

APPLIKATIONSANLEITUNG

Oberschwingungen in der Wasserwirtschaft



Inhalt

4–7	Oberschwingungen im Allgemeinen und warum das ein Thema ist
4	Einleitung
4	Grundlagen zum Thema Oberschwingungen
5	Ursachen von Oberschwingungen
5	Durch Oberschwingungen verursachte Probleme
6	Durch Oberschwingungen verursachte ökonomische Folgen
6	Oberschwingungen in kritischen Einrichtungen
7	Leistungsfaktor
8–12	Unterschiedliche Technologien zur Oberschwingungsdämpfung
8	6-Puls-Frequenzumrichter, keine Drosselspule
8	6-Puls-Frequenzumrichter mit Drosselspule 3–5 %
9	Passivfilter
10	Aktivfilter
11	Mehr-Puls-Lösungen
12	Active Front End
12	Weitere Technologien zur Oberschwingungsdämpfung
14	Zusammenfassung

Oberschwingungen im Allgemeinen und warum das ein Thema ist

Einleitung

Die Wasserwirtschaft benötigt eine zuverlässige Lösung für eine sichere Wasserversorgung und Abwasserentsorgung. Pumpen- und Belüftungssysteme sind feste Bestandteile einer zuverlässigen Lösung, und diese Systeme verbrauchen eine signifikante Menge an Energie. Dieser Energieverbrauch lässt sich durch die Ausstattung solcher Systeme mit Frequenzumrichtern erheblich reduzieren.

Frequenzumrichter verursachen zusammen mit anderen elektronischen Geräten ein Phänomen, das als Netzoberschwingungen bekannt ist. Die Vorteile beim Einsatz von Frequenzumrichtern überwiegen bei Weitem die Nachteile der Oberschwingungen. Allerdings muss man sich der Oberschwingungen, der möglichen Probleme, die sie verursachen, und der Lösungen zur Oberschwingungsdämpfung bewusst sein.

Obwohl sich diese Anleitung mit Frequenzumrichtern als Quelle von Oberschwingungen befasst, ist zu beachten, dass Frequenzumrichter nicht die einzige Quelle von Oberschwingungen in einem System sind. Allerdings stehen Frequenzumrichter häufig im Mittelpunkt bei der Berechnung von Oberschwingungen und Überlegungen zu deren Dämpfung, denn in der Wasserwirtschaft eingesetzte Frequenzumrichter können einen erheblichen Teil des Gesamtstromverbrauchs ausmachen. Beispiele für den Einsatz von Frequenzumrichtern in Anwendungen der Wasserversorgung und Abwasserentsorgung sind Pumpen, Gebläse, Kompressoren und Förderanlagen.

Oberschwingungen zeigen sich in der Wellenform der Spannung, da elektronische Geräte Strom auf nichtlineare Weise ziehen. Oberschwingungen werden typischerweise als Prozentwert, als Gesamtverzerrung (THD) bezeichnet, gemessen. Es handelt sich dabei um das Verhältnis des effektiven Oberschwingungsgehalts zum Effektivwert der Grundfrequenz. THD stellt die prozentuale Abweichung von der Sinusform der Grundschnung 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.

In verschiedenen Industrienormen ist ein zulässiges Maß an Oberschwingungen im Vergleich zu

einer Verzerrung festgelegt, die Störungen verursacht. Außerdem gibt es Normen für die elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) in Bezug auf Oberschwingungen in Europa und Asien. Diese Normen sind aus Sicht der Stromversorger verfasst, um Kunden von der Erzeugung von Oberschwingungen abzuhalten, deren Höhe die Power Quality von anderen an das Netz angeschlossener Verbraucher beeinträchtigen könnte.

Das Wort „Oberschwingungen“ ist weit gefasst und wird in verschiedenen Branchen verwendet. Leider werden manche elektrischen Probleme fälschlicherweise auf Oberschwingungen zurückgeführt. Diese Oberschwingungen sollten nicht mit Hochfrequenzstörungen (HF-Störungen) verwechselt werden, die bei deutlich höheren Frequenzen als Oberschwingungen auftreten. Netzoberschwingungen sind niederfrequente Störungen und stören somit keine drahtlosen LAN-Signale, Mobiltelefone, FM- oder AM-Radios oder Geräte, die gegen hochfrequentes Rauschen besonders empfindlich sind.

