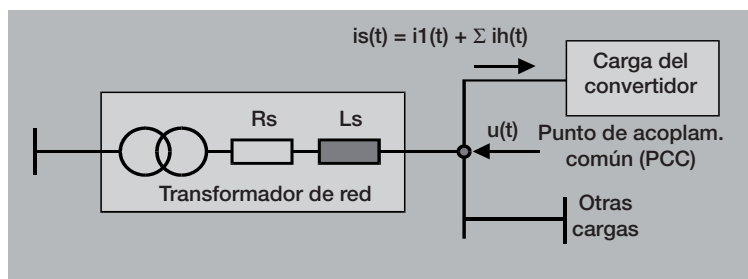


Figura 2.1 Planta con carga del convertidor, transformador de red y otras cargas

La intensidad de red de un rectificador puede calcularse a partir de la intensidad de salida directa mediante la fórmula siguiente.

$$I'_1 = \sqrt{\frac{2}{3}} * I_d, \text{ donde}$$

$$I'_1 = \text{ la intensidad de red fundamental y}$$

$$I_d = \text{ salida de intensidad directa del rectificador.}$$

La corriente fundamental es pues

$$I_1 = I'_1 * \frac{3}{\pi}$$

En un caso teórico en el que la intensidad de salida puede estimarse como intensidad de cc limpia, las frecuencias de intensidad de armónicos de un rectificador trifásico de 6 pulsos es n veces la frecuencia fundamental (50 ó 60 Hz). Los números de orden n se calculan con la fórmula siguiente:

$$n = 6k \pm 1, \text{ donde } k = 1, 2, 3, \dots$$

Los valores eficaces de los componentes armónicos son:

$$I_{ni} = \frac{I_1}{n}$$

y los componentes armónicos son los que se muestran en la Figura 2.2.

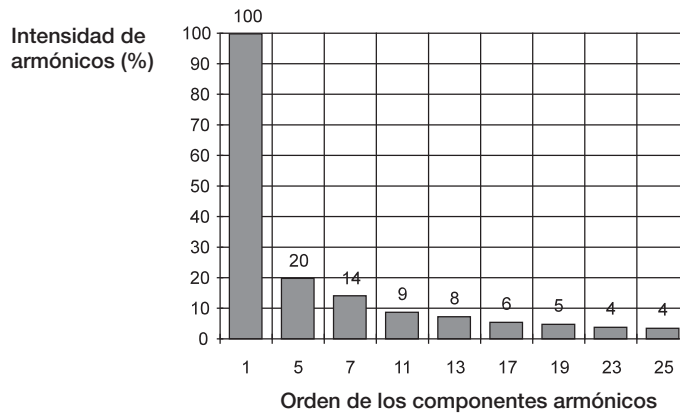


Figura 2.2 Contenido de armónicos en la intensidad rectangular de un rectificador de 6 pulsos

El principio del modo en el que los componentes armónicos se suman a la intensidad fundamental se muestran en la Figura 2.3, en la que solamente se muestra el quinto armónico.

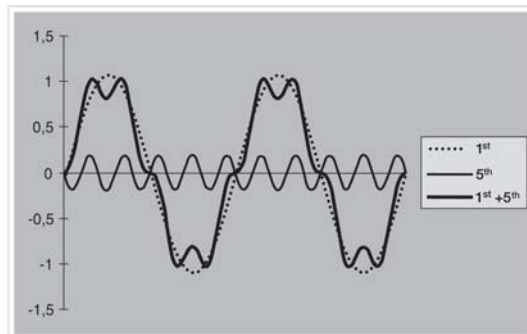


Figura 2.3 La intensidad total como la suma de la fundamental y el quinto armónico

Capítulo 3 - Fuentes de distorsión por armónicos y

Las cargas no lineales comunes incluyen los arrancadores de motores, los convertidores de velocidad variable, los ordenadores y otros dispositivos electrónicos, la iluminación electrónica, las alimentaciones para soldadura y las fuentes de alimentación ininterrumpida.

Los efectos de los armónicos pueden consistir en el sobrecalentamiento de los transformadores, cables, motores, generadores y condensadores conectados a la misma fuente de alimentación que los dispositivos que generan los armónicos. Es posible que las pantallas electrónicas y la iluminación experimenten fluctuaciones, que se disparen los interruptores, que fallen los ordenadores y que las mediciones arrojen valores falsos.

Si se desconoce la causa de los síntomas anteriores, entonces se justifica la investigación de la distorsión por armónicos en la distribución eléctrica de la planta. Es probable que los efectos se manifiesten en la planta del cliente antes que en el sistema de utilidad. Esta Guía Técnica se ha publicado para ayudar a los clientes a comprender los posibles problemas provocados por los armónicos y a asegurarse de que los niveles de distorsión por armónicos no son excesivos.

Capítulo 4 - Cálculo de la distorsión por armónicos mediante el software

Las corrientes armónicas provocan una distorsión de la tensión de red. En principio, los armónicos de la tensión pueden calcularse en cualquier punto de la red si se conocen las corrientes armónicas y la impedancia de fuente correspondiente. Los diagramas de circuitos en la Figura 4.1. muestran la red que alimenta al convertidor y las demás partes esenciales de la instalación. El software ABB DriveSize se emplea en el ejemplo de cálculo.

4.1 Diagrama de circuitos para el ejemplo de cálculo

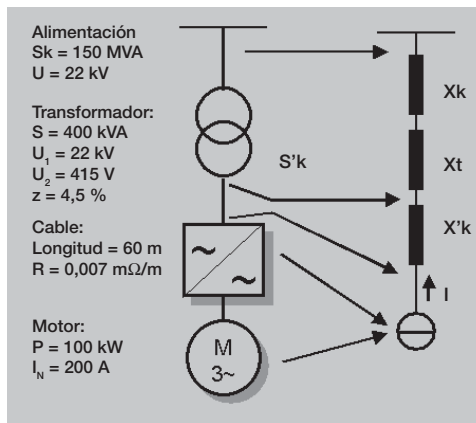


Figura 4.1. Red que alimenta a un convertidor de frecuencia en la parte central y su diagrama equivalente a la derecha. Los datos del ejemplo se encuentran a la izquierda.

4.2 Datos de entrada para la carga del motor

Carga motor

Tipo carga:

Tipo sobrec. :

	mín	base	máx
Veloc. [rpm]	0	1450	1500
Pot. [kW]	0	100	100
Sobrec. [%]		100	100

Tpo. sobrec. [s] cada [s]

Figura 4.2. Los datos de carga del motor más importantes para el cálculo de armónicos son la potencia base en kW.

4.3 Selección del motor

Datos motor selecc. M2BA 315 SMC 6	
Selección	DriveSize
Tensión [V]	415
Conexión	D
Frecuencia [Hz]	50
Potencia [kW]	110
Polos	6
Velocidad [rpm]	992
Vel. máx. mec. [rpm]	2300
Intensidad [A]	197
Par [Nm]	1060
T máx/Tn	3,2
Factor de potencia	0,82
Rendimiento [%]	95,6
Clase aislamiento	F

Figura 4. 3. El software realiza la selección del motor para la carga definida. Si es necesario, hay una opción disponible para seleccionar un motor distinto del seleccionado por DriveSize.

4.4 Selección del inversor

Datos inversor selecc. ACS607-0140-3	
Selección	Usuario
Método de selecc.	Intens. (normal)
Tensión [V]	400
Pot. convert. [kVA]	140
Pn [kW]	110
Icont normal [A]	216
Imáx normal [A]	238
Ptp [kW]	90
Icont Trab. pes. [A]	178
Imáx Trab. pes. [A]	267
Pulso	6
Tipo bastidor	R8
P&F 12Ncuad [A]	260

4.4. La selección del inversor se basa en la anterior selección del motor y, en este caso, el usuario también tiene la opción de seleccionar el inversor manualmente.

4.5 Datos de la unidad de alimentación del inversor

Datos udad. alim.	
Nº pulsos	6
Lv [µH]	110
Ccc [mF]	4,95
Ucc [V]	560
Icc [A]	191

Figura 4.5. Los datos de la unidad de alimentación los define DriveSize según el tipo de inversor seleccionado.

4.6 Entrada de datos de red y transformador

Datos de red y transformador

Tensión primario [V] 22000 Tensión secundario [V] 415

Frecuencia [Hz] 50

Sk red [MVA] 150 desconocido

Sn transform. [kVA] 400

Pk transform. [kW] 3,0

Zk transform. [%] 3,8

Tipo de cable alim. Cable Embarrado

Cantidad de cables 3 Impedancia [$\mu\Omega$] 70

Longitud cable [m] 60

Figura 4.6. Ésta es la entrada de datos de red y transformador. Para los transformadores ABB estándar, los datos se muestran de forma automática.

4.7 Corriente y tensión armónicas calculadas

DTH		Intens.	Tensión	n	f [Hz]	Intens. [A]	In/I1	Tensión [V]
Result.	47,1 %	0,2 %		1	50	2,8	100,0 %	21996,6
Cál. IEEE 0,2%/	0,2 %/			5	250	1,2	41,2 %	32,9
Lim. IEEE 15,0 %	0,5 %			7	350	0,6	19,5 %	21,7
				11	550	0,2	8,6 %	15,1
				13	650	0,2	5,6 %	11,7
				17	850	0,1	4,2 %	11,3
				19	950	0,1	2,7 %	8,1
				23	1150	0,1	2,3 %	8,2
				25	1250	0,0	1,4 %	5,5
				29	1450	0,0	1,2 %	5,3
				31	1550	0,0	0,8 %	3,7
				35	1750	0,0	0,5 %	3,0
				37	1850	0,0	0,6 %	3,3

Figura 4.7. Los armónicos se calculan efectuando una transformación de Fourier discreta a la intensidad de fase simulada de la unidad de entrada. Se utilizan varias clases de modelos de circuito, uno para SingleDrive con inductores de CA y uno para la alimentación por diodos y tiristores con inductores de CC. También existen modelos para conexiones de 6, 12 y 24 pulsos

4.8 Corrientes armónicas calculadas en formato gráfico

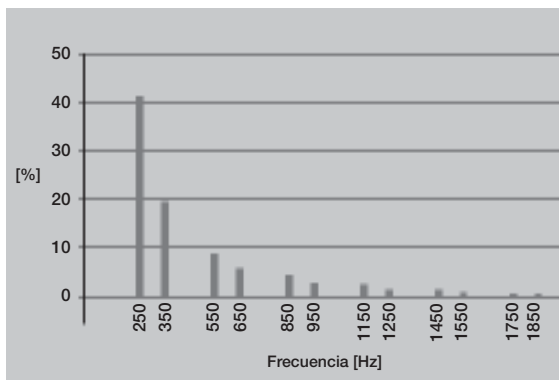


Figura 4.8. Los resultados de los cálculos pueden visualizarse en formato tabular, como se muestra en este ejemplo, o como un gráfico.

4.9 Parte del informe impreso

ABB					
Comprobación de red		ACS607-0140-3			
Datos de red y transformador		Datos udad. aliment.			
Tensión normal [V]	22000 (parte primario)	Nº pulsos	6		
Frecuencia [Hz]	50	Lv [µH]	110		
Sk red [MVA]	150	Ccc [mF]	4,95		
Sn transform. [kVA]	400	Ucc [V]	560		
Pk transform. [kW]	3,0	Icc [A]	191		
Zk transform. [%]	3,8				
Tipo de cable alim.	Cable				
Cantidad de cables	3				
Longitud de cable	60				
Resultado		Límites IEEE 519 cálc./límite			
Cosφii	0,999	Intens. DTH	47,1 %	Intens. DTH	0,2 %/15,0 %
Factor potencia tot.	0,90	Tensión DTH	0,2 %	Tensión DTH	0,2 %/5,0 %
Unmax mot.	98 %				

Figura 4.9. Los datos de entrada y los resultados calculados pueden imprimirse como un informe, que aquí se muestra en parte.

Capítulo 5 - Normas para los límites de armónicos

Las normas nacionales e internacionales más comunes que definen límites para los armónicos se describen a continuación. La Figura 5.1 se muestra como un ejemplo de los límites de distorsión por armónicos.

5.1 EN 61800-3 (IEC 61800-3) Sistemas de accionamiento de potencia eléctricos de velocidad ajustable

Parte 3: Norma de producto EMC que incluye métodos de comprobación específicos

Los países en el Área Económica Europea (AEE) han acordado unos requisitos reglamentarios mínimos para garantizar la libre circulación de productos dentro del AEE. El Etiquetaje CE indica que el producto funciona de conformidad con las directivas que son válidas para el producto. Las directivas indican los principios que deben observarse, y las normas especifican los requisitos que deben satisfacerse. EN 61800-3 es la norma de producto EMC de los sistemas de accionamiento de potencia eléctricos de velocidad ajustable (PDS). La condición mínima para la libre comercialización de los convertidores electrónicos de potencia dentro del AEE es el cumplimiento de esta norma.

EN 61800-3 indica que el fabricante deberá proporcionar, dentro de la documentación del PDS o bajo petición, el nivel de armónicos en intensidad, en condiciones nominales y en forma de porcentaje de la intensidad nominal fundamental en la entrada de potencia. Los valores referenciados se calcularán para cada orden por lo menos hasta el vigesimoquinto. La THD de intensidad (órdenes hasta el 40 inclusive) y su PHD de componentes de alta frecuencia (órdenes del 14 al 40, ambos inclusive) deberán evaluarse. Para estos cálculos estándar, se asumirá que el PDS está conectado a un PC con $R_{sc} = 250$ y con una distorsión de tensión inicial menor que el 1%. La impedancia interna de la red se asumirá como una reactancia pura.

En una red de alimentación pública de baja tensión, los límites y los requisitos de IEC 61000-3-2 se aplican al equipo con una intensidad nominal < 16 A. El uso de la próxima IEC 61000-3-4 se recomienda para los equipos con intensidad nominal > 16 A. Si el PDS se utiliza en una instalación industrial, debe emplearse un enfoque económico razonable que tenga en cuenta la totalidad de la instalación. Este enfoque se basa en la potencia acordada, que puede proporcionar la fuente de alimentación en cualquier momento. El método para el cálculo de los armónicos de la instalación total se empleará como límites de la distorsión de tensión.

5.2 IEC 61000-2-2, Compatibilidad electromagnética (EMC)

Parte 2: Entorno - Sección 2: Niveles de compatibilidad para perturbaciones conducidas de baja frecuencia y señales en sistemas de alimentación públicos de baja tensión

Esta norma define los límites de compatibilidad para las perturbaciones conducidas de baja frecuencia y las señales en sistemas de alimentación públicos de baja tensión. Los fenómenos de perturbación incluyen los armónicos, los interarmónicos, las fluctuaciones de tensión, las caídas de tensión y las interrupciones breves, los desequilibrios de tensión, etc. Básicamente, esta norma define los criterios de diseño para el fabricante del equipo, y establece los requisitos mínimos de inmunidad del equipo. IEC 61000-2-2 se equipara a los límites definidos en EN 50160 para la calidad de la tensión que el propietario de la utilidad debe proporcionar en los terminales de alimentación del cliente.

5.3 IEC 61000-2-4, Compatibilidad electromagnética (EMC)

Parte 2: Entorno - Sección 4: Niveles de compatibilidad en plantas industriales para perturbaciones conducidas de baja frecuencia

IEC 61000-2-4 es similar a IEC 61000-2-2, pero proporciona niveles de compatibilidad para redes industriales y de tipo no público. Cubre las redes de baja tensión así como las alimentaciones de tensión media, excluyendo las redes para barcos, aviones, plataformas marinas y vías de ferrocarril

5.4 IEC 61000-3-2, Compatibilidad electromagnética (EMC)

Parte 3: Límites - Sección 2: Límites para las emisiones de intensidad de armónicos (intensidad del equipo <16 A por fase)

Esta norma se centra en los límites de emisión de intensidad de armónicos del equipo individual conectado a las redes públicas. La fecha de implementación de esta norma es el 1 de enero de 2001, pero se han emprendido tareas exhaustivas para revisar la norma antes de esta fecha. Las dos razones principales para la revisión son la necesidad de que la norma cubra asimismo la tensión por debajo de 230 V y las dificultades y las contradicciones en la aplicación de la categorización del equipo facilitada en la norma.

5.5 IEC 61000-3-4, Compatibilidad electromagnética (EMC)

Esta norma se ha publicado como un Informe técnico de tipo II. Se está trabajando para convertirlo en una norma. Proporciona los límites de emisión de intensidad de armónicos para equipos individuales con una intensidad nominal de más de 16 A hasta 75 A. Se aplica a las redes públicas con tensiones nominales de 230 V y una fase hasta 600 V trifásicas.

La norma proporciona tres etapas diferentes para los procedimientos de conexión del equipo. Al satisfacerse los límites de armónicos individuales en la Etapa 1 es posible efectuar la conexión del equipo en cualquier punto en el sistema de alimentación. La Etapa 2 proporciona límites de intensidad de armónicos individuales así como la THD y su PWhd de contrapartida de alta frecuencia ponderada. Los límites se clasifican y se tabulan mediante el coeficiente de cortocircuito. La tercera etapa de la conexión se basa en el acuerdo entre el usuario y la autoridad que suministra la alimentación, basado en la potencia activa acordada de la instalación del consumidor. Si la intensidad nominal se sitúa por encima de 75 A, se aplica siempre la Etapa 3.

La estructura de esta norma suele considerarse adecuada, pero es legítimo preguntarse si el equipo de una fase y trifásico debería tener límites distintos en la Etapa 2. Es muy probable que la estructura de la norma no experimente cambios, pero la versión con el estado de la norma real contendrá límites distintos para el equipo de una fase y trifásico.

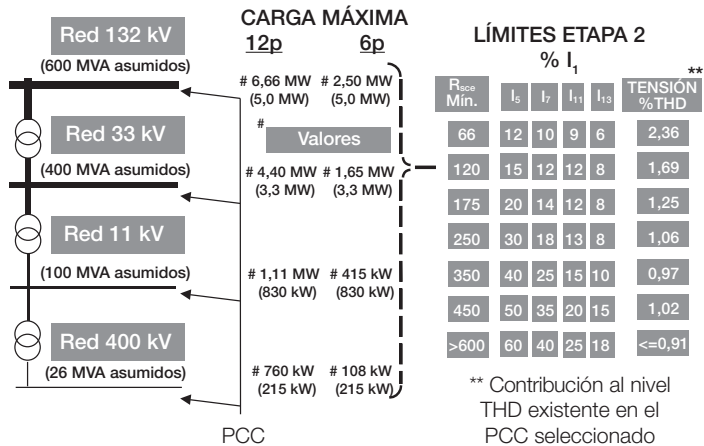


Figure 5.1 Limits on harmonics in the proposed EN61000-3-4.

5.6 IEEE 519, Prácticas recomendadas y requisitos IEEE para el control de armónicos en sistemas de potencia eléctrica

La filosofía de desarrollo de límites de armónicos en esta práctica recomendada es limitar la inyección de armónicos de clientes individuales con el fin de que no provoquen niveles de distorsión de tensión inaceptables para características de sistema normales y limitar la distorsión por armónicos global de la tensión de sistema suministrada por la utilidad. Esta norma se reconoce también como una Norma Nacional Americana y se utiliza ampliamente en los EE.UU., especialmente en el ámbito de obras públicas municipales.

La norma no proporciona límites para equipos individuales, sino para clientes individuales. Los clientes se clasifican por el coeficiente de intensidad de cortocircuito disponible (I_{sc}) y su intensidad de carga de demanda máxima (IL) en el punto de acoplamiento común. La intensidad de carga de demanda total es la suma de las cargas lineales y no lineales. Dentro de una planta industrial, el PCC se define claramente como el punto entre la carga no lineal y otras cargas.

Las intensidades de armónicos individuales permitidas y la distorsión por armónicos total se tabulan mediante el coeficiente de intensidad de cortocircuito disponible y la intensidad de carga de demanda total (I_{sc}/IL) en el punto de acoplamiento común. Los límites son un porcentaje de IL para todos los armónicos pares e impares de 2 a infinito. La distorsión total por armónicos se denomina distorsión total de demanda y debería calcularse asimismo hasta infinito. Muchos autores limitan el cálculo de los componentes individuales y la TDD a 50.

La tabla 10.3 de la norma se malinterpreta algunas veces como límites para las emisiones de armónicos de un solo aparato empleando R_{sc} del equipo en lugar de I_{sc}/IL de la totalidad de la instalación. Los límites de la tabla no deberían emplearse de este modo, dado que el coeficiente de la intensidad de cortocircuito y la intensidad de carga de demanda total de una instalación deberían emplearse siempre.

Capítulo 6 - Evaluación de armónicos

La “Guía para la aplicación de límites de armónicos en sistemas de potencia” P519A/D6 Ene 1999 introduce reglas generales para evaluar límites de armónicos en instalaciones industriales. El procedimiento se muestra en la siguiente figura.

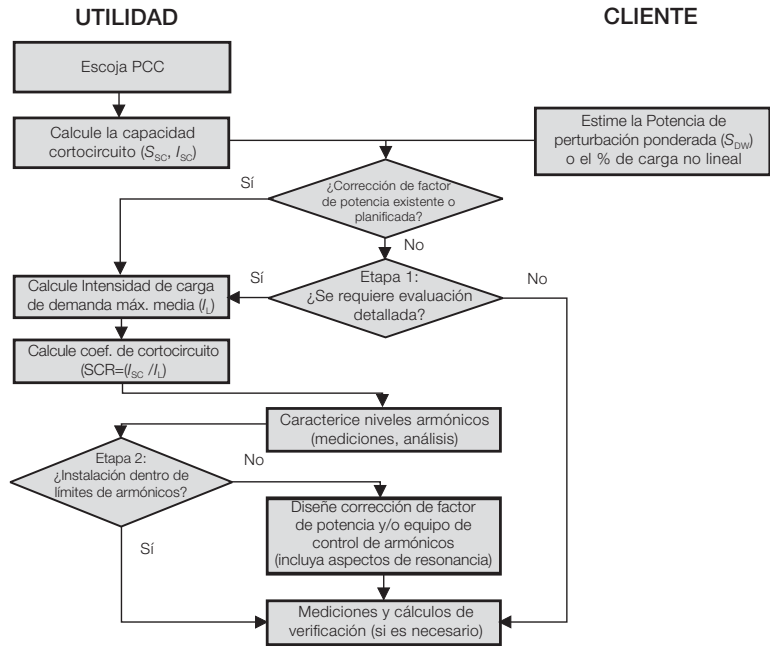


Figura 6.1 Evaluación de la distorsión por armónicos

Capítulo 7 - Reducción de armónicos con modificaciones estructurales en el sistema de accionamiento de CA

7.1 Factores en el accionamiento de CA que tienen efecto en los armónicos

La reducción de armónicos puede realizarse mediante modificaciones estructurales en el sistema de accionamiento o empleando filtrado externo. Las modificaciones estructurales pueden consistir en reforzar la alimentación, en emplear un accionamiento de 12 pulsos o más, en emplear un rectificador controlado o en mejorar el filtrado interno en el convertidor.

La Figura 7.1 muestra los factores en el sistema de accionamiento de CA que tienen algún efecto en los armónicos. Los armónicos en intensidad dependen de la estructura del convertidor y los armónicos en tensión son los armónicos en intensidad multiplicados por las impedancias de alimentación.

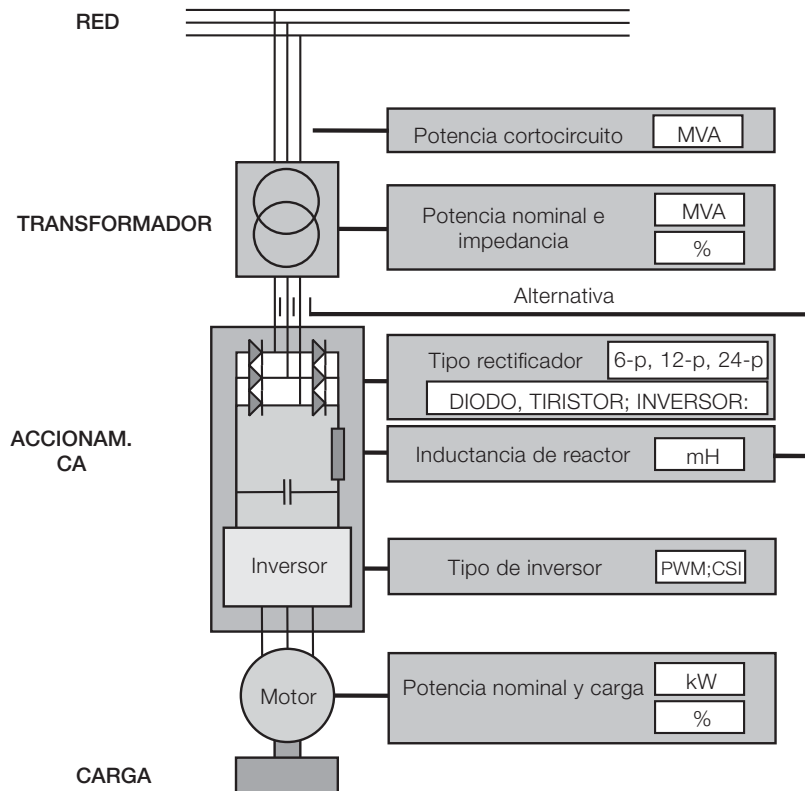


Figura 7.1 Características del sistema de accionamiento que afectan a los armónicos

7.2 Tabla: Lista de los distintos factores y sus efectos

Causa	Efecto
Para un motor mayor...	mayores armónicos en intensidad
Para una mayor carga del motor...	mayores armónicos en intensidad
A más inductancia de CC o CA...	mayores armónicos en intensidad
Para un número mayor de pulsos en el rectificador...	mayores armónicos en intensidad
Con un transformador mayor...	mayores armónicos en tensión
Menor impedancia del transformador...	mayores armónicos en tensión
Para una capacidad de cortocircuito mayor de la alimentación...	mayores armónicos en tensión

7.3 Empleo de un rectificador de diodos de 6 pulsos

Las conexiones para las distintas soluciones de rectificadores se muestran en la Figura 7.2. El circuito rectificador más común en los accionamientos de CA trifásicos es un puente de diodos de 6 pulsos. Consta de seis rectificadores o diodos no controlables y un inductor, que junto con un condensador de CC forman un filtro de paso bajo para filtrar la intensidad de CC. El inductor puede hallarse en la etapa de CC o CA o puede dejarse completamente en el exterior. El rectificador de 6 pulsos es sencillo y barato pero genera una gran cantidad de armónicos del orden bajo quinto, séptimo y undécimo, especialmente con una inductancia de filtrado reducido.

El modo de la intensidad se muestra en la Figura 7.2. Si la mayor parte de la carga consiste en convertidores con un rectificador de 6 pulsos, el transformador de alimentación tienen que sobredimensionarse y el cumplimiento de los requisitos en las normas puede llegar a complicarse. Suele ser necesario algún tipo de filtrado de armónicos.

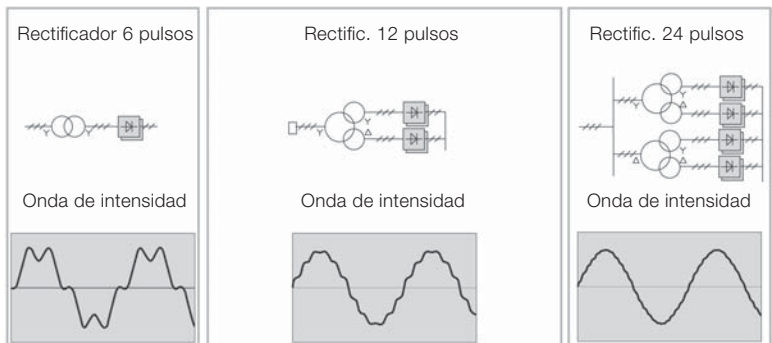


Figura 7.2 Armónicos en la intensidad de red con distintas estructuras de rectificadores

7.4 Empleo de un rectificador de diodos de 12 pulsos o 24 pulsos

El rectificador de diodos de 12 pulsos se forma conectando dos rectificadores de 6 pulsos en paralelo para alimentar un bus de CC común. La entrada a los rectificadores se realiza mediante un transformador de tres bobinados (de doble secundario). Los secundarios del transformador están desfasados 30°. Las ventajas de esta disposición consisten en que en la etapa de alimentación algunos de los armónicos se hallan en la fase opuesta y por lo tanto se eliminan. En teoría, el componente armónico con la frecuencia más baja que se aprecia en el primario del transformador es el undécimo.

Las principales desventajas son los transformadores especiales y un coste más elevado que con el rectificador de 6 pulsos.

El principio para el rectificador de 24 pulsos se muestra también en la Figura 7.2. Este consta de dos rectificadores de 12 pulsos en paralelo alimentados por dos transformadores de doble secundario con un desfase de 15°. La ventaja es que prácticamente se eliminan todos los armónicos de baja frecuencia pero el inconveniente es el elevado coste. En el caso de un solo convertidor de elevada potencia o una gran instalación con varios convertidores, un sistema de 24 pulsos puede ser la solución más económica con la menor distorsión por armónicos.

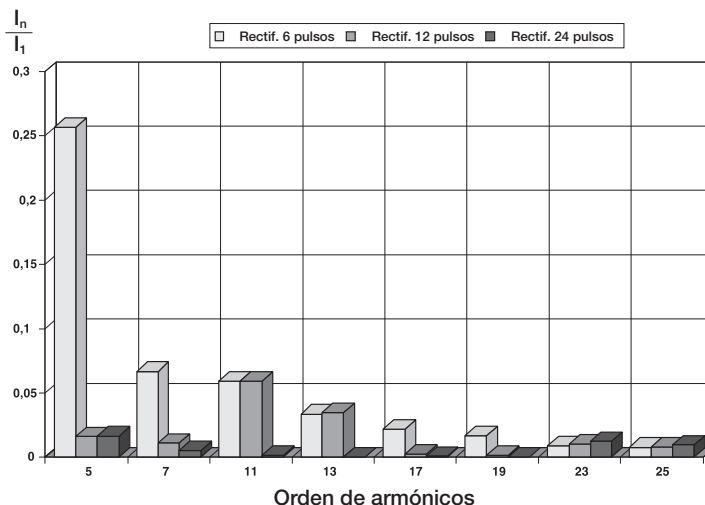


Figura 7.3 Componentes armónicos con distintos rectificadores

7.5 Empleo de un rectificador de tiristores controlado por fase

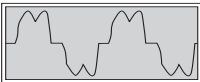
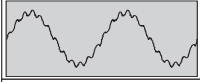
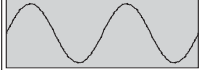
Un rectificador controlado por fase se obtiene sustituyendo los diodos en un rectificador de 6 pulsos por tiristores. Dado que un tiristor requiere un pulso de disparo para efectuar la transición de estado no conductor a conductor, el ángulo de fase en el que el tiristor empieza a conducir puede retardarse. Al retardar el ángulo

de disparo por encima de 90º, la tensión del bus de CC pasa a ser negativa. Ello permite el flujo regenerativo de potencia desde el bus de CC de vuelta a la fuente de alimentación.

Las configuraciones estándar de bus de CC e inversor no permiten el cambio de polaridad de la tensión de CC y es más común conectar otro puente de tiristores antiparalelo respecto al primero para permitir la inversión de la polaridad de la intensidad. En esta configuración el primer puente conduce en modo de rectificación y el otro en modo regenerativo.

Las ondas de intensidad de los rectificadores controlados por fase son similares a las de los rectificadores de diodos de 6 pulsos, pero dado que absorben potencia con un factor de potencia de desplazamiento alternante, el factor de potencia total con carga parcial es bastante bajo. El factor de potencia bajo provoca una intensidad aparente elevada y las intensidades de armónicos absolutas son más elevadas que las propias de un rectificador de diodos.

Además de estos problemas, los convertidores controlados por fase provocan interrupciones de conmutación en la onda de tensión de la utilidad. La posición angular de las interrupciones varía con el ángulo de disparo.

Tipo de alimentac.	TDH de intensidad (%)	TDH de tensión (%) RSC=20	TDH de tensión (%) RSC=100	Onda de intensidad
Rectificador de 6 pulsos	30	10	2	
Rectificador de 12 pulsos	10	6	1,2	
Unidad de alimentación IGBT	4	8	1,8	

Distorsión en % de valores eficaces

Figura 7.4 Distorsión de distintos tipos de unidades de alimentación. Los valores pueden variar según el caso.

7.6 Empleo de un puente de IGBT

La introducción de un puente rectificador, formado por componentes autoconmutados, aporta diversas ventajas y oportunidades en comparación con los conmutados por fase. Al igual que un rectificador conmutado por fase, este equipo permite la rectificación y la regeneración, pero posibilita el control del nivel de tensión de CC y el factor de potencia de desplazamiento de forma separada con independencia de la dirección del flujo de potencia.

Las principales ventajas son:

- Función segura en caso de desaparición de la alimentación de red.

- Elevada dinámica del control del convertidor incluso en el rango de debilitamiento de campo.
- Posibilidad de generar potencia reactiva.
- Intensidad de alimentación casi sinusoidal con un bajo contenido en armónicos. Los resultados medidos para un convertidor se muestran en la Figura 7.5. Al efectuar la comparación con 7.3 se puede apreciar una clara diferencia. Un IGBT tiene armónicos muy bajos a frecuencias menores, pero son bastante más elevados a frecuencias más altas.
- Capacidad de sobrepasar de tensión. En caso de tensión de alimentación baja, la tensión de CC puede incrementarse para mantener la tensión del motor a un nivel mayor que la tensión de alimentación.

El inconveniente principal es el elevado coste del puente de IGBT y el filtrado extra requerido.

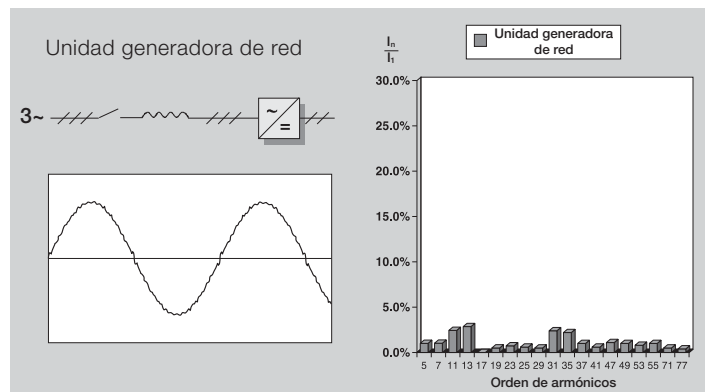


Figura 7.5 Armónicos en la intensidad de red de la unidad generadora de red IGBT

7.7 Empleo de un inductor de CC o CA mayor

Los armónicos de un accionamiento de CA como fuente de tensión pueden reducirse considerablemente conectando un inductor lo bastante grande en su entrada de CA o bus de CC. La tendencia ha sido reducir el tamaño del convertidor y también del inductor, o en bastantes casos se ha omitido. El efecto puede verse en las curvas en la Figura 7.6.

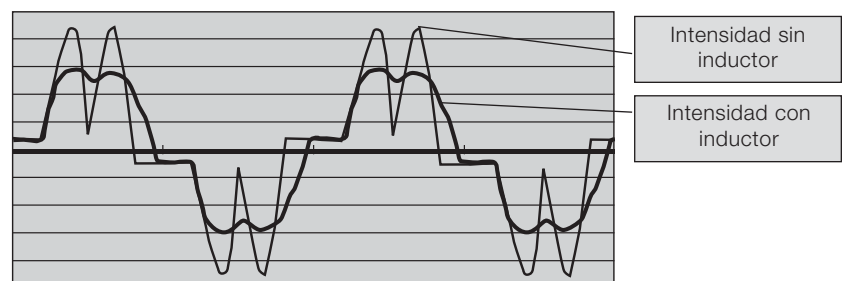


Figura 7.6 El efecto del inductor en la intensidad de red

El gráfico en la Figura 7.7 muestra el efecto del tamaño del inductor de CC en los armónicos. Para los 25 primeros componentes armónicos el mínimo teórico de la THD es del 29%. Este valor se alcanza prácticamente cuando la inductancia es de 100 mH dividida por los Kw del motor o de 1 mH para un motor de 100 kW (415 V, 50 Hz). No debería seleccionarse una mayor inductancia, pero unos 25 mH divididos por los kW del motor proporcionan una THD de un 45%. El valor es de 0,25 mH para un motor de 100 kW.

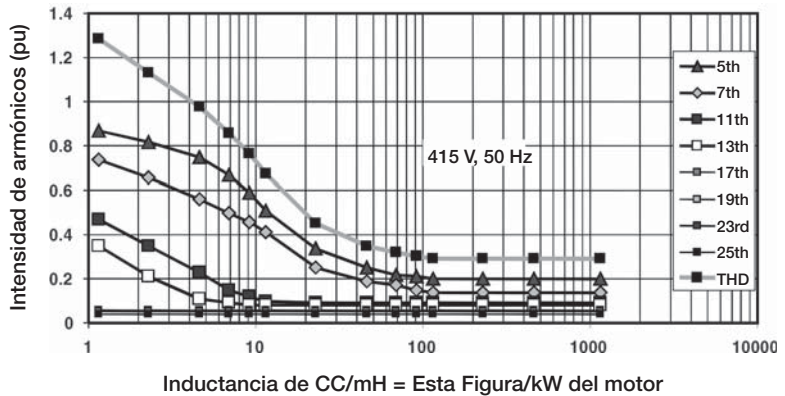


Figura 7.7 Intensidad de armónicos como función de la inductancia de CC

La distorsión de tensión con una cierta distorsión de intensidad depende del coeficiente de cortocircuito R_{sc} de la alimentación. Cuanto mayor sea el coeficiente, menor será la distorsión de tensión. Ello puede apreciarse en la Figura 7.8.

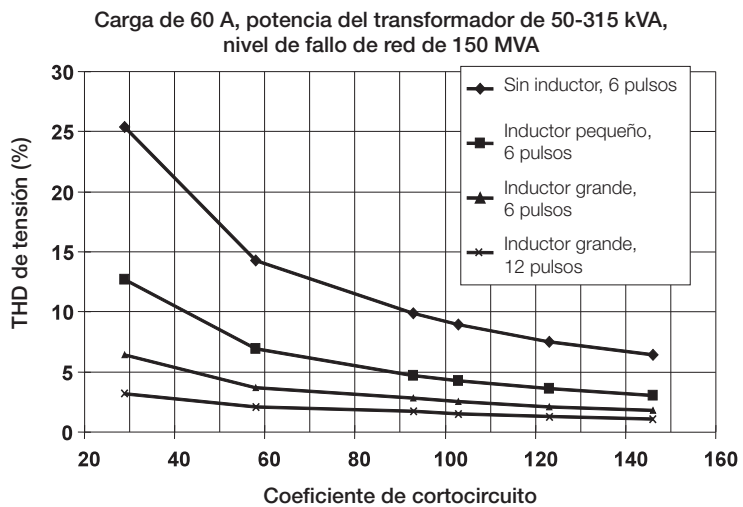


Figura 7.8 Tensión THD frente a tipo de accionamiento de CA y tamaño de transformador

La Figura 7.9 introduce un nomograma simple para estimar las tensiones de armónicos. En el siguiente gráfico, a la derecha, seleccione los kilovatios del motor y los kVA del transformador y desplácese horizontalmente hasta la línea diagonal, desde la que seguirá en dirección ascendente, y deténgase en la curva válida para su aplicación. Desplácese a la izquierda hacia el eje y lea la distorsión total de tensión de armónicos.

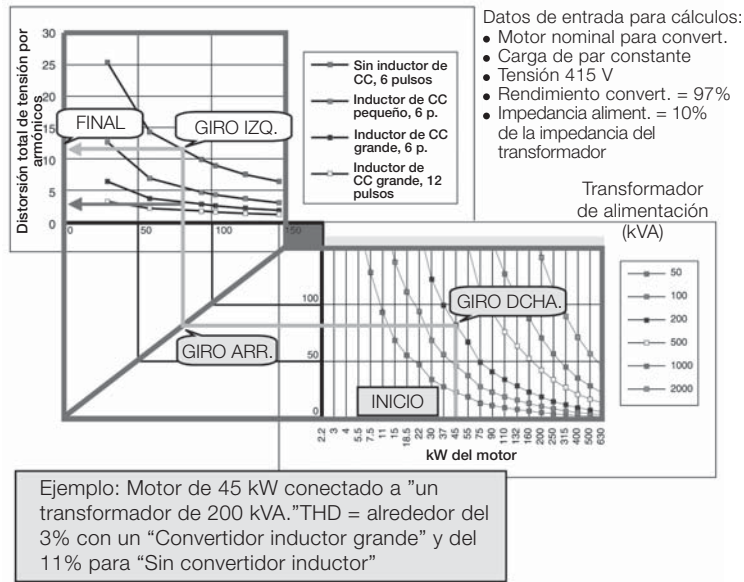


Figura 7.9 Nomograma de distorsión total por armónicos

Los resultados de las pruebas de laboratorio con unidades de accionamiento de distintos fabricantes se muestran en la Figura 7.10. El convertidor A con un inductor de CC grande tiene la menor distorsión de intensidad de armónicos, y los convertidores sin inductor tienen la mayor distorsión.

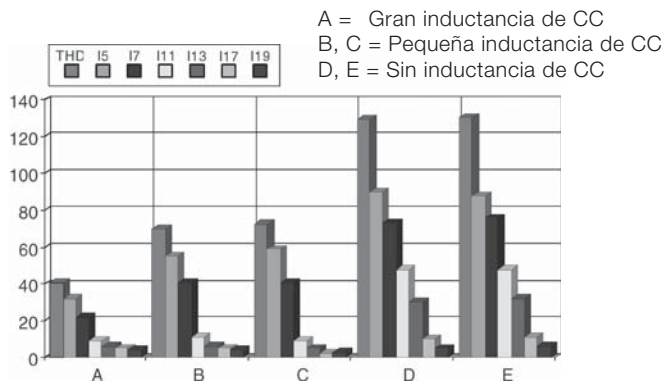


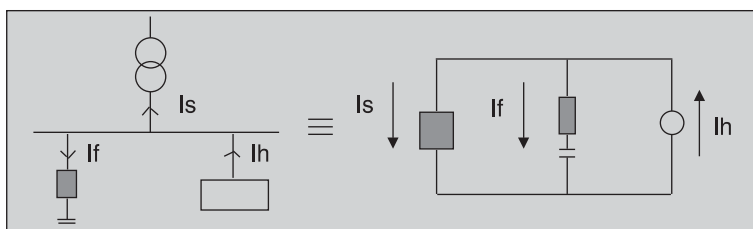
Figura 7.10 Intensidad de armónicos con distintas inductancias de CC

Capítulo 8 - Otros métodos para la reducción de armónicos

El filtrado es un método para la reducción de armónicos en una planta industrial cuando se ha aumentado gradualmente la distorsión por armónicos o como una solución total en una nueva planta. Hay dos métodos básicos: filtros activos y pasivos.

8.1 Filtro pasivo de una sola rama ajustada

El principio de un filtro pasivo de rama ajustada se muestra en la Figura 8.1. Este filtro debería aplicarse en el componente armónico menor cuando existe una generación de armónicos significativa en el sistema. Para sistemas que suministran principalmente una carga industrial probablemente sea el quinto armónico. Por encima de la frecuencia ajustada los armónicos se absorben, pero por debajo de ella quizá se amplifiquen.



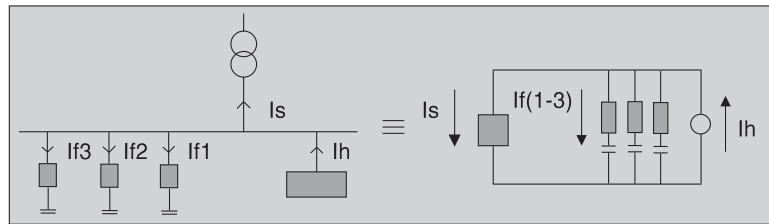
- Desajuste - Una sola frecuencia de ajuste
- Armónicos absorbidos por encima de la frecuencia ajustada
- Posible amplificación de armónicos por debajo de ésta
- Reducción de armónicos limitada por KVAR y la red

Figura 8.1 Filtro pasivo de una sola rama ajustada

Este tipo de filtro consta de un inductor en serie con un banco de condensadores y la mejor ubicación para el filtro pasivo es cerca de las cargas generadoras de armónicos. Esta solución no suele emplearse para nuevas instalaciones.

8.2 Filtro pasivo de múltiples ramas ajustadas

El principio de este filtro se muestra en la Figura 8.2. Tiene varias ramas ajustadas a dos o más componentes armónicos que deberían ser las frecuencias de armónicos significativas menores en el sistema. El filtro múltiple tiene mejor absorción de armónicos que el sistema de una rama.



- Capacitivo por debajo frec. ajustada/Inductivo por encima
- Mejor absorción de armónicos
- Consideraciones de diseño para armónicos de amplificación por filtro
- Limitado por KVAr y la red

Figura 8.2 Filtro pasivo de múltiples ramas ajustadas

Los filtros pasivos de múltiples ramas se suelen emplear en grandes instalaciones de accionamientos de CC en las que un transformador dedicado alimenta a toda la instalación.

8.3 Filtro activo externo

Un filtro pasivo ajustado introduce nuevas resonancias que pueden provocar problemas por armónicos adicionales. Las nuevas tecnologías de electrónica de potencia brindan productos que pueden controlar la distorsión por armónicos con control activo. Estos filtros activos, véase la Figura 8.3, proporcionan compensación para los componentes armónicos en el sistema de utilidad basada en la generación de armónicos existente en cualquier momento.

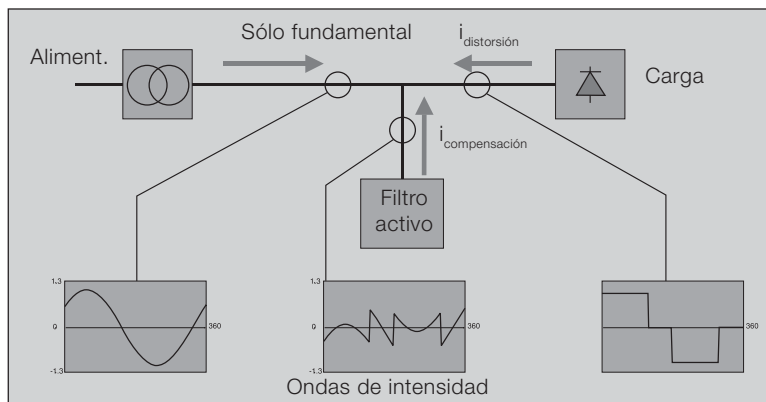


Figura 8.3 Diagrama del principio del filtro activo externo

El filtro activo compensa los armónicos generados por cargas no lineales generando los mismos componentes armónicos en la fase opuesta como se muestra en la Figura 8.4. Los filtros activos externos son los más adecuados para varios convertidores pequeños. Son relativamente caros en comparación con otros métodos.

