

ENGINEERING
TOMORROW

Danfoss

Clean Grid Solutions

Wie sichern Sie die Qualität Ihrer
Netzversorgung? **Planung und Auslegung**
von Lösungen **für mehr Netzqualität**

8 %

Netzspannungs-
überschwingungsgehalt
sind die obere Grenze,
um einen sicheren
Anlagenbetrieb zu
gewährleisten

www.danfoss.de/vlt

VLT[®]
THE REAL DRIVE

Inhaltsverzeichnis

| | | | |
|--|----|---|----|
| Höchste Energieeffizienz – führt dies zum stillen Tod des Netzes? | 5 | Praxis – die richtigen Maßnahmen auswählen | 17 |
| Elektromagnetische Einflüsse verstehen | 6 | Möglichkeiten zur Reduzierung der | |
| <i>Elektrische Geräte und</i> | 6 | Netzurückwirkungen | 17 |
| <i>ihre Einflüsse auf die Umwelt</i> | 6 | <i>Keine grundsätzliche</i> | 17 |
| <i>Elektromagnetische Einflüsse</i> | 6 | <i>Empfehlung möglich</i> | 17 |
| <i>wirken in beide Richtungen</i> | 6 | Netz- oder Zwischenkreisdrosseln | 18 |
| <i>liegt beim Betreiber</i> | 6 | Schlanker Zwischenkreis | 19 |
| <i>Zwei Möglichkeiten der Reduzierung</i> | 6 | Passive Filter mit langjährig bewährter | |
| Leitungsgebundene und Strahlungsemission unter- | | Zuverlässigkeit | 20 |
| scheiden | 7 | 12-puls oder höher | 21 |
| <i>Grundprinzip der Auswirkungen</i> | 7 | <i>B12- und höherpulsige Gleichrichtung</i> | 21 |
| <i>Übertragungswege der Störungen</i> | 7 | <i>B12-Gleichrichtung</i> | 21 |
| <i>Kopplungsmechanismen</i> | 7 | <i>als Parallel- oder Reihenschaltung</i> | 21 |
| <i>zwischen Stromkreisen</i> | 7 | Aktive Filter – präzise Filterung bei flexibler | |
| Der Einsatzort entscheidet – 1. und 2. Umgebung | 8 | Aufstellung | 22 |
| 1. Umgebung: Wohn-, Geschäfts- und Gewerbebe- | | <i>Aktive Filter – modernste Technik erlaubt präzise</i> | |
| <i>reiche, Kleinbetriebe</i> | 8 | <i>Filterung</i> | 22 |
| 2. Umgebung: Industriebereiche | 8 | <i>Flexibler bei der Aufstellung</i> | 22 |
| <i>Spezialbereiche</i> | 8 | <i>Auswahl von aktiven Filtern</i> | 23 |
| Hochfrequente Funkstörungen – Grenzwerte abhängig | | Active Front End und Low Harmonic Drive | 24 |
| vom Einsatzort | 9 | <i>Vorteile AFE / LHD</i> | 24 |
| <i>Funkstörungen</i> | 9 | <i>Nachteile AFE / LHD</i> | 24 |
| <i>Normen und Richtlinien</i> | 9 | Besonderheiten: ...Trafoauslastung & | |
| <i>definieren Grenzwerte</i> | 9 | Notstromgenerator | 25 |
| Netzqualität bewerten und sichern | 10 | <i>Maximale Transformatorauslastung</i> | 25 |
| <i>Die perfekte Netzspannung</i> | 10 | <i>Belastung des Transformators</i> | 25 |
| <i>Netzqualität – welche Faktoren</i> | 10 | <i>Spannungsqualität</i> | 25 |
| <i>sind ausschlaggebend?</i> | 10 | <i>Betrieb am Notstromgenerator</i> | 25 |
| <i>Technische Lösungen</i> | 11 | HCS-Software zur Oberschwingungsberechnung | 26 |
| <i>für sichere und gute Versorgung</i> | 11 | <i>Netzqualität erhöhen</i> | 26 |
| Netzqualität bewerten und sichern | 12 | <i>Aktuelle Situation</i> | 26 |
| <i>Wie gut ist gut genug?</i> | 12 | <i>Netzbelastungen</i> | 26 |
| Netzurückwirkungen und ihre Gefahren | 13 | <i>mit und ohne Filter simulieren</i> | 26 |
| <i>Versorgungsnetze in Gefahr</i> | 13 | <i>Online Berechnung im Internet</i> | 27 |
| <i>Gesetzliche Grundlage</i> | 13 | <i>Verschiedene Berechnungslevel</i> | 27 |
| <i>sichert Qualität</i> | 13 | <i>Level Basic</i> | 27 |
| <i>Wie entstehen die Netzurückwirkungen</i> | 13 | <i>Level Expert</i> | 27 |
| Auswirkungen von Netzurückwirkungen | 14 | <i>Komfortable Dokumentation</i> | 28 |
| <i>Gibt es netzurückwirkungsfreie Frequenzumrichter?</i> | 14 | Energieeffizienz durch Reduzierung der | |
| Netzanalyse und Gegenmaßnahmen | 15 | Netzurückwirkungen | 29 |
| <i>Wie wird die optimale Lösung zur Reduzierung der</i> | | <i>Zusatzverluste reduzieren</i> | 29 |
| <i>Oberschwingungen gewählt?</i> | 15 | Zusammenfassung – Die „eine“, beste Lösung gibt es | |
| <i>Wie wirken sich Netzbedingungen auf die Ober-</i> | | nicht | 30 |
| <i>schwingungsbelastung aus?</i> | 15 | Von der Theorie zur Praxis | 31 |
| <i>Welche Anwendungsaspekte</i> | 15 | <i>Reduzierungsmaßnahmen</i> | 31 |
| <i>sind zu berücksichtigen?</i> | 15 | Der Weg zur kosteneffektive Reduzierung | 32 |
| Netzanalyse und Gegenmaßnahmen | 16 | <i>Netzbedingungen</i> | 33 |
| <i>Übereinstimmung</i> | 16 | <i>Anwendung</i> | 33 |
| <i>mit gültigen Normen</i> | 16 | <i>Übereinstimmung mit Vorschriften</i> | 33 |
| <i>Wirtschaftliche Einflüsse für die Auswahl sinnvoller</i> | | <i>Kosten</i> | 33 |
| <i>Maßnahmen</i> | 16 | <i>Unsymmetrie und Vorverzerrung</i> | 33 |
| <i>Netzurückwirkungen berechnen</i> | 16 | <i>Überdimensionierung</i> | 33 |
| | | <i>Einhaltung von Normen</i> | 33 |

| | |
|---|----|
| <i>Leistungsgröße und Anschaffungskosten</i> | 33 |
| <i>Systemimpedanz</i> | 33 |
| <i>Reduzierung von Oberschwingungen</i> | 33 |
| <i>Normgerechte Funktion</i> | 33 |
| <i>Systemwirkungsgrad</i> | 33 |
| <i>Gesamtoberschwingungsgehalt</i> | 33 |
| VLT® Frequenzumrichter: Vollwertiger Zwischenkreis und integrierte Zwischenkreisdrosseln | 34 |
| <i>EMV-gerechte</i> | 34 |
| <i>Ausstattung serienmäßig</i> | 34 |
| VLT® Advanced Harmonic Filters AHF | 35 |
| <i>Zuverlässige Reduzierung</i> | 35 |
| <i>der Oberschwingungen</i> | 35 |
| <i>Nutzen Sie die Vorteile</i> | 35 |
| <i>der bewährten AHF-Filter:</i> | 35 |
| VLT® Advanced Active Filter AAF 006 | 36 |
| <i>Harmonische reduzieren, Netzqualität und</i> | |
| <i>Anlagenverfügbarkeit erhöhen</i> | 36 |
| <i>Stand-alone-Lösung oder mit VLT® Frequenzum-</i> | |
| <i>richtern</i> | 36 |
| VLT® Frequenzumrichter mit 12-Puls-Einspeisung | 38 |
| <i>Weniger Netzurückwirkungen und</i> | |
| <i>höhere Netzqualität</i> | 38 |
| <i>Kühlung über rückseitigen Kühlkanal</i> | 38 |
| VLT® Low Harmonic Drives | 40 |
| <i>VLT® Automation Drive, HVAC Drive und AQUA Drive</i> | |
| <i>mit reduzierten Netzurückwirkungen</i> | 40 |
| <i>Optionen</i> | 40 |
| Stichwortverzeichnis | 42 |

Höchste Energieeffizienz – führt dies zum stillen Tod des Netzes?

Steigende Energiepreise erfordern bei Verbrauchern eine effiziente Energienutzung, was zu einem breiten Spektrum an Lösungen für weniger Energieverbrauch führte. Das bekannteste Beispiel sind wohl die Energiesparlampen, die heute privat und gewerblich in großem Umfang zum Einsatz kommen. Daneben hat sich in der Gebäudeautomatisierung und der industriellen Produktion die Regelung von Motoren mit Frequenzumrichtern etabliert, da sie in den weitaus meisten Fällen zu einer drastischen Senkung des Energieverbrauchs beitragen. Ebenso wie Leistungselektronik in Fernsehern, Computern, Schaltungsteilen und ähnlichem haben sie allerdings auch einen Nachteil: Sie belasten das Netz mit sogenannten Netzoberschwingungen oder auch Harmonischen! Und beeinträchtigen bei zunehmendem Einsatz in nahezu allen Bereichen des täglichen Lebens mittel- und langfristig die Versorgungssicherheit durch unsere Stromnetze in erheblichem Maße.

Und nicht nur das: Oberschwingungen können ebenfalls zu Fehlern, reduzierter Verfügbarkeit bis hin zu Totalausfällen in Gebäuden und Anlagen führen, bei denen aber die Ursache nicht zweifelsfrei zu erken-

nen ist. Denn Netzurückwirkungen sind überall, jedoch ohne entsprechende Messtechnik nicht zu erkennen. Dabei sind die Rückwirkungen eines Geräts nicht tragisch. Erst die stetig und stark steigende Zahl solcher Geräte bringt heute die Probleme. Dabei lässt sich der Einsatz durch die Forderung nach höherer Energieeffizienz nicht vermeiden. Nur geeignete Gegenmaßnahmen können einen völligen Kollaps der Netze noch verhindern.

Vom technischen Standpunkt betrachtet, gehören die Netzurückwirkungen oder Oberschwingungen in den Bereich der EMV. Im Gegensatz zum landläufig mehr bekannten Phänomen der hochfrequenten Störeinstrahlung durch Funkwellen und ähnliches, handelt es sich bei den oben beschriebenen Auswirkungen um niederfrequente, leitungsgebundene Störungen.

Die vorliegende Broschüre gliedert sich in zwei Teile: Einen Grundlagen teil, der einen umfassenden, weitestgehend herstellernerutralen Überblick über Entstehung sowie Gefahren durch Oberschwingungen und Gegenmaßnahmen gibt. Und im zweiten Teil einen lösungsorientierten, technischen Part, der das breitgefächerte Danfoss-Portfolio vorstellt.

Die Grundlagen beginnen mit einer Abgrenzung und Einordnung der Harmonischen im Bereich der EMV und zeigen die Ursachen für die Entstehung von Netzurückwirkungen auf. Die Planerfibel erläutert die Gefahren für Netze und angeschlossene Geräte ebenso, wie sie eine Ursachenanalyse betreibt und Analyseverfahren für die praktische Anwendung präsentiert. Eine Vorstellung möglicher Gegenmaßnahmen sowie die wirtschaftliche wie auch technische Notwendigkeit, entsprechende Maßnahmen zu ergreifen, schließt den Grundlagenteil ab.

Der technisch orientierte Teil stellt dann die einzelnen Danfoss Lösungen vor und unterstützt mit technischen Rahmendaten bei der Auswahl und dem Vergleich möglicher Lösungen. Denn eines gleich zu Anfang: Die eine, beste Lösung gibt es nicht. Viele Wege führen jeweils zum Ziel, und Rahmenbedingungen wie Anlagenstruktur, Platzangebot, aber auch wirtschaftliche Faktoren beeinflussen zusammen die Auswahl der für den Einzelfall „richtigen“ oder „idealen“ Komponenten!



Elektromagnetische Einflüsse verstehen

Elektrische Geräte und ihre Einflüsse auf die Umwelt

Jedes elektrische Gerät beeinflusst seine direkte Umwelt mehr oder weniger durch elektrische und magnetische Felder. Größe und Wirkung dieser Einflüsse sind abhängig von der Leistung und Bauart des Geräts. In elektrischen Maschinen und Anlagen können Wechselwirkungen zwischen elektrischen oder elektronischen Baugruppen die sichere und störungsfreie Funktion beeinträchtigen oder verhindern. Daher ist es für Betreiber sowie Konstrukteur und Anlagenbauer wichtig, die Mechanismen der Wechselwirkung zu verstehen. Nur so kann er schon in der Planungsphase angemessene und kostengünstige Gegenmaßnahmen ergreifen. Denn: Je später er reagiert, desto teurer sind die Maßnahmen.

Elektromagnetische Einflüsse wirken in beide Richtungen

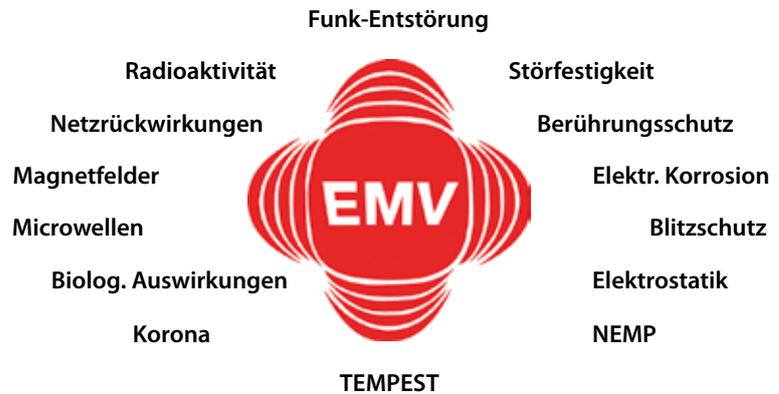
In einer Anlage beeinflussen sich die Komponenten wechselseitig: Jedes Gerät stört nicht nur, sondern ist auch Störungen ausgesetzt. Kennzeichnend für die jeweilige Baugruppe ist daher neben Art und Umfang ihrer Störaussendung auch ihre Störfestigkeit gegen Einflüsse benachbarter Baugruppen.

Anlagenverantwortung liegt beim Betreiber

Der Hersteller einer Komponente oder Baugruppe für elektrische Antriebe muss Maßnahmen ergreifen, um die gesetzlichen Richtwerte ein-zuhalten. Mit der Produktnorm EN 61800-3 für die Anwendung drehzahlveränderlicher Antriebe ist diese Verantwortung zusätzlich nun auf die Antriebseinheit beschränkt und die Anlagengesamtverantwortung auf den Endanwender oder Betreiber der Anlage erweitert worden. Hersteller müssen Lösungen anbieten, die den normgerechten Einsatz sicherstellen; die Beseitigung eventuell auftretender Störungen obliegt aber dem Betreiber – und die daraus entstehende Kosten.

Zwei Möglichkeiten der Reduzierung

Zur Sicherstellung der elektromagnetischen Verträglichkeit können Anwender oder Anlagenbauer zwei Mittel einsetzen. Zum einen können sie die Quelle entstören, indem sie Störaussendungen minimieren oder beseitigen. Zum anderen besteht die Möglichkeit, die Störfestigkeit des gestörten Geräts oder Systems erhöhen, indem der Empfang von Störgrößen verhindert oder deutlich reduziert wird.



Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) umfasst eine ganze Reihe von Phänomenen. In der Antriebstechnik sind davon vor allem Netzzrückwirkungen, Funk-Entstörung sowie die Störfestigkeit von Interesse.



Leitungsgebundene und Strahlungsemission unterscheiden

Grundprinzip der Auswirkungen

Grundsätzlich besteht immer eine Wechselwirkung zwischen mehreren Systemen. Dabei unterscheiden die Fachleute zwischen Störquelle und Störsenke, was gleichbedeutend ist mit störendem beziehungsweise gestörtem Gerät. Dabei können als Störgrößen alle Arten elektrischer und magnetischer Größen auftreten, die eine unerwünschte Beeinflussung hervorrufen. Diese äußern sich in Netzoerschwingungen, elektrostatischen Entladungen, schnellen Spannungsänderungen oder hochfrequenten Störspannungen bzw. Störfeldern. Netzoerschwingungen sind in der Praxis häufig als Netzurückwirkungen bzw. harmonische Oberschwingungen oder auch nur als „Harmonische“ bekannt.

Übertragungswege der Störungen

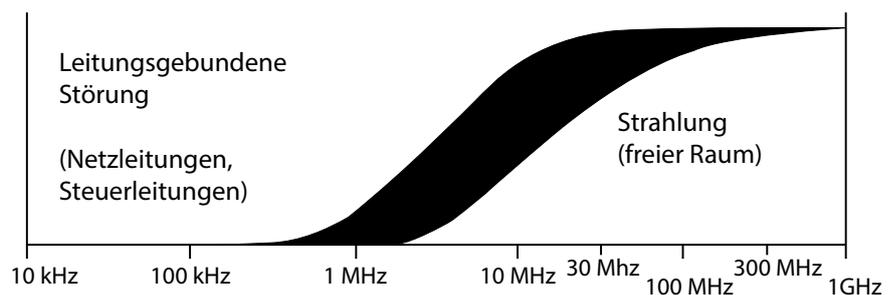
Doch wie erfolgt jetzt die Übertragung der Störenergie? Als elektromagnetische Aussendung kann die Übertragung grundsätzlich über Leitungen, elektrische und/oder kapazitive Felder oder elektromagnetische Wellen erfolgen. Fachleute sprechen von galvanischer, kapazitiver und induktiver Kopplung sowie Strahlungskopplung. In der Praxis können diese unterschiedlichen Phänomene einzeln oder auch in beliebiger Kombination auftreten.

Kopplungsmechanismen zwischen Stromkreisen

Kopplung bedeutet im täglichen Einsatz immer die Wechselwirkung zwischen den verschiedenen Stromkreisen, bei der elektromagnetische Energie von einem in den anderen Kreis fließt. Dazu kommen vier verschiedene Wege in Betracht:

- Die galvanische Kopplung tritt auf, wenn zwei oder mehr Stromkreise über eine gemeinsame Leitung miteinander verbunden sind (Beispiel: Potentialausgleichskabel)
- Eine kapazitive Kopplung entsteht durch unterschiedliche Spannungspotentiale zwischen den Kreisen (Beispiel: Kondensatoren)
- Eine induktive Kopplung tritt zwischen zwei stromdurchflossenen Leitern auf. (Beispiel: Transformator)
- Eine Strahlungskopplung liegt dann vor, wenn sich die Störsenke im Fernfeld einer Störquelle erzeugtten Strahlungsfelds befindet. (Beispiel: Radiosender)

Die Grenze zwischen leitungsgebundenen Kopplungen und Strahlungskopplung liegt für viele in der Praxis vorkommenden Fälle bei 30 MHz, was einer Wellenlänge von 10 Metern entspricht. Darunter breiten sich die elektromagnetischen Störgrößen vorwiegend über Leitungen oder elektrische beziehungsweise magnetische Felder gekoppelt aus. Jenseits der 30 MHz wirken Leitungen und Kabel als Antenne und strahlen elektromagnetische Wellen aus, bzw. empfangen diese über die Luft.



Elektromagnetische Störungen treten im gesamten Frequenzbereich auf. Allerdings unterscheiden sich Art der Ausbreitung und der Ausbreitungsweg.



Überblick über die Kopplungswege elektromagnetischer Störgrößen und typische Beispiele

Der Einsatzort entscheidet -1. und 2. Umgebung

Die Grenzwerte für die jeweilige Umgebung sind durch die entsprechenden Normen vorgegeben. Doch wie erfolgt die Einteilung in die verschiedenen Umgebungstypen? Hier geben die Normen EN 55011 und EN 61800-3 für den Bereich der elektrischen Antriebssysteme und Komponenten Auskunft. Dabei unterscheidet die 61000 noch die Leistungsbereiche.

1. Umgebung: Wohn-, Geschäfts- und Gewerbebereiche, Kleinbetriebe

Als Wohn- bzw. Geschäfts- und Gewerbebereich sowie Kleinbetrieb gelten alle Einsatzorte, die direkt an das öffentliche Niederspannungsnetz angeschlossen sind. Sie besitzen keine eigenen Hoch- oder Mittelspannungs-Verteil-Transformatoren zur separaten Versorgung.

Die Umgebungsbereiche gelten sowohl innerhalb als auch außerhalb der Gebäude:

Geschäftsräume, Wohngebäude/ Wohnflächen, Gastronomie- und Unterhaltungsbetriebe, Parkplätze, Vergnügungsanlagen oder Sportanlagen.

