

ENGINEERING
TOMORROW

Danfoss

Heizung, Klima und Lüftung **Fachplanung und Projektierung** elektrischer Antriebe

4 Schritte

zur sicheren Anlage.
Danfoss unterstützt
Sie mit langjähriger
Erfahrung bei der
Planung



www.danfoss.de/vlt

VLT[®]
THE REAL DRIVE



Die heraustrennbare Planer-Checkliste auf der letzten Seite dieser Broschüre,
führt Sie in 4 Schritten zum optimalen Planungsergebnis.

Inhaltsverzeichnis

Hilfestellungen bei Planung und Auslegung	6
Teil 1- Grundlagen	7
Kosten senken und Komfort erhöhen	7
Drehzahlregelung spart Energie	8
<i>Proportionalitätsgesetze</i>	8
Kosteneffizienz steigern	9
<i>Energiekosten senken</i>	9
Vorhandenes Einsparpotenzial in der Praxis realisieren	10
Teil 2 - In 4 Schritten zur optimalen Anlage	11
Schritt 1: Praxis - Netzversorgung	11
<i>TN-Netze</i>	11
<i>TN-S</i>	11
<i>TN-C</i>	11
<i>TT-Netze</i>	11
<i>IT-Netze</i>	11
Praxis - Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)	12
<i>Elektromagnetische Einflüsse wirken in beide Richtungen</i>	12
<i>Die Verantwortung liegt beim</i>	12
<i>Betreiber</i>	12
<i>Zwei Möglichkeiten der Reduzierung</i>	12
Praxis - Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)	13
<i>Kabelgebundene und Strahlungseinflüsse unterscheiden</i>	13
<i>Kopplungsmechanismen zwischen Stromkreisen</i>	13
Praxis - Netzqualität	14
<i>Versorgungsnetze in Gefahr</i>	14
<i>Gesetzliche Grundlage sichert</i>	14
<i>Qualität</i>	14
<i>Wie entstehen die Netzurückwirkungen</i>	14
Praxis - Niederfrequente Netzurückwirkungen	15
<i>Auswirkungen von</i>	15
<i>Netzurückwirkungen</i>	15
<i>Unterspannungswarnungen</i>	15
<i>Erhöhte Verluste</i>	15
<i>Gibt es netzurückwirkungsfreie Frequenzumrichter?</i>	15
Praxis - Reduzierung von Netzurückwirkungen	16
<i>Drosseln am Eingang oder im</i>	16
<i>Zwischenkreis</i>	16
<i>12-, 18- oder 24-pulsige Gleichrichter</i>	16
<i>Passive Filter</i>	16
<i>Vorteile passiver Filter</i>	16
<i>Nachteile passiver Filter</i>	16
Praxis - Reduzierung von Netzurückwirkungen	17
<i>Aktive Filter</i>	17
<i>Vorteile aktiver Filter</i>	17
<i>Nachteile aktiver Filter</i>	17
Praxis - Reduzierung von Netzurückwirkungen	18
<i>Schlanker Zwischenkreis</i>	18
<i>Active Front End und Low Harmonic Drive</i>	18
<i>Vorteile AFE / LHD</i>	18
<i>Nachteile AFE / LHD</i>	19
Praxis - Reduzierung von Netzurückwirkungen	19
Praxis - Hochfrequente Funkstörungen	20
<i>Normen und Richtlinien definieren Grenzwerte</i>	20
Praxis - 1. und 2. Umgebung	21
<i>Wohnbereich</i>	21
<i>Industriebereiche</i>	21
<i>Keine Kompromisse</i>	21

Praxis - Maßnahmen zum Schutz des Netzes	22
Praxis - Betrieb am Transformator oder Notstromgenerator	23
<i>Belastung des Transformators</i>	23
<i>Spannungsqualität</i>	23
Schritt 2: Praxis - Umgebungs- und Umweltbedingungen	24
<i>Schaltschrank- oder Wandmontage?</i>	24
Praxis - IP Schutzklassen	25
Praxis - Kühlkonzept	26
<i>Umgebungstemperaturen einhalten</i>	26
<i>Kühlung</i>	26
<i>Luftfeuchtigkeit</i>	26
Praxis - Besondere Anforderungen	27
Praxis - Besondere Anforderungen	28
<i>Verminderte Kühlung</i>	28
<i>Kühllüfter</i>	28
<i>Filtermatten</i>	28
Praxis - Ex-Bereich	29
Schritt 3: Praxis - Motor und Verkablung	30
<i>Verbindliche Mindestwirkungsgrade</i>	30
<i>Betroffene Drehstrommotoren</i>	30
<i>IE- und eff-Klassen: Große Unterschiede im Detail</i>	30
Praxis - IE-Klassifizierung von Motoren	31
<i>Zeitplan der</i>	31
<i>MEPS Einführung</i>	31
<i>Einhaltung der Anschlussmaße nach EN 50347</i>	31
<i>Wirtschaftlichkeit</i>	31
Praxis - EC- und PM-Motore	32
<i>Was sind eigentlich EC-Motoren?</i>	32
<i>Wirkungsgrade von</i>	32
<i>EC-Motoren</i>	32
<i>PM-Motoren - die EC-Alternative?</i>	32
Praxis - EC- und PM-Motore	33
<i>Bester Motorwirkungsgrad = Bester Systemwirkungsgrad?</i>	33
Praxis - Motoreignung für FU-Betrieb	34
<i>Isolationsbeanspruchung</i>	34
<i>Lagerbeanspruchung</i>	34
Praxis - Ausgangsfilter	35
<i>Funktionen und Aufgaben von</i>	35
<i>Sinusfiltern</i>	35
<i>Einsatz</i>	35
<i>Nachträglicher Einbau/Retrofit</i>	35
<i>Reduzierung von Lagerströmen</i>	35
Praxis - Motorkabel	36
<i>Nennspannungsklasse</i>	36
<i>Kabeldimensionierung</i>	36
<i>Länge des Motorkabels</i>	36
<i>Energiesparen</i>	36
<i>Kabel mit geeigneter Schirmung</i>	36
Praxis - Erdungsmaßnahmen	37
<i>Leitfähige Materialien</i>	37
<i>Sternförmiges Erdungssystem</i>	37
<i>Kontaktstellen</i>	37
<i>Leiteroberfläche</i>	37
<i>Ausführung</i>	37

Praxis - Schirmungsmaßnahmen	38
<i>Geschirmte Kabel und Leitungen</i>	38
<i>Schirmanschluss</i>	38
<i>Schirmunterbrechungen</i>	38
Praxis - Schirmungsmaßnahmen	39
<i>Masseverbindung</i>	39
<i>Motorzuleitung</i>	39
<i>Signalleitung</i>	39
<i>Schirmarten</i>	39
<i>Schirm als Masseleiter?</i>	39
Schritt 4: Praxis - Auswahl der Frequenzumrichter	40
<i>Konstantes oder</i>	40
<i>quadratisches Drehmoment</i>	40
Praxis - Typische Lastmomente in der HLK- und	41
Kältetechnik	41
Praxis - Sonderfall Mehrmotorenbetrieb	42
<i>Auslegung</i>	42
<i>Kabelführung</i>	42
Praxis - EMV-Maßnahmen umsetzen	43
<i>Empfehlungen für die Praxis</i>	43
Praxis - EMV-Maßnahmen umsetzen	44
<i>Zwischenkreis beeinflusst Netzrückwirkungen</i>	44
<i>Reduzierungsmaßnahmen</i>	44
<i>Netzdrösseln</i>	44
Praxis - EMV-Maßnahmen umsetzen	45
<i>Passive Filter</i>	45
<i>Aktive Filter, Active Front End und Low Harmonic Drives</i>	45
<i>12-, 18-, 24- pulsige Gleichrichter</i>	45
<i>Empfehlung</i>	45
Praxis - FI-Schutzschalter	46
<i>Höhe des Ableitstroms</i>	46
Praxis - Erdung und Motorschutz	47
Praxis - Bedienung und Datenanzeige	48
Praxis - Bedienung und Anzeige	49
<i>Lokale Bedienung</i>	49
<i>Übersichtliche Anzeige</i>	49
<i>Einheitliches Konzept</i>	49
<i>Integriert in die Schaltschranktür</i>	49
Praxis - Bedienung und Parametrierung mittels PC	50
<i>Erweiterte Möglichkeiten</i>	50
Praxis - Datenaustausch	51
<i>Bussysteme</i>	51
<i>Besseres Anlagenmanagement</i>	51
<i>Einsparung bei der Installation</i>	51
<i>Vereinfachte Inbetriebnahme</i>	51
Praxis - Weitere Auswahlfaktoren	52
VLT® HVAC Drive	53
Richtlinien in Bezug auf Frequenzumrichter	54
Stichwortverzeichnis	55

Hilfestellungen bei Planung und Auslegung

Die Danfoss Planerfibel Heizung, Klima und Lüftung richtet sich an Ingenieurbüros, Behörden, Ämter, Verbände sowie Anlagen- und Schaltanlagenbauer in der Klimatechnik und Gebäudeautomation. Sie ist als umfangreiches Hilfsmittel für Fachplaner (MSR/Elektro) und Projektoren konzipiert, zu deren Aufgabenbereich die Projektierung von drehzahlregulierten Antrieben mittels Frequenzumrichter gehört.

Hierfür haben unsere Spezialisten den Inhalt dieser Planerfibel mit Fachplanern der Branche abgestimmt, um wichtige Fragen zu beantworten und größtmöglichen Nutzen für Bauherren und/oder Auftraggeber zu erreichen. Die Beschreibungen der einzelnen Kapitel sind bewusst kurz gehalten. Sie dienen nicht als um-

fangreiche Erläuterungen technischer Sachverhalte, sondern weisen nur auf diese Sachverhalte und deren besondere Anforderungen bei der Projektierung hin. Somit gibt die Planerfibel Heizung, Klima und Lüftung Hilfestellung bei der Projektierung frequenz geregelter Antriebe, aber auch bei der Bewertung technischer Ausstattung unterschiedlicher Frequenzumrichterfabrikate.

Bei der Projektierung drehzahl geregelter Antriebe treten häufig Fragen auf, die nicht unmittelbar mit den eigentlichen Aufgaben eines Frequenzumrichters verknüpft sind. Vielmehr betreffen sie die Einbindung dieser Geräte in das Antriebssystem und die Gesamtanlage. Daher ist es absolut notwendig, nicht nur den Frequenzumrichter, sondern das

gesamte Antriebssystem zu betrachten. Dieses System besteht aus Motor, Frequenzumrichter, Verkabelung und den Rahmenbedingungen des Umfelds, zu denen unter anderem die Netzversorgung und die Umweltbedingungen zählen.

Projektierung und Auslegung drehzahl geregelter Antriebssysteme fällt eine entscheidende Bedeutung zu. Der Planer oder Projektoren stellt genau in diesem Stadium die Weichen für die Qualität des Antriebssystems, für die Betriebs- und Wartungskosten sowie für den sicheren und störungsarmen Betrieb. Durchdachtes Projektieren im Vorfeld hilft, unerwünschte Nebeneffekte im späteren Betrieb des Antriebssystems zu vermeiden.

Wer Frequenzumrichter projektiert, sollte sich bereits im Vorfeld über die technischen Rahmenbedingungen dieser Geräte Gedanken machen.

Die Planerfibel und die in ihr enthaltene Planercheckliste stellen optimale Werkzeuge dar, um für die größtmögliche Planungssicherheit zu sorgen und damit zur Betriebssicherheit der gesamten Anlage beizutragen.

Die Planerfibel Heizung, Klima und Lüftung teilt sich in zwei Bereiche auf. Der erste Teil bietet Hintergrundwissen zum Einsatz von Frequenzumrichter im Allgemeinen. Dazu zählen die Themen Energieeffizienz, gesenkte Lebenszykluskosten und längere Lebensdauer.

Im zweiten Teil führt Sie die Planerfibel durch die vier notwendigen Schritte der Planung und Projektierung einer Anlage und gibt Tipps zum Nachrüsten einer Drehzahlregelung in bestehenden Anlagen. Sie erhalten alle notwendigen Informationen über die Punkte, die Sie für einen sicheren Betrieb der Anlage bei Auswahl und Dimensionierung der Netzversorgung, der Umgebungs- und Umweltbedingungen, beim Motor und dessen Verkabelung sowie der Auswahl und Dimensionierung des Frequenzumrichters beachten müs-

sen. Dazu finden Sie am Ende der Broschüre eine Checkliste, in der Sie die einzelnen Schritte abhaken können. Wenn Sie alle Punkte berücksichtigen, wird Ihnen eine optimale Konfiguration der Anlage für einen jederzeit sicheren Betrieb vorliegen.



Teil 1- Grundlagen

Kosten senken und Komfort erhöhen

Eine elektronische Drehzahlregelung kann im Vergleich zu mechanischen Lösungen viel Energie einsparen und den Materialverschleiß erheblich verringern. Beides reduziert die Betriebskosten deutlich. Je häufiger Antriebssysteme im Teillastbetrieb arbeiten (müssen), desto höher ist das Einsparpotenzial bei Energie- und Wartungskosten. Aufgrund des hohen Energieeinsparpotenzials amortisieren sich die Mehrkosten für eine elektronische Drehzahlregelung bereits innerhalb weniger Monate. Dabei beeinflussen moderne Lösungen den Prozess und die Verfügbarkeit des Gesamtsystems an vielen Stellen äußerst positiv.

- **Hohes Energieeinsparpotenzial**

Die Regelung des Durchflusses, Drucks oder Differenzdrucks erfolgt bei einer elektronischen Drehzahlregelung, angepasst an den tatsächlich benötigten Bedarf. In der Praxis laufen Anlagen überwiegend im Teillastbetrieb und nicht unter Volllast. Die Differenz zwischen Voll- und Teillastbetrieb bestimmt, bei Strömungsmaschinen mit quadratischer Drehmoment-Kennlinie, die Höhe der Energieeinsparung. Je größer diese ausfällt, desto kürzer ist die Amortisationszeit. In der Regel liegt diese bei ca. 12 Monaten.

- **Anlaufstrombegrenzung**

Direktes Einschalten von Anlagen am Versorgungsnetz erzeugt Stromspitzen, die das Sechs- bis Achtfache des Nennstroms erreichen können. Frequenzumrichter begrenzen den Anlaufstrom auf den Motor-

nennstrom. Dadurch eliminieren sie die Stromspitzen beim Einschalten und vermeiden Spannungseinbrüche durch eine kurzzeitig sehr hohe Belastung des Versorgungsnetzes. Durch das Vermeiden dieser Stromspitzen ist der Anschlusswert der Anlage beim Energieversorger geringer; dies senkt die Bereitstellungskosten und eventuelle E_{\max} -Regelungen entfallen.

- **Reduzierter Anlagenverschleiß**

Frequenzumrichter starten und stoppen Motoren sanft und stufenlos. Anders als beim direkt am Netz betriebenen Motor tritt beim Frequenzumrichterbetrieb kein Momenten- oder Laststoß auf. Das schont den gesamten Antriebsstrang mit Motor, Getriebe, Kupplung, Pumpe/Gebälse/Verdichter und das Rohrleitungssystem inklusive der Dichtungen. So reduziert die Drehzahlregelung den Verschleiß deutlich und die Lebensdauer der Anlage verlängert sich. Die Reparatur- und Wartungskosten sinken dank längerer Betriebsintervalle und geringerem Materialverschleiß.

- **Optimale Betriebspunktanpassung**

Der Wirkungsgrad von klimatechnischen Anlagen hängt vom optimalen Betriebspunkt ab. Dieser Betriebspunkt schwankt mit der Auslastung der Anlage. Je genauer sie diesen Betriebspunkt erreichen, desto effizienter arbeitet sie und desto höher ist folglich auch ihr Wirkungsgrad. Durch die stufenlose Regelung haben Frequenzumrichter

die Möglichkeit, diesen optimalen Betriebspunkt exakt anzufahren.

- **Erweiterter Regelbereich**

Frequenzumrichter bieten die Möglichkeit Motoren, in den sogenannten übersynchronen Bereich (Ausgangsfrequenz > 50 Hz) zu regeln. Dadurch lässt sich eine kurzzeitige Leistungssteigerung erreichen. Inwieweit übersynchroner Betrieb möglich ist, hängt vom maximalen Ausgangsstrom und der Überlastfähigkeit des Frequenzumrichters ab. In der Praxis werden häufig Pumpen, Verdichter und Lüfter mit einer Frequenz im Bereich von 55-87 Hz betrieben. Der Betrieb im übersynchronen Bereich ist unbedingt mit dem Motorenhersteller zu klären!

- **Geringere Geräuschentwicklung**

Anlagen im Teillastbetrieb laufen leiser. Drehzahl geregelter Betrieb senkt die Geräuschentwicklung dabei deutlich.

- **Erhöhte Lebensdauer**

Antriebssysteme im Teillastbetrieb unterliegen einer geringeren Abnutzung, die sich in einer längeren Lebensdauer bemerkbar macht. Vorteilhaft wirkt sich auch der reduzierte, optimierte Systemdruck an den Rohrleitungen aus.

- **Nachträglicher Einbau**

Frequenzumrichter lassen sich nachträglich mit wenig Aufwand in bestehende Antriebssysteme integrieren.



Drehzahlregelung spart Energie

Das Energiesparpotenzial beim Einsatz von Frequenzumrichtern hängt von der Art der anzutreibenden Last und von der Optimierung des Wirkungsgrades des Lüfters, Verdichters bzw. der Pumpe oder des Antriebs durch den Frequenzumrichter ab, sowie von der Zeit, die das System im Teillastbetrieb arbeitet. Viele Anlagen sind für selten auftretende Spitzenlasten ausgelegt und laufen daher meist im Teillastbetrieb.

Das größte Energiesparpotenzial erreichen Kreiselpumpen und Ventilatoren. Sie gehören zu den Strömungsmaschinen mit quadratischem Drehmomentverlauf und es gelten für sie die nachfolgenden Proportionalitätsgesetze.

Mit steigender Drehzahl erhöht sich der Durchfluss proportional, der Druck steigt quadratisch und die Leistungsaufnahme nimmt kubisch zu.

Der entscheidende Faktor für die Energieeinsparung ist der kubische Zusammenhang von Drehzahl und

Leistungsaufnahme. Eine mit halber Drehzahl laufende Pumpe benötigt nur ein Achtel der beim Betrieb mit voller Drehzahl erforderlichen Leistung.

Bereits geringe Drehzahlvermindierungen führen so bereits zu deutlichen Energieeinsparungen. So ergibt eine Drehzahlverringerung von 20 % bereits eine Energieeinsparung von 50 %. Der große Vorteil beim Einsatz von Frequenzumrichtern liegt darin, dass die Drehzahlregelung keine Energie verschwendet, wie beispielsweise eine Drosselregelung, sondern die Leistungsaufnahme des Motors exakt an den jeweiligen Bedarf anpasst.

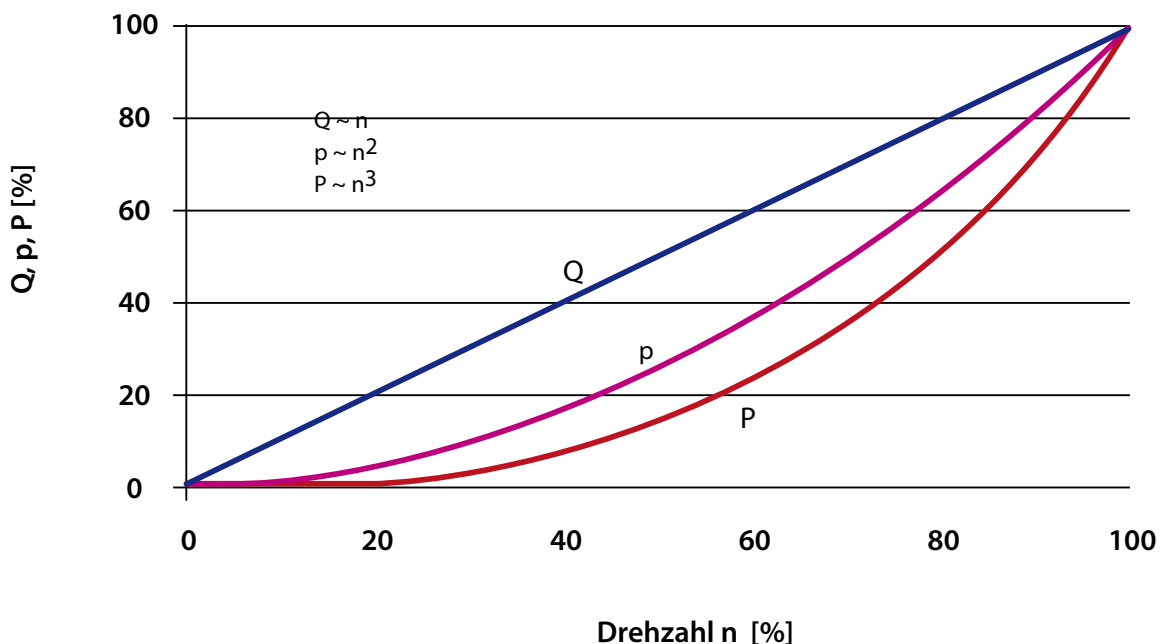
Weiteres Energieeinsparpotential liegt in der Optimierung des Wirkungsgrads des Lüfters/der Pumpe/des Antriebs bei Frequenzumrichterbetrieb. Die Spannungssteuernlinie (U/f-Kennlinie) liefert dem Motor bei jeder Frequenz (und damit Drehzahl) auch die passende Spannung. Dadurch vermeidet die Regelung Verluste im Motor durch zu hohen Blindstrom.

Bemerkung: Danfoss Frequenzumrichter der Serie VLT® HVAC Drive optimieren den Energiebedarf noch weiter. Die AEO-Funktion (Automatische Energie Optimierung) regelt die momentane Motorspannung immer so, dass der Motor im bestmöglichen Wirkungsgrad läuft. So passt der VLT® HVAC Drive die Spannung immer an die tatsächliche von ihm gemessene Lastbedingung an. Das zusätzliche Energiesparpotenzial beträgt weitere 3 % bis 5 %.



Zur Berechnung der zu erwartenden Energieeinsparung beim Einsatz von Frequenzumrichter stehen Tools wie z. B. die Energie Box von Danfoss zur Verfügung www.vlt.de/software

Proportionalitätsgesetze



Proportionalitätsgesetze von Strömungsmaschinen. Durchfluss Q, Druck p und Leistung P hängen bei Strömungsmaschinen wegen der physikalischen Gesetze direkt von der Drehzahl n der Maschine ab.

Kosteneffizienz steigern

Betrachtung der Lebenszykluskosten - LCC

Bis vor einigen Jahren berücksichtigten Anlagenbauer und Betreiber bei der Auswahl von klimatechnischen Systemen lediglich die Anschaffungs- und Installationskosten. Heute gewinnt die ganzheitliche Betrachtung aller Kosten zunehmend an Bedeutung. Bekannt unter dem Stichwort Lebenszykluskosten (LCC) umfasst sie die gesamten Kosten, die Anlagen während ihrer Laufzeit verursachen.

In dieser Lebenszykluskostengleichung sind neben den Anschaffungs- und Installationskosten auch die Kosten für Energie, Betrieb, Instandhaltung, Ausfall, Umwelt und Entsorgung enthalten. Einen entscheidenden Einfluss auf die Höhe der Lebenszykluskosten haben die beiden Parameter Energie- und Instandhaltungskosten. Um diese zu senken, suchen Betreiber nach innovativ geregelten Lösungen.