Grundlagen zum Thema Oberschwingungen

Spannungsüberschwingungen sind eine Verzerrung der Spannungswellenform. Ebenso sind Stromüberschwingungen eine Verzerrung der Stromwellenform. Diese verzerrten Wellenformen lassen sich mit einer einfachen Gleichung nur schwer quantifizieren, deshalb wird bei Oberschwingungen eine mathematische Methode, die Fourier-Analyse genannt, verwendet. Hierbei werden die Höhe und Frequenz vieler kleiner Sinuswellen verwendet, welche die Verzerrung, die bei einer Einrichtung beobachtet wird, ergeben. Auf diese Weise kann festgestellt werden, welche Oberschwingungen besonders problematisch sind, und es können Korrekturmaßnahmen zur Reduzierung dieser Oberschwingungen getroffen werden.

Wie in der Einleitung erläutert, werden Oberschwingungen durch einen THD Prozentwert quantifiziert. Dieser Prozentwert beschreibt, wie stark die Wellenform gegenüber einer reinen Sinuswelle verzerrt ist. Eine stark verzerrte Wellenform hat einen höheren THD-Prozentwert. Mit den beiden folgenden Formeln wird der Oberschwingungen in einem System ermittelt.

THD_v ist der Oberschwingungsgehalt der Spannungswellenform. THD_i ist der Oberschwingungs-

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

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

gehalt der Stromwellenform. In beiden Fällen basiert die Berechnung auf dem Verhältnis des effektiven Oberschwingungsgehalts in Relation zum Effektivwert der Grundschwingung. Das bedeutet, je höher der Oberschwingungsgehalt ist, desto höher ist der THD-Prozentwert.

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 Wasser-/Abwasserwerk akzeptabel sind. Jedes System ist einzigartig und berücksichtigt die Höhe der Anlagenlast im Vergleich zur Kapazität des EVUs, das als Kurzschlussverhältnis bekannt ist. Häufig besteht eine Unkenntnis darüber, wo die Oberschwingungen zu messen sind, als Anschlusspunkt (PCC) bekannt. Kurz gesagt, der Anschlusspunkt ist üblicherweise die Stelle, an der das Stromnetz des Wasser-/Abwasserwerks an das Netz des Stromversorgers angeschlossen ist. Die Total Demand Distortion (TDD, Gesamtbedarfsverzerrung) wird am PCC anstatt der THDI gemessen. TDD dient normalerweise zur Ermittlung der Oberschwingungen für die gesamte Anlage, während THDI zur Ermittlung der Oberschwingungen eines einzelnen Geräts innerhalb der Anlage verwendet wird.

Ursachen von Oberschwingungen

Oberschwingungen werden durch nichtlineare Lasten verursacht. Nichtlineare Lasten beziehen keinen sinusförmigen Strom. Beispiele für nichtlineare Lasten sind Frequenzumrichter, EC-Motoren, LED-Beleuchtung, Kopierer, Computer, unterbrechungsfreie Stromversorgungen, Fernsehgeräte und die meisten elektronischen Geräte mit Netzteil. Die wichtigsten Ursachen von Oberschwingungen in einer Anlage sind normalerweise nichtlineare, dreiphasige Lasten und es gilt: je höher die Energie, desto höher die Oberwellenströme im Netz.

Im nächsten Abschnitt werden die elektrischen Eigenschaften eines Frequenzumrichters beschrieben. Er ist ein Beispiel für eine nichtlineare Last. Bei dem am häufigsten verwendeten Frequenzumrichter-Design wird die aus dem Netz bezogene, dreiphasige Eingangsspannung mit Hilfe von Dioden in eine Gleichspannung umgewandelt. So entsteht eine glatte DC-Spannung über den Kondensatorbänken. Der Frequenzumrichter wandelt dann die DC-Spannung in eine AC-Spannung für den Motor um, mit der die Drehzahl, das Drehmoment und die Drehrichtung des Motors geregelt werden. Durch die dreiphasige Wechselstrom-Gleichstrom-Gleichrichtung wird ein nichtlinearer Strom erzeugt.