2. Umgebung: Industriebereiche

Industriebereiche sind Einsatzorte, die nicht direkt an das öffentliche Niederspannungsnetz angeschlossen sind, sondern eigene Hoch- oder Mittelspannungs-Verteil-Transformatoren besitzen. Zudem sind sie im Grundbuch als solche definiert und durch besondere elektromagnetische Gegebenheiten gekennzeichnet:

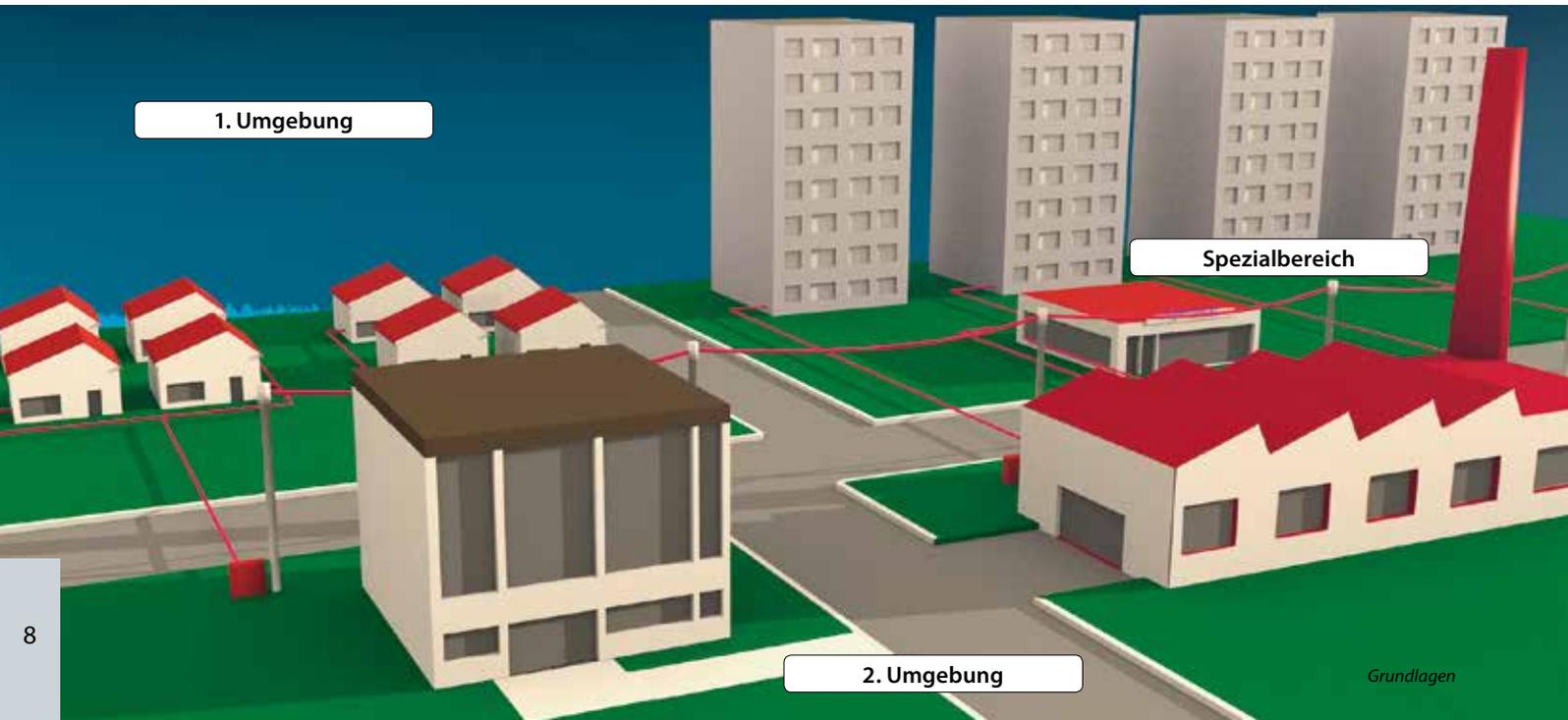
- Vorhandensein wissenschaftlicher, medizinischer und industrieller Geräte
- Schalten großer induktiver und kapazitiver Lasten
- Vorhandensein hoher magnetischer Felder (z.B. wegen hohen Stromstärken)

Die Umgebungsbereiche gelten sowohl innerhalb als auch außerhalb der Gebäude.

Spezialbereiche

Hier entscheidet der Anwender, welchem Umgebungsbereich er seine Anlage zuordnen möchte. Voraussetzung ist ein eigener Mittelspannungs-Transformator und eine eindeutige Abgrenzung zu anderen Bereichen. Innerhalb seines Bereichs muss er eigenverantwortlich die notwendige elektromagnetische Verträglichkeit sicherstellen, die allen Geräten ein fehlerfreies Funktionieren gewährleistet. Beispiele wären technische Bereiche von Einkaufszentren, Supermärkte, Tankstellen, Bürogebäude oder Lager.

Einteilung der Einsatzbereiche in 1. und 2. Umgebung sowie Spezialbereiche, in denen der Betreiber die Wahl hat.



1. Umgebung

Spezialbereich

2. Umgebung

Grundlagen

Hochfrequente Funkstörungen – Grenzwerte abhängig vom Einsatzort

Funktstörungen

Frequenzumrichter erzeugen variable Drehfeldfrequenzen bei entsprechenden Motorspannungen durch rechteckige Spannungspulse mit verschiedener Breite. In den steilen Spannungsflanken sind hochfrequente Anteile enthalten. Motorkabel und Frequenzumrichter strahlen sie ab und leiten sie auch über die Leitung zum Netz hin. Zur Reduzierung derartiger Störgrößen auf der Netzeinspeisung, nutzen die Hersteller Funkentstörfilter (auch RFI-Filter, Netzfilter oder EMV-Filter genannt). Sie dienen einerseits dem Schutz der Geräte vor hochfrequenten leitungsgebundenen Störgrößen (Störfestigkeit), andererseits der Reduzierung der hochfrequenten Störgrößen eines Gerätes, die es über das Netzkabel oder die Abstrahlung des Netzkabels aussendet. Die Filter sollen diese Störaussendungen auf ein vorgeschriebenes gesetzliches Maß begrenzen, dementsprechend sollten sie möglichst von Anfang an in den Geräten eingebaut sein. Wie

bei Netzdröseln ist auch bei Funkentstörfiltern die Qualität des einzusetzenden Filters klar zu definieren. In den Normen, Produktnorm 61800-3 und Fachgrundnorm EN 55011, sind konkrete Grenzwerte für Störpegel definiert.

Normen und Richtlinien definieren Grenzwerte

Welche Grenzwerte gelten für die Beurteilung der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV)?

Für eine umfassende Beurteilung hochfrequenter Funkstörungen sind zwei Normen zu beachten. Zum einen definiert die Umgebungsnorm EN 55011 die Grenzwerte in Abhängigkeit von den zugrunde gelegten Umgebungen Industrie mit den Klassen A1/A2 oder Wohnbereich der Klasse B. Daneben definiert die Produktnorm EN 61800-3 für elektrische Antriebssysteme, die seit Juni 2007 gültig ist, neue Kategorien C1 bis C4 für den Einsatzbereich der Geräte. Diese sind zwar bezüglich der Grenzwerte mit den bisherigen

Klassen vergleichbar, lassen jedoch innerhalb der Produktnorm eine erweiterte Anwendung zu.

Im Falle einer Störung legen die Prüfer in jedem Fall zur Störungsbeseitigung die Grenzwerte A1/2 und B der Umgebungsnorm zugrunde. Für die passende Zuordnung der Klassen in diesen beiden Normen ist letztendlich der Anwender verantwortlich.

Produktnorm EN 61800-3 (2005-07) für elektrische Antriebssysteme

| Zuordnung nach Kategorie | C1 | C2 | C3 | C4 |
|--------------------------|---------------------------|--|-------------------------------|--|
| Vetriebsweg | allgemeine Erhältlichkeit | eingeschränkte Erhältlichkeit | eingeschränkte Erhältlichkeit | eingeschränkte Erhältlichkeit |
| Umgebung | 1. Umgebung | 1. oder 2. Umgebung (Entscheidung des Betreibers) | 2. Umgebung | 2. Umgebung |
| Spannung/Strom | < 1000 V | | | >1000 V In >400 A Anschluss an IT-Netz |
| EMV-Sachverstand | keine Anforderung | Installation und Inbetriebnahme durch einen EMV-Fachkundigen | | EMV-Plan erforderlich |
| Grenzwerte nach EN 55011 | Klasse B | Klasse A1 (+Warnhinweis) | Klasse A2 (+Warnhinweis) | Werte überschreiten Klasse A2 |

Klassifikation der neuen Kategorien C1 bis C4 der Produktnorm EN 61800-3

Netzqualität bewerten und sichern

Die perfekte Netzspannung

Elektrische Energie ist heute der wichtigste Rohstoff für private Haushalte, Industrie und Gewerbe. Sie stellt eine ungewöhnliche Ware dar: Sie muss kontinuierlich vorhanden sein, lässt sich kaum lagern und entzieht sich einer Qualitätskontrolle vor Gebrauch. Dazu kommt, dass sie in großer Entfernung vom Ort des Verbrauchs erzeugt und gemeinsam mit der Produktion von vielen weiteren Generatoren ins Netz gespeist wird. Die Energie erreicht den Abnehmer über mehrere Transformatoren und viele Kilometer Freileitung und Erdkabel. Die Netzbetriebsmittel befinden sich im Eigentum und unter Verantwortung einer Vielzahl verschiedener Stellen. Die Qualität des Produkts beim Endverbraucher sicherzustellen ist daher schwierig – und es ist nicht möglich, mangelhafte Ware vom Markt zu nehmen bzw. nachzubessern oder vom Abnehmer zurückzuweisen. Auch Statistiken über die Qualität der Versorgungsspannung stammen meist vom Versorger selbst. Das zutunbare Maß an Störungen kann aus

Sicht des Erzeugers ganz anders ausfallen, als das vom Kunden akzeptierte. Offensichtlich wird der Qualitätsmangel für den Verbraucher nur bei Totalausfall (Sekundenbruchteile bis zu Stunden) oder wenn die Spannung kurzzeitig auf einen niedrigeren Wert fällt. Auf solche Unterbrechungen reagieren viele Prozesse empfindlich. Dazu zählen beispielsweise:

- Kontinuierliche oder parallele Prozesse, bei denen synchron laufende Maschinen aus dem Takt kommen.
- Mehrstufige Prozesse, bei denen bei einer Unterbrechung alle vorhergehenden Entstehungsstufen vernichtet werden, z. B. in der Halbleiterindustrie.
- In der Datenverarbeitung können bei Spannungsausfall riesige Verluste im Bankengeschäft entstehen.

Aber auch im allgemeinen Alltag ist die Bevölkerung auf eine möglichst sichere Energieversorgung angewiesen.

Netzqualität – welche Faktoren sind ausschlaggebend?

Eine Stromversorgung wäre perfekt, wenn sie jederzeit verfügbar wäre, sich innerhalb der Toleranzbereiche von Spannung und Frequenz befindet und eine saubere Sinusform hätte. Wie viel Abweichung er tolerieren kann, sieht jeder Verbraucher unterschiedlich, je nach seinen spezifischen Anforderungen.

Für eine Beurteilung der Netzqualität gibt es fünf Kategorien:

1. Verzerrung der Kurvenform, z.B. durch Oberschwingungen oder Flicker
2. Totalausfall im Bereich von Sekunden bis Stunden
3. Unter- oder Überspannung als längerfristige Überschreitung der 10 % Toleranzgrenze
4. Kurze Spannungseinbrüche und Überspannungen, z.B. durch unsymmetrische Netzspannung oder Schalthandlungen im Netz
5. Transienten - hohe Spannungsspitzen im kV- und im ms-Bereich

Normmessverfahren zur Spannungsüberprüfung

| Parameter | Messmethode | Intervalldauer | Beobachtungsdauer |
|--|--|--|-------------------|
| Spannungsänderungen | Mittelwert der 20-ms-Effektivwerte | 10min-Intervalle | 1 Woche |
| Spannungseinbrüche | Dauer und Amplitude | Wird als einzelnes Ereignis festgehalten | 1 Tag |
| Spannungsunterbrüche | Dauer | Wird als einzelnes Ereignis festgehalten | 1 Tag |
| Oberschwingungsspannung und zwischenharmonische Spannung | Mittelwert der 200-ms-Effektivwerte (nach Norm IEC1000-4-4) | 10min-Intervalle | 1 Woche |
| Flicker | Kurzflickerwerte P_{st} -Werte) über 10min (nach Norm IEC 868) | Mittelung über 12 P_{st} -Werte (= 2-h-Intervalle) | 1 Woche |
| Unsymmetrie | Mittelwert vom Verhältnis Gegenkomponente/Mitkomponente | 10min-Intervalle | 1 Woche |
| Signalspannungen | 3-Sekunden-Mittelwerte werden klassiert | 3-Sekunden-Intervalle | 1 Tag |
| Frequenz | 10-Sekunden-Mittelwerte werden klassiert | 10-Sekunden-Intervalle | 1 Woche |

Jedes dieser Probleme der Netzqualität hat andere Ursachen. So kann eine Transiente, hervorgerufen durch einen Sicherungsfall, bei einem anderen Kunden zu Problemen führen. Oberschwingungen können sich beim Endkunden selbst entstehen und sich im Netz verteilen.

Die Energieversorgungsunternehmen (EVU) stehen auf dem Standpunkt, kritische Verbraucher müssen die Kosten der Qualitätssicherung selbst zahlen, statt jedem Kunden immer und überall im Netz eine sehr hohe Zuverlässigkeit zu garantieren. Die Versorgung mit Energie unter allen Bedingungen jederzeit sicherzustellen, ist in der Gesamtheit des Netzes unwirtschaftlich und nahezu unmöglich. Denn dazu müssten Versorger auch außergewöhnliche Wetterbedingungen im Freileitungsbereich oder die zufällige Zerstörung von Kabeln bei Erdarbeiten mit berücksichtigen. Es liegt daher in der Verantwortung der Verbraucher selbst, die passenden Maßnahmen zu ergreifen, die sicherstellen, dass die Energieversorgung für den eigenen

Bedarf den Anforderungen entsprechend ausreichend und sicher ist. Er kann damit auch einen höheren Qualitätsstandard festlegen, als der Erzeuger liefert bzw. garantiert.

Technische Lösungen für sichere und gute Versorgung

Gemäß den bisherigen Ausführungen stehen die Verbraucher also vor der Notwendigkeit, selber über die Art und den Umfang zusätzlicher Anlagen und Betriebsmittel zu entscheiden, um die für sie erforderliche Versorgungsqualität zu erreichen. Leider fehlen ihnen dafür oft wichtige Angaben. Es gibt wenige Statistiken über Netzausfälle. So ist es für den Verbraucher sehr schwierig, die Kosten von Vorbeugemaßnahmen festzulegen. Mit einer relativ hohen Verfügbarkeit von ca. 99,98 % ist aber eine Grenze erreicht, die wirtschaftlich maximal zu erzielen ist, ohne den Stromkostenpreis wesentlich anheben zu müssen.

Kurzunterbrechungen im Bereich von 0,2 bis 5 Sekunden treten häufiger auf. Sie können z.B. bei Stürmen durch

umstürzende Bäume auf Freileitungen entstehen. Der Stromversorger ist meist nicht selbst verantwortlich für diese Störungen. Er bewertet die dadurch entstehenden Verluste nur in der Höhe der Kosten der Ausfälle der Energielieferung. Der Verbraucher sieht eher den Einkommensverlust, der durch die Unterbrechung der Produktion entstanden ist.

Längere Unterbrechungen können durch Fehler beim Versorger selbst entstehen oder im Versorgungsnetz beispielsweise bei Zerstörung des Leitungssystems durch äußere Einflüsse. Abhilfe können hierbei nur redundante Systeme schaffen, wie Notstromgeneratoren oder Anlagen zur unterbrechungsfreien Stromversorgung. Da solche Redundanz-Systeme (USV) aufwändig und teuer sind, ist eine sorgfältige und möglichst frühzeitige Planung notwendig. Nur so lassen sich Schwachstellen exakt definieren und im Aufbau der Gesamtversorgung notwendige Redundanzen mit einplanen.



Netzqualität bewerten und sichern

Oberschwingungsprobleme fallen fast immer in den Verantwortungsbereich der Anwender. Sie entstehen durch die nichtlineare Stromaufnahme von Verbrauchern. Die höherfrequenten Stromanteile übertragen sich durch die Netzimpedanz auf die Netzspannung und können sich dann im Netz verteilen. Verursacher dieser nichtsinusförmigen Stromaufnahme sind meistens Gleichrichterschaltungen oder Phasenanschnittsteuerungen. Diese Schaltungen sind sehr verbreitet und kommen in Energiesparlampen, Computern, Monitoren, Frequenzumrichtern, Batterieladegeräten und weiteren, mit Leistungselektronik ausgestatteten Systemen vor. So können in einer Anlage Störungen durch Oberschwingungen auftreten, diese aber auch in diesem System selbst verursacht sein. Lösungen sind an den verwendeten Geräten selbst oder an zentraler Stelle möglich. Der Anlagenbetreiber muss überprüfen, welche Lösung die wirtschaftlich sinnvollste ist.

Transienten sind Hochfrequenz-Ereignisse mit einer Dauer von weniger als einer Netzperiode. Ursache können Schalthandlungen, Sicherheitsfall oder Blitzschlag im Netz sein. Transien-

ten erreichen mehrere kV und führen ohne Gegenmaßnahmen zu erheblichen Schäden. Gerätehersteller müssen einen gewissen Schutz gegen Transienten vorsehen, wobei die Anzahl der Ereignisse nach der Blitzeinschlagshäufigkeit und der Gerätelebensdauer geplant ist. Kommt es in einem Netzabschnitt zu wesentlich häufigeren transienten Vorgängen, so altern die Schutzmaßnahmen wesentlich schneller und der Geräteschutz kann nach kurzer Zeit verloren gehen. Blitzschutzkonzepte bauen den Schutz der Netzspannung vor Transienten in Anlagen mittels Überspannungsableitern und Varistoren auf, so dass die Versorgungsspannung am Verbraucher nur noch maximal festgelegte Überspannungsspitzen erreichen kann.

Wie gut ist gut genug?

Probleme mit der Netzspannungsqualität stellen Planer immer wieder vor diese Frage, auf die eine pauschale Antwort nicht möglich ist. Gerne verweisen sie dann auf die bestehenden nationalen oder internationalen Normen. Diese definieren einzelne Phänomene und legen Verträglichkeitsgrenzwerte fest, die dann Ge-

rätehersteller und Netzversorger zu Grunde legen. Eine Häufung dieser Ereignisse oder das Zusammentreffen mehrerer unterschiedlicher Störungen in ihrer Summenwirkung berücksichtigen sie aber nicht. Diese müssen auch nicht ausschließlich vom Erzeuger der Energie kommen.

**Die Frage muss lauten:
Ist eine Kompatibilität zwischen Betriebsmittel und Stromversorgung gegeben?**

Dazu muss der Endanwender die geforderte Netzqualität definieren und die erforderlichen Maßnahmen zur Sicherstellung dieser Qualität umsetzen. Dies erfordert eine gute Planung, wirksame Gegenmaßnahmen, Zusammenarbeit mit dem Stromversorger, häufige Überwachung und laufende Wartung.



Netzurückwirkungen und ihre Gefahren

Versorgungsnetze in Gefahr

Durch den europäischen Energieverbund, höhere Auslastung der Netze und geringere Investitionen, wird die Netzspannungsqualität zukünftig weiter abnehmen. Abweichungen von der idealen Sinusform sind also unvermeidlich und in gewissen Grenzen zulässig. Für den Planer und den Betreiber besteht die Verpflichtung, diese Netzbelastung gering zu halten. Doch wo liegen diese Grenzen und wer legt sie fest?

Gesetzliche Grundlage sichert Qualität

In der Diskussion um eine saubere und qualitativ gute Netzspannung helfen Normen, Richtlinien und Vorschriften. Grundlage für eine objektive Bewertung der Netzspannungsqualität ist das Gesetz über die elektromagnetische Verträglichkeit von Geräten (EMVG). Die Europäischen Normen EN 61000-2-2, EN 61000-2-4 und EN 50160 beschreiben die einzuhaltenden Grenzwerte der Netzspannung in öffentlichen und in Industrienetzen. Die Normen EN 61000-3-2 und EN 61000-3-12 sind Vorschriften bezüglich der Netzurückwirkungen der angeschlossenen Geräte. In der Ge-

samtbetrachtung sind für Anlagenbetreiber zusätzlich auch die EN 50178 sowie die Anschlussbedingungen des Energieversorgungsunternehmens zu berücksichtigen. Grundsätzlich gilt die Annahme, dass bei Einhaltung dieser Pegel alle Geräte und Systeme in elektrischen Versorgungsnetzen ihre bestimmungsgemäße Funktion störungsfrei erfüllen.

