
ABB ANTRIEBSTECHNIK

Oberschwingungen in HLK-Anwendungen



Inhaltsverzeichnis

4	Oberschwingungen allgemein und warum man sich damit befassen sollte
4	Einleitung
4	Grundlagen zum Thema Oberschwingungen
5	Ursachen für die harmonische Verzerrung
5	Durch Oberschwingungen verursachte Probleme
6	Durch Oberschwingungen verursachte wirtschaftliche Probleme
6	Oberschwingungen in kritischen Einrichtungen
7	Leistungsfaktor
8	Verschiedene Technologien zur Oberschwingungsdämpfung
8	Sechs-Puls-Frequenzumrichter, keine Drossel
8	Sechs-Puls-Frequenzumrichter mit 3-5%-Drossel
9	Passive Filter
10	Aktive Filter
11	Multipuls-Lösungen
12	Active Front End
12	Weitere Technologien zur Oberschwingungsdämpfung
14	Zusammenfassung

Oberschwingungen allgemein und warum man sich damit befassen sollte

Einleitung

HLKK-Anlagen (Anlagen der Heizungs-, Lüftungs-, Klima- und Kältetechnik) sorgen für eine klimatisierte und angenehme Atmosphäre in Büroräumen, Krankenhäusern, Rechenzentren und anderen Räumlichkeiten. HLKK-Anlagen verbrauchen eine beachtliche Menge an Energie. Der sachgerechte Einsatz von Frequenzumrichtern in diesen Anlagen kann deren Energieverbrauch deutlich senken.

Frequenzumrichter, wie viele andere Arten elektronischer Systeme, verursachen ein Phänomen, das als Netzoberschwingungen bekannt ist. Die Vorteile der Verwendung eines Frequenzumrichters überwiegen bei weitem die negativen Auswirkungen der Oberschwingungen, aber es ist wichtig, über deren Vorhandensein, über mögliche Probleme, die sie verursachen können, und über die verfügbaren Lösungen zur ihrer Abschwächung Bescheid zu wissen.

Obwohl sich diese Anleitung auf den Frequenzumrichter als Verursacher von Oberschwingungen konzentriert, sollte beachtet werden, dass Frequenzumrichter nicht die einzige Oberschwingungsquelle in einem System sind. Dennoch stehen Frequenzumrichter bei der Berechnung von Oberschwingungen und Überlegungen zu deren Dämpfung im Mittelpunkt, weil Frequenzumrichter in HLKK-Anwendungen für einen wesentlichen Teil des Stromverbrauchs innerhalb eines Gebäudes verantwortlich sind. Beispiele für Frequenzumrichter in HLKK-Anwendungen sind Pumpen (Kaltwasser, Kondensatorwasser, Heißwasser), Ventilatoren/Lüfter (Zuluft, Abluft, Abgas, Kühlturm) und Kompressoren. Beispiele für andere Quellen signifikanter Oberschwingungen sind Ventilatoren/Lüfter, die von elektronisch kommutierten Motoren (ECM) angetrieben werden, Beleuchtungssysteme, unterbrechungsfreie Stromversorgungssysteme (USV) und einphasige Einspeisung.

Oberschwingungen zeigen sich auf der Wellenform der Spannung verursacht durch elektronische Geräte, die den Strom nicht linear entnehmen. Oberschwingungen werden normalerweise als Prozentwert, Oberschwingungsgehalt (THD - total harmonic distortion) genannt, gemessen. Es handelt sich dabei um das Verhältnis des effektiven Oberschwingungsgehalts zum Effektivwert der

Grundfrequenz. THD stellt die prozentuale Abweichung von der Sinusform der Grundschwingung dar. Wenn die Spannung oder der Strom keine Oberschwingungen enthält, hat die THD einen Wert von Null Prozent. Nimmt das Ausmaß der Oberschwingungen zu, steigt auch der Prozentwert der THD.

Es gibt eine Vielzahl von Industriestandards, die dazu dienen, ein zulässiges Ausmaß an harmonischer Verzerrung von einem problematischen Oberschwingungsgehalt zu unterscheiden. IEEE 519-2014 wird beispielsweise in den USA und in einigen asiatischen Ländern verwendet. Es gibt auch Normen zur elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) für Oberschwingungen in Europa und Asien. Diese Normen wurden aus Sicht der Versorgungsunternehmen erstellt. Sie sollen Kunden daran hindern, eine Menge an Oberschwingungen zu erzeugen, die die Power Quality benachbarter Kunden an demselben Netz beeinflusst.

Der Begriff „Oberschwingungen“ hat ein breites Bedeutungsspektrum und wird in den zahlreichen Branchen verwendet. Leider werden bestimmte elektrische Probleme fälschlicherweise den Oberschwingungen angelastet. Diese Oberschwingungen sollten nicht mit Hochfrequenzstörungen (RFI) verwechselt werden, die bei wesentlich höheren Frequenzen eintreten als Oberschwingungen. Netzoberschwingungen sind niederfrequent und beeinträchtigen deshalb WLAN-Signale, Mobiltelefone, UKW/MW-Radios oder andere Geräte, die empfindlich auf Hochfrequenz-Rauschen reagieren, nicht. ABB hält eine eigene Broschüre zu Hochfrequenzstörungen bereit (Dokumentnummer 3AUA0000222151).

Grundlagen zum Thema Oberschwingungen

Bei den Spannungsoberschwingungen handelt es sich um eine Verzerrung der Spannungswellenform. Dementsprechend sind Stromoberschwingungen eine Verzerrung der Stromwellenform. Da es schwierig ist, diese verzerrten Wellenformen mit einer einfachen Gleichung zu quantifizieren, wird zur Diskussion der Oberschwingungen ein mathematisches Verfahren (die so genannte Fourieranalyse) verwendet. Diese Methode bestimmt die Größe und Frequenz vieler kleinerer sinusförmiger Wellen, welche die verzerrte Wellenform bilden,

die bei der Anlage festgestellt wird. So kann der Techniker, die problematischsten einzelnen Oberschwingungen ermitteln und Maßnahmen zur deren Reduzierung vorzusehen.