Durch Oberschwingungen verursachte Probleme

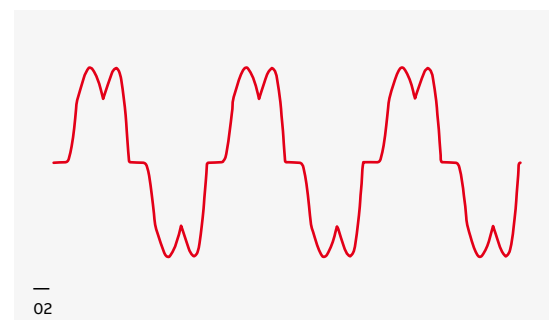
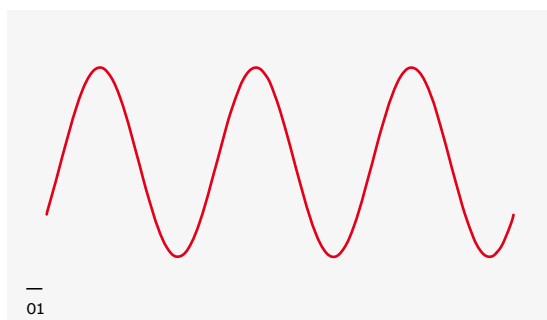
Starke Oberschwingungen können zahlreiche Probleme verursachen. Zu diesen Problemen gehören:

- 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, die direkt an das Netz angeschlossen sind
- Fehlauslösungen von Trennschaltern und Sicherungen aufgrund der höheren Temperatur und Oberschwingungsbelastung
- Instabiler Betrieb der Backup-Generatoren
- Instabiler Betrieb von sensiblen elektronischen Geräten, die eine rein sinusförmige AC-Wellenform benötigen
- Flackernde Lampen

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 einen unter Vollast laufenden Motor zu legen. Wie also könnte ein Wartungsleiter erkennen, ob der laufende Motor aufgrund von Oberschwingungen zehn Grad wärmer ist? Außerdem reduziert sich die Lebensdauer dieses Motors auf sechs Jahre

01 Reiner Sinusstrom ohne Oberschwingungen

02 Wellenform des Stroms mit Oberschwingungen



—
03 Mögliche
Auswirkungen von
Überschwingungen
auf Transformatoren

anstelle der üblichen 12 Jahre. Dieses Beispiel zeigt nur einen der wirtschaftlichen Aspekte in Zusammenhang mit Überschwingungen, 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 einen Motor im Wesentlichen von Netzüberschwingungen ab, so dass Motoren, die über einen Frequenzumrichter betrieben werden, diesem die Lebensdauer verkürzenden Phänomenen nicht ausgesetzt sind.

Durch Überschwingungen verursachte wirtschaftliche Probleme

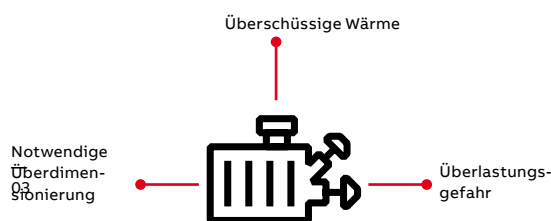
Überschwingungen haben in allen Phasen der Lebensdauer einer Anlage wirtschaftliche Auswirkungen. Erstens entstehen zusätzliche Investitionskosten, entweder aufgrund der Dimensionierung der Anlage, um den Überschwingungen zu widerstehen, oder durch das Investieren in Maßnahmen zur Überschwingungsdämpfung. 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 Überschwingungen umzugehen, ist die Überdimensionierung von Teilen der elektrotechnischen Infrastruktur einer Anlage. Die Transformatoren und Kabelquerschnitte können größer ausgelegt werden, um den zusätzlichen Überschwingungsgehalt und die Wärme zu kompensieren. Auch Backup-Generatoren müssen in Systemen mit einer signifikanten Überschwingungsbelastung 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 Überschwingungen 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 Überschwingungs-

dämpfung, die den Überschwingungsgehalt auf unter 3 Prozent senken können.

Die laufenden Kosten eines Systems mit Ineffizienzen, die auf Überschwingungen 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 in der Anlage zur Wärmeerzeugung verschwendet wird. Die Kosten für Geräteausfälle sind nicht verborgen. Allerdings ist es eine Herausforderung, diese Ausfälle und die damit verbundenen Kosten den Überschwingungen zuzuschreiben.