Wie entstehen die Netzurückwirkungen

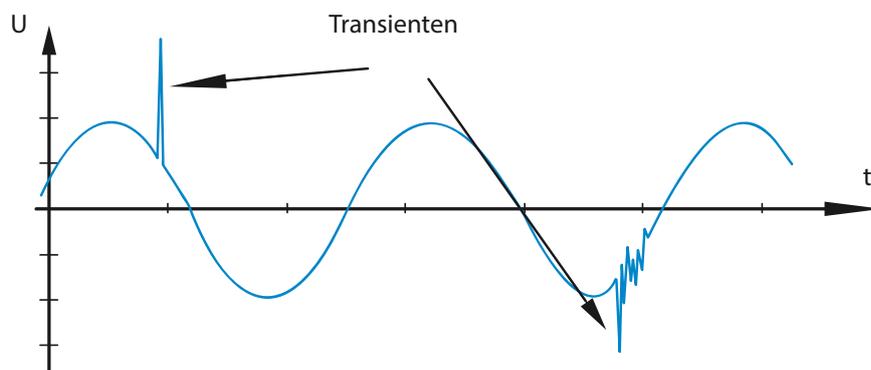
Wie bereits erläutert, entstehen die Oberschwingungen durch nichtlineare Verbraucher wie Frequenzumrichter, Energiesparlampen, Schaltnetzteile in Fernsehern, Monitoren und Computern. All diese Geräte und noch viele andere mehr erzeugen eine pulsierende Stromaufnahme.

Die Verzerrung der Sinuskurvenform des Versorgungsnetzes als Folge pulsierender Stromaufnahme angeschlossener Verbraucher nennen Fachleute niederfrequente Netzurückwirkung oder auch Oberschwingungen. Abgeleitet von der Fourieranalyse sprechen sie auch vom Oberschwingungsgehalt des Netzes und beurteilen diesen bis 2,5 kHz, entsprechend der 50. harmonischen Oberschwingung. Durch Rückkopplung mit der Netzversorgung

entstehen somit in Abhängigkeit von der netzseitigen Impedanz stärkere oder schwächere Verzerrungen des Spannungsverlaufs.

Auch Eingangsgleichrichter von Frequenzumrichtern erzeugen eine solche typische Oberschwingungsbelastung des Netzes. Bei Frequenzumrichtern in 50 Hz-Netzen betrachtet man die 3. (150 Hz), 5. (250 Hz) oder 7. (350 Hz) Oberschwingung. Die Auswirkungen sind hier am stärksten. Den Gesamtüberschwingungsgehalt gibt die THD (Total Harmonic Distortion) oder der Klirrfaktor wieder. In der Regel steigt vor Ort der Grad an Netzverzerrungen mit zunehmender Zahl installierter Geräte mit integrierter Leistungselektronik an.

Die Netzspannungsversorgung ist im Idealfall eine reine Sinuswelle mit einer Grundfrequenz von 50 oder 60 Hz. Alle elektrischen Betriebsmittel und Geräte sind für optimale Leistung auf diese Frequenz hin ausgelegt.



Blitzschläge gehören zu den häufigsten Verursachern von Netztransienten in HLK- und Klimaanlage.

Auswirkungen von Netzurückwirkungen

Netzurückwirkungen wie harmonische Oberschwingungen und Spannungsschwankungen zählen zu den niederfrequenten, leitungsgebundenen Netzstörungen. Diese haben am Entstehungsort ein anderes Erscheinungsbild, als an einem anderen beliebigen Anschlusspunkt eines Verbrauchers im Netz.

Damit ist die Konstellation von Netzeinspeisung, Netzaufbau und Verbraucher insgesamt bei der Bewertung der Netzurückwirkungen zu berücksichtigen.

Übermäßige Oberschwingungsbelastung der Netzversorgung bedeutet, dass nicht nur die 50- oder 60-Hz-Frequenz, sondern auch höhere Frequenzen in der Netzspannung enthalten sind. Diese Oberschwingungen können von elektrischen Geräten nicht genutzt werden, haben aber erhebliche nachteilige Auswirkungen:

- Einschränkungen der Versorgungs- und Netzleistung
- Höhere Verluste
- Zusatzerwärmung von Transformatoren, Motoren und Kabeln
- Reduzierung der Gerätelebensdauer
- Teure, ungewollte Produktionsstopps
- Störungen der Mess- und Steuerungstechnik
- Pulsierendes und reduziertes Motordrehmoment
- Geräusche

Einfach ausgedrückt, reduzieren Oberschwingungen die Zuverlässigkeit, beeinträchtigen die Produktqualität und erhöhen die Betriebskosten.

Hinweis: Zu hohe Oberschwingungsanteile belasten Blindstrom-Kompensationsanlagen und können zu deren Zerstörung führen. Daher sollten diese als verdrosselte Ausführung zum Einsatz kommen.

Bedeutet dies, dass jeder Frequenzumrichter zu Oberschwingungsproblemen führt?

Nicht der einzelne Frequenzumrichter führt zu Problemen, sondern meist erst die Gesamtzahl der eingesetzten leistungselektronischen Geräte, sowie die hohe Anzahl der elektronischen Kleingeräte.

Danfoss liefert alle VLT® Frequenzumrichter mit eingebauten Zwischenkreisdrosseln, um Oberschwingungen zu reduzieren. Dies reicht in vielen Fällen aus, um die Spannungsverzerrung innerhalb der zulässigen Grenzen zu halten.

In einigen Fällen ist aber eine zusätzliche Oberschwingungsreduzierung erwünscht, bzw. erforderlich. Zu diesem Zweck bietet Danfoss eine Palette individueller Lösungen zur Re-

duzierung von Oberschwingungen an: VLT® Frequenzumrichter mit 12-Puls-Einspeisung, Low Harmonic Drive und externe aktive sowie passive Oberschwingungsfilter. Externe aktive Filter können in der Gesamtanlage zusätzlich weitere Verbraucher mit berücksichtigen und kompensieren. Der Grad der Netzurückwirkungen in Ihrer Anlage lässt sich in einfachen Fällen mit der kostenlosen VLT® MCT 31 und bei komplexen Anlagen mit der HCS Harmonic Calculation Software ermitteln.

Die Programme helfen Ihnen bei der Entscheidung, ob Sie zusätzliche Oberschwingungsmaßnahmen benötigen. Dabei berücksichtigen die Programme die aktuellen Normen und können Lösungen berechnen.

Gibt es netzurückwirkungsfreie Frequenzumrichter?

Jeder Frequenzumrichter erzeugt Netzurückwirkungen. Allerdings betrachtet die aktuelle Norm nur den Frequenzbereich bis 2,5 kHz. Daher verschieben einige Hersteller Netzurückwirkung in den von der Norm nicht definierten Bereich oberhalb von 2 kHz (siehe auch Seite 19 Abschnitt Schlanker Zwischenkreis) und bewerben diese als netzurückwirkungsfreie Geräte. Grenzwerte für diesen Bereich bis 9 kHz sind momentan in Beratung.



Netzanalyse und Gegenmaßnahmen

Wie wird die optimale Lösung zur Reduzierung der Oberschwingungen gewählt?

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, die Oberschwingungen zu reduzieren. Alle haben ihre Vor- und Nachteile. Es gibt keine Lösung, die eine perfekte Lösung für alle Anwendungen und Netzbedingungen gleichzeitig bietet. Um die optimale Lösung zur Oberschwingungsreduzierung zu erhalten, müssen Anwender mehrere Parameter berücksichtigen. Die Faktoren lassen sich in vier Gruppen einordnen:

- Netzbedingungen inklusive anderer Verbraucher
- Anwendung und Prozesse
- Übereinstimmung mit Vorschriften
- Wirtschaftlichkeit der Lösung für die Anwendung

Wie wirken sich Netzbedingungen auf die Oberschwingungsbelastung aus?

Der wichtigste Faktor zur Bestimmung der Oberschwingungsbelastung eines Versorgungsnetzes ist die Netzimpedanz. Sie hängt vor allem von der Transformatorgröße im Verhältnis zur Gesamtleistungsaufnahme installierter Verbraucher ab. Je größer der Transformator im Verhältnis zu den überschwingungserzeugenden Verbrauchern ist, desto geringer wirkt sich deren Einfluss aus.

Das Energieversorgungsnetz ist ein System aus Netzversorgungen und angeschlossenen Verbrauchern, die

über Transformatoren miteinander verbunden sind. Alle Verbraucher, die einen nicht-sinusförmigen Strom aufnehmen, tragen zur Oberschwingungsbelastung des Stromnetzes bei – nicht nur an der Niederspannungsversorgung, sondern auch bei höheren Spannungsniveaus. Beim Messen an einem Anschlusspunkt besteht daher immer ein gewisser Grad an Vorbelastung, in der Fachsprache auch „Netzvorbelastung“. Da Verbraucher dreiphasig oder einphasig ans Netz angeschlossen sind, ist die Belastung der Phasen verschieden. Dies führt zu unterschiedlichen Spannungswerten an jeder Phase und damit Phasenunsymmetrie. Verschiedene Lösungen zur Oberschwingungsreduzierung sind unterschiedlich gegen Vorverzerrung und Unsymmetrie geschützt. Somit gilt es, diese abzuschätzen, wenn die am besten geeignete Lösung zur Oberschwingungsreduzierung zum Einsatz kommen soll.

Welche Anwendungsaspekte sind zu berücksichtigen?

Der absolute Oberschwingungsgehalt steigt mit der Höhe der von der nicht-linearen Last aufgenommenen Leistung. Daher haben sowohl Zahl installierter Frequenzumrichter als auch ihre einzelnen Leistungsgrößen und Lastprofile erheblichen Einfluss

auf den Oberschwingungsgehalt. Die Anzahl aller Frequenzumrichter und sonstiger nicht-linearer Verbraucher in einem Netzabschnitt bestimmt dort die gesamte Oberschwingungsstromverzerrung (THDi – Total Harmonic Distortion), das Verhältnis zwischen der Summe der Oberschwingungsanteile und der Grundfrequenz.

Die Auslastung der Frequenzumrichter ist wichtig, weil der prozentuale Wert der THDi bei Teillast zunimmt. So erhöht eine Überdimensionierung von Frequenzumrichtern die Oberschwingungsbelastung des Netzes. Zusätzlich müssen Anwender Rahmenbedingungen wie Wandfläche, Kühlluft (verunreinigt), Vibrationen, Umgebungstemperatur, Höhenlage, Luftfeuchtigkeit usw. berücksichtigen, da die verschiedenen Lösungen für bestimmte Einsatzbedingungen mehr oder weniger gut geeignet sind.



Netzanalyse und Gegenmaßnahmen

Übereinstimmung mit gültigen Normen

Um eine Mindestnetzqualität sicherzustellen, verlangen die Energieversorger von ihren Kunden, dass diese die gültigen Normen und Vorschriften einhalten. Je nach Land und Industriebereich gelten verschiedene Vorgaben, allen ist jedoch ein grundlegendes Ziel gemeinsam: Die Begrenzung der Netzurückwirkungen.

Wie die Vorgaben zu erfüllen sind, hängt von den Netzbedingungen ab. Daher ist es nicht möglich, die Erfüllung der Normen und Grenzwerte zu garantieren, ohne die speziellen Netzstrukturen und -bedingungen zu kennen. Die jeweiligen Normen legen

keine bestimmte Lösung zur Oberschwingungsreduzierung fest. Daher ist es wichtig, Normen, Vorschriften und Empfehlungen sowie die Oberschwingungsbelastung des Netzes zu kennen, um die optimale Lösung für die jeweilige Aufgabe zu finden.

Wirtschaftliche Einflüsse für die Auswahl sinnvoller Maßnahmen

Anwender sollten natürlich auch Anschaffungs- und Betriebskosten berücksichtigen, um sicherzustellen, dass sie die rentabelste Lösung gefunden haben.

Die Anschaffungskosten der unterschiedlichen Lösungen zur Reduzierung von Oberschwingungen sind

vom Leistungsbereich abhängig. Die Lösung, die in einem Leistungsbereich am rentabelsten ist, muss nicht zwangsläufig über den gesamten Leistungsbereich die günstigste sein. Die Betriebskosten setzen sich u. a. zusammen aus den Verlusten der Maßnahme selbst, über das gesamte Lastprofil sowie ihre Wartungskosten über die gesamte Lebensdauer. Im Vergleich zu aktiven Lösungen erfordern passive Lösungen häufig keine regelmäßige Wartung. Aktive Lösungen können andererseits den Wirkleistungsfaktor über den gesamten Leistungsbereich nahe eins halten, wodurch sich eine bessere Energienutzung bei Teillast ergibt. Zudem sollten Anwender auch zukünftige Entwicklungspläne für das Werk oder die Anlage mit in die Planung einbeziehen. Denn eine für ein bereits in Planung befindliches System optimale Lösung kann bei einer absehbaren Erweiterung Nachteile bringen. Dann könnte in einem solchen Fall eine andere Maßnahme gegebenenfalls flexibler und damit vorteilhafter sein und sich langfristig wirtschaftlich sinnvoller darstellen.

Netzurückwirkungen berechnen

Für eine Sicherung der Netzspannungsqualität sind für Anlagen und Geräte, die Oberschwingungsströme produzieren, verschiedene Verfahren zur Reduzierung, Vermeidung oder Kompensation erhältlich. Netzrechnungsprogramme, wie z.B. die HCS (Harmonic Calculation Software), ermöglichen ein Berechnen von Anlagen bereits im Planungsstadium. Bereits im Vorfeld kann der Betreiber so gezielt Gegenmaßnahmen testen und berücksichtigen. Die Auswahl geeigneter Maßnahmen erhöht und sichert die Verfügbarkeit der Anlagen.



Praxis – die richtigen Maßnahmen auswählen

Möglichkeiten zur Reduzierung der Netzurückwirkungen

Generell lassen sich Netzurückwirkungen elektronischer Leistungssteuerungen durch eine Amplitudenbegrenzung der Pulsströme reduzieren. Dies hat eine Verbesserung des Leistungsfaktors λ (Lambda) zur Folge. Zur Reduzierung, Vermeidung oder Kompensation stehen verschiedene Verfahren bereit:

- Drosseln am Eingang oder im Zwischenkreis von Frequenzumrichtern
- Schlanker Zwischenkreis
- 12-, 18- oder 24-pulsige Gleichrichter
- Passive Filter
- Aktive Filter
- Active Front End und Low Harmonic Drives

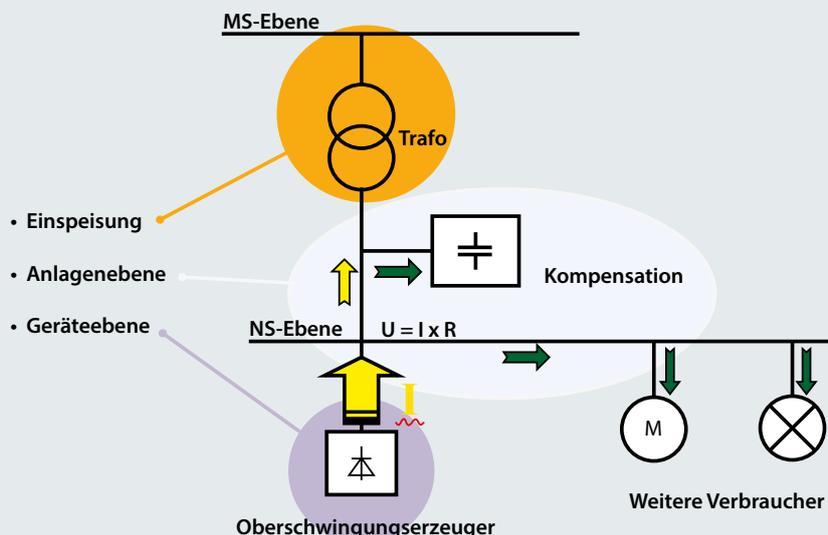
Die Maßnahmen lassen sich in passive und aktive Maßnahmen untergliedern und unterscheiden sich unter anderem insbesondere in der Projektierung. Teilweise ist bereits in der Anlagenprojektierung eine spezifische Maßnahme vorzusehen, da eine spätere Nachrüstung die ohnehin teilweise kostenintensiven Maßnahmen zusätzlich verteuert.

Keine grundsätzliche Empfehlung möglich

Eine grundsätzliche Empfehlung für eine der genannten Maßnahmen zur Reduktion von Netzurückwirkungen gibt es nicht. Wichtig ist, bereits während der Planungs- und Projektierungsphase die Weichen für ein Antriebssystem mit hoher Verfügbarkeit und geringen Netzurückwirkungen und Funkstörungen richtig zu stellen. Prinzipiell gilt: Vor der Entscheidung, welche der genannten Maßnahmen zum Einsatz kommt, müssen Anwender folgende Faktoren sorgsam analysieren:

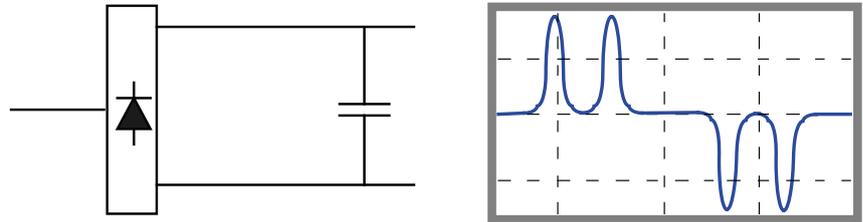
- Netzanalyse
- genaue Übersicht über die Netztopologie
- Platzverhältnisse in den zur Verfügung stehenden elektrischen Betriebsräumen
- Möglichkeiten der Haupt- bzw. Unterverteilungen

Unterschiedliche Lösungsbereiche zur Oberschwingungsreduzierung.



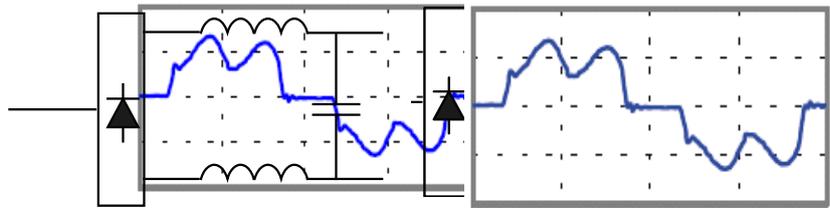
Netz- oder Zwischenkreisdrosseln

Häufig bieten Hersteller Frequenzumrichter ohne Verdrosselung an. Es entsteht durch die Ladestromspitze der Zwischenkreiskondensatoren auf der Netzseite eine starke Stromverzerrung. Der gewünschte effektive Strom für die Nachladung des Kondensators besteht aus kurzen Stromspitzen mit hohen Scheitelwerten, der Crestfaktor kann bis über 10 ansteigen und erzeugt damit eine Stromverzerrung mit einem Oberschwingungsgehalt THDi von ca. 100 %.



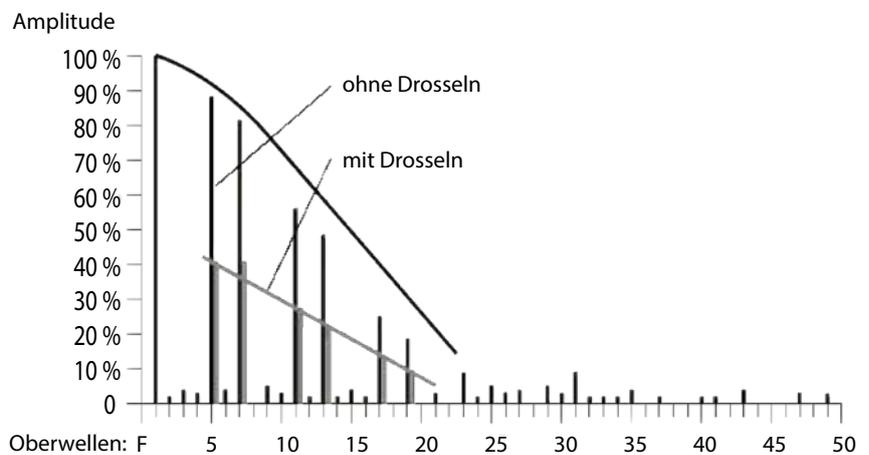
Umrichter ohne Verdrosselung (THDi 104,52 %).

Drosseln bzw. Induktivitäten reduzieren die Netzurückwirkungen eines Gleichrichters und bewirken damit eine Verbesserung des Leistungsfaktors λ (Lambda). So beträgt zum Beispiel der Stromoberschwingungsgehalt (THDi) eines Frequenzumrichters ohne Netzdrossel ca. 80 %. Mit internen oder externen Drosseln lässt sich dieser Wert auf unter 40 % gesenken. Anwender können Netzdrosseln separat beziehen und extern montieren. Dieser Aufwand entfällt, wenn die Induktivität schon serienmäßig im Gerät eingebaut ist. Zudem ist eine interne Zwischenkreisdrossel bei gleicher Wirkung kleiner, leichter und somit kostengünstiger.



Umrichter mit Zwischenkreisdrossel (THDi 42,5 %).

Welche Vorbelastungen mit Netzoberschwingungen aus dem versorgenden Netz ein Frequenzumrichter verkraften können sollte, ist in der Norm EN 60146-1-1 (allgemeine Anforderungen für Halbleiterstromrichter) festgelegt. Eine Verdrosselung des Umrichtereingangskreises kann bei hohen Netzvorbelastungen den Umrichter zusätzlich schützen.



Reduzierung der Netzurückwirkungen bei Frequenzumrichtern.