*Beispiel für niedrigere LCC
Der VLT® HVAC Drive verfügt über eine Radizierfunktion zum Umrechnen von Werten einer Differenz-druckmessung in ein Volumenstromsignal. Der Anwender kann dadurch günstigere Sensoren einsetzen und somit die Anschaffungskosten C_{ic} reduzieren.*

$$LCC = C_{ic} + C_{in} + C_e + C_o + C_m + C_s + C_{env} + C_d$$

C_{ic} = Anschaffungskosten

C_{in} = Einrichtungs-/Inbetriebnahmekosten

C_e = Energiekosten

C_s = Ausfallkosten

C_o = Betriebskosten

C_{env} = Umweltkosten

C_m = Instandhaltungskosten

C_d = Stilllegungs-/Entsorgungskosten

Berechnung der Lebenszykluskosten

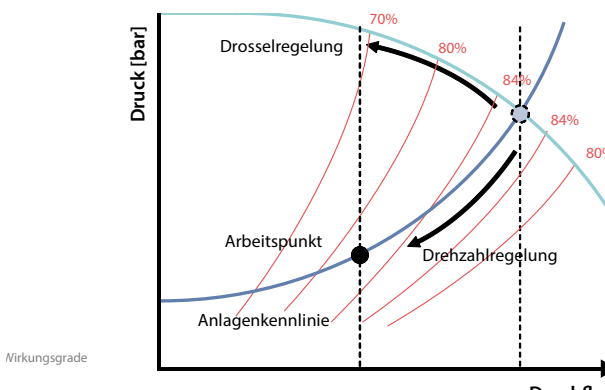
Energiekosten senken

Einer der größten Kostenfaktoren in der Gleichung zur Berechnung der Lebenszykluskosten sind die Energiekosten. Dies gilt vor allem dann, wenn Lüfter und Pumpen mehr als 2000 Stunden im Jahr in Betrieb sind. In bestehenden Anlagen schlummern meist erhebliche Potenziale zur Ener-

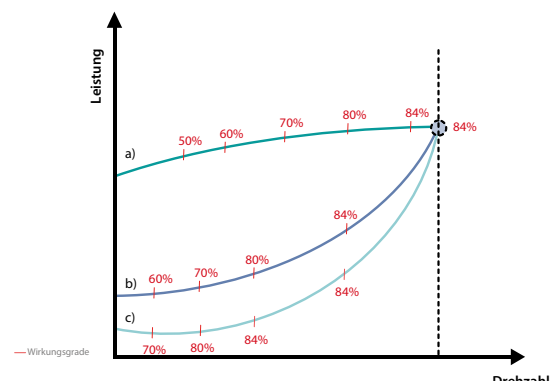
gieeinsparung. Das kommt daher, dass der Großteil aller Installationen überdimensioniert ist, da sie auf den „worst case“ ausgelegt sind. Häufig erfolgt die Volumenstromänderung über Drosselventile. Bei dieser Regelung laufen die Motoren immer mit voller Drehzahl und verbrauchen somit unnötig Energie. Vergleichbar

ist das mit einem Auto, das ständig Vollgas fährt und der Fahrer die Geschwindigkeit über das Bremsen anpasst.

Moderne intelligente Frequenzumrichter bieten ideale Möglichkeiten, sowohl die Energie- als auch die Instandhaltungskosten zu senken.



Im Kennliniendiagramm sind neben der Pumpen- und Anlagenkennlinie auch einige Wirkungsgradgrenzen dargestellt. Sowohl durch Drosselregelung, als auch durch Drehzahlregelung bewegt sich der Arbeitspunkt aus dem Wirkungsgradoptimum heraus. Das Verhalten bei Lüftern ist analog.



a) Drosselregelung: η nimmt ab
b) Drehzahlregelung real: η -Verlauf \neq Anlagenkennlinie
c) Drehzahlregelung optimal: η -Verlauf nahe Anlagenkennlinie

Vorhandenes Einsparpotenzial in der Praxis realisieren

In den Ausführungen des 1. Teils der Planerfibel standen vor allem die Grundlagen mit den möglichen Einsparungen in Anlagen der Heizung/Klima/Lüftungs-Technik im Mittelpunkt der Betrachtungen. So haben Sie mehr über die Lebenszykluskosten, die Einsparungen bei Energieverbrauch sowie Wartung- und Servicekosten erfahren. Jetzt gilt es, die aus den Vorteilen resultierenden Einsparungen auch durch eine vernünftige und genaue Planung in die Praxis umzusetzen.

Dazu führt sie der jetzt folgende 2. Teil in vier Schritten durch die Planung.

In den Unterpunkten

- Netzversorgung
- Umgebungs- und Umweltbedingungen
- Motor und Kabel
- Frequenzumrichter

erhalten Sie alle notwendigen Informationen über die Kenngrößen und Daten, die Sie für einen sicheren Betrieb der Anlage, sowie bei Auswahl und Dimensionierung benötigen. Wo ein tiefer gehendes Wissen von Vorteil ist, erhalten Sie neben den Basisinformationen in dieser Fibel auch einen Hinweis auf weiter führende Literatur.

Hilfestellung gibt dabei auch die am Ende der Broschüre beigefügte Checkliste zum Ausklappen oder auch Abtrennen, in der Sie die einzelnen Schritte dann jeweils abhaken können. Damit überblicken Sie schnell und einfach alle relevanten Planungspunkte.

Die Berücksichtigung aller Punkte schafft die optimale Voraussetzung für eine energieeffiziente und sichere Anlage.



Teil 2 - In 4 Schritten zur optimalen Anlage

Schritt 1: Praxis - Netzversorgung

Die gegebene Netzform erkennen

Für die Energieversorgung elektrischer Antriebe stehen unterschiedliche Netzformen zur Verfügung. Alle haben auf das EMV-Verhalten einer Anlage einen mehr oder weniger großen Einfluss. Bei dem 5-Leiter Netz TN-S ergibt sich dabei die beste, beim isoliert aufgebauten IT-Netz hingegen die schlechteste Ausgangslage.

TN-Netze

Innerhalb dieses Netztyps gibt es zwei Ausführungen: TN-S und TN-C.

TN-S

Dieses System ist ein 5-Leiter Netz, bei dem Neutralleiter (N) und Schutzleiter (PE) getrennt ausgeführt sind.

Es bietet somit die besten EMV-Eigenschaften und vermeidet Störübertragungen.

TN-C

Dieses System ist ein 4-Leiter Netz, bei dem in der gesamten Anlage der Neutralleiter und der Schutzleiter zu einem Leiter zusammengefasst sind.

Das TN-C Netz bietet, durch den gemeinsamen Neutral- und Schutzleiter, keine guten EMV-Eigenschaften.

TT-Netze

Dieses System ist ein 4-Leiter Netz mit einem geerdeten Neutralleiter - meist in der Nähe der speisenden Stromquelle - und Einzelerdung der Antriebe.

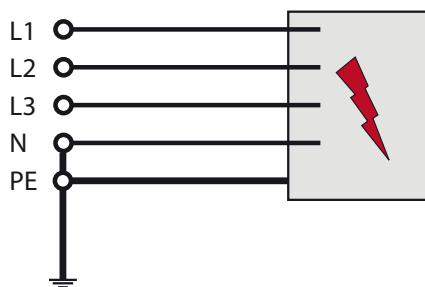
Dieses System bietet gute EMV-Eigenschaften, wenn die Erdungen sauber ausgeführt sind.

IT-Netze

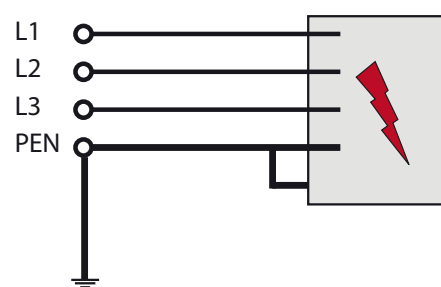
Dieses System ist ein isoliertes 4-Leiter Netz, bei dem der Neutralleiter entweder ungeerdet oder über eine Impedanz EMV Eigenschaften geerdet ist.

Hinweis: In IT-Systemen müssen alle EMV-Maßnahmen der Frequenzumrichter (Filter, etc.) abgeschaltet sein.

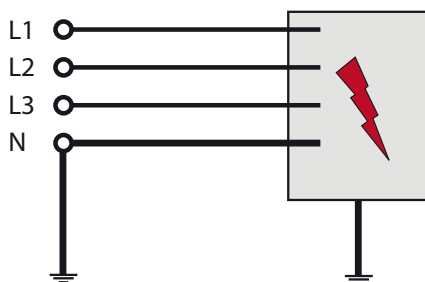
TN-S-System Neutralleiter und Schutzleiter getrennt



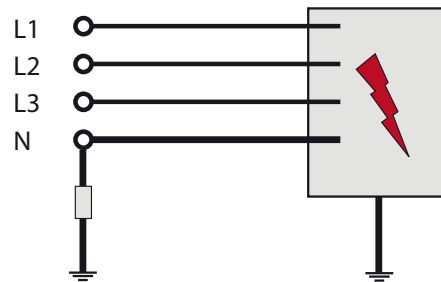
TN-C-System In der gesamten Anlage sind Neutralleiter und Schutzleiter zu einem Leiter zusammengefasst



TT-System Geerdeter Neutralleiter und Einzelerdung der Einrichtungen



IT-System Isoliertes Netz, der Neutralleiter kann über eine Impedanz geerdet oder ungeerdet sein



Netzformen für Stromverteilungsanlagen nach EN 50310 / HD 384.3

Praxis - Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)

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 eine sichere und störungsfreie Funktion beeinträchtigen oder verhindern. Daher ist es für Betreiber sowie Konstrukteure und Anlagenbauer wichtig, die Mechanismen der Wechselwirkung zu verstehen. Nur so können sie bereits in der Planungsphase angemessene und kostengünstige Gegenmaßnahmen ergreifen. Denn: Je später reagiert wird, desto teurer werden die Maßnahmen.

Elektromagnetische Einflüsse wirken in beide Richtungen

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

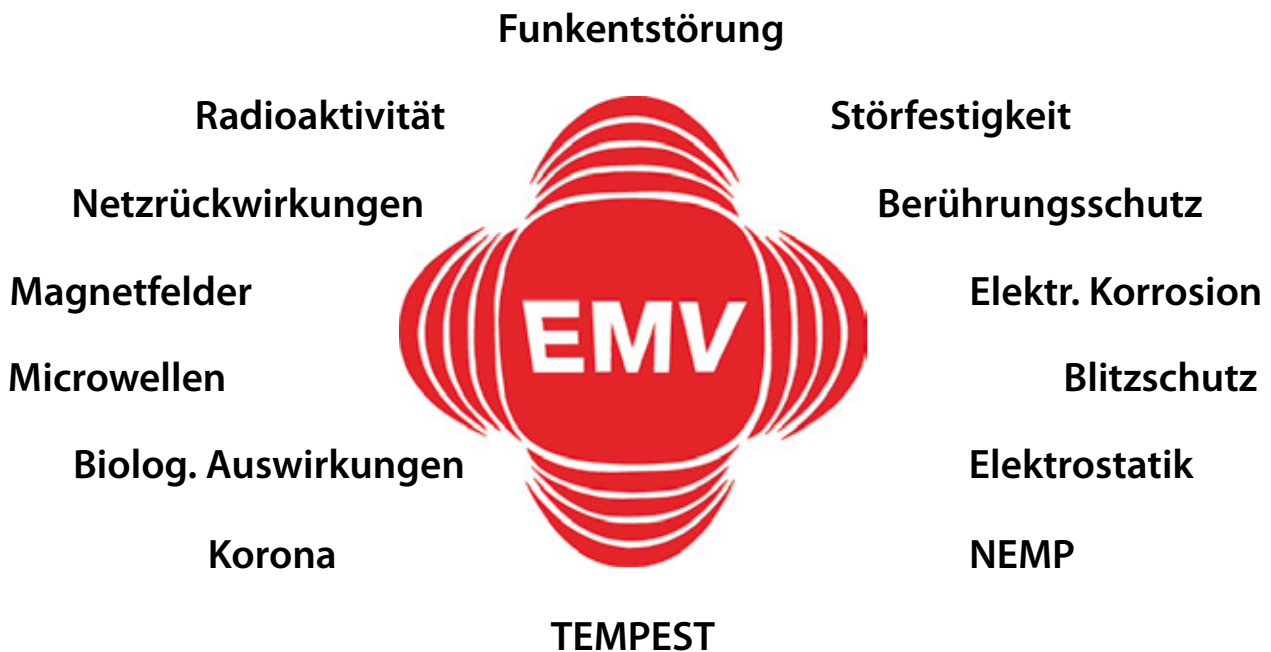
Die Verantwortung liegt beim Betreiber

Bisher musste der Hersteller einer Komponente oder Baugruppe für elektrische Antriebe Gegenmaßnahmen ergreifen, um die gesetzlichen Richtwerte einzuhalten. Mit der Norm EN 61800-3 für die Anwendung drehzahlveränderlicher Antriebe ist diese Verantwortung auf den Endanwender oder Betreiber der Anlage überge-

gangen. Hersteller müssen jetzt nur noch Lösungen für den normgerechten Einsatz anbieten. Die Beseitigung eventuell auftretender Störungen – spricht: den Einsatz dieser Lösungen – obliegt aber dem Betreiber und auch die daraus entstehenden Kosten.

Zwei Möglichkeiten der Reduzierung

Zur Sicherstellung der elektromagnetischen Verträglichkeit können Betreiber oder Anlagenbauer zwei Wege gehen. 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 zu 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 Netzurückwirkungen, Funkentstörung sowie Störfestigkeit von Interesse.

Praxis - Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)

Kabelgebundene und Strahlungseinflüsse unterscheiden

Grundsätzlich bestehen immer Wechselwirkungen zwischen mehreren Systemen. Dabei unterscheiden die Fachleute zwischen Störquelle und Störsenke, was sich in der Praxis oft als störendes beziehungsweise gestörtes Gerät darstellt. Dabei können als Störgrößen alle Arten elektrischer und magnetischer Größen auftreten, die eine unerwünschte Beeinflussung hervorrufen. Diese äußern sich beispielsweise als Netzoberschwingungen, in elektrostatischen Entladungen, in schnellen Spannungsänderungen oder in hochfrequenten Störspannungen bzw. Störfeldern. Netzoberschwingungen sind in der Praxis häufig als Netzurückwirkungen, bzw. harmonische Oberschwingungen oder auch nur als Harmonische bekannt.

Kopplungsmechanismen zwischen Stromkreisen

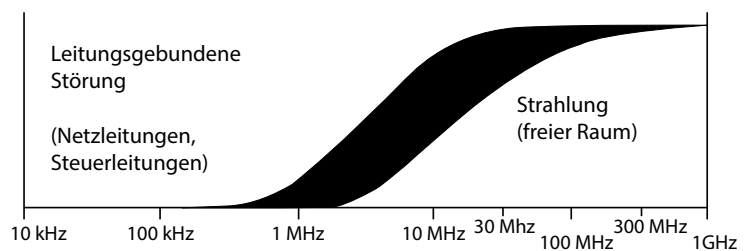
Doch wie erfolgt jetzt die Übertragung der Störenergie? Als elektromagnetische Aussendung kann die Übertragung grundsätzlich über Leitungen, elektrische Felder oder elektromagnetische Wellen erfolgen. Fachleute sprechen von galvanischer, kapazitiver und/oder induktiver Kopplung sowie Strahlungskopplung, also eine Wechselwirkung zwischen den verschiedenen Stromkreisen, bei der elektromagnetische Energie von einem in den anderen Kreis fließt.

- 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

- Eine induktive Kopplung tritt zwischen zwei Strom durchflossenen Leitern auf.
- Eine Strahlungskopplung liegt dann vor, wenn sich die Störsenke im Fernfeld eines von einer Störquelle erzeugten Strahlungsfelds befindet.

Der Übergang von der (elektromagnetischen) Betrachtung der leitungsgebundenen Kopplung und Strahlungskopplung liegt nach Norm bei 30 MHz. Dies entspricht einer Wellenlänge von 10 Metern. Darunter breiten sich die elektromagnetischen Störgrößen vorwiegend über Leitungen oder an elektrischen beziehungsweise magnetischen Feldern gekoppelt aus. Jenseits der 30 MHz wirken Leitungen und Kabel als Antennen und strahlen elektromagnetische Wellen ab.

Ausbreitungswege von Störgrößen



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

EMV im Zusammenhang mit Frequenzumrichtern

- | | | |
|--|---|---|
| Niederfrequente Einflüsse (leitungsgebunden) | ➡ | Netzurückwirkungen/Oberschwingungen |
| Hochfrequente Einflüsse (strahlungsgebunden) | ➡ | Funkstörungen (Emission elektromagnetischer Felder) |

Praxis - Netzqualität

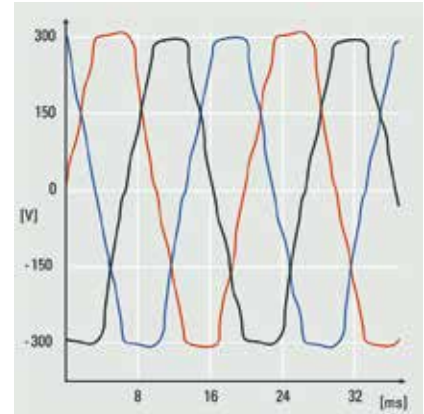
Niederfrequente Netzurückwirkungen

Versorgungsnetze in Gefahr

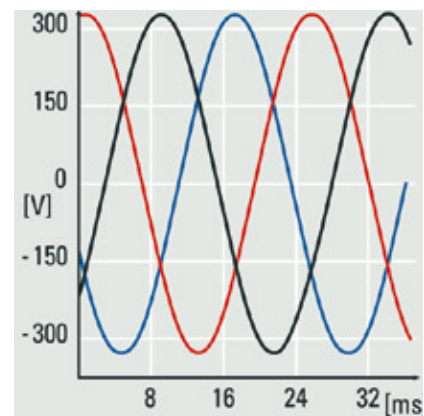
Die von den Energieversorgungsunternehmen (EVU) gelieferte Netzspannung für Haushalt, Gewerbe und Industrie sollte eine gleichförmige Sinusspannung konstanter Amplitude und Frequenz sein. Dieser Idealfall ist heute in öffentlichen Netzen nicht mehr anzutreffen. Die Ursache liegt zum Teil bei Verbrauchern, die einen nichtsinusförmigen Laststrom aus dem Netz aufnehmen bzw. eine nichtlineare Kennlinie haben, beispielsweise PC, Fernsehgeräte, Schaltnetzteile, Energiesparlampen oder auch Frequenzumrichter. 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 61000-3-12 sind Vorschriften bezüglich der Netzurückwirkungen der angeschlossenen Geräte. In der Gesamtbetrachtung 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.



Messungen zeigen eine deutliche Verzerrung der Netzspannung durch die Rückwirkungen nichtlinearer Verbraucher.



In unseren Netzen ist der Idealfall einer sinusförmigen Netzspannung kaum mehr anzutreffen.

Wie entstehen die Netzurückwirkungen

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. Die Eingangsgleichrichter von Frequenzumrichtern erzeugen eine solch typische Oberschwingungsbelastung des Netzes. Bei Frequenzumrichtern in 50 Hz-Netzen betrach-

tet man die 3. (150 Hz), 5. (250 Hz) oder 7. (350 Hz) Oberschwingung. Die Auswirkungen sind hier am stärksten. Den Gesamtoberschwingungsgehalt gibt die THD (Total Harmonic Distortion) oder der Klirrfaktor wieder.

Praxis - Niederfrequente Netzurückwirkungen

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.

Die Auswirkungen eines erhöhten Oberschwingungspegels sind:

Erhöhte Verluste

- Oberschwingungen benötigen zusätzlich einen Anteil an Wirkleistung, Scheinleistung und Blindleistung
- Verkürzte Lebensdauer der Geräte und Komponenten z. B. durch zusätzliche Erwärmung aufgrund von Resonanzen.
- Fehlfunktion, Beschädigung von elektrischen und elektronischen Verbrauchern z. B. als akustisches Brummen in anderen Geräten. Im schlimmsten Fall sogar Zerstörung.
- Falsche Messergebnisse, da nur Echt-Effektivwert-Messgeräte und Messsysteme Oberschwingungsanteile berücksichtigen.

Gibt es netzurückwirkungsfreie Frequenzumrichter?

Jeder Frequenzumrichter erzeugt Netzurückwirkungen. Allerdings betrachtet die aktuelle Norm nur den Frequenzbereich bis 2 kHz. Daher verschieben einige Hersteller Netzurückwirkungen in den von der Norm nicht definierten Bereich oberhalb von 2 kHz (siehe auch Seite 18, Abschnitt Schlanker Zwischenkreis) und bewerben diese als netzurückwirkungsfreie Geräte. Grenzwerte für diesen Bereich sind momentan in Beratung.

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

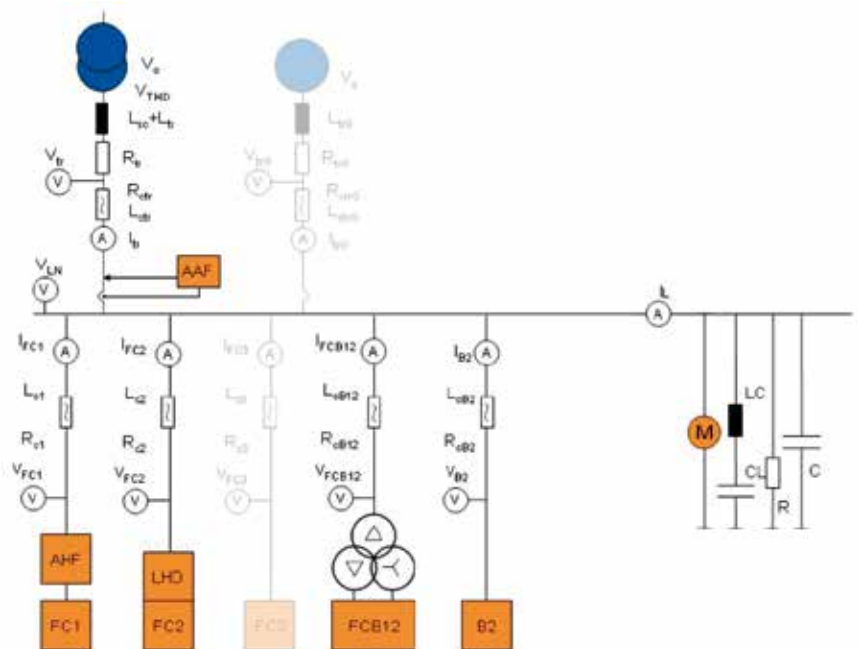
Unterspannungswarnungen

- Aufgrund der Verformung des Netzsinus wird die Spannung nicht richtig gemessen.
- Geringere Leistungsfähigkeit des Versorgungsnetzes

Netzurückwirkungen berechnen

Um die Netzspannungsqualität nicht zu stark zu belasten, sind für Anlagen und Geräte, die Oberschwingungsströme produzieren, verschiedene Verfahren zur Reduzierung, Vermeidung oder Kompensation einzusetzen. Netzberechnungsprogramme, 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 und die Verfügbarkeit der Anlagen sichern.

Bemerkung: Danfoss verfügt über sehr hohe EMV-Kompetenz und langjährige Erfahrung in diesem Bereich. Diese Erfahrung geben wir an unsere Kunden in Form von Schulungen, Seminaren, Workshops oder in der täglichen Praxis in Form EMV-Analysen mit detaillierter Auswertung oder Netzberechnungen weiter.



Praxis - Reduzierung von Netzurückwirkungen

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. Um die Netzspannungsqualität nicht zu stark zu belasten, lassen sich für Geräte, die Oberschwingungen produzieren, verschiedene Verfahren zur Reduzierung, Vermeidung oder Kompensation einsetzen:

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

Drosseln am Eingang oder im Zwischenkreis

Bereits einfache Drosseln reduzieren wirkungsvoll Oberschwingungen, die Gleichrichterschaltungen als Netzurückwirkungen ins Versorgungsnetz zurückspeisen. Hersteller von Frequenzumrichtern bieten sie in der Regel als zusätzliche oder nachträgliche Optionen an. Die Drosseln lassen sich vor den Frequenzumrichter, auf der Einspeiseseite oder in dessen Zwischenkreis, nach dem Gleichrichter,

schalten. Da die Induktivität an jeder Stelle die gleiche Wirkung hervorruft, ist die Bedämpfung der Netzurückwirkungen vom Einbauort unabhängig. Beide Varianten bieten Vor- und Nachteile. Netzseitige Drosseln sind teurer, größer und erzeugen höhere Verluste als Gleichstromdrosseln. Ihr Vorteil: Sie schützen den Gleichrichter auch vor Netztransienten. Gleichstromseitige Drosseln befinden sich im Zwischenkreis. Sie sind effektiver, aber meist nachträglich nicht nachzurüsten. Mit solchen Drosseln kann der Oberschwingungsgehalt eines B6-Gleichrichters von einem unverdrosselten Wert $THDi = 80\%$ auf einen Wert von ca. 40% reduziert werden. In der Praxis haben sich für Frequenzumrichter Drosseln mit einem U_k von 4% bewährt. Eine weitere Reduzierung kann nur mit speziell angepassten Filtern erfolgen.