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

Überschwingungen in kritischen Einrichtungen

In den vorangehenden Abschnitten dieses Dokuments werden Punkte beschrieben, die Auswirkungen auf alle Arten von Einrichtungen haben. Allerdings gibt es bestimmte Anwendungen in der Wasserwirtschaft, die im Hinblick auf die Power Quality – und hierbei geht es auch um Überschwingungen – besonders betrachtet werden müssen, denn eine kontinuierliche Wasserversorgung und Abwasserentsorgung sind von entscheidender Bedeutung. Wasserversorger, Pumpstationen mit Backup-Generatoren und Pumpstationen an entlegenen Orten sind normalerweise empfänglich für Überschwingungen.

Wasserversorger müssen sicherstellen, dass empfindliche elektrische Komponenten wie Ozongeneratoren und UV-Lampen nicht gestört werden,



denn sonst würde das Wasser nicht ordnungsgemäß gereinigt. Ein zuverlässiger Betrieb der Notstromgeneratoren in Abwasser-Pumpstationen ist wesentlich, um ein Überlaufen des Abwassertanks zu vermeiden oder bei Druckerhöhungsstationen den Druck im Wasserleitungsnetz aufrechtzuerhalten. Die Aufrechterhaltung des Pumpbetriebs auch in schwachen und schwankenden Netzen im ländlichen Raum ist von entscheidender Bedeutung.

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 Klirrfaktor.

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

Die Gleichung beschreibt das Verhältnis zwischen den verschiedenen Leistungsfaktortypen. Der echte

Leistungsfaktor berücksichtigt den Verschiebungsfaktor ($\cos\varphi$) und den Klirrfaktor (dabei handelt es sich um eine Funktion über das Ausmaß des Oberwellenstroms). Die drei wichtigsten Punkte zum Thema Leistungsfaktor für einen Ingenieur oder Betriebsleiter sind:

- Manche Versorgungsunternehmen erheben von Kunden mit einem schlechten Leistungsfaktor Gebühren bzw. bieten Preisnachlässe bei einem guten Leistungsfaktor. Üblicherweise erfolgt die Blindleistungskompensation durch Investition in separate Kondensatorbänke.
- Die Regelung eines Motors über Frequenzumrichter verbessert den Verschiebungsfaktor (pf_{disp}), wodurch auf Kondensatorbänke verzichtet werden kann.
- Frequenzumrichter, die geringere Oberschwingungen erzeugen, verbessern den Leistungsfaktor (pf_{true}) auf eins sowie den Verschiebungsfaktor (pf_{disp}) und den Klirrfaktor (pf_{dist}). Hierdurch entfällt die Notwendigkeit von Kondensatorbänken komplett, und die Systemeffizienz verbessert sich.