Wie bereits in der Einleitung dargelegt, werden Oberschwingungen oft als ein THD-Prozentwert angegeben. Dieser Prozentwert beschreibt, wie stark die Wellenform gegenüber der rein sinusförmigen Welle verzerrt ist. Eine stark verzerrte Wellenform hat einen höheren THD-Prozentwert. Die beiden folgenden Formeln dienen zur Quantifizierung der Oberschwingungen in einem System. THD_V ist der Oberschwingungsgehalt der Spannungswellenform. THD_I ist der Oberschwingungsgehalt der Stromwellenform. In beiden Fällen basiert die Berechnung auf dem Verhältnis des effektiven Oberschwingungsgehalts zum Effektivwert der Grundfrequenz. D. h. je höher der Oberschwingungsgehalt ist, desto höher der THD-Prozentwert.

$$THD_V = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 \dots V_n^2}}{V_1} * 100\%$$

$$THD_I = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 \dots I_n^2}}{I_1} * 100\%$$

Obwohl es nicht Thema dieser Druckschrift ist, ist es in Zusammenhang mit Oberschwingungen wichtig zu verstehen, bis zu welchem Niveau THD_V und THD_I für ein Gebäude akzeptabel sind. Jedes System ist einzigartig und berücksichtigt die Größe der Gebäudelast gegenüber der Kapazität des Versorgungsunternehmens, das so genannte Kurzschlussverhältnis. Auch gibt es häufig Missverständnisse darüber, wo die Oberschwingungen gemessen werden sollen. Diese Stelle ist als Anschlusspunkt (PCC) bekannt. Kurz erklärt ist der PCC normalerweise die Stelle, an der das Gebäudenetz an das öffentliche Stromversorgungsnetz angeschlossen ist. Die Total Demand Distortion (TDD, Gesamtbedarfsverzerrung) wird am PCC anstatt der THD_I gemessen. TDD dient normalerweise zur Ermittlung der Oberschwingungen für das gesamte Gebäude, während THD_I zur Ermittlung der Oberschwingungen eines einzelnen Geräts innerhalb des Gebäudes verwendet wird.

Ursachen der harmonischen Verzerrung

Oberschwingungen werden durch nichtlineare Lasten verursacht. Die Stromentnahme aus dem Netz ist bei nichtlinearen Lasten nicht sinusförmig. Beispiele für nicht-lineare Lasten sind Frequenzumrichter, elektronisch kommutierte Motoren, LED-Beleuchtungssysteme, Fotokopierer, Computer, unterbrechungsfreie Stromversorgungssysteme, Fernsehgeräte und die meisten elektronischen Geräte mit einem Netzteil. Die wichtigsten Ursachen von Oberschwingungen in einem Gebäude sind normalerweise nicht-lineare, dreiphasige Lasten und es gilt: je höher die Energie, desto höher die Oberwellenströme im Netz.

Der nachfolgende Abschnitt befasst sich mit den elektrischen Merkmalen eines Frequenzumrichters, um beispielhaft eine nicht-lineare Last zu veranschaulichen. Die gängigste Konstruktionsform eines Frequenzumrichters arbeitet mit einer dreiphasigen AC-Eingangsspannung, die dann durch Dioden gleichgerichtet wird. Über eine Kondensatorbank wird die Spannung in eine geglättete Gleichspannung umgewandelt. Anschließend wandelt der Frequenzumrichter die Gleichspannung wieder in eine Wechselspannung für den Motor zurück, um die Drehzahl, das Drehmoment und die Drehrichtung des Motors zu regeln. Der nicht-lineare Strom entsteht durch die Umwandlung von Drehstrom in Gleichstrom.

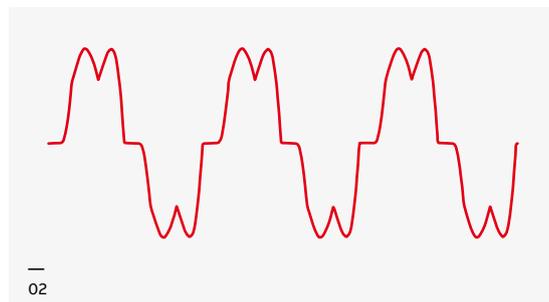
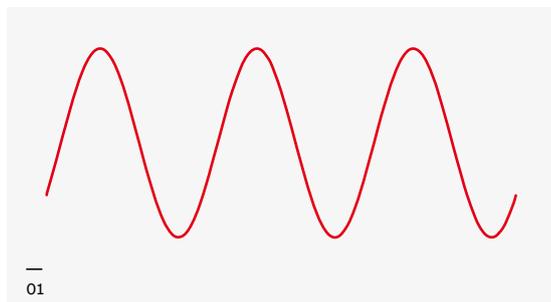
Durch Oberschwingungen verursachte Probleme

Eine starke harmonische Verzerrung in einer Einrichtung kann zu vielfältigen Problemen führen. Folgende Probleme können auftreten:

- Ein vorzeitiger Ausfall und eine verminderte Lebensdauer sind häufig das Ergebnis einer Überhitzung z. B.:
 - Überhitzung von Transformatoren, Kabeln, Schutzschaltern und Sicherungen
 - Überhitzung von Motoren mit direktem Netzanschluss
- Fehlauslösungen von Schutzschaltern und Sicherungen durch die zusätzliche Wärme und Belastung durch Oberschwingungen
- Instabiler Betrieb von Backup-Generatoren
- Instabiler Betrieb von sensiblen elektronischen Geräten, die eine rein sinusförmige AC-Wellenform benötigen
- Flackernde Lampen

—
01 Rein sinusförmige Stromwelle ohne Oberschwingungen

—
02 Wellenform des Stroms mit Oberschwingungen



—
03 Mögliche Auswirkungen von Oberschwingungen auf Transformatoren

Es ist oft schwierig, die zuvor genannten Probleme auf Oberschwingungen zurückzuführen. Es ist beispielsweise bekannt, dass Motoren für einen Betrieb bis fast zum Überhitzungspunkt ausgelegt sind. Unter normalen Betriebsbedingungen kann es schnell unangenehm werden, eine Hand auf die Oberfläche eines unter Volllast laufenden Motors zu legen. Wie könnte also ein normaler Gebäudeeigentümer erkennen, ob der laufende Motor aufgrund von Oberschwingungen zehn Grad wärmer ist. Und derselbe Eigentümer wird kaum erkennen, dass sein Motor aufgrund von Oberschwingungen bereits nach sechs statt erst nach 12 Jahren ausgefallen ist. Dieses Beispiel zeigt nur einen der wirtschaftlichen Aspekte in Zusammenhang mit Oberschwingungen, die im nächsten Abschnitt betrachtet werden. Es ist wichtig zu berücksichtigen, dass der Motor in diesem Beispiel direkt an das Netz angeschlossen war und so einer verzerrten Wellenform ausgesetzt war. Frequenzumrichter puffern im Wesentlichen den Motor von den Netzoschwingungen ab, so dass Motoren, die über einen Frequenzumrichter betrieben werden, diesem die Lebensdauer verkürzenden Phänomen nicht ausgesetzt sind.