Bemerkung: Danfoss VLT-Frequenzumrichter sind standardmäßig mit einer Zwischenkreisdrossel ausgestattet, die die Netzurückwirkungen auf einen Wert von $THDi = 40\%$ reduziert.

12-, 18- oder 24-pulsige Gleichrichter

Gleichrichterschaltungen höherer Pulszahl (12, 18 oder 24) erzeugen geringere Oberschwingungen. Sie kamen in der Vergangenheit oft im größeren Leistungsbereich zum Einsatz. Zur Versorgung ist allerdings ein spezieller Transformator erforderlich, der die gesamte benötigte Leistung in unterschiedlichen Sekundärwicklungen phasenversetzt den Gleichrichtergruppen zuführt. Nachteile dieser Technik sind, neben Aufwand und Platzbedarf für den speziellen Transformator, auch die höheren Investitionskosten für den Transformator und die Frequenzumrichter.

Passive Filter

Bei besonders hohen Anforderungen bzgl. Oberwellenfreiheit stehen optional passive Netzurückwirkfilter

zur Verfügung. Diese sind aus passiven Bauelementen wie Spulen und Kondensatoren aufgebaut. Dabei senken parallel zur Last geschaltete, speziell auf die einzelnen Harmonischen abgestimmte LC-Serienschwingkreise den Oberschwingungsgehalt $THDi$ an der Netzeinspeisung auf Werte von 10% oder auf 5% . Ein Filtermodul ist sowohl für einen einzelnen als auch für eine Gruppe von Frequenzumrichtern geeignet. Damit der Oberwellenfilter seine optimale Leistung entfalten kann, muss er auf den tatsächlich benötigten Eingangsstrom zum Frequenzumrichter angepasst sein. Passive Oberwellenfilter kommen schaltungstechnisch entweder vor einem Frequenzumrichter oder einer Gruppe von Frequenzumrichtern zum Einsatz.

Vorteile passiver Filter

Diese Art von Filter bietet ein gutes Preis-/Leistungsverhältnis. Mit relativ geringen Kosten erhält der Betreiber eine Reduzierung der Oberschwingungen wie sie mit 12- oder 18-pulsigen Gleichrichtern möglich ist. Eine Reduzierung des Oberwellenstromgehaltes auf einen THD -Wert = 5% . Passive Filter erzeugen keine Störungen im Frequenzbereich oberhalb von 2 kHz .

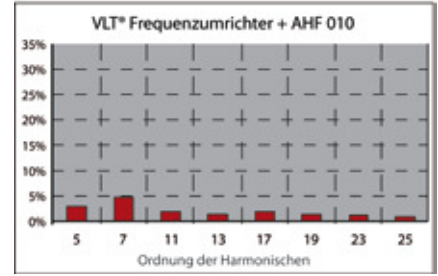
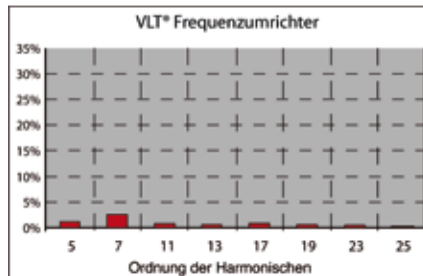
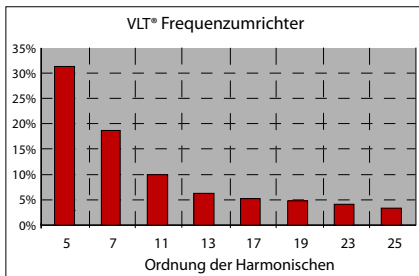
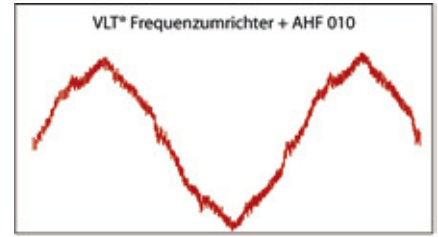
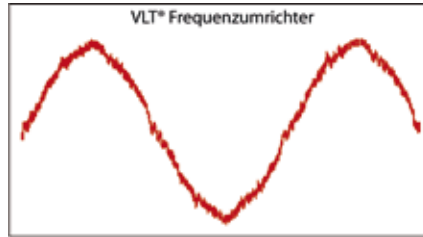
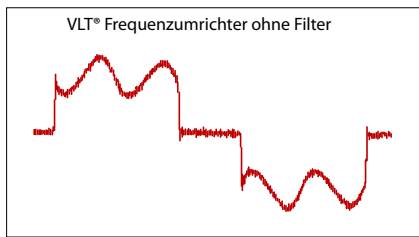
Da sie nur aus passiven Komponenten aufgebaut sind, tritt kein Verschleiß auf und es handelt sich um eine gegen elektrische Störungen und mechanische Belastung unempfindliche Lösung.

Nachteile passiver Filter

Passive Filter sind durch ihr Konstruktionsprinzip relativ groß und schwer. Filter dieser Kategorie arbeiten im Lastbereich von $80-100\%$ sehr effektiv. Mit abnehmender Last steigt jedoch die kapazitive Blindleistungsaufnahme und es empfiehlt sich, die Kondensatoren des Filters im Leerlaufbetrieb abzuschalten.



Praxis - Reduzierung von Netzurückwirkungen



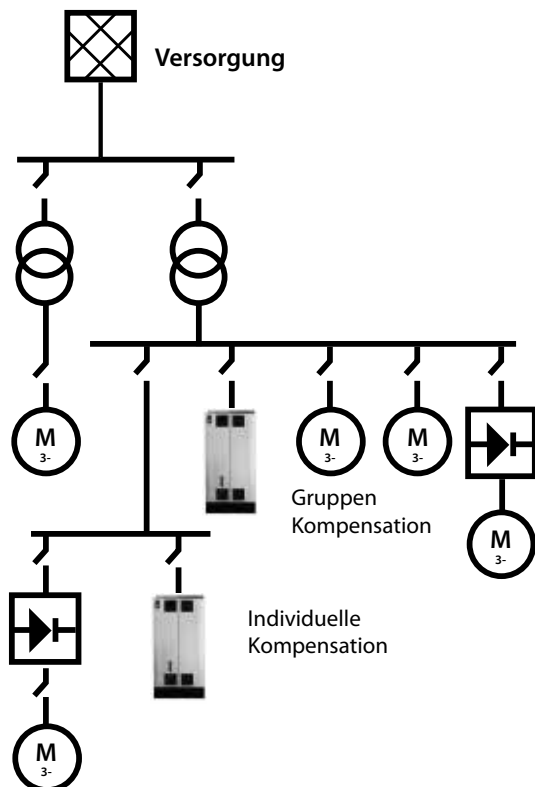
Passive Filter reduzieren die Oberschwingungsstrom-Verzerrung auf < 5 % oder < 10 %

Aktive Filter

Sind die Anforderungen bzgl. der Netzurückwirkungen noch höher, kommen aktive elektronische Filter zum Einsatz. Aktive Filter sind elektronische Saugkreise, die Betreiber parallel zu den Oberschwingungserzeugern anschließen. Sie analysieren

den von nichtlinearen Verbrauchern erzeugten Oberschwingungsstrom und liefern einen gegenphasigen Kompensationsstrom. Dies neutralisiert die entsprechenden Oberschwingungsströme am Anschlusspunkt vollständig.

Der Kompensationsgrad ist einstellbar. So lassen sich nach Wunsch Oberschwingungen fast vollständig kompensieren oder z. B. aus wirtschaftlichen Gründen nur soweit, dass die Anlage die gesetzlichen Grenzwerte einhält. Auch hier ist zu beachten, dass diese Filter mit einer Taktfrequenz arbeiten und die Netzspannung im Bereich 4 – 10 kHz belasten.



Aktive Filter lassen sich an beliebigen Stellen im Netz einfügen, abhängig davon, ob sie einzelne Antriebe, ganze Gruppen oder gar ganze Netze kompensieren sollen.

Vorteile aktiver Filter

Betreiber können aktive Filter als zentrale Maßnahme an einer beliebigen Stelle im Netz einfügen, abhängig davon, ob sie einzelne Antriebe, ganze Gruppen oder gar ganze Netze kompensieren wollen. Es ist nicht für jeden Frequenzumrichter ein eigener Filter erforderlich. Der Oberwellenstromgehalt sinkt auf einen THDi-Wert $\leq 2\%$.

Nachteile aktiver Filter

Ein Nachteil sind die relativ hohen Investitionskosten. Zudem haben diese Filter ab der 25. harmonischen Oberschwingung keine Wirkung mehr. Zu berücksichtigen sind bei der aktiven Filtertechnik außerdem die Auswirkungen oberhalb von 2 kHz, die diese Filter selbst erzeugen. Sie erfordern weitere Maßnahmen, um das Netz sauber zu halten.

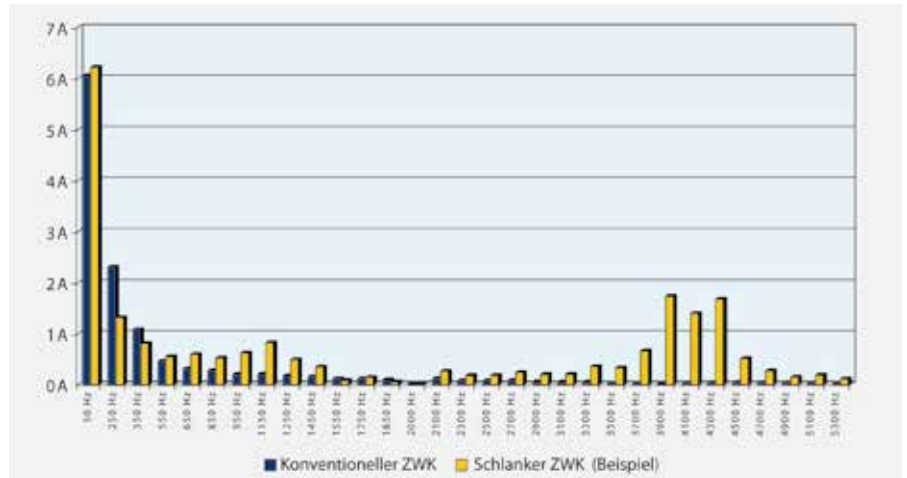
Praxis - Reduzierung von Netzurückwirkungen

Schlanker Zwischenkreis

In den letzten Jahren kamen verstärkt Frequenzrichter mit einem sogenannten schlanken "Zwischenkreis" auf den Markt. Bei diesem Verfahren setzen die Hersteller die Kapazität der Zwischenkreiskondensator stark herab. Dies begrenzt auch ohne Drossel die 5. Harmonische des Stromes auf einen Wert THDi < 40 %.

Allerdings entstehen im oberen Frequenzspektrum Oberschwingungen, die sonst nicht auftreten. Durch das breite Frequenzspektrum von Geräten mit schlankem Zwischenkreis steigt die Gefahr von Resonanzen mit anderen Bauteilen im Netz, beispielsweise von Leuchtstofflampen oder Trafos. Die Auslegung geeigneter Maßnahmen gestaltet sich dementsprechend zeitintensiv und sehr schwierig.

Zusätzlich weisen Umrichter mit schlankem Zwischenkreis Schwächen auf der Lastseite auf. Bei diesen Umrichtern treten bei Laständerungen wesentlich höhere Spannungsänderungen auf. Daher neigen sie bei Lastwechsel an der Motorwelle eher zum Schwingen. Auch Lastabwürfe sind problematisch. Bei Lastabwürfen erzeugt der Motor generatorisch Energie mit hohen Spannungsspitzen. Um sich gegen eine Zerstörung durch Überlastung bzw. Überspannung zu schützen, reagieren Geräte mit schlankem Zwischenkreis hier schnell



Bei Umrichtern mit schlankem Zwischenkreis treten insbesondere in den höheren Frequenzbereichen erhöhte Oberschwingungen auf

ler als konventionelle Geräte mit einer Abschaltung.

Aufgrund der kleinen oder fehlenden Kondensatoren können Umrichter mit schlankem Zwischenkreis Netzeinbrüche nur schlecht überbrücken. Als Faustformel hat ein schlanker Zwischenkreis ca. 10x weniger Kapazität als ein konventioneller Zwischenkreis.

Neben den Netzurückwirkungen 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.

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.



Bei Geräten mit schlankem Zwischenkreis steigt die Neigung zum „Schwingen“ bei größeren Lastwechseln

Praxis - Reduzierung von Netzurückwirkungen

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 Schaltaufwand 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 der AFE-Geräte nicht getrennt, bedeutet der Ausfall des Filters auch den Ausfall des gesamten Gerätes. Ein weiterer Nachteil ist die Taktfrequenz,

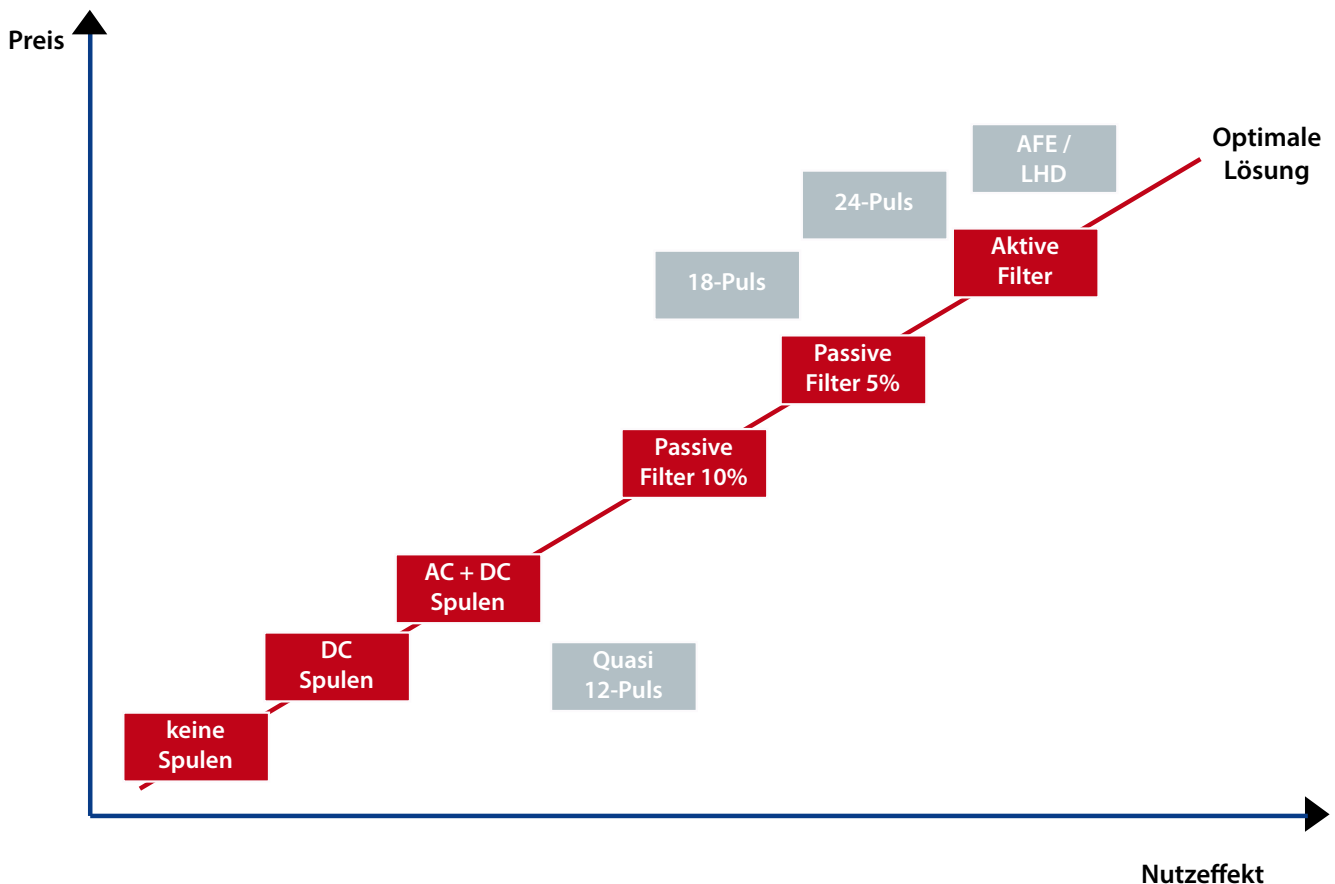
mit der die Geräte die Korrektur des Eingangsstromes vornehmen. Sie liegt zwischen 4-20 kHz. Gute, technisch aufwändigere Geräte filtern diese Taktfrequenz vor der Einspeisung ins Netz wieder heraus. Die derzeit gültigen Normen und Gesetze decken diesen Frequenzbereich bislang nicht ab. Aktuelle Netzanalysatoren 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 Geräte 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.

Danfoss Lösung

Das AFE ist als separater aktiver Filter ausgelegt.

- Weniger Verluste, da der Filter nur auf den zu kompensierenden Strom ausgelegt wird
- Bei Ausfall des Filters arbeitet der Umrichterteil weiter
- Höhere Zwischenkreisspannung wird nicht an den Motor weitergegeben.



Praxis - Hochfrequente Funkstörungen

Funkstörungen

Frequenzrichter erzeugen variable Drehfeldfrequenzen bei entsprechenden Motorspannungen durch rechteckige Spannungspulse mit verschiedener Breite. In den steilen Spannungsflanken sind hochfrequente Anteile enthalten. Motorkabel und Frequenzrichter strahlen sie ab und leiten sie auch über die Leitung zum Netz hin. Zur Reduzierung derartiger Störgrößen auf die 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 Netzdrosseln ist auch bei Funkentstörfiltern die Qualität des einzusetzenden Filters klar zu definieren. In der Normen, Produktnorm 61800-3 und Fachgrundnorm EN 55011, sind konkrete Grenzwerte für Störpegel definiert.

Produktnorm EN 61800-3 (2005-07) für elektrische Antriebssysteme				
Zuordnung nach Kategorie	C1	C2	C3	C4
Umgebung	1. Umgebung	1. oder 2. Umgebung (Entscheidung des Betreibers)	2. Umgebung	2. Umgebung
Spannung/Strom		< 1000 V		>1000 V I _n >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

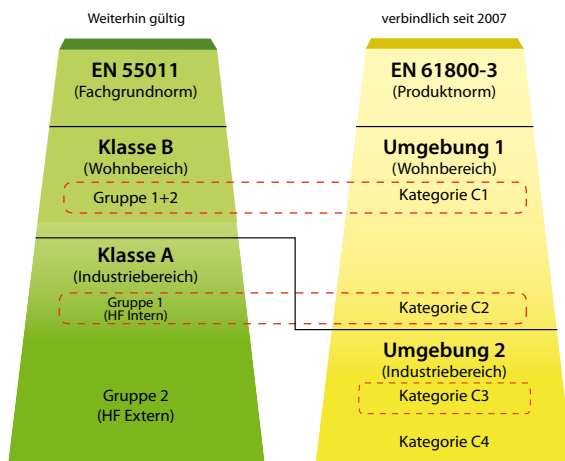
Normen und Richtlinien definieren Grenzwerte

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.

Hinweis:
EN 55011: Muss der Anlagenbetreiber bei Problemen einhalten
EN 61800-3: Muss der Hersteller des Umrichters beachten.

Gegenüberstellung der Grenzwerte*



* Störaussendung

Gegenüberstellung der neuen Kategorien C1 bis C4 gemäß Produktnorm EN 61800-3 und der Klassen A und B der Umgebungsnorm EN 55011.

Praxis - 1. und 2. Umgebung

Der Einsatzort entscheidet

Die Grenzwerte für die jeweilige Umgebung sind durch die entsprechenden Normen vorgegeben. Doch wie erfolgt die Einteilung in die verschiedenen Umgebungstypen? Auch hier geben die Normen EN 55011 und EN 61800-3 für den Bereich der elektrischen Antriebssysteme und Komponenten Auskunft:

1. Umgebung / Klasse B:

Wohnbereich

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. Beispiele hierfür sind: Geschäftsräume, Wohngebäude/ Wohnflächen, Gastronomie- und Unterhaltungsbetriebe, Parkplätze, Vergnügungsanlagen oder Sportanlagen.

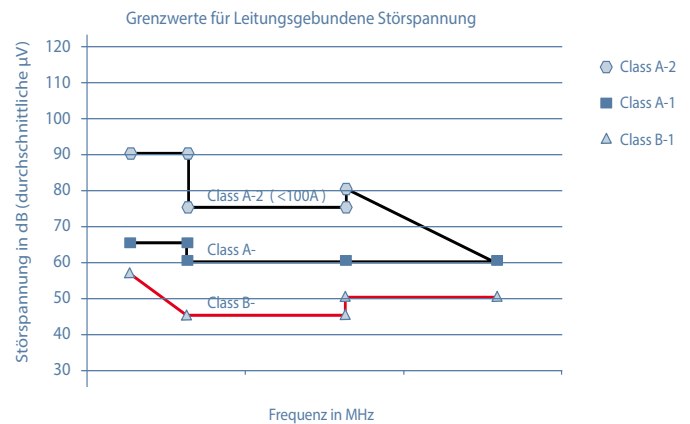
2. Umgebung / Klasse A:

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
- Auftreten hoher magnetischer Felder (z. B. wegen hohen Stromstärken)

Die Umgebungsbereiche gelten sowohl innerhalb als auch außerhalb der Gebäude.



Grenzwerte für leitungsgebundene Störspannung gemäß EN 55011

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 unter bestimmten Bedingungen ein fehlerfreies Funktionieren gewährleistet. Beispiele hierfür sind technische Bereiche von Einkaufszentren, Supermärkten, Tankstellen, Bürogebäuden oder Lager.

Keine Kompromisse

Werden Frequenzrichter verwendet, die nicht der Kategorie C1 entsprechen, dann müssen die Geräte mit einem Warnhinweis versehen werden. Diese Aufgabe obliegt dem Anwender/Betreiber. Im Falle einer Störung legen Sachverständige in jedem Fall zur Störungsbeseitigung die Grenzwerte A1/2 und B der Fachgrundnorm EN 55011 entsprechend der Einsatzumgebung zugrunde. Die Kosten für die Beseitigung der EMV-Störungen trägt der Betreiber. Für die passende Zuordnung der Klassen in diesen beiden Normen ist letztendlich der Anwender selbst verantwortlich.