Unterschiedliche Technologien zur Oberschwingungsdämpfung

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

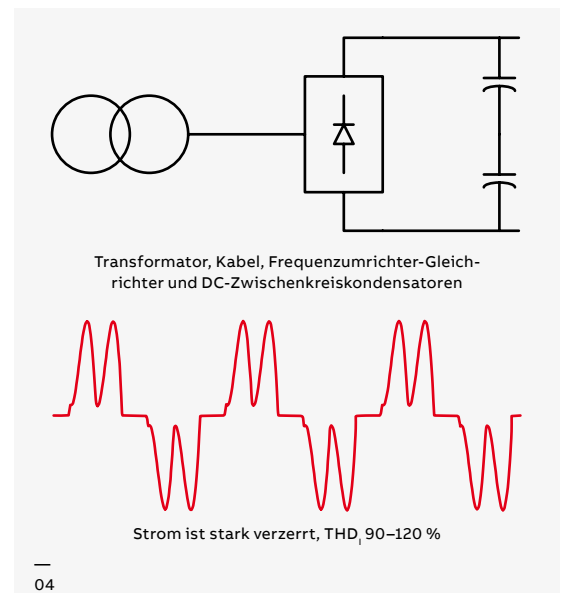
	6-Puls-Frequenzumrichter keine Drossel	6-Puls-Frequenzumrichter Niedrige Kapazität der DC-Stromschiene	6-Puls-Frequenzumrichter + 5 % Drossel	3-Phasen-Frequenzumrichter Active-Front-End-Frequenz- umrichter *)
Typischer THD _I	90-120 %	35-40 %	35-45 %	3-5 %
Preis des FU-Systems **)	\$	\$	\$\$	\$\$\$
Platzbedarf	◆	◆	◆◆	◆◆◆
Vorteile	Einfache und kostengünstige Lösung, für Anlagen mit wenigen kleiner Frequenzumrichter.	Einfache und kostengünstige Lösung, die eine gewisse Oberschwingungsdämpfung (THD _I) bietet.	Standardlösung in (Ab)wasseranwendungen.	Beste Leistungsfähigkeit bei Oberschwingungen von allen Lösungen. Einfache Installation, nur 3 Leiter hinein und 3 Leiter heraus. Fähigkeit zur Erhöhung der Ausgangsspannung bei schwachem Netz. Grundleistungsfaktor Eins
Nachteile	Hoher Oberschwingungsgehalt, nicht empfehlenswert für Anlagen mit einer höheren Anzahl an Frequenzumrichtern. Anfällig für eine schlechte Power Quality.	Höhere Spannungsverzerrung (THD _V), höher als beim 6-Puls-Frequenzumrichter mit 5% Drossel. Anfällig für Probleme, die durch eine schlechte Power Quality verursacht werden. Durchlauf bei Unterspannung nahezu unmöglich.	Anlagen mit vielen oder großen Frequenzumrichtern benötigen evtl. eine Oberschwingungsdämpfung.	Der Frequenzumrichter selbst erzeugt etwas mehr Wärme als ein Standard-Sechs-Puls-Frequenzumrichter mit Drossel.

*) Die Bewertungen basieren auf den Low Harmonic Drives von ABB **) Systempreis inkl. Frequenzumrichter & Installationskosten

04 6-Puls-Frequenzumrichter ohne Oberschwingungsdämpfung

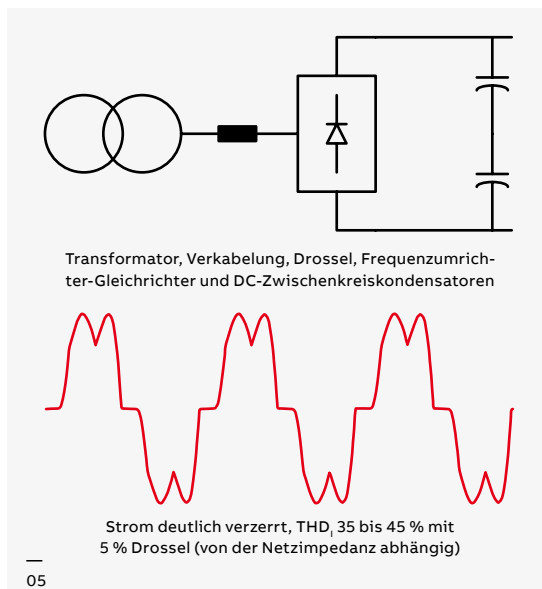
6-Puls-Frequenzumrichter, keine Drossel

Das ist die Beschreibung eines Standard-Sechs-Puls-Frequenzumrichters 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, die einen zu kleinen DC-Stromschielenkondensator 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.



	6-Puls-Frequenzumrichter + Passivfilter	Frequenzumrichter mit Matrixtechnologie	Multipuls-Frequenzumrichter	6-Puls-Frequenzumrichter + aktiver Filter
Typischer THD _i	5-10 %	5-13 %	12-Puls 10-15 % 18-Puls 5-8% aufgrund der tatsächlichen Systemdynamik, Phasenunsymmetrie und Hintergrundverzerrung.	4-7 %
Preis des FU-Systems**)	\$\$\$	\$\$\$\$	\$\$\$\$	\$\$\$\$\$
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 mehrerer Frequenzumrichter/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. Komplexe Verdrahtung.	Geringe harmonische Verzerrung (5 % THDI) erlaubt keine volle Drehzahlregelung über den gesamten Frequenzbereich, da nur bis zu 93 % Spannung moduliert werden kann. Kein Durchlauf bei niedriger Netzspannung, da der DCZwischenkreis fehlt.	Sehr großer Platzbedarf. Signifikante Anzahl an Fehlerstellen. Ein optimales Oberschwingungsverhalten erfordert eine perfekte symmetrische AC-Einspeisung mit geringer Hintergrundverzerrung. Komplexe Verdrahtung und Spezialtransformator erforderlich. Nachrüstung vor Ort sehr schwierig.	Typischerweise die teuerste Lösung. Der Filter wird zur einzigen Fehlerstelle für die Oberschwingungsdämpfung. Ein Filterausfall könnte zu erheblichen/sofortigen, durch Oberschwingungen verursachten Problemen im System führen. Komplexe Verdrahtung.