Schlanker Zwischenkreis

Einen anderen Ansatz für die Reduzierung der Netzrückwirkungen verfolgen Umrichter mit sogenanntem „schlanken Zwischenkreis“. Konventionelle Umrichter haben nach dem Eingangsgleichrichter Kondensatoren geschaltet, die die gleichgerichtete Spannung glätten. Diese Gleichspannung wird mit Netzrückwirkungen „erkauft“. Zur Optimierung der Netzrückwirkungen reduzieren einige Hersteller die Kapazität der Zwischenkreiskondensatoren oder verzichten ganz auf sie. Vorteile dieser Umrichter: Sie erlauben die Verwendung von günstigeren Folienkondensatoren, haben eine etwas kleinere Bauform und erzeugen im Bereich bis 2,5 kHz wesentlich weniger Rückwirkungen als konventionelle Typen. Allerdings liegen die Oberschwingungen dafür im Bereich oberhalb der 2,5-kHz-Grenze um ein vielfaches höher als bei vergleichbaren konventionellen Aufbau.

Bei Umrichtern mit schlankem Zwischenkreis ist das entstehende Frequenzspektrum ungemein schwerer abzuschätzen. Natürlich kann der Hersteller die Störungen eines ganz bestimmten Modells über den gesamten Frequenzbereich angeben. Setzt ein Anwender in seiner Applikation unterschiedliche Geräte mit schlankem Zwischenkreis ein, so ist eine vorherige Berechnung der entstehenden Belastung im Netz aber nahezu unmöglich. Addieren sich die Oberschwingung der beiden Geräte oder sind sie zu einander versetzt? Je weiter das Frequenzspektrum an Oberschwingungen, desto höher die Wahrscheinlichkeit die Resonanzfrequenz eines anderen Bauteils zu treffen.

Das Entstehen von Resonanzen im Netz ist nicht mehr vorher bestimmbar. Durch das breite Frequenzspektrum, in dem die Netzrückwirkungen bei diesen Geräten liegen, steigt die

Gefahr von Resonanzen mit anderen Bauteilen im Netz, beispielsweise von Leuchtstofflampen, Trafos oder Kondensatoren in Blindleitungskompensationsanlagen.

Die Auslegung geeigneter Maßnahmen gestaltet sich dementsprechend zeitintensiv und sehr schwierig.

Für den Anwender werden Netzrückwirkungen erst dann ein Problem, wenn es zu Störungen in der Anlage kommt. Mit zunehmender Belastung des Netzes mit unterschiedlichen nichtlinearen Verbrauchern, steigt der Aufwand für die Reduzierung der Netzrückwirkungen. Dieser Aufwand steigt umso mehr, wenn das auftretende Frequenzspektrum sehr breit gestreut ist. Konsequenter Weise erhöht der Mehraufwand auch die Kosten des Anwender, beispielsweise für teure aktive Filter.

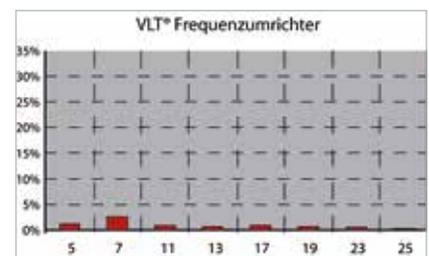
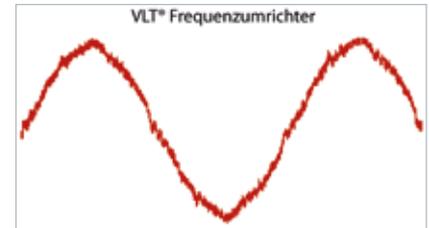
Neben den Netzrückwirkungen durch die Stromaufnahme belasten Umrichter mit schlankem Zwischenkreis das Netz auch mit der Taktfrequenz des motorseitigen Wechselrichters. Aufgrund der fehlenden bzw. geringen Kapazitäten im Zwischenkreis ist diese auf der Netzseite deutlich sichtbar. Diese Frequenz hat den Vorteil, dass sie in der Regel fest ist und so im Bedarfsfall einfach mit Filtern zu bedämpfen ist. Auf den Einsatz von Funktionen, die die Taktfrequenz variabel ändern, beispielsweise für ein Akustikmanagement des Motors oder automatischer Derating Funktionen, sollte der Anwender unter diesem Aspekt aber verzichten.

| | Schlanker Zwischenkreis | Konventioneller Zwischenkreis |
|---|---|--------------------------------|
| Netzharmonische < 2kHz | Geringer Anteil | Mittlerer Anteil |
| Netzharmonische > 2kHz | Mittlerer Anteil | Geringer Anteil |
| Platzbedarf Kondensatoren | Niedrig | Mittel |
| Preis Kondensatoren | Niedrig | Mittel |
| Wechselrichter Taktfrequenz | Deutlich auf Netzseite messbar | Kaum auf Netzseite messbar |
| Kosten für Filtermaßnahmen | Hoch (Aktive Filter) | In der Regel gering |
| Kombination unterschiedlicher Fabrikate | Kann problematisch sein | Unproblematisch |
| Motorerwärmung | Tendenziell wärmer | Im Bereich normaler Toleranzen |
| Motorrundlauf | Momentenrippel erzeugen mech. Belastung | Standardbelastung |
| Netzausfall | Minimale Pufferung | Pufferung bis 10x länger |
| Lastverhalten | Neigt bei Laständerungen zum schwingen | Regelt schnell aus |
| Lastsprünge / Lastabwürfe | Empfindlich | Robust |
| Große Schwungmaßen | Problematisch | Robust |

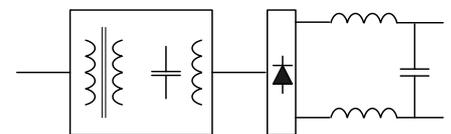
Passive Filter mit langjährig bewährter Zuverlässigkeit

Passive Filter enthalten im Wesentlichen Induktivitäten und Kondensatoren. Man schaltet sie zwischen Netz und Umrichter und senkt damit die Oberschwingungsbelastung des Netzes stärker als mit Induktivitäten allein. Dafür sind die Filter allerdings teurer, größer und oft mit mehr Verlustleistung behaftet. Da passive Filter in der Regel eine verzerrte Eingangsspannung des Umrichters ergeben, ist es gewagt, wenn man ohne Rücksprache mit dem Umrichterhersteller ein Filter von einer Fremdfirma einsetzt und Störungen oder Schäden am Umrichter riskiert. Das Filter ergibt fast einen Sinusstrom und der THDi-Wert des Stromes verbessert sich von 42 % auf 9 %. Garantiert werden 10 %. Das aufwendigere AHF 005-Filter garantiert THDi = 5 %.

In der Regel kann solch ein Filter auch vor mehrere kleine parallel geschaltete Umrichter gesetzt werden. Das senkt die Kosten. Die Filter dürfen auch nachträglich vor Umrichter gesetzt werden. Oft genügt es in einer Anlage, wenn nur die großen Einheiten ein Filter erhalten. Zu beachten ist im Teillastbereich der kapazitive Blindstrom der Filter. Dieser kapazitive Strom kann bis zu 30 % vom Nennstrom erreichen.



Passive Filter reduzieren die Oberschwingungsstrom-Verzerrung auf < 5 % oder < 10 %.



Passives Oberschwingungsfilter im Eingang zum Umrichter.

Zur Kompensation höherer Leistung lassen sich passive Filter auch parallel schalten.



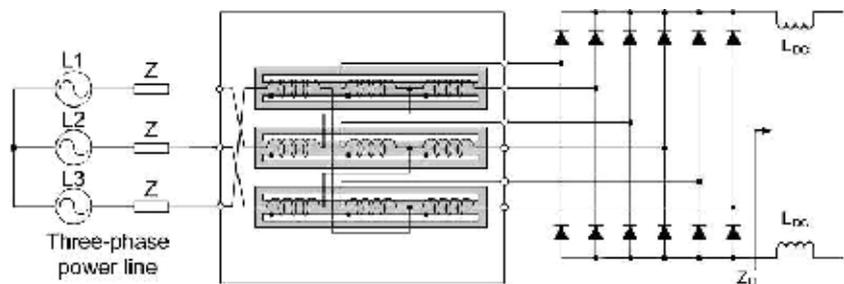
12-Puls oder höher

B12- und höherpulsige Gleichrichtung

Eine Oberschwingungsauslöschung oder Kompensation, also eine Minderung der Netzbelastung, tritt nicht nur zwischen Geräten unterschiedlicher Schaltungsprinzipien auf, sondern auch zwischen unterschiedlichen Transformatorschaltgruppen. Für einen großen Antrieb ist ein Dy5d6-Dreiwicklungstransformator ein probates Mittel zur Auslöschung der 5-ten und 7-ten Oberschwingung. Dabei führt die Primärwicklung in D die volle Leistung und die Sekundärwicklungen sind je für die halbe Leistung ausgelegt. Da die in d geschaltete Sekundärwicklung um 30° phasenverschoben zur y-Sekundärwicklung ist, entsteht eine 12-pulsige Gleichrichtung. Deren 5-te Oberschwingungen hat $5 \cdot 30^\circ = 150^\circ$ Phasenverschiebung, was zusammen eine 180°-Auslöschung ergibt.

Auf der Netzseite wird durch diese Schaltung ein Oberschwingungsgehalt von ca. 15 % erreicht. Werden noch höherpulsige Gleichrichterschaltungen verwendet, so wird z.B. bei der 18-pulsigen Schaltung ein THDi Wert von ca. 8 % erreicht. Zu bedenken dabei ist allerdings, dass der Einsatz von

Mehrwicklungstransformatoren eine Sonderlösung ist, die Mehrkosten für den Trafo und die zusätzliche Installation (Leitungsverlegung) verursacht. Daraus ergibt sich, dass sich diese Lösungen wirtschaftlich nur in großen Leistungsbereichen rechnen.



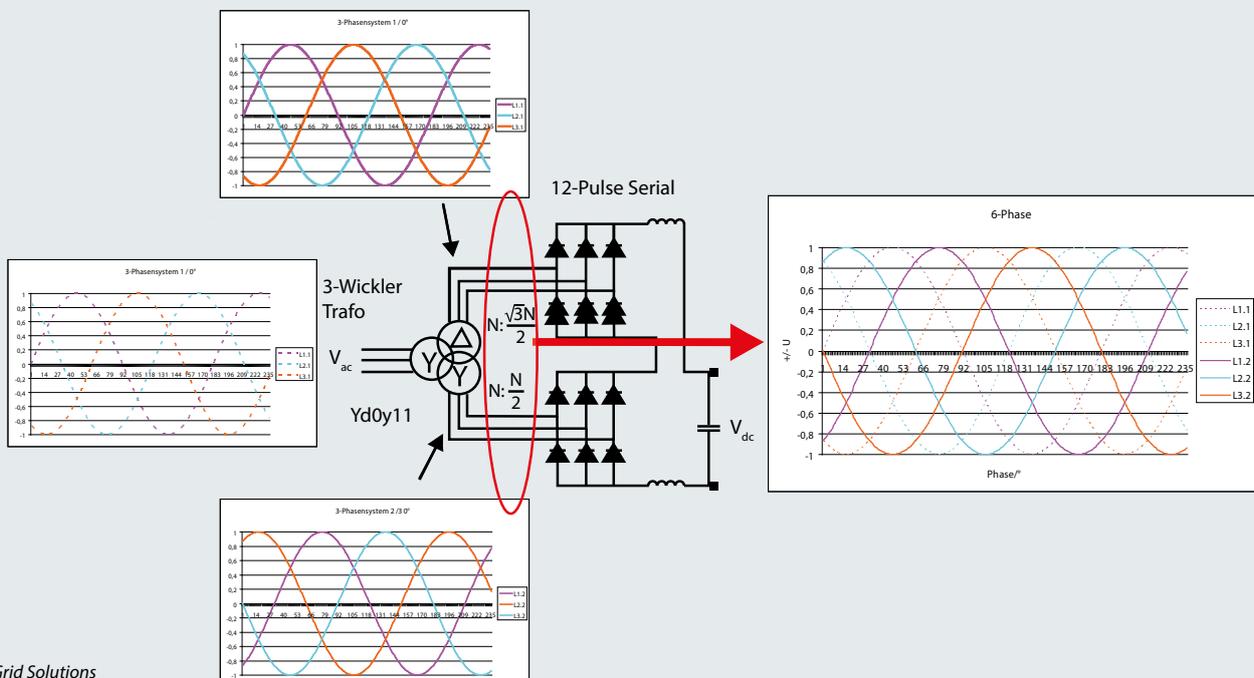
12-puls Gleichrichter (THDi 14,1 %).

B12-Gleichrichtung

als Parallel- oder Reihenschaltung Eine Schaltung der B12-Gleichrichtung ist als Parallelschaltung, ebenfalls aber auch als Reihenschaltung der Gleichrichter möglich. Die Parallelschaltung benötigt weniger Transformatorbauleistung als die 12-Puls-

Serienschaltung. Da deren Sekundärwicklungen potentialfrei sind, ist eine Reihenschaltung vorteilhaft für Tristate- oder Dreilevel-Wechselrichter, die eine erdsymmetrische und hohe Zwischenkreisspannung haben und die Motorspannung sinusförmiger gestalten.

Es sind auch mehrere normale U-Umrichter an den Sekundärwicklungen möglich. Dabei muss der Anwender auf eine symmetrische Verteilung der Umrichterlasten achten, wenn er die Netzurückwirkungen minimieren will.



Aktive Filter

– präzise Filterung bei flexibler Aufstellung

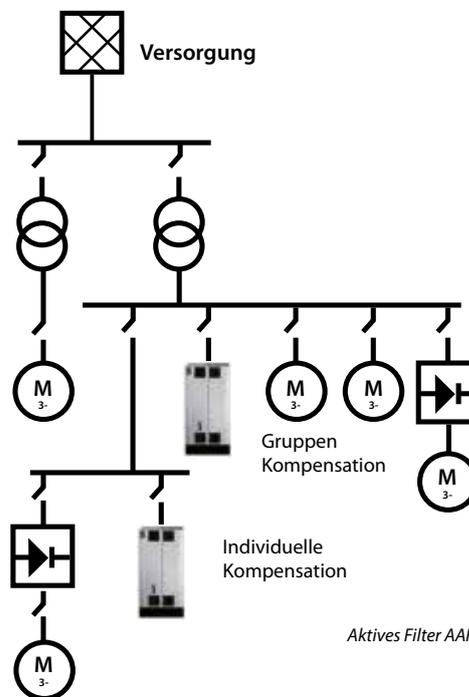
Aktive Filter – modernste Technik erlaubt präzise Filterung

Eine moderne Lösung zur Reduzierung von Oberschwingungen sind aktive harmonische Filter. Im Gegensatz zur herkömmlichen Technik der passiven Filter bauen diese im höheren Leistungsbereich kleiner und leichter. Mit einer extrem kurzen Reaktionszeit von weniger als 300 Mikrosekunden beseitigt ein aktives Filter Störungen, bevor sie Schaden anrichten können. Aktive Filter sind im Grunde modifizierte, rückspeisefähige Frequenzumrichter. Sie erfassen im Netz vorhandene Oberschwingungsströme und speisen um 180° phasenverschobene Ströme wieder ins Netz zurück. Je nach Hersteller können Oberschwingungen bis zur 50. Harmonischen reduziert werden. Diese Geräte arbeiten meist mit einer Taktfrequenz im Bereich 4 bis 16 kHz. Sie sind für die Niederspannungsebene mit Kompensationsströmen von 30 A bis 500 A erhältlich und erweiterbar.

Das Funktionsprinzip eines aktiven Filters beruht auf dem Grundgedanken, Ströme nicht abzusaugen, sondern nach Bedarf gezielt Ströme einzuspeisen. Durch Addition der negativen

Oberschwingungsströme wird die Verzerrungsblindleistung kompensiert. Durch permanente Messung der Netzqualität werden die Komplementäre der harmonischen Ströme berechnet. Mittels einer aktiven Stromquelle werden die Ströme so eingespeist, dass in Summe wieder eine sinusförmige Stromform entsteht. Der eingespeiste Strom hat exakt die

gleiche Anzahl an Harmonischen mit den gleichen Amplituden. Die Phasenlage des eingespeisten Stromes ist allerdings um 180° gegenüber dem Verbraucherstrom verschoben. Durch Addition des Verbraucherstroms mit dem eingespeisten Filterstroms heben sich die Harmonischen gegenseitig auf. Das Netz wird nur noch mit Grundschwingung belastet.



Aktives Filter AAF mit nachgeschalteten Verbrauchern.

Flexibler bei der Aufstellung

Das aktive Filter kann je nach Belastung mehr oder weniger Kompensationsstrom liefern. Dadurch ist das Filter sehr flexibel bei Änderungen des Oberschwingungspegel, des Verbraucherstroms und bei Veränderungen in der Netzstruktur. Das Filter wird nicht in Reihe, sondern Parallel zum bedämpfenden Netzwerk oder Verbraucher geschaltet. Die Wahl des Aufstellungsortes ist daher räumlich freier wählbar und es nicht zwingend erforderlich, das Filter in unmittelbarer Nähe zum verursachenden Gerät zu installieren. Das Filter kann körperlich dort angebracht werden, wo

genügend Raum zur Verfügung steht. Das Filter kann dauerhaft an seiner Belastungsgrenze betrieben werden. Um die Kompensationsleistung zu erhöhen, können mehrere Aktivfilter parallel geschaltet werden. Resonanzeffekte mit der Netzimpedanz wie bei passiven Filtern sind so gut wie ausgeschlossen.

Der Aufbau dieser Filter ist aufwändig. Es erfordert eine hoch auflösende und schnelle Datenerfassung der Messgrößen, ebenso eine hohe Rechnerleistung im Reglerteil, sowie schnell schaltende Leistungselektronik. Im Wesentlichen besteht das aktive Filter

aus dem speisenden Inverter, dem Zwischenkreis und dem netzseitigen Stromrichter. Als Energiespeicher wird ein Kondensator verwendet. Aufgrund der Taktfrequenz des Wechselrichters ist zusätzlich noch ein passives Ausgangsfilter nötig. Damit wird verhindert, dass sich die Taktfrequenz störend im Netz bemerkbar macht. Je besser das Ausgangsfilter ist, desto besser werden die durch die Taktfrequenz des Filters entstehenden Netzzrückwirkungen verhindert. Dabei werden entweder Tiefpässe oder Saugkreise verwendet.

Auswahl von aktiven Filtern

Bei der Auswahl des Aktivfilters muss man sich im Klaren sein, welches Frequenzspektrum benötigt wird. Die Störursache wird nur vollständig reduziert, wenn insbesondere auch hohe Oberschwingungsfrequenzen ausreichend reduziert werden. Die Abbildung zeigt, dass bei der Kompensation bis zur 13. Harmonischen noch eine erhebliche Verzerrung übrig bleibt. Je breiter das Kompensationsspektrum ist, desto besser wird auch die Sinusform erreicht.

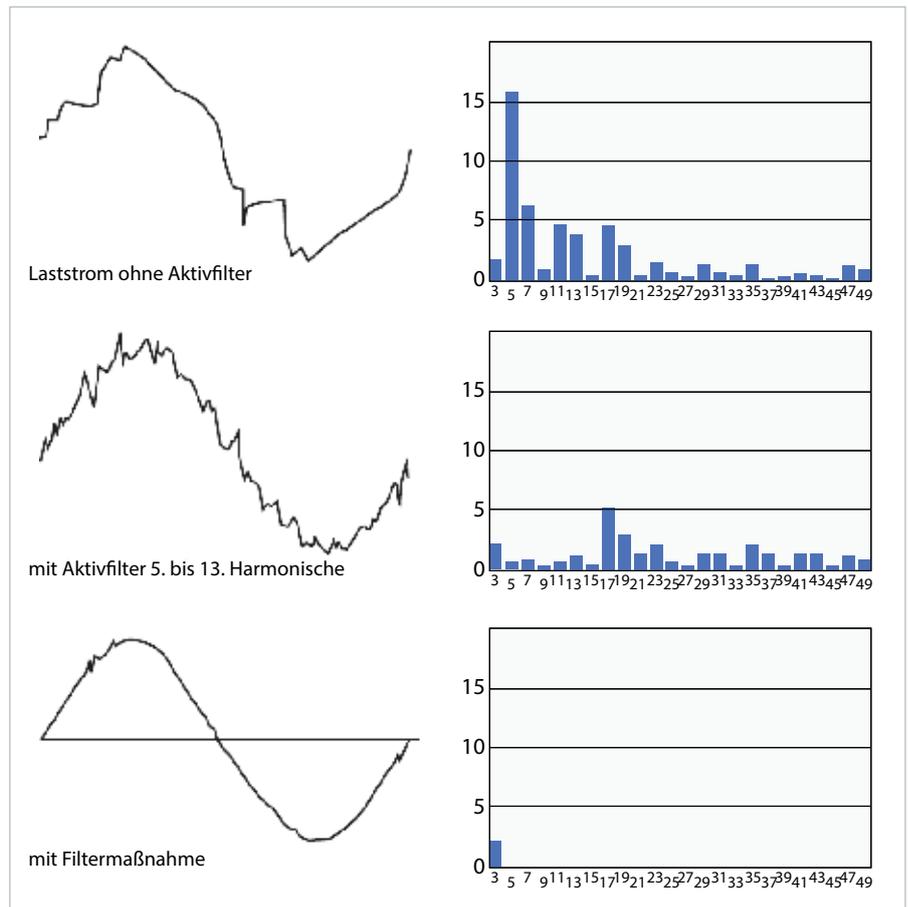
Die Filter können nur maximal 10 oder 20 Harmonische gleichzeitig ausregeln, was aber in den meisten Fällen ausreicht, da meist nur ungerade Oberschwingungen auftreten und in symmetrisch belasteten Drehstromnetzen zusätzlich die dreifachen Oberschwingungen nicht vorkommen.