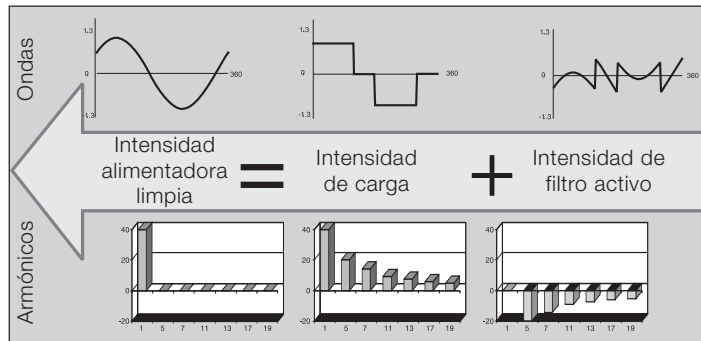


Figura 8.4 Ondas y armónicos del filtro activo externo

Capítulo 9 - Resumen de la atenuación de armónicos

Existen muchas opciones para la atenuación de armónicos dentro del sistema de accionamiento o de forma externa. Todos tienen ventajas y desventajas e implicaciones en cuanto al coste. La mejor solución dependerá de la carga total, de la alimentación al emplazamiento y de la distorsión.

En las tablas siguientes se comparan las distintas acciones internas con el sistema básico sin inductor. El contenido de armónicos se facilita con una carga del 100%. Los costes son válidos para convertidores pequeños. Para varios convertidores la solución de 12 pulsos es mucho más barata.

9.1 Rectificador de 6 pulsos sin inductor

Coste de fabricación del 100%
Componentes de intensidad de armónicos típicos.

Fundamental	5°	7°	11°	13°	17°	19°
100%	63%	54%	10%	6,1%	6,7%	4,8%

9.2 Rectificador de 6 pulsos con inductor

Coste de fabricación del 120%. Reactancia de CA y CC añadida
Componentes de intensidad de armónicos típicos.

Fundamental	5°	7°	11°	13°	17°	19°
100%	30%	12%	8,9%	5,6%	4,4%	4,1%

9.3 Rectificador de 12 pulsos con transformador polycon

Coste de fabricación del 200%
Componentes de intensidad de armónicos típicos.

Fundamental	5°	7°	11°	13°	17°	19°
100%	11%	5,8%	6,2%	4,7%	1,7%	1,4%

9.4 Rectificador de 12 pulsos con transformador de bobinado doble

Coste de fabricación del 210%
Componentes de intensidad de armónicos típicos.

Fundamental	5°	7°	11°	13°	17°	19°
100%	3,6%	2,6%	7,5%	5,2%	1,2%	1,3%

9.5 Rectificador de 24 pulsos con dos transformadores de doble secundario

Coste de fabricación del 250%

Componentes de intensidad de armónicos típicos.

Fundamental	5°	7°	11°	13°	17°	19°
100%	4,0%	2,7%	1,0%	0,7%	1,4%	1,4%

9.6 Rectificador de IGBT activo

Coste de fabricación del 250%. No es significativo si aún así se requiere frenado eléctrico.

Componentes de intensidad de armónicos típicos.

Fundamental	5°	7°	11°	13°	17°	19°
100%	2,6%	3,4%	3,0%	0,1%	2,1%	2,2%

Capítulo 10 - Definiciones

S: Potencia aparente

P: Potencia activa

Q: Potencia reactiva

Rsc: El coeficiente de cortocircuito se define como la potencia de cortocircuito de la alimentación en el PCC y la potencia nominal aparente del equipo bajo consideración.
 $Rsc = Ss / Sn$.

ω_1 : Frecuencia angular del componente fundamental $\omega_1 = 2\pi \cdot f_1$, con f_1 como la frecuencia fundamental (por ejemplo 50 Hz o 60 Hz).

n: Valor entero $n = 2, 3, \dots \infty$. Las frecuencias de armónicos se definen como $\omega_n = n \cdot \omega_1$.

In: Valor eficaz del componente armónico n:th de la intensidad de red.

Zn: Impedancia a frecuencia $n \cdot \omega_1$.

%Un: Componente de la tensión de armónicos como un porcentaje de la tensión fundamental (de red).

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1}$$

THD: La Distorsión total por armónicos en la intensidad de entrada se define como:

donde I_1 es el valor eficaz de la intensidad de frecuencia fundamental. La THD en la tensión puede calcularse de forma similar.

$$THD = \frac{\sqrt{20^2 + 14.3^2 + 9.1^2 + 7.7^2 + 5.9^2 + 5.3^2 + 4.4^2 + 4^2}}{100}$$

$$THD = 29\%$$

Este es un ejemplo para los 25 componentes armónicos menores con los valores teóricos:

$$PWHHD = \sqrt{\sum_{n=14}^{40} n \left(\frac{I_n}{I_1} \right)^2}$$

PWHD: La distorsión por armónicos parcial ponderada se define como:

PCC: El Punto de acoplamiento común se define en este texto como un punto de alimentación de la utilidad que puede ser común para el equipo en cuestión y para otros equipos. Existen diversas definiciones del PCC en distintas normas e incluso más interpretaciones de estas definiciones en las publicaciones. La definición que se ha seleccionado aquí es la más coherente técnicamente.

PF: Factor de potencia definido como $PF = P/S$ (potencia/voltio-amperio) = $I_1 / I_s * DPF$ (Con intensidad sinusoidal PF equivalente a DPF).

DPF: Factor de potencia de desplazamiento definido como $\cos\phi_1$, donde ϕ_1 es el ángulo de fase entre la intensidad de frecuencia fundamental obtenida por el equipo y el componente de frecuencia fundamental de la tensión de alimentación.

Índice

5° armónico 7

A

ABB 6
alimentación para soldadura 8
alimentación pública 12
antiparalelo 20
Área Económica Europea 12
armónico teórico 10
arrancador de motor 8
atenuación 5, 26
autoridad de alimentación 14

B

bus de CC común 19

C

cable de alimentación 9, 18
cálculo 5, 9, 10, 11, 12, 15, 16, 23
cálculo de distorsión 5, 6
carga del convertidor 6
carga no lineal 6, 8, 15, 16
coeficiente de corrección 10
coeficiente de cortocircuito 22, 28
compatibilidad electromagnética (EMC) 22
componente armónico 7, 19, 22, 24, 25, 28
condensador de CC 18
convertidor 6, 9, 10, 12, 18, 20, 21
convertidores de velocidad variable 8
coste de fabricación 26, 27

D

dispositivo electrónico 8
distorsión por armónicos 6, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 19, 23, 25, 28
distorsión total de demanda 15
distorsión total de intensidad 11
distorsión total de tensión 11
distorsión total por armónicos 10, 15, 23, 28
distribución de potencia 6

E

efecto 5, 6, 8, 17, 18, 21, 22
efecto de la conmutación 10
entrada de potencia 12
Etiquetaje CE 12
evaluación de armónicos 16

F

factor de potencia 16, 20, 29
factor de potencia de desplazamiento 20, 29
fenómenos de armónicos 6, 7
filtrado 17, 18, 21, 24
filtrado externo 17
filtro activo 5, 24, 25
filtro de paso bajo 18
filtro pasivo 24, 25
filtro pasivo de múltiples ramas 5, 24, 25
filtro pasivo de rama ajustada 24
frecuencia 9, 12, 13, 14, 19, 24, 28, 29
frecuencia fundamental 7, 28, 29
fuente 6, 8, 9, 21
fuente de alimentación ininterrumpida 8

I

iluminación electrónica 8
impedancia de cortocircuito 9
impedancia de fuente 4, 9
inductancia 17, 18, 22, 23
inductor 5, 18, 21, 22, 23, 24, 26
inductor de CA 21
instalación 9, 12, 14, 15, 19, 24, 25
instalación del consumidor 14
instalación industrial 12
intensidad de CC 18
intensidad de red 6, 18, 21
intensidad rectangular 7
intensidades de armónicos 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 15, 20, 21, 22, 23, 26, 27
interrupción de conmutación 20
interruptor 8

L

límite de armónicos 12, 13, 14, 15, 16
límite de compatibilidad 12, 13

M

medición 8
modificación estructural 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23
modo de rectificación 20
modo regenerativo 20

N

nomograma de distorsión 23
norma 12, 13, 14, 15, 18, 20, 29
norma de producto EMC 12
Norma Nacional Americana 14

O

ordenador 8

P

pantalla electrónica 8
PHD 12
potencia activa 14, 28
potencia aparente 28
potencia de cortocircuito 9, 14, 16,
17, 28
potencia reactiva 21, 28
prueba de laboratorio 23
puente IGBT 20, 21
punto de acoplamiento común 15, 29
PWHD 14, 28

R

rectificador 5, 6, 7, 10, 17, 18, 19,
20, 26, 27
rectificador conmutado por fase 20
rectificador de 6 pulsos 7, 10, 18,
19, 20
rectificador de 12 pulsos 10, 18,
19, 20
rectificador de 24 pulsos 18, 19
rectificador trifásico de 6 pulsos 7
reducción de armónicos 17, 24, 25

S

sistema de accionamiento de
potencia 12
sobrecalentamiento 8
sobrepasar de tensión 21

T

TDD 15
tensión 6, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 17,
18, 19, 20, 21, 22, 23
tensión de alimentación 6, 21, 29
tensión de armónicos 10, 23, 28
THD 12, 14, 22, 23, 28
tiristor 17, 19, 20
transformador de alimentación 9, 18
transformador de bobinado doble 19
transformador de red 6
transformador de triple bobinado 19

Contacte con nosotros

Para obtener más información, póngase en contacto con su representante local de ABB o visite:

www.abb.es

www.abb.com/drivespartners

© Copyright 2014 ABB. Todos los derechos reservados.
Las especificaciones están sujetas a cambio sin previo aviso.

3BFE64328930 REV D ES 3.9.2014

Power and productivity
for a better world™





ABB drives

Guía técnica nº 7 Dimensionado de un sistema de accionamiento

Guía técnica nº 7

Dimensionado de un sistema de accionamiento

Contenido

Capítulo 1 - Introducción	7
General.....	7
Capítulo 2 - Sistema de accionamiento	8
Capítulo 3 - Descripción general de un procedimiento de dimensionado	9
Capítulo 4 - Motor de inducción (CA)	11
4.1 Fundamentos	11
4.2 Intensidad de motor.....	13
4.2.1 Rango de flujo constante.....	14
4.2.2 Rango de debilitamiento del campo	15
4.3 Potencia de motor	16
Capítulo 5 - Leyes mecánicas básicas	17
5.1 Movimiento de rotación.....	17
5.2 Engranajes y momento de inercia	20
Capítulo 6 - Tipos de cargas	22
Capítulo 7 - Capacidad de carga del motor	25
Capítulo 8 - Selección del convertidor de frecuencias y del motor	26
8.1 Aplicación de bomba y ventilador (Ejemplo)	27
8.2 Aplicación a par constante (Ejemplo)	29
8.3 Aplicación a potencia constante (Ejemplo)	31
Capítulo 9 - Transformador y rectificador de entrada	35
9.1 Rectificador.....	35
9.2 Transformador	36
Capítulo 10 - Índice	38

Capítulo 1 - Introducción

General

El dimensionado de un sistema de accionamiento es una tarea en la que todos y cada uno de los factores deberán ser tenidos en cuenta detenidamente. El dimensionado requiere el conocimiento íntegro del sistema, incluyendo el suministro eléctrico, la máquina impulsada mediante accionamiento, las condiciones ambientales, los motores y accionamientos, etc. El tiempo invertido en la fase de dimensionado puede traducirse en considerables ahorros de costes.

Capítulo 2 - Sistema de accionamiento

Un sistema de accionamiento de CA único consta, por lo general, de un transformador de entrada o suministro eléctrico, un convertidor de frecuencia, un motor de CA y una carga. En el interior del convertidor de monofrecuencias hay un rectificador, un enlace de CC y una unidad inversora.

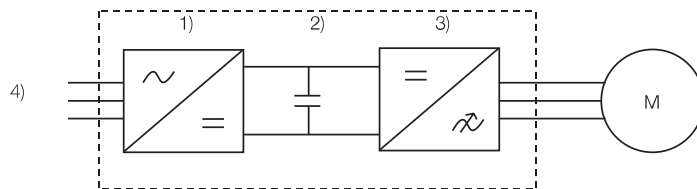


Figura 2.1 Un convertidor de monofrecuencias consta de 1) rectificador, 2) enlace de CC, 3) unidad inversora y 4) suministro eléctrico.

En los sistemas de multiaccionamiento se utiliza normalmente una unidad rectificadora independiente. Las unidades de inversores se conectan directamente a un enlace de CC común.

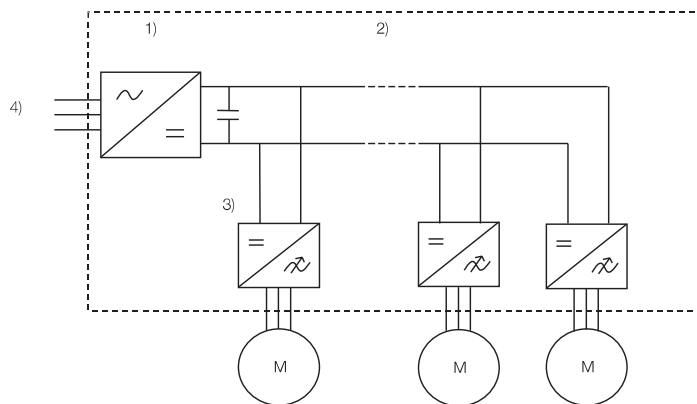


Figura 2.2 Sistema de accionamiento dotado de 1) una sección de alimentación independiente, 2) un enlace común de CC, 3) secciones de accionamiento y 4) suministro eléctrico.

Capítulo 3 - Descripción general de un procedimiento de dimensionado

En este capítulo se indican los pasos generales a seguir para el dimensionado del motor y convertidor de frecuencia.

- 1) En primer lugar, comprobar las condiciones iniciales.
Para seleccionar el convertidor de frecuencia y el motor correctos, comprobar el nivel de red (380 V ... 690 V) y la frecuencia (50 Hz ... 60 Hz). La frecuencia de red no limita el rango de velocidad de la aplicación.
- 2) Comprobar los requisitos del proceso. ¿Es preciso disponer de par de arranque? ¿Cuál es el rango de velocidad utilizado? ¿Qué tipo de carga habrá? Más adelante se describen algunos de los tipos de cargas típicos.
- 3) Seleccionar el motor.
Un motor eléctrico debe considerarse como una fuente del par. El motor deberá admitir sobrecargas del proceso y ser capaz de producir una cantidad de par concreta. No deberá superarse la capacidad de sobrecarga térmica del motor. Asimismo, en el momento de considerar el par máximo disponible en la fase de dimensionado, es necesario dejar un margen de alrededor del 30% para el par máximo del motor.
- 4) Seleccionar el convertidor de frecuencia.
El convertidor de frecuencia se selecciona según las condiciones iniciales y el motor elegido. Será necesario comprobar la capacidad del convertidor de frecuencia de producir la intensidad y potencia precisas. Debería sacarse el máximo partido de la capacidad de sobrecarga potencial del convertidor de frecuencia en caso de carga cíclica a corto plazo.



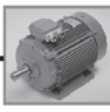

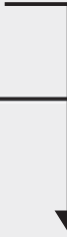

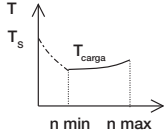

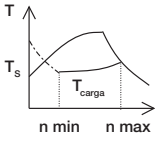

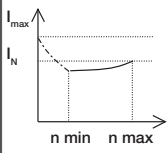

Fase de dimensionado	Red	Convertidor	Motor	Carga
				
1) Comprobar las condiciones iniciales de la red y la carga	$f_N=50\text{Hz}, 60\text{Hz}$ $U_N=380\dots690\text{V}$			
2) Elegir un motor en función de: <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de carga térmica • Rango de velocidad • Par máximo necesario 				
3) Elegir un convertidor de frecuencia en función de: <ul style="list-style-type: none"> • Tipo de carga • Corriente continua y máxima • Condiciones de la red 				

Figura 3.1 Descripción general de un procedimiento de dimensionado.

Capítulo 4 - Motor de inducción (CC)

Los motores de inducción son de uso generalizado en la industria. En este capítulo, se describen algunas de sus características básicas.

4.1 Fundamentos

Un motor de inducción convierte energía eléctrica en energía mecánica. La conversión de energía se basa en la inducción electromagnética. Debido al fenómeno de la inducción, el motor de inducción presenta un deslizamiento.

El deslizamiento suele definirse como el punto nominal del motor (frecuencia (f_n), velocidad (n_n), par (T_n), tensión (U_n), intensidad (I_n) y potencia (P_n)). En el punto nominal, el deslizamiento es nominal:

$$s_n = \frac{n_s - n_n}{n_s} * 100 \% \tag{4.1}$$

donde n_s es la velocidad síncrona:

$$n_s = \frac{2 * f_n * 60}{\text{pole number}} \tag{4.2}$$

Cuando un motor está conectado a una fuente de alimentación con tensión y frecuencia constantes, presenta la curva de par siguiente:

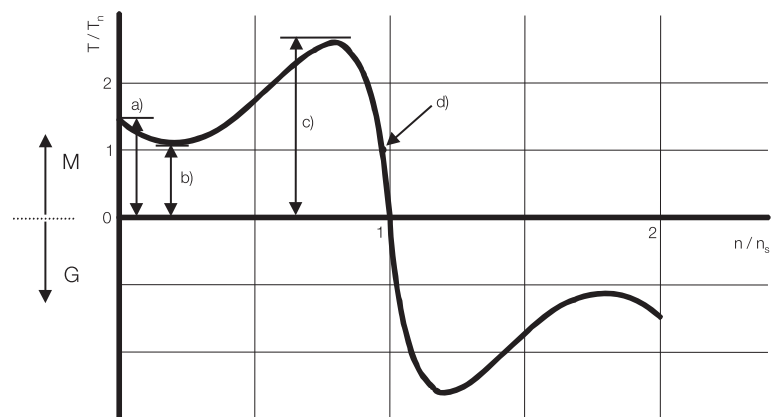


Figura 4.1 Curva de par/velocidad típica de un motor de inducción conectado a la red de alimentación (D.O.L., Direct-On-Line). En el gráfico, a) es el par del rotor bloqueado, b) es el par de actuación, c) es el par máximo del motor, T_{max} y d) es el punto nominal del motor.

El par máximo de un motor de inducción estándar (T_{max} , llamado también par de actuación y par motor crítico) suele ser de 2 a 3 veces el par nominal. El par máximo está disponible con deslizamiento s_{max} , que es superior al deslizamiento nominal. Al objeto de utilizar un motor de inducción eficiente, el deslizamiento del motor deberá hallarse comprendido dentro del rango $-s_{max} \dots s_{max}$. Ello es posible mediante el control de la tensión y la frecuencia. Dicho control puede realizarse con un convertidor de frecuencia.

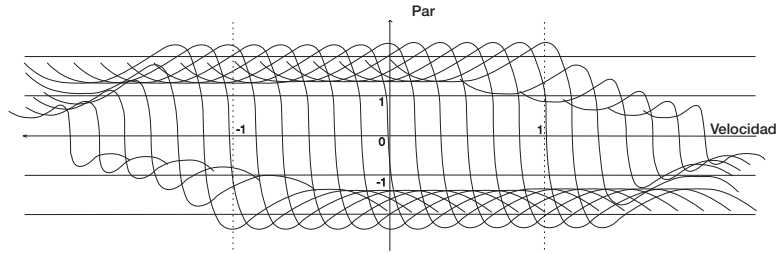


Figura 4.2 Curvas de par/velocidad de un motor de inducción alimentado por un convertidor de frecuencia. T_{max} está disponible para sobrecargas a corto plazo inferiores al punto de debilitamiento del campo. Los convertidores de frecuencias, no obstante, suelen limitar el par máximo disponible al 70% de T_{max} .

El rango de frecuencias situado por debajo de la frecuencia nominal se denomina rango de flujo constante. Por encima de la frecuencia/velocidad nominal, el motor funciona en el rango de debilitamiento del campo, donde puede operar a potencia constante, razón por la cual el rango de debilitamiento del campo a veces también recibe el nombre de rango de potencia constante.

El par máximo de un motor de inducción es proporcional al cuadrado del flujo magnético ($T_{max} \sim \psi^2$). Ello significa que el par máximo es aproximadamente una constante en el rango de flujo constante. Por encima del punto de debilitamiento del campo, la reducción del par máximo es inversamente proporcional al cuadrado de la frecuencia

$$(T_{max} \sim \left(\frac{f_n}{f_{act}}\right)^2).$$

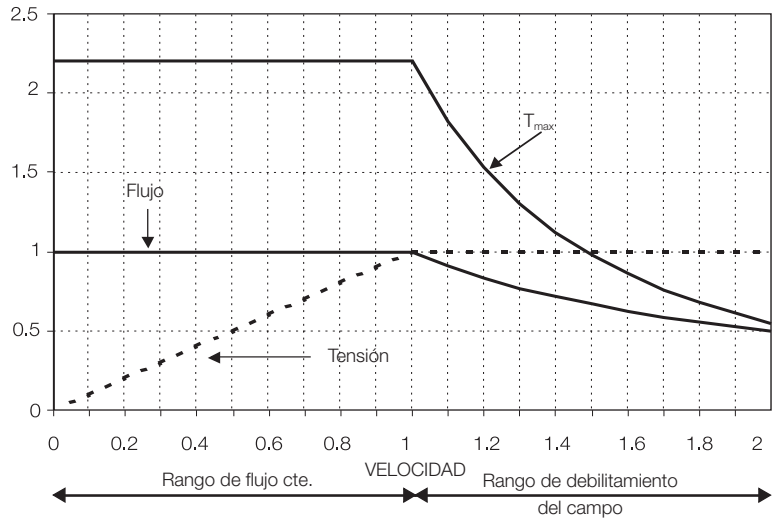


Figura 4.3 Par máximo, tensión y flujo en función de la velocidad relativa.

4.2 Intensidad del motor

La intensidad de un motor de inducción posee dos componentes: intensidad reactiva (i_{sd}) e intensidad activa (i_{sq}). El componente intensidad reactiva incluye la corriente imanante (i_{magn}) mientras que la intensidad activa es el componente del par encargado de la producción de corriente. Los componentes intensidad reactiva y activa son perpendiculares entre sí.

La corriente imanante (i_{magn}) permanece aproximadamente constante en el rango de flujo constante (por debajo del punto de debilitamiento del campo). En el rango de debilitamiento del campo, la disminución de la corriente imanante es proporcional a la velocidad.

Una estimación bastante exacta de la corriente imanante en el rango de flujo constante es la intensidad reactiva (i_{sd}) en el punto nominal del motor.

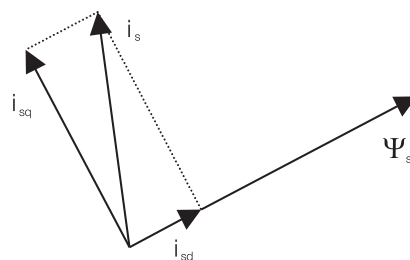


Figura 4.4 La intensidad del estator (i_s) consta de componentes de intensidad reactiva (i_{sd}) y de intensidad activa (i_{sq}), los cuales son perpendiculares entre sí. El flujo del estator se indica como Ψ_s .

4.2.1 Rango de flujo constante

Por debajo del punto de debilitamiento del campo, los componentes de la intensidad pueden ser aproximadamente los siguientes:

$$I_{sd} = I_n \left(\sin(\varphi_n) + \cos(\varphi_n) \left[\sqrt{\left(\frac{T_{max}}{T_n}\right)^2 - 1} - \sqrt{\left(\frac{T_{max}}{T_n}\right)^2 - \left(\frac{T_{load}}{T_n}\right)^2} \right] \right) \quad (4.3)$$

$$I_{sq} = I_n \left(\frac{T_{carga}}{T_n} \right) \cos(\varphi_n) \quad (4.4)$$

La intensidad de motor total es:

$$i_m = \sqrt{i_{sd}^2 + i_{sq}^2} \quad (4.5)$$

Puede observarse que con el par motor cero, el componente intensidad activa es cero. Con unos valores de par más elevados, la intensidad de motor se vuelve bastante proporcional al par. Una buena aproximación a la intensidad de motor total es:

$$i_m = \frac{T_{carga}}{T_n} * I_n, \text{ cuando } 0.8 * T_n \leq T_{carga} \leq 0.7 * T_{max} \quad (4.6)$$

Ejemplo 4.1:

La intensidad nominal de un motor de 15 kW es de 32 A y el factor de potencia es de 0,83. ¿Cuál es la corriente imanante aproximada del motor en el punto nominal? ¿Cuál es la intensidad aproximada total con un par del 120 % por debajo del punto de debilitamiento del campo?

Solución 4.1:

En el punto nominal, la estimación correspondiente a la corriente imanante es:

$$I_{sd} = I_n \sin(\varphi_n) = 32 * \sqrt{1 - 0.83^2} \text{ A} = 17.8 \text{ A}$$

La fórmula aproximada correspondiente a la intensidad de motor total con un par del 120 % da como resultado:

$$i_m = \frac{T_{carga}}{T_n} * I_n = 1.2 * 32 \text{ A} = 38.4 \text{ A}$$

Se utilizó la fórmula aproximada, dado que el par cumplía la condición de $0.8 * T_n \leq T_{carga} \leq 0.7 * T_{max}$

4.2.2 Rango de debilitamiento del campo

Por encima del punto de debilitamiento del campo, los componentes de la intensidad dependen asimismo de la velocidad.

$$I_{sd} = I_n \left(\frac{n_n}{n} \left(\sin(\varphi_n) + \cos(\varphi_n) \sqrt{\left(\frac{T_{max}}{T_n} \right)^2 - 1} \right) - \cos(\varphi_n) \sqrt{\left(\frac{T_{max}}{T_n} * \frac{n_n}{n} \right)^2 - \left(\frac{T_{carga}}{T_n} * \frac{n}{n_n} \right)^2} \right) \quad (4.7)$$

$$I_{sq} = I_n \left(\frac{T_{carga}}{T_n} * \frac{n}{n_n} \right) \cos(\varphi_n) = I_n \left(\frac{P_{carga}}{P_n} \right) \cos(\varphi_n) \quad (4.8)$$

La intensidad de motor total es:

$$i_m = \sqrt{i_{sd}^2 + i_{sq}^2} \quad (4.9)$$

La intensidad de motor puede aproximarse con bastante exactitud dentro de determinada zona operativa. La intensidad de motor se vuelve proporcional a la potencia relativa. Una fórmula de aproximación para la intensidad es:

$$i_m = \frac{T_{carga}}{T_n} * \frac{n}{n_n} I_n = \frac{P_{carga}}{P_n} I_n \quad (4.10)$$

La aproximación puede utilizarse cuando:

$$0.8 * \frac{n_n}{n} * T_n \leq T_{carga} \leq 0.7 * \left(\frac{n_n}{n} \right)^2 * T_{max} \quad (4.11)$$

y

$$0.8 * P_n \leq P_{carga} \leq 0.7 * \frac{n_n}{n} * P_{max} \quad (4.12)$$

En el rango de debilitamiento del campo, la intensidad adicional necesaria al objeto de mantener determinado nivel del par es proporcional a la velocidad relativa.

Ejemplo 4.2:

La intensidad de motor nominal es de 71 A. ¿Cuánta intensidad hace falta para mantener el nivel del par al 100 % en 1,2 veces la velocidad nominal ($T_{max} = 3 * T_n$)?

Solución 4.2:

La intensidad puede calcularse utilizando la fórmula de aproximación:

$$i_m = \frac{T_{carga}}{T_n} * \frac{n}{n_n} I_n = 1 * 1.2 * 71 = 85.2 \text{ A}$$

4.3 Potencia del motor

La potencia mecánica del motor (potencia de salida) puede calcularse a partir de la velocidad y el par, mediante la fórmula:

$$P_{out} [W] = T [Nm] * \omega [rad/s] \quad (4.13)$$

Dado que con mucha frecuencia la potencia del motor se expresa en kilovatios (1 kW = 1000 W) y la velocidad en rpm (revoluciones por minuto),

1 rpm = $\frac{2 \pi}{60}$ rad/s), puede utilizarse la fórmula siguiente:

$$P_{out} [kW] = \frac{T [Nm] * n [rpm]}{9550} \quad (4.14)$$

La potencia de entrada al motor puede calcularse a partir de los factores tensión, intensidad y potencia:

$$P_{in} = \sqrt{3} * U * I * \cos(\varphi) \quad (4.15)$$

El rendimiento del motor es igual al cociente entre la potencia de salida y la potencia de entrada:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad (4.16)$$

Ejemplo 4.3:

La potencia nominal del motor es de 15 kW y la velocidad nominal es de 1480 rpm. ¿Cuál es el par nominal del motor?

Solución 4.3:

El par nominal del motor se calcula del modo siguiente:

$$T_n = \frac{9550 * 15}{1480} \text{ Nm} = 96.8 \text{ Nm}$$

Ejemplo 4.4:

¿Cuál es el rendimiento nominal de un motor de 37 kW, $U_n = 380 \text{ V}$, $I_n = 71 \text{ A}$ y $\cos(\varphi_n) = 0.85$?

Solución 4.4:

El rendimiento nominal es:

$$\eta_n = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{P_n}{\sqrt{3} * U_n * I_n * \cos(\varphi_n)} = \frac{37000}{\sqrt{3} * 380 * 71 * 0.85} \approx 0.931$$

Capítulo 5 - Leyes mecánicas básicas

5.1 Movimiento rotativo

Una de las ecuaciones básicas de un motor de inducción describe la relación entre el momento de inercia (J [kgm^2]), la velocidad angular (ω [rad/s]) y el par (T [Nm]). La ecuación es la siguiente:

$$\frac{d}{dt} (J \omega) = J \frac{d\omega}{dt} + \omega \frac{dJ}{dt} = T - T_{\text{carga}} \quad (5.1)$$

En la ecuación anterior, se parte de la premisa de que tanto la frecuencia como el momento de inercia varían. La fórmula, no obstante, suele expresarse de tal modo que el momento de inercia se supone constante:

$$J \frac{d\omega}{dt} = T - T_{\text{carga}} \quad (5.2)$$

La T_{carga} del par representa la carga del motor, que consta de fricción, inercia y de la propia carga. Cuando varía la velocidad del motor, el par del motor difiere de T_{carga} . Puede considerarse que el par del motor está integrado por un componente dinámico y un componente de carga:

$$T = T_{\text{din}} + T_{\text{carga}} \quad (5.3)$$

Si la velocidad y el momento de inercia son constantes, el componente dinámico (T_{din}) es cero.

El componente par dinámico producido por aceleración/desaceleración de un momento constante de inercia (la velocidad del motor se modifica en Δn [rpm] en el momento Δt [s], siendo J constante) es:

$$T_{\text{din},n} = J * \frac{2 \pi}{60} * \frac{\Delta n}{\Delta t} \quad (5.4)$$

El componente del par dinámico producido por un momento variable de inercia a velocidad constante n [rpm] es:

$$T_{\text{din},J} = n * \frac{2 \pi}{60} * \frac{\Delta J}{\Delta t} \quad (5.5)$$

Si el momento de inercia varía y el motor acelera al mismo tiempo, el componente par dinámico puede calcularse utilizando cierto intervalo de muestreo discreto. Desde el punto de vista del dimensionado térmico, sin embargo, suele ser suficiente con tener en cuenta el momento medio de inercia durante la aceleración.

Ejemplo 5.1:

El momento total de inercia, 3 kgm², sufre una aceleración, pasando de una velocidad de 500 rpm a 1000 rpm en 10 segundos. ¿Cuál es el par total necesario cuando el par de carga constante es de 50 Nm?

¿Con qué rapidez se desacelerará el motor hasta una velocidad de 0 rpm si se desconecta el suministro eléctrico del motor?

Solución 5.1:

El momento total de inercia es constante. El componente par dinámico necesario para la aceleración es:

$$T_{\text{din}} = 3 * \frac{2 \pi}{60} * \frac{1000 - 500}{10} \text{ Nm} = 15.7 \text{ Nm}$$

El par total durante la aceleración es:

$$T = T_{\text{din}} + T_{\text{carga}} = (15.7 + 50) \text{ Nm} = 65.7 \text{ Nm}$$

Si el suministro eléctrico del motor se desconecta a 1000 rpm, el motor se desacelera debido al par de carga constante (50 Nm). La siguiente ecuación sostiene que:

$$3 * \frac{2 \pi}{60} * \frac{0 - 1000}{\Delta t} = - T_{\text{carga}}$$

Tiempo de desaceleración de 1000 rpm a 0 rpm:

$$\Delta t = 3 * \frac{2 \pi}{60} * \frac{1000}{50} \text{ s} = 6.28 \text{ s}$$

Ejemplo 5.2:

La aceleración de un ventilador hasta la velocidad nominal se realiza con un par nominal. A velocidad nominal, el par es del 87 %. El momento de inercia del ventilador es de 1200 kgm² y el momento de inercia del motor es de 11 kgm². Las características de carga del ventilador, T_{carga} se muestran en la figura 5.1.

La potencia nominal del motor es de 200 kW y la velocidad nominal es de 991 rpm.

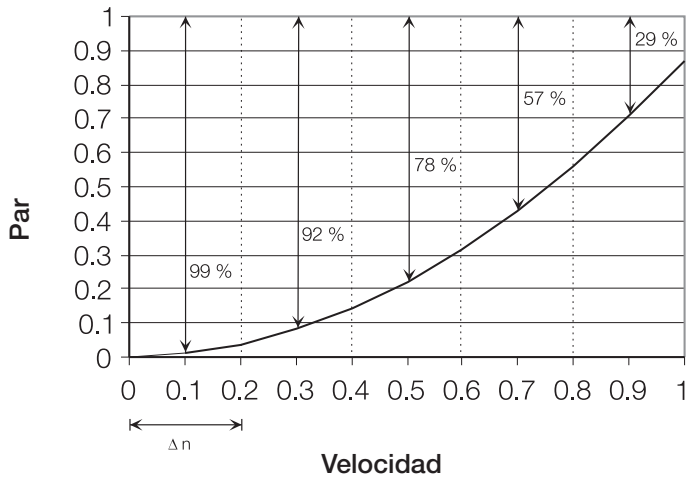


Figura 5.1 Características de par de un ventilador. La velocidad y el par se muestran mediante valores relativos.

Calcular el tiempo de arranque aproximado desde velocidad cero hasta velocidad nominal.

Solución 5.2:

$$T_n = \frac{9550 * 200}{991} \text{ Nm} = 1927 \text{ Nm}$$

El par nominal del motor es:

El tiempo de arranque se calcula dividiendo el rango de velocidad en cinco sectores. En cada sector (198,2 rpm) se parte de la premisa de que el par es constante. El par correspondiente a cada sector se extrae de su punto medio. Ello resulta razonablemente aceptable, ya que el comportamiento cuadrático se aproxima al lineal del sector.

El tiempo de aceleración del motor (ventilador) con par nominal puede calcularse mediante la fórmula:

$$\Delta t = \frac{2 \pi}{60} * \frac{J_{\text{tot}} * \Delta n}{T_n - T_{\text{carga}}}$$

Los tiempos de aceleración correspondientes a las distintas secciones de velocidad son:

$$0-198.2 \text{ rpm} \quad \Delta t = \frac{2 \pi}{60} * \frac{1211 * 198.2}{0.99 * 1927} \text{ s} = 13.2 \text{ s}$$

$$198.2-396.4 \text{ rpm} \quad \Delta t = \frac{2 \pi}{60} * \frac{1211 * 198.2}{0.92 * 1927} \text{ s} = 14.3 \text{ s}$$

$$396.4-594.6 \text{ rpm} \quad \Delta t = \frac{2 \pi}{60} * \frac{1211 * 198.2}{0.78 * 1927} \text{ s} = 16.7 \text{ s}$$

$$594.6-792.8 \text{ rpm} \quad \Delta t = \frac{2 \pi}{60} * \frac{1211 * 198.2}{0.57 * 1927} \text{ s} = 22.9 \text{ s}$$

$$792.8-991 \text{ rpm} \quad \Delta t = \frac{2 \pi}{60} * \frac{1211 * 198.2}{0.29 * 1927} \text{ s} = 45.0 \text{ s}$$

El tiempo total de arranque de 0-991 rpm es de aproximadamente 112 segundos.

5.2 Engranajes y momento de inercia

Los engranajes son típicos de los sistemas de accionamiento. Al calcular el par del motor y el rango de velocidad, deberán tenerse en cuenta los engranajes, que se reducen desde el lado de la carga hasta el lado del motor mediante las ecuaciones siguientes (ver también la figura 5.2):

$$T_1 = \frac{T_2}{\eta} * \left(\frac{n_2}{n_1} \right) \quad (5.6)$$

$$J_1 = J_2 * \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^2 \quad (5.7)$$

$$P_1 = \frac{P_2}{\eta} \quad (5.8)$$

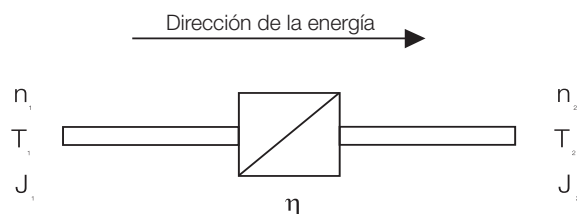


Figura 5.2 Engranaje con rendimiento η . El coeficiente de engranaje es $n_1:n_2$.

Asimismo, deberán conocerse todos los momentos de inercia (J [kgm^2]) del sistema. De lo contrario, es posible calcularlos, lo cual resulta bastante difícil de hacer con exactitud. Los constructores de las máquinas, por lo general, pueden facilitar los datos necesarios.

Ejemplo 5.3:

Un cilindro es una forma bastante común de carga (rodillos, tambores, acoplamientos, etc.). ¿Cuál es la inercia de un cilindro rotatorio (masa=1600 kg, radio=0,7 m)?

Solución 5.3:

La inercia de un cilindro rotatorio (con masa m [kg] y radio r [m]) se calcula del modo siguiente:

$$J = \frac{1}{2} mr^2 = \frac{1}{2} * 1600 * 0.7^2 \text{ kgm}^2 = 392 \text{ kgm}^2$$

En el caso de un engranaje, el momento de inercia del eje del motor deberá reducirse. El ejemplo siguiente muestra cómo reducir los engranajes y elevadores. En los libros de ingeniería básica, también se facilitan otras fórmulas.

Ejemplo 5.4:

Reducir el momento de inercia al eje del motor del sistema de accionamiento de elevadores siguiente.

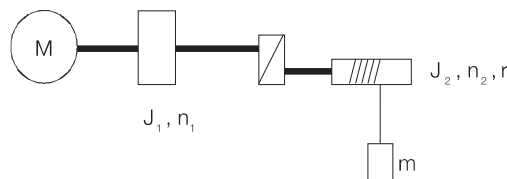


Figura 5.3 Sistema de accionamiento de elevadores utilizado en el ejemplo 5.4.

Solución 5.4:

El momento total de inercia consta de $J_1=10 \text{ kgm}^2$, $J_2=30 \text{ kgm}^2$, $r=0,2 \text{ m}$ y $m=100 \text{ kg}$.

El momento de inercia J_2 y la masa m están detrás de una caja de engranajes con un coeficiente de engranaje $n_1:n_2=2:1$.

El momento de inercia J_2 se reduce multiplicándolo por el cuadrado de la inversa del coeficiente de engranaje. La masa m del elevador se reduce multiplicándola por el cuadrado del radio r y dado que se halla detrás de la caja de engranajes, deberá multiplicarse asimismo por el cuadrado de la inversa del coeficiente de engranaje.

Se deduce, por tanto, que el momento total de inercia del sistema es:

$$J_{\text{red}} = J_1 + \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^2 [J_2 + mr^2] = 18.5 \text{ kgm}^2$$

Capítulo 6 - Tipos de cargas

Determinados tipos de cargas son característicos del mundo industrial. Es esencial conocer el perfil de carga (rango de velocidad, par y potencia) al seleccionar un motor y un convertidor de frecuencia adecuados para la aplicación.

Se muestran algunos tipos de cargas comunes. Asimismo, pueden efectuarse combinaciones de estos tipos.

1. Par constante

Un tipo de carga de par constante es típico cuando se están manejando volúmenes fijos. Por ejemplo, compresores de tornillo, alimentadores y cintas transportadoras son aplicaciones típicas a par constante. El par es constante y la potencia es linealmente proporcional a la velocidad.

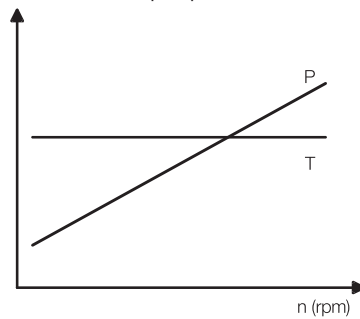


Figura 6.1 Curvas de par y potencia típicas en una aplicación a par constante.

2. Par cuadrático

El par cuadrático es el tipo de carga más común. Las aplicaciones típicas son bombas y ventiladores centrífugos. El par es cuadráticamente proporcional a la velocidad, y la potencia lo es cúbicamente.

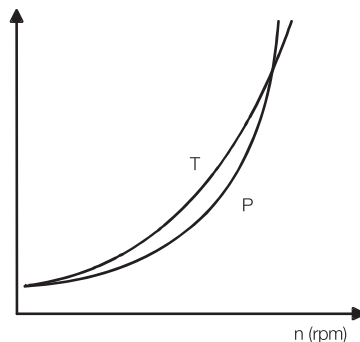


Figura 6.2 Curvas de par y potencia típicas en una aplicación a par cuadrático.

3. Potencia constante

Una carga a potencia constante es normal cuando el material se enrolla y el diámetro cambia durante este proceso. La potencia es constante y el par es inversamente proporcional a la velocidad.

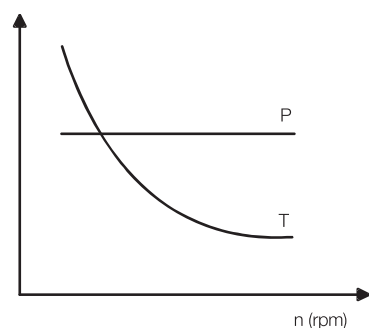


Figura 6.3 Curvas de par y potencia típicas en una aplicación a potencia constante.

4. Potencia/par constante

Este tipo de carga es común en la industria papelera. Es una combinación de tipos de cargas a potencia constante y a par constante. Este tipo de carga normalmente es consecuencia del dimensionado del sistema según la necesidad de determinada potencia a alta velocidad.

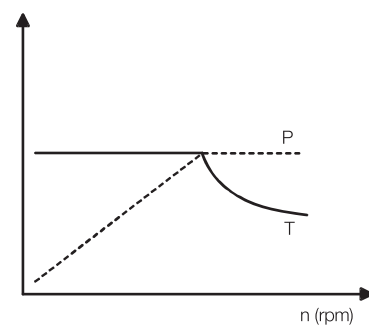


Figura 6.4 Curvas de par y potencia típicas en una aplicación a potencia/par constante.

5. Demanda de par de arranque

En algunas aplicaciones se precisa un par elevado a bajas frecuencias. Ello deberá tenerse en cuenta en el dimensionado. Son aplicaciones típicas de este tipo de carga, por ejemplo, las extrusoras y bombas espirales.

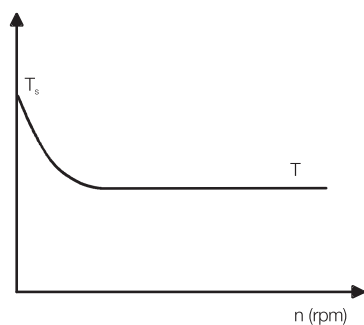


Figura 6.5 Curva de par típica en una aplicación en la que se precisa un par de arranque.

No obstante, también hay otros muchos tipos de cargas difíciles de describir en una presentación general. A título ilustrativo, existen distintas cargas simétricas (rodillos, grúas, etc.) y asimétricas. La simetría/asimetría en el par puede ser función, por ejemplo, del ángulo o del tiempo. Estas modalidades de tipos de cargas deberán dimensionarse cuidadosamente, teniendo en cuenta los márgenes de capacidad de sobrecarga del motor y del convertidor de frecuencia, así como el par medio del motor.

Capítulo 7 - Capacidad de carga del motor

La capacidad de carga térmica del motor deberá tenerse en cuenta al dimensionar un sistema de accionamiento. La capacidad de carga térmica define la capacidad de carga máxima a largo plazo del motor.

Un motor de inducción estándar está autoventilado, por lo cual la capacidad de carga térmica del mismo disminuye a medida que su velocidad se reduce. Este tipo de comportamiento limita el par continuo disponible a bajas velocidades.

Un motor con refrigeración independiente también puede cargarse a bajas velocidades. La refrigeración suele dimensionarse, de modo que el efecto refrigerante sea idéntico al del punto nominal.

Con ambos métodos -de autorefrigeración y de refrigeración independiente- el par está limitado térmicamente en el rango de debilitamiento del campo.

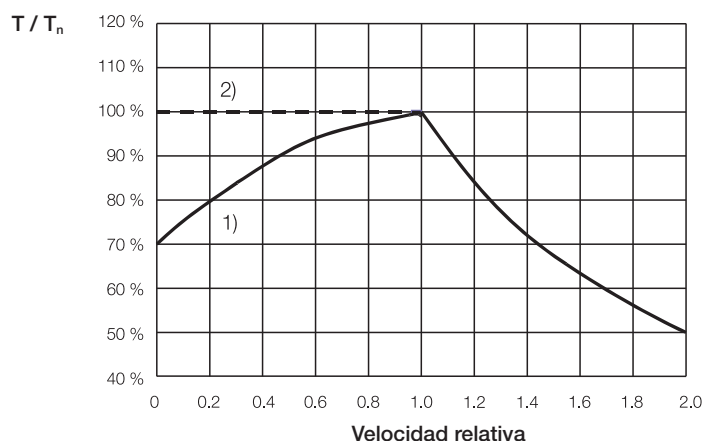


Figura 7.1 Capacidad de carga típica de un motor de inducción por jaula estándar en un accionamiento controlado por frecuencias 1) sin refrigeración independiente y 2) con refrigeración independiente.

Un motor de CA puede sobrecargarse durante breves períodos de tiempo sin sufrir sobrecalentamiento. Las sobrecargas a corto plazo están principalmente limitadas por T_{max} (comprobar el margen de seguridad).