—
6-Puls-Frequenzumrichter mit Drossel 3–5 %



6-Puls-Frequenzumrichter mit Drosselspule 3–5 %

Ein Standard-6-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 Systemen der Wasserversorgung und Abwasserentsorgung 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 THDI 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 Oberschwingung abgestimmt ist. Je nach Hersteller ist die Leistungsfähigkeit der passiven Oberwellenfilter unterschiedlich, wobei manche Bauarten bei Teillasten oder bei bereits vorhandener Spannungsverzerrung im Netz 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 Kondensator-Wechselwirkungen können beeinträchtigende elektrische Probleme verursachen. Passive Filter können separat, als eigenständige Filter angeboten werden, mit eigenem Gehäuse und zum Anschluss an einen Frequenzumrichter. Die getrennte Lieferung und Installation des Filters erfordert eine zusätzliche Koordinierung während der Entwicklungs- und Installationsphase eines Projekts.

Beispiele für die Koordination sind:

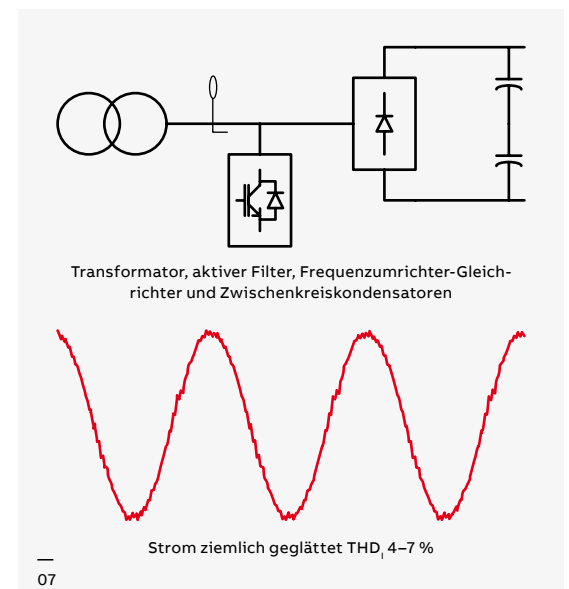
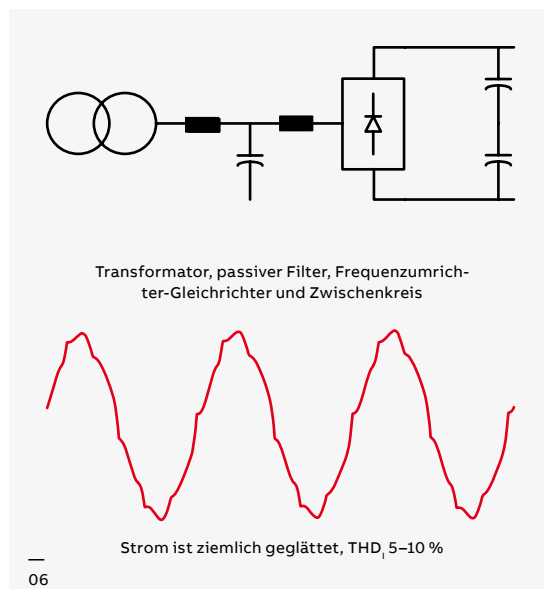
- Es muss Platz für den Einbau jedes Filters vorgesehen werden.
- Im Budget sollte die zusätzliche Arbeitszeit für Einbau und Verschaltung des Filters berücksichtigt werden.
- Bei der Montage des passiven Filters an einem Frequenzumrichter muss besonders sorgfältig vorgegangen werden. Es besteht die 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, müssen 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 Stromverzer-