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



Praxis - Maßnahmen zum Schutz des Netzes

Blindstromkompensation

Blindstromkompensationsanlagen dienen der Kompensation des Phasenverschiebungswinkels φ zwischen Spannung und Strom sowie der Verschiebung des Leistungsfaktors $\cos \varphi$ in Richtung 1. Dies ist erforderlich, wenn viele induktive Verbraucher (Motoren, Vorschaltgeräte für Lampen, etc.) in einem Versorgungsnetz zum Einsatz kommen. Frequenzumrichter nehmen je nach Ausführung des Zwischenkreises keinen Blindstrom aus dem Versorgungsnetz auf und erzeugen keine

Phasenverschiebung. Der $\cos \varphi$ ist etwa 1. Aus diesem Grunde brauchen Anwender drehzahlgeregelte Motoren bei der Dimensionierung einer eventuellen Blindstromkompensationsanlage nicht zu berücksichtigen. Da Frequenzumrichter aber Oberschwingungen erzeugen, steigt der Aufnahme-Strom der Blindstromkompensationsanlage an. Die Belastung der Kondensatoren wächst mit der Anzahl der Oberschwingungserzeuger und sie erwärmen sich stärker. Aus diesem Grunde muss der

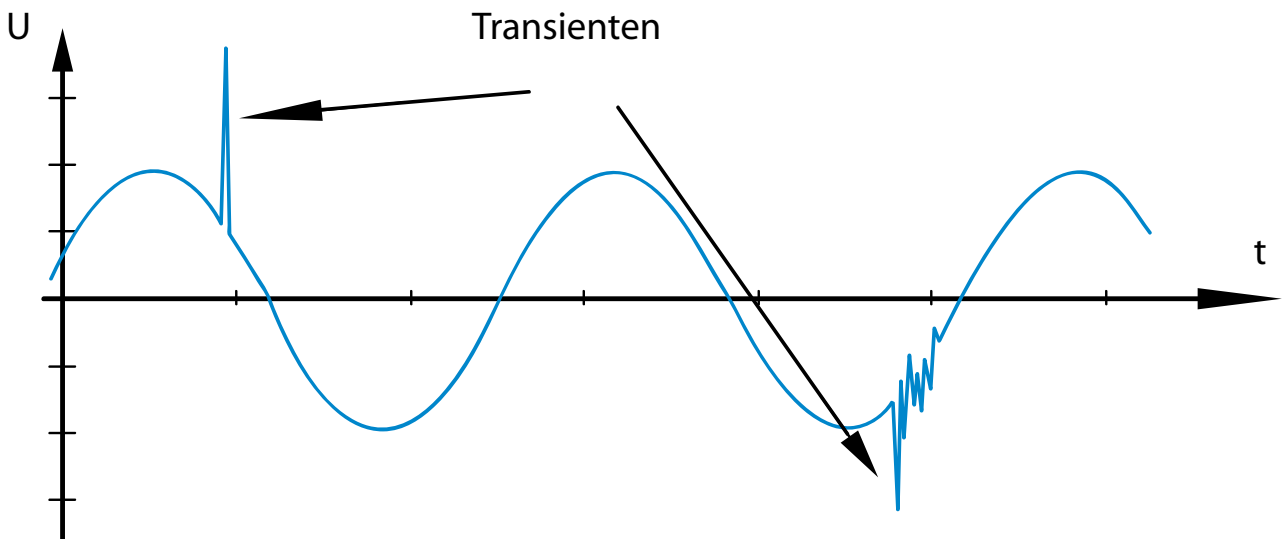
Betreiber seine Blindstromkompensationsanlagen verdrosselt ausführen. Zudem verhindert die Verdrosselung, dass Resonanzen zwischen den Induktivitäten der Verbraucher und der Kapazität der Kompensationsanlage entstehen. Ebenso erfordern Umrichter mit $\cos j < 1$ eine Verdrosselung der Kompensationsanlage. Zusätzlich muss der Anwender den höheren Blindstrom bei der Kabelauslegung beachten.

Netztransienten

Transienten sind kurzzeitige Überspannungsspitzen im Bereich von einigen 1000 V. Auftreten können sie in allen Versorgungsnetzen, sei es in der Industrie oder auch in Wohnbereichen. Eine häufige Ursache von Transienten sind Blitzeinschläge. Sie entstehen aber auch dadurch, dass große Verbraucher im Versorgungsnetz ein- und ausgeschaltet werden oder z. B.

Blindstromkompensationsanlagen schalten. Kurzschlüsse, das Auslösen von Sicherungen in Versorgungsnetzen und magnetisch induktive Kopplung in parallel verlaufenden Kabeln können ebenfalls Transienten verursachen. Die Norm EN 61000-4-1 stellt dar, welche Formen diese Transienten haben und welche Energie in ihnen enthalten ist. Ihre schädigenden

Auswirkungen lassen sich mit verschiedenen Methoden begrenzen. Für energiereiche Transienten kommen als Grobschutz Gasableiter oder Funkenstrecken zum Einsatz. Elektronische Geräte nutzen zur Bedämpfung als Feinschutz meist spannungsabhängige Widerstände (Varistoren). Frequenzumrichter greifen ebenso auf diese Lösung zurück.



Blitzeinschläge gehören zu den häufigsten Verursachern von Netztransienten in HLK- und Klimaanlageanlagen.

Praxis - Betrieb am Transformator oder Notstromgenerator

Maximale Transformatorauslastung

Betreiber können in Niederspannungsnetzen (400 V, 500 V, 690 V) drehzahlgeregelte 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 Frequenzrichterlast verträgt der Transformator?

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

Bemerkung: Frequenzumrichter der Serie VLT® HVAC Drive verfügen alle über eine standardmäßig integrierte Netzurückwirkdrossel.

Betrieb am Notstromgenerator

Betreiber setzen immer dann Netzersatzanlagen ein, wenn sie wie z. B. im Krankenhaus 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

Beim Betrieb von Oberschwingungserzeugern gelten die Grenzen wie folgt:

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.

Schritt 2: Praxis - Umgebungs- und Umweltbedingungen

Der richtige Einbauort

Eine hohe Verfügbarkeit und Standzeit im Einsatz befindlicher Frequenzumrichter ist nur bei richtiger Kühlung und sauberer Luft gegeben. Daher beeinflusst die Wahl des Einbauortes und der Einbauverhältnisse maßgeblich die Lebensdauer dieser Geräte.

Schaltschrank- oder Wandmontage?

Die Frage, Frequenzumrichter zentral in einem Schaltschrank oder dezentral an einer Wand zu montieren, ist nicht mit richtig oder falsch zu beantworten. Denn beide Varianten bieten sowohl Vor- als auch Nachteile. Die Schaltschrankvariante bietet den Vorteil, alle elektrischen und elektronischen Komponenten dicht beisammen und geschützt in einem Gehäuse, dem Schaltschrank, unterzubringen. Der Schaltschrank kommt dabei fertig bestückt als komplette Einheit zum Einbau in die Anlage. Nachteilig ist, dass sich Komponen-

ten durch die räumliche Baudichte innerhalb des Schanks gegenseitig beeinflussen können und daher dem EMV-konformen Aufbau des Schaltschranks besondere Bedeutung zukommt. Außerdem steigen die Investitionskosten für geschirmte Motorkabel, da Schaltschrank und Antrieb in der Regel deutlich weiter voneinander getrennt stehen, als bei der dezentralen Lösung.

Die Wandmontagevariante ist aufgrund der räumlichen Nähe zwischen Frequenzumrichter und Antrieb aus EMV-Sicht einfacher zu handhaben und kommt deswegen auch mit deutlich geringeren Kosten für geschirmte Motorkabel aus. Der geringe Mehrpreis für einen Frequenzumrichter in Schutzart IP54 fällt kaum ins Gewicht. Im Bereich der Heizung, Klima und Lüftungstechnik werden ca. 80% aller Geräte in der Schutzart IP54 oder höher eingesetzt.

Bemerkung:

Danfoss Frequenzumrichter stehen in drei Schutzarten zur Verfügung:

- Schutzart IP00/20 für den Einbau in Schaltschränke
- Schutzart IP54/55 für dezentrale Montage
- Schutzart IP66 für kritische Umgebungsbedingungen, wie extrem hohe (Luft-) Feuchtigkeit oder starke Verschmutzung durch Staub oder aggressive Gase.



Frequenzumrichter lassen sich zentral, in Schaltschränke oder dezentral in der Nähe des Antriebs installieren. Beide Konzepte haben Vor- und Nachteile.

Praxis - IP-Schutzklassen

Struktur der IP-Schutzklassen nach IEC 60529

		Gegen Eindringen von festen Fremdkörpern	Gegen Zugang zu gefährlichen Teilen mit
Erste Kennziffer	0	(nicht geschützt)	(nicht geschützt)
	1	≥ 50 mm Durchmesser	Handrücken
	2	12,5 mm Durchmesser	Finger
	3	2,5 mm Durchmesser	Werkzeug
	4	≥ 1,0 mm Durchmesser	Draht
	5	Staubgeschützt	Draht
	6	Staubdicht	Draht
		Gegen Eindringen von Wasser mit schädlicher Wirkung	
Zweite Kennziffer	0	(nicht geschützt)	
	1	senkrecht Tropfen	
	2	Tropfen (15° Neigung)	
	3	Sprühwasser	
	4	Spritzwasser	
	5	Strahlwasser	
	6	starkes Strahlwasser	
	7	zeitweiliges Untertauchen	
	8	dauerndes Untertauchen	
		Ergänzende Information speziell für	
Erste Kennziffer	A		Handrücken
	B		Finger
	C		Werkzeug
	D		Draht
		Ergänzende Information speziell für	
Ergänzender Buchstabe	H	Hochspannungsgeräte	
	M	Bewegung während Wasserprüfung	
	S	Stillstand während Wasserprüfung	
	W	Wetterbedingungen	

Fehlende Kennziffern werden durch ein >X< ersetzt.



Berührungssichere Umrichter in den Schutzarten IP20 und 21 (Bild rechts) sind für die Montage in Schaltschränken vorgesehen. Spritzwasser geschützte Umrichter in den Schutzarten IP 54 und 55 (Bild links) sind für die Montage an Wänden oder auf Rahmen konzipiert.

Praxis - Kühlkonzept

Die äußeren klimatischen Bedingungen und Umgebungsvariablen haben auf die Kühlung aller elektrischen und elektronischen Komponenten eines Schalttraums/Schaltschranks einen entscheidenden Einfluss.

Umgebungstemperaturen einhalten

Für alle Frequenzumrichter sind Temperaturgrenzen für die minimale und maximale Umgebungstemperatur angegeben. Meist sind diese Grenzen durch die eingesetzten elektronischen Komponenten vorgegeben. So darf beispielsweise die Umgebungstemperatur für die im Zwischenkreis eingebauten Elektrolytkondensatoren aufgrund der Temperaturabhängigkeit der Kapazität eine gewisse Grenze nicht unterschreiten. Obwohl Frequenzumrichter noch bis -10°C funktionieren, garantieren Hersteller den Betrieb bei Bemessungsleistung erst ab 0°C . Vermeiden Sie daher den Einsatz in frostgefährdeten Bereichen (z. B. in nicht isolierten Betriebsräumen).

Doch auch die Maximaltemperatur sollten Sie nicht überschreiten. Elektronische Komponenten sind empfindlich gegen Wärme. Nach dem Arrhenius-Gesetz halbiert sich die Lebensdauer eines elektronischen Bauteils pro 10°C , die es über seiner Auslegungstemperatur betrieben wird. Dies gilt nicht nur für Geräte, die in Schaltschränken eingebaut sind. Auch bei Einsatz von Geräten der Schutzklassen IP54, IP55 und IP66 darf die Umgebungstemperatur die, in den Handbüchern geforderten Werte nicht über- oder unterschreiten. Dies hat eventuell die Klimatisierung von Montageräumen oder Schaltschränken zur Folge. Die Vermeidung extremer Umgebungstemperaturen erhöht die Lebensdauer von Frequenzumrichtern und damit die gesamte Anlagenverfügbarkeit.

Kühlung

Frequenzumrichter geben Verlustleistung in Form von Wärme ab. Die Größe der Verlustleistung in Watt ist in

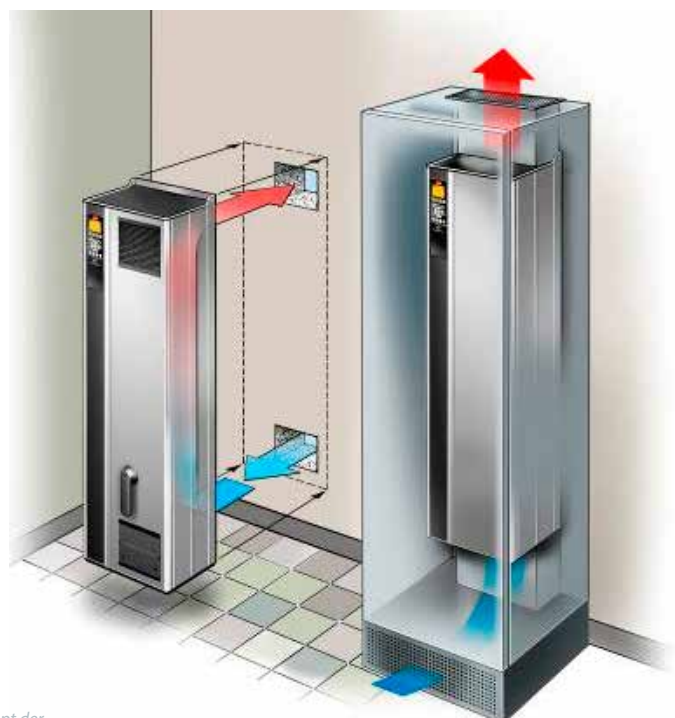
den technischen Daten der Frequenzumrichter angegeben. Betreiber sollten geeignete Maßnahmen ergreifen, die entstehenden Wärmeverluste der Frequenzumrichter aus dem Schaltschrank abzuführen, beispielsweise durch Schaltschranklüfter. Die erforderlichen Luftmengen sind in den Herstellerunterlagen angegeben. Frequenzumrichter sind so zu montieren, dass der Kühlluftstrom auch ungehindert durch die Kühlrippen des Gerätes strömen kann.

Besonders bei IP20 Geräten im Schaltschrank besteht die Gefahr, dass durch zu enge Montage der Schaltschrankkomponenten der Luftstrom nicht frei zirkulieren kann und Wärmeneister entstehen. Die richtigen, unbedingt einzuhaltenden Montageabstände finden Sie in den Handbüchern.

Hinweis: Beachten Sie, dass einige Hersteller von Frequenzumrichtern neben Mindestabständen ober- und unterhalb der Geräte, auch seitliche Abstände zum nächsten Gerät vorschreiben.

Luftfeuchtigkeit

Obwohl Frequenzumrichter zum Teil noch bei relativ hoher Luftfeuchtigkeit funktionieren (Danfoss bis zu 95 % Luftfeuchtigkeit), muss eine Betauung ausgeschlossen sein. Diese Gefahr besteht besonders dann, wenn der Frequenzumrichter oder Teile von ihm kälter sind, als die mit hoher Feuchtigkeit beladene Umgebungsluft. Die Luftfeuchtigkeit kann dann auf der Elektronik kondensieren. Beim Wiedereinschalten können die Wassertröpfchen dann zu einem Kurzschluss in der Elektronik führen. Normalerweise tritt dies nur bei vom Netz getrennten Frequenzumrichtern auf. Daher empfiehlt sich dort, wo aufgrund der Umgebungsbedingungen eine Betauung nicht auszuschließen ist, eine Schaltschrankheizung vorzusehen. Alternativ hilft auch ein Standby-Betrieb des Frequenzumrichters (FU ständig am Netz), um die Gefahr der Betauung zu verringern. Es ist allerdings zu prüfen, ob die Verlustleistung in Form von Verlustwärme ausreichend ist, um die Elektronik im Frequenzumrichter trocken zu halten.



Das intelligente Kühlkonzept der VLT® Frequenzumrichter führt bis zu 85% der Verlustwärme aus dem Gerätegehäuse über Kühlkanäle ab.

Praxis - Besondere Anforderungen

Aggressive Luft oder Gase

In Industrieanlagen oder Schwimmbädern treten häufig aggressive Gase, wie beispielsweise Schwefelwasserstoff, Chlor oder Ammoniak auf. Eine Kontamination der Kühlluft kann zu einer allmählichen Zersetzung von Elektronikbauteilen und Leiterbahnen in Frequenzumrichtern führen. Betroffen sind davon alle elektronischen Geräte in der Elektroinstallation bzw. im Schaltschrank. Liegt eine solche Kontamination der Umgebungsluft vor, sollten Betreiber/Anlagenbauer die Frequenzumrichter entweder an Orten einbauen, an denen eine Kontamination mit Sicherheit ausgeschlossen ist (anderes Gebäude, gekapselter Schaltschrank mit Wärmetauscher,

etc.) oder sie sollten Geräte bestellen, deren Platinen mit einem speziellen Schutzlack beschichtet sind, der den aggressiven Gasen widersteht. Ein deutliches Zeichen für aggressive Umgebungsluft ist die Korrosion von Kupfer. Wenn sich dieses innerhalb kürzerer Zeit schwarz färbt, Blasen wirft oder sich sogar zersetzt, sollten Platinen/Geräte mit einer zusätzlichen Lackierung zum Einsatz kommen. Gegen welche Medien in bestimmter Konzentration eine Beschichtung widersteht, ist in der internationalen Norm IEC 60721-3-3 beschrieben.

Hinweis: Überlegen Sie bereits in der Planungs- und Projektierungsphase woher die Luft zur Kühlung von Elektroinstallationen kommt.

Vermeiden Sie beispielsweise auf Kläranlagen ein Ansaugen der Luft im Zulaufbereich oder bei Schwimmbädern ein Ansaugen aus dem Wasseraufbereitungsbereich.

Bemerkung: VLT® HVAC Drive verfügt serienmäßig über eine Beschichtung der Klasse 3C2. Auf Wunsch ist auch eine Beschichtung nach Klasse 3C3 erhältlich.

Umgebungsparameter	Einheit	Klasse				
		3C1	3C2		3C3	
			Durchschnitt Wert	Max. Wert	Durchschnitt Wert	Max. Wert
Meersalz	mg/m ³	Nein	Salznebel		Salznebel	
Schwefeloxid	mg/ m ³	0,1	0,3	1,0	5,0	10
Schwefelwasserstoff	mg/ m ³	0,01	0,1	0,5	3,0	10
Chlor	mg/ m ³	0,01	0,1	0,03	0,3	1,0
Chlorwasserstoff	mg/ m ³	0,01	0,1	0,5	1,0	5,0
Fluorwasserstoff	mg/ m ³	0,003	0,01	0,03	0,1	3,0
Ammoniak	mg/ m ³	0,3	1,0	3,0	10	35
Ozon	mg/ m ³	0,01	0,05	0,1	0,1	0,3
Stickstoff	mg/ m ³	0,1	0,5	1,0	3,0	9,0

Klassifikation gemäß IEC 60721-3-3 "Durchschnittswerte" sind zu erwartende Langzeitwerte
"Max. Werte" sind vorübergehende Spitzenwerte die pro Tag nicht länger als 30 Minuten auftreten.

Praxis - Besondere Anforderungen

Staubbelastung

Der Einbau von Frequenzumrichtern in Umgebungen mit hoher Staubbelastung lässt sich in der Praxis oft nicht vermeiden. Dieser Staub setzt sich überall ab und dringt auch in jede noch so kleine Ritze. Betroffen sind dabei nicht nur dezentral, an Wänden und Rahmen montierte Frequenzumrichter, in den Schutzarten IP55 oder IP66, sondern auch Geräte in Schutzart IP21, IP20, die im Schaltschrank montiert sind.

Werden Frequenzumrichter in solchen Umgebungen verbaut, sind drei Dinge zu beachten:

Verminderte Kühlung

Der Staub setzt sich auf der Oberfläche der Geräte und auch im Inneren der Geräte auf den Platinen sowie den elektronischen Komponenten ab. Er wirkt dann wie eine Isolationsschicht

und die Komponenten können Wärme schlechter an die umgebende Luft abgeben. Dies reduziert die Kühlleistung. Die Komponenten erwärmen sich stärker. Eine schnellere Alterung der elektronischen Komponenten ist die Folge und die Lebensdauer der betroffenen Frequenzumrichter sinkt. Das gleiche geschieht, wenn sich der Kühlkörper an der Rückseite von Frequenzumrichtern mit Staub zusetzt.

Kühllüfter

Der Luftstrom zur Kühlung von Frequenzumrichtern wird durch Kühllüfter erzeugt, die meist an der Rückseite der Geräte sitzen. Die Rotoren in den Lüftern haben kleine Lager, in die der Staub eindringt und dort wie ein Schleifmittel wirkt. Die Folge sind Ausfälle von Lüftern wegen Lager Schäden.

Filtermatten

Vor allem Frequenzumrichter im größeren Leistungsbereich verfügen über Kühllüfter, die die warme Luft aus dem Geräteinneren nach außen fördern. Diese Lüfter haben ab einer bestimmten Größe Filtermatten, die das Eindringen von Staub ins Gerät verhindern. Beim Einsatz in sehr staubigen Umgebungen setzen sich diese Filtermatten sehr schnell zu und die Lüfter können die Komponenten im Frequenzumrichter nicht mehr richtig kühlen.

Hinweis: Es ist ratsam, unter den oben genannten Gegebenheiten in regelmäßigen Wartungsintervallen die Frequenzumrichter zu reinigen: Staub aus dem Kühlkörper und den Lüftern blasen und die Filtermatten säubern.



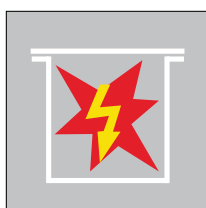
Praxis - Ex-Bereich

Ex-gefährdete Bereiche

Antriebssysteme arbeiten häufig in explosionsgefährdeten Bereichen. Ein Beispiel hierfür ist der Zulaufbereich von Kläranlagen. Kommen dort zur Drehzahlregelung dieser Antriebe Frequenzumrichter zum Einsatz, müssen Anlagen besondere Bestimmungen erfüllen. Die Grundlage bildet hier die EU-Richtlinie 94/9/EG, die sogenannte ATEX-Richtlinie. Sie beschreibt den Einsatz und Betrieb von Ausrüstung und Schutzvorrichtungen in explosionsgefährdeter Umgebung. Die Richtlinie vereinheitlicht EU-weit die Regeln und Anforderungen für den Betrieb elektrischer und elektronischer Geräte in potentiell gefährlicher Umgebung, beispielsweise hervorgerufen durch Stäube oder Gase.

Regeln Frequenzumrichter Motoren in Ex-gefährdeten Bereichen, müssen diese Motoren mit einer Temperaturüberwachung durch Kaltleitertemperaturfühler ausgestattet sein. Zur Auswahl stehen Motoren der Zündschutzart „d“ und auch „e“. Der Unterschied zwischen den Zündschutzarten besteht in der Art und Weise, mit der das Zünden eines explosiven Mediums unterbunden wird. In der Praxis kamen an Frequenzumrichtern sehr selten Motoren mit der Schutzart „e“ zum Einsatz. Eine solche Kombination muss zusammen als eine Einheit mit einer aufwendigen und teuren Baumusterprüfung abgenommen werden. Als Alternative hat die PTB in

Ex d - Druckfeste Kapselung



Bei der Zündschutzart „d“ wird sichergestellt, dass, wenn in einem geschützten Bereich (z. B. einem Gehäuse) ein Funke entsteht, dieser den geschützten Bereich nicht verlassen kann.

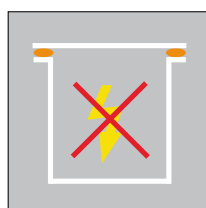


Kennzeichnung von Geräten für den Betrieb in explosionsgefährdeten Bereichen nach ATEX Produktrichtlinie 94/9/EG

Braunschweig ein neues Zulassungsverfahren entwickelt, das zukünftig den Einsatz von Drehzahlregelungen an Ex e Motoren deutlich einfacher macht. Das neue Konzept sieht nur die Abnahme des Motors selbst vor, der jedoch in seiner EG-Baumusterprüfbescheinigung spezielle Anforderungen für die thermische Überwachung definiert. Neben der üblichen zertifizierten Kaltleiterauswertung wird zusätzlich eine drehzahlabhängige Strombegrenzung gefordert, um der reduzierten Kühlung von eigenbelüfteten Motoren bei Drehzahlregelung Rechnung zu tragen.

Eine separate Abnahme für Motoren der Schutzart „d“ ist nicht erforderlich, allerdings ist die Einführung der Kabel in den „d“ Bereich recht aufwendig. Die meiste Verbreitung haben „de“ Motoren. Der Motor selbst hat dabei die Zündschutzart „d“, während der Anschlussraum nach Zündschutzart „e“

Ex e - Erhöhte Sicherheit



Bei der Zündschutzart „e“ wird verhindert, dass eine Energiemenge entsteht, die einen Funken erzeugen kann.

ausgeführt ist. Die Einschränkung des „e“ Anschlussraums liegt in der maximalen Spannung, die in ihn eingeführt werden darf. Durch die Modulation der Ausgangsspannung entstehen am Umrichteranschluss meist Spannungsspitzen, die die zulässigen Grenzen der Zündschutzart „e“ überschreiten. In der Praxis hat sich der Einsatz von Sinusfiltern am Ausgang von Frequenzumrichtern bewährt, der die hohen Spannungsspitzen bedämpft.