Durch Oberschwingungen verursachte wirtschaftliche Probleme

Oberschwingungen haben in allen Lebensdauerphasen eines Gebäudes wirtschaftliche Auswirkungen. Erstens entstehen zusätzliche Investitionskosten, entweder aufgrund der Dimensionierung der Anlage, um den Oberschwingungen zu widerstehen, oder durch das Investieren in Maßnahmen zur Oberschwingungsdämpfung. Zweitens gibt es zusätzliche laufende Kosten, die aufgrund der Ineffizienz des Systems entstehen. Und schließlich sind da die Kosten aufgrund des vorzeitigen Ausfalls der Anlage.

Eine Art mit Oberschwingungen umzugehen, ist die Überdimensionierung von Teilen der elektrotechnischen Infrastruktur eines Gebäudes. Die Transformatoren und Kabelquerschnitte können größer ausgelegt werden, um den zusätzlichen Oberschwingungsgehalt und die Wärme zu kompensieren. Auch Backup-Generatoren müssen in Systemen mit einer signifikanten Oberschwingungsbelastung größer ausgelegt werden. Bei der Dimensionierung eines Generators spielen viele Aspekte eine Rolle. Der Generator muss den zusätzlichen Oberwellenstrom aushalten können. Ebenso muss der Spannungsregler des Generators mit der Spannungsverzerrung umgehen können, ohne einen instabilen Betrieb zu verursachen.

Alternativ zu den Kosten für überdimensionierte Geräte, könnte in Produkte investiert werden, die geringere Oberschwingungen erzeugen. Beim Einsatz eines Frequenzumrichters beispielsweise kann ein niedrigpreisiges Modell (mindestens

67 Prozent mehr Strom entnehmen als ein Frequenzumrichter mit einer DC- oder Netzdrossel, der etwas mehr kostet. Die beste Lösung bietet der Einsatz von Technologien zur Oberschwingungsdämpfung, die den Oberschwingungsgehalt auf unter 5 Prozent senken können. Die Investition in Einrichtungen zur Oberschwingungsdämpfung ist eine Alternative zur Überdimensionierung der elektrotechnischen Infrastruktur.

Die laufenden Kosten eines Systems mit Ineffizienzen, die auf Oberschwingungen zurückzuführen sind, bleiben meist verborgen und werden übersehen. Wenn ein Transformator oder Motor heißer läuft, bedeutet das eine ineffiziente Energienutzung, da die Energie statt zur Versorgung anderer Verbraucher im Gebäude zur Wärmeerzeugung verschwendet wird. Die HLK-Anlage des Gebäudes läuft dann mit höherer Leistung und verbraucht mehr Strom, denn die Abwärme muss aus dem Gebäude abgezogen werden.

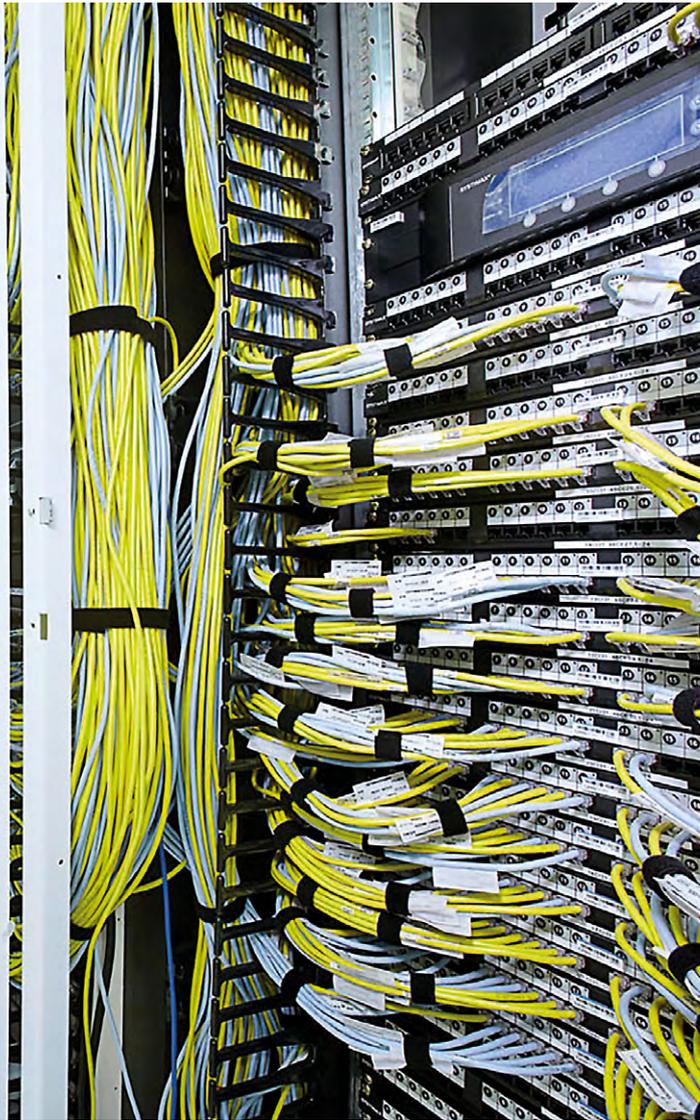
Die Kosten für ausgefallene Geräte bleiben nicht verborgen. Allerdings ist es eine Herausforderung, diese Ausfälle und die damit verbundenen Kosten den Oberschwingungen zuzuschreiben.

Die Beschäftigung mit dem Thema Oberschwingungen während der Planungsphase ermöglicht niedrigere Kosten bei anderen Teilen der elektrotechnischen Infrastruktur (d. h. keine Überdimensionierung). Wurden die Oberschwingungsprobleme angegangen, können durch einen höheren Wirkungsgrad und eine längere Lebensdauer der Geräte langfristige weitere Kosteneinsparungen erzielt werden.