06 6-Puls-Frequenzumrichter mit passivem Filter

07 6-Puls-Frequenzumrichter mit aktivem Filter



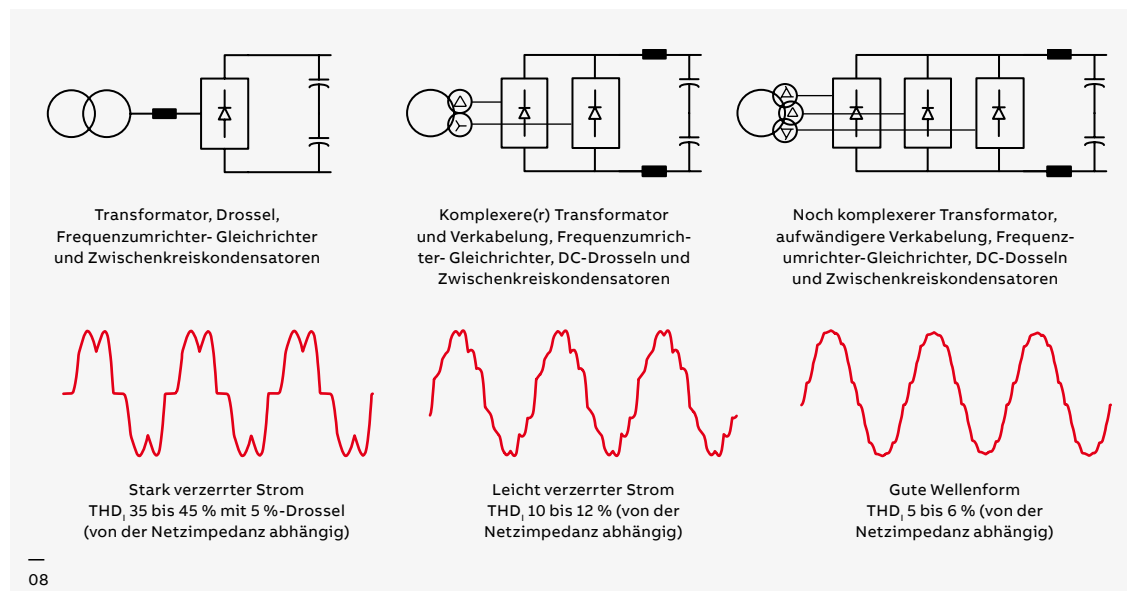
rung erfasst wird, und gibt dann eine entgegenwirkende Wellenform aus, die die Verzerrung aufhebt. Die aktive Oberschwingungsdämpfung ist effektiv, und es werden normalerweise harmonische Stromverzerrungen zwischen 4 und 7 Prozent erreicht. Aus der ordnungsgemäßen Anwendung aktiver Oberwellenfilter ergeben 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 die Anlage als Ganzes oder für eine Frequenzumrichtergruppe installiert. Das löst selbstverständlich das Problem an dieser Stelle, hat aber keine Auswirkungen auf Geräte innerhalb der Anlage oder an anderen Orten. Bei dieser Lösung besteht auch ein gewisses Risiko als einzelne Fehlerstelle, weil bei Ausfall dieses einen Filters die Oberschwingungen in den nachgeschalteten Kreisen signifikant zunehmen.

Multipuls-Lösungen

Multipuls-Lösungen sind eine weitere Methode, Oberschwingungen abzuschwächen. Ein Standard-Frequenzumrichter ist eine 6-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

Gleichrichterdiode 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 6-Puls-Frequenzumrichter, 12 zusätzliche Dioden, Ausgleichsdrosseln, (18) Sicherungen, Vorladeschaltungen, eine beachtliche Menge an Leistungsverdrahtung zur Verbindung dieser Komponenten und einen großen Transformator. Eine verhältnismäßig "kleine" 18-Puls-Einheit mit 23 Ampere ist wegen des Transformators und der Hardware, die die Einheit bildet, etwa so groß wie ein Kühltisch. Eine 18-Puls-Einheit beginnt mit der Aufnahme einer dreiphasigen 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 8 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

—
08 Standard-6-Puls-Frequenzumrichter verglichen mit Mehr-Puls-Lösungen (6-Puls-Gleichrichter, 12-Puls-Gleichrichter, 18-Puls-Gleichrichter)