Das Filter kann auch dauerhaft ohne Überlastung an seiner Leistungsgrenze betrieben werden. Allerdings werden an der Geräteleistungsgrenze die Oberschwingungen nicht mehr wie gefordert kompensiert. Um die Kompensationsleistung zu erhöhen, können mehrere Aktivfilter auch unterschiedlicher Leistungsgrößen am gleichen Netzpunkt parallel geschaltet werden.

Aktive Filter können mit den integrierten Schnittstellen in die Leittechnik eingebunden werden. Dadurch ist man in der Lage das Filter von extern bei Kompensationsbedarf einzuschalten. Es kann aber auch nur ein Signalaustausch zwischen der Leitstelle und dem Filter stattfinden. In der Leitstelle kann dann eine Störmeldung oder eine Betriebsmeldung verarbeitet werden.

Aktive Filter sind leistungselektronische Geräte und können höherfrequente Emissionen erzeugen. Durch die Taktung wird das Netz mit hochfrequentem Rauschen überlagert, das durch ein passives Filter im Ausgang bedämpft werden muss. Allerdings wird immer noch ein Rest des Rauschen auf der Netzseite zu erkennen sein. Vorsicht ist geboten, wenn mehrere aktive Filter parallel

geschaltet werden. Durch Toleranzen kann ein Parallelschwingkreis zwischen den Ausgangsfiltern der beiden Aktivfilter entstehen. Anlagen, in denen unverdrosselten Kompensationsanlagen installiert sind, sollten zusammen mit aktiven Filtern nicht betrieben werden, da es zu Resonanzerscheinungen kommen kann. Durch den Einsatz eines Filters wird die virtuelle Netzkurzschlussleistung vergrößert. Die Netzspannung wird sinusförmiger. Das Netz wird härter und stabiler, das hat zur Folge, dass sich die Stromaufnahme der Verbraucher erhöhen kann. Bei der zentralen Kompensation werden die Oberschwingungsströme am Übergabepunkt (PCC) zu dem EVU verbessert aber innerhalb der Anlage kann die Oberschwingungsbelastung ansteigen.



Active Front End und Low Harmonic Drive

Active Front End (AFE) und Low Harmonic Drive (LHD) bei Frequenzumrichtern oder Power Factor Correction (PFC) bei Netzteilen sind elektronische Eingangsschaltungen, die den herkömmlichen Gleichrichter ersetzen. Diese Schaltungen erzwingen mit sehr schnell schaltenden Halbleitern einen annähernd sinusförmigen Strom und sind ebenfalls sehr effizient in der Bedämpfung niederfrequenter Netzurückwirkungen. Sie produzieren wie auch Frequenzumrichter mit schlankem Zwischenkreis Netzurückwirkungen im oberen Frequenzspektrum. Ein Active Front End Gerät ist die teuerste Maßnahme zur Reduktion von Netzurückwirkungen, da es sich

hierbei um einen zusätzlichen vollwertigen Frequenzumrichter handelt, der die Möglichkeit besitzt, Energie ins Versorgungsnetz zurückzuspeisen. Der Low Harmonic Drive bietet diese Möglichkeit nicht und ist aus diesem Grunde etwas günstiger.

Vorteile AFE / LHD

Der Oberwellenstromgehalt sinkt auf einen THDi-Wert von fast 0 % im Bereich der 3. bis 50. Harmonischen. Mit AFE-Geräten (nicht bei LHD) ist ein 4-Quadranten-Betrieb möglich, das heißt, sie können Bremsenergie vom Motor zurück ins Versorgungsnetz speisen.

Nachteile AFE / LHD

Der technische Aufwand in den Geräten ist sehr groß und führt zu sehr hohen Investitionskosten. Im Prinzip bestehen konventionelle AFE-Geräte aus 2 Frequenzumrichtern, wobei der eine zum Motor und der andere zum Netz hin arbeitet. Durch den zusätzlichen Schalt Aufwand sinkt im motorischen Betrieb der Wirkungsgrad des Frequenzumrichters. Die Verlustleistung kann 40-50 % größer sein als bei Frequenzumrichtern mit ungesteuerten Gleichrichtern. Für den einwandfreien Betrieb benötigt eine AFE immer eine erhöhte Zwischenkreisspannung. Oft wird diese höhere Spannung direkt an den Motor weitergegeben, was eine höhere Belastung der Motorisolation bedeutet. Sind die Zwischenkreise der AFE-Geräte nicht getrennt, bedeutet der Ausfall des Filters auch den Ausfall des gesamten Gerätes. Ein weiterer Nachteil ist die Taktfrequenz, mit der die Geräte die Korrektur des Eingangsstromes vornehmen. Sie liegt zwischen 4-20 kHz. Gute, technisch aufwändigere Geräte filtern diese Taktfrequenz vor der Einspeisung ins Netz wieder heraus. Die derzeit gültigen Normen und Gesetze decken diesen Frequenzbereich bislang nicht ab. Aktuelle Netzanalysatoren erfassen üblicherweise diesen Frequenzbereich nicht und somit lassen sich die Auswirkungen messtechnisch nicht erfassen. Sie sind aber an allen in diesem Netz arbeitenden Geräten festzustellen, durch beispielsweise erhöhte Stromaufnahme in Netzteilen. Die Auswirkungen werden erst in den nächsten Jahren zu spüren sein. Daher sollte der Anwender im Interesse der eigenen Betriebssicherheit seiner Anlage hier den Hersteller gezielt nach Emissionswerten und Gegenmaßnahmen fragen.

Hinweis: Es ist nicht festgelegt, dass Umrichter die Grenzwerte gemäß EN 61000-3-12 serienmäßig erreichen müssen. Es kann durchaus sein, dass ein Umrichter den Grenzwert nur zusammen mit einem zusätzlichen Filter einhält.



Besonderheiten: Trafoauslastung & Notstromgenerator

Maximale Transformatorauslastung

Betreiber können in Niederspannungsnetzen (400 V, 500 V, 690 V) drehzahl-geregelte Antriebe bis ca. 1 MW einsetzen. Die notwendige Spannung setzt ein Transformator aus dem Mittelspannungsnetz um.

Im öffentlichen Versorgungsnetz (1. Umgebung: Wohnbereich) übernimmt diese Aufgabe das Energieversorgungsunternehmen (EVU).

In Industrienetzen (2. Umgebung: Industriebereich; meist 500 V, 690 V) steht dieser Transformator beim Endverbraucher, der auch für die Einspeisung in seine Anlage selbst verantwortlich ist.

Belastung des Transformators

Bei Trafos, die Frequenzumrichter mit Spannung versorgen, ist zu beachten, dass durch den Einsatz von Frequenzumrichtern und anderen Gleichrichterlasten Oberschwingungen entstehen, die den Transformator zusätzlich mit Blindleistung belasten. Daraus resultieren höhere Verluste und eine zusätzliche Erwärmung. Im schlimmsten Fall kann es zu einer Zerstörung des Transformators kommen. Intelligente Schaltgruppen (Zusammenschalten mehrerer Transformatoren) löschen Oberschwingungen gegebenenfalls aus.

Spannungsqualität

Für die Sicherstellung der Qualität der Netzspannung nach den gültigen Normen stellt sich die Frage:

Wie viel Frequenzumrichterlast verträgt der Transformator?

Netzberechnungsprogramme, wie beispielsweise die HCS-Software www.danfoss.de/hcs.software geben eine genaue Aussage darüber, wieviel Frequenzumrichterlast in einer vorgegebenen Anlage ein Transformator versorgen kann.

Betrieb am Notstromgenerator

Betreiber setzen immer dann Netzersatzanlagen ein, wenn sie Verbraucher auch bei Ausfall der Netzspannung weiter betreiben müssen. Zudem kommen sie auch dann zum Einsatz, wenn der vorhandene Netzanschluss nicht die benötigte Leistung zur Verfügung stellt. Der Betrieb parallel zum öffentlichen Netz ist ebenfalls möglich, um eine höhere Netzleistung zu erreichen. Dies wird gern bei gleichzeitigem Bedarf von Wärmeleistung praktiziert, die in Blockheizkraftwerken anfällt. Sie nutzen den dabei erzielbaren hohen Wirkungsgrad dieser Energieumwandlung.

Bei Netzersatzschaltung mittels Generator ist die Netzimpedanz meist höher, als bei einem Betrieb am öffentlichen Netz. Dies führt zu ansteigenden Oberschwingungsgehalten. Bei richtiger Auslegung können Generatoren in einem Netz mit Oberschwingungserzeugern arbeiten. Das bedeutet für die Praxis:

- Beim Umschalten von Netzbetrieb auf Generatorspeisung ist üblicherweise mit einem Anstieg der Oberschwingungsbelastung zu rechnen.
- Planer und Betreiber sollten den Anstieg der Oberschwingungsbelastung berechnen oder messen, um eine vorschriftsmäßige Spannung zu garantieren und damit Störungen und Ausfällen vorzubeugen.

- Eine unsymmetrische Belastung des Generators ist zu vermeiden, da erhöhte Verluste auftreten und der Oberschwingungsgehalt ansteigen kann.
- Eine 5/6-Sehnung der Generatorwicklung bedämpft die 5. und 7. Oberschwingung, lässt dabei aber die 3. ansteigen. Ein 2/3-Sehnung reduziert die 3. Oberschwingung.
- Anlagen zur Blindstromkompensation sollte der Betreiber nach Möglichkeit abschalten, da Resonanzen im Netz auftreten können.
- Drosseln oder aktive Saugfilter können Oberschwingungen bedämpfen. Parallel betriebene ohmsche Verbraucher wirken ebenfalls dämpfend, während parallel betriebene Kondensatoren hingegen für eine zusätzliche Belastung durch unkalkulierbare Resonanzeffekte sorgen.

Bei Berücksichtigung dieser Verhaltensweisen, kann ein Netz bei Generatorspeisung einen gewissen Anteil an Frequenzumrichtern verkraften und dennoch die vorgeschriebene Netzqualität halten. Eine genauere Kalkulation ist beispielsweise mit der Netzberechnungssoftware HCS möglich. www.danfoss.de/hcs.software

| | | |
|--------------------------------|---|--|
| B2- und B6-Gleichrichter | ➔ | max. 20 % Belastung des Generators |
| verdrosselter B6-Gleichrichter | ➔ | max. 20-35 % Belastung des Generators abhängig von der Beschaffung |
| gesteuerte B6-Brücken | ➔ | max. 10 % Belastung des Generators |

Die o.g. Daten zur maximalen Belastung sind empfohlene Richtwerte, mit denen die Anlage erfahrungsgemäß störungsfrei funktioniert.

HCS-Software zur Oberschwingungsberechnung

Netzqualität erhöhen

Aktuelle Situation

Das Energieversorgungsnetz muss auf die zunehmende Belastung durch Oberschwingungen beobachtet werden. Diese resultiert aus dem steigenden Einsatz moderner elektrischer und elektronischer Geräte. Diese werden zunehmend mit Gleichrichter-Eingangsschaltungen versehen, welche typischerweise Oberschwingungsströme produzieren. Es werden heutzutage durch diese höherfrequenten Überlagerungen auf der Netzspannung Werte erreicht, die schon teilweise in den Bereich der zulässigen Grenzwerte kommen. In kritischen Fällen entstehen damit spürbare Auswirkungen auf Verbraucher, die zu Störungen und Ausfällen führen können.

Netzbelastungen mit und ohne Filter simulieren

Anlagenprojekteure, Planungsbüros, Energieverteiler und Elektrofachkräfte stehen in der Verantwortung gewisse Grenzwerte der Oberschwingungsbe-

lastung der Netzspannung zu berücksichtigen. Diese Aufgabe ist verbunden mit der Kenntnis der zutreffenden Normen (EN 50160, EN 61000-ff. usw.) und der Verantwortung, diese auch einzuhalten.

Um dieser Aufgabe gerecht werden zu können, ist eine Betrachtung der Erzeugung von Oberschwingungsströmen durch die einzelnen Gerätarten zwingend notwendig und es muss dann daraus auf die Belastung der Versorgungsspannung geschlossen werden. Dazu ist eine gute Portion Fachwissen von Nöten, weil die Amplituden und Phasenlagen der Oberschwingungsströme wiederum von der Form der Netzspannung abhängen.

Um die Netzspannungsqualität nicht zu stark zu belasten, sind für Anlagen und Geräte, welche Oberschwingungsströme produzieren, verschiedene Verfahren zur Reduzierung, Vermeidung oder Kompensation einsetzbar. Diese zu berechnen ist

eine lösbare Aufgabe, einfach und schnell durchzuführen. Mit der HCS Netzberechnungssoftware können Sie bereits im Planungsstadium gezielte Gegenmaßnahmen berücksichtigen und somit die Verfügbarkeit Ihrer Anlage sichern. Netzurückwirkungen elektronischer Geräte können unter Berücksichtigung der Anlagenkonfiguration und der Normengrenzwerte bis 2,5 kHz berechnet werden. Der Betrieb einer Anlage bei Versorgung mittels Generator lässt sich ebenfalls zuverlässig simulieren. Die Umschaltung des Netzes auf Generatorbetrieb ist möglich und berücksichtigt die Situation der Notstromversorgung. Aktuelle Normen (EN 50160, EN 61000, IEEE519) werden in die Auswertung einbezogen.



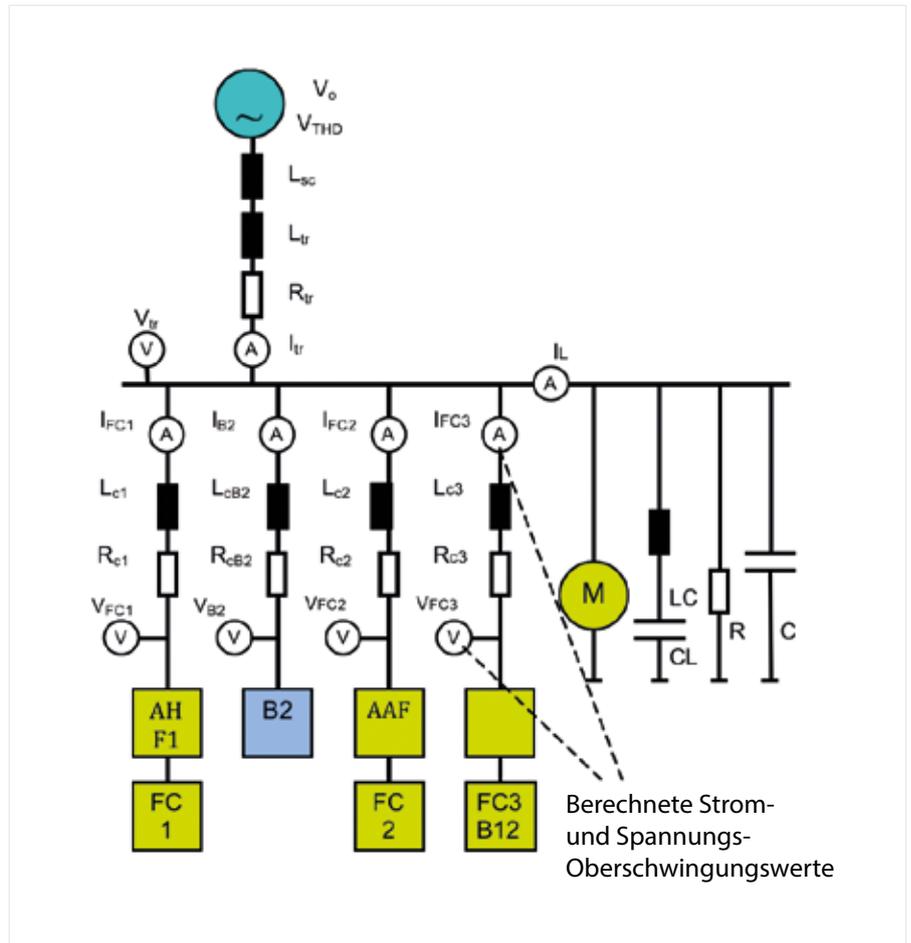
Online Berechnung im Internet

Unter <http://www.danfoss.com/Germany/BusinessAreas/DrivesSolutions> erhalten Sie schnell und einfach Zugang zur aktuellsten Version der HCS Berechnungssoftware. Die an Windows angepasste Oberfläche garantiert eine intuitive Bedienung der leistungsfähigen Software. Sie geben einfach elektronische Leistungsgeräte (z.B. Frequenzumrichter), Netzversorgungskomponenten (Transformatoren und alternativ Generatoren), Kabel- und Leitungsverbindungen, sonstige Verbraucher, Motore oder Blindstromkompensations-Anlagen in eine Berechnungsmatrix ein.

Verschiedene Berechnungslevel

Mit dem Start der Berechnung übernimmt das interne Softwareberechnungsprogramm die Daten via Internetverbindung, arbeitet die Berechnungen ab und gibt die Ergebnisse in Tabellenform, als Balkendiagramm und als Diagramme zurück. Das Programm vergleicht die berechneten Ergebnisse mit von Ihnen auszuwählenden Normgrenzwerten. Sind die Oberschwingungspegel zu hoch, ist es möglich, die Berechnung mit einzelnen geänderten Daten erneut zu starten und das Ergebnis zu vergleichen.

Griffen bisherige Programme auf Tabellenwerte der Oberschwingungsströme zurück, die nur unter Laborbedingungen gelten, kann die HCS für das Gesamtsystem die Phasenlage der Oberschwingungen und die Kommutierungsvorgänge berücksichtigen. So zeigt die HCS-Software auch Bilder vom zeitlichen Verlauf von $u(t)$ und $i(t)$ für wichtige Netzknotenpunkte. HCS ist weltweit einsetzbar, Hinweis- und Hilfetexte sind auch in englischer Sprache vorhanden, sowie 60Hz als Netzfrequenz verfügbar. Für eine leichte Bedienung gibt es eine Einteilung in Level „Basic“ für einfache



Situationen bis hin zu Level „Expert“ für vielgestaltige Netzlasten.

Level Basic

Dieser benötigt nur die Eingabe von Spannung, Frequenz, Nennleistung und Kurzschlussleistung vom Netztransformator oder des Generators. Danfoss-Umrichter können mit Hilfe von einer Liste nach Typ, Anzahl und Auslastungsgrad angegeben werden. Alternativ können auch Motorwellenleistung, Auslastungsgrad, Netzkommutierungsinduktivität und/oder Zwischenkreisglättungsinduktivität eingegeben werden, um eine freie Geräteauswahl zu ermöglichen.

Level Expert

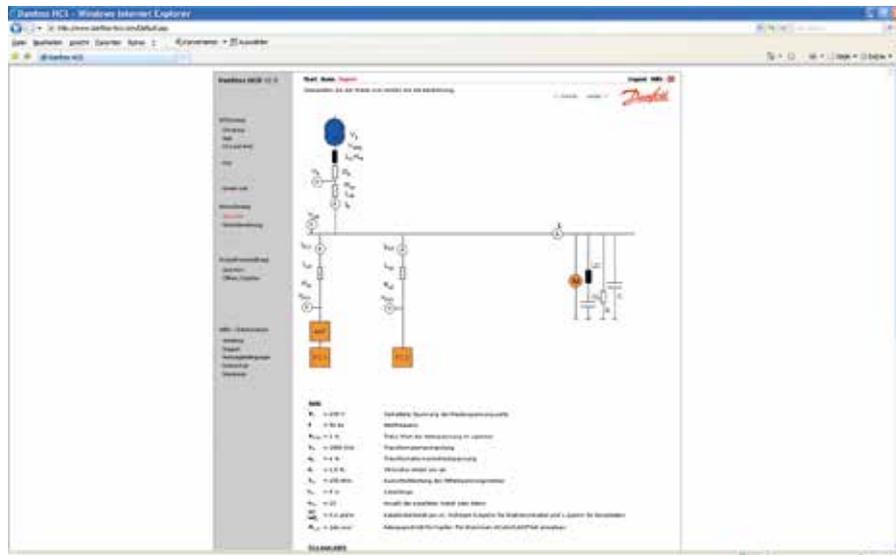
Im Expertenlevel ermöglicht die HCS genauere Berechnungen, verlangt aber dafür auch mehr Eingabedaten. So wird der Spannungsabfall auf Leitungen durch die Vorgabe von Kabellänge und Kabelquerschnitt erfassbar. Es kann die Kurzschlussleistung bzw. die Oberschwingungsvorbelastung des Mittelspannungsnetzes vorgegeben und andere lineare Netzlasten berücksichtigt werden. Damit berechnet die HCS korrekt die Dämpfungen durch ohmsche und motorische Lasten und die Resonanzerscheinungen durch Blindstromkompensations-Kondensatoren mit

und ohne Verdrosselung. Ebenfalls wird die Oberschwingungsauslöschung zu einphasigen Umrichtern und einphasiger Büroelektronik berücksichtigt.