Oberschwingungen in kritischen Einrichtungen

In den vorangehenden Abschnitten dieses Dokuments werden Punkte beschrieben, die Auswirkungen auf alle Arten von Gebäuden haben. Es gibt jedoch bestimmte Branchen, die darauf angewiesen sind, besonders genau auf die Power Quality zu achten – und damit auf die Oberschwingungen, weil ein unterbrechungsfreier Betrieb der HLK-Anlage lebenswichtig ist. Krankenhäuser, Rechenzentren und Flughäfen sind die am häufigsten genannten kritischen Einrichtungen. In Krankenhäusern und auf Flughäfen gibt es Anlagen, deren Ausfall Leben gefährden kann. Rechenzentren enthalten empfindliche Einrichtungen, die riesige Datenmengen speichern und von denen



eine durchgängige Verfügbarkeit erwartet wird. Anlagenkonstrukteure sollten sich der Auswirkung von Oberschwingungen auf kritische Einrichtungen bewusst sein.

Der folgende Teil des Dokuments erläutert den Leistungsfaktor, eine elektrische Größe, die ebenfalls von Oberschwingungen beeinflusst wird.

Leistungsfaktor

Leistungsfaktor ist ein in der Elektrotechnik verwendeter Begriff. Er kann jedoch für Verwirrung sorgen, da es tatsächlich drei verschiedene Arten von Leistungsfaktoren gibt: den echten Leistungsfaktor, den Verschiebungsfaktor und den Klirrfaktor. Die Gleichung auf dieser Seite beschreibt das Verhältnis zwischen diesen verschiedenen Leistungsfaktortypen. Der echte Leistungsfaktor berücksichtigt den Verschiebungsfaktor ($\cos\phi$) und den Klirrfaktor (dabei handelt es sich um eine Funktion über das Ausmaß des Oberwellenstroms).

Die wichtigsten Punkte zum Thema Leistungsfaktor für einen Entwickler oder Gebäudeeigentümer sind:

- Manche Versorgungsunternehmen erheben Gebühren bei Kunden mit einem schlechten Leistungsfaktor bzw. bieten Preisnachlässe bei einem guten Leistungsfaktor.
- Der Anschluss eines Frequenzumrichters an einen Motor verbessert den echten Leistungsfaktor.
- Frequenzumrichter, die geringere Oberschwingungen erzeugen, verbessern den echten Leistungsfaktor stärker als ein Frequenzumrichter mit stärkeren Oberschwingungen.

$$pf_{true} = \frac{P_{avg1}}{V_{1rms}I_{1rms}} * \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{THD_I}{100}\right)^2}} = pf_{disp} * pf_{dist}$$

Verschiedene Technologien zur Oberschwingungsdämpfung

Obwohl es viele Möglichkeiten gibt, Harmonische abzuschwächen, findet sich darunter keine Patentlösung. In der nachfolgenden Tabelle werden unter anderem die THD_I verschiedener Technologien zur Abschwächung von Harmonischen miteinander verglichen.

	Sechs-Puls-Frequenzumrichter keine Drossel	Sechs-Puls-Frequenzumrichter Niedrige Kapazität der DC-Stromschiene	Sechs-Puls-Frequenzumrichter + 5%-Drossel	3-Phasen-Frequenzumrichter Active-Front-End-Frequenz- umrichter*
Typischer THD_I	90 - 120 %	35 - 40 %	35 - 45 %	3 - 5 %
Preis eines Frequenz- umrichtersystems	\$	\$	\$\$	\$\$\$
Platzbedarf	◊	◊	◊◊	◊◊◊
Vorteile	Einfache und kostengünstige Lösung, akzeptabel für Anlagen mit wenigen kleinen Frequenzumrichtern.	Einfache und kostengünstige Lösung, die eine gewisse Oberschwingungsdämpfung (THD_I) bietet.	Standardlösung bei HLK-Anwendungen.	Beste Leistungsfähigkeit bei Oberschwingungen von allen Lösungen. Fähigkeit, die Ausgangsspannung bei schwachem Netz erhöhen. Grundleistungsfaktor Eins. Kann rückspeisefähige Bremsen ermöglichen.
Nachteile	Hoher Oberschwingungsgehalt, nicht empfehlenswert für Anlagen mit einer höheren Anzahl von Frequenzumrichtern.	Höhere Spannungsverzerrung (THD_V), höher als beim Sechs-Puls-Frequenzumrichter mit 5%-Drossel. Anfälliger auf Probleme durch eine schlechte Power Quality. Durchlauf bei Unterspannung nahezu unmöglich.	Anlagen mit vielen oder großen Frequenzumrichtern können eine zusätzliche Oberschwingungsdämpfung erfordern.	Der Frequenzumrichter selbst erzeugt etwas mehr Wärme als ein Standard-Sechs-Puls-Frequenzumrichter mit Drossel.

* Bewertungen basieren auf ABB Low Harmonic Drives

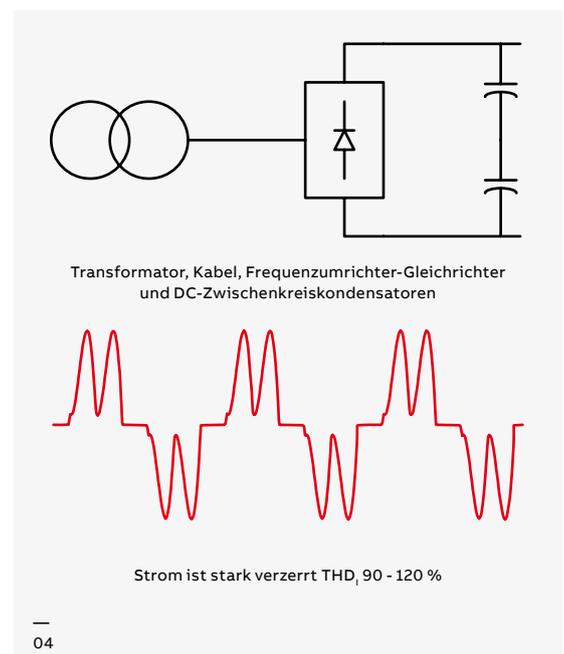
** Systempreis berücksichtigt die Frequenzumrichter- und Installationskosten