Markt. Multipuls-Einheiten sind eine der ursprünglichen Lösungen zur Oberschwingungsdämpfung und wurden schon vor 30 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 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 unter 3 Prozent erreicht werden kann. Der Leistungsfaktor ist Eins, d. h. er verwendet den kleinstmöglichen Blindstrom. AFE-Frequenzumrichter weisen auch ein hervorragendes

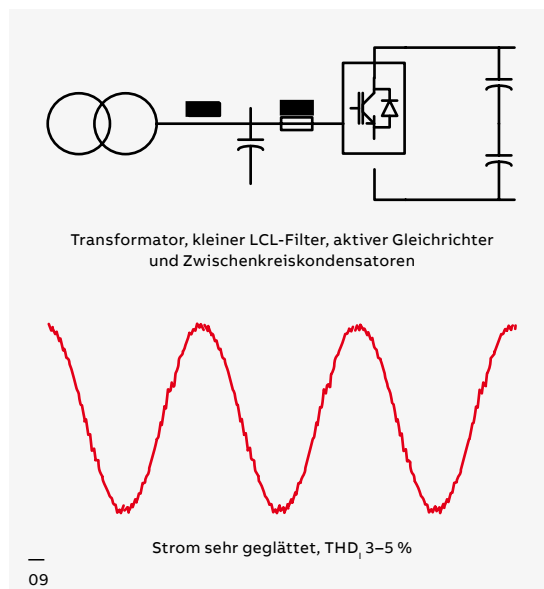
Verhalten im Fall von Oberschwingungen bei Teillast auf. Die Installation eines AFE-Frequenzumrichters ist einfach, da er traditionell als einzelnes Gerät mit Eingangsklemmen und Motor-Ausgangsklemmen gebaut wird. Dank der aktiven Steuerung der IGBT-Front-End ist der AFE-Frequenzumrichter weniger empfindlich 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 vorangegangener Abschnitt über 6-Puls-Frequenzumrichter, keine Drossel, nimmt Bezug auf Frequenzumrichter mit unterdimensionierten 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





Zusammenfassung

Es macht sich auf lange Sicht bezahlt, auf das Niveau der Netzüberschwingungen 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 Überschwingungsdämpfung angestellt werden. Die Stromüberschwingungen (THD_i) sind verantwortlich für die Entstehung von Spannungsüberschwingungen (THD_v). Deshalb ist es akzeptabel, dass in diesem Dokument die verschiedenen Technologien zur Überschwingungsdämpfung nur auf der Grundlage der Stromüberschwingungen (THD_i) verglichen werden. Die harmonische Verzerrung verursacht eine Reihe von Problemen in einer Anlage. 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 Überschwingungsdämpfung. Allerdings gibt es Faustregeln, die als Orientierungshilfe bei typischen Fällen, bei denen Überschwingungen auftreten, dienen können.

- Bei Projekten, bei denen Frequenzumrichter weniger als 30 Prozent der Transformatorkapazität ausmachen, sind 6-Puls-Frequenzumrichter mit ordnungsgemäß dimensionierten Drosseln akzeptabel.
- Bei Projekten mit mehr Frequenzumrichtern ist eine Kombination aus 6-Puls-Frequenzumrichter (für die kleineren Frequenzumrichter) und AFE-Frequenzumrichtern (für die größeren Frequenzumrichter) die optimale Systemlösung.
- Bei Projekten, die Backup-Generatoren erfordern, lässt sich durch AFE-Frequenzumrichter die Systemzuverlässigkeit verbessern und kann auf eine Überdimensionierung des Generators verzichtet werden.

Eine Computersimulation zur Überschwingungsanalyse wird für jene Projekte empfohlen, die einen erheblichen Anteil nichtlinearer Lasten enthalten. Die Überschwingungsanalyse wird deren Ausmaß ermitteln und die Auswirkungen einer Aufrüstung zur zusätzlichen Überschwingungsdämpfung (z. B. ein AFE) veranschaulichen. ABB kann Ihnen bei Ihrem Projekt mit einer Überschwingungsanalyse behilflich sein.





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

new.abb.com/drives/de/harmonics

new.abb.com/drives/de

new.abb.com/drives/de/channel-partners