Die Software bietet zusätzlich die Berechnung mit Lösungen zur Oberschwingungsreduzierung an. Dies kann durch Einsetzen von Netzdröseln, das Einfügen in die Netzleitung von AHF-Filter (Advanced Harmonic Filter) oder AAF-Filtern (Advanced Active Filter) bis hin zur Verwendung von LHD (Low Harmonic Drive) Umrichtern. Auch der Einsatz von Umrichtern mit B12-Gleichrichtung ist möglich.

Komfortable Dokumentation

Alle eingegebenen Daten können nach Projekten geordnet, abgespeichert und wieder aufgerufen werden. Die Software dokumentiert auf Knopfdruck alle berechneten Projekte detailliert und übersichtlich. So stehen die Ergebnisse in Tabellenform oder als Balkendiagramme für verschiedene, vorher definierte



Nach Eingabe aller Werte können Sie in einer Übersicht noch einmal alle Werte vor der Berechnung überprüfen

Messpunkte innerhalb der Konstellation bereit. Überschreitungen der Grenzwerte sind dabei deutlich mit einem Warnhinweis gekennzeichnet. Neben den Strömen werden auch die Spannungen der Oberschwingungen sowie bei Bedarf deren zeitlicher Ver-

lauf dargestellt. Ein Gesamtprotokoll inklusive Schaltbild unter Vorgabe der gewünschten EN Normen rundet die Dokumentation ab.



Energieeffizienz durch Reduzierung der Netzurückwirkungen

In der Vergangenheit haben sich Antriebslösungen meist durch größere Leistungsfähigkeit oder höhere Genauigkeit voneinander unterschieden. Heute legen die Anwender aber noch auf eine weitere wichtige Kenngröße Wert: die Energieeffizienz des gesamten Antriebssystems. Betreiber und Endkunden sind für aufgrund stärkeren Wettbewerbs in hart umkämpften Märkten darauf bedacht, die gesamten Lebenszykluskosten, die „Total Ownership Cost“ (TOC), auf ein Minimum zu reduzieren, um die Wirtschaftlichkeit der Anlage weiter zu optimieren. Daher sind Maschinen- und Anlagenbauer sowie Hersteller von Antriebsprodukten gefordert, umzudenken und passende, wettbewerbsfähige Lösungen anzubieten.

Gerade in der Antriebstechnik stellen die Energiekosten der Antriebe den größten Anteil an den gesamten TOC dar, sind also der Hauptfaktor über die Lebensdauer. Über 95 Prozent der Betriebskosten von Antrieben sind dabei auf den Energieverbrauch zurückzuführen. Daher muss es das Ziel aller Automatisierungs- und Antriebsspezialisten sein, ihre Lösungen auf Energieeffizienz trimmen. Energieeffiziente Antriebslösungen erhöhen nicht nur die Wirtschaftlichkeit der Anlage, sondern reduzieren auch auf Grund des geringeren Energieverbrauchs die CO₂-Emissionen.

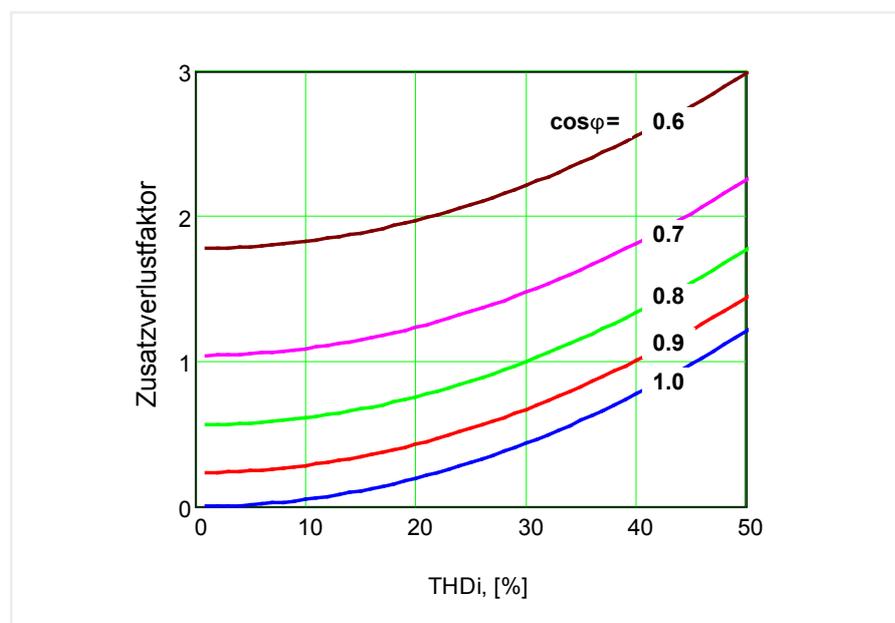
Zusatzverluste reduzieren

Eine Reduktion der Netz-Oberschwingungen und Blindströme im Netz erreicht eine deutliche Verringerung der Zusatznetzverluste und somit eine Reduzierung der Energiekosten. Die Stromanteile mit höheren Frequenzen führen in Leitungen und Geräten zu einer stärkeren Erwärmung und höheren Verlusten.

Eine Reduktion der Netz-Oberschwingungen und -Blindströme reduziert die Blindleistung und erhöht den Anteil der Wirkleistung an der Scheinleistung. Anders ausgedrückt: Bei gleicher Antriebsleistung benötigen die Geräte einen geringeren Netzstrom. Insgesamt senken Maßnahmen zur Reduzierung der Netzurückwirkungen die Zusatzverluste im Netz deutlich.

Die Bewertung der Zusatzverluste durch Blindströme ($\cos \varphi$) und Oberschwingungsströme, die durch den Gesamtüberschwingungsgehalt THDi (Total Harmonic Distortion) bemessen sind, erfolgt mit Hilfe im nebenstehenden Bild dargestellten Diagramms.

Diagramm zur Bewertung der Zusatzverluste im Einspeisenetz durch Blind- und Oberschwingungsströme. Aus dem Bild ist ersichtlich, dass ein Verbraucher mit dem THDi-Wert von 30 Prozent und $\cos \varphi = 0.8$ praktisch die doppelten Verluste im Einspeisenetz verursacht.

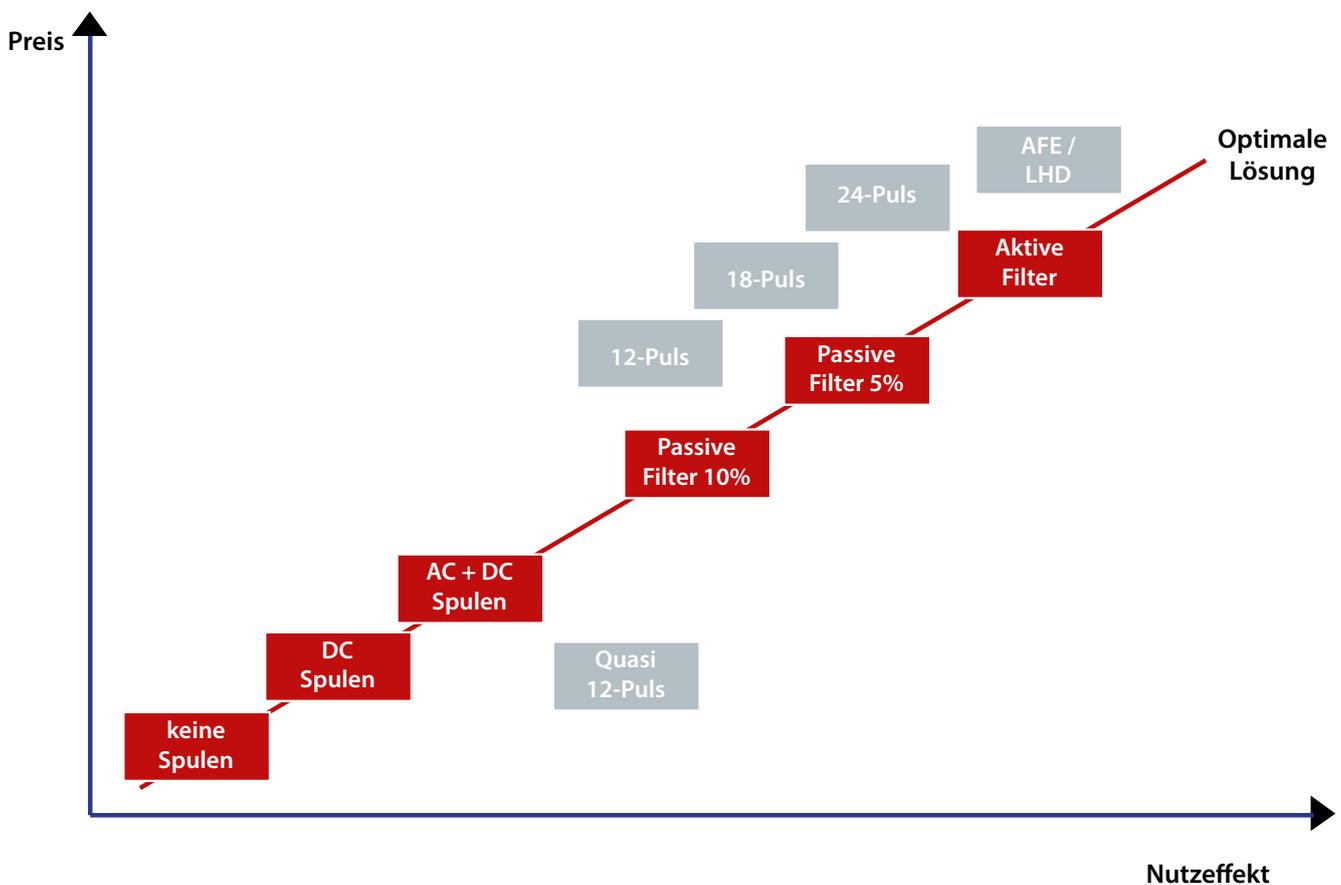


Zusammenfassung: Die „eine“, beste Lösung gibt es nicht

Jede der oben beschriebenen Möglichkeiten hat ihre spezifischen Einsatzbereiche und ist entsprechend der Randbedingungen wirksamer Schutz vor überhöhten Oberschwingungen im Versorgungsnetz. Die Techniken sind gleichermaßen bewährt wie robust, tragen allerdings meist den Nachteil, nicht ohne größeren Aufwand nachrüstbar zu sein. Modernere Techniken wie aktive Filter, aktive Eingangsgleichrichter oder „Low Harmonic Drives“ kommen der Forderung, auf einfachem, kostengünstigem Weg eine Lösung zu bieten, scheinbar nach. Allerdings ist bei

diesen Technologien eine Verschiebung in den höheren Frequenzbereich bis zu 20 kHz zu beobachten. In diesem Bereich wurden bisher noch keine Normengrenzwerte festgelegt, negative Auswirkungen werden aber verstärkt auftreten, falls diese Technologien nicht auf die Auswirkungen auf die Netze abgefragt werden. Entsprechende Filter oder Schutzmaßnahmen müssen unbedingt berücksichtigt werden. Diese Gerätetechnik wird zukünftig verstärkt standardmäßig zum Einsatz kommen und in der Projektierung berücksichtigt werden müssen.

Übersicht über die Maßnahmen zur Reduzierung von Oberschwingungen.



Von der Theorie zur Praxis

In der Praxis zeigt sich deutlich, dass der zunehmende Einsatz von Gleichrichterlasten das Auftreten von Netzurückwirkungen verschärft. Gleichrichter nehmen einen nicht sinusförmigen Strom aus dem Netz auf. Netzurückwirkungen bei Frequenzumrichtern entstehen vorwiegend durch die Zwischenkreiskondensatoren, hervorgerufen durch die Stromnachladung. Dabei fließt der Strom immer nur kurzzeitig in der Nähe des Netzspannungsscheitelpunkts. Durch die Stromspitze bricht die Netzspannung kurzfristig etwas zusammen, die Sinusform der Netzspannung geht verloren. Um das Versorgungsnetz sauber zu halten, ist es heute Standard, die 5. Harmonische des Stromes auf einen Wert von ca. 40 % THD zu begrenzen. Die Anforderungen sind in der Netznorm EN 61000-3-12 beschrieben.

Alle Frequenzumrichter sind sogenannte Breitbandstörer, d. h., sie senden Störsignale über einen breiten Frequenzbereich aus. Anlagenbetreiber können die Störabstrahlung von Frequenzumrichtern durch geeignete Maßnahmen reduzieren. So können sie einen störungsfreien Betrieb in

der Anlage gewährleisten, indem sie Funkentstörfilter und Netzdrosseln einsetzen. Bei Danfoss Frequenzumrichtern sind diese bereits im Frequenzumrichter eingebaut. Die integrierten Drosseln bringen die Stromüberschwingungen bei VLT® Geräten auf einen Wert < 40 % THDi.

In Anwendungsfällen, in denen der Betreiber die Netzurückwirkungen auf THDi -Werte < 10 % oder < 5 % reduzieren muss, bieten optionale Filter und aktive Maßnahmen Möglichkeiten, um die Netzurückwirkungen fast vollständig zu bedämpfen.

Reduzierungsmaßnahmen

Um Netzurückwirkungen zu begrenzen, stehen dem Anlagenbetreiber sowie im Vorfeld auch dem Planer und Anlagenbauer verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung. Sie lassen sich in passive und aktive Maßnahmen untergliedern und unterscheiden sich unter anderem insbesondere in der Projektierung.

Wichtig ist, bereits während der Planungs- und Projektierungsphase die Weichen für ein Antriebssystem mit hoher Verfügbarkeit und geringen Netzurückwirkungen und Funkstörun-

gen richtig zu stellen. Denn je später der Anwender diese Fragestellung berücksichtigt und Maßnahmen ergreift, desto teurer wird im Allgemeinen die Lösung werden.

Eine grundsätzliche Empfehlung für eine der genannten Maßnahmen zur Reduktion von Netzurückwirkungen gibt es nicht. Prinzipiell gilt: Vor der Entscheidung, welche der genannten Reduktionsmaßnahmen zum Einsatz kommt, sollte der Anwender, der letztendlich die Verantwortung für die Einhaltung der Grenzwerte trägt, folgende Faktoren sorgsam analysieren:

- Eine Netzanalyse durchführen;
- genaue Übersicht über die Netztopologie erstellen;
- Platzverhältnisse in den zur Verfügung stehenden elektrischen Betriebsräumen prüfen;
- Möglichkeiten der Haupt- bzw. Unterverteilungen erfassen.

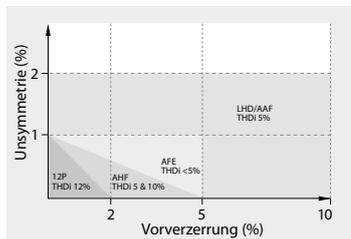


Der Weg zur kosteneffektiven Reduzierung

Netzbedingungen

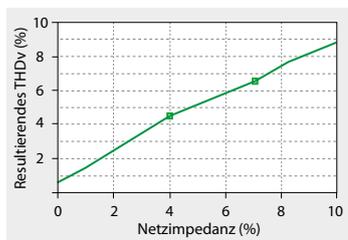
Netzbedingungen

Bevor Anwender Maßnahmen zur Reduzierung von Oberschwingungen in Betracht ziehen können, müssen sie die Netzimpedanz kennen. Keine Netzversorgung ist ideal, weil Netzverzerrung und Unsymmetrie immer vorhanden sind. Daher beeinflussen sie immer die Wahl von Geräten.



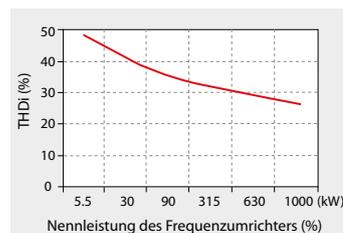
Unsymmetrie und Vorverzerrung

Die Wirkung verschiedener Lösung bei der Reduzierung von Oberschwingungen hängt von der Netzqualität ab. Je höher die Unsymmetrie und Vorverzerrung, desto mehr Oberschwingungen müssen die Geräte unterdrücken. Das Diagramm zeigt, bei welchem Vorverzerrungs- und Unsymmetriegrad jede Technologie ihre garantierte THDi-Leistung beibehalten kann.



Systemimpedanz

Bei idealen Netzbedingungen führt beispielsweise ein 400 kW FC 102 Frequenzrichter an einem 1000 kVA Trafo mit 5 % Impedanz zu ca. 5 % THDv (Spannungsverzerrungsfaktor), während der gleiche Frequenzrichter an einem 1000 kVA Trafo mit 8 % Impedanz einen 50 % höheren THDv ergibt, nämlich 7,5 %.



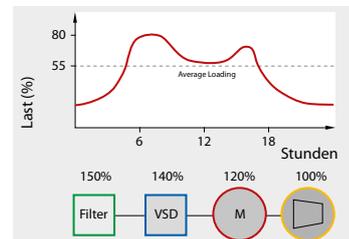
Gesamtüberschwingungsgehalt

Jeder Frequenzrichter erzeugt seine eigene maximale Oberschwingungsstromverzerrung (THDi), die von den Netzbedingungen abhängt. Je größer der Frequenzrichter im Verhältnis zum Transformator, desto größer ist der THDi.

Anwendung

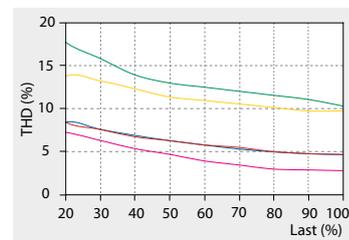
Anwendung

Ein häufig gemachter Fehler ist die Überdimensionierung von Bauteilen zwischen Verbraucher und Netz. Die Folge ist eine geringere Ausnutzung der Maßnahmen zur Reduzierung von Oberschwingungen, geringerer Systemwirkungsgrad und höhere Anschaffungskosten.



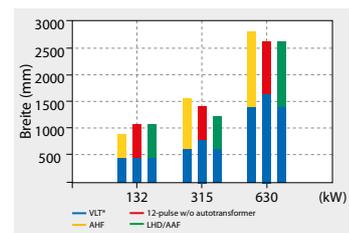
Überdimensionierung

Filterdaten werden bei 100 % Belastung angegeben. Filter laufen jedoch durch Überdimensionierung und Lastprofil meist in Teillastbetrieb. Seriell geschaltete Geräte zur Reduzierung müssen immer für den maximalen Strom dimensioniert werden. Dabei ist jedoch die Dauer des Teillastbetriebs zu kennen und die unterschiedlichen Filtertypen sind entsprechend auszuwerten. Eine Überdimensionierung ergibt eine nur unzureichende Reduzierung und hohe Betriebskosten.



Reduzierung von Oberschwingungen

Jede Technologie zur Reduzierung von Oberschwingungen hat ihre eigene THDi-Kennlinie, die lastabhängig ist. Diese Kennlinien gelten bei idealen Netzbedingungen ohne Vorverzerrung und mit symmetrischen Phasen. Abweichungen hiervon führen zu höheren THDi-Werten.



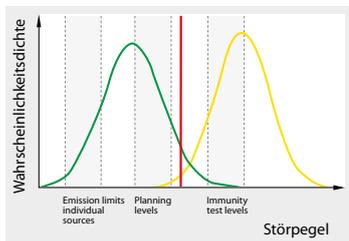
Platzbedarf

In vielen Anwendungen ist der zur Verfügung stehende Raum begrenzt und muss bestmöglich genutzt werden. Basierend auf verschiedenen Technologien haben die verschiedenen Oberschwingungslösungen jeweils ihre eigene optimale Größen- und Leistungsbeziehung.

Übereinstimmung mit Vorschriften

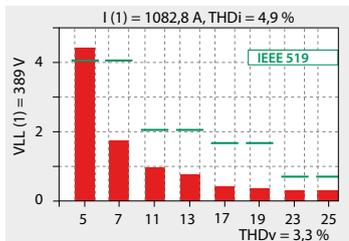
Übereinstimmung mit Vorschriften

Eine Gesamtspannungsverzerrung (THDv) von 5 bis 8 % entspricht anerkannten Regeln der Technik und liegt innerhalb der Grenzen der Normen und Vorschriften. Sie stellt sicher, dass Oberschwingungen keine unbeabsichtigte Abschaltung oder Bauteildefekte verursachen.



Einhaltung von Normen

Liegt die Störfestigkeit von Geräten höher als die Systemverzerrung, ist ein störungsfreier Betrieb dadurch sichergestellt. Die meisten Normen legen Grenzwerte für die Gesamtspannungsverzerrung fest, häufig zwischen 5 und 8 %. Die Störfestigkeit von Geräten ist in den meisten Fällen weitaus höher: bei Frequenzumrichtern liegt sie zwischen 15 und 20 %.