En términos generales, la capacidad de carga a corto plazo de un convertidor de frecuencia suele ser más crítica que la del motor. Los tiempos de recuperación térmica del motor normalmente oscilan entre 15 minutos (motores pequeños) y varias horas (motores grandes) en función del tamaño del motor. Los tiempos de recuperación térmica del convertidor de frecuencia (típicamente de unos minutos) se facilitan en los manuales de los productos.

Capítulo 8 - Selección del convertidor de frecuencia y del motor

El motor se selecciona según la información básica relativa al proceso. El rango de velocidad, las curvas del par, el método de ventilación y la capacidad de carga del motor suministran unas pautas para la selección del motor. A menudo vale la pena comparar distintos motores, dado que el que se elija afectará al tamaño del convertidor de frecuencia.

Al seleccionar un convertidor de frecuencia adecuado, deberán tenerse en cuenta varios puntos. Los fabricantes de convertidores de frecuencias normalmente disponen de ciertas tablas de selección, donde se facilitan las potencias típicas de los motores correspondientes a cada tamaño de convertidor.

La intensidad de dimensionado también puede calcularse cuando se conocen las características del par. Los correspondientes valores de la intensidad pueden calcularse a partir del perfil del par y compararse con los límites de intensidad del convertidor. La intensidad de motor nominal ofrece cierta orientación al respecto, pero no siempre se configura como uno de los mejores criterios de dimensionado posibles, ya que los motores pueden, por ejemplo, perder intensidad (temperatura ambiente, zona peligrosa, etc.).

La tensión de alimentación disponible deberá comprobarse antes de seleccionar el convertidor de frecuencia. Posibles variaciones en la tensión de alimentación afectarán a la potencia disponible en el eje del motor. Si la tensión de alimentación es inferior a la nominal, el punto de debilitamiento del campo pasa a una frecuencia inferior y el par máximo disponible del motor se reduce en el rango de debilitamiento del campo.

El par máximo disponible suele estar limitado por el convertidor de frecuencia. Ello debe ser tenido en cuenta ya en la fase de selección del motor. El convertidor de frecuencia puede limitar el par del motor con anterioridad a lo que se declara en la hoja de datos del fabricante de motores.

El par máximo disponible también se ve afectado por los transformadores, reactores, cables, etc. del sistema, ya que producen una caída de tensión y, de este modo, el par máximo disponible también puede caer. Los fallos momentáneos del sistema deberán compensarse también con el régimen nominal del convertidor de frecuencia.

8.1 Aplicación de bomba y ventilador (Ejemplo)

Como etapas del dimensionado de la aplicación de bomba y ventilador cabe citar:

- Comprobar el rango de velocidad y calcular la potencia con la velocidad más elevada.
- Comprobar las necesidades del par de arranque.
- Elegir el número de polos del motor. La frecuencia operativa más económica suele situarse en el rango de debilitamiento del campo.
- Elegir la potencia del motor, de modo que ésta esté disponible a la máxima velocidad. Deberá tenerse presente la capacidad de carga térmica.
- Elegir el convertidor de frecuencia. Utilizar el régimen nominal de la bomba y el ventilador. Si no se halla disponible, elegir el convertidor de frecuencia según el perfil de intensidad de motor.

Ejemplo 8.1:

Una bomba tiene una carga de 150 kW a una velocidad de 2000 rpm. No se precisa par de arranque.

Solución 8.1:

El par necesario a 2000 rpm es: $T = \frac{9550 \cdot 150}{2000} \text{ Nm} = 716 \text{ Nm}$

Parece ser que los motores de 2 ó 4 polos se configuran como elecciones alternativas para esta aplicación.

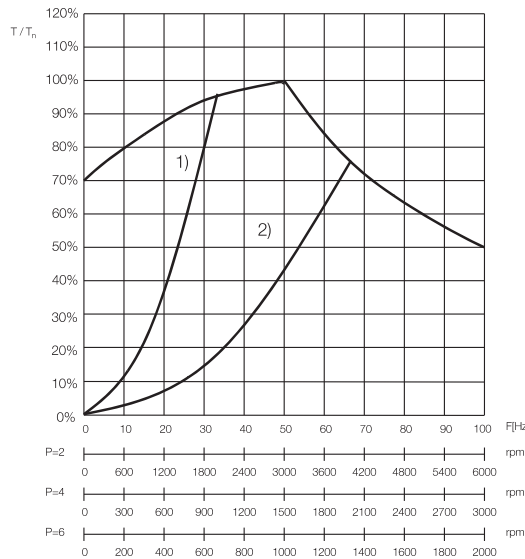


Figura 8.1 Curvas de capacidad de carga del motor en una aplicación de bomba y ventilador. Comparación entre motores de 1) 2 polos y 2) 4 polos.

1) motor p=2

Para un motor de 2 polos, la capacidad de carga a 2000 rpm, según la curva de capacidad de carga, es de aproximadamente el 95 %. El par nominal del motor deberá ser, como mínimo, de:

$$T_n \geq \frac{716}{0,95} \text{ Nm} = 754 \text{ Nm}$$

La correspondiente potencia nominal deberá ser, como mínimo:

$$P_n \geq \frac{754 * 3000}{9550} \text{ kW} = 237 \text{ kW}$$

Se elige un motor de 250 kW (400 V, 431 A, 50 Hz, 2975 rpm y 0,87). El par nominal del motor es:

$$T_n = \frac{250 * 9550}{2975} \text{ Nm} = 803 \text{ Nm}$$

La intensidad de motor a una velocidad de 2000 rpm (rango de flujo constante) es aproximadamente:

$$i_m = \frac{T_{load}}{T_n} * I_n = \frac{716}{803} * 431 \text{ A} = 384 \text{ A}$$

La intensidad mínima continua correspondiente al convertidor de frecuencia es de 384 A.

2) motor p=4

Para un motor de 4 polos, la capacidad de carga a 2000 rpm es del 75 %. El par nominal mínimo del motor es:

$$T_n \geq \frac{716 \text{ Nm}}{0,75} = 955 \text{ Nm}$$

La potencia mínima de un motor de 4 polos es:

$$P_n \geq \frac{955 * 1500}{9550} \text{ kW} = 150 \text{ kW}$$

Un motor de 160 kW (400 V, 305 A, 50 Hz, 1480 rpm y 0,81) cumple las condiciones. La intensidad aproximada a una velocidad de 2000 rpm (66,7 Hz) es:

$$i_m = \frac{T_{load}}{T_n} * \frac{n}{n_n} I_n = \frac{P_{load}}{P_n} * I_n = \frac{150}{160} * 305 \text{ A} = 286 \text{ A}$$

Deberá calcularse la intensidad exacta si la intensidad nominal del convertidor de frecuencia está próxima a la intensidad aproximada del motor.

Un motor de 4 polos precisa menos intensidad en el punto de funcionamiento de la bomba. Así, probablemente constituye una elección más económica que un motor de 2 polos.

8.2 Aplicación a par constante (Ejemplo)

Algunas de las etapas del dimensionado de una aplicación a par constante son:

- Comprobar el rango de velocidad.
- Comprobar el par constante necesario.
- Comprobar las posibles aceleraciones. Si se precisan aceleraciones, comprobar los momentos de inercia.
- Comprobar el posible par de arranque necesario.
- Elegir el motor, de modo que el par esté por debajo de la curva de capacidad de carga térmica (¿ventilación independiente / autoventilación?). La velocidad nominal del motor suele estar situada en la parte central del rango de velocidad utilizado.
- Elegir un convertidor de frecuencia adecuado según la intensidad de dimensionado.

Ejemplo 8.2:

Una extrusora tiene un rango de velocidad de 300-1200 rpm. La carga a 1200 rpm es de 48 KW. El par de arranque requerido es de 200 Nm. El tiempo de aceleración de velocidad cero a 1200 rpm es de 10 segundos. El motor está autoventilado y la tensión nominal es de 400 V.

Solución 8.2:

El par constante requerido es:

Un motor adecuado deberá tener 4 ó 6 polos.

$$T = \frac{9550 * 48}{1200} \text{ Nm} = 382 \text{ Nm}$$

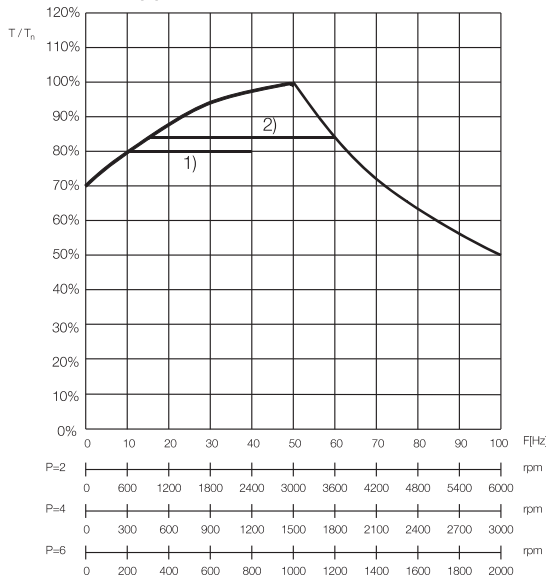


Figura 8.2 Curvas de capacidad de carga del motor en una aplicación a par constante. Comparación de motores de 1) 4 polos y 2) 6 polos.

1) Motor p=4

A una velocidad de 300 rpm, la capacidad de carga térmica es del 80 %. El par nominal mínimo estimado es:

$$T_n \geq \frac{382}{0.8} \text{ Nm} = 478 \text{ Nm}$$

La potencia nominal mínima del motor es:

$$P_n \geq \frac{478 * 1500}{9550} \text{ kW} = 75 \text{ kW}$$

Un motor adecuado es, por ejemplo, uno de 75 kW (400 V, 146 A, 50 Hz, 1473 rpm y 0,82). El par nominal del motor es:

$$T_n = \frac{75 * 9550}{1473} \text{ Nm} = 486 \text{ Nm}$$

La intensidad de motor es de aproximadamente ($T/T_n \approx 0.8$):

$$i_m = \frac{T_{load}}{T_n} * I_n = \frac{382}{486} * 146 \text{ A} = 115 \text{ A}$$

Según la intensidad de motor calculada, puede elegirse un convertidor de frecuencia adecuado para su uso a par constante.

El par de arranque requerido (200 Nm) no representa ningún problema para este motor.

Si el momento de inercia del motor es de 0,72 kgm², el par dinámico en aceleración es:

$$T_{dyn} = \frac{2 \pi}{60} * \frac{1200}{10} * 0.72 \text{ Nm} = 9 \text{ Nm}$$

Por tanto, el par total durante la aceleración es de 391 Nm, que es inferior al par nominal del motor.

2) Motor p=6

A velocidades de 300 rpm y 1200 rpm, la capacidad de carga del motor es del 84 %. Así, el par nominal mínimo del motor de 6 polos es:

$$T_n \geq \frac{382 \text{ Nm}}{0.84} = 455 \text{ Nm}$$

El valor mínimo de la potencia nominal del motor es:

$$P_n \geq \frac{455 * 1000}{9550} \text{ kW} = 48 \text{ kW}$$

Un motor adecuado podría ser, por ejemplo, uno de 55 kW (400 V, 110 A, 50 Hz, 984 rpm y 0,82). El par nominal del motor es:

$$T_n = \frac{55 * 9550}{984} \text{ Nm} = 534 \text{ Nm}$$

La intensidad de dimensionado puede aproximarse a una velocidad de 1200 rpm:

$$i_m = \frac{T_{\text{load}}}{T_n} * \frac{n}{n_n} \quad I_n = \frac{P_{\text{load}}}{P_n} * I_n = \frac{48}{55} * 110 \text{ A} = 96 \text{ A}$$

La intensidad nominal (continua) del convertidor de frecuencia deberá ser superior a 96 A.

El par de arranque requerido es inferior al par nominal del motor.

Si la inercia del motor es de 1,2 kgm², el par dinámico en aceleración es:

$$T_{\text{dyn}} = \frac{2 \pi}{60} * \frac{1200}{10} * 1.2 \text{ Nm} = 15 \text{ Nm}$$

El par total necesario durante la aceleración es de 397 Nm, que es inferior al par nominal del motor.

8.3 Aplicación a potencia constante (Ejemplo)

Algunas de las etapas del dimensionado de una aplicación constante de potencia son:

- Comprobar el rango de velocidad.
- Calcular la potencia necesaria. Las bobinadoras son aplicaciones típicas a potencia constante.
- Dimensionar el motor, de modo que se utilice el rango de debilitamiento del campo.

Ejemplo 8.3:

Una máquina de trefilado de alambre está controlada por un convertidor de frecuencia. La velocidad de la superficie de la bobina es de 12 m/s y la tensión es de 5700 N. Los diámetros de la bobina son: 630 mm (bobina vacía) y 1250 (bobina llena). Existe un engranaje con un cociente de engranaje $n_2 : n_1 = 1:7,12$ y el rendimiento del mismo es igual a 0,98.

Seleccionar un motor y convertidor adecuados para esta aplicación.

Solución 8.3:

La idea básica de una bobinadora radica en mantener la velocidad de la superficie y la tensión constantes a medida que el diámetro cambia.

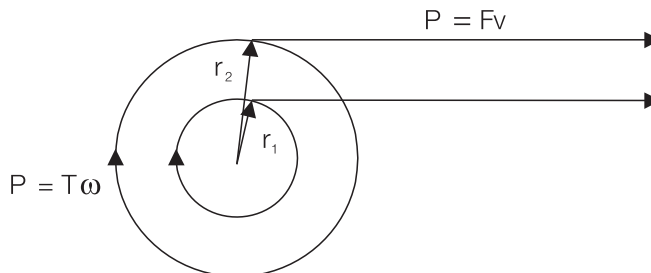


Figura 8.3 Diagrama básico de una bobinadora.

En movimiento rectilíneo, la potencia es: $P = Fv$

En movimiento giratorio, la potencia es: $P = T\omega$

La relación entre la velocidad de la superficie y la velocidad angular es:

$$v \text{ [m/s]} = \omega * r = \frac{2 \pi * n \text{ [rpm]} * r}{60} \Leftrightarrow n \text{ [rpm]} = \frac{60 * v}{2 \pi * r}$$

El par es el producto de la fuerza por el radio: $T = Fr$
Mediante el empleo de las fórmulas anteriores, puede seleccionarse el motor:

$$P = 5700 \text{ N} * 12 \text{ m/s} = 68.4 \text{ kW}$$

$$T_1 = 5700 \text{ N} * \frac{0.63}{2} \text{ m} = 1796 \text{ Nm}$$

$$n_1 = \frac{12 * 60}{\pi * 0.63} \text{ rpm} = 363.8 \text{ rpm}$$

$$T_2 = 5700 \text{ N} * \frac{1.25}{2} \text{ m} = 3563 \text{ Nm}$$

$$n_2 = \frac{12 * 60}{\pi * 1.25} \text{ rpm} = 183.3 \text{ rpm}$$

Se tendrá en cuenta el engranaje antes de elegir el motor. Las velocidades, pares y potencia deberán reducirse:

$$P = \frac{P}{\eta_{\text{gear}}} = \frac{68.4}{0.98} \text{ kW} = 69.8 \text{ kW}$$

$$T_1 = \frac{1796}{0.98} * \frac{1}{7.12} \text{ Nm} = 275 \text{ Nm}$$

$$n_1 = 363.8 * 7.12 \text{ rpm} = 2590 \text{ rpm}$$

$$T_2 = \frac{3563}{0.98} * \frac{1}{7.12} \text{ Nm} = 511 \text{ Nm}$$

$$n_2 = 183.3 * 7.12 \text{ rpm} = 1305 \text{ rpm}$$

1) Motor p=2

Si se elige un motor de 2 polos, la capacidad de carga a una velocidad de 1305 rpm es de aproximadamente el 88 % y el 97 % a 2590 rpm. La potencia nominal mínima del motor es:

$$P_n \geq \frac{511 * 3000}{0.88 * 9550} \text{ kW} = 182 \text{ kW}$$

Se selecciona un motor de 200 kW (400 V, 353 A, 50 Hz, 2975 rpm y 0,86). El par nominal del motor es:

$$T_n = \frac{200 * 9550}{2975} \text{ Nm} = 642 \text{ Nm}$$

La intensidad de dimensionado se calcula según un par de 511 Nm:

$$i_m = \frac{T_{\text{load}}}{T_n} * I_n = \frac{511}{642} * 353 \text{ A} = 281 \text{ A}$$

2) Motor p=4

Si se elige un motor de 4 polos, puede observarse a partir de la curva de capacidad de carga que ésta, a una velocidad de 1305 rpm, es de aproximadamente el 98 %, y a 2590 rpm es del 60 %. La potencia nominal mínima del motor es:

$$P_n \geq \frac{511 * 1500}{0.98 * 9550} \text{ kW} = 82 \text{ kW}$$

Se elige un motor de 90 kW (400 V, 172 A, 50 Hz, 1473 rpm y 0,83). El par nominal del motor es:

$$T_n = \frac{90 \cdot 9550}{1473} \text{ Nm} = 584 \text{ Nm}$$

El dimensionado, en este caso, se realiza según la intensidad de motor a 1305 rpm. La intensidad de motor es:

$$i_m = \frac{T}{T_n} I_n = \frac{511}{584} \cdot 172 \text{ A} = 151 \text{ A}$$

Con un motor de 2 polos, no se utilizó el rango de debilitamiento del campo (potencia constante), lo que acarrió un sobredimensionado innecesario. Un motor de 4 polos constituye una elección más óptima para esta aplicación.

Capítulo 9 - Transformador y rectificador de entrada

Existen diversos tipos de rectificadores de entrada. El tipo de rectificador en concreto podría limitar el funcionamiento.

Un rectificador convencional es un rectificador de diodos de 6 ó 12 pulsos. Los rectificadores de diodos sólo soportan cargas de motorización en las que el flujo de potencia es unidireccional.

En determinados procesos en los que la carga puede ser asimismo generadora, la energía necesita ser absorbida. Para cargas de corta generación, la solución tradicional ha consistido en una resistencia de frenado en la que la potencia generada ha sido transformada en pérdidas de calor. Sin embargo, si la carga se genera continuamente, se precisa un verdadero rectificador de 4 cuadrantes.

Tanto el transformador de entrada como el rectificador están dimensionados según la potencia del eje del motor y los fallos momentáneos del sistema. Por ejemplo, si se suministra un par elevado a baja velocidad, la potencia mecánica nunca es lo suficientemente baja. Por lo tanto, no necesariamente sobrecargas elevadas son sinónimo de potencia elevada, desde el punto de vista del rectificador.

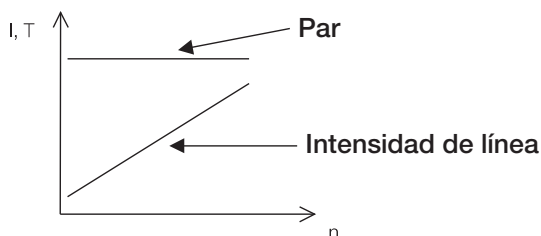


Figura 9.1 Intensidad de línea en una aplicación a par constante. La intensidad de línea es pequeña a baja velocidad.

9.1 Rectificador

Los rectificadores están dimensionados según la potencia del eje del motor. Un único rectificador de entrada del accionamiento puede seleccionarse utilizando la fórmula de aproximación:

$$S_{\text{rectificador}} = \frac{P_{\text{motor}}}{0,9} \quad (9.1)$$

En sistemas de accionamiento en los que existe un enlace de CC común, puede producirse motorización y generación de potencia simultáneas. El cálculo aproximado de la potencia del rectificador se realiza del modo siguiente:

$$S_{\text{rectificador}} = \frac{\sum P_{\text{motorización}}}{0,9} - 0,9 \sum P_{\text{generación}} \quad (9.2)$$

9.2 Transformador

La potencia de entrada de un transformador puede calcularse del modo siguiente:

$$S_{\text{transformer}} = P_{\text{total}} * \frac{1.05}{k} * \frac{1}{\eta_r} * \frac{1}{\cos(\alpha)} * \frac{1}{\eta_c} * \frac{1}{\eta_i} * \frac{1}{\eta_m} \quad (9.3)$$

En las fórmulas anteriores:

P_{total} es la potencia total del eje del motor

k es la capacidad de carga del transformador (factor k)

1,05 significa la caída de tensión del transformador (impedancia)

η_r es el rendimiento del rectificador

$\cos(\alpha)$ es el ángulo de control del rectificador (=1,0 para el rectificador de diodos)

η_c es el rendimiento de la reactancia de CA (si existe)

η_i es el rendimiento del inversor

η_m es el rendimiento del motor

La potencia del eje total suele multiplicarse por un coeficiente de 1,2 - 1,35.

Ejemplo 9.1:

En una aplicación a par constante, la máxima potencia del eje necesaria es de 48 kW a una velocidad de 1200 rpm. Se eligió un motor de 55 kW y una unidad de inversor de 70 kVA.

Especificar el rectificador y el transformador de entrada. Se utiliza una alimentación de diodos de 6 pulsos (rendimiento 0,985), hay una reactancia de CC en el enlace de CC, el rendimiento del inversor es de 0,97 y el del motor es de 0,95.

Solución 9.1:

La potencia estimada del rectificador es:

$$S_{\text{rectificador}} = \frac{48}{0.9} \text{ kVA} = 53.3 \text{ kVA}$$

El rendimiento de la reactancia se incluye en el rendimiento del inversor. Ya que la unidad de suministro de diodos es $\cos(\alpha) = 1$, la potencia del transformador de entrada ($k=0,95$) es:

$$S_{\text{transformador}} = 48 * \frac{1.05}{0.95} * \frac{1}{0.985} * \frac{1}{0.97} * \frac{1}{0.95} \text{ kVA} = 58.4 \text{ kVA}$$

Capítulo 10 - Índice

4 cuadrantes 35

A

aceleración 18
acoplamiento 19
alimentación 6, 7
autoventilado 23

B

bombas centrífugas 20

C

caja de engranajes 19
capacidad de carga térmica 23
capacidad de sobrecarga 7
carga 6
carga cíclica 7
convertidor de frecuencia 6
cuadráticamente 20
cúbicamente 20

D

debilitamiento del campo 10
desaceleración 16
deslizamiento 9

E

engranaje 18
enlace de CC 6

F

factor de potencia 12
fricción 14

G

generación 33

I

inducción 9
intensidad activa 11
intensidad reactiva 11
inversor 34, 35

K

kilovatio 16

M

mecánico 14
momento de inercia 15
motor 9

motor de CA 6
motor de inducción 9
motorización 33

P

par 9, 10
par constante 20
par cuadrático 20
par de actuación 9
par de arranque 7, 10, 21
par del rotor bloqueado 9
par máximo 10
par motor crítico 10
perfil de carga 20
potencia 9, 14
potencia constante 10, 21
potencia en el eje 24
punto nominal 9, 12

R

rango del flujo 10
rango de frecuencia 7, 9
rango de velocidad 7
rectificador 33
rectificador de diodos 33
refrigeración independiente 23
rendimiento 14
rodillo 19

S

suministro eléctrico 6

T

tambor 19
tensión 9
tensión de alimentación 7, 24
tipo de carga 20
transformador 6
transformador de entrada 6

U

unidad de rectificador 6

V

velocidad 9
velocidad angular 14
ventilador 16, 20

Contacte con nosotros

Para obtener más información, póngase en contacto con su representante local de ABB o visite:

www.abb.es

www.abb.com/drivespartners

© Copyright 2014 ABB. Todos los derechos reservados.
Las especificaciones están sujetas a cambio sin previo aviso.

3BFE64401416 REV C ES 28.4.2011

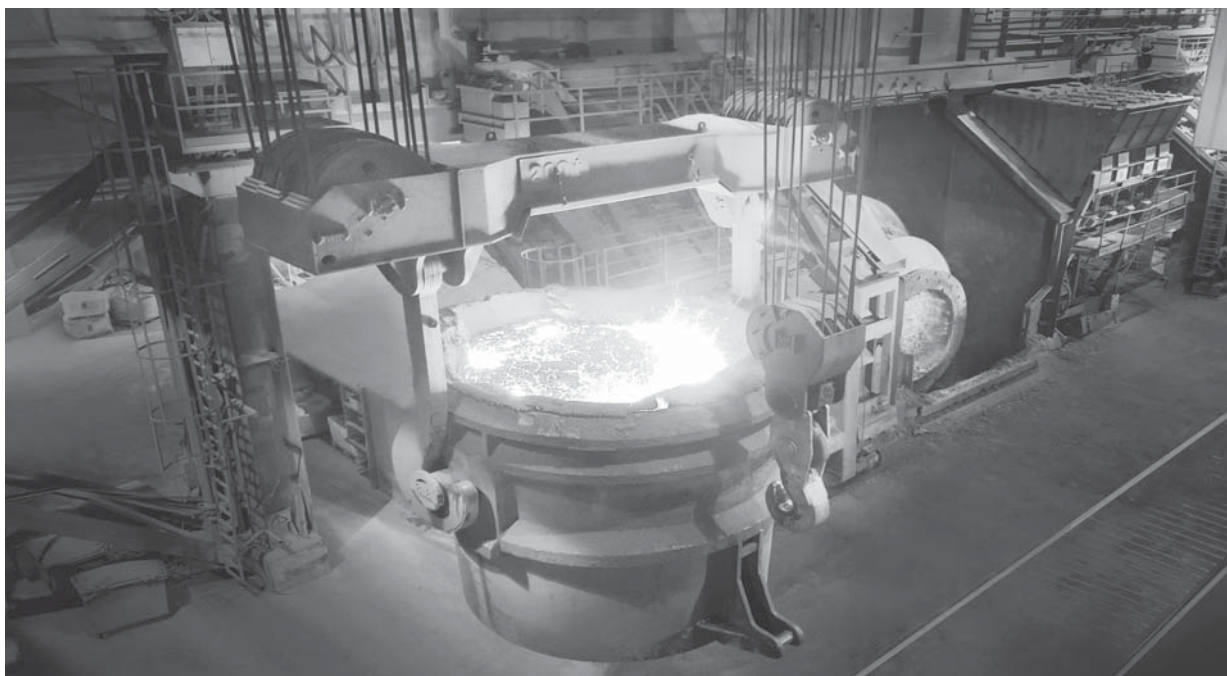


ABB drives

Guía técnica nº 8 Frenado eléctrico

Guía técnica nº 8

Frenado eléctrico

Contenido

Capítulo 1 - Introducción	7
1.1 Concepto general	7
1.2 Mapa de las aplicaciones de accionamientos en función de la velocidad y el par	7
Capítulo 2 - Evaluar la potencia de frenado	9
2.1 Principios generales del dimensionado del frenado eléctrico	9
2.2 Conceptos básicos de descripción de cargas	10
2.2.1 Par constante y par cuadrático	10
2.2.2 Cómo evaluar el par y la potencia de frenado	10
2.2.3 Resumen y conclusiones	14
Capítulo 3 - Soluciones de frenado eléctrico en accionamientos	15
3.1 Frenado de flujo del motor	15
3.2 Chopper de frenado y resistencia de frenado	16
3.2.1 El almacenamiento de energía en el convertidor de frecuencia.....	16
3.2.2 Principle of the braking chopper	17
3.3 Configuración antiparalela de los puentes de tiristores.....	19
3.4 Configuración con puente IGBT.....	21
3.4.1 Principios generales de las unidades de regeneración IGBT ..	21
3.4.2Regeneración IGBT: objetivos de regulación	21
3.4.3 Control directo del par en forma de control directo de la potencia	22
3.4.4 Dimensionado de una unidad de regeneración IGBT	24
3.5 CC común.....	24
Capítulo 4 - Evaluar el coste del ciclo de vida de distintos frenados eléctricos.....	26
4.1 Cómo calcular el coste directo de la energía	26
4.2 Cómo evaluar el coste de la inversión	26
4.3 Cómo calcular el coste del ciclo de vida	27
Capítulo 5 - Símbolos y definiciones	31
Capítulo 6 - Índice	32

Capítulo 1 - Introducción

1.1 Concepto general

En esta nueva guía técnica de ABB se describen las soluciones prácticas con las que se puede reducir la energía almacenada y volverla a transformar en energía eléctrica. El objetivo de esta guía consiste, asimismo, en dar orientaciones prácticas para distintas soluciones de frenado.

1.2 Mapa de las aplicaciones de accionamientos en función de la velocidad y el par

Las aplicaciones de accionamientos se pueden dividir en tres categorías principales en función de la velocidad y el par. La aplicación de accionamientos de CA más habitual es en un cuadrante, en la que la velocidad y el par siempre tienen la misma dirección: el flujo de la potencia (velocidad multiplicada por el par) va del inversor al proceso. En estas aplicaciones, que suelen ser de bombas y ventiladores, el par de la carga tiene un comportamiento cuadrático, por lo que se las suele llamar aplicaciones a par variable. Algunas aplicaciones en un cuadrante como las extrusoras o las cintas transportadoras son aplicaciones a par constante (el par de la carga no tiene por qué cambiar al cambiar la velocidad).

La segunda categoría son las aplicaciones en dos cuadrantes, en las que, sin que cambie la dirección de rotación, puede cambiar la dirección del par (el flujo de potencia puede ir del accionamiento al motor o viceversa). Un accionamiento en un cuadrante puede serlo en dos, por ejemplo, al decelerar un ventilador más rápido que de forma natural con las pérdidas mecánicas. En muchas industrias, un paro de emergencia puede precisar de un funcionamiento en dos cuadrantes aunque el proceso sea en un cuadrante.

La tercera categoría son las aplicaciones en cuatro cuadrantes en las que puede cambiar libremente la dirección de la velocidad y el par. Las más típicas son ascensores, cabrestantes y grúas, si bien muchos procesos de corte, plegado, tejeduría y bancos de pruebas de motores pueden necesitar que la velocidad y el par cambien repetidamente. También cabe mencionar procesos en un cuadrante en los que el flujo de potencia va principalmente de la maquinaria al inversor, como una bobinadora o una cinta transportadora descendente.

Por lo general, desde un punto de vista de ahorro de energía, un motor de CA con un inversor es mejor que los métodos de control mecánico como el estrangulamiento. Sin embargo, se presta menos atención al hecho de que muchos procesos pueden

contar con un flujo de la potencia del proceso al accionamiento, aunque no se ha estudiado cómo utilizar esta energía de frenado de la forma más económica.

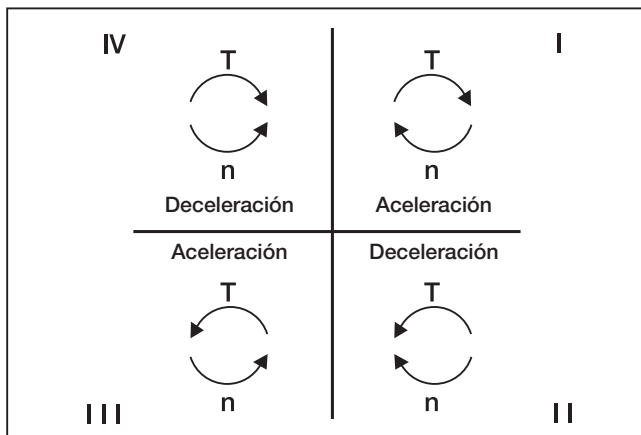


Figura 1.1 Mapa de las aplicaciones de accionamientos en función de la velocidad y el par.

Capítulo 2 - Evaluar la potencia de frenado

2.1 Principios generales del dimensionado del frenado eléctrico

La evaluación de la necesidad de frenado empieza por la mecánica. Normalmente se tiene que frenar el sistema mecánico en un tiempo concreto, o existen subciclos del proceso en los que el motor funciona en el generador a velocidad constante o ligeramente variable.

Es importante destacar que los dispositivos empleados en el frenado eléctrico se dimensionan en función de la potencia de frenado. La potencia mecánica de frenado depende del par y la velocidad de frenado, fórmula (2.1). Cuando mayor sea la velocidad, mayor será la potencia. Esta potencia se transmite a una tensión e intensidad determinadas. Cuanto mayor sea la tensión, menos intensidad se necesita para una misma potencia, fórmula (2.2). La intensidad es el componente principal que define el coste en accionamientos de CA de baja tensión.

En la fórmula (2.2) podemos observar la expresión $\cos\phi$. Esta expresión define la intensidad del motor empleada para magnetizar el motor. La intensidad de magnetización no crea ningún par y, por tanto, se ignora.

Por otra parte, esta intensidad de magnetización del motor no se toma de la fuente de alimentación de CA que alimenta al convertidor (la intensidad al inversor es menor que la intensidad al motor). Ello significa que, en la sección de alimentación, $\cos\phi$ suele ser aproximadamente 1,0. Cabe destacar en la fórmula (2.2) que se ha supuesto que no se produce ninguna pérdida cuando la potencia de CC se convierte en potencia de CA. En esta conversión se producen algunas pérdidas que se pueden ignorar en este contexto.

$$P_{\text{Mecánica}} = T * \omega = T * \frac{n}{60} * 2 \pi \quad (2.1)$$

$$P_{\text{Eléctrica}} = U_{\text{CC}} * I_{\text{CC}} = \sqrt{3} * U_{\text{CA}} * I_{\text{CA}} * \cos\phi \quad (2.2)$$

2.2 Conceptos básicos de descripción de cargas

Las cargas se suelen clasificar en cargas a par constante o a par cuadrático. Una carga a par cuadrático significa que el par de la carga es proporcional al cuadrado de la velocidad. También significa que la potencia es la velocidad elevada al cubo. En las aplicaciones a par constante, la potencia es directamente proporcional a la velocidad.

2.2.1 Par constante y par cuadrático

Par cuadrático:

C: constante

$$T_{\text{carga}} = C \quad (2.3)$$

$$P_{\text{carga}} = T * \omega = C * \omega \quad (2.4)$$

Par cuadrático:

$$T_{\text{carga}} = C * \omega^2 \quad (2.5)$$

$$P_{\text{carga}} = T * \omega = C * \omega^2 * \omega = C * \omega^3 \quad (2.6)$$

2.2.2 Cómo evaluar el par y la potencia de frenado

En caso de funcionamiento en régimen permanente (a (aceleración angular) = cero) el par del motor tiene que hacer que el par de rozamiento corresponda proporcionalmente a la velocidad angular y al par de la carga a esa velocidad angular. El par y la potencia de frenado necesarios en función del tiempo varía mucho en estos dos tipos distintos de carga.

$$T_{\text{motor}} = -[J * \alpha + \beta * \omega + T_{\text{carga}}(\omega)] \quad (2.7)$$

Estudiemos primero el caso en que la carga es a par constante y el sistema de accionamiento no puede generar el par de frenado (accionamiento con funcionamiento en un cuadrante). Para calcular el tiempo de frenado necesario se puede aplicar la siguiente ecuación. Hay que fijarse en que la fórmula (2.7) destaca que el par necesario para la aceleración (o deceleración) inercial, el par de rozamiento y carga está en dirección opuesta al par del motor.

$$0 = -[J * \alpha + \beta * \omega + T_{\text{load}}(\omega)] \quad (2.8)$$

En la práctica es difícil definir exactamente el efecto del rozamiento. Al asumir que el rozamiento es igual a cero, el margen de error en el tiempo calculado es inexistente.

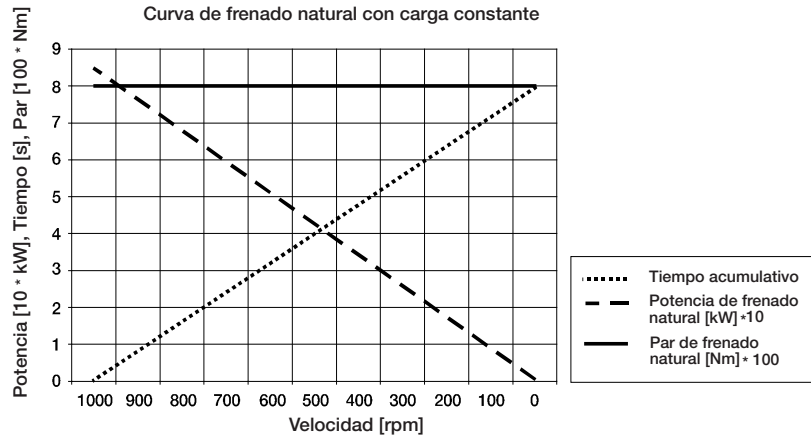


Figura 2.1 Tiempo de frenado acumulativo, potencia y par de frenado en función de la velocidad.

$$T_{carga}(\omega) = J * \alpha = J * \frac{(\omega_{arranque} - \omega_{final})}{t} = J * \frac{(n_{arranque} - n_{final}) * 2 \pi}{t * 60} \quad (2.9)$$

Para despejar t se deriva la fórmula:

$$t = J * \frac{(n_{arranque} - n_{final}) * 2 \pi}{60 * T_{carga}(\omega)} \quad (2.10)$$

Suponiendo que la inercia de la carga sea de 60 kgm² y que el par de la carga sea de 800 Nm en todo el rango de velocidades, con una carga a 1000 rpm y el par del motor puesto a cero, la carga pasa a velocidad cero en el tiempo:

$$t = J * \frac{(n_{arranque} - n_{final}) * 2 \pi}{60 * T_{carga}(\omega)} = 60 * \frac{(1000 - 0) * 2 \pi}{60 * 800} = 7.85 \text{ s} \quad (2.11)$$

Esto es así en las aplicaciones en las que el par de la carga es constante al empezar el frenado. Cuando desaparece el par de la carga (por ej., al romperse una cinta transportadora) aunque no cambie la energía cinética de la mecánica, el par de la carga que deceleraría la mecánica no está activo. En tal caso, si el motor no está frenando, la velocidad sólo disminuirá como resultado del rozamiento mecánico.

Supongamos ahora que tenemos la misma inercia y el mismo par de la carga a 1000 rpm, pero que **el par de la carga cambia de forma cuadrática**. Si el par del motor se fuerza a cero, el par de la carga disminuye en proporción cuadrática a la velocidad. Si el tiempo de frenado acumulativo se presenta en función de la velocidad, vemos que el tiempo de frenado natural a la velocidad más baja (de 200 rpm a 100 rpm) aumenta de forma considerable en comparación con el cambio de velocidad de 1000 rpm a 900 rpm.

Evaluar la potencia de frenado

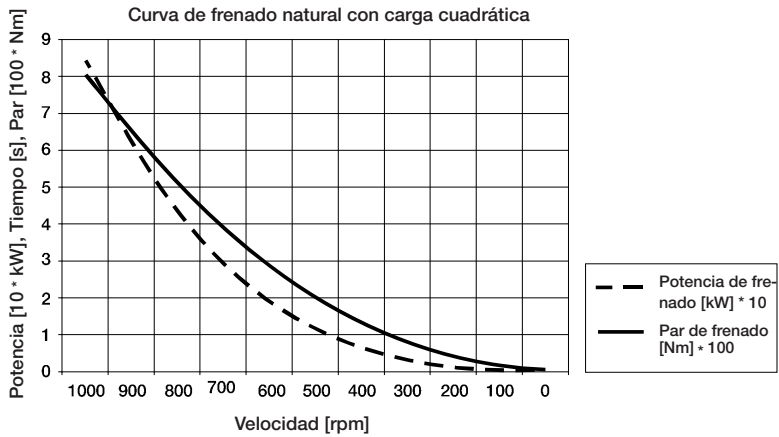


Figura 2.2 Curva de frenado natural para un par y una potencia de frenado en función de la velocidad de un ventilador de 90 kW.

Se puede trazar fácilmente una curva de frenado natural partiendo de la potencia y la velocidad en el punto nominal aplicando las fórmulas (2.5) y (2.6).

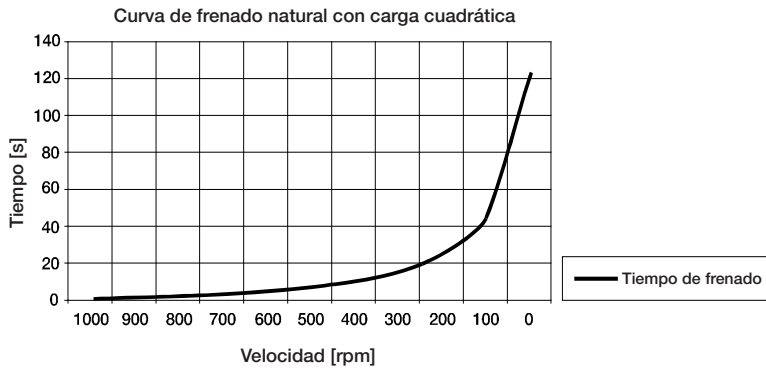


Figura 2.3 Tiempo de frenado acumulativo de un ventilador de 90 kW.

Ahora pensemos en un caso en el que se exige que el sistema mecánico frene en un tiempo determinado a partir de una velocidad concreta.

El ventilador de 90 kW tiene una inercia de 60 kgm². El punto de funcionamiento nominal del ventilador es 1000 rpm. El ventilador se tiene que parar en 20 segundos. El efecto de frenado natural provocado por las características de la carga es el máximo al principio del frenado. La energía máxima de la inercia se puede calcular con la fórmula (2.12). La potencia media de frenado se puede calcular dividiendo esta energía de frenado por el tiempo. Este valor es, por supuesto, muy conservador debido a que no se tienen en cuenta las características de carga del ventilador.

$$W_{\text{kin}} = \frac{1}{2} * J * \omega^2 = \frac{1}{2} * J * \left(\frac{n}{60} * 2 \pi \right)^2 = P * t \quad (2.12)$$

$$P = \frac{1}{2} * J * \left(\frac{n}{60} * 2 \pi \right)^2 * \frac{1}{t} =$$

$$\frac{1}{2} * 60 * \left(\frac{1000}{60} * 2 \pi \right)^2 * \frac{1}{20} = 16.4 \text{ kW} \quad (2.13)$$

Cuando se dimensiona el chopper de frenado para este valor de 16,4 kW y la capacidad de frenado del motor a una velocidad mayor es muy superior a 16,4 kW, el accionamiento debe incorporar una función de supervisión para obtener la máxima potencia de regeneración, función disponible en algunos accionamientos.

Si se desea optimizar el dimensionado del chopper de frenado para un tiempo de frenado concreto se puede empezar observando la figura (2.3). La velocidad pasa rápidamente de 1000 a 500 rpm sin frenado adicional. El efecto de frenado natural es el máximo al principio del frenado, lo que indica claramente que no hace falta empezar a frenar el motor con esta potencia de 16 kW. Tal como puede verse en la figura (2.3), la velocidad pasa de 1000 rpm a 500 rpm sin frenado adicional en menos de 10 segundos. En este punto temporal el par de la carga sólo es el 25% del nominal y la energía cinética que conserva el ventilador también es sólo el 25% de la energía a 1000 rpm. Si se repite a 500 rpm el cálculo realizado a 1000 rpm, puede verse que la potencia de frenado para una deceleración de 500 rpm a 0 rpm es aproximadamente igual a 8 kW. Tal como se ha dicho en cálculos anteriores, este valor también es conservador porque no se tiene en cuenta la curva de frenado natural provocada por las características de la carga.

En resumen, se consigue sin problemas un tiempo de deceleración de 20 segundos de 1000 rpm a 0 rpm con un chopper y una resistencia de frenado dimensionados para 8,2 kW. Fijando el límite de la potencia regenerativa del accionamiento a 8,2 kW se fija el nivel de la potencia de frenado a un nivel adecuado.

Evaluar la potencia de frenado

$$W_{\text{kin}} = \frac{1}{2} * J * \omega^2 = \frac{1}{2} * J * \left(\frac{n}{60} * 2 \pi \right)^2 = P * t \quad (2.14)$$

$$P = \frac{1}{2} * J * \left(\frac{n}{60} * 2 \pi \right)^2 * \frac{1}{t} =$$
$$\frac{1}{2} * 60 * \left(\frac{500}{60} * 2 \pi \right)^2 * \frac{1}{10} = 8.2 \text{ kW} \quad (2.15)$$

2.2.3 Resumen y conclusiones

Existen dos tipos básicos de carga: a par constante y a par cuadrático.

Aplicación a par constante:

- La característica del par de la carga no depende de la velocidad. El par de la carga es aproximadamente el mismo en todo el rango completo de velocidades.
- La potencia aumenta linealmente a medida que aumenta la velocidad y viceversa.
- Aplicaciones a par constante típicas: grúas y cintas transportadoras.

Aplicación a par cuadrático:

- El par de la carga es proporcional al cuadrado de la velocidad.
- Cuando aumenta la velocidad, la potencia es igual a la velocidad al cubo.
- Aplicaciones a par cuadrático típicas: ventiladores y bombas.

Evaluación de la potencia de frenado:

- Las características de carga cuadrática significan una deceleración natural rápida entre el 50-100% de las velocidades nominales, lo que debe utilizarse al dimensionar la potencia de frenado necesaria.
- El par de la carga cuadrático significa que a velocidades bajas la deceleración natural se debe principalmente al rozamiento.
- La característica del par de la carga constante es una deceleración natural constante.
- La potencia de frenado depende del par y la velocidad al punto de funcionamiento concreto. Dimensionar el chopper de frenado basándose en la potencia máxima de frenado suele provocar un sobredimensionado.
- La potencia de frenado no depende de la intensidad (par) nominal del motor ni de la potencia tal cual.
- Si desaparece el par de la carga cuando empieza el frenado el efecto de frenado natural es reducido, lo que influye en el dimensionado del chopper de frenado.

Capítulo 3 - Soluciones de frenado eléctrico en accionamientos

Los accionamientos de CA modernos constan de un rectificador de entrada que convierte la tensión de CA en tensión de CC que se almacena en condensadores de CC. El inversor convierte a su vez la tensión de CC en tensión de CA alimentando al motor de CA a la frecuencia deseada. La potencia de proceso necesaria fluye a través del rectificador, de las barras de CC y el inversor hacia el motor. La cantidad de energía almacenada en los condensadores de CC es muy pequeña en comparación con la potencia necesaria, es decir, el rectificador tiene que dar constantemente la potencia que necesita el motor más las pérdidas del sistema de accionamiento.

3.1 Frenado de flujo del motor

El frenado de flujo es un método que se basa en las pérdidas del motor. Cuando se necesita frenado en el sistema de accionamiento, aumenta el flujo del motor y, asimismo, el componente de intensidad de magnetización empleado en el motor. Se puede controlar fácilmente el flujo mediante el principio de control directo del par (si se desea más información sobre el DTC véase la Guía técnica nº 1). Con el DTC se controla directamente el inversor para obtener el par y el flujo del motor deseados. Durante el frenado de flujo el motor está bajo control DTC, lo que asegura que se pueda frenar según la rampa de velocidad especificada. Este concepto es muy distinto al freno por inyección de CC que suele utilizarse en accionamientos. En el método por inyección de CC se inyecta intensidad de CC al motor para que se pierda el control del flujo del motor durante el frenado. El método de frenado de flujo con DTC permite que el motor pase rápidamente de frenar a actuar como motor cuando se necesite.