—
04 Sechs-Puls-Frequenz-
umrichter ohne Ober-
schwingungsdämpfung

Sechs-Puls-Frequenzumrichter, keine Drossel

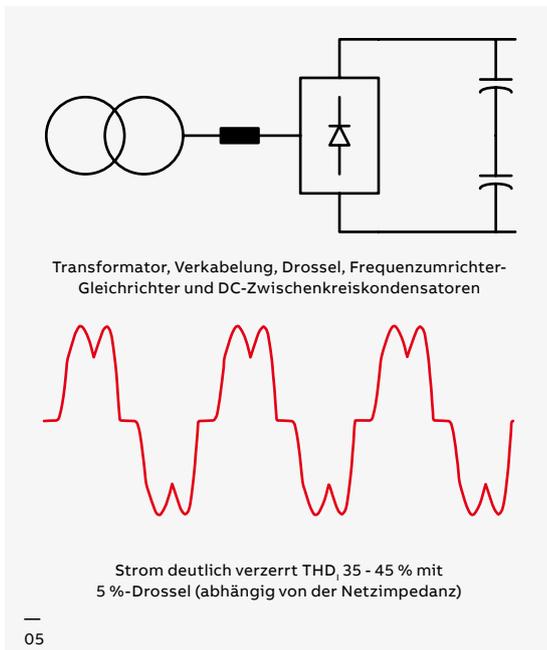
Das ist die Beschreibung eines Standard- Sechs-Puls- Frequenzumrichter ohne Oberschwingungsdämpfung. Dieser Frequenzumrichtertyp wird wegen der niedrigen Kosten und des geringen Platzbedarfs eingesetzt. Der Frequenzumrichter kann selbst als Anhaltspunkt genommen werden, da keine Technologie zur Oberschwingungsdämpfung eingesetzt wird. Obwohl die genaue Stromverzerrung konstruktionsabhängig ist, gelten Werte zwischen 90 und 120 Prozent als typisch.

Es ist zu beachten, dass eine Variante dieses Frequenzumrichters auf dem Markt ist, der einen zu kleinen DC-Stromschiene Kondensator nutzt. Dieses Modell lässt den THD_I -Wert besser aussehen, hat aber signifikante negative Auswirkungen auf die THD_V im Netz. Dieser Typ ist sehr anfällig gegenüber Überspannungs- und Unterspannungsabschaltungen aufgrund von Störungen, Spannungsabfällen und -spitzen in der Leitung.



	Sechs-Puls-Frequenzumrichter + passiver Filter	Frequenzumrichter mit Matrixtechnologie	Multipuls-Frequenzumrichter	Sechs-Puls-Frequenzumrichter + aktiver Filter
Typischer THD_i	5 - 10 %	5 - 13 %	12-Puls: 10 - 12 % 18-Puls: 5 - 6 %	4 - 7 %
Preis eines Frequenzumrichtersystems	\$\$\$	\$\$\$\$	\$\$\$\$	\$\$\$\$\$
Platzbedarf	☆☆☆☆	☆☆☆	☆☆☆☆☆	☆☆☆☆
Vorteile	Vorausgesetzt der entsprechende Platz ist vorhanden, kann nachträglich ein passiver Filter eingebaut werden, wenn Oberschwingungsprobleme erkannt werden.	Enthält die rückspeisefähige Bremsung.	Traditionelle Methode zur Oberschwingungsdämpfung.	Ein aktiver Filter kann die Oberschwingungen von mehreren Frequenzumrichtern/Lasten entfernen.
Nachteile	Voreilender Leistungsfaktor bei geringen Lasten, wenn die Filterkondensatoren nicht vom Kreis getrennt werden. Gefahr von Resonanzen zwischen den Filterkondensatoren und anderen Kondensatoren im System.	Geringe harmonische Verzerrung (5 % THD _i) erlaubt keine volle Drehzahlregelung über den gesamten Frequenzbereich, da nur bis zu 93 % Spannung moduliert werden kann. Kein Durchlauf bei niedriger Netzspannung, da der DC-Zwischenkreis fehlt.	Sehr großer Platzbedarf. Signifikante Anzahl an Fehlerstellen. Ein optimales Oberschwingungsverhalten erfordert eine perfekt symmetrische AC-Einspeisung mit geringer Hintergrundverzerrung. Nachrüstung vor Ort sehr schwierig.	Typischerweise die teuerste Lösung. Der Filter wird zur einzigen Fehlerstelle für die Oberschwingungsdämpfung. Ein Filterausfall könnte zu signifikanten/sofortigen durch Oberschwingungen bedingte Problemen innerhalb des Systems führen.

—
05 Sechs-Puls-Frequenzumrichter mit 3-5%-Drossel



Sechs-Puls-Frequenzumrichter mit 3-5%-Drossel

Ein Standard-Sechs-Puls-Frequenzumrichter mit einer zusätzlichen DC-Drossel oder AC-Eingangsdrossel erhöht die Impedanz und dadurch reduziert der Frequenzumrichter den Oberwellenstrom auf 35 - 45 Prozent. ABB empfiehlt diese Lösung als Einstieg für alle Frequenzumrichter, die in HLK-Anlagen eingesetzt werden. Und später Aufrüstung auf eine bessere Technologie zur Abschwächung von Oberschwingungen, falls bei einer Berechnung der Oberschwingungen festgestellt wird, dass eine weitere Senkung des THD_i erforderlich ist.

Passive Filter

Bei den Lösungen mit passiven Filtern wird der Frequenzumrichter netzseitig mit zusätzlichen Filtern ausgestattet. Moderne Bauarten weisen eine Spule-Kondensator-Spule-Anordnung auf, die auf eine bestimmte Oberschwingungen abgestimmt ist. Je nach Hersteller, ist die Leistungs-

fähigkeit der passiven Oberwellenfilter unterschiedlich, wobei manche Bauarten bei Teillasten oder bei bereits vorhandener Spannungsverzerrung im Gebäudenetz nur für eine geringe Oberschwingungsdämpfung sorgen. Mit der normalen Leistungsfähigkeit eines passiven Oberwellenfilters wird eine Stromverzerrung zwischen 5 und 10 Prozent erreicht.

Von passiven Filtern weiß man, dass sie einen voreilenden Leistungsfaktor bei Teillast erzeugen. Die meisten Hersteller bieten ein optionales Schaltschütz an, das die Kondensatorbänke des Filters bei Teillast wegschaltet. Dieses Schaltschütz wird bei Filtern, die von Generatoren gespeist werden könnten, dringend empfohlen, weil Generatoren instabil werden können, wenn Lasten einen voreilenden Leistungsfaktor-Strom entnehmen. Es ist auch bekannt, dass der Kondensator in einem passiven Oberwellenfilter mit anderen Kondensatoren im elektrischen Netz zusammenwirkt wie z. B. den Kondensatoren in Bänken zur Korrektur des Leistungsfaktors oder den Kondensatoren in einem Frequenzumrichter. Diese Kondensatorwechselwirkungen können beeinträchtigende elektrische Probleme verursachen.