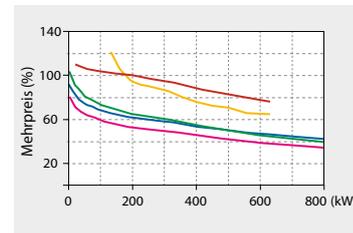
Normgerechte Funktion

Die Entscheidung, ob die Oberschwingungsverzerrung einer bestimmten Anwendung eine bestimmte Norm überschreitet, erfordert viele komplexe Berechnungen. Mit Hilfe der kostenlosen Netzberechnungssoftware MCT 31 ist dies einfacher und zeitsparend möglich. Eine genauere Berechnung, auch von komplexen Anlagen, ist mit der HCS-Software möglich, in die Normengrenzwerte, Lösungen und Auswerteprotokolle integriert sind.

Kosten

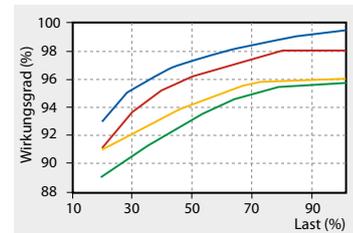
Kosten

Die Anschaffungskosten verschiedener Geräte zur Oberschwingungsreduzierung hängen von der Leistungsgröße ab. Der Systemwirkungsgrad bestimmt die Betriebskosten, allerdings haben auch die Wartungskosten einen Einfluss auf diese Kosten.



Leistungsgröße und Anschaffungskosten

Die Kosten für die Maßnahmen variieren je nach Leistungsgröße und Lösungskonzept. Die passiven Lösungen bieten in der Regel die niedrigsten Anschaffungskosten. Mit zunehmender Komplexität der Lösungen steigt auch der Preis.



Systemwirkungsgrad

Die Betriebskosten bestimmt hauptsächlich der Gesamtsystemwirkungsgrad. Dieser hängt von individuellen Produkten, Wirkleistungsfaktoren und Wirkungsgraden ab. Aktive Lösungen können helfen, den Wirkleistungsfaktor unabhängig von Last- und Netzschwankungen beizubehalten. Sie sind dagegen weniger effizient als passive Lösungen.

VLT® Frequenzumrichter: Vollwertiger Zwischenkreis und integrierte Zwischenkreisdrosseln

EMV-gerechte

Ausstattung serienmäßig

Der VLT® Frequenzumrichter von Danfoss beinhaltet schon in der Standardversion alle Komponenten und Baugruppen, die für einen EMV-gerechten Einsatz im Industriebereich notwendig sind. Sie entsprechen der EMV-Richtlinie 2004/108/EG und werden für diese Normenkonformität mit dem CE-Kennzeichen versehen.

Mit der integrierten Funkentstörung halten die VLT® AutomationDrive die Grenzwerte nach Kategorie C1 und C2 gemäß der Produktnorm EN 61800-3 ohne zusätzliche externe Komponenten ein.

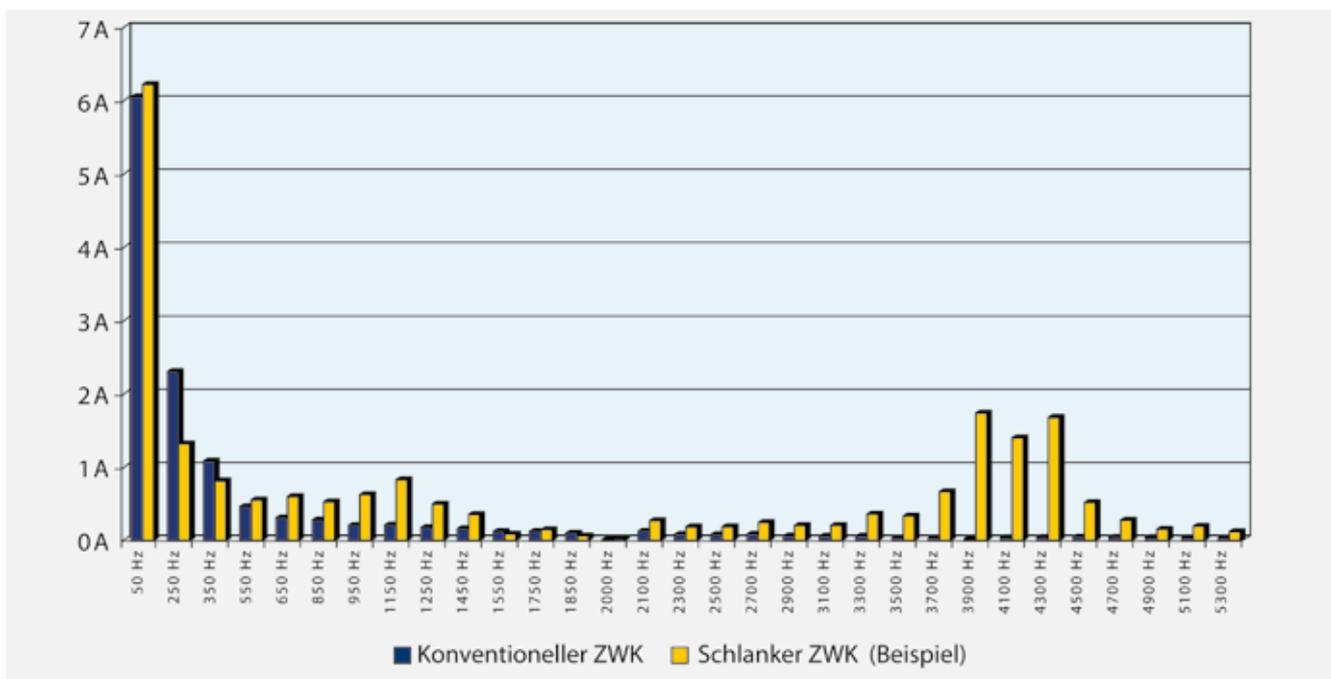
Noch wichtiger jedoch für den praktischen Einsatz ist die Einhaltung der Umgebungsnorm EN 55011, Klasse B (Wohnbereich) und Klasse A1 (Industriebereich). Dies gewährleistet einen zuverlässigen Anlagenbetrieb durch vollständige Erfüllung aller EMV-Anforderungen für den jeweiligen Bereich und erübrigt die von der Produktnorm vorgeschriebenen Warnhinweise und Einschränkungen.

Auf der Netzanschlusseite reduzieren integrierte Drosseln die Netzurückwirkungen drastisch und halten so die Grenzwerte der EN 61000-3-12 ein. Durch den robust konzipierten Zwischenkreis sind die Geräte der

VLT® HVAC Drive, AQUA Drive und AutomatiDrive Serie in der Lage, den Antrieb stabil und hochdynamisch auch bei Spannungsstörungen und ungünstigen Netzverhältnissen ohne Beeinflussung zu betreiben.



Eingebaute Zwischenkreisdrosseln reduzieren die niederfrequenten Netzurückwirkungen und erhöhen die Lebensdauer des Geräts.



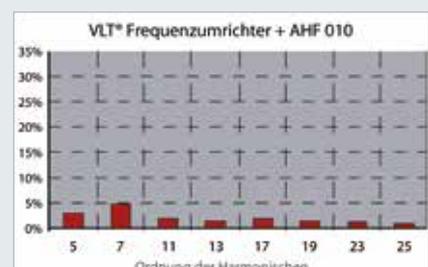
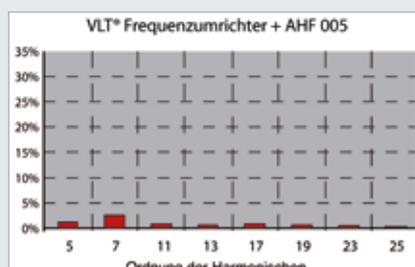
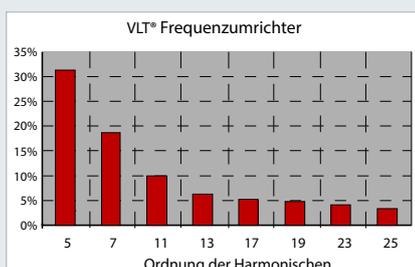
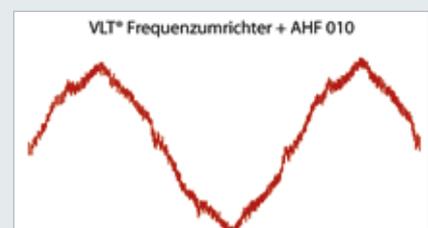
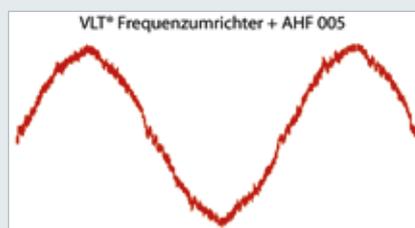
VLT® Advanced Harmonic Filters AHF

Zuverlässige Reduzierung der Oberschwingungen

Die Anforderungen der EN 61000-3-12 werden von VLT® Frequenzumrichtern bereits ohne zusätzliche Filter erfüllt. Um die Netzbelastung auf ein Minimum zu reduzieren, bietet Danfoss die Advanced Harmonic Filter AHF 005 und AHF 010 an. Diese sind speziell auf VLT® Frequenzumrichter abgestimmt und erreichen durch ein patentiertes Verfahren eine sehr hohe Dämpfung der Netzurückwirkungen. Der Einsatz eines AHF-Filter reduziert die in das Netz zurückgespeisten Oberschwingungsströme THD (Total Harmonic Distortion) auf unter 10 % bzw. 5 %. Aufwendige 12- oder 18-pulsige Eingangsgleichrichter-Schaltungen können somit kostengünstig ersetzt werden. Zur exakten Berechnung Ihrer Netzbelastung stellt Danfoss die Harmonic Calculation Software HCS unter www.danfoss.de/software online zur Verfügung.

Nutzen Sie die Vorteile der bewährten AHF-Filter:

- Robustes Gehäuse
- Einfache Montage und Nachrüstung
- Schnelle Inbetriebnahme
- Ein Filtermodul kann für mehrere VLT® Frequenzumrichter verwendet werden



Passive Filter reduzieren die Oberschwingungsstrom-Verzerrung auf < 5 % oder < 10 %

VLT® Advanced Active Filter AAF 006

Harmonische reduzieren, Netzqualität und Anlagenverfügbarkeit erhöhen

Für mehr Flexibilität bei der Reduzierung der Netzzrückwirkungen bietet Danfoss das aktive VLT® Advanced Active Filter AAF 006 an. Auf Basis von im Leistungsbereich angepassten Halbleitern in Verbindung mit moderner Mikroprozessortechnik entwickelte Danfoss ein neues, aktives elektronisches Filtersystem. Es reduziert den Stromoberschwingungsgehalt THD auf 5 %. Das Ergebnis ist ein wieder gut sinusförmiger Strom.

Anwender können so aufwendige 12- oder 18-pulsige Eingangsgleichrichter-Schaltungen ersetzen. Die Kompensation von Verschiebungsblindleistung ($\cos \varphi$) ist ebenfalls beinhaltet.



| Gehäusegröße [mm] | | | |
|-------------------|------|--------|-------|
| Gehäuse | Höhe | Breite | Tiefe |
| F0 | | 800 | |
| F5 | 2280 | 1600 | 607 |
| F6 | | 2000 | |

Stand-alone-Lösung oder mit VLT® Frequenzumrichtern

Der modulare Aufbau der VLT® Advanced Active Filter AAF 006 ähnelt dem der High-Power Frequenzumrichter. Er bietet hohe Energieeffizienz, bedienerfreundliche Schnittstellen, Rückwandkühlung und hohe Schutzklassen der Gehäuse.

Die leistungsfähige Filterlösung kann die Oberschwingungsbelastung von VLT® Frequenzumrichtern oder als Stand-alone-Lösung für die Kompensation anderer Störungsquellen übernehmen. Ein weiterer Vorteil ist der beliebige Anschlussort im zu kompensierenden Netz.

Spannungsbereich

- 380 - 480 V ~, 50 - 60 Hz
- 500 - 690 V ~, 50 - 60 Hz, in Vorbereitung oder über Anpasstrafo

Leistungsbereich

- 190 A, 250 A, 310 A, 400 A
- Parallelschaltung von bis zu 4 Einheiten möglich

Spezifikationen erreichbarer THDi*

- 50 % Belastung < 10 %
- 100 % Belastung < 5 %
- erreichbarer Leistungsfaktor λ^*
- 50 % Belastung > 0,95
- 100 % Belastung > 0,98

Umgebungstemperatur 45 °C

* Angaben für nicht vorbelastete Netze

Schutzklasse der Gehäuse

- IP21, IP54

Einsetzbar für:

- Erhöhung der Anlagenverfügbarkeit
- Verbesserung schwacher Netze
- Bessere Nutzen der Leistungsfähigkeit des Netzes
- Effektive Nutzung der Generatorleistung
- Absicherung sensibler Umgebungen

| 400 V AC | | | | |
|------------------|------|---------------|-----|---------|
| Normale Überlast | | Hohe Überlast | | Gehäuse |
| I [A] | kW | I [A] | kW | |
| 600 | 315 | 480 | 250 | F0 |
| 648 | 355 | 600 | 315 | |
| 745 | 400 | 658 | 355 | |
| 800 | 450 | 695 | 400 | |
| 880 | 500 | 800 | 450 | F5 |
| 990 | 560 | 880 | 500 | |
| 1120 | 630 | 990 | 560 | |
| 1260 | 710 | 1120 | 630 | F6 |
| 1460 | 800 | 1200 | 710 | |
| 1720 | 1000 | 1400 | 800 | |

| 690 V | | | | |
|------------------|------|---------------|------|---------|
| Normale Überlast | | Hohe Überlast | | Gehäuse |
| I [A] | kW | I [A] | kW | |
| 450 | 400 | 380 | 355 | F0 |
| 500 | 500 | 410 | 400 | |
| 570 | 560 | 500 | 500 | |
| 630 | 630 | 570 | 560 | |
| 730 | 710 | 630 | 630 | F5 |
| 850 | 800 | 730 | 710 | |
| 945 | 900 | 850 | 800 | |
| 1060 | 1000 | 945 | 900 | F6 |
| 1260 | 1200 | 1100 | 1000 | |
| 1415 | 1400 | 1200 | 1200 | |

| Effizienz | Vorteile |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Korrektur des Leistungsfaktors • Gezielte Reduktion bestimmter Oberschwingungen | <ul style="list-style-type: none"> – Erhöhte Anlagenverfügbarkeit / Betriebssicherheit |
| <ul style="list-style-type: none"> • Automatische Anpassung an Netzänderungen | |
| <ul style="list-style-type: none"> • Energiesparbetrieb / Sleepmode | <ul style="list-style-type: none"> – Energieeinsparung |
| <ul style="list-style-type: none"> • Reduzierte Oberschwingungen | <ul style="list-style-type: none"> – Höhere Trafoauslastung und -effizienz – Geringere Trafoverluste – Geringere Leitungsverluste – Kleinere Leitungsquerschnitte – Weniger Kühlleistung im Schaltraum erforderlich |
| Hohe Zuverlässigkeit | Vorteile |
| <ul style="list-style-type: none"> • Hohe Betriebssicherheit • Sehr robust gegen Spannungsschwankungen • Schutzfunktionen integriert • Aufrechterhaltung des Betriebs bei Überlast | <ul style="list-style-type: none"> – Erhöhte Anlagenverfügbarkeit / Betriebssicherheit |
| <ul style="list-style-type: none"> • Optionale Hauptschalter, Sicherungen und RFI-Filter | <ul style="list-style-type: none"> – Spart externe Komponenten und Montageaufwand |
| <ul style="list-style-type: none"> • Rückwandkühlung | <ul style="list-style-type: none"> – Niedrigere Temperaturen verlängern die Lebensdauer der eingesetzten Komponenten |
| <ul style="list-style-type: none"> • Lackierte Platinen | <ul style="list-style-type: none"> – Erhöhte Widerstandfähigkeit bei aggressiven Umgebungsbedingungen |
| <ul style="list-style-type: none"> • Retrofit | <ul style="list-style-type: none"> – Spart Zeit und Kosten – an beliebiger Stelle nachrüstbar – Kein Umbau bestehender Geräte erforderlich |
| Hohe Benutzerfreundlichkeit | Vorteile |
| <ul style="list-style-type: none"> • Preisgekrönte Bedieneinheit LCP | <ul style="list-style-type: none"> – Einfache Inbetriebnahme und Parametrierung |
| <ul style="list-style-type: none"> • Bewährte Gehäuse im VLT®-Design | <ul style="list-style-type: none"> – Einfache Installation, auch bei begrenztem Raum |
| <ul style="list-style-type: none"> • Modulares Systemdesign | <ul style="list-style-type: none"> – Schnelle und kostengünstige Installation |
| <ul style="list-style-type: none"> • Kompatibel zur VLT® - Software MCT10 | <ul style="list-style-type: none"> – Schnelle Inbetriebnahme, Parametrierung und Datensicherung |
| <ul style="list-style-type: none"> • Hohe Kompatibilität zu VLT®-Systemkomponenten der Frequenzumrichter | <ul style="list-style-type: none"> – Schnelle und einfache Wartung – Weniger Ersatzteile notwendig |

| Nennstrom [A] | Max Ober schwingungsstrom [A] | Max. Strom Verschiebungsblindleistung [A] | Gehäusegröße | Abmessungen |
|---------------|-------------------------------|---|--------------|------------------|
| 190 | 170 | 190 | D | 1732 x 602 x 378 |
| 250 | 225 | 250 | E | 2000 x 600 x 494 |
| 310 | 280 | 310 | E | 2000 x 600 x 494 |
| 400 | 360 | 400 | E | 2000 x 600 x 494 |

VLT® Frequenzumrichter mit 12-Puls-Einspeisung

Weniger Netzurückwirkungen und höhere Netzqualität

Die Danfoss VLT® High-Power Drives mit 12-Puls-Einspeisung reduzieren die Netzurückwirkungen in Anlagen und sorgen für eine höhere Netzqualität.

Zu diesem Zweck kombiniert Danfoss zwei 6-Puls-Gleichrichter mittels eines Transformators mit 30°-Phasenverschiebung als Einspeisung des Frequenzumrichters, was die Oberschwingungen der 5., 7., 17. und 19. Harmonischen eliminiert. Dies reduziert die Netzurückwirkungen auf einen THDi von 10 -12 % im Vergleich zu 30 - 50 % bei herkömmlichen 6-Puls-Brückengleichrichtern mit Netzdrosseln. Der Vorteil: Die Lösung erfordert keine zusätzlichen Maßnahmen, wie beispielsweise Saugkreise, die häufig eine umfangreiche Netzanalyse benötigen, um Resonanzen im Gesamtsystem zu vermeiden.

Auch die High-Power Geräte mit der 12-Puls-Einspeisung sind vollständig in die modulare VLT® Plattform integriert. So legt Danfoss besonderen Wert auf die Verwendung der bewährten Bauteile der High-Power Drives.

Die Geräte nutzen ebenfalls alle Erweiterungsoptionen und verfügen über das gleiche, bewährte grafische Bedienteil für eine einfache, intuitive Programmierung und Konfiguration. Ebenso stellen sie eine STO-Funktion nach EN 61800-5-2 bereit.

Kühlung über rückseitigen Kühlkanal

Kühlluft fließt durch einen rückseitigen Kühlkanal über die Kühlkörper und reduziert die Luftzirkulation im Bereich der Elektronik. Das Konzept führt bis zu 85 % der Wärmeverluste direkt aus dem Gehäuse ab. Dies erhöht durch die Reduzierung des Temperaturanstiegs und der Verunreinigung der Elektronik die Zuverlässigkeit und die Lebensdauer. Der rückseitige Kühlkanal ist von der Elektronik in Schutzart IP 54 getrennt.