En el frenado de flujo el aumento de la intensidad significa un aumento de las pérdidas en el motor. La potencia de frenado también aumenta aunque no aumente la potencia de frenado aplicada al convertidor de frecuencia. El aumento de la intensidad genera un aumento de las pérdidas en las resistencias del motor. Cuando mayor sea la resistencia, mayor será la disipación de la energía de frenado en el motor. Normalmente, en motores de baja potencia (menos de 5 kW) la resistencia del motor es relativamente grande en relación con la intensidad nominal del motor. Cuanto mayor sea la potencia o la tensión del motor, menor será la resistencia del motor en relación con la intensidad del motor. Dicho de otro modo, el frenado de flujo alcanza su máxima eficacia en un motor de baja potencia.

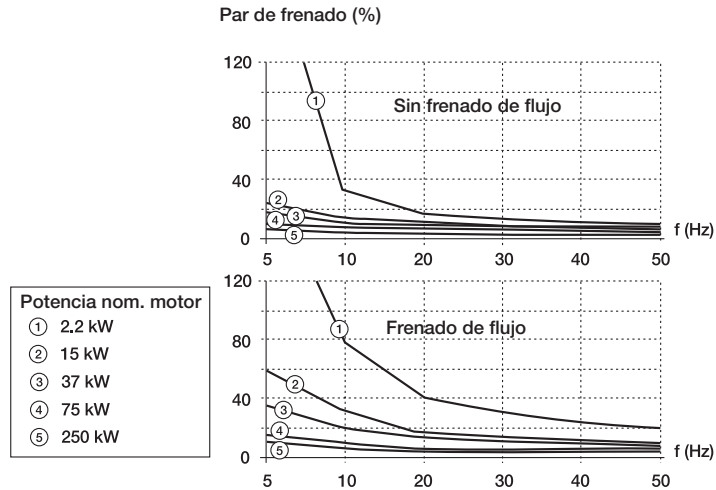


Figura 3.1 Porcentaje de par de frenado del motor del par nominal en función de la frecuencia de salida.

Principales ventajas del frenado de flujo:

- Con el método de control DTC no se necesitan componentes ni costes adicionales.
- El motor se controla durante el frenado, a diferencia del freno por inyección de CC que se suele usar en convertidores.

Principales desventajas del frenado de flujo:

- Mayor tensión térmica en el motor si se repite el frenado durante períodos breves.
- La potencia de frenado está limitada por las características del motor, como por ejemplo la resistencia.
- El frenado de flujo es útil principalmente en motores de baja potencia.

3.2 Chopper de frenado y resistencia de frenado

3.2.1 El almacenamiento de energía en el convertidor de frecuencia

En los accionamientos estándar el rectificador suele ser un rectificador de diodos de 6 pulsos o 12 pulsos que sólo puede suministrar alimentación desde la red de CA a las barras de CC, pero no al revés. Si cambia el flujo de la potencia como ocurre en las aplicaciones en dos o cuatro cuadrantes, la potencia suministrada por el proceso carga los condensadores de CC siguiendo la fórmula (3.1) y empieza a aumentar la tensión de bus de CC. La capacitancia C es un valor relativamente bajo en un accionamiento de CA que produce un rápido aumento de la tensión, tensión que sólo pueden soportar los componentes de un convertidor de frecuencia hasta un nivel determinado.

$$W = P * t = \frac{C * U_{dc}^2}{2} \quad (3.1)$$

$$U_{dc} = \sqrt{\frac{2 * W}{C}} = \sqrt{\frac{2 * P * t}{C}} \quad (3.2)$$

Se puede impedir un aumento excesivo de la tensión de bus de CC de dos formas: el inversor impide el flujo de potencia del proceso al convertidor de frecuencia. Ello se consigue limitando el par de frenado para mantener una tensión de bus de CC constante. Esta operación se denomina control de sobretensión y es una prestación estándar de la mayoría de accionamientos modernos. Sin embargo, ello significa que el perfil de frenado de la maquinaria no se realiza según la rampa de velocidad especificada por el usuario.

La capacidad de almacenamiento de energía del inversor suele ser muy poca. Por ejemplo, en un accionamiento de 90 kW la capacitancia suele ser de 5 mF. Si el accionamiento recibe alimentación de 400 V CA, las barras de CC tienen $1,35 * 400 = 565$ V CC. Suponiendo que los condensadores puedan soportar un máximo de 735 V CC, el tiempo en que se puede alimentar una potencia nominal de 90 kW al condensador de CC puede calcularse del siguiente modo:

$$t = \frac{C * U_{dc}^2}{2 * P} = \frac{5 * 10^{-3} * (735^2 - 565^2)}{2 * 90 * 10^3} = 6 \text{ ms} \quad (3.3)$$

Este rango de valores se aplica por lo general a todos los accionamientos de CA de baja tensión modernos con independencia de su potencia nominal. En la práctica ello significa que el regulador de sobretensión y su regulador 'bestia de carga' del par del motor de CA tiene que ser muy rápido. También la activación de la regeneración o del chopper de frenado tiene que ser muy rápida cuando se usa al configurar el accionamiento.

3.2.2 Principio del chopper de frenado

La otra posibilidad de limitar la tensión de bus de CC consiste en dirigir la energía de frenado hacia una resistencia a través de un chopper de frenado. El chopper de frenado es un conmutador eléctrico que conecta la tensión de bus de CC a una resistencia en la que la energía de frenado se transforma en calor. Los choppers de frenado se activan automáticamente cuando la tensión de bus de CC actual supera un nivel determinado según la tensión nominal del inversor.

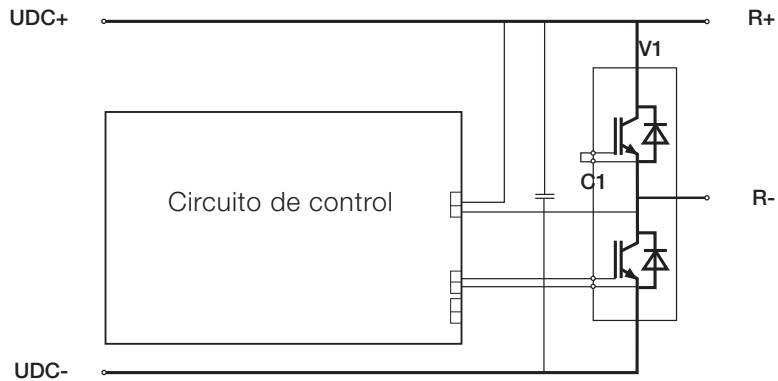


Figura 3.2 Ejemplo de diagrama de circuitos del chopper de frenado. UDC significa los terminales de las barras de CC y R los terminales de las resistencias.

Principales ventajas de la solución con el chopper y la resistencia de frenado:

- Construcción eléctrica sencilla y tecnología bien conocida.
- Inversión básica baja en el chopper y la resistencia.
- El chopper funciona aunque se pierda la alimentación de CA. Puede resultar necesario el frenado ante un fallo momentáneo de la red principal, como por ejemplo en ascensores u otras aplicaciones de alta seguridad.

Principales desventajas del chopper y la resistencia de frenado:

- Se pierde la energía de frenado si no se puede utilizar el aire calentado.
- El chopper y las resistencias necesitan más espacio.
- Puede necesitarse una mayor inversión en el sistema de recuperación de la refrigeración y calefacción.
- Los choppers de frenado se suelen dimensionar para un ciclo concreto, por ejemplo, 100% potencia 1/10 minutos, para tiempos de frenado más largos se necesita un dimensionado más exacto del chopper de frenado.
- Mayor riesgo de incendios debido al calentamiento de las resistencias y a la posible presencia de polvo y componentes químicos en el ambiente.
- La mayor tensión de bus de CC durante el frenado causa un mayor esfuerzo eléctrico al aislamiento del motor.

Cuándo se debe aplicar un chopper de frenado:

- El ciclo de frenado se necesita sólo de vez en cuando.
- La cantidad de energía de frenado en relación con la energía de actuación como motor es extremadamente pequeña.
- El frenado se necesita durante un fallo momentáneo de la red principal.

Cuándo hay que plantearse otras soluciones distintas a un chopper y una resistencia de frenado:

- Frenado continuo o repetido a intervalos regulares.
- La cantidad total de energía de frenado es elevada en relación con la energía de actuación como motor necesaria.
- La potencia de frenado instantáneo es alta, por ejemplo, varios centenares de kW durante varios minutos.
- El aire ambiente incorpora cantidades importantes de polvo u otros componentes potencialmente combustibles, explosivos o metálicos.

3.3 Configuración antiparalela de los puentes de tiristores

En un convertidor de frecuencia, los puentes rectificadores de diodos se pueden sustituir por los dos rectificadores controlados por tiristores en antifase. Esta configuración permite cambiar el puente rectificador según el flujo de potencia que se necesite en el proceso.

Los principales componentes de la unidad de alimentación por tiristores son dos puentes de tiristores de 6 pulsos. El puente directo convierte la alimentación trifásica de CA en CC. Suministra alimentación a los convertidores (inversores) mediante el circuito intermedio. El puente inverso convierte la CC en CA cuando se necesita desviar el poder de frenado del motor sobrante a la red de alimentación.

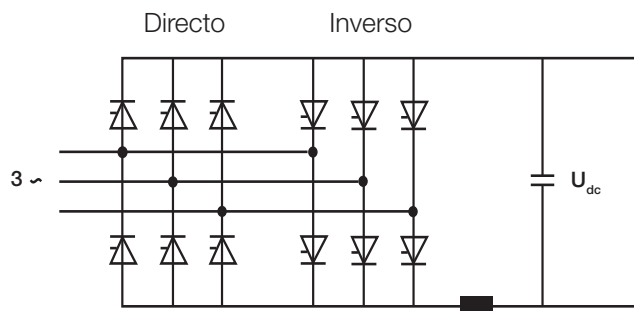


Figura 3.3 Diagrama lineal de una unidad de alimentación por tiristores antiparalela.

Sólo funciona uno de los puentes mientras el otro está bloqueado. El ángulo de disparo del tiristor se controla constantemente para mantener la tensión del circuito intermedio al nivel deseado. La selección del puente directo/inverso y el control de la tensión del circuito intermedio se basan en la determinación de la intensidad de alimentación, la tensión de alimentación y la tensión del circuito intermedio. La reactancia de CC filtra las crestas de intensidad del circuito intermedio.

Principales ventajas del puente de tiristores antiparalelo:

- Solución bien conocida.
- Inversión menor a la necesaria con una solución IGBT.
- La tensión de CC se puede regular a un valor inferior que la red, lo que en algunas aplicaciones especiales puede ser ventajoso.

Principales desventajas del puente de tiristores antiparalelo:

- La tensión de bus de CC siempre es inferior a la tensión de alimentación de CA para mantener un margen de conmutación. De este modo, la tensión alimentada al motor es más baja que la CA de entrada. Sin embargo, esto se puede solucionar utilizando un autotransformador elevador en la alimentación.
- Si la CA de alimentación desaparece se corre el riesgo de que se fundan los fusibles debido al fallo de conmutación de los tiristores.
- $\cos\phi$ varía con la carga.
- La distorsión armónica total es más alta que en las unidades IGBT regenerativas.
- La distorsión de la intensidad fluye a través de otras impedancias de la red y puede provocar una distorsión de la tensión no deseada en otros dispositivos alimentados desde el punto donde existe la distorsión de tensión.
- No se dispone de capacidad de frenado durante los fallos momentáneos de la red principal.

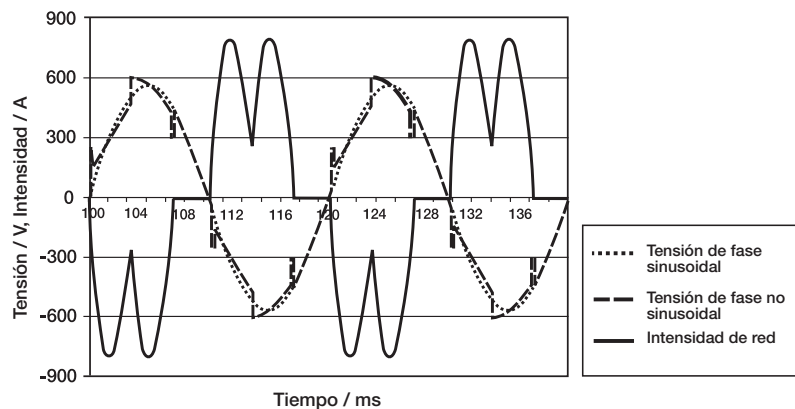


Figura 3.4. Ejemplo de ondas de tensión de intensidad y tensión de un puente antiparalelo durante el frenado.

3.4 Configuración con puente IGBT

3.4.1 Principios generales de las unidades de regeneración IGBT

La regeneración IGBT se basa en los mismos principios que la transmisión de energía en una red de distribución de energía. En una red de distribución de energía se conectan entre sí varios generadores y puntos de carga. Se puede suponer que en el punto de conexión la red de distribución de energía es un generador síncrono de gran tamaño con una frecuencia fija. El puente IGBT de entrada del accionamiento (más tarde la unidad convertidora) se puede considerar otro sistema de tensión de CA conectado a través de una reactancia al generador. El principio de la transmisión de energía entre dos sistemas de CA con una tensión U y conectados entre sí se puede calcular con la fórmula (3.4).

$$P = \frac{U_{\text{line}} * U_{\text{rec}}}{X} \sin\delta \quad (3.4)$$

La fórmula indica que para transmitir la energía entre estos dos sistemas tiene que existir una diferencia de fase en el ángulo entre las tensiones de los dos sistemas de CA. Para controlar el flujo de la energía entre los dos sistemas se tiene que controlar el ángulo.

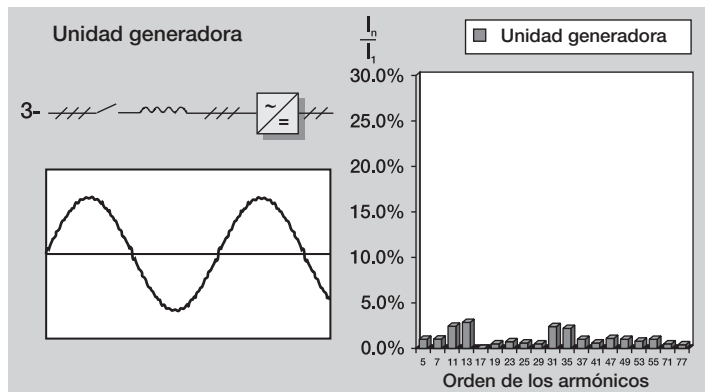


Figura 3.5. Onda de tensión de la intensidad de red y armónicos típicos de una unidad generadora IGBT.

3.4.2 Regeneración IGBT: objetivos de regulación

En las unidades de regeneración IGBT existen tres objetivos de regulación generales. El primero consiste en mantener estable la tensión de bus de CC con independencia del valor absoluto y la dirección del flujo de la potencia. Así se asegura que los inversores que alimentan motores de CA puedan funcionar óptimamente independientemente del punto de funcionamiento gracias a una tensión de bus de CC estable. La tensión de bus de CC es estable cuando el flujo de potencia hacia las barras de CC es igual al de salida de éstas. Esta regulación del flujo de potencia se consigue regulando el ángulo de potencia entre los dos sistemas de CA.

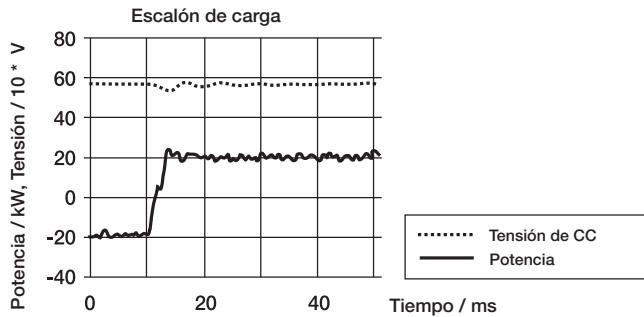


Figura 3.6. Cambio rápido de funcionamiento regenerativo a motor. La tensión de bus de CC es muy estable durante esta transición.

El segundo objetivo de regulación consiste en minimizar la intensidad de alimentación necesaria (funcionar a $\cos\phi = 1,0$), lo que se consigue regulando la tensión de salida de la unidad convertidora. En algunas aplicaciones se desea que la unidad convertidora IGBT también funcione a modo de carga inductiva o capacitativa.

El tercer objetivo de regulación es minimizar el contenido de armónicos de la intensidad de alimentación. Los principales criterios de diseño en este caso son el valor de la reactancia y que el método de regulación sea adecuado.

3.4.3 Control directo del par en forma de control directo de la potencia

El control directo del par (DTC) es una forma de regular un motor de CA alimentado por un inversor. El principio del control activa y desactiva los conmutadores IGBT directamente a partir de la diferencia entre el par actual del motor de CA y el par de referencia del usuario (Guía técnica nº 1). El mismo principio se aplica a una unidad convertidora que regula el flujo de potencia desde la red de alimentación al accionamiento y viceversa. La potencia se multiplica por el par por la frecuencia angular, que es constante en la red: controlar el par significa controlar el flujo de potencia.

$$P = \frac{U_i U_c}{X} \sin\delta = |T| |\omega| \quad (3.5)$$

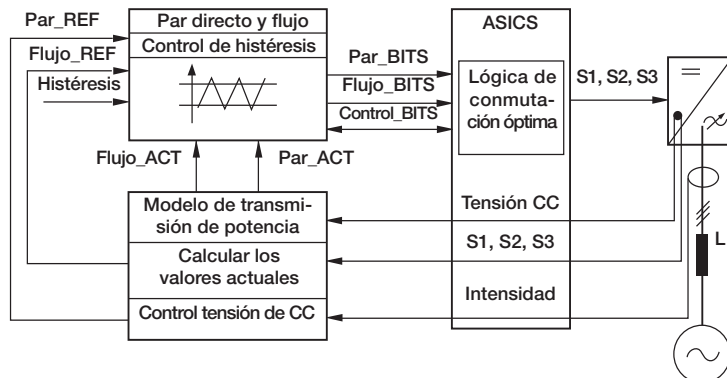


Figura 3.7. Diagrama de control fundamental de la unidad regenerativa IGBT con DTC.

El método de control DTC con la tecnología IGBT contribuye a que se generen pocos armónicos. Por ello, la unidad de alimentación IGBT puede sustituir a las configuraciones de alimentación de 12 pulsos o 18 pulsos en un cuadrante que se suelen utilizar para reducir los armónicos en la sección de alimentación. Una unidad de alimentación IGBT también es una solución, por tanto, en aquellos casos en los que el mayor problema son los armónicos y no cómo canalizar la energía de frenado.

Principales ventajas de una unidad de regeneración IGBT:

- Pocos armónicos en la alimentación tanto en actuación como motor como en regeneración.
- Dinámica alta durante los cambios rápidos de flujo en la sección de carga.
- Posibilidad de aumentar la tensión de CC más que la alimentación de CA de entrada, lo que puede usarse para compensar una red débil o aumentar la capacidad de par máximo del motor en la frecuencia de inicio de debilitamiento del campo.
- Compensación total de las caídas de tensión del sistema gracias a la posibilidad de sobrepar de la tensión.
- Posibilidad de regular el factor de potencia.
- Funcionamiento con cortes de la red con sincronización automática a la rejilla.
- La tensión de bus de CC tiene aproximadamente el mismo valor durante la monitorización que durante el frenado. Sin esfuerzos de tensión adicionales ni aislamiento del bobinado del motor durante el frenado.

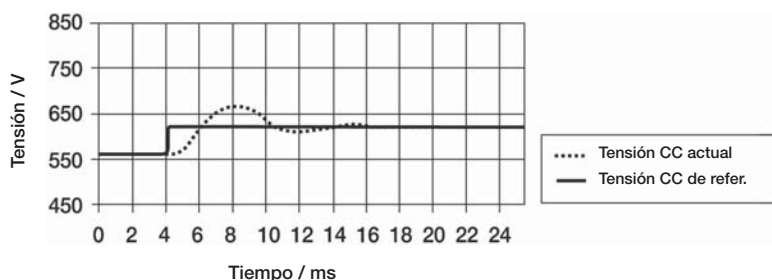


Figura 3.8. Posibilidad de sobrepar de la tensión de alimentación.

Principales desventajas de una unidad de regeneración IGBT:

- Mayor coste de compra.
- No se dispone de la capacidad de frenado durante fallos momentáneos de la red principal.
- Armónicos de la tensión de alta frecuencia debido a la elevada frecuencia de conmutación. Estos componentes de la tensión de varios kilohertzios pueden excitar a los pequeños condensadores que se utilicen en otros dispositivos eléctricos. Con un diseño y disposición adecuados de los transformadores de alimentación de los distintos dispositivos se evitan estos fenómenos.

Cuándo se debe utilizar una unidad de regeneración IGBT:

- El frenado es continuo o se repite con regularidad.
- El poder de frenado es muy alto.
- Cuando se ahorra espacio es comparación con la solución a base de resistencias de frenado.
- Cuando los límites de los armónicos de red son cruciales.

3.4.4 Dimensionado de una unidad de regeneración IGBT

Para dimensionar la unidad IGBT se parte de la potencia necesaria. Supongamos que la potencia en el eje necesaria durante la actuación como motor es de 130 kW y que la potencia de frenado, de 100 kW. Para dimensionar la unidad de alimentación IGBT se selecciona el valor máximo de potencia de actuación como motor o de frenado, que en este caso es de 130 kW. La tensión del motor es de 400 V. El valor mínimo para la red de alimentación es de 370 V.

En este caso se puede usar el sobrepasar de tensión: se aumenta la tensión de bus de CC hasta una tensión de CA de 400 V. Sin embargo, la intensidad de alimentación necesaria se calcula partiendo del nivel 370. Suponiendo que existen pérdidas del 5% del sistema en el motor y el accionamiento, la potencia total necesaria de la rejilla es de 136,5 kW. La intensidad de alimentación se puede calcular con la fórmula:

$$I_{in} = \frac{P}{\sqrt{3} * U_{in}} = \frac{136.5 \text{ kW}}{\sqrt{3} * 370 \text{ V}} = 213 \text{ A} \quad (3.6)$$

La unidad de regeneración IGBT se selecciona partiendo únicamente de la intensidad calculada.

3.5 CC común

Cuando en un proceso hay varios accionamientos y un motor necesita capacidad de frenado mientras los demás funcionan como motor, la solución con barras de CC comunes es muy eficaz para reaprovechar la energía mecánica. Un sistema de accionamiento con barras de CC comunes consta de un rectificador de alimentación aparte que convierte CA en CC, e inversores que alimentan a motores de CA conectados a las barras de CC comunes (las barras de CC son el canal que desplaza la energía de frenado de un motor en beneficio de los demás motores). En la figura (3.9) se indica la configuración básica de las barras de CC comunes.

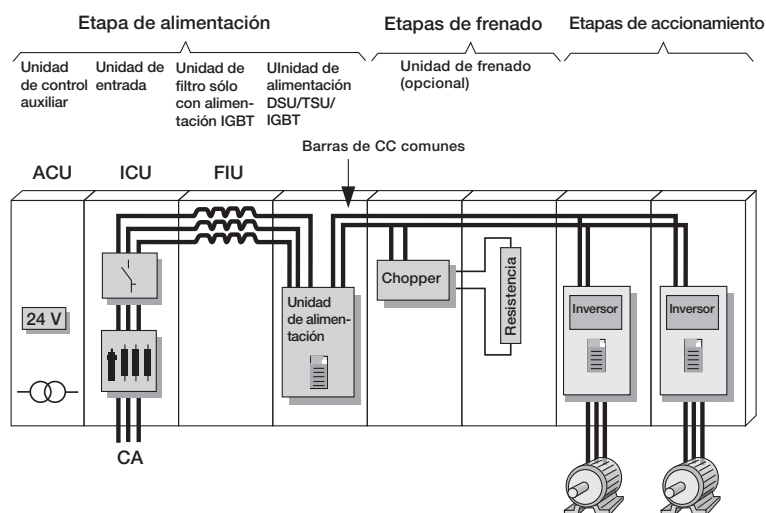


Figura 3.9. Configuración básica de las barras de CC comunes.

Principales ventajas de las barras de CC comunes:

- Flujo de potencia fácil de equilibrar entre accionamientos.
- Bajas pérdidas del sistema al convertir la energía de frenado gracias a las barras de CC comunes.
- Aunque la potencia de frenado instantáneo sea mayor que la potencia de actuación como motor, no se tienen que dimensionar el chopper y la resistencia de frenado para obtener una plena potencia de frenado.
- Si se necesita la potencia de frenado durante períodos prolongados se pueden usar varios rectificadores.

Principales desventajas de la solución con barras de CC comunes con un rectificador en un cuadrante:

- La potencia instantánea de actuación como motor tiene que ser mayor que o igual a la potencia de frenado.
- Se necesitan el chopper y la resistencia de frenado si la potencia de frenado instantáneo es mayor que la potencia de actuación como motor.
- Si hay pocos motores, el coste adicional de un inversor dedicado que desconecte el dispositivo de las barras de CC aumenta el coste de la inversión.

Cuándo utilizar la solución con barras de CC comunes con un rectificador en un cuadrante:

- El número de accionamientos es alto.
- La potencia de actuación como motor siempre es más alta que la potencia de frenado o sólo se necesita una potencia de frenado baja para el chopper de frenado.

Capítulo 4 - Evaluar el coste del ciclo de vida de distintos frenados eléctricos

Cada vez es más importante evaluar el coste del ciclo de vida total al invertir en productos para ahorrar energía. El accionamiento de CA se emplea para regular la velocidad y el par. Esta función básica de los accionamientos de CA significa ahorros en el consumo de energía en comparación con otros métodos de control. En las aplicaciones de bombas y ventiladores apenas se necesita el frenado. Sin embargo, los accionamientos de CA modernos se utilizan cada vez más en aplicaciones que necesitan frenado.

Antes hemos citado diversos criterios técnicos. A continuación se analizan los factores económicos de las distintas opciones de frenado eléctrico.

4.1 Cómo calcular el coste directo de la energía

El coste directo de la energía se puede calcular partiendo, por ejemplo, del precio de la energía y del tiempo y la potencia de frenado calculados por día. Si bien el precio de la energía varía según los países, se puede aplicar un precio aproximado de 0,05 euros por kilowatio-hora. 1 Euro ~ 1 USD. El coste anual de la energía se puede calcular con la fórmula:

$$\text{Coste} = \text{Ciclo Frenado (h/día)} * \text{Potencia media frenado (kW)} * \text{Precio Energía (Euros/kWh)} * 365 \quad (4.1)$$

Por ejemplo, un accionamiento de 100 kW funciona 8000 horas al año y frena con una potencia media de 50 kW durante 5 minutos cada hora, es decir, 667 horas al año. El coste directo anual de la energía de frenado es de 1668 Euros.

4.2 Cómo evaluar el coste de la inversión

Las inversiones necesarias para los distintos métodos de frenados varían. Deben evaluarse los siguientes componentes del coste de la inversión.

Chopper de frenado:

- El coste de la inversión adicional que representan el chopper y la resistencia de frenado más el coste del espacio adicional que se necesita para estos componentes.
- El coste de la inversión en ventilación adicional necesaria para el chopper de frenado.

Frenado eléctrico por tiristores o IGBT:

- Coste adicional de la inversión en el frenado regenerativo IGBT o por tiristores en comparación con el mismo accionamiento sin frenado eléctrico.

Barras de CC comunes:

- Coste adicional de la inversión en el chopper y la resistencia de frenado, incluyendo el espacio necesario para estos componentes en una solución con barras de CC comunes.
- Diferencia del coste de la inversión entre la solución con barras de CC comunes y un único accionamiento.

4.3 Cómo calcular el coste del ciclo de vida

El cálculo del coste del ciclo de vida apoya la decisión puramente económica al realizar una inversión. El precio de la energía y de los accionamientos varía según el país, la compañía eléctrica, el tamaño de la empresa, los tipos de interés, el tiempo durante el que se utiliza la inversión y la situación macroeconómica global. Los valores absolutos de los precios indicados en los siguientes ejemplos se usan únicamente para ilustrar los principios del cálculo.

Caso 1 - Frenado de vez en cuando

Imaginemos la siguiente aplicación:

La potencia continua de actuación como motor es de 200 kW a una velocidad de eje de 1500 rpm. En caso de que se emita un comando de paro de emergencia, la rampa tiene que disminuir en 10 segundos. Partiendo de la experiencia en el proceso, cada mes se activa un paro de emergencia. La inercia J del sistema de accionamiento es de 122 kgm². Cuando se activa el paro de emergencia se puede pasar por alto el par de la carga.

Cálculo del par de frenado necesario para el motor:

$$T = J * \frac{(\omega_{start} - \omega_{end})}{t} = J * \frac{(n_{start} - n_{end}) * 2 \pi}{t * 60} =$$

$$122 * \frac{(1500 - 0) * 2 \pi}{10 * 60} = 1915 \text{ Nm} \quad (4.2)$$

El par típico de un motor de 200 kW y 1500 rpm es de unos 1200 Nm. Un motor de CA normal regulado instantáneamente por un inversor puede funcionar a un par igual a un 200% del valor nominal. Para obtener pares más altos se necesita una intensidad de motor proporcionalmente más alta.

La potencia de frenado es la máxima al principio del ciclo de frenado.

$$P_{br, \max} = T * \omega = 1915 * \frac{1500}{60} * 2 \pi \approx 300 \text{ kW} \quad (4.3)$$

El chopper y la resistencia de frenado tienen que soportar instantáneamente la intensidad para una potencia de 300 kW. A continuación se calcula la potencia media de frenado.

$$W_{kin} = \frac{1}{2} * J * \omega^2 = \frac{1}{2} * J * \left(\frac{n}{60} * 2 \pi \right)^2 = P * t \quad (4.4)$$

$$P = \frac{1}{2} * J * \left(\frac{n}{60} * 2 \pi \right)^2 * \frac{1}{t} =$$

$$\frac{1}{2} * 122 * \left(\frac{1500}{60} * 2 \pi \right)^2 * \frac{1}{10} = 150.3 \text{ kW} \quad (4.5)$$

Coste de la resistencia de frenado:

El chopper de frenado necesario debe soportar una potencia máxima de frenado de 300 kW. Si el accionamiento tiene una función de limitación de potencia se puede dimensionar la resistencia de frenado según los 150,3 kW. El coste adicional del chopper y la resistencia de frenado es de 4000 Euros. La resistencia de frenado necesita 0,4 m² de espacio adicional. El coste del espacio es de 500 Euros/m².

Debido a la reducida energía total de calefacción y al uso del frenado en caso de emergencia, el coste de la refrigeración adicional se considera desdeñable.

El coste total adicional de la inversión se compone de:

- Chopper y resistencia de frenado en armario, 4000 Euros.
- Espacio de 0,4 m² * 500 Euros/m², 200 Euros.

El coste total de la energía perdida durante un frenado es:

$$\text{Coste} = \frac{10}{3600} \text{ (h)} * \frac{300}{2} \text{ (kW)} * 0.05 \text{ (Euros / kWh)} = 0.02 \text{ Euros} \quad (4.6)$$

En este caso el coste de la energía de frenado es desdeñable.

Coste del accionamiento en cuatro cuadrantes:

El coste adicional de la inversión en un frenado eléctrico con puente de tiristores antiparalelo comparado con un accionamiento con chopper de frenado es de 7000 Euros. Tal como cabía esperar, el ahorro de energía no puede usarse como argumento para justificar la inversión adicional.

Caso 2 - Aplicación en grúas

Imaginemos la siguiente aplicación:

Grúa con una potencia de elevación de 100 kW. La grúa necesita plena potencia tanto en el motor como en el generador. El tiempo de funcionamiento de la elevación más largo puede ser de 3 minutos. El tiempo medio en servicio de la grúa durante un año es del 20%.

Coste del frenado por resistencia:

El chopper y la resistencia de frenado tienen que dimensionarse para un frenado continuo de 100 kW debido al tiempo máximo de frenado de 3 minutos. Normalmente, el dimensionado del chopper de frenado máximo se realiza para un tiempo de frenado de 1 minuto cada 10 minutos.

– Chopper y resistencia de frenado en armario: 7800 Euros.

La construcción mecánica de la grúa permite tener el chopper de frenado en armarios. No se necesita más espacio.

Se supone que el 50% del tiempo de servicio la grúa funciona en

$$\text{Coste} = 2.4 \text{ (h/día)} * 100 \text{ (kW)} * 0.05 \text{ (Euros/kWh)} * 365 = 4380 \text{ Euros} \quad (4.7)$$

el lado del generador, un promedio de 2,4 h/día. El coste total de la energía desperdiciada es:

Coste del accionamiento en cuatro cuadrantes:

Para grúas se recomienda el accionamiento IGBT en cuatro cuadrantes.

El coste adicional de la inversión en el frenado eléctrico con un puente de entrada IGBT en comparación con el accionamiento con chopper de frenado es de 4000 Euros.

El cálculo de la amortización directa indica que con una inversión adicional de 4000 Euros se obtiene el mismo ahorro de energía durante el primer año de uso.

Case 3 - Aplicación en una centrífuga

Imaginemos la siguiente aplicación:

Centrífuga de azúcar con motor de 6 polos y una potencia nominal de 160 kW. El motor necesita todo el par durante un período de 30 segundos para acelerar el cesto cargado hasta una velocidad máxima de 1100 rpm, la centrífuga separa la solución de la carga durante 30 segundos a alta velocidad. Una vez se seca la carga el motor decelera la centrífuga tan rápido como le es posible para permitir su descarga y recarga.

En un ciclo por lotes los tiempos de carga, separación y descarga son fijos, con lo que la única oportunidad de aumentar la producción consiste en aumentar las velocidades de aceleración y deceleración. Esto se consigue utilizando un accionamiento IGBT en cuatro cuadrantes, ya que se puede aplicar una sobretensión de enlace de CC para su funcionamiento en el rango de frecuencia de inicio de debilitamiento del campo (de 1000 a 1100 rpm). Así se pueden ahorrar unos 3 segundos por ciclo, con lo que se reduce el tiempo de ciclo de 110 segundos a 107 segundos. Ello permite aumentar la producción, lo que significa que se mejora la productividad del proceso. La ventaja de precio que representa el IGBT es del 10%.

Capítulo 5 - Símbolos y definiciones

- B: Coeficiente de rozamiento
- C: Constante o coeficiente
- CA: Corriente o tensión continua
- CC: Corriente o tensión continua
- $\cos\phi$: Coseno del ángulo eléctrico entre la tensión y la intensidad fundamental
- PF: Factor de potencia definido como $PF = P/S$ (potencia/voltio-amperio) = $I_1 / I_s * DPF$ (Con intensidad sinusoidal PF equivalente a DPF).
- DPF: Factor de potencia de desplazamiento definido como $\cos\phi_1$, donde ϕ_1 es el ángulo de fase entre la intensidad de frecuencia fundamental obtenida por el equipo y el componente de frecuencia fundamental de la tensión de alimentación.
- I: Intensidad [en Amperios, A]
- J: Inercia [kgm²]
- n: Velocidad de rotación [revoluciones por minuto, rpm]
- P: Potencia [en Vatios, W]
- T: Par (Newton metro, Nm)
- t: Tiempo
- THD: La Distorsión Armónica Total en la intensidad es:
- $$THD = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{40} I_k^2}}{I_1} \quad (5.1)$$
- donde I_1 es el valor efectivo de la intensidad de la frecuencia fundamental. La THD en tensión se puede calcular de forma similar.
- U: Tensión [V]
- W: Energía [en Julios, J]
- ω : Velocidad angular [radianes/segundo, 1/s]

Capítulo 6 - Índice

- A**
 - almacenamiento de energía 14, 15
- B**
 - bombas 12
- C**
 - CC común 22, 23, 25
 - centrífuga 27
 - cintas transportadoras 12
 - control de sobretensión 15
 - control directo del par 13, 20
 - cosf 7, 18, 29
 - chopper de frenado 11, 12, 15, 16, 17, 23, 24, 25, 26, 27
- D**
 - distorsión armónica 18, 29
- E**
 - en cuatro cuadrantes 5
 - en dos cuadrantes 5
 - en un cuadrante 5, 8, 21, 23
- F**
 - frenado de flujo 13, 14
 - frenado natural 10, 11, 12
 - frenado por inyección de CC 13
- G**
 - grúa 12, 27
- I**
 - IGBT 18, 19, 20, 21, 22, 24, 27, 28
 - impedancia 18, 20
 - inercia 9, 10, 25, 29
 - inversor 13, 15, 16, 19, 20, 23, 25
- P**
 - par constante 8, 12
 - par cuadrático 8, 12
 - potencia de CA 7
 - potencia de CC 7
 - potencia de frenado 7, 11, 12, 13, 15, 17, 22, 23, 26
 - punto de tiristores 17, 18, 26
- R**
 - rectificador 13, 14, 17, 22, 23
 - rozamiento 8, 9, 12
- S**
 - sobredimensionado 12
- U**
 - unidad convertidora 19, 20
- V**
 - ventiladores 12

Contacte con nosotros

Para obtener más información, póngase en contacto con su representante local de ABB o visite:

www.abb.es

www.abb.com/drivespartners

© Copyright 2014 ABB. Todos los derechos reservados.
Las especificaciones están sujetas a cambio sin previo aviso.

3BFE64455575 REV B ES 6.5.2011

Power and productivity
for a better world™





ABB Drives and Controls

Guía técnica n.º 9

Guía sobre tecnología para el control de movimiento

Guía técnica n.º 9

Guía sobre tecnología para el control de movimiento

Contenido

Capítulo 1 - Introducción	7
1.1. Control de posición frente al control de velocidad	7
1.2. Control centralizado o descentralizado	8
1.3. Comparación entre sistemas centralizados y descentralizados.....	9
1.4. Componentes funcionales principales de una máquina	9
1.5. Componentes de una máquina.....	10
Capítulo 2 - Uso combinado de motores y convertidores	11
2.1. Motores con escobillas de CC.....	11
2.2. Motores sin escobillas de CC	11
2.3. Servomotores asíncronos.....	12
2.4. Servomotores síncronos	13
Capítulo 3 - Tecnología síncrona	14
3.1. Medición del rendimiento	14
3.2. Diferencias entre los servomotores síncronos y los motores de inducción	15
Capítulo 4 - Principio de funcionamiento del servomotor síncrono.....	16
4.1. Condiciones especiales durante la puesta en marcha.....	17
4.2. Control de intensidad y velocidad tradicional.....	17
Capítulo 5 - Datos típicos de un servomotor	19
5.1. Constante de par.....	19
5.2. Fuerza contraelectromotriz.....	19
5.3. Curva de par	19
5.4. Datos típicos de un motor.....	20
Capítulo 6 - Dispositivos de realimentación	21
6.1. Resolver.....	21
6.2. Encoder incremental	22
6.3. Encoder SinCos	22
Capítulo 7 - Control de movimiento.....	24
7.1. Generalidades	24
7.2. Bloques básicos del control de movimiento	24
7.3. Fórmulas y perfiles del control de movimiento	25
7.4. Perfil del movimiento	25
7.5. Interpolador de posición	25

Capítulo 8 - Funciones de movimiento típicas	26
8.1. Posicionamiento	26
8.2. Posicionamiento absoluto	26
8.3. Posicionamiento relativo	26
8.4. Sincronización	27
8.5. Eje de inversión	28
8.6. Limitador dinámico	28
8.7. Disco de levas	28
8.8. Reconocimiento de punto cero.....	29
8.9. Correcciones cíclicas	31
8.10. Funciones de engranaje del encoder.....	32
8.11. Eje/maestro virtual	33
Capítulo 9 - Ejemplos de aplicación con control distribuido	34
9.1. Corrección cíclica en la manipulación de material.....	34
9.2. Mantener una distancia constante	35
9.3. Corte con la longitud necesaria	36
9.4. Cuchilla giratoria.....	37
9.5. Corrección cíclica en aplicaciones de embalaje	38
9.6. Cizalla volante en ángulo.....	39
9.7. Cizalla volante en paralelo	40
9.8. Torno	41
9.9. Llenado de material	42
9.10. Cortadora.....	43
9.11. Recogida y apilado	44
9.12. Automatización de almacenes	45
9.13. Bobinado	46
9.14. Embalado.....	47
Capítulo 10 - Control de movimiento – *Glosario de términos.....	48
Capítulo 11 - Índice	62

Capítulo 1 - Introducción

El objetivo de esta guía es proporcionar a los usuarios una descripción general de los convertidores de frecuencia de altas prestaciones y el control de movimiento. Aunque la información se ha redactado en un estilo sencillo para adecuarlo a la mayoría de aplicaciones, los lectores necesitan poseer conocimientos básicos de tecnología de convertidores de CA para sacar el máximo provecho al contenido de esta guía.

Al hablar de control de movimiento es importante tener en cuenta todos los elementos del sistema, incluyendo convertidores de frecuencia, motores, dispositivos de transmisión mecánica de potencia, software, etc.

Un sistema de altas prestaciones presenta una o más de las siguientes características:

- elevado rendimiento dinámico
- seguimiento de referencia con altos niveles de precisión y repetibilidad
- funciones de movimiento de alta precisión
- capacidad de accionar diferentes tipos de motores

1.1. Control de posición frente al control de velocidad

Normalmente, los convertidores de velocidad estándar controlan el motor dando una orden de velocidad. El sistema típico no incluye realimentación y la referencia de velocidad se establece mediante velocidades preajustadas con señales de 0 a 10 V, 4 a 20 mA o a través de bus de campo.

En cambio, el control de posición siempre requiere de realimentación de la posición real. Esta se compara con el valor de referencia y la diferencia se corrige continuamente mediante el generador de perfiles del regulador de movimiento.

El posicionamiento es un buen ejemplo para destacar esta diferencia. Si se utiliza un convertidor estándar para efectuar el posicionamiento, el motor normalmente funciona a alta velocidad y a continuación decelera a una velocidad baja y se detiene. De forma alternativa, el convertidor puede seguir una señal analógica. En ninguno de los casos se sigue, se compara en busca de errores o se corrige ningún perfil de referencia. El resultado es un bajo nivel de precisión.

La precisión puede mejorarse si el control se efectúa con un regulador de posición de altas prestaciones, aunque en este caso la dinámica y el tiempo de muestreo (normalmente, varios milisegundos) del convertidor estándar resultan factores limitantes.

1.2. Control centralizado o descentralizado

En un sistema con control centralizado, una unidad contiene todo el software de control y los convertidores se limitan a seguir el valor de referencia. De este modo, el convertidor de frecuencia no contiene ningún sistema inteligente.

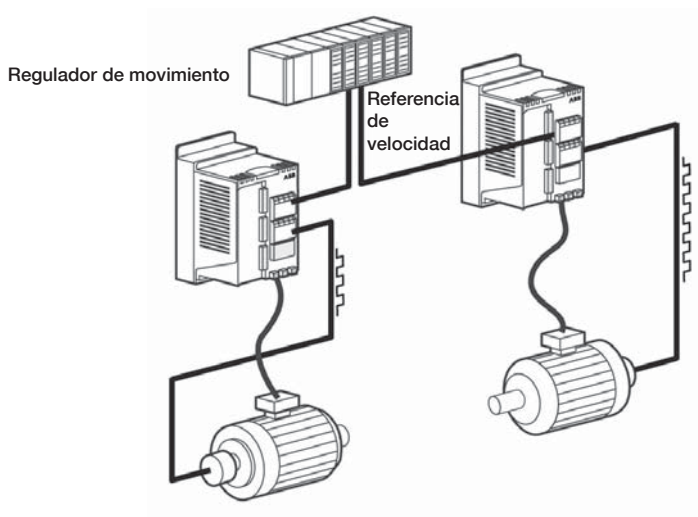


Figura 1.1 Sistema centralizado simplificado

En un sistema descentralizado, los dispositivos de campo también contienen sistemas inteligentes. Esto significa que el coste de la unidad de control se reduce puesto que no se requiere un nivel de rendimiento centralizado tan elevado.

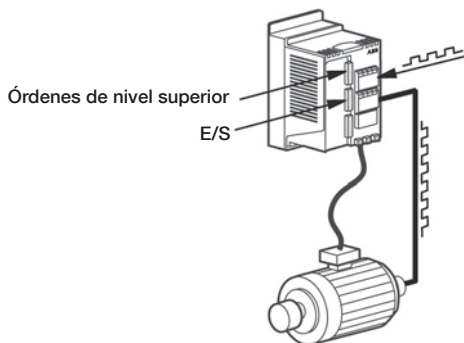


Figura 1.2 Sistema descentralizado simplificado

1.3. Comparación entre sistemas centralizados y descentralizados

Característica	Descentralizado	Centralizado	Ventajas del control descentralizado
Número de hilos de control	Bajo	Alto	Menos cableado – menor coste Menos posibilidades de fallos en los hilos
Armario	Menos componentes, menor tamaño	Más componentes instalados	Ahorro de costes de material y mano de obra
Plataforma de automatización (PLC)	Control distribuido	Control total, costes de hardware adicionales	Ahorro de costes de hardware en el PLC
Niveles de temporización	Bucle de movimiento cerrado en el convertidor*	Bucle de movimiento cerrado en el regulador	Buena relación coste / rendimiento
Comunicación entre convertidores	La rápida comunicación entre convertidores mejora la comunicación	No utilizado	Menos hardware

*Esto significa que la realimentación está conectada directamente al convertidor de frecuencia. De este modo, no se encuentra conectada al PLC o regulador de movimiento para realizar cálculos que podrían provocar retardos.

Para más información sobre control de movimiento, véase el capítulo 7.

1.4. Componentes funcionales principales de una máquina

Las máquinas que utilizan control de movimiento y/o convertidores de frecuencia de altas prestaciones están formadas por los siguientes elementos, que ejercen una influencia decisiva en el rendimiento del sistema:

- Hardware de control de movimiento: controla el funcionamiento del sistema y puede ser de tipo centralizado o descentralizado
- Software de control de movimiento: determina las funciones de la máquina recogiendo datos de entrada y gestionándolos según las instrucciones configuradas en el código del software
- Convertidor de frecuencia o amplificador: recibe órdenes del software de control de movimiento
- Motor: proporciona energía mecánica con la velocidad y el par requeridos para accionar la carga de una manera determinada
- Componentes de transmisión mecánica de potencia: correas, multiplicadoras, embragues, husillos de bolas, etc.