Hinweis: Installieren Sie Frequenzumrichter nie direkt im Ex-gefährdeten Bereich. Die Installation muss außerhalb dieser Zone im Schaltschrank erfolgen. Ebenso ist der Einsatz von Sinusfiltern am Ausgang der Frequenzumrichter zu empfehlen. Denn sie bedämpfen die Spannungsanstiegsgeschwindigkeit du/dt und die Spannungsspitzen U_{peak} . Die Länge des angeschlossenen Motorkabels ist auf Grund des Spannungsabfalls am Kabel möglichst kurz zu halten.

Bemerkung: Die Frequenzumrichter Serie VLT® HVAC Drive verfügen mit der MCB 112 über eine PTB-zertifizierte Motorkaltleiterauswertung für Ex-gefährdete Bereiche. Beim Einsatz von VLT® Frequenzumrichtern mit nachgeschaltetem Sinusfilter sind keine geschirmten Motorkabel erforderlich.

Schritt 3: Praxis - Motor und Verkablung

Mindestwirkungsgradklassen (MEPS) von Motoren

Verbindliche Mindestwirkungsgrade

Die eff-Klassifizierung entstand 1998 durch eine Selbstverpflichtung der CEMEP (Europäisches Komitee der Hersteller elektrischer Maschinen und Leistungselektronik).

Ab Sommer 2011 gelten in der EU verbindliche Mindestwirkungsgradklassen (MEPS) für Drehstromasynchronmotore. Die Regelung der EU sieht bis 2017 eine schrittweise Erhöhung der Anforderungen an die Motorwirkungsgrade vor.

Grundlage für die auch Minimum Efficiency Performance Standards (MEPS) genannten Mindestwirkungsgradklassen bilden die in der IEC 60034-30 definierten und international anerkannten IE-Wirkungsgradklassen (IE = International Efficiency). Die Grenzwerte der Klassen sind teilweise mit den in Europa verbreiteten eff-Klassen vergleichbar.

IE- und eff-Klassen: Große Unterschiede im Detail

Obwohl die Grenzwerte beider Standards vergleichbar sind, unterscheiden sie sich in der grundlegenden Ermittlung der Wirkungsgrade. Die Wirkungsgrade der eff-Klassen beruhen auf der 100 Jahre alten Ermittlung der Einzelverluste (IEC 60034-2:1996). Die Bestimmung der Wirkungsgrade der IE-Klassen erfolgt dagegen mit einer höheren Genauigkeit.

In der Regel sind die Messwerte nach dem für die IE-Klassen anerkannten Verfahren bis ca. 10 kW um 2-3 % und ab ca. 100 kW rund 1 % schlechter als mit dem alten Verfahren. Die Norm berücksichtigt diese Unterschiede bei der Angleichung der IE- und der eff-Klassen.

Neben den in der IEC 60034-30 definierten IE1- bis IE3-Klassen beschreibt der Leitfaden IEC 60034-31 Grenzwerte für die Klasse IE4. Sind die Klassen IE1 bis IE3 vorrangig an Motoren für den Netzbetrieb orientiert, betrachtet die IE4 auch für drehzahlveränderliche Motoren relevante Aspekte. IE4 hat aktuell keinen bindenden Charakter, sondern dient momentan lediglich zur Diskussion weiterer Wirkungsgradklassen.

Hinweis:

Die IE- Klassifizierung gilt aktuell ausschließlich für Drehstromasynchronmotoren mit bestimmten technischen Eigenschaften.

IEC 60034-30	eff-Klassen
IE1 (Standard Efficiency)	vergleichbar eff2
IE2 (High Efficiency)	vergleichbar eff1
IE3 (Premium Efficiency)	ca. 15-20 % besser als IE2

Die IE- Wirkungsgradklassen IE1 - IE3 sind in der internationalen Norm IEC 60034-30 definiert. Die eff-Klassen beruhen auf einer freiwilligen Vereinbarung (1998) der EU mit der CEMEP.

Betroffene Drehstrommotoren

Die Einhaltung der MEPS ist verpflichtend für folgende Drehstromasynchronmotoren:

- Betriebsart S1 (Dauerbetrieb) bzw. S3 (Aussetzbetrieb) mit einer Einschaltdauer (ED) > 80 %
- Polzahl 2 bis 6
- Leistungsbereich von 0,75 – 375 kW
- Bemessungsspannung bis 1000 V

Die Einführung der MEPS soll zur Energieeinsparung beitragen. Allerdings kann in seltenen Fällen die Lösung auch mehr Energie verbrauchen. Deshalb sind in der EU-Verordnung Nr. 640/2009 technisch sinnvolle Ausnahmen für verschiedene Anwendungsbereiche beschrieben.

Hierzu gehören u.a.:

- Motoren in explosionsgeschützten Bereichen (im Sinne der Richtlinie 94/9/EG) und Bremsmotore
- Sondermotoren die für eine der folgende Betriebsbedingungen bestimmt sind:
 - Umgebungstemperaturen über 40° C
 - Umgebungstemperaturen unter 15° C (Lüftgekühlte Motoren 0° C)
 - Betriebstemperatur über 400° C
 - Kühlwassertemperatur ist kleiner 5° C oder größer als 25° C
 - Betrieb über 1000 m über Meereshöhe

- Motoren, die vollständig in einem Produkt wie z. B. Getriebe, Pumpen, Lüfter integriert sind oder die, wie z. B. Tauchpumpen komplett in einem flüssigen Medium betrieben werden.

Bei Getriebemotoren wird in Europa der Motor nicht als integraler Bestandteil angesehen und separat gemessen. Ähnlich ist die Vorgehensweise bei Sondermotoren. Es wird der Basismotor gemessen und die Wirkungsgradklasse auf Varianten des Motors übertragen.

Praxis - IE-Klassifizierung von Motoren

Zeitplan der MEPS Einführung

Der in der EU-Verordnung enthaltene Zeitplan sieht eine schrittweise Erhöhung der Anforderungen an die Motorwirkungsgrade vor. Nach den Stichtagen dürfen in der EU nur noch unter die Verordnung fallende Drehstromasynchronmotoren in Verkehr gebracht werden, die die vorgeschriebenen Wirkungsgrade erfüllen. Als MEPS Alternative zu den geplanten

	Leistung	MEPS	MEPS Alternative
Seit 16.06.2011	0,75 – 375 kW	IE2	-
Ab 01.01.2015	0,75 – 7,5 kW	IE2	-
	7,5 – 375 kW	IE3	IE2 + Umrichter
Ab 01.01.2017	0,75 – 375 kW	IE3	IE2 + Umrichter

Zeitplan

ten IE3 Klassen werden auch umrichtergespeiste IE2 Motoren akzeptiert. Die Einhaltung der Klasse IE3 oder

der Alternative IE2 + Umrichter muss am Betriebsort gewährleistet sein.

Einhaltung der Anschlussmaße nach EN 50347

Drehstromasynchronmotoren der Klassen IE2 und IE3 bauen oft größer als Motoren mit niedrigerem Wirkungsgrad. Dies kann beim Austausch älterer Motoren ein Problem werden.

IE2-Motoren halten meist die nach EN 50347 normierten Achshöhen und Fußmaße ein, jedoch wird die Bauform oft länger. Kleine 50 Hz IE3-Premium-Motoren werden in vielen Fällen nicht die EN 50347 Anschluss-

	Motor		
	IE1	IE2	IE3
Achshöhe (EN 50347)	Ja	Ja	größer
Fußmaße (EN 50347)	Ja	Ja	größer
Motorlänge	Ja	länger	größer

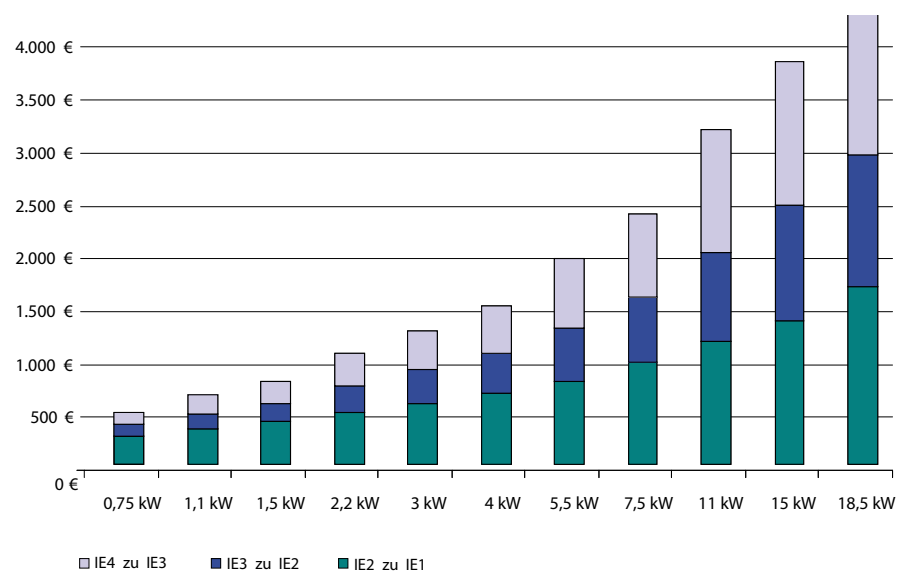
Drehstromasynchronmotoren mit der Klasse IE2 und IE3 werden voraussichtlich die in der EN 50347 definierten Anschlussmaße nicht einhalten können.

maße einhalten. Anlagenbetreiber sollten das bei ihrem Ersatzmotorenkonzept beachten. Alternative zu IE3: IE2 + Umrichter.

Wirtschaftlichkeit

Eine berechtigte Frage bei der Einführung der IE-Motoren ist deren Wirtschaftlichkeit. Die höheren Wirkungsgrade werden u. a. durch einen größeren Anteil von aktivem Material in den Motoren erreicht. Je nach Motorgröße kann man deshalb etwa von 10 bis 20 % Kostensteigerung für eine bessere Wirkungsgradklasse ausgehen.

Tatsächlich rechnen sich diese Mehrkosten oft bereits nach kurzer Zeit. Das Diagramm zeigt den Energiekostenvorteil eines IE-Motors im Vergleich mit einem IE-Motor mit der nächst besseren Klassen. Die vereinfachte Betrachtung geht dabei von einem dauerhaften Betrieb bei Nennlast, einer Betriebsdauer von 60.000 h und einem Energiepreis von 8 Cent pro kWh aus.



Energiekostenvorteil Verschiedener IE-Klassen zueinander. Basis: Nennlast / 60.000 h / 8 Cent pro kWh

Energiekostenvorteil IE-Motor zur nächst besseren IE-Klasse

Hinweis: Die komplette EU-Verordnung Nr. 640/2009 kann kostenlos von der Webseite www.eur-lex.europa.eu geladen werden.

Praxis - EC- und PM-Motore

Was sind eigentlich EC-Motoren?

Im HLK-Markt hat sich der Begriff "EC-Motor" für eine bestimmte Motorart etabliert, bei der viele Anwender an einen kompakten Motor mit hohem Wirkungsgrad denken. Die Idee hinter dem EC-Motor ist, die elektrische Kommutierung eines Gleichstrommotors mittels Kohlebürsten durch eine elektronische zu ersetzen (EC = Electronically commutated).

Dafür haben die Hersteller dieser Motoren die Rotorwicklung durch Permanentmagnete ersetzt und eine Kommutierungselektronik eingebaut. Die Magnete erhöhen den Wirkungsgrad, gleichzeitig eliminiert die Elektronik den mechanischen Verschleiß der früher eingesetzten Kohlebürsten. Da das Funktionsprinzip auf dem eines Gleichstrommotors beruht, heißt der EC-Motor auch Bürstenloser Gleichstrommotor (Englisch: Brushless DC = BLDC).

Üblicherweise kommen diese Motoren in sehr kleinen Leistungsbereichen von wenigen hundert Watt zum Einsatz. Bei Anwendungen im HLK-Bereich arbeiten Motoren dieses Funktionsprinzips als Außenläufermotoren und decken einen erweiterten Leistungsbereich ab, aktuell bis ca. 9 kW.

Wirkungsgrade von EC-Motoren

Spaltpolmotore und einphasige Asynchronmotoren haben in Leistungsbereichen von wenigen 100 Watt schlechte Wirkungsgrade. Aus dem Vergleich zu diesen Motoren resultiert auch der Ruf des sehr großen Wirkungsgradvorteils der EC-Motoren. Beim Vergleich des Wirkungsgrads von EC-Motoren mit den typischen Werten der dreiphasigen Drehstromasynchronmotoren sinkt dieser Vorteil mit steigender Leistung sehr stark ab.

PM-Motoren - die EC-Alternative?

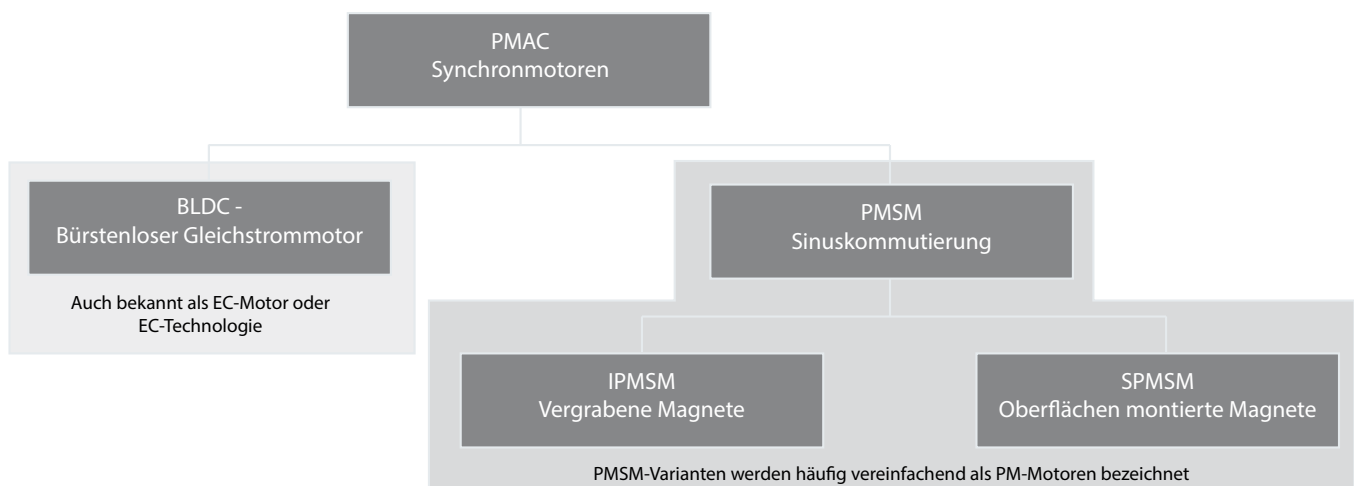
Eine Alternative zu EC-Motoren stellen permanenterregte Motoren (PM-Motoren) dar, die einen zu den EC-Motoren vergleichbaren Wirkungsgrad haben. Zusätzlich bieten sie gegenüber den EC-Motoren u.a. noch den Vorteil, dass sie in einem weit aus größeren Leistungsbereich erhältlich sind.

Bei den PM-Motoren wurde das prinzipielle Ansteuerungsverfahren eines Drehstromasynchronmotors auf diesen Motortyp übertragen. PM-Motoren, die aus diesem Grund auch den Wechselstrommaschinen zugeordnet sind, sind im Markt in unterschiedlichen Bauformen wie beispielsweise als Servomotor oder als PM-Motore mit den IEC- Abmessungen des Stan-

darddrehstromasynchronmotors zu finden.

Ein Hauptunterschied zwischen PM- und den klassischen EC-Motoren liegt in der "Versorgungsspannung". Bereits aus der Zuordnung Gleichstrom-/ Wechselstrommotor lässt sich ableiten, dass der EC-Motor eine blockförmige Kommutierung besitzt, während der PM-Motor auf eine sinusförmige setzt. Gemeinsam ist beiden Motoren, dass sie eine Regelelektronik benötigen.

Um die Nachteile der BLDC Technik (Drehmomentrippel, höhere Eisenverluste und höherer Strom) auszugleichen, haben einige Hersteller die Prinzipien der PM-Motoransteuerung übernommen. Der Unterschied zu den PM Motoren und deren Ansteuerung liegt dann in der mechanischen Ausführung als Außenläufer. Der Anwender steht aber vor der Herausforderung zu evaluieren, ob es sich um einen „klassischen“ oder modernen EC-Motor handelt.



PMAC = Permanent Magnet AC / BLDC = Brushless DC / PMSM = Permanent Magnet Synchron Motor / IPMSM = Interior PMSM (vergrabene Magnete) / SPMSM = Surface PMSM (auf Rotor montierte Magnete)

Praxis - EC- und PM-Motore

Hinweis: Bei der Diskussion um EC-Motoren werden oft technische Eigenschaften von einphasigen Motoren mit dreiphasigen Motoren verglichen. Beispiel: Ein einphasiger EC-Motor hat üblicherweise eine Power Factor Correction (PFC) ($\cos \varphi$ ca. 1), die ein dreiphasiger Umrichter für einen $\cos \varphi$ von ca. 1 gar nicht benötigt. Der Anwender sollte deshalb sicherstellen, worauf sich die technischen Aussagen beziehen.

Bester Motorwirkungsgrad = Bester Systemwirkungsgrad?

Für den Anwender entscheidend ist nicht der Wirkungsgrad einer einzelnen Komponente, sondern der Wirkungsgrad des kompletten Systems. Was nützt ihm ein hoch effizientes Motorkonzept, wenn beispielsweise

bestimmte Motorlager den Wirkungsgrad des Motors mehr reduzieren als andere. Dies gilt selbstverständlich auch für das ganze System. Den nur mit bestmöglichem Systemwirkungsgrad spart es Energie und somit Kosten.

Das Danfoss EC+ Konzept...

...ermöglicht die Nutzung von PM-Motoren in IEC-Standardabmessungen mit einem Danfoss VLT® Frequenzumrichter.

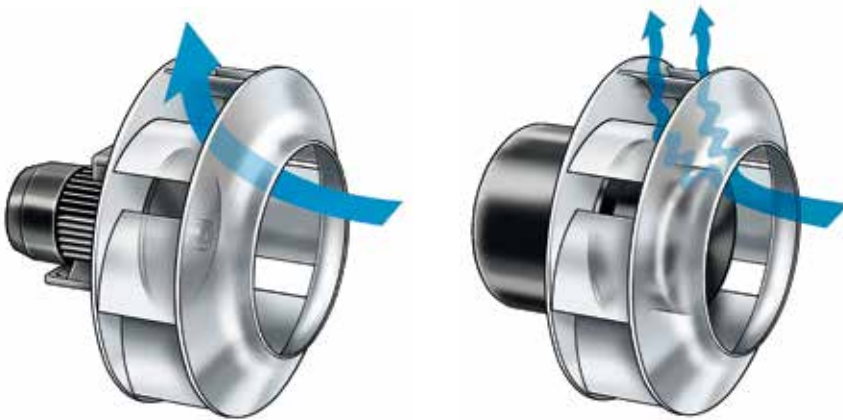
Nach Eingabe der relevanten Motordaten kann der Anwender von dem hohen Motorwirkungsgrad auf Niveau der EC-Technologie in allen Applikationen profitieren. Das notwendige Regelverfahren wurde in die bestehenden VLT® Umrichterserie eingepflegt. Für den Betreiber ergeben sich somit keine weiteren Änderungen.

Vorteile des EC+ Konzepts:

- Freie Wahl der Motortechnologie: PM oder Asynchron mit gleichem Frequenzumrichter
- Bedienung und Installation des Gerätes bleiben gleich
- Herstellerunabhängig bei der Wahl aller Komponenten
- Bester Systemwirkungsgrad durch Kombination wirkungsgradoptimierter Einzelkomponenten
- Retrofit bestehender Anlagen möglich
- Großer Leistungsbereich für Standard- und PM-Motoren

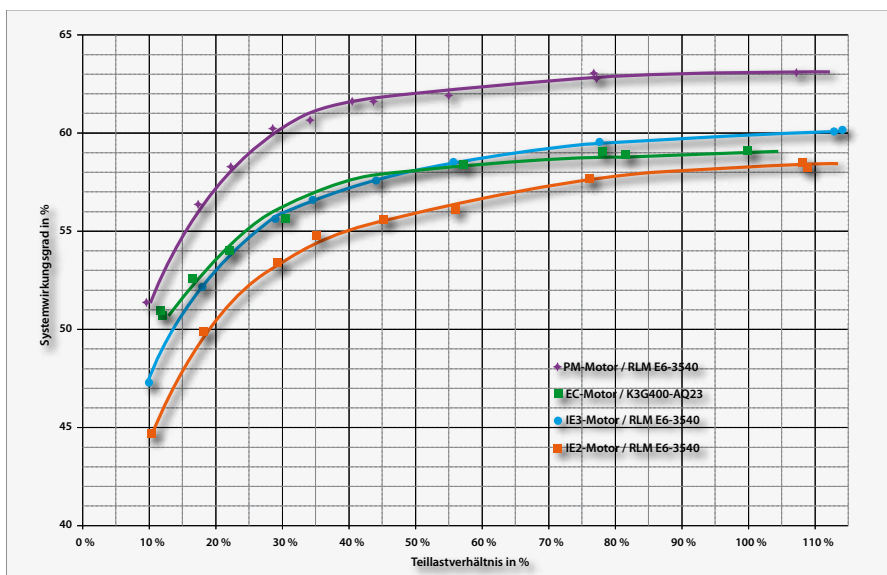
Berechnen lässt sich der Systemwirkungsgrad gemäß VDI DIN 6014 durch Multiplikation der Komponentenwirkungsgrade:

$$\eta_{\text{System}} = \eta_{\text{Umrichter}} \times \eta_{\text{Motor}} \times \eta_{\text{Kupplung}} \times \eta_{\text{Lüfter}}$$



Wird z. B. ein Lüfter mit schlechtem Wirkungsgrad von einem hocheffizienten Motor betrieben, resultiert daraus ein mittlerer Wirkungsgrad. Ein praktisches Beispiel sind EC-Lüfter in Radialausführung. Für eine sehr

kompakte Bauweise nutzen die Hersteller die EC-Motoren oft als Nabe für das Lüfterrad. Diese relativ große Nabe reduziert allerdings den Wirkungsgrad des Lüfters und somit des gesamten Systems deutlich.



Messungen an der ILK Dresden belegen: Gegenüber herkömmlicher EC Technologie verringert EC+ die Verluste im Ventilatorsystem um bis zu 11 %, erreicht durch einen 3-5% höheren Systemwirkungsgrad, abhängig vom Teillastverhältnis.

Praxis - Motoreignung für FU-Betrieb

Auswahlkriterien

Im Zusammenhang mit Frequenzumrichter geregelten Motoren, gibt es folgende Punkte zu beachten:

- Isolationsbeanspruchung
- Lagerbeanspruchung
- Thermische Beanspruchung.

Isolationsbeanspruchung

Der Betrieb eines Motors mit Frequenzregelung belastet die Motorwicklung stärker, als bei reinem Netzbetrieb. Dazu tragen vor allem die hohe Spannungsanstiegsgeschwindigkeit du/dt sowie das Motorkabel in Abhängigkeit von Länge, Typ, Verlegung, etc. bei.

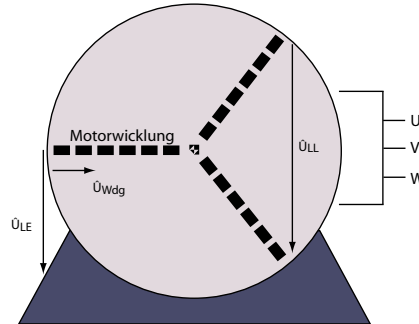
Die Spannungsanstiegsgeschwindigkeit verursachen die schnell schaltenden Halbleiter im Wechselrichter von Frequenzumrichtern. Diese takten mit einer hohen Frequenz im Bereich von 2-20 kHz und sehr kurzen Schaltzeiten, um einen sinusförmigen Stromverlauf nachzubilden.