Passive Filter können separat, als eigenständige Filter angeboten werden, mit eigenem Gehäuse und zum Anschluss an einen Frequenzumrichter. Darüber hinaus können passive Filter auch vom Hersteller des Frequenzumrichters mitgeliefert werden, im gleichen Schaltschrank wie der Frequenzumrichter. Die getrennte Lieferung und Installation des Filters erfordert eine zusätzliche Koordinierung während der Entwicklungs- und Installationsphase eines Projekts.

Beispiele für die Koordinierung sind:

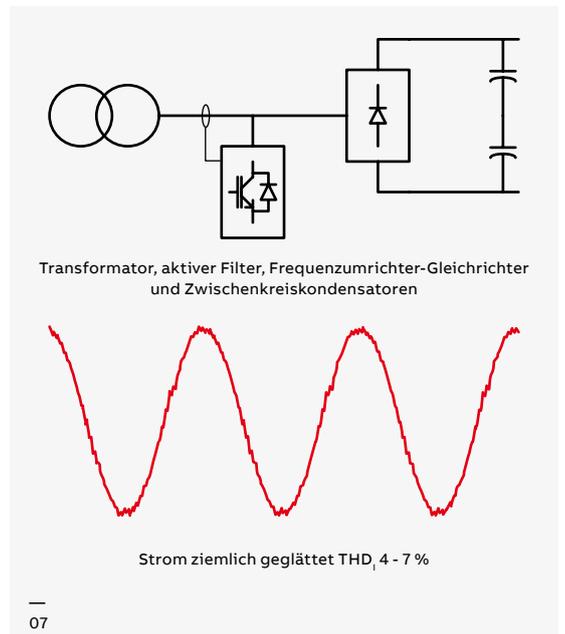
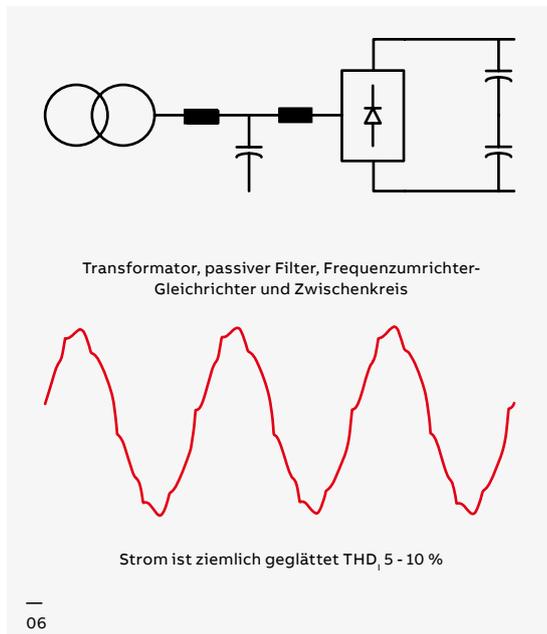
- Es muss Platz für den Einbau jedes Filters vorgesehen werden.
- Im Budget sollte die zusätzliche Arbeitszeit für Einbau und Verschaltung des Filters berücksichtigt werden.
- Bei der Montage des passiven Filters an einem Frequenzumrichter muss besonders sorgfältig vorgegangen werden. Es besteht die Möglichkeit, den passiven Filter mit einem dU/dt-Filter zu verwechseln und dann wird der Filter auf der falschen Seite des Frequenzumrichters montiert.
- Eine zusätzliche Verschaltung des Filters wird erforderlich, wenn der Frequenzumrichter einen Bypass enthält. Der Filter sollte sich während des Bypass-Modus nicht auf dem Strompfad befinden. Deshalb baut man den Filter in den nur für den Frequenzumrichter vorgesehenen Kreis und nicht in den Bypass-Kreis ein. Das erhöht die Komplexität, und es ist möglich, dass das Montageunternehmen das nicht nachvollziehen kann.
- Soll der Kondensator des Filters bei Teillast abgeschaltet werden, muss eine Stromquelle und eine zusätzliche Verschaltung zwischen dem Frequenzumrichter und der Schützspule vorgesehen, und die Anschlüsse für das Montageunternehmen deutlich gemacht werden.

Aktive Filter

Ein aktiver Oberwellenfilter funktioniert wie geräuschreduzierende Kopfhörer. Der aktive Filter führt Messungen durch, mit denen die Stromverzerrung erfasst wird, und gibt dann eine entgegengerichtete Wellenform aus, die die Verzerrung aufhebt. Die aktive Oberschwingungsdämpfung ist effektiv, und es werden normalerweise harmonische Stromverzerrungen zwischen 4 und 7 Prozent erreicht.

— 06 Sechs-Puls-Frequenzumrichter mit passivem Filter

— 07 Sechs-Puls-Frequenzumrichter mit aktivem Filter



Aus der ordnungsgemäßen Anwendung von aktiven Oberwellenfiltern ergeben sich einige Herausforderungen. Sie haben einen großen Platzbedarf und benötigen externe Stromsensoren. Diese Filter sind dafür ausgelegt, ein bestimmtes Maß an Oberwellenstrom (Ampere) aus dem System zu entfernen. Aufgrund ihrer beachtlichen Größe und der Kosten werden aktive Filter normalerweise für das Gebäude als Ganzes installiert, oder für eine Frequenzumrichtergruppe. Das löst selbstverständlich das Problem an dieser Stelle, hat aber keine Auswirkungen auf Geräte innerhalb des Gebäudes oder an anderen Orten. Bei dieser Lösung besteht auch ein gewisses Risiko als einzelne Fehlerstelle, weil bei Ausfall eines Filters die Oberschwingungen in den nachgeschalteten Kreisen signifikant zunehmen.