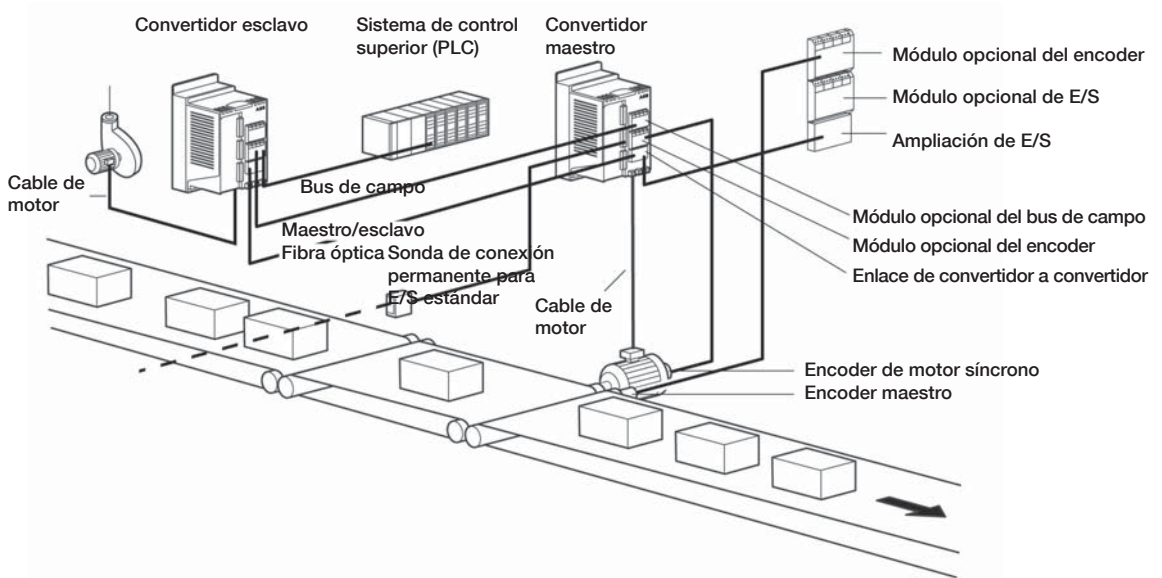


Figure 1.3 Mantenimiento de una distancia de separación constante

1.5. Componentes de una máquina

La Figura 1.3 muestra una configuración básica. La distancia de separación entre cajas en la cinta transportadora varía y el objetivo del software de control de movimiento es acelerar o decelerar la cinta y espaciar las cajas de forma uniforme.

Componentes principales:

- Convertidores de frecuencia y cables (potencia, realimentación y control)
- Control superior mediante PLC
- Encoder del motor para supervisar el control de motor en bucle cerrado y la información de posición para la corrección cíclica
- Encoder maestro que proporciona la referencia de velocidad de la línea de producción
- Cable de fibra óptica para la comunicación entre convertidores
- Bus de campo, encoder y enlace de convertidor a convertidor
- Sensor que envía información de paro/marcha de 24 V al convertidor de frecuencia
- Encoder síncrono

Capítulo 2 - Uso combinado de motores y convertidores

El convertidor de frecuencia y el motor normalmente se suministran como un paquete que se adapta a la aplicación. En este capítulo se describen el convertidor principal, los tipos de motor y sus características.

2.1. Motor con escobillas de CC

El principio básico es el mismo que el de los convertidores de CC industriales de gran potencia; la principal diferencia se halla en la ausencia de circuito de magnetización. En su lugar, el motor dispone de imanes permanentes en el estátor. Unas escobillas y un colector suministran la tensión y la intensidad al rotor.

Normalmente no resulta posible utilizar la tensión de alimentación. En su lugar se emplea un transformador para reducir la tensión. Algunos convertidores contienen un circuito rectificador, mientras que otros precisan un rectificador de tensión externo.

La electrónica es relativamente sencilla y sólo se requiere realimentación de velocidad para el regulador de velocidad. Los convertidores combinados con motores con escobillas de CC pertenecen al reducido grupo de plataformas de control que realmente usan un tacómetro como dispositivo de realimentación para la referencia de velocidad.

Cuando se emplea este tipo de combinación de motor y convertidor para el control de movimiento, el eje del motor suele incluir un encoder. El envío de pulsos al regulador de movimiento permite calcular la posición.

La ventaja de la tecnología con escobillas es un regulador sencillo y de bajo coste. Como contrapartida, el colector y las escobillas son elementos mecánicos y tienen una vida útil limitada. Esto es de especial relevancia en aplicaciones donde el motor siempre se detiene en la misma posición y el colector se calienta en un lugar concreto, lo que provoca una reducción adicional de su vida útil.

Los principales fabricantes industriales especializados en convertidores de frecuencia han dejado de emplear esta tecnología. Normalmente, este tipo de productos se basan en plataformas analógicas antiguas.

2.2. Motor sin escobillas de CC

El circuito de potencia de un servoconvertidor con motor sin escobillas de CC es similar al de un convertidor de frecuencia de CA. La corriente de entrada es rectificadora y filtrada por un puente

de diodos asociado a un condensador del bus de CC. La unidad inversora está formada por seis dispositivos de potencia.

Sin embargo, en un convertidor con motor sin escobillas de CC la tensión de salida no está modulada para crear una corriente senoidal, a diferencia de los convertidores de CA. En su lugar se utilizan seis posibles combinaciones de conmutación para formar un diagrama vectorial trapezoidal. Normalmente, los sensores de efecto Hall (dispositivo que mide el campo magnético y se usa para identificar la posición del rotor) y el generador tacométrico proporcionan la realimentación al regulador de velocidad.

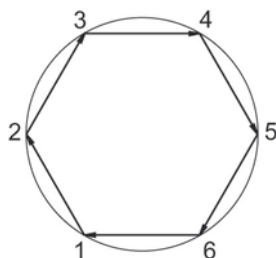


Figura 2.1 Vectores de tensión giratorios con control trapezoidal

En los convertidores de CA, la fuerza contraelectromotriz tiende a ser senoidal, mientras que los servomotores sin escobillas de CC presentan una fuerza contraelectromotriz trapezoidal.

El algoritmo de control de los servomotores sin escobillas de CC no necesita tanta capacidad de computación como en un convertidor senoidal. El tacómetro también proporciona una entrada rápida de datos al regulador de velocidad.

Sin embargo, la aparición de nuevos procesadores más rápidos y potentes a un precio razonable ha permitido el desarrollo de convertidores de frecuencia de muy altas prestaciones con salida senoidal.

El principal problema del control trapezoidal es la fluctuación del par, especialmente a velocidades reducidas. Existen maneras de mejorar su rendimiento pero parece que esta tecnología está desapareciendo del mercado actual.

2.3. Servomotores asíncronos

La magnitud de fuerzas de deslizamiento y el suministro de intensidad al rotor determinan el par del motor. Los motores de este tipo están equipados con un rotor ligero y de diámetro reducido para minimizar su inercia. Esto significa que su inercia, que es inversamente proporcional a la aceleración, resulta inferior a la de los motores de inducción, aunque superior a la de los servomotores de imanes permanentes.

Los métodos de control más adecuados son el control vectorial en bucle cerrado o el control DTC. Este método proporciona un rendimiento equivalente al de los convertidores de frecuencia con servomotores asíncronos. El motor representa el principal factor limitante en este tipo de sistemas.

A menudo, este convertidor de frecuencia es conocido como servoconvertidor debido a la naturaleza del motor y al empleo de un control en bucle cerrado para motores de inducción de CA estándar.

No obstante, siempre requieren de realimentación mediante encoder incremental, resolver o encoder SinCos.

2.4. Servomotores síncronos

Con frecuencia se denomina a este tipo de motores como servomotores sin escobillas de CA. Los servomotores síncronos contienen un rotor con imanes permanentes y un estátor para la alimentación trifásica. El rotor posee una inercia muy baja y puede alcanzar un rendimiento dinámico de gran velocidad. El funcionamiento del motor es síncrono y el dispositivo de realimentación debe ser capaz de proporcionar información sobre la posición y la velocidad de manera continua al amplificador.

En el capítulo 3, página 15, se explica detalladamente el funcionamiento del servomotor síncrono de CA.

Capítulo 3 - Tecnología síncrona

El convertidor de frecuencia o amplificador proporciona una salida senoidal modulada a partir de la tensión del bus de CC (se usa un modulador tradicional o un método avanzado como el DTC). Esto hace que el circuito de potencia sea idéntico al de un convertidor de frecuencia tradicional. Gracias al uso de motores de imanes permanentes, el algoritmo básico sólo necesita producir intensidad para el par, por lo que no es necesario producir corriente de magnetización.

Los servomotores, del mismo modo que los motores de inducción, se fabrican con diferente número de polos. Tomando como ejemplo un motor de 6 polos, la placa de características indica una velocidad nominal de 940 rpm (inducción estándar), por lo tanto la velocidad síncrona es 1000 rpm. Esto se logra con una frecuencia de entrada de 50 Hz y a velocidades elevadas, cuando el motor funciona en su área de debilitamiento de campo. La explicación se ha simplificado ligeramente, puesto que algunos servomotores asíncronos están diseñados para funcionar con puntos de inicio de debilitamiento de campo diferentes de 50 Hz.

Los motores síncronos usan formas de onda senoidales y un par constante hasta alcanzar su velocidad nominal, pero de tal manera que la frecuencia a velocidad nominal es, por ejemplo, 150 Hz para el motor a 3000 rpm de velocidad nominal (bobinado de seis polos).

3.1. Medición del rendimiento

El principal indicador de rendimiento es el ancho de banda de los diferentes bucles de control.

Un buen bucle de control de velocidad normalmente tiene un ancho de banda de 100 Hz y un bucle de par tiene un ancho de banda de 800 Hz.

Un aumento de la frecuencia provocará que el amplificador tienda a perder su capacidad de respuesta. Normalmente, el ancho de banda se mide hasta el nivel en el que la salida es 3 dB inferior al nivel de referencia. El ancho de banda de una señal es una medida de su rapidez de oscilación respecto al tiempo. Por lo tanto, cuanto mayor sea el ancho de banda, más rápida puede ser la variación de la señal.

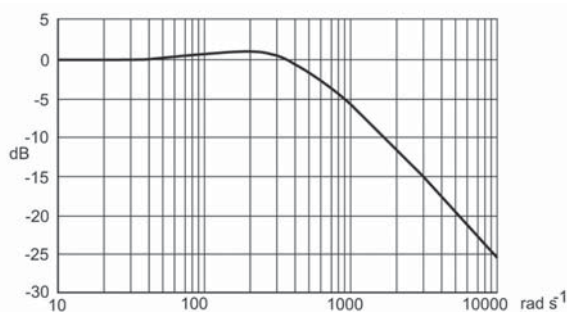


Figura 3.1 Variación de la respuesta del amplificador en función de la frecuencia

El otro problema es el retardo de fase en el circuito amplificador. A medida que aumenta la frecuencia, los amplificadores tienden a perder la fase original.

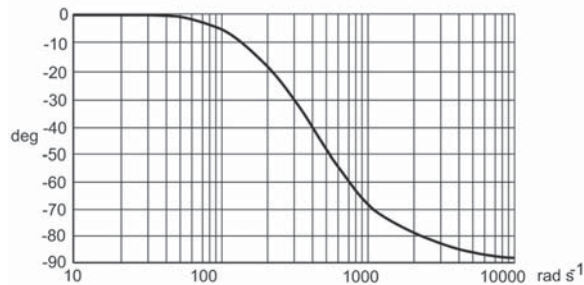


Figura 3.2 Retardo de la fase del amplificador en función de la frecuencia

3.2. Diferencias entre los servomotores síncronos y los motores de inducción

La principal diferencia entre los servomotores síncronos y los motores de inducción reside en el comportamiento del eje del motor. En los servomotores síncronos la masa y el diámetro del rotor se reducen al mínimo, lo que resulta en una baja inercia y que por lo tanto el rotor no necesite tanto par para acelerar. La mayor parte del par producido puede usarse para accionar la carga.

Las características típicas de los servomotores síncronos son:

- La eficiencia del motor es normalmente superior al 95% a potencia máxima.
- El motor tiene una densidad de potencia alta; no hay presencia de intensidad en el rotor y por lo tanto no aumenta su temperatura.
- El motor puede funcionar con grandes incrementos de temperatura, por ejemplo, a 40 °C de temperatura ambiente se permite un aumento/clase de temperatura de H = 125 °C.
- El grado de protección típico es IP65, comparado con el grado de protección IP54 de los motores de inducción estándar.
- Los motores de inducción de CA estándar tienen un coste bajo. Sin embargo, para prestaciones superiores, es necesario emplear dispositivos de realimentación adicionales que pueden ser costosos.
- Otros costes a tener en cuenta son los encoders y los ventiladores, lo que hace que los servomotores asíncronos resulten una elección más atractiva.
- La capacidad de sobrecarga con par elevado depende del diseño básico del motor y de sus componentes magnéticos. Normalmente, los servomotores síncronos pueden superar hasta 2-5 veces, o más, el valor de sobrecarga durante periodos cortos.
- Como dispositivos de realimentación se pueden usar resolvers, encoders incrementales con canales de conmutación o varios tipos de encoders SinCos. También hay disponibles sistemas con realimentación completamente digitales.
- Los avances más recientes en tecnología de convertidores de frecuencia y sistemas de control de movimiento, junto con el bajo coste de los componentes magnéticos, han aumentado rápidamente el mercado y el número de aplicaciones para servomotores síncronos.

Capítulo 4 - Principio de funcionamiento del servomotor síncrono

Los servomotores síncronos no tienen colector ni escobillas. El convertidor de frecuencia (amplificador) mantiene una correcta distribución de corriente con los ángulos vectoriales y la velocidad angular adecuados.

El rotor del servomotor síncrono no es simétrico pero está dotado de polaridad magnética. El estátor proporciona la corriente senoidal trifásica. La corriente del estátor forma el vector de flujo compuesto.

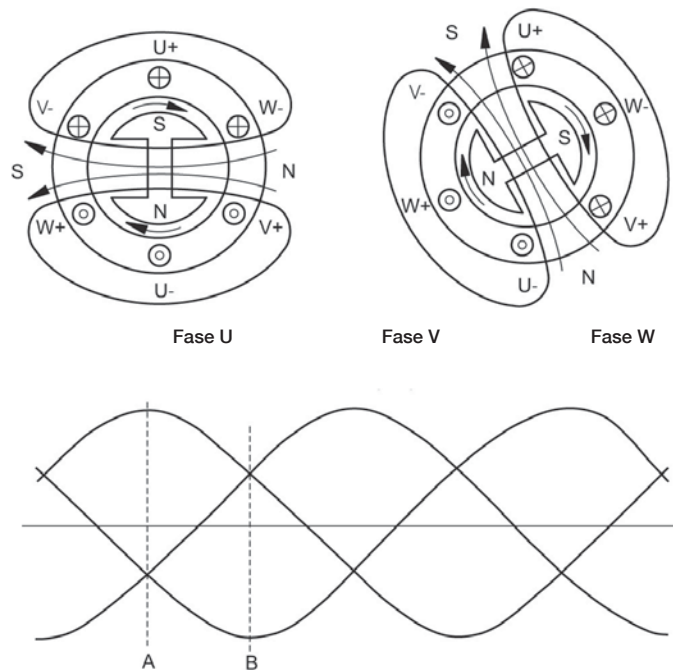


Figura 4.1 Campos magnéticos en dos posiciones

El flujo generado por los imanes permanentes y el flujo generado por las corrientes presentes en el estátor deben estar en oposición exacta para maximizar las fuerzas de atracción y repulsión de los campos magnéticos.

Estas son las fuerzas que producen el par y provocan el giro del eje del motor. Esta operación requiere de un dispositivo de realimentación que mida la posición angular del eje en todo momento, permitiendo al amplificador ajustar la salida senoidal con los ángulos correctos.

4.1. Condiciones especiales durante la puesta en marcha

En ocasiones, los motores nuevos pueden presentar una diferencia entre la posición real del rotor y la proporcionada por el dispositivo de realimentación. Es necesario corregir esta diferencia, de lo contrario la imprecisión de la realimentación provocaría que el motor no fuese capaz de generar el máximo par ni obtener un rendimiento óptimo.

El error de fase puede solucionarse de varias maneras:

Puesta en marcha inicial:

- El convertidor de frecuencia dispone de software de análisis de error de fase que identifica el error durante la puesta en marcha y usa su algoritmo de control para compensarlo.
- La información del fabricante del motor sobre el error se introduce como un parámetro en el convertidor de frecuencia. Esto es importante cuando se instala un motor de recambio y resulta difícil llevar a cabo una prueba sin carga.
- Algunos fabricantes de motores integran un error de fase cero durante la fabricación; esta es la opción más conveniente ya que evita las tareas indicadas anteriormente.

Puesta en marcha tras interrupción de la alimentación:

- Al restablecerse el suministro, únicamente se conocerá la posición del rotor si el dispositivo de realimentación (como pueden ser resolvers y algunos encoders SinCos con bus de comunicaciones) es capaz de proporcionar la posición absoluta en una revolución.
- No obstante, si se utiliza un encoder incremental será necesario disponer de canales de conmutación. Durante la puesta en marcha se utiliza el control trapezoidal para controlar el motor, siempre que se identifique la posición mediante las señales de conmutación. Véase también el Capítulo 6, página 21, para más información sobre dispositivos de realimentación.

4.2. Control de intensidad y velocidad tradicional

La Figura 4.2 muestra el principio básico del control de intensidad y velocidad.

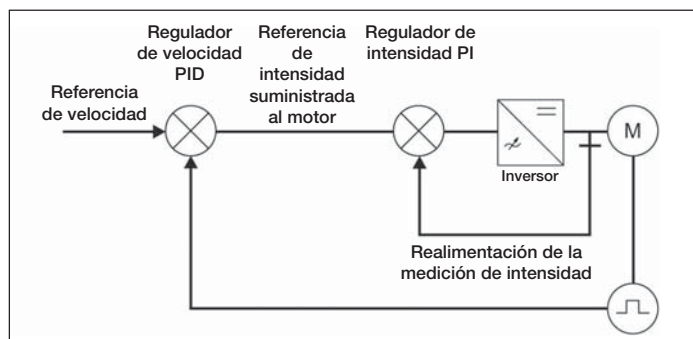


Figura 4.2 Bucle de control de intensidad y velocidad

La función del servoconvertidor o amplificador es garantizar que el par y la velocidad del motor siguen el valor de referencia. La realimentación del motor proporciona la velocidad real al regulador de velocidad. El regulador de velocidad es normalmente un regulador PID que compara las señales de realimentación con la referencia.

La señal de error se envía al regulador de intensidad. El regulador de intensidad, normalmente un amplificador PI, ajusta el valor correcto de intensidad de manera que siempre esté disponible el par adecuado para mantener la velocidad y el nivel de referencia.

Capítulo 5 - Datos típicos de los servomotores

5.1. Constante de par

La constante de par es una medida importante que se proporciona al servomotor síncrono. Se expresa en N·m/A y determina la cantidad de par generado por amperio.

5.2. Fuerza contraelectromotriz

El motor de imanes permanentes actúa como un generador y produce una tensión contraelectromotriz que está relacionada con la velocidad angular. La fuerza contraelectromotriz tiene sentido opuesto a la tensión de alimentación y es directamente proporcional a la velocidad angular.

La constante de tensión se denomina K_e y normalmente se expresa en V/1000 rpm (valor RMS de la tensión).

5.3. Curva de par



Figura 5.1 Curvas de par de un servomotor síncrono

La imagen muestra la curva de par típica de un servomotor síncrono. Está formada por una curva de par continuo y una curva de sobrecarga para periodos de corta duración. Los valores típicos que forman parte de los datos del motor son:

- T de bloqueo, que es el par nominal a velocidad cero.
- T nominal, que es el par nominal a velocidad nominal.
- T pico, que es el par máximo y que normalmente equivale a entre 2 y 5 veces el par nominal.

Los servomotores síncronos normalmente se seleccionan para que la velocidad de funcionamiento máxima sea aproximadamente la velocidad nominal. La fuerza contraelectromotriz constituye un factor limitante importante.

Cuando aumenta la velocidad también lo hace la fuerza contraelectromotriz. Esto significa que existe un límite en el que la fuerza contraelectromotriz sería igual o superior a la tensión de salida máxima del convertidor de frecuencia.

Normalmente, los servomotores síncronos funcionan a una tensión mucho más baja que la tensión de salida máxima del convertidor de frecuencia. Por ejemplo, el bus de CC del convertidor puede funcionar a 560 V y el motor a 300 V nominales. El motivo es que el motor debe ser capaz de recuperarse de los picos de carga rápidamente.

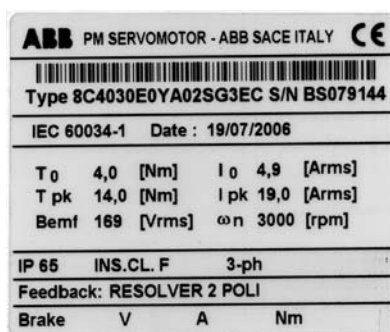
Por otra parte, existen soluciones técnicas que hacen posible que los motores síncronos funcionen en el área de debilitamiento de campo.

Esto significa que el motor necesita un aporte mayor de intensidad a los bobinados. Para ello es necesario aumentar la tensión, y por lo tanto debe existir cierto margen entre la tensión máxima y la nominal. Asimismo, esta es la razón por la que el par de salida máximo empieza a disminuir cuando la velocidad se aproxima a la velocidad nominal.

Los servomotores síncronos normalmente no vienen equipados con un ventilador de refrigeración. Algunos proveedores los ofrecen opcionalmente. Esto permite aumentar el par nominal y, en consecuencia, el par RMS pero no el par máximo.

5.4. Datos típicos de un motor

En este apartado se hace un resumen de los valores nominales típicos y otros datos relevantes de los motores. Los valores de referencia indicados corresponden a servomotores de la serie 8C de ABB.



Tipo	Par continuo a velocidad cero M_0 [N·m] (3)	Intensidad con par continuo I_0 [A] (1) (2) (3)	Par nominal M_N [N·m] (3)	Intensidad nominal I_N [A] (1) (2) (3)	Velocidad nominal n_N [revi/min]	Potencia nominal mecánica P_N [kW] (3)	Par máximo M_{max}	Intensidad con par máximo I_{max} [A] (1)	Límite de intensidad del motor I_{limit} [A]
8C1.1.30	1,3	2,1	1,2	2	3000	0,38	4,6	8,1	13,8

Tipo	Constante de par K_{t0} [N·m/A] (1) (2) (3)	Fuerza contraelectromotriz entre fases a vel. nominal V [V] (1) (2) (3)	Resistencia en los terminales R_{UV} [W] (1) (3)	Inductancia en los terminales L_{UV} [mH] (4)	Momento de inercia del rotor J_m [revi/min]	Peso m [kg]	Curvas (5)
8C1.1.30	1,05	190	20,8	47	0,9	3,1	501000

Capítulo 6 - Dispositivos de realimentación

Los convertidores de frecuencia de altas prestaciones a menudo usan dispositivos de realimentación giratorios que proporcionan:

- realimentación de la velocidad al regulador de velocidad del amplificador
- información sobre la posición a un regulador de posición interno/externo
- la posición del eje al amplificador
- información de la posición cuando actúan como un segundo encoder
- la posición absoluta tras una interrupción de alimentación

6.1. Resolver

Un resolver es un transformador giratorio. El tipo más común es el resolver sin escobillas.

El resolver se compone de tres bobinados. La señal de referencia, por ejemplo una onda senoidal de 8 kHz, se conecta a la parte giratoria del dispositivo a través de un transformador. Esto permite que la bobina que porta la referencia gire a la misma velocidad que el eje.

Hay otras dos bobinas dispuestas con un ángulo de desfase de 90 grados. La bobina giratoria induce una tensión en estas bobinas. Las señales de salida se envían al amplificador y permiten determinar la velocidad y la posición del rotor.

Frecuentemente las señales del resolver se convierten en un tren de pulsos para un regulador de movimiento externo. En otras palabras, hay una salida que emula los canales A y B del encoder y los pulsos Z. Puede consultar también la información sobre encoders.

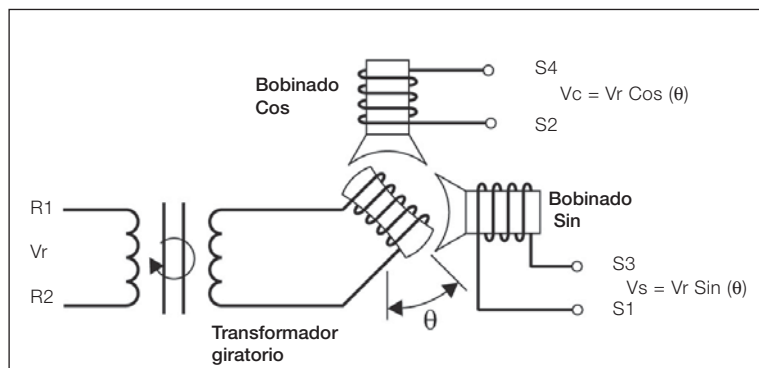


Figura 6.1 Principio de funcionamiento de un resolver

6.2. Encoder incremental

Es uso de encoders incrementales está muy extendido en diversas aplicaciones en edificios y máquinas.

El funcionamiento básico se fundamenta en una fuente de luz, un disco y una célula fotoeléctrica (sensor). El disco se instala entre la fuente de luz y el sensor. Este dispone de una malla muy fina que hace visible u oculta la luz al sensor. La salida del sensor se digitaliza para formar un pulso cuadrado cuando la luz es visible. Cuando el disco gira, el sensor produce un tren de pulsos. La frecuencia del tren de pulsos está relacionada con la velocidad del eje y el receptor puede de este modo calcularla.

Existen diversas especificaciones para encoders, pero en el caso de control de movimiento la configuración más extendida consta de dos canales más un canal de cero. Normalmente cada canal es de tipo diferencial de modo que la salida es A, A inversa, B, B inversa, Z y Z inversa.

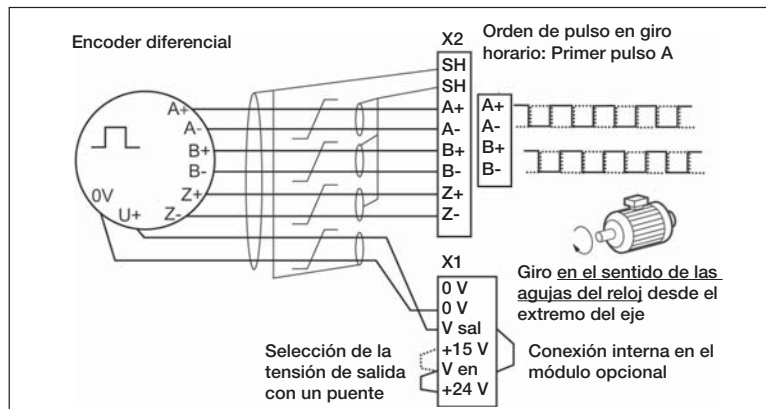


Figura 6.2 Circuitos y cables típicos

6.3. Encoder SinCos

Los encoders SinCos funcionan de una manera similar a los encoders incrementales. Normalmente disponen de tres canales: A, B y Z. Mientras que la salida de un encoder incremental se digitaliza formando una onda cuadrada, la salida del encoder SinCos es un número que representa las ondas senoidal y cosenoidal completas. El número de ciclos puede ser, por ejemplo, 1024 ciclos completos, a menudo también llamados "incrementos". El circuito receptor del convertidor de frecuencia calcula los incrementos y efectúa una interpolación entre estas señales para mejorar la resolución. La interpolación depende del tiempo de muestreo del convertidor de frecuencia. Por ejemplo, si el tiempo de muestreo es 250 μ s, se tomará una muestra del seno y del coseno cada 250 μ s. Cuanto menor sea velocidad, mayor será la resolución que puede alcanzarse, y viceversa. Desde un punto de vista matemático, el ángulo es una arcotangente ($\sin\alpha/\cos\alpha$).

Normalmente, las salidas de hardware del convertidor de frecuencia proporcionan una señal cuadrada de señales seno/coseno, y el cálculo se realiza a partir de la visualización de una entrada de tren de pulsos. También pueden utilizarse los flancos ascendentes y descendentes de ambos canales, proporcionando cuatro señales por ciclo. El resultado es un número de señales cuatro veces superior al número de ciclos especificado en los datos del encoder.

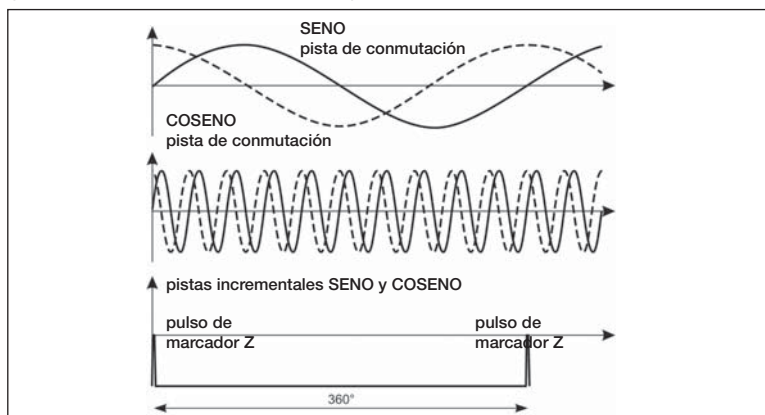


Figura 6.3 Salida de un encoder SinCos con canal de conmutación

Durante la puesta en marcha también resulta necesario conocer la posición absoluta del rotor. Esta puede establecerse usando un enlace de datos (véase el próximo capítulo) o mediante un canal senoidal/cosenoidal adicional. Este canal proporciona un ciclo de seno y coseno completo por cada revolución, haciendo posible la determinación de la posición del rotor. La posición del pulso Z puede comprobarse garantizando que el pulso Z es “alto” cuando los canales de seno y coseno muestran la posición cero.

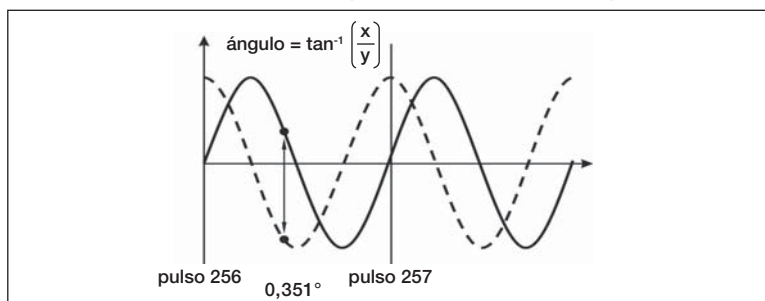


Figura 6.4 Interpolación dentro de un ciclo en un encoder SinCos (1024 ciclos por revolución)

Los encoders SinCos también están disponibles con un bus de datos que puede proporcionar la posición absoluta después de desconectar la alimentación; un requisito habitual en las aplicaciones actuales. Esto elimina la necesidad de ejecutar rutinas de reconocimiento del punto cero de la máquina tras la desconexión de la alimentación. El resultado es un diseño de la máquina más sencillo y un aumento del tiempo de actividad. Los datos de posición absoluta también se usan durante la puesta en marcha para identificar la posición del rotor.

Capítulo 7 - Control de movimiento

7.1. Generalidades

El control de posición cubre una amplia variedad de funciones diferentes. Este capítulo describe los aspectos básicos del control de velocidad y de movimiento, así como sus diferencias funcionales.

7.2. Bloques básicos de control de movimiento

Los convertidores de frecuencia con control de velocidad efectúan los cambios de velocidad por pasos y por ello la respuesta no es demasiado rápida. Las órdenes de referencia de velocidad se proporcionan a ciertos niveles y el convertidor a menudo cuenta con su propia rampa para desplazarse entre estos niveles. El convertidor de frecuencia no sigue el comportamiento de una referencia que cambia continuamente.

En cambio, el control de posición actúa de manera diferente. El motor sigue una referencia que cambia continuamente. Esta referencia se crea en un generador de perfiles y este perfil se compara con la realimentación. El amplificador P compara las señales y envía la referencia al regulador de velocidad.

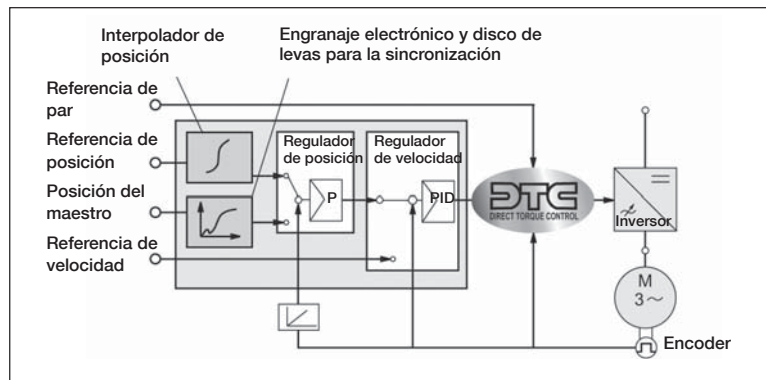


Figura 7.1 Bucle de control de posición

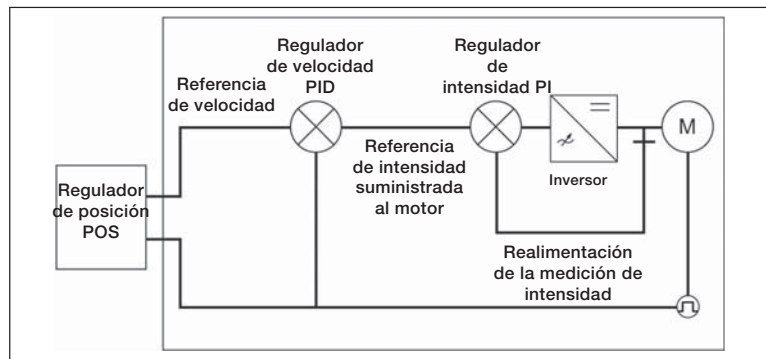


Figure 7.2 Control de intensidad, velocidad y posición

7.3. Fórmulas y perfiles del control de movimiento

Las fórmulas siguientes representan los parámetros de movimiento principales.

Distancia (θ) = velocidad x tiempo
 $= \int v \cdot dt$ (integral de velocidad x tiempo)

Velocidad (v) = distancia/tiempo
 $= d\theta/dt$ (tasa de cambio de la distancia)
 $= \int \alpha \cdot dt$ (integral de aceleración x tiempo)

Aceleración (α) = velocidad/tiempo
 $= dv/dt$ (tasa de cambio de la velocidad)
 $= \int \gamma \cdot dt$ (integral de sobreaceleración x tiempo)

Sobreaceleración (γ) = aceleración/tiempo
 $= d\alpha/dt$ (tasa de cambio de la aceleración)

7.4. Perfil del movimiento

La ilustración muestra el modo en el que la posición avanza con respecto a un objetivo establecido. También muestra el perfil de velocidad y las tasas de aceleración y deceleración correspondientes.

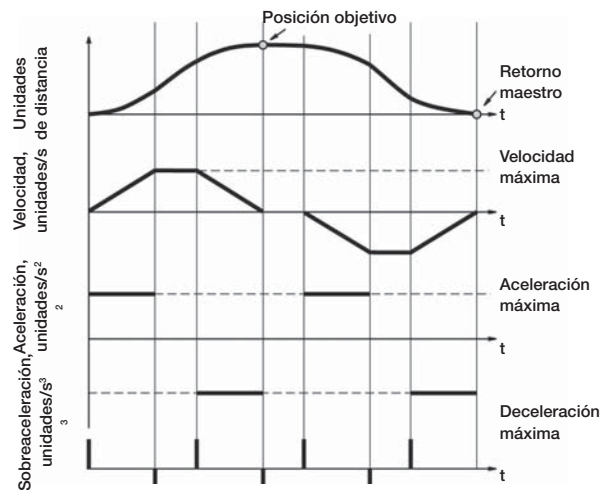


Figura 7.3 Referencias del perfil de movimiento para el posicionamiento

7.5. Interpolador de posición

El interpolador de posición calcula la velocidad desde la que el convertidor de frecuencia puede decelerar hasta detenerse dentro de la distancia objetivo utilizando la referencia de deceleración definida. La velocidad calculada se utiliza para generar una referencia de posición optimizada que guía el convertidor hasta su posición objetivo. La ilustración anterior muestra el modo en el que el interpolador de posición genera una referencia de posición.

Los parámetros típicos que el usuario configura son:

- Aceleración
- Velocidad de marcha
- Deceleración
- Posición objetivo

Capítulo 8 - Funciones de movimiento típicas

8.1. Posicionamiento

El posicionamiento es una de las funciones de movimiento que se usan con mayor frecuencia. Esta función se utiliza al desplazar material desde un punto A a un punto B a lo largo de un recorrido predefinido, para pasar a continuación al punto C y así sucesivamente.

El posicionamiento también puede dividirse en posicionamiento lineal y giratorio. El posicionamiento giratorio es aquel donde se calcula la posición en el intervalo de una revolución.

El posicionamiento lineal se usa para el movimiento lineal. Los dos tipos de posicionamiento más importantes son el posicionamiento absoluto y el relativo.

8.2. Posicionamiento absoluto

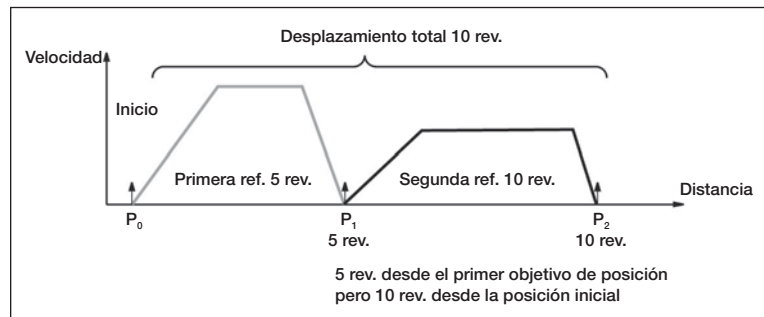


Figura 8.1 Posicionamiento absoluto

8.3. Posicionamiento relativo

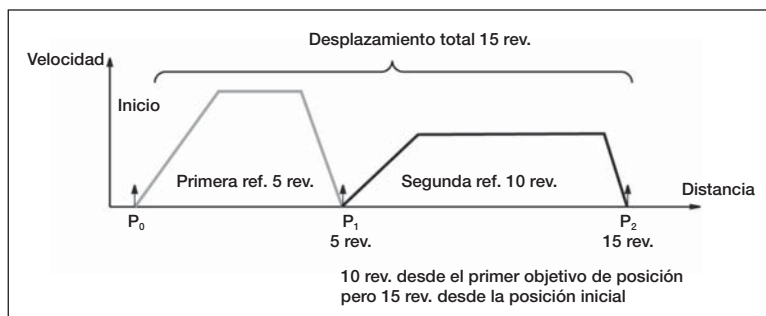


Figura 8.2 Posicionamiento relativo

8.4. Sincronización

La sincronización significa que un convertidor de frecuencia esclavo lee la referencia de posición y de velocidad de un encoder externo o de otros convertidores. Normalmente, la relación de engranajes puede ajustarse para adecuarse a la aplicación. La sincronización puede ser absoluta o relativa y funciona con ejes lineales y de inversión.

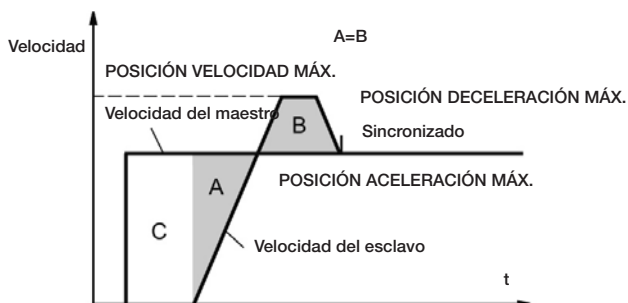


Figura 8.3 Sincronización relativa

Eje lineal (Figura 8.3), sincronización relativa: el convertidor de frecuencia esclavo empieza a acelerar y continúa aumentando la velocidad para alcanzar la velocidad del maestro. Cuando las áreas A y B son iguales, el esclavo ha alcanzado al maestro.

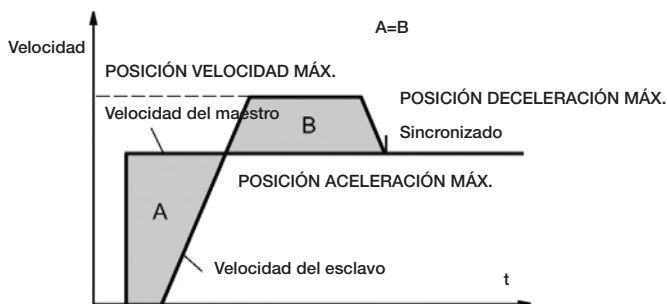


Figura 8.4 Sincronización absoluta

Eje lineal, sincronización absoluta: en este caso, la referencia es la distancia de desplazamiento total que el convertidor de frecuencia maestro debe completar. El convertidor de frecuencia esclavo funcionará a una velocidad superior durante el tiempo necesario hasta alcanzar la posición del convertidor maestro.

8.5. Eje de inversión

El modo eje de inversión es aquel en que sólo se calcula una revolución y a continuación se inicia de nuevo todo el proceso.

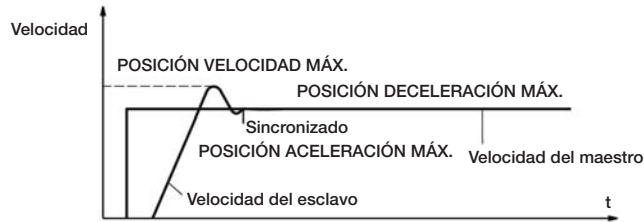


Figura 8.5 Sincronización de inversión

La ilustración muestra cómo el convertidor de frecuencia esclavo alcanza la posición del convertidor maestro.

8.6. Limitador dinámico

La imagen muestra una situación donde la velocidad del maestro es tan alta que se genera un error de sincronización entre los convertidores de frecuencia maestro y esclavo. En este ejemplo, el error se corrige con un orden de paro. Un limitador dinámico controla la velocidad del esclavo hasta que se alcanza la velocidad de posicionamiento y el esclavo se desplaza a la posición que debería tener según los ajustes de los parámetros.

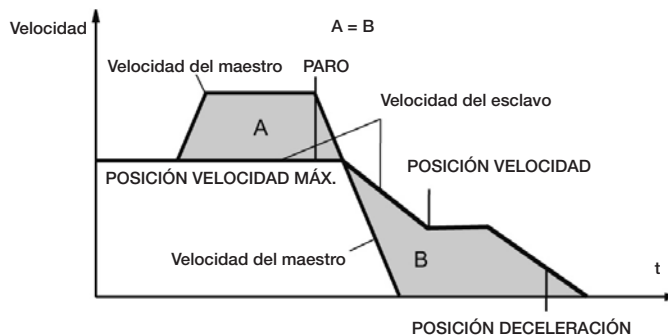


Figura 8.6 Limitador dinámico que controla la velocidad del esclavo

8.7. Disco de levas

Las funciones de las levas se llevaban a cabo en el pasado mediante medios mecánicos. Tradicionalmente, este método incorpora una herramienta asimétrica giratoria que hace de referencia para otra herramienta.

Este tipo de sistema no es muy flexible y contiene elementos mecánicos que pierden precisión a medida que se desgastan. En la mayoría de casos estos sistemas mecánicos pueden sustituirse por sistemas de levas eléctricos. El perfil de levas se crea en una tabla de levas donde el usuario introduce los valores.

Cada posición del maestro tiene su correspondiente posición del esclavo.
 La función de las levas es muy útil en aplicaciones como las cizallas volantes.

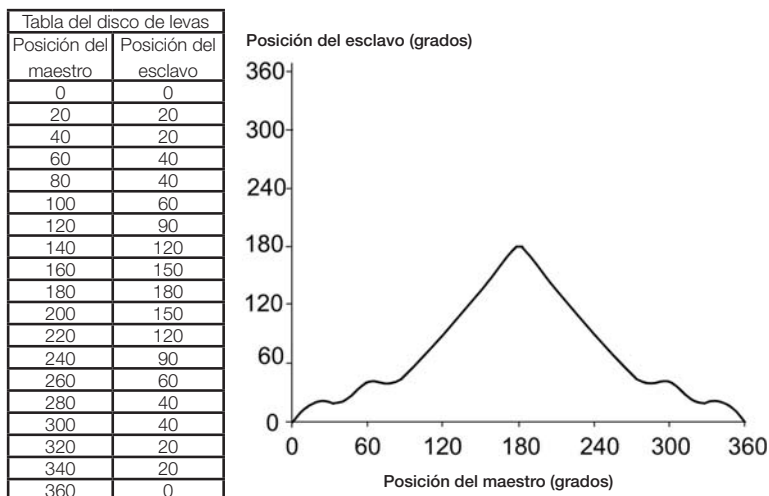


Figura 8.7 Valores de la tabla del disco de levas frente al perfil de las levas

8.8. Punto cero de máquina (homing)

El reconocimiento del punto cero o homing es necesario durante la puesta en marcha y en caso de pérdida de la posición debido a un corte de alimentación del sistema. Si se utiliza un encoder absoluto, la posición real se recupera tan pronto como se restablezca la alimentación. Una solución a este problema es usar una fuente de alimentación auxiliar (normalmente de 24 V).

No importa el tipo de sistema, la posición de inicio debe determinarse en la puesta en marcha. A continuación se comentan las aplicaciones sin encoder absoluto y se explican algunas rutinas de reconocimiento del punto cero de la máquina típicas.

Cuando sólo se dispone de interruptores de final de carrera para ir al punto cero de la máquina, el software comprueba el estado del interruptor. Si el interruptor está activado la carga debe moverse hacia una velocidad positiva hasta que el interruptor se desactive, que es cuando la carga se encuentra en la posición de inicio.

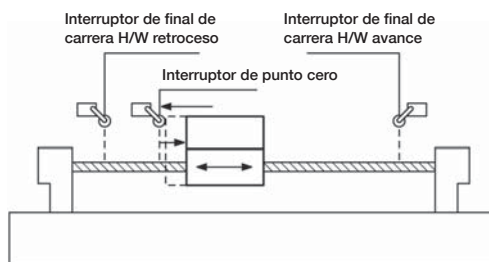


Figura 8.8 Se inicia el homing con el interruptor de punto cero activado

Del mismo modo, si el interruptor está desactivado la carga debe desplazarse a una dirección negativa hasta que el interruptor se active y a continuación desplazarse ligeramente de vuelta hasta que el interruptor se desactive de nuevo.