Am Motor ist die Spannungsanstiegsgeschwindigkeit in Verbindung mit dem Motorkabel für folgende Dinge verantwortlich:

- Hohe Impulsspannungen \hat{U}_{LL} an den Motorklemmen belasten die Phasenisolierung stärker.
- Höhere Impulsspannungen zwischen Wicklung und Blechpaket \hat{U}_{LE} beanspruchen die Nutisolierung stärker.
- Die höhere Spannungsbelastung zwischen den Windungen \hat{U}_{Wdg} beansprucht die Drahtisolierung der Wicklung wesentlich stärker.

Lagerbeanspruchung

Unter ungünstigen Umständen kann es vorkommen, dass frequenzgeregelter Motoren mit Lagerschäden durch Lagerströme ausfallen. Ein Lagerstrom fließt dann, wenn am Lager schmierspalt eine Spannung anliegt, die hoch genug ist, um die Isolierung des Schmiermittels zu durchschlagen. Tritt dieser Fall ein, so kündigen stei-



Im Motor treten Impulsspannungen an den Motorklemmen \hat{U}_{LL} und zwischen Wicklung und Blechpaket \hat{U}_{LE} auf. Zudem existiert eine Spannungsbelastung zwischen den Windungen \hat{U}_{Wdg} der Motorwicklung

gende Lagergeräusche den bevorstehenden Ausfall an. Zu den Arten von Lagerströmen zählen hochfrequente Zirkularströme, Erdströme und EMD-Ströme (Funkenerosion).

Welche dieser Ströme zu Lagerschäden führen können, ist von folgenden Einflussfaktoren abhängig:

- Netzspannung am Eingang des Frequenzumrichters
- Spannungsanstiegsgeschwindigkeit du/dt
- Art des Motorkabels
- Elektrische Schirmung
- Erdung der Anlage
- Baugröße des Motors
- Erdungssystem von Motorgehäuse und Motorwelle

Lagerströme lassen sich durch folgende Maßnahmen reduzieren:

- Einsatz von Ausgangsfiltern (Ausgangsdrosseln; du/dt -Filter; Sinusfilter und Common Mode Filter)
- Einsatz von stromisolierten Lagern
- Gute Erdverbindung mit niedriger Impedanz aller metallenen Anlagenteile
- Geschirmte Motorkabel
- Einsatz eines Gleichspannungsunterdrückungsfilters

Thermische Beanspruchung

Ist der Umrichter nicht in der Lage, die volle Netzspannung bei der Netz-

Hinweis: Lassen Sie sich vom Motorhersteller bestätigen, dass der Motor für den Betrieb an einem Frequenzumrichter ausgelegt ist und in welchem Drehzahlbereich er betrieben werden darf (min/max Drehzahl).

Hinweis: Lagerströme entstehen aus dem Gesamtsystem aus Frequenzumrichter, Motor, Kabel und Erdung. Die IEC 60034-17 empfiehlt, Maßnahmen ab einer Achshöhe von 315 mm (ca. 132 kW) zu treffen.

nennfrequenz zu erzeugen, empfiehlt sich die Ausführung der Motorisolation in der Wärmeklasse F. Die Motortemperatur erhöht sich bei niedrigerer Motorspannung im Vergleich zum reinen Netzbetrieb um bis zu 10 K. Die sogenannte Übermodulation kann die maximale Ausgangsspannung des Frequenzumrichters erhöhen, um z. B. Spannungsabfälle aufgrund eingesetzter Sinusfilter auszugleichen oder das Drehmoment des Motors oberhalb der Nenndrehzahl zu erhöhen. Die Motorerwärmung liegt dann bei Normmotoren (bis Baugröße 315) im Bereich der Zusatzerwärmung durch Netztoleranzen und ist somit zu vernachlässigen. Bei Transnormmotoren (ab Baugröße 355) schreiben Hersteller allerdings teilweise eine Leistungsreduzierung vor. Das Einschalten der Übermodulation führt zu kleinen Momentenrippeln an der Motorwelle. Diese können zu ungewollten mechanischen Vibrationen führen. In Lüftungsanlagen können beispielsweise systembedingt, mechanische Resonanzen auftreten. Anwender sollten das System bei der Inbetriebnahme darauf hin überprüfen. Gerade bei kritischen Anwendungen sollte er vor einer dauerhaften Aktivierung Rücksprache mit den Herstellern halten.

Praxis - Ausgangsfilter

Sinus- oder du/dt-Filter

Zur Gruppe der Ausgangsfilter gehören Sinus- und du/dt-Filter. Im Unterschied zu Sinusfiltern haben du/dt-Filter lediglich die Aufgabe, die Spannungsanstiegsgeschwindigkeiten zu reduzieren. Sie sind einfacher konstruiert als Sinusfilter (Werte für L und C sind geringer) und sind dadurch im Preis günstiger. Sinusfilter, auch Motorfilter oder LC-Filter genannt, arbeiten optional auf der Ausgangsseite von Frequenzumrichtern. Sie glätten die rechteckförmigen Spannungspulse am Ausgang zu einer nahezu sinusförmigen Ausgangsspannung.

Funktionen und Aufgaben von Sinusfiltern

- Reduzieren die Spannungsanstiegsgeschwindigkeit du/dt an den Motorklemmen
- Reduzieren die Spannungsspitzen \ddot{U}_{LL}
- Reduzieren die Motorgeräusche
- Ermöglichen den Anschluss langer Motorkabel
- Verbessern die EMV-Eigenschaften
- Sinusfilter erlauben bei Danfoss Frequenzumrichtern auch den Betrieb mit ungeschirmten Motorkabeln gemäß Funkentstörklasse C2 nach EN 61800-3

Wann kommen Sinusfilter zum Einsatz?

- Nassläuferpumpen
- Bei sehr langen Motorleitungen (auch bedingt durch Parallelbetrieb)
- Brunnenpumpen
- Motoren ohne gute Phasenisolierung
- Immer dann, wenn kein Normmotor eingesetzt wird (Motorhersteller fragen)
- Verdichtern

Nachträglicher Einbau/Retrofit

Stellt ein Betreiber in Anlagen ältere Motoren, die bisher direkt am Netz liefen, auf Drehzahlregelung um und rüstet sie mit einem Frequenzumrichter nach, empfiehlt sich grundsätzlich der Einsatz eines Sinusfilters, wenn nicht aus dem Motordatenblatt sicher hervorgeht, dass die Wicklung für Frequenzumrichterbetrieb ausgelegt ist. Im Rahmen von Umbaumaßnahmen ist oft ein Austausch von alten Motoren mit schlechtem Wirkungsgrad gegen neue, energieeffiziente Motoren sinnvoll. In diesen Fällen entfällt ein zusätzlicher Sinusfilter. Der neue Motor amortisiert sich allein durch die geringeren Energiekosten meist in kürzester Zeit.



Common Mode Filter

Reduzierung von Lagerströmen

Lagerströme (siehe auch Seite 34) verringern die Lebensdauer von Motorlagern. Um die Lagerströme zu reduzieren empfiehlt die IEC 60034-17 Maßnahmen ab einer Achshöhe von 315 mm, was einer Motorleistung von etwa 132 kW und darüber entspricht. Die Ursachen für Lagerströme sind vielfältig, beispielsweise Kreisströme oder hochfrequente Störungen. Wirksame Gegenmaßnahmen sind Sinusfilter, die Kreisströme reduzieren oder eliminieren, oder Common Mode Filter für hochfrequente Gleichtaktstörungen gegen Erde. Neben einer Verwendung der genannten Filter ist eine einwandfreie EMV-Installation unbedingt erforderlich.

	du/dt-Filter	Sinusfilter	Common Mode Filter
Belastung der Motorisolation	Reduziert - Betrieb langer Motorkabel möglich	Reduziert - Betrieb langer Motorkabel möglich	Keine Reduzierung
Belastung der Motorlager	Leicht Reduziert	Reduziert Kreisströme, aber keine Gleichtaktströme	Reduziert Gleichtaktströme
Elektromagnetische Verträglichkeit	Beseitigt Überschwingen in Motorkabeln. Keine Änderung der EMV-Klasse	Beseitigt Überschwingen in Motorkabeln. Keine Änderung der EMV-Klasse	Reduziert hochfrequente Emissionen (über 1 MHz). Keine Änderung der EMV-Klasse.
Max. Motorkabellänge EMV konform	Herstellerabhängig. FC 102: max. 150m geschirmt	Herstellerabhängig. FC 102: max. 150m geschirmt bzw. max. 300m ungeschirmt	Herstellerabhängig. FC 102: max. 150m geschirmt
Max. Motorkabellänge EMV Nicht konform	Herstellerabhängig. FC 102: max. 150m ungeschirmt	Herstellerabhängig. FC 102: max. 500m ungeschirmt	Herstellerabhängig. FC 102: max. 300m ungeschirmt
Taktfrequenz geräusche am Motor	Kein Einfluss	Reduziert	Kein Einfluss
Relative Größe (zum Umrichter)	15-50% (Leistungsabhängig)	100%	5-15%
Spannungsabfall	0,5%	4-10%	Keiner

Praxis - Motorkabel

Nennspannungsklasse

Im Motorkabel treten Spannungsspitzen bis zum 3-fachen der DC-Zwischenkreisspannung des Frequenzumrichters auf. Diese belasten das Motorkabel und die Isolation des Motors stark. Die Belastung ist größer, wenn keine du/dt- oder Sinusfilter am Ausgang des Frequenzumrichters installiert sind.

Aus diesem Grunde sollten Motorkabel eine Nennspannungsklasse von mindestens $U_0/U = 0,6/1$ kV aufweisen. Kabel dieser Klasse werden in der Regel mit einer Hochspannungsprüfung von mindestens 3500 V AC, meist 4000 V AC geprüft, und haben sich in der Praxis als durchschlagfest erwiesen.

Kabeldimensionierung

Der notwendige Querschnitt der Motorkabel ergibt sich aus dem Ausgangsstrom des Frequenzumrichters, der Umgebungstemperatur und der Art der Kabelverlegung. Eine Überdimensionierung des Kabelquerschnitts aufgrund von Oberwellenschwingungen ist nicht notwendig. Zur Auswahl und Dimensionierung von Kabel und Leitungen liefert die EN 60204-1 / VDE 0113-1 Strombelastbarkeitskriterien zu Kabelquerschnitten bis zu max. 120 mm². Sind größere Kabelquerschnitte erforderlich, so finden sich nützliche Information in der VDE 0298-4.

Länge des Motorkabels

Lange Motorkabel sind in wasser- und abwassertechnischen Anlagen häufig anzutreffen. Oft sind Pumpen und Frequenzumrichter mehr als 100 m voneinander entfernt installiert. Bei der Projektierung ist hier der Spannungsabfall über die Kabellänge zu berücksichtigen.

Planen Sie die Anlage so, dass auch bei langen Motorkabeln die volle Ausgangsspannung am Motor ankommt. Die durchschnittliche Länge des an marktübliche Frequenzumrichter anschließbaren Motorkabels, liegt zwischen 50 – 100 m. Und selbst bei diesen Kabellängen steht bei einigen Herstellern nicht mehr die volle Ausgangsspannung zur Verfügung. Benötigen Anwender Kabellängen von mehr als 100 m, so gibt es wenige Hersteller, die diese Anforderung serienmäßig erfüllen. Falls dies nicht der Fall ist, müssen Sie zusätzliche Motordrosseln oder Ausgangsfilter vorsehen, die auch wieder einen zusätzlichen Spannungsabfall verursachen.

Energiesparen

Der Spannungsabfall und die (Wärme-) Verlustleistung eines Kabels ist annähernd proportional zu seiner Länge und zudem frequenzabhängig. Halten Sie deshalb die Kabelwege so kurz wie möglich und dimensionieren Sie die Kabelquerschnitte nicht größer als elektrisch notwendig.

Kabel mit geeigneter Schirmung

Geschirmte Kabel sollten mindestens eine Schirmabdeckung von 80 % haben. Geeignete Kabeltypen sind zum Beispiel:

- Lapp Öflex 100-CY
- Helu Y-CY-JB
- Helu Topflex-EMV-UV-2YSLCYK-J

Hinweis: Fragen Sie den Hersteller nach der am Frequenzumrichter anschließbaren Kabellänge und dem zu erwartenden Spannungsabfall.

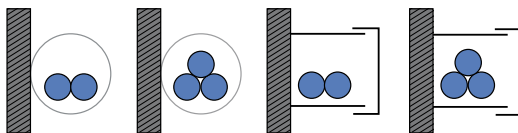
Bemerkung: An Frequenzumrichter der Serie VLT® HVAC Drive können Sie serienmäßig geschirmte Kabel bis 150 m und ungeschirmte Kabel bis 300 m anschließen, bei voller Spannung am Motor!

Verlegeart PVC Kabel Umgebungstemperatur 40°C Strombelastbarkeit [A]

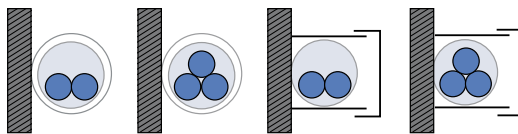
mm ²	B1	B2	C	E
1	10,3	10,1	11,7	12,4
1,5	13,5	13,1	15,2	16,1
2	18,3	17,4	21,0	22,0
4	24,0	23,0	28,0	30,0
6	31	30,0	36,0	37,0
10	44,0	40,0	50,0	52,0
16	59,0	54,0	66,0	70,0
25	77,0	70,0	84,0	88,0

Auszug aus der EN 60204-1 Strombelastbarkeit von Kabelquerschnitten

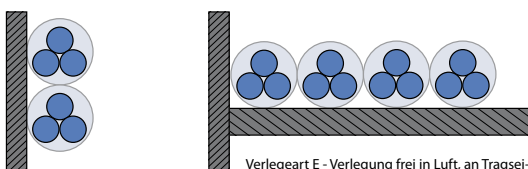
Verlegeart B1 - Aderleitungen im Elektro-Installationsrohr oder geschlossenen Elektro-Installationskanälen



Verlegeart B2 - mehradrige Kabel oder mehradrige Mantelleitung im Elektro-Installationsrohr oder geschlossenen Elektro-Installationskanälen



Verlegeart C - Direkte Verlegung auf oder in Wänden/Decken oder in Kabelwannen



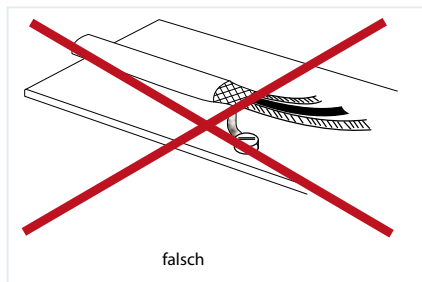
Verlegeart E - Verlegung frei in Luft, an Tragsäulen sowie auf Kabelpitschen und -konsolen

Praxis - Schirmungsmaßnahmen

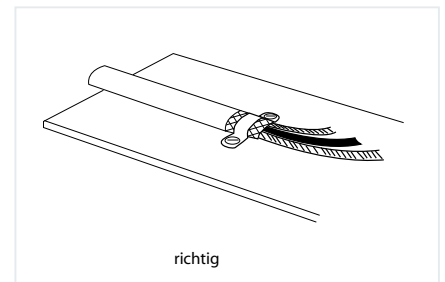
Bedeutung von Schirmungsmaßnahmen

Maßnahmen zur Abschirmung dienen der Reduzierung der abgestrahlten Störenergie (Beeinflussung benachbarter Anlagen und Komponenten) sowie der Verbesserung der Störfestigkeit eines Gerätes selbst (Störfestigkeit gegenüber Beeinflussungen von außen). Nachträglich sind sie nur mit erhöhtem Kostenaufwand (z. B. Kabelaustausch, zusätzliche Gehäuse) umzusetzen. Zur Einhaltung gesetzlicher Grenzwerte geben in der Regel bereits die Hersteller von Frequenzumrichter entsprechende Informationen, die auch Angaben über zusätzlich notwendige Maßnahmen (z. B. geschirmte Leitungen) beinhalten. Frequenzumrichter erzeugen an ihrem Ausgang Impulse mit großer Flankensteilheit. Diese enthalten hochfrequente Anteile (bis in den GHz-Bereich), die zu einer unerwünschten Abstrahlung über die Motorleitung führen. Deshalb sind als Motorleitung geschirmte Kabel

einzusetzen. Der Schirm hat die Aufgabe, die hochfrequenten HF-Anteile »einzufangen« und zur Störquelle, in diesem Fall zum Frequenzumrichter, zurückzuführen.



Norm verlangt hierbei die Einhaltung der Grenzwerte in einer vorgegebenen Entfernung (z. B. Klasse B entsprechend 30 dB in 10 m Entfernung). Bei der Höhe der erlaubten Grenzwerte unterscheidet die Norm zwischen



Geschirmte Kabel und Leitungen

Auch eine gute Schirmung, die die Grenzwerte einhält, eliminiert die Abstrahlung nicht völlig. Im Nahbereich ist mit elektromagnetischen Feldern zu rechnen, die im Umfeld platzierten Komponenten und Anlagenteile ohne Beeinträchtigung ihrer Funktion aushalten müssen. Die

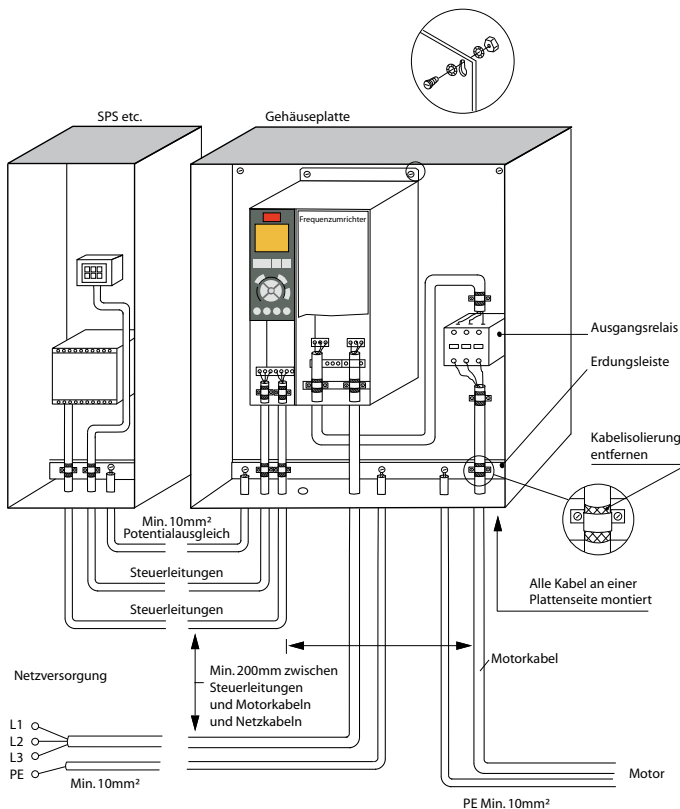
einem Einsatz in der 1. (Wohnbereich) und 2. Umgebung (Industriebereich). Für Details lesen Sie bitte den Abschnitt Grenzwerte abhängig vom Einsatzort auf Seite 21 dieser Broschüre.

Schirmanschluss

Eine wirksame Kabelschirmung lässt sich nur mit Rundumkontaktierung des Schirmes erreichen. Dazu werden EMV- oder Erdungsverschraubungen sowie Erdungsschellen verwendet, die den Schirm ganz umfassen und großflächig mit Masse verbinden. Der Schirm selbst muss zum Erdungspunkt geführt und großflächig untergeklemt sein, an den Leitungsenden ist er möglichst kurz zu halten. Alle anderen Kontaktierungsmaßnahmen führen zu einer Verschlechterung der Wirksamkeit des Schirmes. Häufig drehen Anwender die Kabelschirme am Ende zusammen (Pigtails) und verbinden sie über Klemmen mit Masse. Diese Art der Verbindung stellt für die hochfrequenten Anteile einen hohen Übergangswiderstand dar und führt Störungen nicht nur schlechter zur Quelle zurück, sondern strahlt sie vom Schirm wieder ab. Die Schirmwirkung wird dadurch um bis zu 90 % verringert!

Schirmunterbrechungen

Schirmunterbrechungen z. B. bei Klemmen, Schaltern oder Schützen, sind möglichst niederimpedant und großflächig zu überbrücken.



Erd- und Massekabel sollten aus EMV-Sicht mit möglichst großen Querschnitten, besser noch mit Masselitzen oder feindrahtigem Kabel hergestellt werden.

Praxis - Schirmungsmaßnahmen

Masseverbindung

Die Masseverbindung einer Schirmung hat einen wesentlichen Einfluss auf deren Wirkung. Daher sind bei der Montage von Gehäusen unter den Schrauben Kratzscheiben oder Feder- ringe zu verwenden und lackierte Flächen freizukratzen, um einen nieder- impedanten Übergang zu erreichen. Eloxierte Aluminiumgehäuse z. B. erreichen bei Verwendung von Unter- legscheiben unter den Befestigungs- schrauben nur eine ungenügende Masseverbindung. Erd- und Masse- kabel sollten Sie mit möglichst gro- ßen Querschnitten, besser noch mit Masselitzen oder feindrahtigem Kabel herstellen. Kommen bei niedrigen Motorleistungen Kabelquerschnitte $< 10 \text{ mm}^2$ zum Einsatz, ist ein separater PE-Leiter mit mindestens 10 mm^2 vom Umrichter zum Motor zu führen.

Motorzuleitung

Um die Funkstörgrenzwerte ein- zuhalten, sind Leitungen zwischen Frequenzumrichter und Motor je nach Herstellerangabe geschirmt zu verlegen und der Schirm beidseitig aufzulegen.

Signalleitung

Der Abstand Motorleitung zu Signal- leitung sollte mehr als 20 cm betra- gen und Netz- und Motorleitung soll- ten möglichst nicht parallel verlegt sein. Mit zunehmenden Abständen verringert sich die Störbeeinflussung deutlich. Bei kleineren Abständen sind zusätzliche Maßnahmen unbe- dingt erforderlich (z. B. Trennstege). Es können sonst Störungen eingekop- pelt oder übertragen werden. Steuerkabel sollten wie die Motorka- bel beidseitig aufgelegt werden. In der Praxis kann in Ausnahmefällen eine einseitige Auflage in Betracht gezogen werden. Sie ist aber nicht zu empfehlen.

Schirmarten

Für die Schirmung der Leitung zwi- schen Frequenzumrichter und Motor empfehlen Hersteller von Frequenz- umrichtern geschirmte Kabel. Für die Auswahl sind zwei Kriterien wichtig: Die Schirmabdeckung und die Art der Abschirmung.

Die Schirmabdeckung, d. h. die durch den Schirm abgedeckte Fläche des Kabels, sollte mind. 80 % betragen. Als Art der Abschirmung hat sich ein einlagiges Kupfergeflecht als äußerst wirksam herausgestellt. Wichtig dabei ist, dass der Schirm geflochten ausge- führt ist. Ein Schirm aus gewundenem Kupferdraht dagegen (z. B. Typ NY- CWY) lässt lange Schlitzlängen unbe- deckt, aus denen HF-Anteile ungehindert entweichen können. Außerdem ist die Oberfläche für den Ableitstrom deutlich geringer.

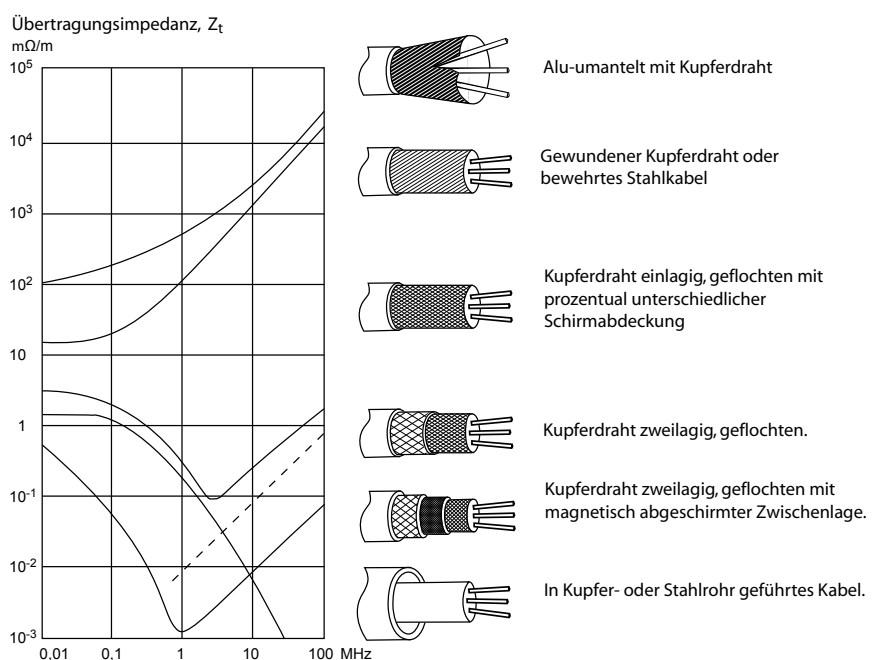
Für eine Nachrüstung gibt es Schirm- geflecht als Meterware, das dann – über das Kabel gezogen - die Schir- mung übernimmt. Für kurze Verbin- dungen dienen alternativ Metall-

schläuche oder -rohre. Kabelkanäle können nur unter bestimmten Be- dingungen eine Schirmung ersetzen (strahlungsdichter Kanal, gute Verbin- dung der Deckel und der Kanalteile zur Masse).