Multipuls-Lösungen

Multipuls-Lösungen sind eine weitere Methode, Oberschwingungen abzuschwächen. Ein Standard-Frequenzumrichter ist eine Sechs-Puls-Einheit, während es sich bei den Multipuls-Niederspannungseinheiten normalerweise um 12-Puls- oder 18-Puls-Bauarten handelt. Es stehen auch 24-Puls-Einheiten oder noch mehr zur Verfügung, aber diese werden üblicherweise bei Mittelspannungsfrequenzumrichtern eingesetzt. Die im Paket enthaltene Gesamtzahl der Gleichrichterioden entspricht der "Puls"-Zahl. Aufgrund der erforderlichen Hardware weisen Multipuls-Einheiten den größten Platzbedarf aller eigenständigen Lösungen zur Oberschwingungsdämpfung auf. Eine 18-Puls-Einheit enthält beispielsweise einen Sechs-Puls-Frequenzumrichter, 12 zusätzliche Dioden, Ausgleichsdrosseln, (18) Sicherungen, Vorladeschaltungen, eine beachtliche Menge an Leistungsverdrahtung zur Verbindung dieser Komponenten und einen großen Transformator. Eine verhältnis-

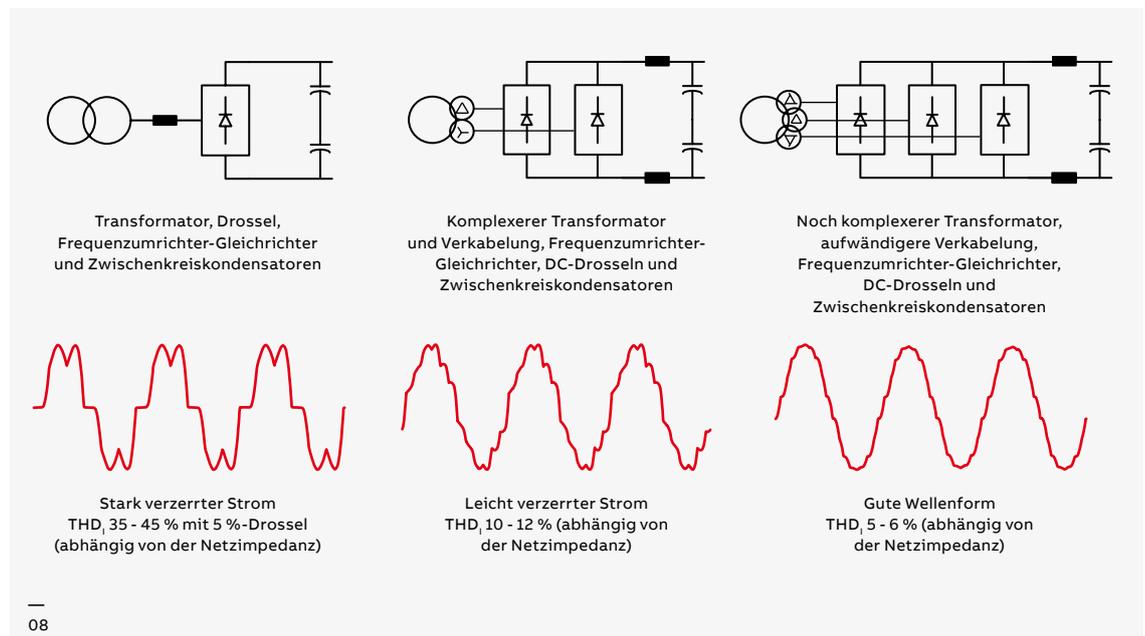
mäßig "kleine" 18-Puls-Einheit mit 23 Ampere ist wegen des Transformators und der Hardware, die die Einheit bildet, etwa so groß wie ein Kühlschranks. Eine 18-Puls-Einheit beginnt mit der Aufnahme einer dreiphasig in Eingangsspannung und nutzt den Phasenverschiebungstransformator zur Erzeugung der gesamten (neun) Phasen. Der Frequenzumrichter entnimmt Strom über (neun) Phasen statt über (drei) Phasen. Dadurch wird eine kleinere Menge Strom an jeder einzelnen dieser (neun) Einzelphasen entnommen. Die Stromverzerrung einer 18-Puls-Einheit liegt bei 5 bis 6 Prozent. Die Stromverzerrung einer 12-Puls-Einheit liegt bei 10 bis 12 Prozent.

Die oben genannten Multipuls-Stromverzerrungswerte gehen davon aus, dass eine perfekte symmetrische Spannung am Frequenzumrichter anliegt. Eine kleine 2 %-ige Spannungsunsymmetrie am Frequenzumrichter kann eine 50 %-ige Erhöhung der Stromverzerrung verursachen. Aufgrund der umfangreichen zusätzlichen Hardware gehören diese Einheiten zu den am wenigsten energieeffizienten Lösungen auf dem Markt. Multipuls-Einheiten sind eine der ursprünglichen Lösungen zur Oberschwingungsdämpfung und wurden schon vor 20 Jahren entwickelt. Ihr Einsatz zur Oberschwingungsdämpfung nimmt jedoch aufgrund ihrer Größe und der Notwendigkeit eines perfekt symmetrischen Stroms ab.

Active Front End

Bei einem Active-Front-End-Frequenzumrichter (AFE) besteht der Gleichrichter nicht aus Dioden, sondern aus IGBTs (Insulated Gate Bipolar Transistor). Der AFE-Frequenzumrichter enthält auch einen eingebauten LCL-Filter (Spule-Kondensator-Spule). Der auf IGBTs basierende Gleichrichter wird so gesteuert, dass er dem Frequenzumrichter

08 Multipuls-Lösungen (Sechs-Puls-Gleichrichter, 12-Puls-Gleichrichter, 18-Puls-Gleichrichter (v.r.n.l.))



die Entnahme eines nahezu sinusförmigen Stroms ermöglicht. Der LCL-Filter sorgt für die Entfernung jeglichen Hochfrequenz-Rauschens, das durch das Schalten der IGBTs entsteht. Im Allgemeinen wird ein LCL-Filter dem weniger effektiven LC-Filter vorgezogen. Durch die Kombination aus IGBT-Gleichrichter und LCL-Filter erreichen die AFE-Frequenzumrichter von ABB eine Stromverzerrung zwischen 3 und 5 Prozent und werden auch als ULH-Frequenzumrichter (Ultra-Low Harmonic Drives) bezeichnet.

AFE ist die kompakteste aller Lösungen, mit denen eine Stromverzerrung von unter 5 Prozent erreicht wird. Der Leistungsfaktor ist Eins, d. h. er verwendet den kleinstmöglichen Blindstrom. AFE-Frequenzumrichter weisen auch ein hervorragendes Verhalten im Fall von Oberschwingungen bei Teillast auf. Die Installation eines AFE-Frequenzumrichters ist einfach, da er traditionell als einzelnes Gerät mit Eingangsklemmen und Motor-Ausgangsklemmen gebaut wird. Dank der aktiven Steuerung der IGBT-Front-End ist der AFE-Frequenzumrichter weniger empfindlich gegenüber einer unsymmetrischen Spannung als alle anderen Lösungen zur Oberschwingungsdämpfung.