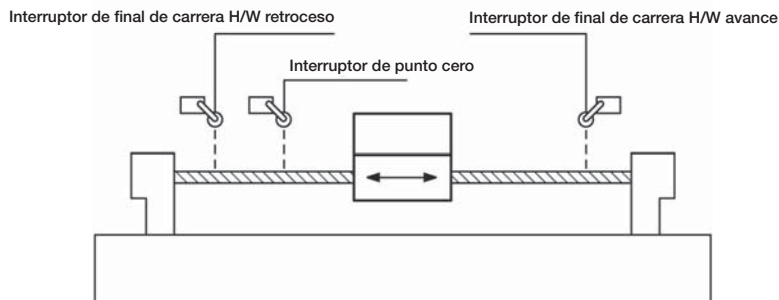


Figura 8.9 Se inicia el homing con el interruptor de punto cero desactivado

El mejor resultado, es decir la máxima precisión, pueden alcanzarse usando la función de fijación previa y de pulso cero. Este proceso funciona de la manera siguiente:

- Durante la puesta en marcha se conoce o se ajusta la posición absoluta del pulso cero.
- La distancia entre el interruptor de proximidad y el pulso cero debe situarse dentro del intervalo de una revolución.
- Tan pronto como el interruptor de proximidad se activa, el software empieza a buscar una señal de pulso cero y se detiene en el pulso cero o a una determinada distancia de este. La idea es que el interruptor mecánico podría ser impreciso debido, por ejemplo, a los esfuerzos mecánicos, proporcionando por lo tanto una información aproximada sobre la posición. En consecuencia, el pulso cero resulta muy preciso y no presenta desviación.

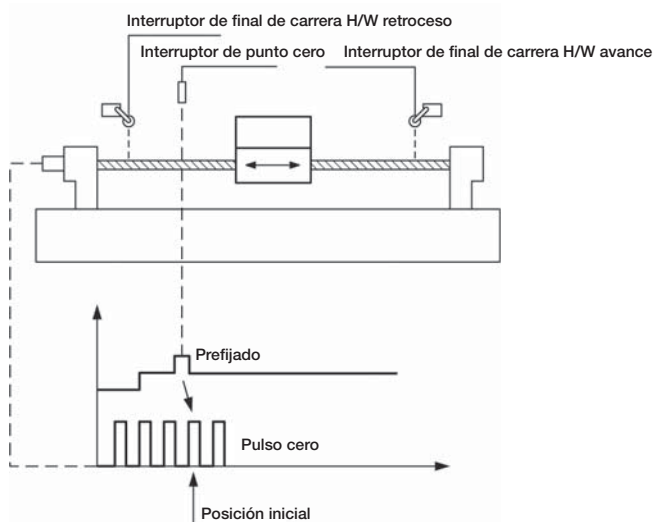


Figura 8.10 Homing con fijación previa y pulso cero

8.9. Correcciones cíclicas

Las correcciones cíclicas se usan en muchas aplicaciones donde, debido a la desviación o a la colocación de material en una posición incorrecta, es necesario corregir la posición. Esto es válido tanto para movimiento lineal como para movimiento rotativo.

Las correcciones cíclicas siempre necesitan información de fijación de la posición. Esta información puede proceder de un sensor externo o de pulso cero del encoder.

A continuación se muestran algunos ejemplos de esta función.

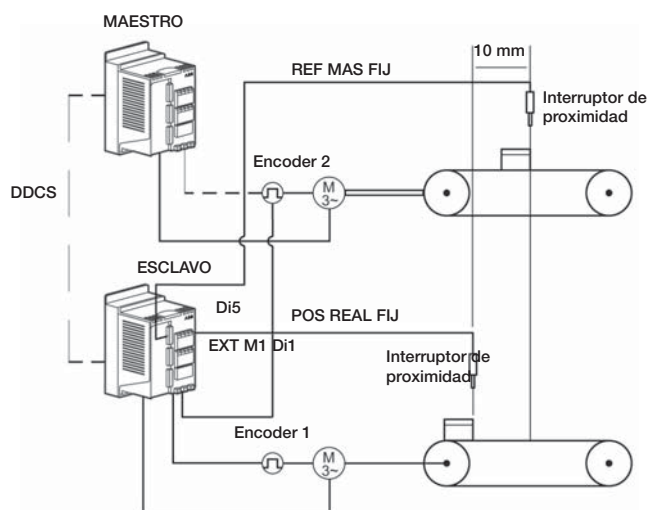


Figura 8.11 Cintas transportadoras maestra y esclava

La Figura 8.11 describe la configuración de un sistema maestro/esclavo. El objetivo es asegurarse de que las latas sobre las dos cintas transportadoras mantengan una distancia correcta entre sí, 10 mm en este ejemplo.

El esclavo necesita conocer la velocidad del maestro. Para ello existen dos posibilidades:

1. Leer la velocidad del maestro mediante el encoder. Esto significa que el esclavo dispone de conexiones para dos encoders. El maestro funciona en modo de bucle abierto.
2. La otra solución consiste en usar un enlace de comunicación entre convertidores, como un enlace DDCS de fibra óptica. El maestro dispone de una conexión de realimentación (encoder) y esta información se envía a través del enlace de fibra óptica al esclavo.

Independientemente del método de comunicación, los interruptores de proximidad se conectan a las entradas y salidas digitales (programables) del esclavo. El esclavo compara la diferencia en la distancia que detectan los sensores y la corrige (en este ejemplo, 10 mm).

8.10. Funciones de engranaje del encoder

Las aplicaciones de control de movimiento siempre requieren realimentación. Esta puede estar conectada al motor, la carga o a ambos.

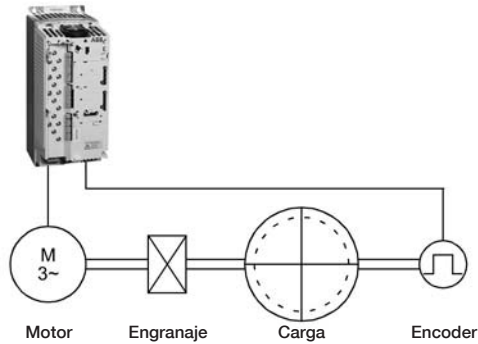


Figura 8.12 Relación de engranajes del encoder del motor

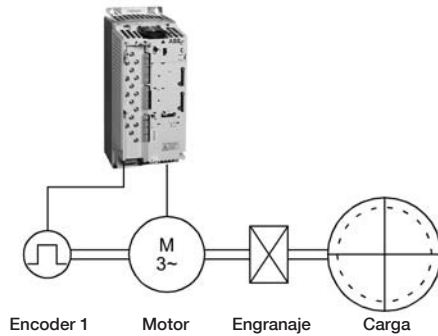


Figura 8.13 Relación de engranajes del encoder de la carga

Si no hay encoder en el lado de la carga, la relación de engranajes de la carga debe ajustarse en función de esta, puesto que el convertidor de frecuencia debe controlar la posición real de la carga a partir de la realimentación del motor.

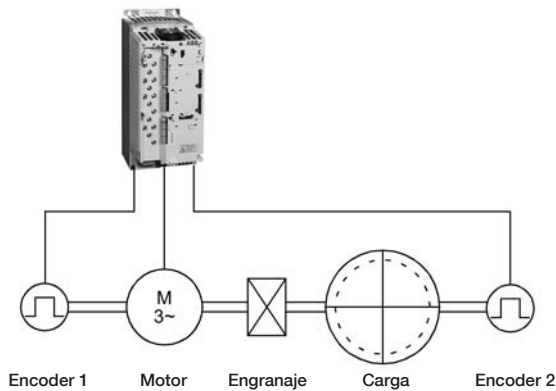


Figura 8.14 Tanto el motor como la carga tienen su propio encoder

8.11. Eje/maestro virtual

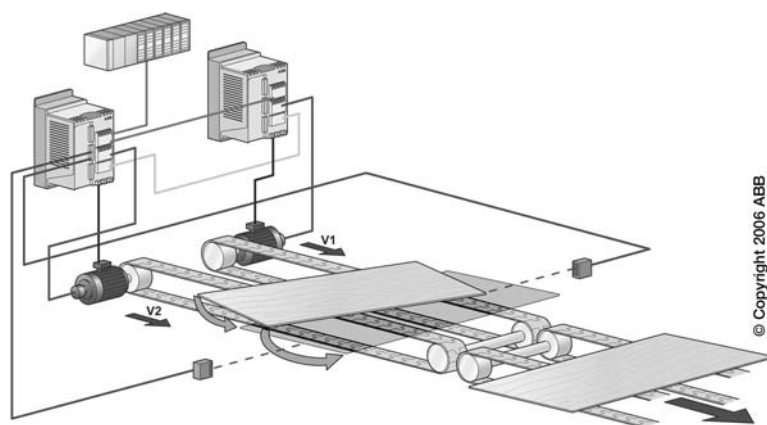
El maestro virtual significa que los valores de referencia se aplican a un modelo de eje giratorio que se ejecuta en el software. El eje virtual proporciona su referencia de velocidad a todos sus esclavos. Asimismo, proporciona una señal de posición y velocidad libre de interferencias en aplicaciones donde dos o más convertidores de frecuencia están sincronizados.

El eje virtual también es muy útil durante la puesta en marcha del sistema para efectuar pruebas en partes de la máquina sin poner en funcionamiento todo el proceso..

Capítulo 9 - Ejemplos de aplicación con control distribuido

Este capítulo describe brevemente algunas aplicaciones de control de movimiento típicas. La mayoría de ilustraciones incluyen un PLC, cuya función es gestionar la información del control superior. Las acciones de control se ejecutan en los convertidores de frecuencia con control distribuido.

9.1. Corrección cíclica en la manipulación de material

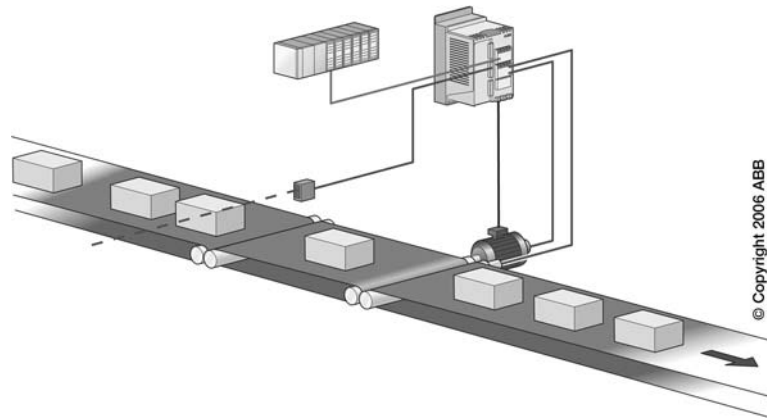


© Copyright 2006 ABB

El objetivo de esta máquina es corregir cualquier error angular del material. Se utilizan dos convertidores de frecuencia en una configuración maestro/esclavo. El maestro determina la velocidad de la línea principal. El esclavo recibe la referencia de velocidad. Hay dos sensores conectados a las entradas digitales. El esclavo calcula la distancia de error en el número de pulsos entre dos señales de sensor. Este error se corrige aumentando o disminuyendo la velocidad del esclavo.

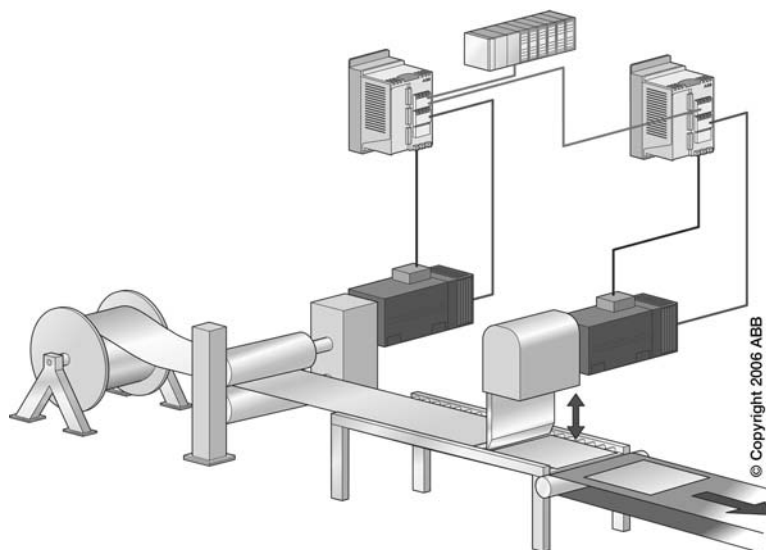
La aplicación determina los diferentes tipos de motor que pueden seleccionarse. Este tipo de aplicación siempre requiere realimentación.

9.2. Mantener una distancia constante



La cinta transportadora de la imagen está formada por una cinta de alimentación, una cinta de ajuste y una cinta de recepción. Las cajas llegan con una distancia de separación aleatoria. El convertidor de frecuencia recibe la referencia de velocidad de la línea desde el encoder. El sensor sigue las subidas y bajadas de la línea superior de las cajas. Cuando el sensor detecta una caja, este sigue el borde superior de la caja hasta recorrer toda la longitud de la misma. El sensor detecta el borde de caída y la distancia al siguiente borde ascendente representa la distancia real entre las cajas. Esta se compara con la distancia requerida y el software hace las correcciones necesarias modificando la velocidad de la cinta de ajuste.

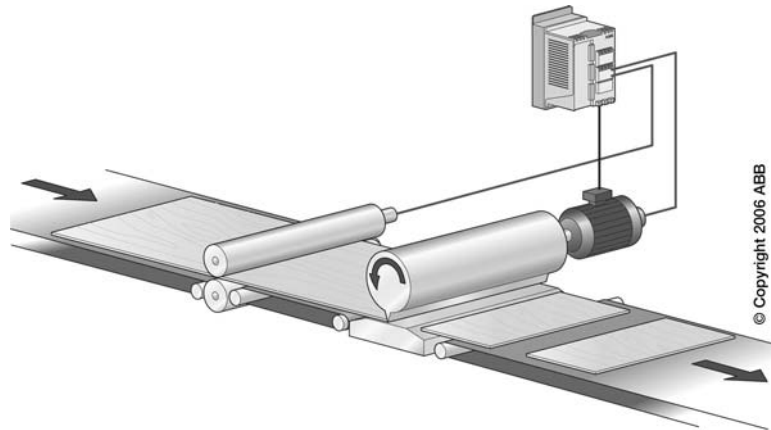
9.3. Corongitud necesaria



Existen diversos métodos para cortar materiales con la longitud requerida. Esta guía presenta los métodos más comunes. Únicamente se tratan algunos ejemplos, ya que existen muchas otras posibilidades de configuración.

En aquellas aplicaciones donde se detiene la línea para efectuar el corte, ambos ejes usan la característica de posicionamiento del convertidor de frecuencia. El convertidor de frecuencia encargado de la línea de alimentación de material gira un determinado número de revoluciones que corresponden a la longitud de material requerida. Cuando se alcanza el objetivo de posición, el convertidor envía una señal al PLC indicando que se encuentra en la posición requerida. En ese momento, el motor gira el número de revoluciones necesario para ejecutar la operación de corte con la guillotina. A continuación el convertidor envía la señal de permiso de marcha al motor de alimentación. Como en otras aplicaciones, la selección del motor se efectúa según los requisitos de rendimiento dinámico del sistema.

9.4. Cuchilla giratoria



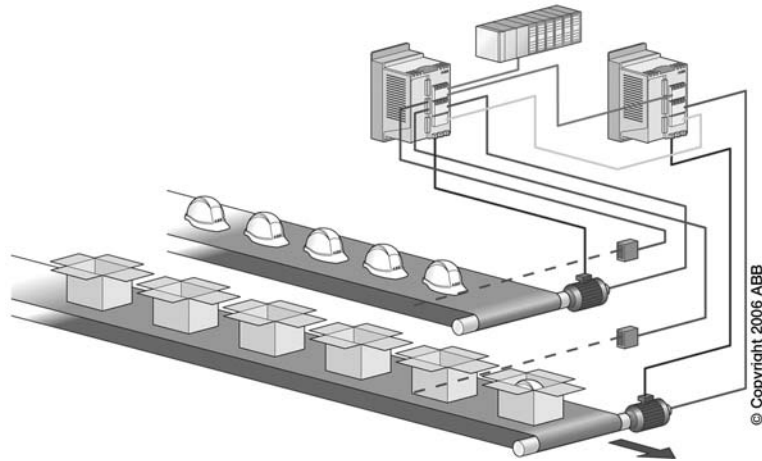
La cuchilla giratoria se utiliza para cortar material con la longitud requerida o para cortar los materiales no deseados. Las cuchillas giratorias más sencillas están sincronizadas con la velocidad de la línea mediante un equipo eléctrico. Sin embargo, en muchas aplicaciones, este sistema no ofrece resultados satisfactorios.

Existen algunas consideraciones a tener en cuenta en las operaciones con cuchillas giratorias. En primer lugar, si la longitud de corte varía, debe decidirse si la herramienta debe entrar en reposo o girar continuamente. En segundo lugar, cuando la herramienta toca el material en la mayoría de casos deberá desplazarse a la misma velocidad que la línea. Por último, es importante determinar la ubicación del corte.

En las aplicaciones más sofisticadas, la cuchilla debe crear un perfil de movimiento durante el ciclo. Cuando la cuchilla se encuentra en reposo y se da una orden de corte, esta tendrá que acelerar para alcanzar la posición y a continuación decelerar hasta la velocidad de corte. Tras efectuar el corte, la herramienta debe volver a la posición inicial lo más rápidamente posible para estar lista para el siguiente corte.

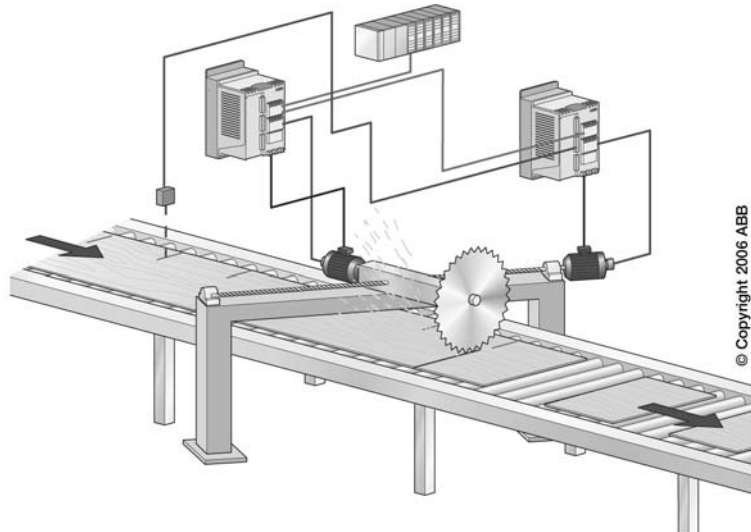
En algunos casos, es posible que la herramienta no pueda parar y deba iniciar otro corte sobre la marcha. Esto requiere el uso de dos perfiles de movimiento que se superponen. En estos casos suelen utilizarse perfiles de levas con ajuste de parámetros flexible.

9.5. Corrección cíclica en aplicaciones de embalaje



Desde el punto de vista del software, esta operación es equivalente a la que se describe en el ejemplo 13.1, “Corrección cíclica en la manipulación de material”. La única diferencia es la configuración física. En ambos ejemplos hay una configuración maestro-esclavo, sensores para la comprobación de la posición real y software de corrección. El sistema consta de dos cintas transportadoras de alimentación. Los elementos situados sobre las cintas deben disponerse con la distancia de separación correcta entre sí.

9.6. Cizalla volante en ángulo

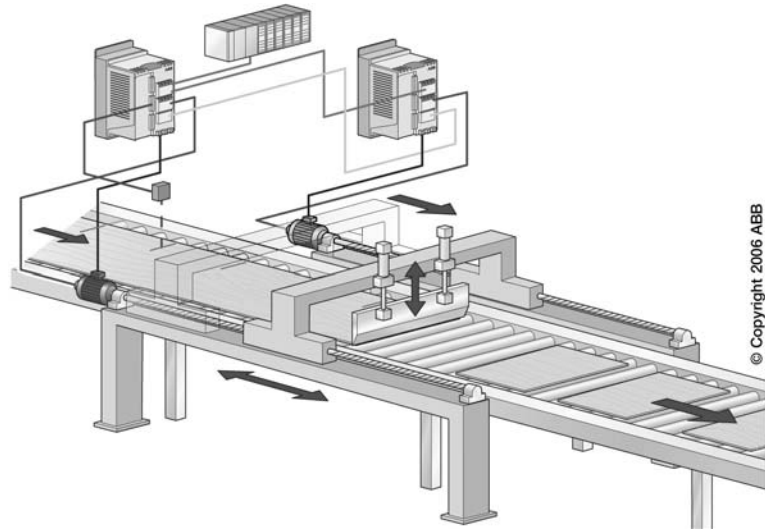


Una cizalla volante es una máquina de corte que permite un flujo de material constante durante el corte. Se basa en la trigonometría plana. Una vez se conoce la velocidad de la línea y de la sierra, se puede calcular y ajustar el ángulo de corte en consecuencia. En esta ilustración, el ángulo implica que la cuchilla se desplaza en la dirección de la línea cuando la sierra opera. El control de velocidad de la sierra no es crítico, incluso se puede usar un motor sin control. Sin embargo, la solución más práctica sería usar un convertidor de frecuencia para maquinaria general.

El punto de corte puede indicarse con una marca en el material o mediante medición giratoria con un encoder. Normalmente se utilizan funciones de levas o de sincronización.

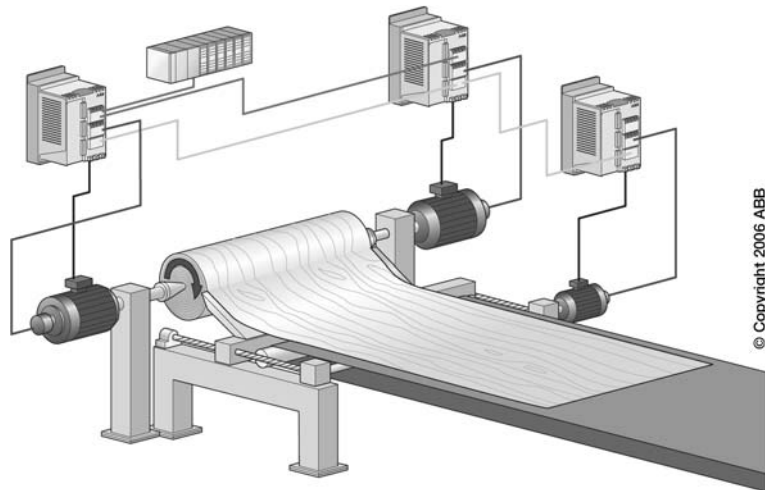
Esta configuración suele utilizarse en aplicaciones donde el material debe cortarse con una sierra en lugar de con una cuchilla o guillotina.

9.7. Cizalla volante en paralelo



Esta es otra versión del corte volante. Tal como se ha descrito en el caso anterior, el punto de corte se lee de una marca o de un encoder. El carro espera una orden de “corte”. Cuando recibe la orden, el carro acelera hasta alcanzar la velocidad de la línea mientras se sincroniza con el punto de corte. Normalmente se usan funciones de levas o de sincronización y la guillotina efectúa el corte. La ilustración muestra un sistema con dos motores. Ambos convertidores de frecuencia funcionan a una velocidad sincronizada usando la función maestro/esclavo. También hay sistemas que emplean un solo motor.

9.8. Torno



© Copyright 2006 ABB

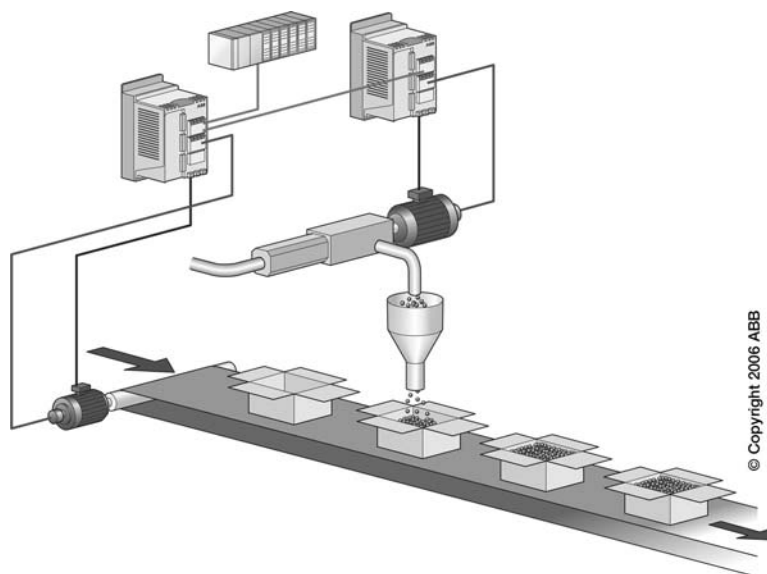
Aunque la ilustración es muy sencilla, muestra las tres principales funciones de movimiento de un torno.

La velocidad de la línea debe ser constante. Esto implica que la velocidad de los motores de husillo debe controlarse y ajustarse conforme a los cambios de diámetro del material. El control se puede efectuar con un PLC o un convertidor con control distribuido con software de bobinado.

Los dos motores principales funcionan como maestro en una configuración maestro-esclavo. Esto resulta particularmente importante en la fabricación de contrachapado, donde los cabezales del husillo están conectados al material mediante un tornillo roscado. Si los motores funcionan a diferentes velocidades, uno de los dos cabezales del husillo empezará a abrirse hasta que en un determinado momento el tronco salga despedido.

El carro con la cuchilla funciona en modo sincronizado. La relación de engranajes se ajusta según el espesor del material. Es muy sencillo ajustar el espesor requerido configurando los parámetros de la relación de engranajes; estos normalmente se convierten para que el usuario puede especificar las unidades en milímetros desde el terminal de operador.

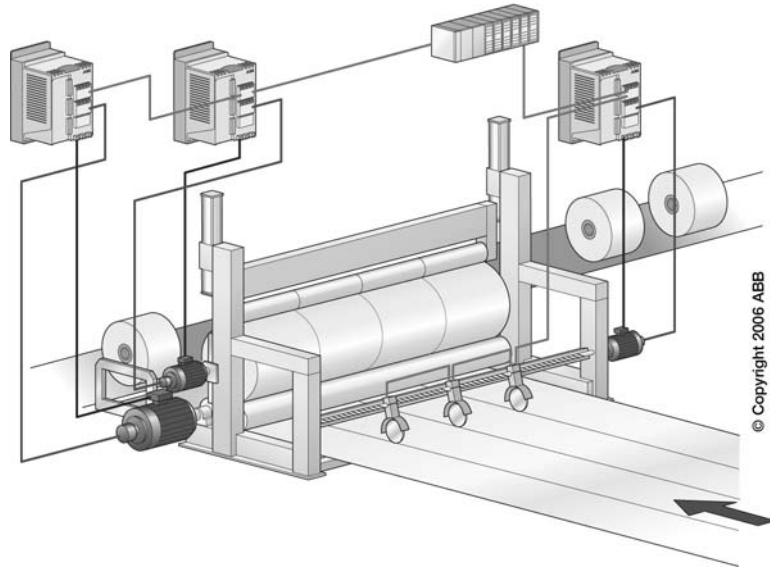
9.9. Llenado de material



Esta aplicación es muy similar a la descrita en el capítulo 13.3, “Corte con la longitud necesaria”, aunque en este caso el convertidor de frecuencia esclavo acciona una unidad dosificadora.

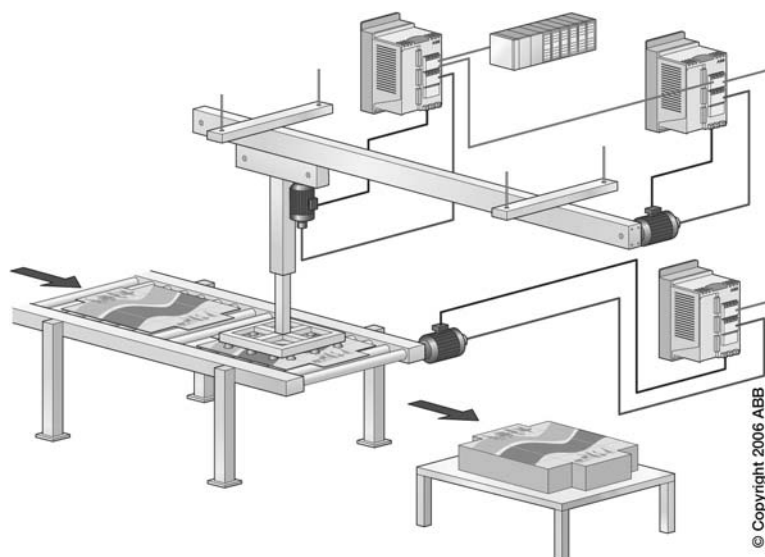
La configuración mostrada es sólo un ejemplo de las diversas configuraciones posibles. Existen muchas maneras de llenar envases y botellas.

9.10. Cortadoras



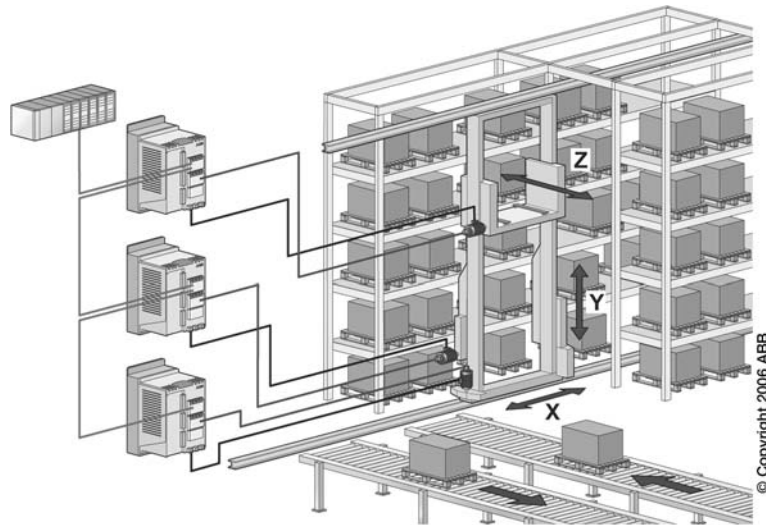
La ilustración describe la parte correspondiente al bobinado y al corte de una cortadora, mostrando el funcionamiento de las herramientas de corte. Cada herramienta está conectada de manera individual al husillo. Cuando una herramienta está engranada, el PLC envía la dirección al convertidor de frecuencia. El sistema de control distribuido garantiza el posicionamiento correcto.

9.11. Recogida y apilado



Esta aplicación utiliza el control distribuido en tres ejes. El regulador superior envía las órdenes a cada eje para que el flujo de material de las placas se desarrolle con fluidez. Las placas se recogen con la herramienta de recogida usando el control de posición. La placa, todavía en el control de posición, se desplaza hacia adelante hasta la zona de apilado. Por último, se hace descender la placa para construir una pila. La cinta transportadora que alimenta las placas puede funcionar a velocidad continua o en modo de control de posición.

9.12. Automatización de almacenes



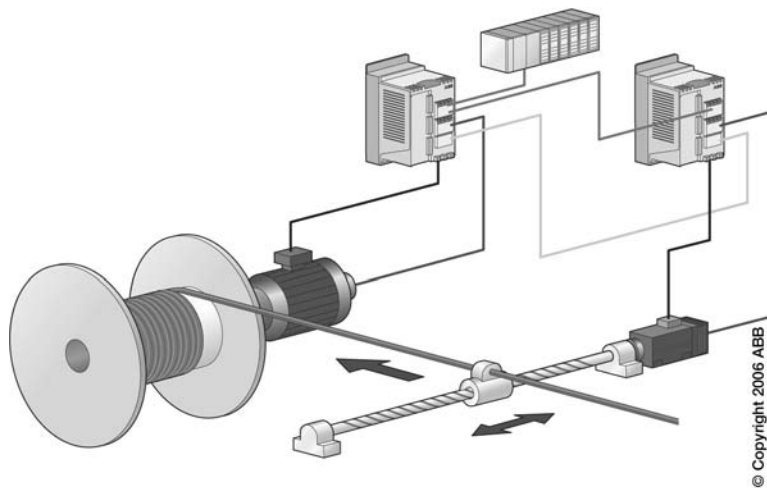
Las aplicaciones de automatización de almacenes pueden configurarse de una manera muy rentable usando el control distribuido. El sistema de control superior forma parte del sistema de automatización completo de la fábrica y de este modo conoce el destino de los palés.

En la mayoría de casos es necesario tener un elevado rendimiento de par y velocidad en, y desde, el estado de reposo. Esto implica la necesidad de control en bucle cerrado.

Los requisitos de dinámica del sistema difieren entre las distintas aplicaciones y la selección de motores comprende desde motores de CA estándar con realimentación hasta servomotores de imanes permanentes o de inducción sin escobillas de CA.

Este tipo de sistemas puede tener dimensiones físicas muy grandes y la realimentación de motor no será suficientemente precisa para el control de posición en todos los casos. Para superar este inconveniente se utiliza un segundo encoder que monitoriza la posición real.

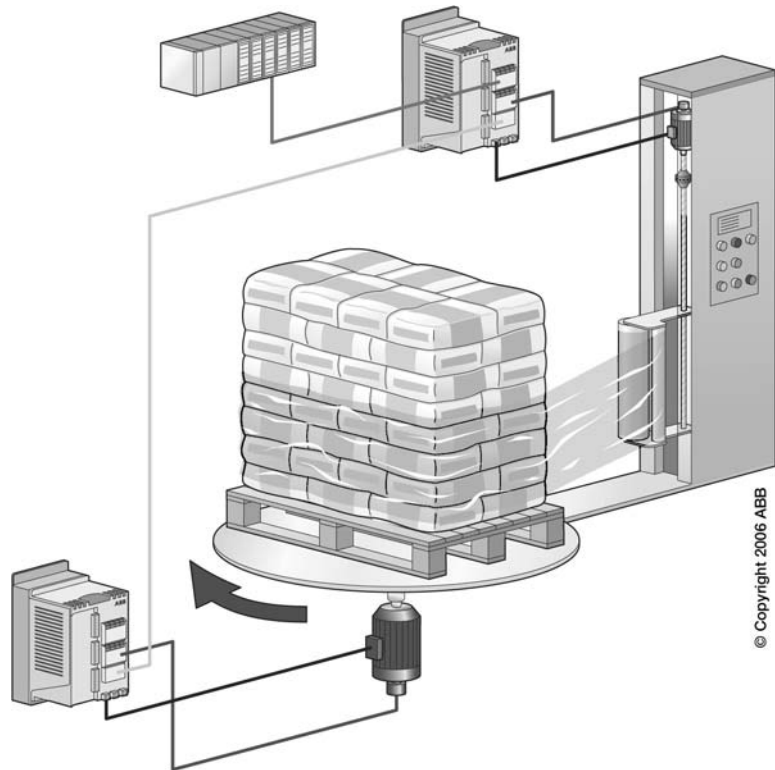
9.13. Bobinado



La ilustración muestra una aplicación muy simplificada. El objetivo es mostrar el principio básico del control de bobinado. El control de bobinado es una función de engranaje electrónico en la que la relación de engranajes se ajusta de modo que el movimiento lineal de bobinado depende del aumento de material. La ilustración no muestra los interruptores de final de carrera que normalmente controlan la acción del punto de giro.

El bobinado y el desbobinado son aplicaciones bien establecidas y en el mercado existen múltiples paquetes de software dedicado.

9.14. Embalado



La ilustración muestra una aplicación de embalado sencilla. El equipo eléctrico está formado por dos motores.

Capítulo 10 - Control de movimiento –

*Glosario de términos

Aceleración

La tasa de aumento de velocidad, normalmente expresada en metros por segundo por segundo, o metros por segundo al cuadrado (m/s²).

Advertencia

Error comunicado por un convertidor o regulador que indica que se producirá un fallo si el problema no se soluciona.

Ajuste

Configuración de las características internas de un servoconvertidor para que disponga de la capacidad necesaria para controlar la inercia aparente y proporcionar al eje un perfil de posición/velocidad suave.

Ajuste de fases

Ajuste de la posición de un eje respecto a los otros para corregir pequeños problemas de registro. Normalmente se hace con los ejes en movimiento.

Alarma

Una advertencia de que un parámetro se ha desplazado fuera de unos límites definidos o aceptados, o una indicación del fallo o del funcionamiento defectuoso de un componente. Puede ser un aviso o una advertencia para un operario o bien una señal de salida que inicia una acción correctiva o desconecta un proceso.

Alimentación de bobina

Función que mantiene la velocidad lineal del material de alimentación constante a medida que el diámetro del eje cambia.

Arquitectura abierta

Software y/o hardware con características estándar que muchos fabricantes pueden incorporar a sus propios productos y que pueden conectarse entre sí y trabajar en equipo de manera sencilla.

Arranque en giro

Acción de arrancar de nuevo un motor mientras está girando y que normalmente se efectúa muestreando la velocidad del motor, la entrada del encoder o la fuerza contraelectromotriz.

Avance lento

Eje desplazándose a una velocidad y a una tasa de aceleración/deceleración fijas en una dirección elegida pero sin un destino concreto.

Bucle abierto/bucle cerrado

Un sistema de control con control en bucle abierto no tiene referencias externas para controlar su velocidad o su posición. En cambio, un sistema de control con control en bucle cerrado usa señales de realimentación de sensores externos para corregir la posición o la velocidad conforme al valor ordenado.

Bucle de movimiento cerrado

La señal de referencia se compara con la señal de realimentación y la discrepancia se corrige en un circuito amplificador.

Bucle de posición

Señales que generan información sobre la posición basada en la realimentación de la posición.

Bucle de velocidad

Función de servocontrol que añade una señal de orden de velocidad a una señal de realimentación de velocidad. La señal resultante se asigna a una salida como señal de orden de par.

Bus

Un conjunto de conductores que actúan como portadores de la información entre los elementos de control y los componentes.

Bus de campo

Red de área local definida por la norma ISA S50.02 y que se usa para conectar elementos de control y sensores entre sí.

Bus de CC

Circuito de comunicaciones común que usa tensión de CC como referencia. El término también puede hacer referencia a un sistema de distribución de potencia compartido por diversos componentes.

Cable apantallado

Cable con un revestimiento metálico que recubre los conductores en su interior. El revestimiento metálico está conectado a tierra para evitar el ruido eléctrico que afecta a las señales del cable.

Cableado punto a punto

Acción de cablear cada convertidor directamente al PLC. El método elimina los retardos de comunicación que presenta una red.

Código de diagnóstico

Código mostrado en un terminal de operador o en un programa usado para indicar un fallo, así como normalmente su posición.

Código G

Software usado para programar procesos de mecanizado, como el fresado en 3 ejes y el corte de cable en 2 ejes.

Comunicaciones en serie

Transmisión digital de 1 y 0 en series en un único cable.

Conmutación

Garantiza que la fase correcta de los motores recibe las tensiones o intensidades correspondientes. Esto puede hacerse electromecánicamente con las escobillas y el colector como en los motores con escobillas, o electrónicamente como en los motores sin escobillas.

Conmutación de maestro virtual

Capacidad de un regulador de movimiento para conmutar de un encoder digital a otro de manera instantánea. Esta característica hace posible el uso de funciones de sincronización avanzadas.

Control anticipado

Método que compensa los errores conocidos en un bucle de control. Depende exclusivamente de la orden y no del error medido.

Control centralizado

Sistema con el software ubicado en una unidad física. Toda la información de entrada de los sensores y los dispositivos de realimentación se conecta a esta unidad. Las órdenes de control se envían desde este sistema.

Control descentralizado

Método de control compuesto de elementos de control separados que están distribuidos sobre una zona o proceso. Los elementos individuales son independientes entre sí, aunque existe algún tipo de comunicación.

Control de movimiento

Cualquier herramienta o actuador controlado mediante software de movimiento. El sistema puede ser hidráulico, neumático, electrónico o cualquier combinación de estos. Sea cual sea el sistema, el perfil de movimiento se introduce en el código del software y el actuador debe seguirlo de la forma más precisa posible. Los dispositivos de realimentación comparan en todo momento el movimiento real y la referencia, y el regulador de movimiento intenta minimizar la discrepancia.

Control de movimiento digital

Sistema de control de movimiento que emplea un código binario para efectuar cálculos.

Control en tiempo real

Capacidad de un regulador para responder a un evento inmediatamente. Los PLC están diseñados para ello, aunque la utilización de PC plantea más de un problema.

Convertidor

Sistema que permite convertir de CA a CC o viceversa, y que en la mayoría de casos se compone de un circuito rectificador por diodos o de un circuito rectificador por tiristores. El término “convertidor” también puede hacer referencia al proceso en un convertidor de frecuencia ajustable. Este se compone de un rectificador, un circuito intermedio de CC, un inversor y una unidad de control.

Convertidor

Dispositivo electrónico que controla la corriente eléctrica suministrada a un motor.

Coordinación

Integración de dos o más ejes de movimiento para producir un movimiento que de otro modo no sería posible. Los sensores y otras órdenes externas o internas también pueden usarse para ayudar en los movimientos.

Corte con la longitud necesaria

Algoritmo que alimenta material a una distancia ajustada de manera que el proceso puede llevarse a cabo con una longitud determinada correcta. Los sistemas con realimentación normalmente se usan para garantizar que la longitud seleccionada se repite con precisión.

Cuadratura

Técnica utilizada para detectar la dirección de un movimiento basada en la separación de los canales de señal en 90° (eléctricos).

Curva S

Método de acelerar y decelerar un motor lentamente para reducir el impacto mecánico. Aunque es más sofisticado que la aceleración lineal, no presenta el mismo rendimiento que las levas.

Deceleración

Tasa de disminución de la velocidad. Normalmente se mide en unidades de cambio de velocidad por cada unidad de tiempo, es decir, m/s/s o m/s².

Desconexión segura

Método para garantizar que la electricidad no pasará del convertidor al motor.

Desviación

Distancia entre el punto de referencia cero real y un punto de referencia cero programado.

Detección de colisión

Describe el proceso en el que se usan sensores para detectar una posible colisión entre partes o componentes. Los sensores pueden producir alarmas para detener el movimiento o ralentizarlo para producir un acoplamiento a velocidad baja de los componentes.

Dispositivo de realimentación

Proporciona información de la velocidad y la posición real de los actuadores al regulador de movimiento.

Eficiencia

La eficiencia de un motor compara la energía mecánica obtenida con la energía eléctrica aportada y es una medida de la capacidad de un motor de transformar la energía eléctrica recibida en energía mecánica útil entregada.

Eje

Las direcciones principales en las que se produce el desplazamiento de una herramienta, componente o pieza.

Ejes de movimiento

Las direcciones principales de desplazamiento en las que tienen lugar un movimiento controlado de un elemento o componente de una máquina. Estos ejes normalmente se definen de la manera siguiente:

X: Movimiento lineal en la dirección de posicionamiento.

Y: Movimiento lineal perpendicular a la dirección de posicionamiento.

Z: Movimiento lineal vertical

A: Movimiento angular alrededor de X (balanceo)

B: Movimiento angular alrededor de Y (cabeceo)

C: Movimiento angular alrededor de Z (guiñada)

Eje de transmisión electrónico

Eje virtual que sincroniza otros ejes usando engranajes electrónicos o perfiles de levas.

Embrague electrónico

Método que usa levas electrónicas o funciones de engranajes para generar un perfil esclavo basado en una posición del maestro.

EMC/CE

Directiva europea que establece normas y límites para las emisiones conducidas y radiadas. Los convertidores de frecuencia pueden precisar de filtros lineales u otros componentes para cumplir con los requisitos de la Directiva.

Encoder

Dispositivo de realimentación que convierte un movimiento mecánico en señales eléctricas que indican la posición. Los encoders incrementales y absolutos se usan para indicar los cambios incrementales o absolutos de posición, respectivamente.

EnDat

Interfaz estándar para la transferencia de datos en serie, en concreto para la posición y los parámetros.

Engranajes electrónicos

Simulación de engranajes mecánicos mediante la sincronización eléctrica de un eje en bucle cerrado con un segundo eje.

Ethernet

Estándar de redes abierto de gran difusión. Normalmente se usa en la automatización de oficinas y funciona con una velocidad de comunicación de 1,5 megabits/s; las nuevas versiones pueden alcanzar velocidades de hasta 100 megabits/s.

Error de posición

Error producido cuando la diferencia entre la posición real y la posición ordenada es mayor que un valor establecido.

Error de seguimiento

Diferencia entre la posición ordenada de un eje y su posición real, cuyo valor cambia con la velocidad del eje.

Evento

Situación en la que se produce un cambio de estado en un parámetro de entrada, como en la activación de un interruptor de final de carrera o sensor de proximidad.

Fallo

Condición de un sistema de control o un convertidor de frecuencia en la que se produce un intento de ejecutar un proceso no permitido, quedando deshabilitado.

Fibra óptica

Conexión de fibra de vidrio o plástico para transmitir luz que se transforma en corriente eléctrica o se utiliza para determinar el estado abierto/cerrado de un recorrido de corriente.

Frecuencia de la anchura del pulso

Tasa de conmutación de un IGBT.

Freno de retención

Dispositivo de fricción responsable del frenado cuando se produce un corte de alimentación.

Frente activo (Active Front End, AFE)

Procesador de frente activo que recibe datos de los equipos aguas arriba y aguas abajo y efectúa cambios sin una referencia en los sistemas de control externos.

Generador de función de rampa

Dispositivo o modelo matemático que produce una salida con forma de onda cuadrada, triangular o senoidal.

Indexación

Eje o ejes desplazándose a una posición preprogramada.

Indexador

Dispositivo electrónico que permite a un PLC controlar los movimientos de un motor paso a paso.

Inercia

Propiedad de la materia donde un cuerpo permanece en estado de reposo o de movimiento uniforme siempre que no sufra la acción de una fuerza externa.

Interpolación

Movimiento coordinado de dos o más ejes para producir un movimiento lineal o circular.

Interpolación circular

Proceso de desplazamiento de un componente en un círculo a lo largo de dos ejes en una serie de líneas rectas generadas mediante software.

Interruptor de final de carrera basado en software

Interruptor basado en software en lugar de en un objeto físico. Se utiliza para encender y apagar salidas físicas dependiendo del nivel de una entrada particular, desde dispositivos como servomotores, resolvers o encoders.

Interruptor de final de carrera físico

Interruptor que modifica el circuito eléctrico asociado con la máquina o equipo y que es operado por algún componente o movimiento de una máquina o equipo accionado eléctricamente.

Interruptor de final de carrera programable

Véase PLS.

Inversor

Dispositivo que convierte la electricidad de CC en electricidad de CA. Normalmente se usa como parte de un convertidor de frecuencia.

Kp

Ganancia proporcional del bucle de velocidad. Determina el valor del error de velocidad que permitirá el servosistema durante un movimiento. Véase también: Ajuste.

Kv

Ganancia del bucle de posición. Determina el valor del error de posición, o de seguimiento, que permitirá el servosistema durante un movimiento. Véase también: Ajuste.

Lenguaje de programación

Método de comunicación elaborado para controlar el comportamiento de una máquina.

Limitación de par

Servofunción que permite monitorizar y limitar la corriente suministrada a un servomotor.