Kabel mit Doppelschirmung verbes- sern die Bedämpfung der Störaussen- dung und der Störeinstrahlung weiter. Der Anschluss erfolgt beim inneren Schirm einseitig und beim äußeren zweiseitig. Verdrehte Leitungen redu- zieren magnetische Felder. Signalleitungen lassen sich mit Dop- pelschirm und verdreht einsetzen. Die Dämpfung steigt dabei bei magne- tischen Feldern von etwa 30 dB bei Einfachschirmung auf 60 dB bei Dop- pelschirmung und auf ca. 75 dB bei zusätzlichem Verdrehen.

Schirm als Masseleiter?

Bei der Nutzung eines Schirmes als Masseleiter, verliert er seine Schirm- wirkung. Bei EMV-Problemen kann der Umrichterhersteller deshalb auf mangelnde Schirmung hinweisen.



Es gibt viele Arten geschirmter Kabel. Nicht alle sind für den Betrieb an Frequenzumrichtern geeignet.

Schritt 4: Praxis - Auswahl der Frequenzumrichter

Basisauslegung

In der Praxis kommt es immer wieder vor, dass Planer und Betreiber Frequenzumrichter ausschließlich nach der Leistung in kW auslegen. Grundsätzlich muss die Auswahl aber aufgrund des jeweiligen Motor-nennstroms I_{Nenn} bei höchster Belastung der Anlage erfolgen. Dieses Auswahlkriterium ist sicherer, da sich die Motorleistung nicht auf die elektrische Anschlussleistung, sondern auf die mechanische Wellenleistung bezieht. Der Motorwirkungsgrad bleibt dabei also unberücksichtigt. Die kW-Angabe zu einem Frequenzumrichter dagegen bezieht sich auf die Motornennleistung P_{Nenn} von 4-poligen Motoren. Weiterhin haben Motoren abhängig vom Motorenhersteller und der Effizienzklasse, für ein und dieselbe Leistungsklasse unterschiedliche Nennströme. Diese reichen beispielsweise für einen 11 kW Motor von 19,8 bis 22,5 A.

Konstantes oder quadratisches Drehmoment

Für die Auswahl des richtigen Frequenzumrichters ist die vom Motor angetriebene Last maßgeblich. Zu unterscheiden sind Lasten mit quadratisch zur Drehzahl ansteigender Drehmomentkennlinie (Kreiselpumpen und Ventilatoren) und solche, die über den gesamten Arbeitsbereich, also auch schon bei niedrigen Drehzahlen, dem Motor ein hohes Drehmoment abfordern können (Verdichter). Bei den meisten Antriebssystemen in der HLK steigt die Lastkennlinie bis zum Nennmoment quadratisch zur Drehzahl an. Um einen wirkungsgrad-optimalen Betrieb bei diesen Lastverhältnissen zu erreichen, stellt der Frequenzumrichter unter anderem eine quadratisch zur Motordrehfeldfrequenz ansteigende Motorspannung bereit.

Bemerkung: Ein 11 kW Frequenzumrichter der VLT® HVAC Drive Serie hat einen Nennstrom von 24 A. Damit steht genügend Stromreserve zur Verfügung, um einen Motor mit einer Leistung von 11 kW anzutreiben.

Der Nennstrom allein ist allerdings nicht ausreichend, um die entsprechende elektrische Anschlussleistung zu erreichen. Hierzu muss der Frequenzumrichter auch eine ausreichend hohe Motorspannung zur Verfügung stellen. Im 400 V Spannungsnetz sind das volle 400 V bei 50 Hz am Motorklembrett. Es gibt heute immer noch Frequenzumrichter auf dem Markt, die dazu nicht in der Lage sind (siehe auch S. 34). Wegen des Spannungsabfalls an den Filtern, Drosseln und beim Motorkabel reduziert sich die Ausgangsspannung. Wenn sich die Ausgangsspannung z. B. auf 390 V reduziert, benötigt der

Motor einen höheren Strom, um die geforderte Leistung zu erreichen. Da mit dem Strom die Wärmeverluste quadratisch zunehmen, erwärmt sich der Motor stärker, was seine Lebensdauer reduziert. Natürlich muss der Anwender auch den höheren Strombedarf bei der Auslegung berücksichtigen.

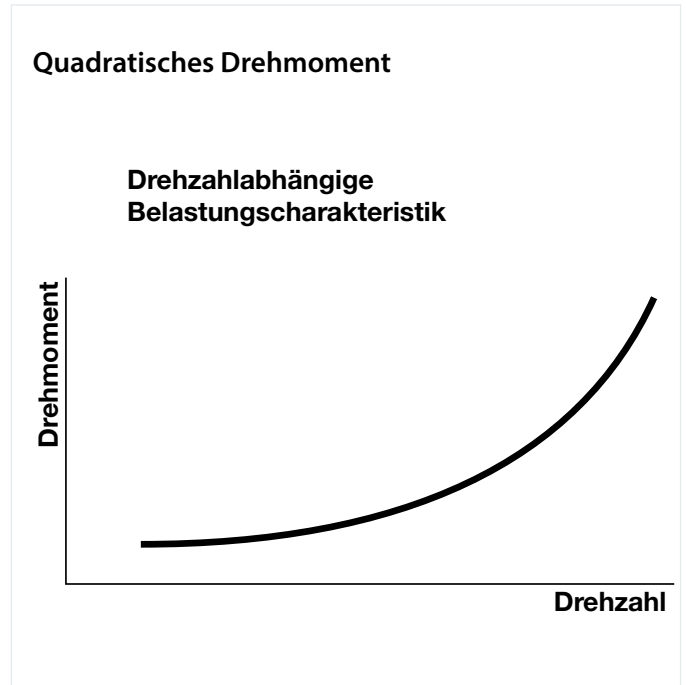
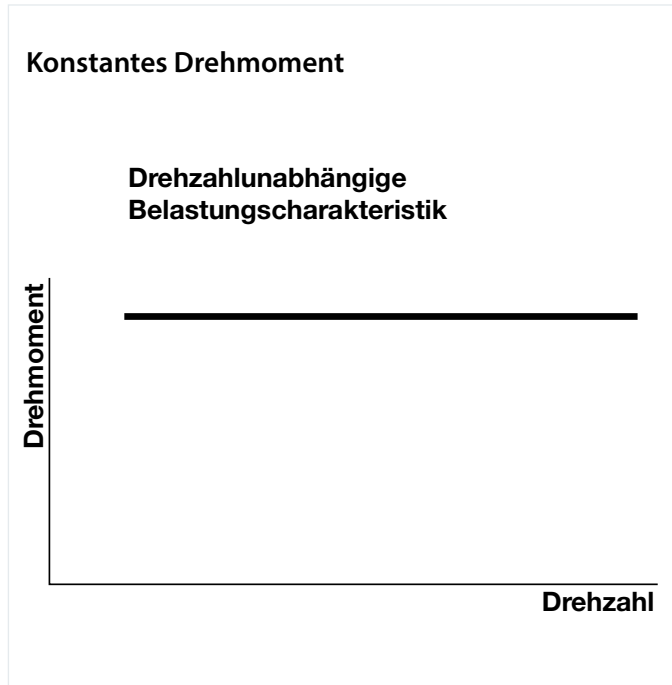
Bemerkung: Beim VLT® HVAC Drive sorgt ein spezielles Modulationsverfahren für die volle Motorspannung. Sogar mit bis zu 10 % Unterspannung am Netz werden Motornennspannung und Motornennmoment aufrecht erhalten.

Bei Anwendungen mit konstant hohem Drehmoment sind meist noch Anforderungen für die Beschleunigung bzw. bei Schweranlauf zu beachten. Der Frequenzumrichter muss dann in der Lage sein, dem Motor für kurze Zeit, über das Motornennmoment hinaus, zusätzliche Antriebskraft zur Verfügung zu stellen, um beispielsweise eine Pumpe, in der sich Schlamm gesammelt und abgesetzt hat, loszubrechen. Dieses kurzzeitig maximal zur Verfügung stehende Moment wird als Übermoment bezeichnet. Für Anwendungen, die beim Starten kein wesentlich größeres Drehmoment benötigen, als das Motornennmoment, reicht auch eine geringere Überlastfähigkeit durchaus aus (z. B. bei Verdichtern mit entlastetem Anlauf nur 110 % des Motornennmoments).

Hinweis: Verdrängerpumpen, Drehkolbengebläse und Verdichter zählen nicht zu den Strömungsmaschinen. Aufgrund des Funktionsprinzips sind hier Frequenzumrichter auf konstantes Drehmoment auszulegen.

Praxis - Typische Lastmomente in der - HLK und Kältetechnik

Zuordnung: Kennlinie zur Applikation



Anwendungen mit konstantem Drehmoment

entlasteter Anlauf [110 % Überlast]

Scrollverdichter	[0,6 bis 0,9 nominal]
Schraubenverdichter	[0,4 bis 0,7 nominal]
Hubkolbenverdichter	[0,6 bis 0,9 nominal]

belasteter Anlauf [Übermoment]

Scrollverdichter	[1,2 bis 1,6 nominal]
Schraubenverdichter	[1,0 bis 1,6 nominal]
Zylinder Verdichter	[bis 1,6 nominal]
4 Zylinder Verdichter	[bis 1,2 nominal]
6 Zylinder Verdichter	[bis 1,2 nominal]

Schweranlauf [Übermoment]

2 Zylinder Verdichter	[bis 2,2 nominal]
4 Zylinder Verdichter	[bis 1,8 nominal]
6 Zylinder Verdichter	[bis 1,6 nominal]

Hinweis: Verdichter haben üblicherweise einen eingeschränkten Drehzahlbereich (min./max. Drehzahl/Frequenz) und/oder benötigen für den Betrieb einen Sinusfilter.

Anwendungen mit quadratischem Drehmoment

Ventilatoren

Kreiselpumpen
Druckerhöhungspumpen
Heisswasserpumpen
Heisswasserpumpen
Heizungspumpen (Primär- & Sekundärkreislauf)
Kühlwasserpumpen (Primär- & Sekundärkreislauf)
Grundwasserpumpen ¹⁾
Tauchmotorpumpen ¹⁾
Unterwasserpumpen ¹⁾
Brunnenpumpen ¹⁾

Turboverdichter

¹⁾ Diese Pumpen werden oft mit reduzierter Motorphasenisolation ausgeführt. Hier empfiehlt sich die Verwendung eines Sinusfilters.

Hinweis: Klären Sie beim Einsatz von Pumpen deren Drehmomentkennlinie.

Praxis - Sonderfall Mehrmotorenbetrieb

Auslegung

Ist es das Ziel des Betreibers, mehrere Motoren an einem Frequenzumrichter gleichzeitig parallel zu betreiben, so gilt für die Auslegung folgendes:

- Es sind jeweils die Nennströme und die Leistungen der Motoren zu addieren.
- Die Auswahl des geeigneten Frequenzumrichters erfolgt auf Grundlage der beiden summierten Leistungen und Ströme.

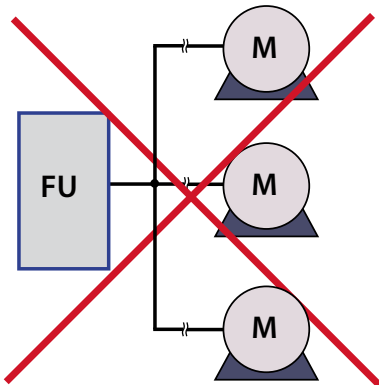
- Für den Motorschutz muss der Betreiber die Kaltleiter der Motoren durchschleifen und der Frequenzumrichter wertet dann dieses durchgeschleifte Signal aus.
- Die angeschlossenen Motoren arbeiten, bezogen auf ihre Nenn-drehzahl, gleich. Das heißt, der Frequenzumrichter steuert sie alle mit derselben Frequenz und der selben Spannung an.

Hinweis: Wegen sich addierender Kaltwiderstände der in Reihe zu schaltenden Wicklungskaltleiter ist es nicht sinnvoll, die Kaltleiterauswertung des Frequenzumrichters als Motorschutzfunktion für mehr als zwei parallel betriebene Motoren zu nutzen!

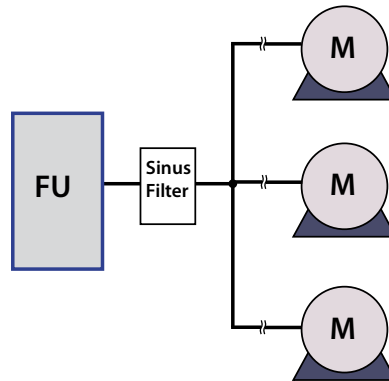
Beachten Sie auch die Hinweise zum Motorschutz auf der Seite 47.

Kabelführung

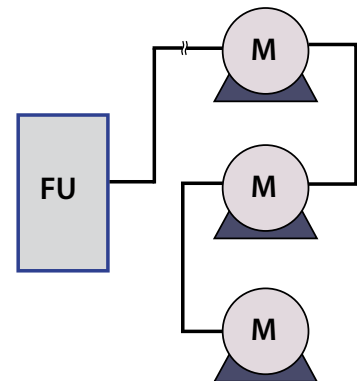
zu vermeiden



Empfehlung



Empfehlung



Bei Mehrmotorenbetrieb zu vermeiden: Parallele Leitungen erzeugen zusätzliche Kapazitäten. Daher sollte der Anwender auf jeden Fall auf diese Art des Anschlusses verzichten.

Aufgrund der mit einem LC-Filter herausgefilterten Taktfrequenzen sinken die Ableitströme. Dies erlaubt einen Parallelanschluss von Motoren. Notfalls auch mit längerem parallel geführtem Motorkabel.

Bei Mehrmotorenbetrieb empfohlen: Schleifen Sie die Motorleitung von Motor zu Motor durch.

Praxis - EMV-Maßnahmen umsetzen

Von der Theorie zur Praxis

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 einigen Fabrikaten sind

diese bereits im Frequenzumrichter eingebaut. Bei anderen muss der Anlagenbauer dafür zusätzlichen, knappen und wertvollen Platz im Schaltschrank vorsehen. Allgemeine Erläuterungen zu den Themen EMV, niederfrequente Netzurückwirkungen und hochfrequente Funkstörungen finden Sie in dieser Broschüre auf den Seiten 12 ff.

Hinweis: Hochwertige Frequenzumrichter verfügen standardmäßig über qualitativ gute Maßnahmen zur Funkentstörung und Reduktion von Netzurückwirkungen. Diese Maßnahmen machen ca. 15 – 20 % des Preises für einen Frequenzumrichter aus.

Funkstörungen

Empfehlungen für die Praxis

Bereits auf den Seiten 20 ff erhielten Sie ausführliche Informationen zu hochfrequenten Funkstörungen. In der Praxis geht es um stabil laufende Anlagen, bei denen sich die verwendeten Komponenten nicht gegenseitig stören. Dennoch kommt es immer wieder vor, dass nach Umbauarbeiten und dem Einsatz neuer Komponenten sensible Messungen nicht mehr störungsfrei möglich und/oder Messsignale verfälscht sind. Genau diese Fälle gilt es zu vermeiden. Um ein hohes Maß an Störsicherheit zu erreichen, empfiehlt es sich daher, Frequenzumrichter mit einem hochwertigen Funkentstörfilter einzusetzen. Dieser sollte die Kategorie C1 nach der Produktnorm EN 61800-3 erfüllen und damit die Grenzwerte der Fachgrundnorm EN 55011 nach Klasse B berücksichtigen. Kommen Funkentstörfilter zum Einsatz, die nicht der Kategorie C1 entsprechen, sondern nur den Kategorien C2 /C3/C4 entsprechen, so sind zusätzlich Warnhinweise auf den Frequenzumrichtern anzubringen. Die Verantwortung dafür liegt letztendlich dann beim Betreiber. Wie auf Seite 21 beschrieben, legt das Prüfungsinstitut bei einer Störung in jedem Fall zur Störungsbeseitigung die Grenzwerte A1/2 und B der Fachgrundnorm EN55011 entsprechend der Einsatzumgebung zugrunde. Die Kosten für die Beseitigung der

EMV-Störungen trägt der Betreiber. Für die passende Zuordnung der Klassen in diesen beiden Normen ist letztendlich der Betreiber selbst verantwortlich. Bedingt durch den Übertragungsweg Kabel, können sich leitungsgebundene Störungen bei unzureichenden Maßnahmen schnell in verschiedenste Bereiche einer Installation ausbreiten. EMV- Störungen die vom Gerät und Kabel selber über die Luft abgestrahlt werden sind dagegen räumlich gebunden. Mit jedem cm weiteren Abstand von der Störquelle nimmt ihre Intensität ab. Deshalb ist z. B. die EMV-gerechte Installation eines Umrichters in einem geeigneten Schaltschrank zur Begrenzung der luftgebundenen Störungen meist ausreichend. Für die leistungsgebundenen Störungen sollte der Betreiber aber immer einen geeigneten Filter vorsehen. Für Funkentstörfilter gibt es in der Praxis zwei Lösungen. Es gibt Hersteller, die Funkentstörfilter bereits serienmäßig in die Geräte einbauen, und solche, die Filter als Option mit anbieten. Eingebaute Filter sparen nicht nur viel Platz im Schaltschrank, es entfallen zusätzliche Kosten für Montage, Verdrahtung und Material. Der wichtigste Vorteil ist aber die perfekte EMV-Abstimmung und Verkabelung integrierter Filter. Externe, vor dem Frequenzumrichter, als Option installierte EMV-Filter, wei-

sen einen zusätzlichen Spannungsverlust auf. In der Praxis bedeutet dies, dass am Frequenzumrichter nicht mehr die volle Netzspannung anliegt und eventuell eine Überdimensionierung erforderlich ist. Kosten entstehen für die Montage, Verkabelung und das Material. Die EMV-Abstimmung ist nicht getestet, die Verantwortung trägt der Errichter. Wichtig ist auch die maximal anschließbare Motorkabellänge, bei der der Frequenzumrichter die EMV-Grenzwerte noch einhält. Hier gibt es in der Praxis Unterschiede von 1 m bis zu 50 m. Steigende Motorkabellängen setzen bessere Funkentstörfilter voraus.

Hinweis: Für einen störsicheren Betrieb des Antriebssystems gilt grundsätzlich die Empfehlung Frequenzumrichter mit einem Funkentstörfilter nach Kategorie C1 einzusetzen.

Bemerkung: Die Serie VLT® HVAC Drive wird mit einem standardmäßig eingebauten Funkentstörfilter geliefert, der bei 400 V Netzen und Motorleistungen bis 90 kW der Kategorie C1 (EN 61800-3) und von 110 bis 630 kW der Kategorie C2 entspricht. VLT® HVAC Drive hält C1 (leistungsgebunden) bis max. 50 m und C2 bis max. 150 m geschirmtes Motorkabel ein.

Praxis - EMV-Maßnahmen umsetzen

Netzurückwirkungen

Zwischenkreis beeinflusst Netzurückwirkungen

Auf den Seiten 14 ff sind die allgemeinen Grundlagen zu niederfrequenten Netzurückwirkungen und Maßnahmen zu deren Reduktion beschrieben.

Der zunehmende Einsatz von Gleichrichterlasten verschärft das Auftreten von Netzurückwirkungen. 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 hohe Stromstärke bricht die Netzspannung kurzfristig etwas zusammen, die Sinusform der Netzspannung geht verloren. Um das Versorgungsnetz sauber zu halten ist es heute erforderlich, 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.

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 den Netzurückwirkungen zu begrenzen, stehen dem Betreiber der Anlagen verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung. Sie lassen sich in passive und aktive Maßnahmen untergliedern und unterscheiden sich unter anderem insbesondere in der Projektierung.

Netzdrosseln

Das übliche und kostengünstigste Verfahren, um die Netzurückwirkungen zu reduzieren, ist der zusätzliche Einbau von Drosseln, entweder im Zwischenkreis oder am Eingang von Frequenzumrichtern.

Der Einsatz einer Netzdrossel im Frequenzumrichter verlängert den Stromfluss zur Aufladung der Zwischenkreiskondensatoren, setzt die Stromstärke (Amplitude) herab und reduziert die Verzerrungen der

Netzspannung deutlich (weniger Netzurückwirkungen). Die Stärke der Verzerrungen der Netzspannung hängt auch von der Güte des Netzes (Trafoimpedanz, Leitungsimpedanzen) ab. Als Faustformel für die angeschlossene Frequenzumrichterlast (bzw. andere 3-phasige Gleichrichterlasten) im Verhältnis zur Speisestrafoleistung gelten die Werte in der Tabelle unten. Bei Überschreitung der Maximalwerte sollten Sie Rücksprache mit dem Hersteller des Frequenzumrichters halten.

Neben der Reduktion der Netzurückwirkungen erhöht die Netzdrossel die Lebensdauer der Zwischenkreiskondensatoren, da sich diese durch das Kappen der Stromspitzen schonen lassen. Zusätzlich verbessern Netzdrosseln die Spannungsfestigkeit der Frequenzumrichter bei Netztransienten. Aufgrund des geringeren

Eingangstroms fallen die Kabelquerschnitte und Netzsicherungen kleiner aus. Die Drossel kostet jedoch zusätzlich Geld und beansprucht Platz.

Bemerkung: Bei Frequenzumrichtern der Serie VLT® HVAC Drive ist die Netzdrossel als Zwischenkreisdrossel ausgeführt und immer im Gerät integriert. Diese senkt den THDi von 80 % auf 40 % und erfüllt damit die Anforderung der EN 61000-3-12. Die Wirkung ist dabei mit einer externen 3-Phasen-Netzdrossel (UK 4 %) vergleichbar. Der an der Zwischenkreisdrossel auftretende Spannungsabfall, wird vom Frequenzumrichter kompensiert. Dem Motor steht damit die volle Spannung (400 V) zur Verfügung (siehe auch S. 34).

Maximal 20 % Frequenzumrichter-Last am Transformator

—> bei FU's ohne Maßnahmen zur Netzurückwirkung, das bedeutet unverdrosselt oder gering verdrosselt (z. B. mit $U_K 2\%$)

Maximal 40 % Frequenzumrichter-Last am Transformator

—> bei FU mit Maßnahmen zur Netzurückwirkung, das bedeutet verdrosselt mit mindestens $U_K 4\%$

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

Praxis - EMV-Maßnahmen umsetzen

Passive Filter

Universell einsetzbar sind passive OberschwingungsfILTER, die aus einer LC-Beschaltung bestehen. Ihr Wirkungsgrad ist hoch, typischerweise bei ~ 98,5 % und höher. Die Technik ist sehr robust und bis auf ggf. vorhandene Kühlluftgebläse in der Regel wartungsfrei. Folgendes ist bei passiven Filtern zu beachten. Werden sie im Leerlauf betrieben, wirken sie aufgrund von filterbedingten Kreisströmen als kapazitive Blindleistungsquelle. Je nach Anwendungsfall ist eine Gruppierung der Filter und ggf. selektives Zu- und Abschalten sinnvoll.