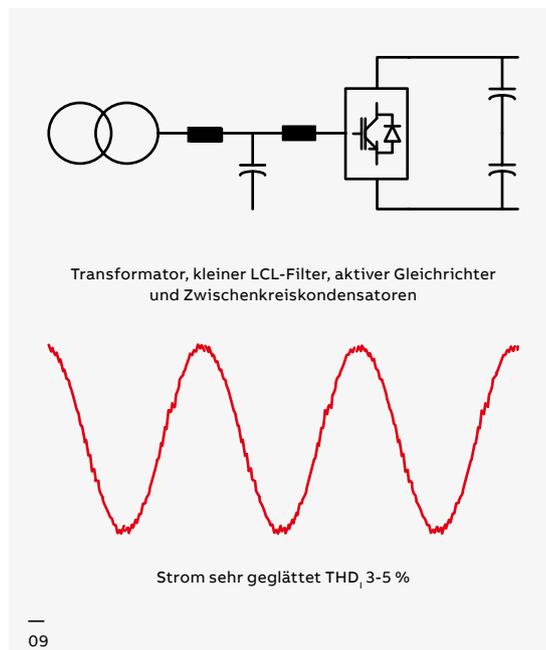
Weitere Technologien zur Oberschwingungsdämpfung

Es gibt noch andere Methoden zur Oberschwingungsdämpfung wie z. B. Frequenzumrichter mit einem unterdimensionierten DC-Stromschienenkondensator sowie Frequenzumrichter mit Matrixtechnologie, aber deren Einsatz wird von ABB nicht empfohlen. Ein vorangehender Abschnitt über Sechs-Puls-Frequenzumrichter, keine Drossel nimmt Bezug auf Frequenzumrichter mit unter-

dimensionierten DC-Stromschienenkondensatoren. Der folgende Absatz beschreibt kurz die Matrix-Frequenzumrichter.

Die Matrixtechnologie besteht aus Frequenzumrichtern, die neun bidirektionale IGBTs, aber keine DC-Kondensatoren enthalten, d. h. die AC-Eingangsspannung wird direkt in eine AC-Ausgangsspannung umgewandelt. Obwohl es sich um ein vielversprechendes Konzept handelt, bestehen bei Matrix-Frequenzumrichtern signifikante technische Einschränkungen. Bei einer optimalen Oberschwingungsdämpfung sind Matrix-Frequenzumrichter nicht in der Lage, die volle Ausgangsspannung bereitzustellen. Wird ein Matrix-Frequenzumrichter auf eine optimale Oberschwingungsdämpfung ausgelegt (fast so gut wie bei einem AFE-Frequenzumrichter), ist die Ausgangsspannung auf lediglich 87 bis 93 Prozent begrenzt. Die Begrenzung der Spannung zum Motor würde eine größere Stromentnahme des Motors bei voller Drehzahl und Vollast und damit eine Überhitzung des Motors verursachen. Die Ausgangsspannung kann auf einen höheren Wert als 87 Prozent ausgelegt werden, aber dann nimmt auch die Stromverzerrung zu. Die Matrix-Lösung ermöglicht entweder eine gute Oberschwingungsdämpfung oder eine vollständige Regelung der Ausgangsspannung, aber nicht beides gleichzeitig. Die typische Stromverzerrung liegt bei 5 bis 13 Prozent in Abhängigkeit der Auslegung auf begrenzte oder volle Ausgangsspannung.

—
09 Active-Front-End-Frequenzumrichter mit LCL-Filter





BARCLAYS

citi

citi

LINGSATE MARKET

A H K O X (Lingsate) Ltd
Specialist in the Import of
Specialist in Import of
Tel: 0207 541 1708
Fax: 0207 541 1702

W. L. H. (Lingsate) Ltd
Specialist in the Import of
Tel: 0207 541 1708
Fax: 0207 541 1702

EXIT TO
SHEPPARD
CROSSING

Canary Wharf

Zusammenfassung

Es macht sich auf lange Sicht bezahlt, auf das Niveau der Netzoberschwingungen zu achten. THD_v ist die gesamte harmonische Verzerrung der Spannung und THD_i die gesamte harmonische Verzerrung des Stroms. THD_v hat die größten Auswirkungen auf die Power Quality der Endverbraucher. Mit THD_i können jedoch am einfachsten Vergleiche zwischen den verschiedenen Lösungen zur Oberschwingungsdämpfung angestellt werden. Die Stromoberschwingungen (THD_i) sind verantwortlich für die Entstehung von Spannungsoberschwingungen (THD_v). Deshalb ist es akzeptabel, dass in diesem Dokument die verschiedenen Technologien zur Oberschwingungsdämpfung nur auf der Grundlage der Stromoberschwingungen (THD_i) verglichen werden. Die harmonische Verzerrung verursacht eine Reihe von Problemen in einem Gebäude. Das unangenehmste Problem ist jedoch die zusätzliche Wärme. Die Geräte laufen heißer, weniger effizient und neigen zu vorzeitigem Ausfall.

Es gibt keine Patentlösung für die Oberschwingungsdämpfung. Allerdings gibt es Faustregeln, die als Orientierungshilfe bei typischen Fällen, bei denen Oberschwingungen auftreten, dienen können.

- Bei Projekten, bei denen Frequenzumrichter weniger als 30 Prozent der Transformator-Kapazität des Gebäudes ausmachen ist der Einsatz von Sechs-Puls-Frequenzumrichtern mit 5 Prozent Impedanz akzeptabel.
- Bei Projekten mit mehr Frequenzumrichtern ist eine Kombination aus Sechs-Puls-Frequenzumrichtern mit 5 Prozent Impedanz (für die kleineren Frequenzumrichtern) und AFE-Frequenzumrichtern (für die größeren Frequenzumrichtern) die optimale Systemlösung.

Eine Computersimulation zur Oberschwingungsanalyse wird für jene Projekte empfohlen, die einen erheblichen Anteil nicht-linearer Lasten enthalten. Die Oberschwingungsanalyse wird deren Ausmaß ermitteln und die Auswirkungen einer Ausrüstung zur zusätzlichen Oberschwingungsdämpfung (z. B. ein AFE) veranschaulichen. ABB kann Ihnen bei der Oberschwingungsanalyse in Ihrem Gebäude oder bei Ihrem Projekt behilflich sein.



—
Weitere Informationen erhalten Sie von Ihrer
ABB-Vertretung oder im Internet

new.abb.com/drives/de

new.abb.com/drives/de/branchen-und-applikationen/hlk