Limitación de sobreaceleración

Característica que limita la tasa de cambio de la aceleración con el objetivo de eliminar la sobreaceleración mecánica durante los cambios de velocidad.

Lineal

Variación de la salida directamente proporcional a la entrada.

Maestro virtual

Señal de encoder creada en un software de control de movimiento que permite la sincronización de diversos servosistemas.

Marcha lenta

Avance de un motor en pasos pequeños mediante el cierre repetido de un interruptor.

Modulación de ancho de pulso

Método de control de modo conmutación basado en la variación de los tiempos de activación/desactivación de los pulsos de tensión aplicados a los transistores.

Par trenzado

Dos hilos trenzados entre sí para eliminar el ruido eléctrico.

Paro de emergencia

La función de paro de emergencia debe cumplir todos los requisitos siguientes:

- Debe tener preferencia sobre todas las otras funciones y operaciones en cualquier circunstancia.
- La alimentación a los actuadores de máquinas que puedan suponer un peligro debe interrumpirse lo más rápidamente posible sin provocar otro peligro.
- La función de restauración no debe generar un nuevo arranque.
- El paro de emergencia debe pertenecer a la Categoría 0 o a la Categoría 1. La elección del paro de emergencia debe hacerse de conformidad con los requisitos de la aplicación.

PC

Ordenador personal.

Perfil

Representación gráfica de un movimiento, con ejes de posición, velocidad o par frente al tiempo.

Perfiles de levas electrónicos

Técnica que sustituye las levas mecánicas por electrónica para efectuar movimientos no lineales.

PLC

Plataforma de automatización. Ordenador que usa tiempos de análisis determinista rápidos y repetibles para controlar equipos.

PLS

Interruptor de final de carrera programable. Dispositivo que convierte el movimiento giratorio de un eje en señales digitales. Por lo general se usa para mejorar la precisión de la posición.

Posición de aprendizaje

Posición de un eje que “aprende” el programa de control de movimiento. Una vez el eje se desplaza a la posición deseada, el sistema de control introduce la “posición de aprendizaje” automáticamente en el programa de control de movimiento.

Posición inicial

Posición establecida como referencia para todos los movimientos de posicionamiento absoluto. Normalmente se establece durante la puesta en marcha y es válida mientras el sistema de control esté operativo.

Posición real

La posición de un eje comparada con la posición deseada. Esta puede ser la posición final en el extremo del movimiento o el retraso entre la posición ordenada y la posición medida en cualquier punto durante el movimiento. Esta última se conoce como error de seguimiento.

Posición real del maestro

Realimentación que proporciona información de la posición para un eje sincronizado.

Posicionamiento

Movimiento especificado por un objetivo de posición, velocidad y aceleración. La posición objetivo puede ser una posición absoluta o una posición relativa a la posición actual.

Precisión

El valor medido comparado con el valor deseado. En control de movimiento, la mayoría de veces se refiere a una descripción de la posición, definida en términos de desviación positiva o negativa desde un valor ordenado, o en términos de un rango de valores alrededor del punto de consigna.

Protocolo

Método especificado de codificación de información para su transmisión.

Punto cero de la realimentación

Punto en el que la posición del encoder y la posición física de un servomotor se alinean.

Punto cero de máquina (homing)

Acción de calibrar ejes mediante la búsqueda de una posición de referencia única, normalmente en la puesta en marcha.

Realimentación

Envío de una señal de una máquina controlada para informar de que ha respondido a una señal de control.

Rebasamiento

Cuando la salida de un sistema va más allá del valor deseado.

Rectificador

Dispositivo que convierte la alimentación de CA en CC para su uso en convertidores de frecuencia.

Red a nivel de dispositivos

Cable de red común que elimina los enlaces individuales entre el PLC y cada dispositivo.

Referencias

Ajuste de un dispositivo de realimentación con relación al mundo real.

Regeneración

Un sistema de convertidor/motor puede producir energía regenerativa durante la deceleración que puede alimentar a otras máquinas en la red.

Regulador de intensidad

Función electrónica que proporciona la intensidad instantánea adecuada que necesita la carga. La intensidad puede controlarse para limitar la intensidad máxima y reducir el peligro de sobrecargas que causarían daños al motor.

Resolución del encoder

Número de posiciones identificadas eléctricamente en un giro de 360 grados de un eje.

Resolver

Tipo de transductor de posición que usa un acoplamiento magnético para medir la posición absoluta de un eje.

Rotación

Movimiento circular con medición de la posición en grados.

Ruido

Señal electromagnética no deseada que normalmente resulta de las interferencias electromagnéticas o de radiofrecuencia de dispositivos como redes de CA, motores, generadores, transformadores y transmisores de radio.

Secuencia de funcionamiento

Una serie de pasos que hace que una máquina lleve a cabo una acción.

Señal analógica

Una señal que varía por pasos de acuerdo al parámetro que se esté midiendo. Algunos ejemplos típicos son una señal de control de motor de 0 a 10 V y un sistema neumático con control de presión.

Señal digital

Señal formada por pulsos binarios de información basada en niveles de tensión que representan los valores 0 y 1.

SERCOS

Estándar de comunicación en tiempo real en serie. Protocolo de comunicación abierto para redes de control de movimiento con velocidades de transmisión sobre cable de fibra óptica de hasta 4 megabits/s.

Servoconvertidor sin escobillas

Servoconvertidor que usa la conmutación electrónica de intensidad en lugar de hacerlo mediante escobillas mecánicas y un colector.

Servomecanismo

Sistema de control de movimiento en bucle cerrado y automático que usa realimentación para controlar una salida deseada, por ejemplo, la posición, la velocidad o la aceleración.

Servomotor

Motor que puede controlarse con precisión. El convertidor de frecuencia que lo acciona recibe una realimentación precisa sobre la posición del motor desde un resolver o un encoder.

Servomotor analógico

Este tipo de servomotor se encuentra frecuentemente en los sistemas hidráulicos y otros similares. Utiliza el control analógico y sistemas con realimentación como variaciones de tensión y cambios de presión.

Servomotor de CA

Un motor accionado por un convertidor de frecuencia que genera corrientes de motor con forma senoidal.

Servomotor digital

Servomotor que emplea un código binario para todos los cálculos y realimentaciones.

SinCos

Encoder usado en servocontrol. Proporciona salidas de señales analógicas de alta resolución y digitales.

Sincronización

Diversas funciones de una máquina siguiendo una señal de control común.

Sincronización libre de fluctuaciones

Proceso de compensación de la aceleración y la deceleración de un convertidor de frecuencia esclavo accionado con un convertidor maestro para que la transición se realice con suavidad.

Sincronización por marca

Método de control de velocidad que compara la posición de una marca sobre un producto con su posición esperada y a continuación compensa la diferencia.

Sistema de grúa

Estructura aérea que puede moverse en los ejes X, Y y/o Z, y que porta diversas herramientas o dispositivos para llevar a cabo tareas.

Sistema de supervisión, control y adquisición de datos SCADA
Sistema formado por software y hardware que controla un proceso de producción y recoge datos sobre eficiencia.

Sobrecontrol

Acción de forzar un eje para desplazarlo durante un fallo. A menudo se usa para forzar a un eje a alejarse de un interruptor de final de sobrecarrera.

Sobreintensidad

Intensidad cuyo valor es superior a la intensidad nominal del convertidor y que se aplica para mantener una posición ajustada o desplazarse a una nueva posición.

Sobretemperatura

Advertencia o alarma que indica que un motor o convertidor está demasiado caliente como resultado en la mayoría de casos de una demanda de intensidad excesiva.

SSI

Interfaz síncrona en serie. Un tipo de encoder absoluto multivuelta que envía información sobre la posición como una cadena en serie en formato de código de escala de Gray.

Tacómetro

Transductor de realimentación electromagnético que proporciona una señal de tensión analógica proporcional a la velocidad de giro de un motor.

Tarea

Software de un sistema de control que determina las tasas de ejecución y los niveles de prioridad para el funcionamiento de los módulos de software en un convertidor de frecuencia o PLC.

TCP/IP

Protocolo de control de transmisión/Protocolo Internet. Método de codificación de datos en conjuntos de “paquetes” para la transmisión en una red. Inicialmente diseñado para Internet aunque actualmente de uso extendido en control de producción.

Telegram (telegrama)

Paquete de datos usado para la comunicación entre el regulador y el dispositivo.

Teleservicio

Característica que permite efectuar el servicio de un regulador o un PLC.

Terminal de operador

Consola que muestra datos y recibe órdenes, permitiendo que el operador controle el convertidor de frecuencia.

Tiempo de actualización del bucle

Tiempo requerido para calcular la variable de proceso a partir del error de seguimiento.

Tiempo de análisis determinista

Frecuencia a la que una plataforma de automatización (PLC) ejecuta un programa. Normalmente se mide en milisegundos e incluye el tiempo necesario para leer un conjunto específico de instrucciones y volver a la instrucción inicial.

TN

Tiempo de la acción integral del bucle de velocidad. Asociado con K_p . Cuando la velocidad medida se desplaza más allá del valor de tolerancia ajustado en K_p , TN determina la rapidez con la que el convertidor de frecuencia devolverá la velocidad al valor de tolerancia especificado. Véase también: Ajuste.

Transistor bipolar de puerta aislada (IGBT)

El IGBT normalmente se usa para conmutar suministros de potencia y en aplicaciones de control de motor. Es la base de la mayoría de convertidores de frecuencia de velocidad variable de uso industrial modernos.

Unidades de longitud

Unidades lineales para la programación y la configuración de un eje, a menudo definidas en pulgadas, pies, metros o milímetros.

Valor en módulo

Aumento de la posición en la que un eje giratorio vuelve a 0, es decir, 360 grados.

Velocidad

La velocidad a la que funciona un motor o sistema mecánico.

Velocidad nominal

Velocidad máxima a la que puede girar un motor.

Ventana de posiciones

Rango de posiciones aceptables alrededor del punto de posición ordenado.

VxWorks™

VxWorks™ es un sistema de operación en tiempo real que garantiza una respuesta determinista absoluta. Entre sus ventajas destaca el comportamiento en tiempo real, la estabilidad, el tiempo de operación y una memoria eficiente.

Wintel

Sistema operativo Windows™ de Microsoft instalado en los microprocesadores Intel y estándar de la industria para PC.

* Lista de recursos del glosario de términos:

Propuesta para el grupo de trabajo del sector del embalaje de OMAC, Subcomité de educación, Glosario de términos de control de movimiento, Agosto 2001.

Capítulo 11 - Índice

A

aceleración 12, 25, 48, 51, 55, 57, 59
algoritmo 12, 14, 17, 51
analógico 11
aplicación de control de movimiento 7
aplicación de embalado 38
asíncrono 12, 14, 15

B

bobinado 14, 21, 41, 43
bobinas 21
bucle de movimiento 49
bus de campo 7

C

calor 15
capacitancia del bus de cc 11
centralizado 8
cero pulsos 30
circuito de magnetización 11
cizalla volante 39
colector 11, 16, 50, 58
control centralizado 8
control de movimiento 1, 3, 7, 9, 10, 11, 15, 22, 24, 34, 50, 55, 56, 57, 59
control de posición 21, 45
control descentralizado 9
control dtc 12
convertidores de altas prestaciones 7, 9, 12
convertidores de frecuencia de cc de gran potencia 11
corrección cíclica 10
cortadora 43
cuchilla giratoria 37

D

deslizamiento 12
dinámico 7, 13, 28, 36, 45
distancia 10, 25, 27, 30, 31, 34, 35, 38, 51

E

eficiencia 15, 52, 59, 61
electrónica 46, 50, 51, 52, 54, 58
encoder de pulsos 11
encoders 15, 17, 22, 31, 52, 54
encoder secundario 21, 45
error de fase 17
escobillas 11, 16, 50, 58

F

fase 13, 15, 16, 17, 21, 50
flujo 16
fuerza contraelectromotriz 12, 19, 20, 48
funciones de levas 39, 40

G

generador de perfiles 7, 24

H

hardware 9, 59

I

imanes permanentes 11, 16
incremento de temperatura 15
inducción 12, 14, 15, 45
intensidad de magnetización 14
intensidad en el rotor 15
interpolador de posición 25

M

manipulación de materiales 34, 38

P

perfil de referencia 7
plc 9, 10, 34, 36, 41, 43, 49, 54, 56, 57, 60
polos 14
posición 7, 10, 11, 12, 13, 16, 17, 21, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 36, 37, 38, 45, 48, 49, 51, 52, 53, 55, 56, 57, 58, 59, 61
posicionamiento 7, 26, 28, 36, 43, 52, 54, 56
posicionamiento absoluto 56
posicionamiento lineal y giratorio 26
posición del rotor 12, 17
potencia de computación 12

R

realimentación 7, 9, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 17, 18, 21, 24, 31, 32, 45, 49, 50, 52, 56, 57, 58, 59, 60
regulador de movimiento 7, 9, 11, 21, 50, 51
regulador de velocidad 11, 12, 17, 18, 21, 24
rendimiento 7, 8, 9, 12, 13, 14, 15, 17, 21, 36, 37, 45, 51
resolver 12, 21, 58
retardo de fase 15
rotor 12, 13, 15, 16, 17, 20, 21

S

servo 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 45, 48, 49, 54, 55, 56, 58
servomotor asíncrono 15
servomotores síncronos 15
servomotor síncrono 13, 15, 16, 19
sin escobillas 11, 58
sin escobillas de cc 11, 12
senoidal 11, 12, 14, 53, 58
sistema centralizado 8
sistema de control 10, 43, 45, 49, 50, 56, 59
sistema descentralizado 8
sobrecarga 15, 19

T

tecnología de convertidores de ca 7
tiempo de muestreo 7
torno 41

U

unidad de control 8, 50

V

valor de referencia 7, 8, 18
vector 12, 16
vector de flujo compuesto 16
velocidad 25, 48, 49, 51, 54, 55, 57,
59, 60
ventiladores 15, 20

Contacte con nosotros

Para obtener más información, póngase en contacto con su representante local de ABB o visite:

www.abb.es

www.abb.com/drivespartners

© Copyright 2014 ABB. Todos los derechos reservados.
Las especificaciones están sujetas a cambio sin previo aviso.

3AUA0000163174 REV B ES 12.6.2014

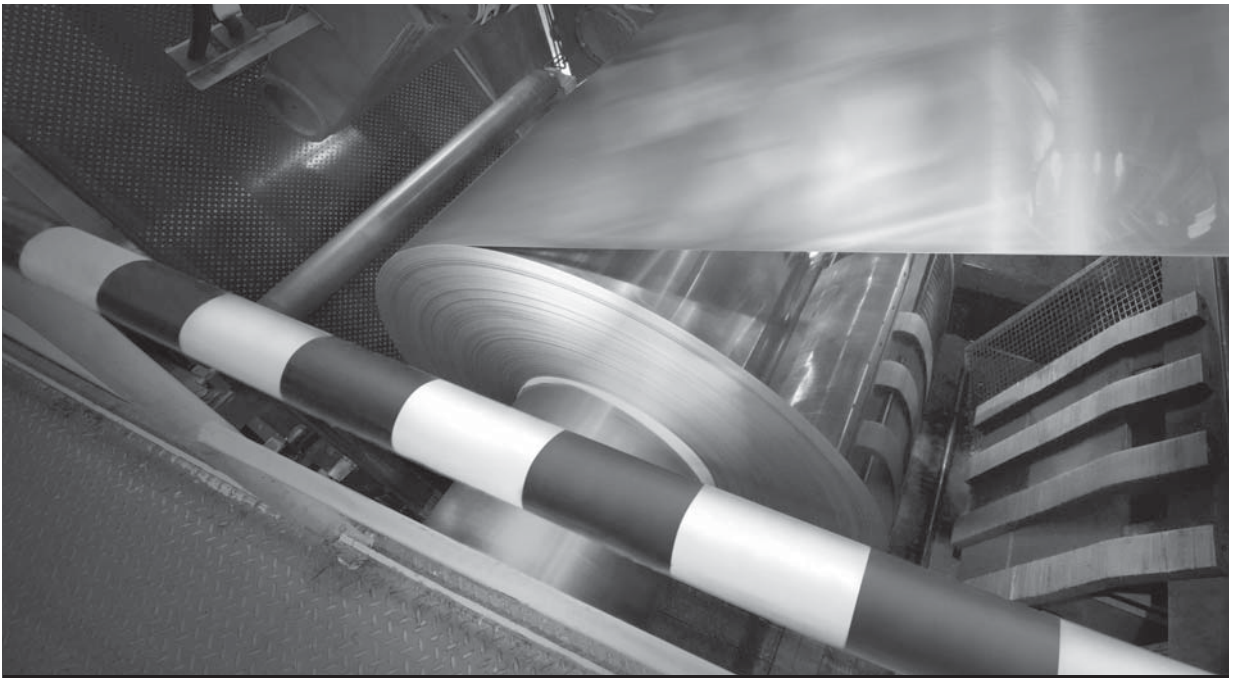


ABB drives

Guía técnica n.º 10 Seguridad funcional

Guía técnica n.º 10

Seguridad funcional

Contenido

Limitación de responsabilidad	4
Acerca de esta guía.....	5
Parte 1 – Teoría y marco normativo.....	6
Seguridad y seguridad funcional.....	7
Directiva de Máquinas	8
Jerarquía del sistema de normas armonizadas europeo	9
Parte 2 – Normativa de Máquinas	12
Dos normas – IEC e ISO.....	12
Normas para la minimización de riesgos.....	13
Normas para sistemas de seguridad electrónicos.....	13
Normas de seguridad específicas para productos (normas Tipo C)	15
Norma específica para sistemas de convertidor relacionados con la seguridad	16
Funciones de seguridad normalizadas.....	16
Parte 3 – Pasos a seguir para cumplir con los requisitos de la Directiva de Máquinas	20
PASO 1: Gestión de la seguridad funcional.....	21
PASO 2: Evaluación de riesgos	22
PASO 3: Reducción de riesgos	24
PASO 4: Establecimiento de los requisitos de seguridad	26
PASO 5: Implementación de un sistema de seguridad funcional	30
PASO 6: Verificación del sistema de seguridad funcional	32
PASO 7: Validación de un sistema de seguridad funcional.....	36
PASO 8: Documentación de un sistema de seguridad funcional.....	36
PASO 9: Demostración de la conformidad.....	37
Glosario.....	38
Índice	40

Limitación de responsabilidad

Este documento es una guía informativa que pretende servir de ayuda a usuarios, especificadores y fabricantes de maquinaria, así como al personal implicado, para una mejor comprensión de los requisitos de la Directiva de Máquinas de la UE y las medidas necesarias para respetar dicha directiva con sus normas armonizadas.

Esta guía se ha elaborado a título informativo.

La información y los ejemplos de esta guía únicamente están destinados a un uso general y no ofrecen todos los detalles necesarios para implementar un sistema de seguridad.

ABB Oy Drives no acepta por ello ninguna responsabilidad por lesiones o daños directos o indirectos derivados del uso de la información contenida en este documento. El fabricante de la maquinaria siempre es responsable de la seguridad del producto y de su idoneidad conforme a las leyes vigentes. ABB se exime de cualquier responsabilidad derivada del uso de este documento.

Nota: parte del contenido de esta guía técnica son extractos de las normas ISO/IEC que están protegidas bajo copyright por la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) o por la Organización internacional para la estandarización (ISO).

Acerca de esta guía

Esta guía presenta la Directiva de Máquinas y las normas que es necesario considerar a la hora de diseñar una máquina con el objetivo de garantizar la seguridad funcional.

El propósito de este documento es explicar, en términos generales, cómo se lleva a cabo el proceso para cumplir con los requisitos de la Directiva de Máquinas y obtener el marcado CE. El marcado CE indica que la maquinaria cumple los requisitos de la Directiva.

Nota:

Este documento solo proporciona una descripción general del proceso para cumplir con los requisitos esenciales de la Directiva de Máquinas. El fabricante de la maquinaria sigue siendo el responsable último de la seguridad y la conformidad del producto.

El documento se divide en tres partes:

- Parte 1 – Teoría y marco normativo: presenta la idea subyacente a la seguridad funcional y cómo cumplir con la Directiva de Máquinas. También presenta la Directiva de Máquinas y explica la jerarquía del sistema de normas armonizadas europeo.
- Parte 2 – Normativa de máquinas - Presenta los dos sistemas de normas y enumera algunas normas de seguridad importantes y funciones de seguridad.
- Parte 3 – Pasos a seguir para cumplir con los requisitos de la Directiva de Máquinas: presenta nueve pasos para facilitar el proceso de cumplimiento de los requisitos esenciales de la Directiva de Máquinas.

Parte 1 – Teoría y marco normativo

Las leyes nacionales de los países miembros de la Unión Europea exigen que las máquinas cumplan los Requisitos Esenciales de Seguridad y Salud (EHSR, Essential Health and Safety Requirements) definidos en la Directiva de Máquinas y en sus normas armonizadas. Esto significa que todas las máquinas nuevas deben cumplir los mismos requisitos legales para su comercialización en cualquier país de la UE. Estas mismas normas gozan de reconocimiento en muchas regiones extracomunitarias, por ejemplo mediante tablas de equivalencias, lo que facilita el comercio de máquinas y su envío entre países dentro de la UE e incluso fuera de sus fronteras.

¿Por qué es necesario que las máquinas cumplan estos requisitos? Porque su cumplimiento contribuye a evitar accidentes y los daños asociados. Además, la conformidad con la Directiva de Máquinas y las normas armonizadas correspondientes garantiza a los fabricantes de maquinaria que han cumplido sus obligaciones al diseñar y entregar máquinas seguras de conformidad con las leyes nacionales.

Para los fabricantes, la mejora e innovación en las estrategias de seguridad se está convirtiendo en una forma de mejorar su productividad y competitividad en el mercado. El objetivo tradicional de los sistemas de seguridad convencionales ha sido lograr una seguridad operacional completa y satisfacer los requisitos legales. Esto se ha llevado a cabo con la incorporación de componentes mecánicos y eléctricos auxiliares, incluso en detrimento de la productividad. Los operadores pueden, en determinadas circunstancias, anular estos sistemas en un intento de aumentar la productividad, lo que puede provocar accidentes.

Los sistemas de seguridad modernos permiten garantizar la seguridad de los procesos y del operario a la vez que se mantiene la productividad. Un ejemplo de ello sería mantener una máquina en funcionamiento a velocidad baja para preservar la seguridad operativa. Gracias a las soluciones de seguridad modernas, la seguridad puede integrarse como parte de la funcionalidad de la máquina; las soluciones de seguridad ya no son ideas de última hora para cumplir las normas.

Los sistemas de seguridad pueden implementarse de manera eficaz siguiendo procesos definidos que permiten lograr unas prestaciones de seguridad concretas y el uso de subsistemas certificados a modo de bloques modulares para la creación de los sistemas de seguridad. El cumplimiento de las normas de seguridad se da por supuesto en el sector industrial, y algunos subsistemas certificados, como los convertidores de frecuencia, se están convirtiendo en una

auténtica exigencia del mercado. La seguridad de las máquinas se encuentra entre las áreas que registran un mayor crecimiento en el ámbito de la automatización industrial.

Seguridad y seguridad funcional

El objetivo de la seguridad es proteger a las personas y al medio ambiente frente a los accidentes y, en el caso que nos ocupa, frente a la maquinaria. Los sistemas de seguridad funcional cumplen esta función al reducir la probabilidad de que se produzcan situaciones indeseadas, minimizándose el número de incidentes al operar la maquinaria. Las normas de seguridad la definen como la no existencia de riesgos inaceptables. Los niveles de riesgo aceptables son definidos por medio de la reducción de riesgo requerida en las normas de seguridad de máquinas. Los fabricantes de maquinaria siempre deberían usar el mismo criterio de aceptabilidad (el más estricto) en todos los sectores del mercado, sin importar las diferencias regionales.

La forma más efectiva de eliminar riesgos es evitarlos mediante el diseño de máquinas intrínsecamente más seguras. Pero si no fuera posible o práctico reducir los riesgos en esta fase, a menudo la mejor opción es el uso de protecciones fijas o de seguridad funcional. Siempre que existe un sistema que permite realizar una parada de una máquina de manera rápida y segura o hacerla funcionar a baja velocidad durante periodos de tiempo concretos con el objetivo de reducir los riesgos, es posible obtener un aumento de la productividad y del tiempo de funcionamiento de la máquina, así como un comportamiento del sistema de seguridad menos brusco. Del mismo modo, se cumple con las obligaciones legales y se garantiza la seguridad de las personas y del entorno.

En el caso de las máquinas, la seguridad funcional suele ser sinónimo de sistemas fiables que monitorizan las aplicaciones de la máquina, llegando a asumir el control si el funcionamiento seguro se viera comprometido. Un sistema de seguridad es aquel que implementa las funciones de seguridad necesarias. Los sistemas de seguridad funcional están diseñados para detectar situaciones peligrosas o peticiones del usuario para garantizar seguridad y para llevar la máquina o proceso a un estado seguro como, por ejemplo un paro de emergencia.

La supervisión puede incluir la velocidad, la parada, el sentido de rotación y el reposo. Cuando el sistema de seguridad ejecuta una función de seguridad activa, por ejemplo la supervisión de la velocidad de arrastre, y el comportamiento del sistema se desvía de su objetivo (por ejemplo, el sistema funciona demasiado deprisa), el sistema de seguridad detecta la desviación y actúa para devolver la máquina a un estado de funcionamiento seguro. Esto se lleva a cabo, por ejemplo, parando la máquina de manera segura y disminuyendo el par del eje del motor.

Un sistema de seguridad no forma parte del funcionamiento estándar de una máquina, pero cualquier fallo en el mismo aumentará inmediatamente los riesgos relacionados con la operación de la máquina (la máquina podría estar funcionando normalmente, pero la función de seguridad no está disponible y puede ocurrir una situación peligrosa).

Directiva de Máquinas

La Directiva de Máquinas, junto con las normas armonizadas que la desarrollan, define los Requisitos Esenciales de Seguridad y Salud (EHSR) para maquinaria en el marco de la Unión Europea. Los requisitos EHSR se enumeran en el Anexo I de la Directiva de Máquinas.

El objetivo de la Directiva de Máquinas es garantizar que una máquina es segura, y que se ha diseñado y fabricado de forma que pueda ser utilizada, configurada y sometida a mantenimiento a lo largo de todas las fases de su vida útil, minimizando los riesgos para las personas y el entorno.

Los EHSR establecen que, en el proceso de búsqueda de soluciones para el diseño y la fabricación de máquinas seguras, los fabricantes de maquinaria tienen la obligación de aplicar los siguientes principios en el orden establecido (también conocido como método de los 3 pasos, EN ISO 12100):

1. Eliminar o minimizar los peligros en la medida de lo posible teniendo en cuenta los aspectos de seguridad durante las fases de diseño y fabricación de la máquina (diseñar máquinas intrínsecamente seguras).
2. Aplicar las medidas de protección necesarias para hacer frente a los peligros que no es posible eliminar.
3. Informar a los usuarios acerca de los riesgos aún existentes a pesar de la aplicación de todas las medidas de protección posibles, y especificar los requisitos relativos a la formación o al equipo de protección necesarios.

El cumplimiento de los EHSR de la Directiva de Máquinas permite al fabricante etiquetar la máquina con el marcado CE. El marcado CE indica que el fabricante garantiza que su producto cumple todas las normas relativas a la libre circulación de bienes, así como los requisitos esenciales de las Directivas europeas correspondientes, en este caso la Directiva de Máquinas.

Nota:

Es posible que existan otras directivas de obligado cumplimiento, por ejemplo la Directiva de Baja Tensión y la Directiva EMC. Esta guía sólo cubre los requisitos de la Directiva de Máquinas.

Nota:

La etiqueta del marcado CE conforme a la Directiva de Máquinas sólo puede aplicarse a una máquina completa y no a los componentes que la forman. Por lo tanto, el fabricante del producto, o el representante del fabricante, es el responsable del marcado CE, y no el fabricante del componente que está incluido en el producto final.

Como excepción, los componentes de seguridad a ser usados en las funciones de seguridad de la máquina, llevan el marcaje CE de acuerdo a la Directiva de Máquinas, del fabricante o representante del componente en Europa.

El fabricante de la máquina es responsable de llevar a cabo las evaluaciones de riesgos correspondientes, siguiendo los pasos indicados en la Parte 3, y de garantizar el cumplimiento de los requisitos. El fabricante de componentes es responsable de efectuar las pruebas de prestaciones de seguridad (nivel SIL/PL) en la función de seguridad del componente en cuestión, siempre que se use correctamente.

En este caso, un componente de seguridad podría ser un relé de seguridad o un convertidor de frecuencia con funciones de seguridad integradas.

Jerarquía del sistema de normas armonizadas europeo

El Comité Europeo de Normalización (CEN) y el Comité Europeo de Normalización Electrotécnica (CENELEC) redactan las normas Europeas “EN”, que pueden ser usadas como normas armonizadas en todos los países miembros de la UE. Todas las normas armonizadas llevan el prefijo “EN” (no todas las normas EN son armonizadas).

En la página web de la Comisión Europea, <http://ec.europa.eu>, puede encontrarse una lista de las normas armonizadas.

La mayoría de las normas armonizadas hacen referencia a una o más directivas. Para garantizar que se siguen los requisitos esenciales de la Directiva de Máquinas, es aconsejable aplicar las normas europeas armonizadas correspondientes. El diseño de máquinas conforme a estas normas permite a los fabricantes demostrar que cumplen con la Directiva de Máquinas y, en general, no requiere la certificación de terceros.

Nota:

Tenga en cuenta las excepciones para las máquinas enumeradas en el Anexo IV de la Directiva de Máquinas.

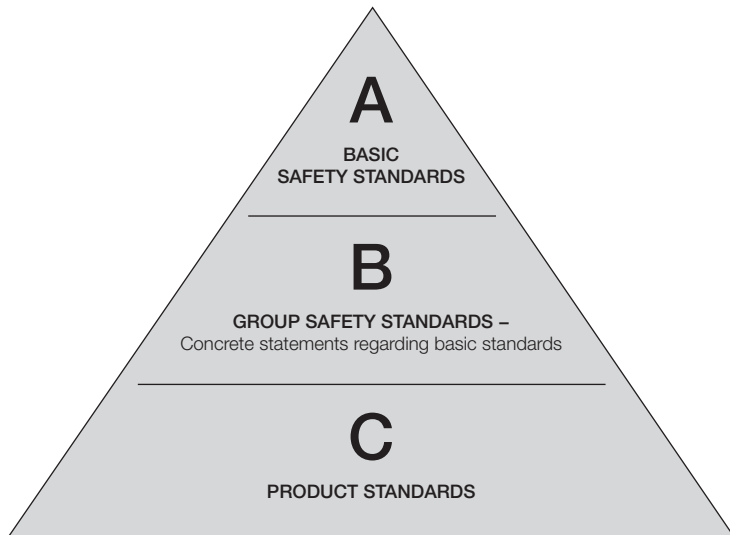


Figura 1-1 Jerarquía de las normas armonizadas europeas

- Las normas del Tipo C son específicas para una máquina o clase de máquina. Si existe una norma del Tipo C para una máquina, las normas asociadas del Tipo B, y posiblemente las del Tipo A, pasan a ser secundarias. Al diseñar funciones de seguridad, las normas del Tipo C definen requisitos adicionales obligatorios para las máquinas a las que están destinadas. Sin embargo, si no existe una norma del Tipo C para la máquina, las normas del Tipo A y del Tipo B proporcionan ayuda para el diseño y la fabricación de máquinas que cumplan los requisitos de la Directiva de Máquinas.
- Las normas del Tipo B tratan sobre los requisitos de seguridad comunes en el diseño de la mayoría de máquinas. Estas normas proporcionan información sobre los posibles riesgos y el modo de gestionarlos, con la ayuda de un proceso de reducción de riesgos. Las normas del Tipo B se dividen en dos grupos, B1 y B2. Las normas del Tipo B1 tratan los aspectos de seguridad concretos y las normas del Tipo B2 se encargan de los equipos de seguridad en general. Las normas del Tipo B1 son, por ejemplo, las EN 62061:2005 y EN ISO 13849-1:2008. Las normas del Tipo B2 incluyen normas para definir los paros de emergencia, como la EN ISO 13850:2008.
- Los estándares de tipo A manejan conceptos básicos, terminología y principios de diseño. Estos estándares, por sí mismos, no son suficientes para asegurar la conformidad con la Directiva de Máquinas. El único estándar de tipo A armonizado bajo la Directiva de Máquinas es el estándar básico de seguridad para la evaluación y reducción de riesgos, EN ISO 12100.

Nota:

La aplicación de normas armonizadas no es obligatoria, pero ofrecen recomendaciones y orientación para cumplir los requisitos de la Directiva de Máquinas, que sí deben cumplirse.

Parte 2 – Normativa de Máquinas

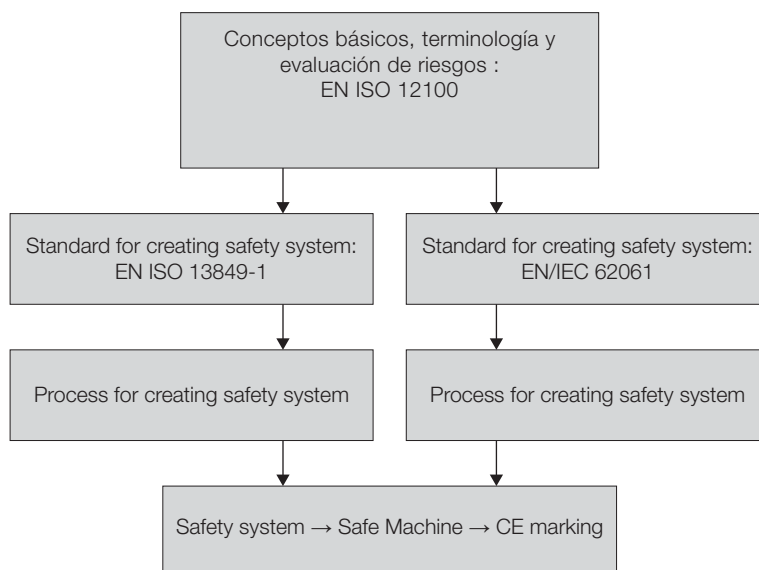


Figura 2-1 Introducción de las normas

Dos normas – IEC e ISO

Es posible seguir dos normas alternativas para implementar los sistemas de seguridad funcional de conformidad con la Directiva de Máquinas: la norma de la Organización Internacional para la Normalización (ISO) y la norma de la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC).

El uso como referencia de cualquiera de estas normas ofrece unos resultados muy similares, y tanto los niveles de integridad de la seguridad (SIL) como los niveles de prestaciones (PL) son, de hecho, comparables. Para más información, véase la tabla comparativa en la Parte 3, paso 6.

Nota:

Corresponde al fabricante de la máquina decidir qué norma de creación de sistemas de seguridad usará (EN ISO 13849-1 o EN/IEC 62061), y a continuación deberá seguir la norma elegida durante todo el proceso para garantizar la coherencia con dicha norma.

Las normas CEN se basan en las normas ISO y básicamente son para equipos mecánicos (las nuevas normas se numeran en la serie 1xxxx), mientras que las norma CENELEC se basan en las IEC (las nuevas normas se numeran en la serie 6xxxx).

Nota:

Las normas ISO son presentadas en este documento como EN ISO, usando la notación de la lista de estándares armonizados. Las normas basadas en IEC son presentadas con EN/IEC, mostrando ambos prefijos, aunque los estándares IEC IEC se muestran sólo con el prefijo EN en la lista de estándares armonizados (p.e. EN 62061).

Normas para la minimización de riesgos

Las normas de seguridad básica para la minimización de riesgos incluyen:

- **EN ISO 12100:2010** (Seguridad de las máquinas. Principios generales para el diseño)

EN ISO 12100 proporciona a los diseñadores la terminología básica, un marco general y una guía, incluyendo una estrategia para la reducción del riesgo (método de los tres pasos).

Nota:

Cualquier otra referencia a estas normas en este documento siempre se aplica a las versiones de estas normas mencionadas arriba.

Normas para sistemas de seguridad electrónicos

A continuación se enumeran las normas para sistemas de seguridad electrónicos:

- **EN ISO 13849-1:2008/AC:2009** (Seguridad de las máquinas. Partes de los sistemas de mando relativas a la seguridad. Parte 1: Principios generales para el diseño),
- **EN ISO 13849-2:2012** (Seguridad de las máquinas. Partes de los sistemas de mando relativas a la seguridad. Parte 2: Validación)
- **EN/IEC 62061:2005+AC:2010** (Seguridad de las máquinas. Seguridad funcional de sistemas de mando eléctricos, electrónicos y programables relativos a la seguridad),
- **IEC 61508:2010** (Seguridad funcional de sistemas de mando eléctricos, electrónicos y programables relativos a la seguridad), y
- **EN/IEC 60204-1:2006+AC:2010** (Seguridad de las máquinas. Equipamiento eléctrico de las máquinas. Requisitos generales).

Nota:

Cualquier otra referencia a estas normas en este documento siempre se aplica a las versiones de estas normas mencionadas arriba.

La norma EN ISO 13849-1 es una norma que facilita instrucciones para que los diseñadores fabriquen máquinas seguras. Dichas instrucciones incluyen recomendaciones para el diseño, la integración y la validación de los sistemas. Esta norma puede utilizarse para partes de los sistemas de mando relativas a la seguridad y varios tipos de maquinaria, con independencia de la tecnología o la fuente de energía utilizada. Esto incluye también los requisitos específicos para componentes relacionados con la seguridad que cuentan con sistemas electrónicos programables. Esta norma cubre la totalidad de la función de seguridad en todos los dispositivos incluidos (es decir, una cadena de seguridad completa como por ejemplo sensor-lógica-actuador).

La norma define cómo se determina el Nivel de prestaciones (PL) y se verifica el PL alcanzado en un sistema. El PL describe la forma en que un sistema de seguridad es capaz de llevar a cabo una función de seguridad en situaciones predecibles. Existen cinco posibles niveles de prestaciones: a, b, c, d y e. El nivel “e” representa la mayor fiabilidad de seguridad y el nivel “a”, la menor.

EN ISO 13849-2 especifica el proceso de validación de las funciones de seguridad diseñadas conforme a EN ISO 13849-1.

EN/IEC 62061 es una norma para el diseño de sistemas eléctricos de seguridad. Se trata de una norma específica para el sector de maquinaria dentro del marco de la norma IEC 61508. EN/IEC 62061 incluye recomendaciones para el diseño, la integración y la validación de sistemas de mando eléctricos, electrónicos y electrónicos programables relativos a la seguridad para máquinas. Esta norma cubre toda la cadena de seguridad, por ejemplo sensor-lógica-actuador. No es necesario certificar los subsistemas individuales si la función de seguridad en su conjunto cumple los requisitos definidos. No obstante, se recomienda encarecidamente el uso de subsistemas certificados a modo de bloques modulares, ya que esto puede representar un ahorro de esfuerzos considerable en el proceso de diseño y de verificación.

Nota:

Al contrario que la norma EN ISO 13849-1, EN/IEC 62061 no incluye los requisitos para equipos de mando no eléctricos relativos a la seguridad para maquinaria.

Esta norma define cómo determinar el Nivel de Integridad de la Seguridad (SIL) para completar funciones de seguridad. En cambio, para la subsistemas de seguridad se utiliza el Límite de Reclamaciones del Nivel de Integridad de la Seguridad (SIL CL). El SIL y el SIL CL son una representación de la capacidad de la reducción de riesgos de las funciones y subsistemas de seguridad. Existen cuatro niveles SIL posibles: 1, 2, 3 y 4. “SIL 4” corresponde al nivel más alto de integridad de la seguridad y “SIL 1”, al más bajo. En el caso de la maquinaria, sólo se utilizan los niveles de 1 a 3.

La **IEC 61508** es una norma de seguridad funcional básica. Esta cubre el ciclo de vida de los sistemas que contengan componentes eléctricos y/o electrónicos y/o electrónicos programables usados para llevar a cabo funciones de seguridad. La IEC 61508 no es una norma armonizada, pero es la más importante que describe los requisitos y los métodos empleados en el diseño de sistemas de mando relacionados con la seguridad que incluyen hardware y software complejo. La IEC 61508 se utiliza normalmente en el diseño de subsistemas de seguridad certificables. Las normas EN ISO 13849-1 y EN/IEC 62061 se basan en los principios establecidos en IEC 61508.

La **EN/IEC 60204-1** proporciona recomendaciones y requisitos para equipos eléctricos de máquinas con el objetivo de mejorar su seguridad y utilización.

Normas de seguridad específicas para productos (normas Tipo C)

Las normas de seguridad específicas para productos, conocidas como normas del Tipo C, se encargan de una máquina o clase de máquinas concreta y se basan en una presunción de conformidad respecto a los EHSR cubiertos por la norma.

Hay que tener en cuenta que:

- Los requisitos especificados en las normas del Tipo C normalmente prevalecen sobre los requisitos establecidos por las normas de seguridad general EN/IEC 62061, EN ISO 13849-1, etc.).
- Las normas del Tipo C pueden establecer requisitos SIL/PL para algunas funciones de seguridad específicas. Al menos deben cumplirse estos requisitos, independientemente de los resultados de la evaluación del análisis de riesgos (aunque siempre es necesario realizar evaluaciones de riesgo).

Nota:

Incluso si las listas de posibles peligros que pueden afectar a la máquina, creadas durante la evaluación de riesgos, y la norma del Tipo C son idénticas, la norma puede que no tenga en cuenta todos los EHSR pertinentes. La norma siempre debe inspeccionarse minuciosamente para determinar qué peligros podrían haberse excluido de la lista.

Norma específica para sistemas de convertidor relacionados con la seguridad

La norma específica para sistemas de convertidor relacionados con la seguridad es:

- **EN/IEC 61800-5-2:2007** (Convertidores eléctricos de velocidad ajustable. Requisitos de seguridad funcional).

Nota:

Cualquier otra referencia a esta norma en este documento sólo se aplica a la versión de esta norma mencionada arriba.

EN/IEC 61800-5-2 facilita especificaciones y recomendaciones para sistemas de convertidor usados en aplicaciones relacionadas con la seguridad. Se trata de una norma de producto que presenta aspectos relativos a la seguridad dentro del marco de la IEC 61508 e introduce requisitos para sistemas de convertidor cuando se usan como subsistemas en sistemas de seguridad.

Funciones de seguridad normalizadas

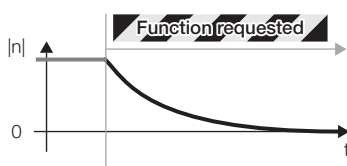
La norma EN/IEC 61800-5-2 define funciones de seguridad para sistemas con convertidores de frecuencia. Un convertidor de frecuencia puede ofrecer una o más de estas funciones. A continuación se muestran algunos ejemplos:

Safe torque off (STO)

Cuando está activado esta función lleva la máquina a un estado sin par de manera segura y/o evita que arranque accidentalmente.

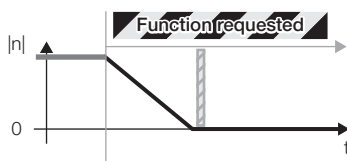
Nota:

El Safe torque off no protege contra riesgos eléctricos.



Paro seguro 1 (SS1, Safe Stop 1)

Cuando está activado la función SS1 para el motor de manera segura, iniciando la función STO por debajo de una velocidad determinada o tras un límite de tiempo definido.



Paro seguro 2 (SS2, Safe Stop 2)

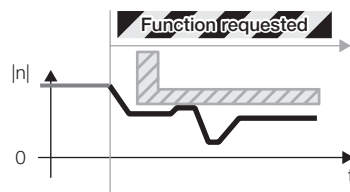
Cuando está activado la función SS2 para el motor de manera segura, iniciando la función SOS por debajo de una velocidad determinada o tras un límite de tiempo definido.

Paro de funcionamiento seguro (SOS, Safe Operating Stop)

Cuando está activada esta función mantiene el motor en un estado de reposo seguro, a la vez que mantiene el par del motor.

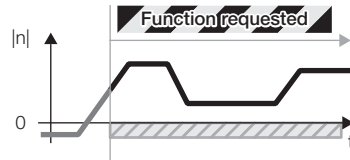
Velocidad limitada con seguridad (SLS, Safely-limited speed)

Cuando está activada la función SLS evita que el motor supere el límite de velocidad especificado.



Direccionamiento seguro (SDI, Safe direction)

Cuando está activada esta función evita que el eje del motor gire en un sentido no deseado.

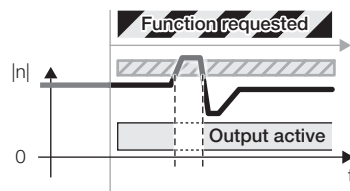


Control seguro de frenos (SBC, Safe brake control)

La función SBC proporciona una salida segura para controlar frenos (mecánicos) externos.

Monitorización de velocidad segura (SSM, Safe speed monitor)

Cuando está activada la función SSM proporciona una salida segura que indica que la velocidad está por debajo del límite de velocidad especificado.



Véase la norma EN/IEC 61800-5-2 para más ejemplos sobre funciones de seguridad.

Nota:

Las funciones SOS, SLS y SDI de las funciones mencionadas son funciones de monitorización, esto es, monitorizan de manera segura que el movimiento o el paro están dentro de los límites definidos. Si estas funciones detectan que el movimiento está fuera de los límites, activan una función de reacción de fallo, que típicamente es el Safe torque off (STO).

Operaciones de emergencia

La norma EN/IEC 60204-1 define dos operaciones de emergencia: la desconexión de emergencia y el paro de emergencia.

Desconexión de emergencia

La función de desconexión de emergencia desconecta la alimentación a un sistema, o a parte de este, si surge el riesgo de descarga eléctrica.

Esta función requiere el uso de componentes de conmutación externos y no puede lograrse con funciones del convertidor como la función **Safe torque off (STO)**.

Paro de emergencia

La función de paro de emergencia debe operar de manera que cuando se active, se detenga el movimiento peligroso de la maquinaria y se inhabilite el arranque de la máquina en cualquier caso, incluso tras el rearme. El rearme del paro de emergencia sólo permite arrancar de nuevo la máquina.

Esta función puede detener cualquier movimiento peligroso llevando a cabo las siguientes acciones:

- tasa de deceleración óptima hasta detención completa de la máquina
- utilizando una de las dos categorías de paro de emergencia, 0 o 1, o
- una secuencia de desconexión predefinida.

Paro de emergencia, paro categoría 0 significa que se interrumpe inmediatamente la alimentación al motor. Es equivalente a la función **Safe torque off (STO)**, definida por la norma EN 61800-5-2.

Paro de emergencia, paro categoría 1 significa que la velocidad de la máquina desciende hasta el reposo mediante una deceleración controlada, y a continuación se interrumpe la alimentación al motor. Es equivalente a la función **Paro seguro 1 (SS1)**, definida por la norma EN 61800-5-2.