Leistungsbereich

250 kW – 1.4 MW

Spannungsbereich

380 - 690 Volt

Gehäuse

IP 21/NEMA Type 1

IP 54/NEMA Type 12

Verfügbare VLT® Plattformen

VLT® HVAC Drive FC 102

VLT® AQUA Drive FC 202

VLT® AutomationDrive FC 302

Enwickelt für:

- Schwache Netzversorgung
- Reduzierung von Oberschwingungen
- Generatorbetriebene Anwendungen
- Step Down, Step Up Anwendungen
- Galvanisch getrennte Anwendungen

Hilft bei der

Einhaltung der Standards

- IEEE-519 1992
- EN 61000-2-4
- G5/4



| Eigenschaften | Vorteile |
|---|--|
| Durchgängiges Bedienkonzept wie modulare VLT® Plattformen | Einfache Bedienung: Kennen Sie einen, kennen Sie alle! |
| Bewährte Leistungselektronik | Zuverlässiger Betrieb. |
| Modulares Systemdesign | Alle Komponenten sind von vorne nach dem Öffnen der Türen zugänglich. Schneller und einfacher Austausch im Fehlerfall. |
| Rückwärtiger Kühlkanal | Reduziert Wartungsaufwand und verlängert die Verfügbarkeit und Lebensdauer des Antriebs. |
| Standard Rittal TS8 Schaltschrank in IP 21 oder IP 54 | Einfache Erweiterung möglich. |
| EMV-Filter Klasse C2 nach EN 61800-3, entspricht Klasse A1 gemäß EN 55011 | Reduziert Netzurückwirkungen und EMV-Störungen ohne zusätzliche externe Filter. |
| Integrierte Zwischenkreisdrosseln | Reduzieren die Netzurückwirkungen im gesamten Netzwerk. Keine zusätzlichen Verluste für höhere Energieeffizienz des Gesamtsystems. |
| Sicherungen im Zwischenkreis | Besserer Schutz der einzelnen Umrichter bei Zwischenkreiskopplung. |
| Hochwertig lackierte Platinen | Erhöhter Schutz bei widrigen Umgebungsbedingungen wie aggressiven Gasen. |
| Reduzierte Netzurückwirkungen | Geringere Gefahr für Resonanzen im System. Zuverlässigerer Betrieb anderer elektronischer Einrichtungen. Weniger Gerätefehler. |

| Weitere Optionen | |
|--|---|
| Erweiterungsmodule Stromversorgung und Klemmen | 24 V DC externe Stromversorgung; Mit 30 A abgesicherter Hilfsabgang; Vor-Ort/Fernumschaltung für Motorstart; Optional Klemmen mit NAMUR-Bezeichnung. |
| du/dt-Filter | Schützt die Motorwicklungen vor Durchschlägen und verlängert so die Lebensdauer. |
| Sinus Filter | Reduzierung der Motorgeräusche und Schutz der Motors vor Durchschlägen in den Wicklungen bzw. vor Lagerströmen. |
| Schaltschrank-Optionen | Türschalter; Schaltschrankbeleuchtung mit Steckdosen; Thermostatisch geregelte Schaltschrankheizung. |
| Modular nachrüstbare Anwendungsmodule | Plug-and-play bei den Optionskarten ermöglicht schnelles Aufrüsten, vereinfacht Inbetriebnahme und Service. |
| Systemüberwachung | Fehlerstromschutzeinrichtungen; Motorisoliationsüberwachung; Motortemperaturüberwachung. |
| Netzoptionen | EMV-Filter Klasse C3 nach EN 61800-3, entspricht Klasse A2 nach EN 55011; Leistungsschalter; Halbleitersicherungen. |

VLT® Low Harmonic Drives

VLT® AutomationDrive, HVAC Drive und AQUA Drive mit reduzierten NetZRückwirkungen

Während die Reduzierung von Oberwellen bei anderen Technologien von der Netz- und Laststabilität abhängt oder sich auf den Motor auswirkt, regeln die neuen Low Harmonic Drives von Danfoss permanent die Netz- und Lastbedingungen ohne Beeinträchtigung des angeschlossenen Motors.

Sie sind besonders motorfreundlich ausgelegt. Ausgangsspitzen- und Wellenspannungen sind kompatibel mit Motoren gemäß IEC 60034-17/25 und NEMA-MG1-1998 Teil 31.4.4.2.

VLT® Low Harmonic Drive verfügen über den gleichen modularen Aufbau wie die VLT® High-Power Drives und weisen die gleichen Funktionen wie hohe Wirkungsgrade, Kühlung über einen rückseitigen Kühlkanal und benutzerfreundlichen Betrieb auf. Der VLT® Low Harmonic Drive erfüllt alle Oberschwingungsanforderungen. Er zeigt die Geräteleistung im Hinblick auf das Netz und gibt eine grafische Übersicht über das Netzverhalten.

Die perfekte Lösung für:

- Erfüllung aller Oberschwingungsanforderungen und -standards
- Netze mit Generatorantrieb
- Weiche Netze
- Umrichterinstallationen in Netzen mit begrenzter Kurzschlussleistung

Spannungsbereich

- 380 – 480 V AC, 50 – 60 Hz

Leistungsbereich

- 132 - 630 kW hohe Überlast/
- 160 - 710 kW normale Überlast (entspricht den Gehäusen D, E und F)

Schutzart

- IP 21 / NEMA 1, IP 54 / NEMA 12

MCT 10 Parametrierungssoftware

Ideal für Inbetriebnahme, Wartung, Überwachung und Protokollierung.

HCS 2.0 Software

Softwaretool zur Oberwellenberechnung für VLT® Low Harmonic Drives und andere Lösungen.

RoHS konform

Die VLT® Low Harmonic Drives sind umweltverträglich und entsprechen der RoHS-Richtlinie.

Optionen

- du/dt Filter: Schutz der Motorisolation
- Sinusfilter (LC Filter): Reduzierung der Geräuschemissionen des Motors



400 VAC (380-460 VAC)

| Normale Überlast | | 160 % Überlast | | Gehäuse | Abmessungen H x B x T IP 21 [mm] | Gewicht kg |
|------------------|--------------|----------------|--------------|---------|--|---------------|
| Leistung kW | Strom [A] | Leistung kW | Strom [A] | | | |
| 160 | 315 | 132 | 260 | D | 1780 x 1022 x 378 | 380 |
| 200 | 395 | 160 | 315 | | | 380 |
| 250 | 480 | 200 | 395 | | | 406 |
| 315 | 600 | 250 | 480 | E | 2000 x 1200 x 494 | 596 |
| 355 | 658 | 315 | 600 | | | 623 |
| 400 | 745 | 355 | 658 | | | 646 |
| 450 | 800 | 400 | 695 | | | 646 |
| 500 | 880 | 450 | 800 | | | 2009 |
| 560 | 990 | 500 | 880 | F | 2200 x 2792 x 600 | 2009 |
| 630 | 1120 | 560 | 990 | | | 2009 |
| 710 | 1260 | 630 | 1120 | | | 2009 |

| Technische Daten | |
|--------------------------------------|---|
| Oberwellenverringerungsleistung | < 5 % THDi Erfüllt die jeweils zulässigen Oberschwingungsgrenzwerte gemäß IEEE 519 für ISC/ IL >20 Erfüllt EN/IEC61000-3-4/IEC61000-3-12 |
| Leistungsfaktor | > 0.98 |
| Verschiebungsfaktor | > 0.98 |
| PC-Software u. Benutzerschnittstelle | Einfache Inbetriebnahme Konfigurations- und Installationseinstellungen.Pflege von Benutzerdaten.Daten- und Ergebnisprotokollierung. Funktion zur Netzüberwachung und -messung Funktion für Filterlast und -zustand Funktion für Softwareaktualisierungen |
| Normen und Kennzeichnungen | UL-File. CE-Kennzeichnung, cULus (UL508C) und C-Tick (AS/NZS 2064); IEEE519 / EN 61000-3-xx Empfohlene Praktiken für die Oberschwingungsunterdrückung; IE- EE587/ANSI C62.41/ EN 61000-4-5 Störfestigkeit gegen Stoßspannungen; EN 55011 Elektromagnetische Verträglichkeit EN 50178, EN 60146 Sicherheit/Konstruktion |
| Umgebungstemperatur | -10 °C bis +45 °C, bis zu 1000 m über dem Meeresspiegel, bei relativer Luftfeuchtig- keit von 5 % - 85 %, Klasse 3K3 (Funktionsfähigkeit bis 95 % relative Luftfeuchtigkeit, nicht kondensierend) |
| Leistungssicherungen | Optional |
| Funkentstörfilterung. | EMV der Klasse A2; EMV der Klasse A1 optional |
| Kühlung | Luftgekühlt, primäre Kühlung über rückseitigen Kühlkanal |

| Funktionen | Vorteile |
|--|---|
| Energieeinsparungen | Geringere Betriebskosten |
| Energiesparfunktionen (z. B. Energiesparmodus, Standby-Betrieb), variable Taktfre- quenz zur Senkung von Schaltverlusten, höhere Produkteffizienz | Spart Energie ein |
| Reduzierte Oberwellen | Höherer Leistungsfaktor/geringere Belastung des Versorgungsnetzes Geringere Transformator-, Schaltgeräte- und Kabelverluste |
| Kühlung über rückseitigen Kühlkanal (Bis zu 85 % der Wärme wird mittels Kühlkanal abgeleitet) | Geringere Kühlung des Schaltraums Geringerer Stromverbrauch der Köhllüfter |
| Einzigartige Robustheit | Maximale Betriebszeit |
| Robustes Gehäuse | Wartungsfrei |
| Einzigartiges Kühlkonzept ohne Zirkulation der Umgebungsluft über die Elektronik- komponenten | Störungsfreier Betrieb in rauer Umgebung |
| Beschichtete Platinen | Störungsfreier Betrieb in rauer Umgebung |
| Vollständige werkseitige Prüfung | Störungsfreier Betrieb |
| Optimale Oberwellenreduzierung | Reduzierte Anschaffungs- und Betriebskosten |
| Gesamt-Oberwellenverzerrung von max. 5 % | Erfüllung der strengsten Oberwellenanforderungen/Standards |
| Robust gegen Spannungsverzerrungen und Netzvorbelastungen | Optimierte Transformator/Generator-Netzkapazität, Anschluss mehrerer Frequenzrichter an einen Trafo |
| Dynamische Regelung von Laständerungen | Energieoptimierung |
| Integration sämtlicher wichtiger Bauteile | Niedrige Investition |
| Modulares Konzept und großes Optionsangebot | Geringe Anschaffungskosten bei maximaler Flexi- bilität und der Möglichkeit künftiger Nachrüstungen |
| Dezentrale E/A-Steuerung über serielle Kommunikation | Geringere Kosten für Verdrahtung und externe E/A-KSteuerung |
| Eingebaute EMV-Filter | Erfüllt die EN 55011 (A1 optional, A2 standardmäßig) |
| Benutzerfreundlich | Geringere Inbetriebnahme- und Betriebskosten |
| Preisgekrönte Grafikanzeige in 27 Sprachen | Effektive Inbetriebnahme und Bedienung |
| Vollständige Übersicht über den Netzzustand | Geringerer Prüfungsaufwand |
| Zeitnahe Nachverfolgung der Netzbedingungen | Geringerer Prüfungsaufwand |

Stichwortverzeichnis

Symbole

| | |
|---------------------------|--------|
| 1. Umgebung | 8 |
| 2. Umgebung | 8 |
| 12-puls..... | 21 |
| 12-Puls-Einspeisung | 14, 38 |

A

| | |
|-------------------------------------|--------|
| Active Front End (AFE) | 24 |
| Advanced Active Filter AAF 006..... | 36 |
| Advanced Harmonic Filters AHF | 35 |
| Aktive Filter..... | 22, 23 |

B

| | |
|---------------------------------|----|
| B12..... | 21 |
| B12-Gleichrichtung..... | 21 |
| berechnen..... | 16 |
| Blindleistung..... | 29 |
| Blindstrom-Kompensationsanlagen | 14 |
| Breitbandstörer | 31 |

C

| | |
|---------------------|----|
| cos φ | 29 |
|---------------------|----|

E

| | |
|------------------------------------|--------|
| Eine kapazitive Kopplung..... | 7 |
| Elektromagnetische Verträglichkeit | 14 |
| EMV..... | 5 |
| EMVG | 13 |
| EMV-Richtlinie 2004/108/EG | 34 |
| EN 50160..... | 13 |
| EN 50178..... | 13 |
| EN 55011..... | 8 |
| EN 61000-2-4..... | 13 |
| EN 61000-3-12 | 34, 35 |
| EN 61800-3..... | 6, 34 |
| EN 61800-5-2..... | 38 |
| Energieeffizienz..... | 29 |
| Energiesparlampen | 5 |
| Energieverbrauch..... | 5 |
| Energieversorgungsnetz | 15 |

F

| | |
|--|----|
| Fourieranalyse | 13 |
| Frequenzumrichter..... | 5 |
| Funkentstörfilter | 31 |
| Funkstörungen..... | 9 |
| Funktionsprinzip eines aktiven Filters..... | 22 |

G

| | |
|---|--------|
| galvanische Kopplung..... | 7 |
| Gesamtüberschwingungsgehalt | 13, 29 |
| Gesetz über die elektromagnetische Verträglichkeit von Geräten (EMVG).13 | |
| Gleichrichtung..... | 21 |
| Grenzwerte | 9 |

H

| | |
|-----------------------------------|------|
| Harmonische..... | 5, 7 |
| HCS Harmonic Calculation Software | 14 |
| HCS-Software..... | 26 |
| Hochfrequente Funkstörungen | 9 |

I

| | |
|-------------------------|---|
| induktive Kopplung..... | 7 |
|-------------------------|---|

K

| | |
|---------------------------|----|
| kapazitive Kopplung | 7 |
| Klasse B..... | 9 |
| Klassen A1/A2..... | 9 |
| Kopplung..... | 7 |
| Kurzunterbrechung | 11 |

L

| | |
|----------------------------------|--------|
| Lebenszykluskosten | 29 |
| Leistungsfaktors λ | 17 |
| Low Harmonic Drive..... | 14, 24 |
| Low Harmonic Drive (LHD) | 24 |
| Low Harmonic Drives..... | 40 |

M

| | |
|-----------------------------------|----|
| Mehrwicklungstransformatoren..... | 21 |
|-----------------------------------|----|

N

| | |
|--|----------------------------------|
| Netzanalyse | 16, 17 |
| Netzbedingungen..... | 15 |
| Netzbelastung | 13 |
| Netzberechnungsprogramme.... | 16, 25 |
| Netzdrossel | 18 |
| Netzdrosseln | 31 |
| Netzimpedanz | 12, 15 |
| Netzüberschwingungen..... | 5 |
| Netzqualität..... | 10, 12, 22, 38 |
| Netzurückwirkungen..... | 5, 14, 16, 17, 24, 31, 38, 40 |
| Netzurückwirkungen berechnen | 16 |
| Netzspannung..... | 23, 25 |
| Netzspannungsqualität | 13, 26 |
| Netzstörungen | 14 |
| Netzvorbelastung | 15 |
| niederfrequente Netzurückwirkung...13 | |
| Normen | 9 |
| Normmessverfahren zur Spannungs- überprüfung..... | 10 |
| Notstromgenerator..... | 11, 25 |

O

| | |
|----------------------------------|-------------------|
| Oberschwingungen..... | 5, 13, 14 |
| Oberschwingungsauslöschung | 21 |
| Oberschwingungsbelastung..... | 15, 20, 23, 36 |
| Oberschwingungsberechnung | 26 |
| Oberschwingungsgehalt..... | 13, 15, 21 |

| | |
|----------------------------------|--------|
| Oberschwingungsreduzierung ... | 15, 16 |
| Oberschwingungsstromverzerrung . | 15 |

P

| | |
|------------------------------------|----|
| Passive Filter | 20 |
| Power Factor Correction (PFC)..... | 24 |
| Produktnorm..... | 6 |

R

| | |
|-------------------|----|
| Resonanzen | 19 |
| Richtlinien | 9 |

S

| | |
|----------------------------------|----|
| Spannungsqualität | 25 |
| Spannungsverzerrung..... | 14 |
| Störaussendung..... | 6 |
| Störfestigkeit..... | 6 |
| Störquelle | 7 |
| Störsenke..... | 7 |
| Störungen | 7 |
| Strahlungsfeld | 7 |
| Strahlungskopplung | 7 |
| Stromüberschwingungsgehalt | 36 |

T

| | |
|--------------------------------------|--------|
| Taktfrequenz | 19, 22 |
| THDi..... | 15 |
| THD (Total Harmonic Distortion)..... | 13 |
| „Total Ownership Cost“ | 29 |
| Transformator | 15 |
| Transformatorauslastung | 25 |
| Transienten | 10, 12 |

U

| | |
|--------------------------------------|----|
| Übergabepunkt (PCC)..... | 23 |
| Übertragungswege | 7 |
| Übertragungswege der Störungen7 | |
| USV | 11 |

V

| | |
|----------------------------------|----|
| Verzerrung der Kurvenform..... | 10 |
| VLT® Frequenzumrichter | 14 |
| VLT® High-Power Drives | 38 |
| Vollwertiger Zwischenkreis | 34 |

W

| | |
|---------------------------|----|
| Wirkleistungsfaktor | 16 |
|---------------------------|----|

Z

| | |
|---------------------------------|--------|
| Zwischenkreisdrosseln | 14, 18 |
| Zwischenkreiskondensator..... | 18 |
| Zwischenkreiskondensatoren..... | 19 |

Die Vision hinter VLT®

Danfoss ist einer der Marktführer bei Entwicklung und Herstellung von Frequenzumrichtern – und gewinnt täglich neue Kunden hinzu.

Verantwortung für die Umwelt

Danfoss VLT® Produkte mit Rücksicht auf Mensch und Umwelt. Alle Fertigungsstätten für VLT® Frequenzumrichter sind gemäß den Standards ISO 14001 und ISO 9001 zertifiziert. Alle Aktivitäten von Danfoss berücksichtigen den Mitarbeiter, die Arbeitsplätze und die Umwelt. So erzeugt die Produktion nur ein absolutes Minimum an Lärm, Emissionen und anderen Umweltbelastungen. Daneben sorgt Danfoss für eine umweltgerechte Entsorgung von Abfällen und Altprodukten.

UN Global Compact

Danfoss hat seine soziale Verantwortung mit der Unterzeichnung des UN Global Compact festgeschrieben. Die Niederlassungen verhalten sich verantwortungsbewusst gegenüber lokalen Gegebenheiten und Gebräuchen.

Energieeinsparungen durch VLT®

Die Energieeinsparung einer Jahresproduktion von VLT® Frequenzumrichtern spart soviel Energie ein, wie ein größeres Kraftwerk jährlich erzeugt. Daneben optimiert die bessere Prozesskontrolle die Produktqualität und reduziert den Ausschuss und den Verschleiß an den Produktionsstraßen.

Der Antriebsspezialist

Danfoss VLT Drives ist weltweit einer der führenden Antriebstechnikhersteller. Bereits 1968 stellte Danfoss den weltweit ersten in Serie produzierten Frequenzumrichter für Drehstrommotore vor und hat sich seitdem auf die Lösung von Antriebsaufgaben spezialisiert. Heute steht VLT® für zuverlässige Technik, Innovation und Know-how für Antriebslösungen in den unterschiedlichsten Branchen.

Innovative und intelligente Frequenzumrichter

Ausgehend von der Danfoss VLT Drives Zentrale in Graasten, Dänemark, entwickeln, fertigen, beraten, verkaufen und warten 2500 Mitarbeiter in mehr als 100 Ländern die Danfoss Antriebslösungen.

Die modularen Frequenzumrichter

werden nach den jeweiligen Kundenanforderungen gefertigt und komplett montiert geliefert. So ist sichergestellt, dass Ihr VLT® stets mit der aktuellsten Technik zu Ihnen geliefert wird.

Vertrauen Sie Experten – weltweit.

Um die Qualität unserer Produkte jederzeit sicherzustellen, kontrolliert und überwacht Danfoss Drives die Entwicklung jedes wichtigen Elements in den Produkten. So verfügt der Konzern über eine eigene Forschung und Softwareentwicklung sowie eine moderne Fertigung für Hardware, Leistungsteile, Platinen und Zubehör.

VLT® Frequenzumrichter arbeiten weltweit in verschiedensten Anwendungen. Dabei unterstützen die Experten von Danfoss Drives unsere Kunden mit umfangreichem Spezialwissen über die jeweiligen Anwendungen. Umfassende Beratung und schneller Service sorgen für die optimale Lösung bei höchster Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit. Eine Aufgabe ist erst beendet, wenn Sie als Kunde mit der Antriebslösung zufrieden sind.



Deutschland:

Danfoss GmbH
VLT® Antriebstechnik
Carl-Legien-Straße 8, D-63073 Offenbach
Tel: +49 69 8902-0, Telefax: +49 69 8902-106
www.danfoss.de/vlt

Österreich:

Danfoss Gesellschaft m.b.H.
VLT® Antriebstechnik
Danfoss Straße 8, A-2353 Guntramsdorf
Tel: +43 2236 5040-0, Telefax: +43 2236 5040-35
www.danfoss.at/vlt

Schweiz:

Danfoss AG
VLT® Antriebstechnik
Parkstrasse 6, CH-4402 Frenkendorf,
Tel: +41 61 906 11 11, Telefax: +41 61 906 11 21
www.danfoss.ch/vlt

Die in Katalogen, Prospekten und anderen schriftlichen Unterlagen, wie z. B. Zeichnungen und Vorschlägen enthaltenen Angaben und technischen Daten sind vom Käufer vor Übernahme und Anwendung zu prüfen. Der Käufer kann aus diesen Unterlagen und zusätzlichen Diensten keinerlei Ansprüche gegen Danfoss oder Danfoss-Mitarbeitern ableiten, es sei denn, dass diese vorsätzlich oder grob fahrlässig gehandelt haben. Danfoss behält sich das Recht vor, ohne vorherige Bekanntmachung im Rahmen des Angemessenen und Zumutbaren Änderungen an Ihren Produkten – auch an bereits in Auftrag genommenen – vorzunehmen. Alle in dieser Publikation enthaltenen Warenzeichen sind Eigentum der jeweiligen Firmen. Danfoss und das Danfoss-Logo sind Warenzeichen der Danfoss A/S. Alle Rechte vorbehalten.