Con su actuación, la función de paro de emergencia no debe crear ningún peligro adicional o requerir de ninguna acción adicional del operador de la máquina.

Nota:

La norma EN ISO 13850:2008 presenta los principios de diseño de una función de paro de emergencia.

Prevención de arranque inesperado

Una de las condiciones más importantes de las máquinas seguras es garantizar que una máquina permanezca parada cuando haya personas presentes en una zona peligrosa.

La función **Safe torque off** se puede usar para implementar de manera efectiva la función de prevención de arranque inesperado, efectuando por lo tanto paros seguros cortando la alimentación al motor pero manteniéndola en los circuitos principales de mando del convertidor. La función de prevención de arranque inesperado requiere, por ejemplo, de un interruptor que pueda bloquearse además de la función STO.

Los principios y requisitos de la función de prevención de arranque inesperado se describen en la norma EN 1037:1995+A1 2008. Otra norma que cubre la prevención de arranque inesperado es la ISO 14118:2000.

Parte 3 – Pasos a seguir para cumplir con los requisitos de la Directiva de Máquinas

La Directiva de Máquinas exige que la maquinaria sea segura. Sin embargo, nunca es posible eliminar por completo los riesgos. El objetivo es minimizar el riesgo.

La conformidad con la Directiva de Máquinas se consigue si:

- se cumplen los requisitos establecidos en las normas armonizadas, o
- un organismo autorizado efectúa un examen para la aprobación de la máquina.

El proceso de cumplimiento de los EHSR de la Directiva de Máquinas usando las normas armonizadas puede dividirse en nueve pasos:

- **Paso 1: Gestión de la seguridad funcional.** Gestionar la seguridad funcional a lo largo del ciclo de vida de la máquina.
- **Paso 2: Evaluación de riesgos.** Análisis y evaluación de riesgos.
- **Paso 3: Reducción de riesgos.** Eliminar o minimizar los riesgos mediante el diseño y la documentación.
- **Paso 4: Establecimiento de los requisitos de seguridad.** Definir la funcionalidad y las prestaciones de seguridad necesarias para eliminar el riesgo o reducirlo hasta un nivel aceptable.
- **Paso 5: Implementación del sistema de seguridad funcional.** Diseño y creación de las funciones de seguridad.
- **Paso 6: Verificación del sistema de seguridad funcional.** Garantizar que el sistema de seguridad cumple los requisitos definidos.
- **Paso 7: Validación del sistema de seguridad funcional.** Revisar el sistema de seguridad implementado contra la evaluación de riesgos y para asegurarse de que el sistema de seguridad realmente sirve para reducir los riesgos como se espera.
- **Paso 8: Documentación del sistema de seguridad funcional.** Documentar el diseño y elaborar documentación para el usuario.
- **Paso 9: Proporción del cumplimiento.** Demostrar la conformidad de la máquina con los EHSR de la Directiva de Máquinas mediante evaluaciones de conformidad y documentos técnicos.

Cada uno de estos pasos se explica con más detalle en los capítulos siguientes.

Actualización de la maquinaria existente

Las siguientes cuestiones deben considerarse al actualizar los requisitos de seguridad para máquinas existentes:

- Máquinas que ya poseen el marcado CE: los nuevos componentes que se añadan a la máquina también deben poseer el marcado CE de acuerdo con las directivas relevantes tales como la Directiva de Baja Tensión y CEM (también los componentes de seguridad de acuerdo con la Directiva de Máquinas). Deberá definirse en cada caso cómo se aplican los nuevos componentes al sistema antiguo de conformidad con la Directiva de Máquinas.
- Máquinas que no poseen el marcado CE: el nivel de seguridad de la máquina puede mantenerse sustituyendo viejos componentes por nuevos que posean el marcado CE.

Por último, queda a criterio de la autoridad correspondiente decidir si el cambio ha sido suficientemente amplio como para requerir una actualización del nivel de seguridad.

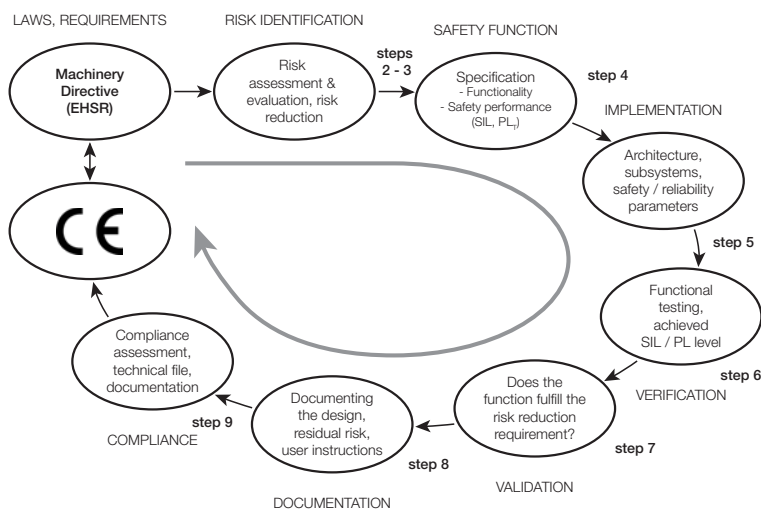


Figura 3-1 Diagrama de flujo para el cumplimiento de los requisitos de la Directiva de Máquinas

PASO 1: Gestión de la seguridad funcional

Para lograr la seguridad funcional requerida, es necesario implementar tanto un sistema de gestión de proyectos como de gestión de calidad que cumpla, por ejemplo, con las normas IEC 61508 o ISO 9001. El sistema de gestión se puede especificar en la forma de un plan de seguridad.

Plan de seguridad

En la norma EN/IEC 62061 se especifica un plan de seguridad para el proceso que permite cumplir con los requisitos de la Directiva de Máquinas. Este plan debe ser creado y documentado para cada sistema de seguridad, y actualizarse siempre que sea necesario.

Plan de seguridad:

- identifica todas las actividades pertinentes,
- describe la política y la estrategia para cumplir con los requisitos de seguridad funcional,
- identifica las responsabilidades,
- identifica o establece los procedimientos y los recursos para la documentación,
- describe la estrategia de gestión de la configuración, e
- incluye planes de verificación y validación.

Nota:

Aunque las actividades enumeradas anteriormente no se especifican exhaustivamente en la norma EN ISO 13849-1, es necesario llevar a cabo actividades similares para cumplir en su totalidad con los requisitos de la Directiva de Máquinas.

Una vez se ha creado el plan de seguridad (conforme a la norma EN/IEC 62061), se inicia la evaluación de riesgos.

PASO 2: Evaluación de riesgos

La evaluación del riesgo es un proceso que analiza y valora los riesgos, que son considerados como una combinación de las consecuencias del daño y la probabilidad de que se produzca este daño ante la exposición a un peligro.

Nota:

Según la nueva Directiva de Máquinas 2006/42/CE, es obligatorio documentar y llevar a cabo una evaluación de riesgos de la máquina.

La Directiva de Máquinas 2006/42/CE exige a los fabricantes llevar a cabo evaluaciones de riesgos, cuyos resultados deben tenerse en cuenta a la hora de diseñar una máquina. Cualquier riesgo que se considere como “elevado” debe reducirse a un nivel aceptable mediante cambios en el diseño o aplicando las medidas de seguridad apropiadas. Los estándares EN 62061 y EN ISO 13849-1 proporcionan métodos numéricos para la evaluación de riesgos y niveles de reducción.

El proceso de evaluación de riesgos proporciona a los diseñadores los requisitos para que conciben una maquinaria intrínsecamente segura. La evaluación de los riesgos en la fase de diseño es muy importante, pues siempre resulta más efectivo que proporcionar instrucciones al usuario acerca de cómo operar el equipo de forma segura.

Conforme a la norma EN ISO 12100-1, la evaluación de riesgos consta de dos partes: el análisis de riesgos y la valoración de riesgos. Por análisis de riesgos entendemos identificar y estimar los

riesgos, mientras que la valoración de riesgos se refiere a decidir si el riesgo es aceptable, o si es necesaria una reducción del mismo. La valoración de riesgos se lleva a cabo sobre la base de los resultados del análisis de riesgos. Las decisiones referentes a la necesidad de reducir los riesgos se toman de acuerdo con el procedimiento de valoración de riesgos.

Pista: La herramienta de diseño de seguridad funcional de ABB es una herramienta PC que proporciona un modo conveniente de llevar a cabo la evaluación de riesgo numéricamente de acuerdo con los estándares de maquinaria EN/IEC 62061 o EN ISO 13849-1.

Nota:

La valoración de riesgos debe ser realizada de forma independiente para cada peligro.

Los cuatro pasos de la valoración de riesgos:

1. Determinar los límites y el uso previsto de la máquina.
Estos límites son:
 - límites de uso
 - límites espaciales
 - límites ambientales o medioambientales
 - límites de vida útil
2. Identificar los peligros que podría generar la máquina.
3. Estimar los riesgos identificados uno a uno.
 - Gravedad del riesgo (consecuencias potenciales)
 - Probabilidad del riesgo (frecuencia, probabilidad, evitabilidad)
4. Evaluar el riesgo: ¿Es necesario reducir el riesgo?
 - Sí: Aplicar medidas para la reducción de riesgos y volver al Paso 2 del análisis de riesgos.

Nota:

El método de los tres pasos para la reducción de riesgo de acuerdo con la EN ISO 12100 se presenta en el próximo capítulo.

- **NO:** Se ha cumplido el objetivo de reducción de riesgos y el proceso se da por terminado.

Documente el proceso de evaluación de riesgos y los resultados obtenidos para cada peligro.

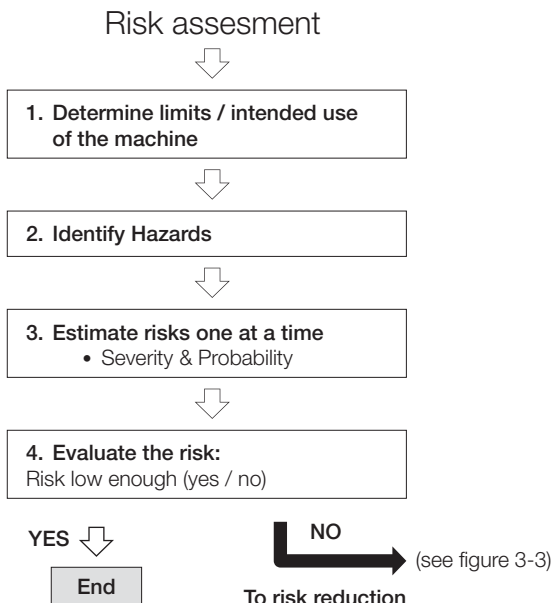


Figura 3-2 Evaluación y valoración de riesgos conforme a EN ISO 12100

Una vez se ha llevado a cabo la evaluación de riesgos, existen dos opciones dependiendo del resultado de la evaluación:

Opción 1

Si la evaluación concluye que la reducción de riesgos no es necesaria, entonces la máquina ha alcanzado el nivel adecuado de seguridad requerido por la Directiva de Máquinas.

Nota:

Los riesgos restantes deben documentarse en los manuales de operación y mantenimiento correspondientes. Siempre existe algún riesgo residual.

Opción 2

Si la evaluación revela que el riesgo continúa siendo inaceptable, se inicia el proceso de reducción del riesgo.

PASO 3: Reducción de riesgos

La forma más efectiva de minimizar riesgos es hacerlo durante la fase de diseño, por ejemplo, modificando el diseño de la máquina o el proceso de trabajo. Si esto no fuera posible, deben reducirse los riesgos y asegurarse su conformidad con los requisitos de la Directiva de Máquinas mediante la aplicación de sus normas armonizadas.

Si la evaluación de riesgos concluye que es necesario reducir el riesgo, se crea una estrategia de minimización de riesgos. La norma EN ISO 12100-1 divide el método para la reducción de riesgos en tres pasos principales (método de los tres pasos):

Método de los 3 pasos

1. Medidas de diseño intrínsecamente seguras: creación de un diseño más seguro, modificación del proceso, eliminación del riesgo mediante el diseño.
2. Medidas de protección y salvaguarda complementarias: funciones de seguridad, protección fija.
3. Información para el uso (gestión del riesgo residual):
 - dispositivos, señales y signos de aviso en la máquina y
 - en las instrucciones de funcionamiento.

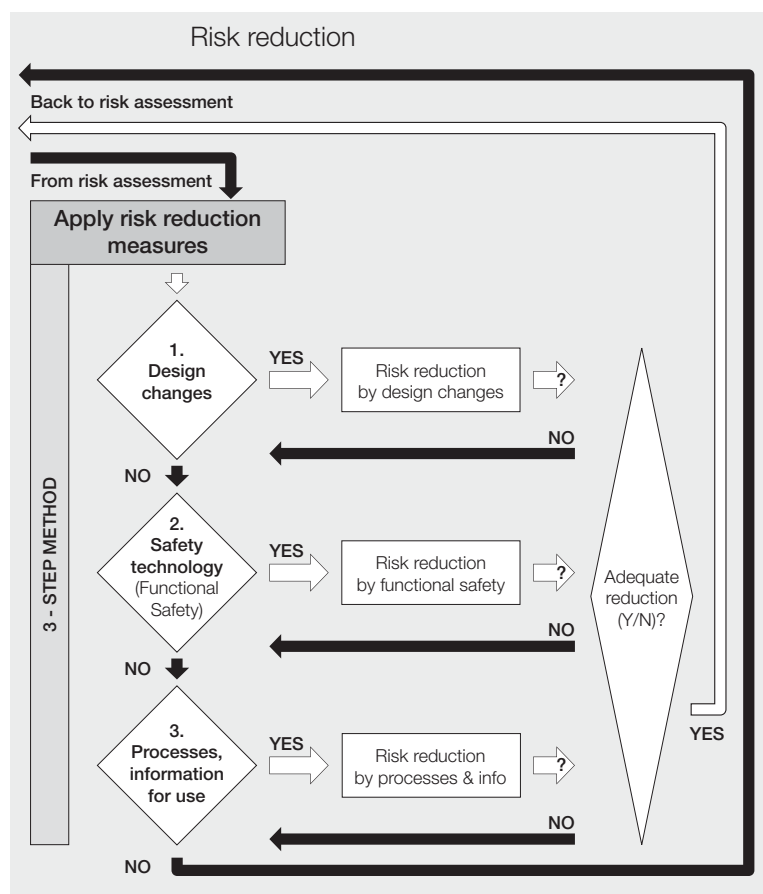


Figura 3-3 Método de reducción de riesgos en 3 pasos conforme a EN ISO 12100-1

El riesgo residual es aquel que persiste una vez se han tenido en cuenta e implementado todas las medidas de protección. Las medidas tecnológicas por sí mismas nunca son capaces de conseguir eliminar totalmente los riesgos, por lo que siempre existirá algún riesgo residual.

Estos riesgos deben documentarse en las instrucciones de funcionamiento.

La parte de la reducción de riesgos correspondiente al usuario incluye información proporcionada por el diseñador (fabricante). Las medidas de reducción de riesgos tomadas por una organización o usuario son:

- Las medidas de reducción más comunes adoptadas por la organización:
 - implementación de procesos de trabajo seguros
 - supervisión de los trabajos
 - sistemas de permisos de trabajo seguros
- La disposición y el uso de protecciones adicionales
- El uso de equipos de protección personal
- La formación del personal
- Asegurarse de que las instrucciones de seguridad y de funcionamiento han sido leídas y se actúa conforme a ellas.

Los diseñadores siempre deben recoger la valiosa información facilitada por los usuarios al definir medidas de protección.

Tras poner en práctica la reducción de riesgos, es obligatorio revisarla para garantizar que se toman las medidas adecuadas para reducir el riesgo a un nivel apropiado. Esto puede hacerse repitiendo el proceso de evaluación de riesgos.

Los pasos restantes que figuran a continuación describen la opción 2 del método de los 3 pasos: protecciones mediante una solución de seguridad funcional.

PASO 4: Establecimiento de los requisitos de seguridad

Una vez se ha llevado a cabo la reducción de riesgos correspondiente a la introducción de cambios en el diseño, es necesario especificar las protecciones adicionales. Las soluciones de seguridad funcional pueden usarse en los peligros restantes como medida adicional de reducción de riesgos.

Funciones de seguridad

Una función de seguridad es una función de una máquina cuyo fallo puede provocar un aumento inmediato del riesgo. Explicado de forma sencilla, es una medida que debe tomarse para reducir las probabilidades de que tenga lugar un evento indeseado durante una exposición a un peligro. Una función de seguridad no es parte del funcionamiento de la máquina en sí. Esto significa que si la función de seguridad falla, la máquina sigue funcionando normalmente, pero el riesgo de lesión asociado a su funcionamiento aumenta.

La definición de una función de seguridad siempre incluye dos componentes:

- **Acción requerida** (lo que debe hacerse para reducir el riesgo) y
- **prestaciones de seguridad** (SIL o PL, Nivel de Integridad de la Seguridad y Nivel de Prestaciones, respectivamente).

Nota: Es importante también especificar los requerimientos de tiempo de la función de seguridad, p.e. el máximo tiempo permitido para llevar el sistema a un estado seguro.

Para poder seleccionar correctamente los componentes de seguridad es necesario especificar el medio del sistema de seguridad.

Nota: Es obligatorio especificar, verificar (prestaciones de seguridad y funcionalidad) y validar la función de seguridad para cada uno de los peligros identificados.

Ejemplo de función de seguridad:

Requisito: un eje en giro desprotegido puede lesionar a una persona que se acerque demasiado.

Acción: para evitar que alguna persona resulte herida, el motor debe pararse en un máximo de un (1) segundo tras la apertura de la puerta de seguridad.

Una vez se ha definido la función de seguridad que ejecuta la acción, se determina el nivel de seguridad que requiere para ello.

Integridad/prestaciones de seguridad

La integridad de la seguridad mide las prestaciones de una función de seguridad. Ayuda a cuantificar la probabilidad de que active la función de seguridad cuando así se solicita. La integridad de la seguridad que requiere una función se determina durante la evaluación de riesgos y se representa mediante el Nivel de Integridad de la Seguridad (SIL) o el Nivel de prestaciones (PL) alcanzado, en función de la norma utilizada.

Las dos normas usan diferentes técnicas de evaluación para la función de seguridad, aunque sus resultados son comparables. Los términos y las definiciones son similares en ambas normas.

Determinación del SIL requerido (EN/IEC 62061)

El proceso para determinar el SIL es el siguiente:

1. Determine la gravedad de las consecuencias de un evento peligroso.
2. Determine el valor numérico para la frecuencia y el tiempo durante el cual la persona está expuesta al peligro.

Pista: La determinación del SIL requerido puede ser cómodamente hecho con la herramienta PC de diseño de seguridad funcional (FSDT) de ABB.

3. Determina el valor de la probabilidad de que una situación de riesgo ocurra cuando se está expuesta a ella.
4. Determina el valor de la posibilidad de prevenir o limitar el alcance de los daños.

Ejemplo:

Los parámetros utilizados para determinar los valores numéricos se presentan en el siguiente ejemplo de una tabla de asignación del SIL.

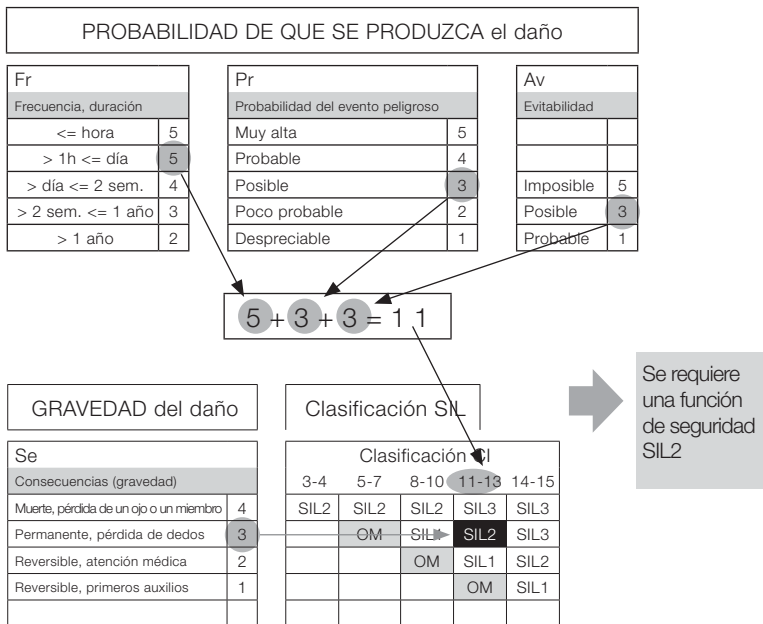


Figura 3-4 Ejemplo de una tabla de asignación del SIL (basado en la EN/IEC 62061, figura A.3)

En este ejemplo, el análisis de peligros se lleva a cabo para un eje en giro desprotegido.

1. Gravedad (Se) = 3. La consecuencia del peligro es una lesión permanente, con posible pérdida de dedos.
2. Frecuencia (Fr) = 5. Una persona está expuesta al peligro varias veces al día.
3. Probabilidad (Pr) = 3. Es posible que el peligro se haga realidad.
4. Evitabilidad (Av) = 3. El peligro es evitable.
 - 5 + 3 + 3 = 11, con la consecuencia determinada, siendo igual a un SIL 2.

Las tablas utilizadas para determinar estos valores forman parte de la norma.

Tras haber definido el SIL requerido, es posible iniciar la implementación del sistema de seguridad.

Determinación del PL requerido (EN ISO 13849-1)

Para determinar el PL requerido, seleccione una de las alternativas de entre las siguientes categorías y cree una “ruta” hasta el PL requerido en el gráfico.

1. Determine la gravedad del daño.

Los parámetros de la gravedad son:

S1 Leve, lesión normalmente reversible

S2 Grave, lesión normalmente irreversible, incluida la muerte

2. Determine la frecuencia y la duración de la exposición al peligro.

Los parámetros de la frecuencia y la duración son:

F1 Entre poco probable y frecuente y/o exposición breve

F2 Entre frecuente y continua y/o exposición larga

3. Determine la posibilidad de evitar el peligro o de limitar el daño ocasionado.

Los parámetros relacionados con la posibilidad de evitar y de limitar el daño son:

P1 Posible bajo ciertas condiciones

P2 Prácticamente imposible

Pista:

La determinación del SIL requerido puede ser cómodamente hecho con la herramienta PC de diseño de seguridad funcional (FSDT) de ABB.

Ejemplo:

El nivel de prestaciones resultante se representa por a, b, c, d y e en el ejemplo siguiente del gráfico de riesgos del PL.

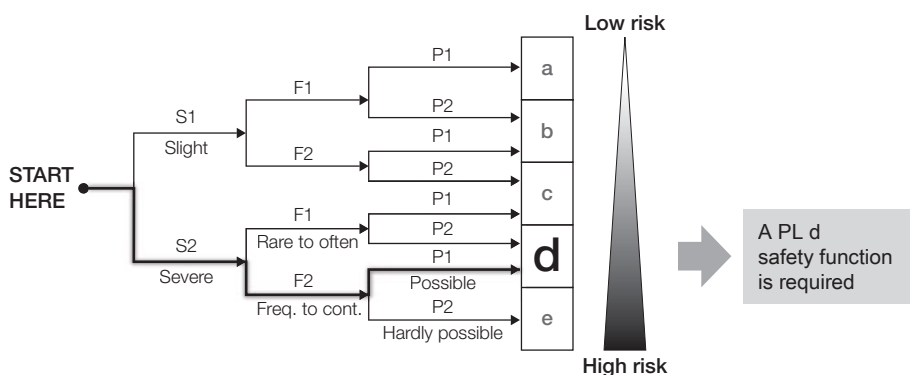


Figura 3-5 Ejemplo del gráfico de riesgos del PL (basado en la EN ISO 13849-1, figura A.1)

En este ejemplo, el análisis de peligros se lleva a cabo para un eje en giro desprotegido.

- La consecuencia del peligro es una lesión grave e irreversible.
Gravedad = S2.
- Una persona está expuesta al peligro varias veces al día.
Frecuencia = F2.
- Es posible evitar o limitar el daño ocasionado por el peligro.
Posibilidad = P2.

La ruta lleva a un valor de PL requerido (PLr) d. Las tablas utilizadas para determinar estos valores forman parte de la norma. Tras haber definido el PL requerido, es posible iniciar la implementación del sistema de seguridad.

PASO 5: Implementación de un sistema de seguridad funcional

Cuando se pretende diseñar y fabricar una función de seguridad, la idea es planear y fabricar la función de seguridad para que satisfaga el SIL/PL requerido que se especifica en el capítulo previo. El uso de subsistemas certificados en los sistemas de seguridad funcional puede ahorrar mucho trabajo a los diseñadores de dichos sistemas. La implementación de funciones de seguridad resulta más conveniente una vez se han realizado algunos cálculos de seguridad y fiabilidad y los subsistemas están certificados.

Nota:

Si no se utilizan subsistemas certificados, puede ser necesario llevar a cabo cálculos de seguridad para cada subsistema. Las normas EN/IEC 62061 y EN ISO 13849-1 incluyen información sobre el proceso y los parámetros de cálculo necesarios.

Pista:

La selección de una adecuada arquitectura de una función de seguridad que cumpla los cálculos de seguridad requeridos y la verificación SIL/PL puede llevarse a cabo convenientemente con la herramienta de PC denominada herramienta de diseño de seguridad funcional (FSDT).

Los procesos de implementación y verificación son iterativos y se desarrollan en paralelo. La idea es usar la verificación como herramienta durante la implementación para asegurarse de que se alcanza la seguridad funcional y el nivel SIL/PL requeridos con el sistema implementado. Para más información sobre los procesos de verificación, véase el paso siguiente.

ABB dispone de una herramienta PC de diseño de seguridad funcional (FSDT) para establecer un objetivo de SIL/PL para una función de seguridad, así como para diseñar, verificar el SIL/PL alcanzado y documentar la función de seguridad.

Los pasos generales para la implementación de un sistema de seguridad funcional son:

1. Definir los requisitos de seguridad como SIL o PL conforme a la norma EN/IEC 62061 o a la EN ISO 13849-1.

2. Seleccionar la arquitectura del sistema que va a utilizarse para el sistema de seguridad.

Las normas EN ISO 13849-1 y EN/IEC 62061 ofrecen arquitecturas básicas con fórmulas de cálculo.

- la categoría B, 1, 2, 3 o 4 de acuerdo con la norma EN ISO 13849-1, o
- la arquitectura designada A, B, C o D de acuerdo con la norma EN/IEC 62061 para los subsistemas y para el sistema en su conjunto.

Para obtener más información sobre las arquitecturas designadas, consulte las normas pertinentes.

3. Fabricar el sistema a partir de subsistemas de seguridad: sensor/interruptor, entrada, lógica, salida y actuador.

Adopte una de estas acciones:

- use subsistemas certificados (recomendado) o
- lleve a cabo cálculos de seguridad para cada subsistema.

El nivel de seguridad del sistema en su conjunto se establece sumando todos los niveles de seguridad de los subsistemas.

4. Instalar el sistema de seguridad.

Es necesario que el sistema se instale de forma adecuada para evitar un posible fallo común a causa de un cableado indebido, por razones medioambientales o por otros factores. Un sistema de seguridad que no realiza su tarea correctamente por culpa de una instalación deficiente carece de utilidad, e incluso puede llegar a suponer un riesgo.

5. Comprobar la funcionalidad del sistema.

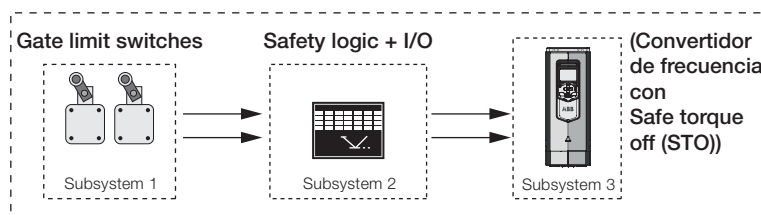


Figura 3-6 Estructura de una función de seguridad

PASO 6: Verificación del sistema de seguridad funcional

La verificación del sistema de seguridad funcional demuestra y garantiza que el sistema de seguridad implementado cumple con los requisitos especificados para el sistema en la fase de requisitos de seguridad.

La verificación no debe llevarse a cabo tras el proceso de implementación, sino de manera paralela a éste como un proceso iterativo, de modo que se garantice que la implementación genere en efecto un sistema que cumplirá los requisitos especificados.

Además de verificar si se ha conseguido el SIL o PL del sistema, también es necesario verificar el correcto funcionamiento del sistema de seguridad efectuando pruebas de funcionalidad.

Verificación del SIL del sistema de seguridad (EN/IEC 62061)

Para verificar los niveles de integridad de la seguridad se debe comprobar que las prestaciones de seguridad de la función de seguridad creada, es decir su capacidad de reducción de riesgos, sean iguales o mayores al objetivo de prestaciones requerido fijado durante la valoración de riesgos. Se recomienda el uso de subsistemas certificados, ya que su fabricante ya ha definido valores para determinar la integridad de seguridad sistemática (SILCL) y la probabilidad de fallos peligrosos por hora (PFH_d).

Pista: La verificación del SIL alcanzado puede ser llevada a cabo convenientemente con la herramienta PC de diseño de seguridad funcional (FSDT) de ABB.

Para verificar el SIL de un sistema de seguridad en que se utilizan subsistemas certificados:

1. Determine la integridad de seguridad sistemática del sistema mediante los valores del límite de solicitud de SIL (SILCL, SIL Claim Limit) definidos para los subsistemas.

El SILCL es el valor máximo del SIL para el que el subsistema resulta estructuralmente adecuado. El SILCL es un indicador para la determinación del SIL alcanzado: el SILCL de todo el sistema no puede ser mayor que el SILCL del subsistema de menor entidad.

2. Calcule la integridad de seguridad aleatoria del hardware para el sistema mediante los valores de Probabilidad de fallo peligroso por hora (PFH_d, Probability of a dangerous Failure per Hour) definidos para los subsistemas. Habitualmente, los fabricantes de subsistemas certificados facilitan valores de PFH_d para sus sistemas.

La PFH_d es el valor de fallo aleatorio del hardware que se utiliza para determinar el SIL.

3. Utilice la lista de comprobación de Fallos por Causa Común (CCF) para asegurarse de que se han tenido en cuenta todos los aspectos necesarios a la hora de crear los sistemas de seguridad.

Las tablas con listas de comprobación de CCF pueden consultarse en la norma EN/IEC 62061, Anexo F.

Calcule los puntos según la lista y compare el resultado final con los valores enumerados en la norma EN/IEC 62061 Anexo F, y con los resultados de la Tabla F.2 en el factor CCF (β). Este valor se utiliza para estimar el valor de probabilidad de PFH_d .

4. Determine el SIL alcanzado con ayuda de la tabla correspondiente.

Ejemplo de verificación del SIL (Los datos de cálculo son ficticios):

Verificación del sistema de seguridad funcional de un eje en giro:

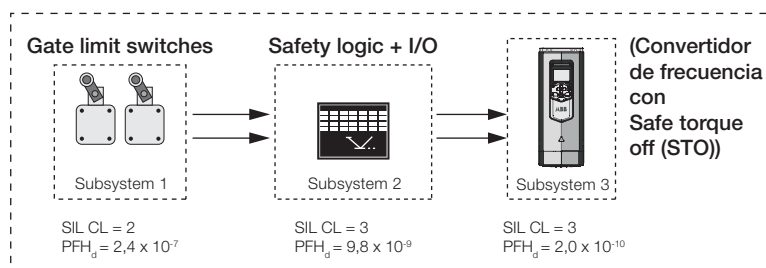


Figura 3-7 Ejemplo de verificación del SIL (basado en EN/IEC 62061, tabla 3)

- Integridad de seguridad sistemática:
 $SIL\ CL_{sist} \leq (SIL\ CL_{subsistema})_{mínimo} \rightarrow$ Límite de solicitud de SIL 2
- Integridad de seguridad aleatoria del hardware:
 $PFH_d = PFH_{d1} + PFH_{d2} + PFH_{d3} = 2,5 \times 10^{-7} < 10^{-6}$
 = El sistema cumple con el SIL 2.

Tabla para determinar el SIL de acuerdo con el valor de PFH_d obtenido para todo el sistema de seguridad (en modo continuo/alta demanda):

SIL	Probabilidad de fallos peligrosos por hora (1/h)
SIL 1	$\geq 10^{-6}$ hasta $< 10^{-5}$
SIL 2	$\geq 10^{-7}$ hasta $< 10^{-6}$
SIL 3	$\geq 10^{-8}$ hasta $< 10^{-7}$

Tabla 3-1 Tabla para determinar el SIL (basado en EN/IEC 62061, tabla 3)

Verificación del PL del sistema de seguridad (EN ISO 13849-1)

Para verificar el nivel de prestación, compruebe que el PL de la función de seguridad correspondiente concuerda con el PLr requerido. Si la función de seguridad está formada por varios subsistemas, sus niveles de prestaciones deben ser iguales o mayores que el nivel de prestaciones requerido para dicha función de seguridad. Se recomienda el uso de subsistemas certificados, pues ya tendrán definidos sus valores de prestaciones de seguridad.

Pista:

La verificación del PL alcanzado puede ser llevada a cabo convenientemente con la herramienta PC de diseño de seguridad funcional (FSDT) de ABB.

Nota:

De acuerdo con la EN ISO 13849-1 se usa el MTTFd para definir el PL y el PFHd para un subsistema. Sólo se usa el PFHd para determinar el PL del sistema completo.

Para verificar el PL de un sistema de seguridad en que se utilizan subsistemas certificados:

1. Determine la susceptibilidad del sistema a Fallos por Causa Común (CCF) mediante la lista de comprobación de CCF.

Las tablas con listas de comprobación de CCF pueden consultarse en la norma EN ISO 13849-1:2008, Anexo I. La puntuación mínima requerida es de 65 puntos.

2. Determine el PL alcanzado con ayuda del gráfico de barras y utilizando los valores establecidos para:

- Categoría
- Tiempo medio hasta fallo peligroso (MTTF_d)
- Cobertura del diagnóstico (DC)

El MTTF_d es el tiempo medio que transcurre hasta que tiene lugar un fallo peligroso. DC hace referencia al número de fallos peligrosos que pueden detectarse mediante diagnóstico.

Encontrará más información relativa a los detalles de los cálculos en la norma EN ISO 13849-1.

3. Introduzca los valores resultantes en el gráfico de PL, a partir del cual puede determinarse el PL obtenido.

Ejemplo de verificación del PL:

Verificación del sistema de seguridad funcional de un eje en giro:

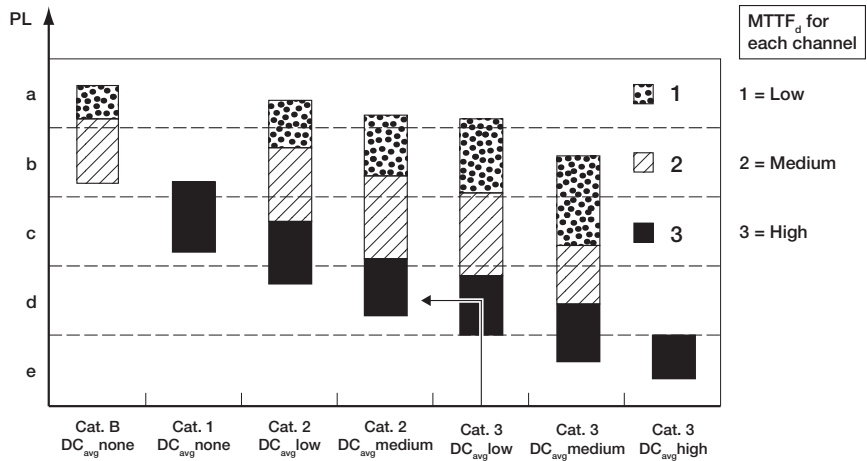


Figura 3-8 Ejemplo de verificación del PL

Para determinar el PL conseguido definido en el ejemplo anterior:

- la arquitectura designada es de la Categoría 3,
- el valor de $MTTF_d$ es alto y
- el valor medio de DC es bajo.

= el sistema cumple el valor PL d.

Tabla para determinar el PL de acuerdo con el valor de PFH_d obtenido para todo el sistema de seguridad:

PL	Probabilidad de fallos peligrosos por hora (1/h)
a	$\geq 10^{-5}$ hasta $< 10^{-4}$
b	$\geq 3 \times 10^{-6}$ hasta $< 10^{-5}$
c	$\geq 10^{-6}$ hasta $< 3 \times 10^{-6}$
d	$\geq 10^{-7}$ hasta $< 10^{-6}$
e	$\geq 10^{-8}$ hasta $< 10^{-7}$

Tabla 3-2 Tabla para determinar el PL (basado en la EN ISO 13849-1 tabla 3)

Comparación de los valores de SIL y de PL

Aunque los métodos de evaluación son diferentes para cada norma, los resultados de la evaluación son comparables en función del fallo aleatorio de hardware.

Nivel de integridad de la seguridad SIL	Nivel de prestaciones PL
Sin correspondencia	a
1	b
1	c
2	d
3	e

Tabla 3-3 Comparación entre el SIL y el PL (basado en la EN ISO 13849-1 tabla 4)

PASO 7: Validación de un sistema de seguridad funcional

Es obligatorio validar cada función de seguridad para garantizar que reduce el riesgo conforme a lo requerido en la fase de evaluación de riesgos.

Para determinar la validez del sistema de seguridad funcional, cotéjelo con el proceso de evaluación de riesgos llevado a cabo al inicio del procedimiento para el cumplimiento de los EHSR de la Directiva de Máquinas (véase el Paso 2, página 24). El sistema es válido si realmente reduce los riesgos analizados y evaluados en el proceso de evaluación de riesgos.

PASO 8: Documentación de un sistema de seguridad funcional

Antes de que la máquina pueda cumplir con los requisitos de la Directiva de Máquinas, es necesario documentar su diseño y elaborar la documentación para el usuario pertinente.

La documentación debe redactarse con rigor. Debe ser exacta y concisa, pero al mismo tiempo informativa y fácil de entender por el usuario. La documentación para el usuario debe incluir todos los riesgos residuales y ofrecer las instrucciones apropiadas acerca de cómo operar la máquina de forma segura. Debe ser accesible y fácil de mantener. La documentación para el usuario se suministra con la máquina.

Si desea más información sobre la documentación requerida y su naturaleza, consulte los EHSR en el Anexo I de la Directiva de Máquinas.

PASO 9: Demostración de la conformidad

Antes de comercializar una máquina, el fabricante debe asegurarse de que se implementa de conformidad con las normas armonizadas. También debe probarse que la combinación de partes relativas a la seguridad cumple los requisitos definidos para cada función de seguridad.

Para probar la conformidad con la Directiva de Máquinas, debe demostrarse que:

- La maquinaria cumple los Requisitos Esenciales de Seguridad y Salud (EHSR) pertinentes definidos en la Directiva de Máquinas.
- La maquinaria cumple los requisitos de otras Directivas relacionadas.
- La conformidad con estos requisitos puede garantizarse si se cumple con lo estipulado en las normas armonizadas correspondientes.
- El documento técnico está actualizado y disponible. El documento técnico demuestra que la máquina es conforme con las normas de la Directiva de Máquinas.

Nota:

El informe técnico tiene que estar disponible en un tiempo razonable porque puede ser requerido por, p.e. las autoridades, y la ausencia de un documento técnico es razón suficiente para dudar del cumplimiento de la máquina con los EHSR.

El documento técnico debe incluir el diseño, la fabricación y el funcionamiento de la maquinaria en la medida en que sea necesario para demostrar su conformidad. Si desea más información sobre el contenido del documento técnico, consulte el Anexo VII de la Directiva de Máquinas 2006/42/CE.

- Se han aplicado los procedimientos de evaluación de la conformidad. Los requisitos especiales para las máquinas enumeradas en el Anexo IV de la Directiva de Máquinas se cumplen cuando es necesario.
- Se ha emitido la declaración de conformidad CE y se suministra con la máquina.

Una vez se ha establecido la conformidad, se coloca el marcado CE.

Se presupone que la maquinaria con el marcado CE, que además va acompañada de una declaración de conformidad CE, cumple los requisitos de la Directiva de Máquinas.

Glosario

CCF (Common Cause Failure), Fallo por causa común

Situación en la que varios subsistemas fallan a causa de un único evento. Todos los fallos son causados por este evento y no son consecuencia entre sí.

Daño

Daño a la salud o lesión física.

DC (Diagnostic Coverage), Cobertura del diagnóstico

Efectividad de la monitorización de los fallos de un sistema o subsistema. Es la relación entre la tasa de fallos peligrosos detectados y la tasa de fallos peligrosos totales.

EHSR (Essential Health and Safety Requirements), Requisitos Esenciales de Seguridad y Salud

Requisitos que la maquinaria debe satisfacer para ajustarse a la Directiva de Máquinas de la Unión Europea y obtener así el mercado CE. Estos requisitos se enumeran en el Anexo I de la Directiva de Máquinas.

EN

Siglas de Norma Europea ('EuroNorm'). Este prefijo se usa con los estándares europeos (o versiones europeas de los estándares IEC/ISO) de las organizaciones europeas CEN y CENELEC. Las normas armonizadas también llevan el prefijo EN.

Función de seguridad

Función diseñada para aumentar la seguridad de una máquina cuyo fallo puede provocar un aumento inmediato del riesgo.

IEC (International Electrotechnical Commission), Comisión Electrotécnica Internacional

Organización mundial para la normalización que se compone de todos los comités electrotécnicos nacionales.
www.iec.ch

ISO (International Organization for Standardization), Organización Internacional para la Normalización

Federación internacional de organismos nacionales de normalización.
www.iso.org

Marcado CE

Marca de conformidad obligatoria para la maquinaria y otros tipos de productos que se comercializan en el Área Económica Europea (EEA). Mediante la colocación del marcado CE en el producto, el fabricante garantiza que dicho producto cumple todos los requisitos esenciales de las Directivas Europeas pertinentes.

MTTF_d (Mean Time To dangerous Failure), Tiempo medio hasta un fallo peligroso

Previsión de tiempo medio hasta que se produce un fallo peligroso.

Norma armonizada

Norma europea que ha sido elaborada bajo el mandato de la Comisión Europea o de la Secretaría de la AELC con el propósito de ofrecer apoyo a los requisitos esenciales de una Directiva, y que es de obligado cumplimiento según la legislación de la UE.

Peligro

Fuente potencial de daños.

PFH_d (Probability of dangerous Failure per Hour), Probabilidad de fallo peligroso por hora

Probabilidad media de que se produzca un fallo peligroso en una (1) hora. La PFH_d es el valor que se utiliza para determinar el valor del SIL o del PL de una función de seguridad.

PL (Performance Level), Nivel de prestaciones

Niveles (a, b, c, d, e) que especifican la capacidad de un sistema de seguridad de efectuar una función de seguridad bajo condiciones previsibles.

Riesgo

Combinación de hasta qué punto es posible que se produzca el daño y lo grave que puede resultar.

SIL (Safety Integrity Level), Nivel de integridad de la seguridad

Niveles (1, 2, 3, 4) que especifican la capacidad de un sistema de seguridad eléctrico de efectuar una función de seguridad bajo condiciones previsibles. En el caso de la maquinaria, sólo se utilizan los niveles de 1 a 3.

SILCL (SIL Claim Limit), Límite de solicitud de SIL

Nivel máximo de integridad de la seguridad (SIL) que puede reclamarse para un sistema de seguridad eléctrico, teniendo en cuenta las restricciones en la arquitectura y la integridad de seguridad sistemática.

Subsistema

Componente de una función de seguridad que tiene su propio nivel de seguridad (SIL/PL) que afecta al nivel de seguridad de toda la función de seguridad. Si alguno de los subsistemas falla, también fallará toda la función de seguridad.

Índice

A

Actualización de maquinaria existente 22
Análisis de riesgos 10, 18, 24, 25
Anexo IV 11, 12, 38

C

CEN 12, 16
CENELEC 12, 16
Control seguro de frenos (SBC) 21

D

Demostración de la conformidad 40
Desconexión de emergencia 20
Direccionamiento seguro (SDI) 20
Directiva de Máquinas 8, 9, 11, 12, 22, 23, 26, 32, 37, 38
Directiva Europea sobre Maquinaria 98/37/CE 38
Directiva Europea sobre Maquinaria 2006/42/CE 11, 24, 38
Documentación del sistema de seguridad 37

E

EHSR 8, 9, 10, 18, 22, 32, 37, 38, 40
EN/IEC 61800-5-2 18
EN/IEC 62061 13, 14, 17, 24, 29, 32, 34
EN ISO 13849-1 13, 14, 16, 24, 30, 32, 35
Estándar tipo A 13
Estándar tipo B 13
Estándar tipo C 13
Evaluación de riesgos 12, 16, 18, 24, 26, 27, 29, 37

F

Funciones de seguridad 9, 10, 13, 14, 17, 18, 19, 27, 28, 32, 33, 37, 38, 40

M

Marcado CE 7, 10, 23, 26, 39, 40
Monitorización de velocidad segura (SSM) 20

N

Normas armonizadas 8, 12, 16, 22, 26, 38

P

Parada de funcionamiento segura (SOS) 19
Paro de emergencia 13, 21
Paro seguro 1 (SS1) 19
Paro seguro 2 (SS2) 19
Periodo de transición 14
Plan de seguridad 23
PL (Performance Level), Nivel de prestaciones 15, 17, 29, 30, 35, 37, 41
Prestaciones de seguridad 8, 10, 29, 34, 35

R

Reducción de riesgos 9, 13, 16, 24, 25, 26
Riesgo residual 26, 27, 28, 38

S

Seguridad funcional 9, 23, 28
SIL (Safety Integrity Level), Nivel de integridad de la seguridad 15, 18, 29, 34, 37, 41
Sistema de seguridad funcional 32, 33, 37
Sistema de seguridad validado 39

V

Velocidad limitada con seguridad (SLS) 20
Verificación del sistema de seguridad 35

Contacte con nosotros

Para obtener más información, póngase en contacto con su representante local de ABB o visite:

www.abb.es

www.abb.com/drivespartners

© Copyright 2014 ABB. Todos los derechos reservados.
Las especificaciones están sujetas a cambio sin previo aviso.

3AUAA000163173 REV E ES 9.9.2014 #17230

Power and productivity
for a better world™



Contacte con nosotros

Para obtener más información, póngase en contacto con su representante local de ABB o visite:

www.abb.es

www.abb.com/drivespartners

© Copyright 2014 ABB. Todos los derechos reservados.
Las especificaciones están sujetas a cambio sin previo aviso.

3AFE64546376 REV H I ES 9.9.2014 # 17172