Aktive Filter, Active Front End und Low Harmonic Drives

Ein neuer Weg, basierend auf verbesserten Halbleitern und moderner Mikroprozessortechnik, ist der Einsatz von aktiven elektronischen Filtersystemen. Diese messen permanent die Netzqualität und speisen mittels einer aktiven Stromquelle gezielt ins Netz ein. Das Ergebnis ist in Summe wieder ein sinusförmiger Strom. Der Aufbau dieser neuen Filtergeneration ist im Vergleich zu den bisher genannten Filtermaßnahmen vergleichsweise aufwändig und teuer, da eine hoch auflösende und schnelle Datenerfassung und hohe Rechnerleistung erforderlich sind.

12-, 18-, 24- pulsige Gleichrichter

Frequenzumrichter mit Gleichrichterschaltungen höherer Pulszahl sind in der Praxis eher im größeren Leistungsbereich anzutreffen. Zum Betrieb ist ein spezieller Transformator erforderlich.

Empfehlung

Eine grundsätzliche Empfehlung für eine der genannten Maßnahmen zur Reduktion von Netzrückwirkungen

gen gibt es nicht. Wichtig ist, bereits während der Planungs- und Projektierungsphase, die Weichen für ein Antriebssystem mit hoher Verfügbarkeit und geringen Netzrückwirkungen und Funkstörungen richtig zu stellen. Prinzipiell gilt:

Vor der Entscheidung, welche der genannten Reduktionsmaßnahmen zum Einsatz kommt, müssen folgende Faktoren sorgsam analysiert, werden:

- Netzanalyse
- genaue Übersicht über die Netztopologie

- Platzverhältnisse in den zur Verfügung stehenden elektrischen Betriebsräumen
- Möglichkeiten der Haupt- bzw. Unterverteilungen

Hinweis: Es besteht bei den teuren aktiven Maßnahmen die Gefahr, weit über das Ziel hinauszuschießen, da diese Maßnahmen als gravierenden Nachteil Störungen im Frequenzbereich oberhalb 2 kHz verursachen. (Vergleiche S. 17 ff)



Low Harmonic Drive Frequenzumrichter sind eine Kombination aus Frequenzumrichter mit eingebautem, zum Netz hin wirkendem, aktiven Filter

Praxis - FI-Schutzschalter

Allstromsensitive Schutzeinrichtung

Der Begriff FI-Schutzschalter für spannungsunabhängige Geräte und Differenzstrom-Schutzschalter für spannungsabhängige Geräte wurde bisher im deutschsprachigen Raum verwendet. International werden diese Geräte als Residual Current operated Circuit-Breaker (RCCB) bezeichnet. Der übergeordnete Begriff lautet Residual Current operated Device (RCD) nach EN 61008-1.

Sie müssen FI-Schutzeinrichtungen in allstromsensitiver Ausführung verwenden, falls Sie im abzusichernden Bereich Geräte einsetzen, die im Fehlerfall einen glatten Gleichstrom

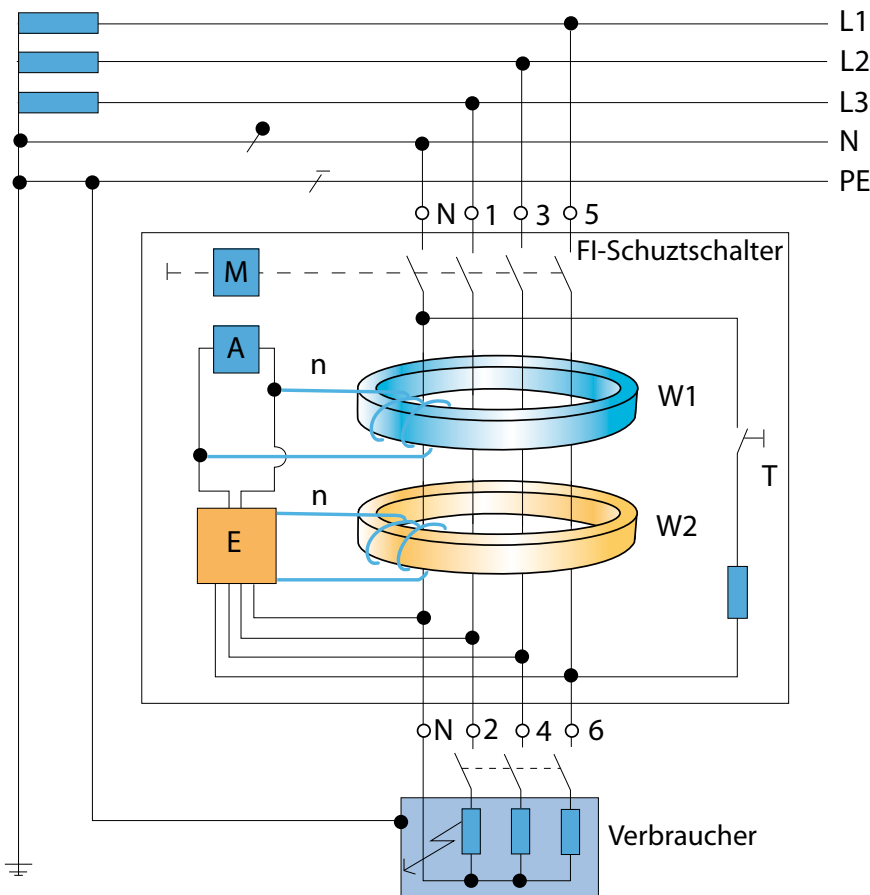
erzeugen können. Dies trifft auf alle elektrischen Betriebsmittel zu, die eine B6-Gleichrichterbrücke (z. B. Frequenzumrichter) am Drehstromnetz nutzen.

Dieser allstromsensitive FI-Schutzschalter trägt gemäß IEC 60755 die Bezeichnung „Typ B“. Frequenzumrichter verursachen prinzipbedingt Erdableitströme, die die Anlagenbauer und/oder Betreiber bei der Wahl des Bemessungsfehlerstroms berücksichtigen müssen. Fragen Sie Ihren Hersteller des Frequenzumrichters nach einem für Ihre Anwendung geeigneten FI-Schutzschaltertyp.

Der Einbauort für den FI-Schalter muss direkt zwischen speisendem Netz und Umrichter liegen. Die Einbindung in einen hierarchischen Aufbau mit anderen FI-Schutzschaltern ist nicht zulässig.

Höhe des Ableitstroms

Verschiedene Faktoren beeinflussen die Höhe des auftretenden Ableitstroms. Generell gilt: je größer die eingesetzte Leistung, desto höher die Ableitströme, die im Frequenzumrichter und Motor auftreten. Ein Frequenzumrichter ohne Funkentstörmaßnahmen und mit kurzer Leitungslänge (ca. 2 m) zum Motor wird in der Leistungsklasse 1,5 kVA einen Ableitstrom von ca. 4 mA erzeugen. Wird Funkentstörgrad B gefordert, steigt der Ableitstrom bei gleicher Konstellation auf ca. 22 mA an. Ein 20 kVA Frequenzumrichter wird mit Funkentstörgrad B und kurzer geschirmter Motorleitung einen Ableitstrom von ca. 70 mA erzeugen. Für das Motorkabel kann der Anwender mit 0,5 bis 2 mA/m Motorkabel rechnen. Symmetrische Kabel erreichen dabei geringere Werte als Einzeladerverlegung.



Allstromsensitive FI-Schutzschalter verfügen über 2 getrennte Überwachungskreise, einen für reinen Gleichstrom und einen für Fehlerströme mit Wechselstromanteil.

Praxis - Erdung und Motorschutz

Erdungsmaßnahmen in der Praxis

Die Erdungsmaßnahmen finden Sie bereits in Schritt 3 "Motor und Verkabelung" auf den Seiten 37 ff ausführlich beschrieben.

Benötigt die Anwendung externe Filter, so sind diese möglichst dicht am Frequenzumrichter zu montieren. Die Leitung zwischen Filter und Gerät sollte als geschirmte Leitung ausgeführt und der Filter auf der Netz- und Geräteseite mit dem Erdleiter verbunden sein. Zusätzlich ist eine flächige Montage des Filters zu empfehlen, sowie eine gut leitende Verbindung vom Filtergehäuse zur Masse.

Filter produzieren Ableitströme, die im Fehlerfall (Phasenausfall, Schief- last) erheblich über die Nennwerte ansteigen können. Um gefährliche Spannungen zu vermeiden, sind

Filter daher vor dem Einschalten zu erden. Frequenzumrichter erzeugen in der Regel Ableitströme $> 3,5 \text{ mA}$. Mit überschreiten diese Grenze muss nach EN 50178 bzw. EN 60335 entweder:

- der Schutzleiter $\geq 10 \text{ mm}^2$ sein
- oder der Schutzleiter auf Unterbrechung überwacht werden
- oder ein zweiter Schutzleiter zusätzlich verlegt werden.

Es handelt sich bei Ableitströmen um hochfrequente Störgrößen. Dies erfordert Erdungsmaßnahmen, die niederohmig ausgeführt, großflächig angeschlossen und auf kürzestem Weg mit dem Erdpotential verbunden sind.

Hinweis: Die besten Maßnahmen in Bezug auf Netzurückwirkungen und Funkstörungen nutzen nichts, wenn der Ausführende bei der Installation nicht nach EMV-Gesichtspunkten handelt. Störungen sind dann unvermeidlich.

Bemerkung: Aufgrund der erzeugten Ableitströme $> 3,5 \text{ mA}$ schreibt die EN 50178 besondere Erdungsmaßnahmen vor.

Motorschutz und Motorkaltleiter

Frequenzumrichter übernehmen den Motorschutz gegen Überstrom. Für bestmöglichen thermischen Motorschutz kommen Thermistorfühler oder Thermokontakte in der Motorwicklung zum Einsatz. Thermistoren nach DIN 44081 bzw. DIN 44082 sind so ausgelegt, dass sie beim Erreichen ihrer Normansprechttemperatur (NAT) ihr Widerstandwert in einem bestimmten Bereich ($\text{NAT} - 5^\circ\text{C} < 550 \Omega / \text{NAT} + 5^\circ\text{C} > 1330 \Omega$) liegt. Viele Umrichter verfügen über geeignete Funktionen zur Auswertung dieser Thermoelementen. Für Motoren, die im Ex-Bereich betrieben werden, ist die Thermistorauswertung nur mit zertifizierten Auslösegeräten zulässig (siehe Seite 29).

Die Geräteschutzfunktion von Motorschutzschaltern ist auf den direkten Netzbetrieb beschränkt. In Schaltanlagen mit Frequenzumrichtern würden sie nur noch bei Umgehung des Frequenzumrichters im Notfall, über eine Bypass-Schaltung, als Motorschutz wirken können. Die eigentliche Motorschutzfunktion des Schalters geht beim Umrichterbetrieb verloren. Dennoch kann er bei korrekter Dimensionierung als Dreiphasenleistungsschalter mit reiner Leitungsschutzfunktion auch bei umrichterbetriebenen Motoren sinnvoll eingesetzt werden.

Bemerkung: Viele Frequenzumrichter verfügen über eine zusätzliche Funktion, das thermische Motorabbild. Anhand der Motordaten und der an den Motor übertragenen Leistung wird dessen Temperatur berechnet. Diese Funktion ist meist sehr konservativ ausgelegt und löst eher zu früh, als zu spät aus. Die aktuelle Umgebungstemperatur beim Start der Berechnung wird in der Regel nicht berücksichtigt. Ist kein weiterer Motorschutz verfügbar, ist diese Funktion aber eine einfache Möglichkeit, einen Grundschatz für den Motor zu gewährleisten.

Hinweis: Beim VLT® HVAC Drive sind als Standard die Klemmen 50 und 54 für den Anschluss von Thermistoren vorgesehen. Der Anschluss ist geeignet für eine Motortemperaturüberwachung ausgeführt mit 3...6 PTC-Perlen (Standard: 3 Perlen pro Motor).

Praxis - Bedienung und Datenanzeige

Einfaches Bedienkonzept

Die grundlegende Technik aller Frequenzumrichter ist gleich, daher spielt die Bedienerfreundlichkeit eine entscheidende Rolle. Viele Funktionen sowie die Integration in Maschinen und Anlagen erfordern ein einfaches Bedienkonzept. Es soll alle Anforderungen für eine einfache und zuverlässige Konfiguration und Installation erfüllen.

Die Auswahl geht von einfachen und preisgünstigen numerischen Anzeigen bis hin zu komfortablen Bedieneinheiten, die Informationen im Klartext anzeigen. Für die reine Beobachtung von Betriebsgrößen wie Strom oder Spannung reichen einfache Bedieneinheiten aus. Komfortable Bedieneinheiten bieten dagegen die Möglichkeit der Anzeige weiterer Betriebsgrößen oder stellen diese gleichzeitig dar.



Eine übersichtliche Gruppierung von Funktionen und eine einfache Handbedienung gehören ebenso dazu wie die Zugriffsmöglichkeiten über Software, Feldbusse oder gar eine Fernwartung mittels Modem oder Internet.

Ein moderner Frequenzumrichter sollte in der Lage sein, alle im folgenden genannten Bedienkonzepte in einem Gerät zu vereinen oder zu ermöglichen und jederzeit zumindest eine Umschaltung zwischen Hand- und Fernbetrieb zulassen.



Grafische Bedieneinheiten bieten Bedienerkomfort und Informationen im Klartext.



design award winner

Die Bedieneinheit erhielt 2004 den iF Design Award für herausragende Bedienerfreundlichkeit. Das LCP 102 wurde unter mehr als 1000 Teilnehmern aus 34 Ländern in der Kategorie „Mensch-Maschine/Kommunikations-Schnittstelle“ ausgezeichnet.



Einfache Inbetriebnahme

Funktionen wie der Smart Start von Danfoss vereinfachen die Inbetriebnahme von Umrichter erheblich. Der Anwender wird dabei durch die grundlegenden Einstellungen des Umrichters geführt.

Praxis - Bedienung und Anzeige

Lokale Bedienung

Als Grundanforderung ist die Bedienung vor Ort an einer lokalen Bedieneinheit zu betrachten. Auch im Zeitalter vernetzter Kommunikation gibt es eine Vielzahl von Aufgaben, die eine direkte Zugriffsmöglichkeit am Gerät erfordern – beispielsweise Inbetriebnahmen, Tests, Optimierung von Prozessen oder Wartungsarbeiten vor Ort in Anlagen. In jedem dieser Fälle kann es für den Bediener oder Techniker nötig sein, lokal Werte zu verändern, um die Änderungen in der Anlage sofort zu erfassen und um beispielsweise Fehler zu diagnostizieren. Dafür sollte die Bedieneinheit eine einfache und intuitiv bedienbare Mensch-Maschine-Schnittstelle zur Verfügung stellen.

Übersichtliche Anzeige

Ideal ist dafür ein grafisches Display, das die Bedienung in der jeweiligen Landessprache erlaubt und in der Grundfunktion die für die jeweilige Applikation wesentlichen Parameter anzeigt. Diese Statusinformationen müssen sich für eine gute Übersichtlichkeit auf die absolut notwendigen Parameter beschränken und jederzeit anzupassen bzw. zu ändern sein. Hilfreich ist auch die Möglichkeit, entsprechend dem Kenntnisstand der Bediener bestimmte Funktionen zu sperren oder auszublenden und nur die Parameter anzuzeigen und zur Änderung freizugeben, die für die Prozessanpassung und -steuerung jeweils notwendig sind. Bei der Vielzahl der Funktionen moderner Frequenzumrichter, die häufig mehrere hundert Parameter zur optimalen Anpassung besitzen, vermindert dies Fehlbedienung und daraus resultierende teure Stillstands- und Ausfallzeiten der Anlage. Ebenso sollte das Display über eine integrierte Hilfefunktion für die einzelnen Funktionen verfügen, um dem Inbetriebnehmer

oder Servicetechniker jederzeit eine Hilfestellung – vor allem bei selten benutzten Parametern – zu geben, um auch hier eine Fehlbedienung weitestgehend auszuschließen. Für die optimale Nutzung von integrierten Diagnosefunktionen ist neben einer alphanumerischen Anzeige auch die Möglichkeit zur Darstellung von grafischen Verläufen (sogenannte Scope-Funktion) sehr hilfreich. Häufig erleichtert eine solche Visualisierung, beispielsweise der Rampenformen und/oder des Drehmomentverlaufes, die Fehlersuche.

Einheitliches Konzept

In HLK und Kältetechnischen Anlagen gibt es viele Frequenzumrichter in den unterschiedlichsten Anwendungen. Die Umrichter, in der Regel meist alle vom selben Hersteller, unterscheiden sich vor allem durch ihre elektrische Leistung und dadurch in Größe und Aussehen. Eine durchgängige Bedienung der Frequenzumrichter, mit immer der gleichen Bedieneinheit über den gesamten Leistungsbereich, bietet dem Anlagenbauer und auch dem Anlagenbetreiber Vorteile. Grundsätzlich gilt: Je einfacher die Bedienung, desto schneller und effektiver kann eine Inbetriebnahme oder eventuelle Fehlersuche erfolgen. Bewährt haben sich daher Konzepte mit während des Betriebs steckbaren Bedieneinheiten.

Hinweis: Achten Sie auf das richtige Bedienkonzept der zu projektierenden Frequenzumrichter. Es ist dabei ein Design von Vorteil, das die größtmögliche Bedienungsfreundlichkeit bei Parametrierung und Programmierung bietet. Denn nicht nur die Funktionalität des Antriebs ist heute wichtig – auch die schnelle und einfache Bedienung, die intuitiv erfolgen sollte. Nur so reduziert sich der Aufwand - und damit die Kosten für die Einarbeitung und die späteren Zugriffszeiten der mit den Frequenzumrichtern befassten Mitarbeiter.

Integriert in die Schaltschranktür

In vielen Anlagen, in denen Frequenzumrichter im Schaltschrank installiert sind, sollen Anlagenbauer zur Prozessvisualisierung die Bedienteile in die Schaltschranktür integrieren. Dies ist nur bei Frequenzumrichtern möglich, die eine abnehmbare Bedieneinheit haben. Mittels eines Einbaurahmens in die Schaltschranktür integriert, lässt sich der Frequenzumrichter damit bei geschlossenem Schaltschrank bedienen, sein Betriebszustand ablesen sowie Prozessdaten auslesen.

Frequenzumrichter lassen sich auch bei geschlossener Schaltschranktüre parametrieren und auslesen.

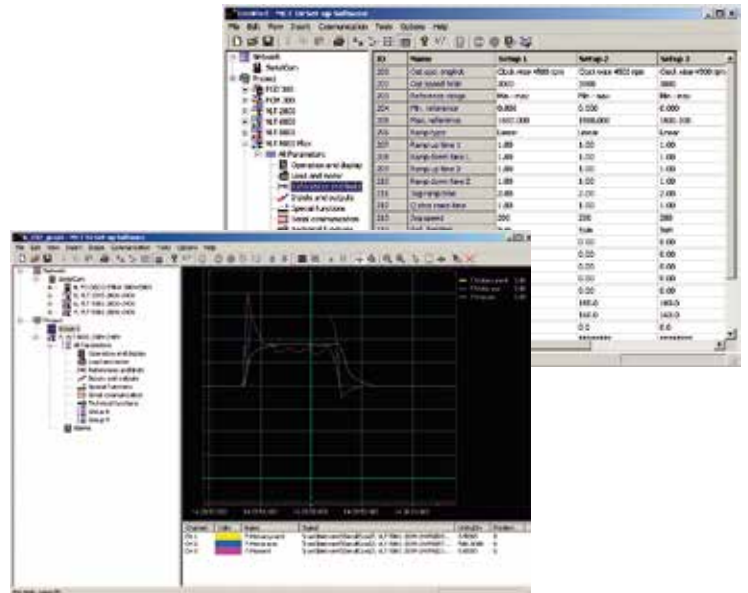


Praxis - Bedienung und Parametrierung mittels PC

Erweiterte Möglichkeiten

Neben der Bedienung über ein Bedienteil, bieten moderne Frequenzumrichter, in der Regel, die Möglichkeit der Parametrierung und Datenauslese über eine PC-Software. Diese Software ist meist Windows-basiert und unterstützt mehrere Kommunikationsschnittstellen. Sie erlauben den Datenaustausch über die klassische RS 485-Schnittstelle, über Feldbus (PROFIBUS DPV1, Ethernet, ect.) oder über eine USB-Schnittstelle. Eine übersichtliche Bedienoberfläche gibt einen schnellen Überblick über alle Antriebe innerhalb einer Anlage. Eine gute Software bietet zudem die Möglichkeit, große Projekte mit vielen Antrieben zu verwalten. Die Projektierung ist on- und offline möglich. Idealerweise bietet die Software auch die Möglichkeit, Dokumente in das Projekt einzubinden. Damit ist es unter anderem möglich, über die Software auf Anlagenschaltpläne oder Betriebsanleitungen zuzugreifen.

Bemerkung: Mit der MCT 10 Software steht ein Windows-basiertes Engineering Tool für einfacheres Projektieren, Parametrieren und Programmieren der VLT® HVAC Drive Serie bereit. Die Basis Version der Software ist kostenfrei und kann von der Webseite www.danfoss.de/software geladen werden.



PC-Software für Frequenzumrichter bietet neben dem Parametrieren auch die Möglichkeit Prozessdaten mitzuschreiben oder Projekte zu verwalten



Praxis - Datenaustausch

Bussysteme

Moderne Frequenzumrichter sind intelligent und damit in der Lage viele Funktionen in Antriebssystemen zu übernehmen. Trotzdem arbeiten die Geräte auch heute noch häufig mit nur 4 Datenpunkten in einem Leitsystem oder an eine DDC und fungieren nur als Drehzahlsteller. Betreiber nutzen so die vielen nützlichen Funktionen nicht aus und gespeicherte Anlagendaten bleiben ihm verborgen. Dabei lässt sich das volle Potential von Frequenzumrichtern einfach ausschöpfen, indem Anwender sie mittels einer Feldbusanbindung wie z. B. BACnet in das Gebäudeleitsystem integrieren. Mit nur einem einzigen Hardware-Datenpunkt haben sie dann den vollen Zugriff auf alle Objekte des angeschlossenen Frequenzumrichters. Inbetriebnahme und Verdrahtung vereinfachen sich, was bereits bei der Installation zu Kosteneinsparungen führt. Ohne zusätzliche Komponenten steht eine Vielzahl von Daten für ein effektives Anlagenmanagement zur Verfügung. Die Aufschlüsselung der Sammelstörmeldungen ermöglicht es, bereits aus der Ferne Ursachen einzugrenzen und die richtigen Schritte zur Fehlerbehebung einzuleiten.

Besseres Alarmmanagement

Detaillierte Alarmmeldungen vereinfachen die Lokalisierung möglicher Fehlerursachen und unterstützen somit wirksam die Anlagenfernüberwachung. Durch Fernwartung über Modem oder Internet ist es möglich, Zustands- und/oder Störmeldungen auch von entlegenen Anlagen oder Anlagenteilen schnell zu visualisieren.

Besseres Anlagenmanagement

Die Leitwarte hat die Möglichkeit, alle Einstellungen der Frequenzumrichter aus der Ferne zu überwachen und anzupassen. Zustandsdaten, wie z. B. die Ausgangsfrequenz oder den Leistungsverbrauch, kann sie jederzeit auslesen und auswerten. Zusätzliche Daten für ein effektives Energie- und Spitzenlastmanagement stehen so ohne externe Komponenten zur Verfügung.

Einsparung bei der Installation

- Nicht jeder Frequenzumrichter benötigt ein eigenes Display. Der Anwender/Betreiber hat bereits über das Leitsystem Zugriff auf alle relevanten Daten des Frequenzumrichters.
- Vereinfachte Verdrahtung durch Zweidrahtverbindung.
- Nicht genutzte Ein- und Ausgänge des Frequenzumrichters können als E/As andere Komponenten wie z. B. Messfühler, Filter und Endschalter in das Leitsystem integrieren.
- Wegfall von Ein- und Ausgangsbausteinen, da zur Ansteuerung der Frequenzumrichter ein Hardwaredatenpunkt ausreicht.
- Ohne zusätzliche Komponenten stehen Überwachungsfunktionen wie Motorkaltleiterüberwachung, Trockenlaufschutz, usw. sowie Leistungs- und Betriebsstundenzähler zur Verfügung.

Vereinfachte Inbetriebnahme

Die Parametrierung erfolgt von der Leitwarte aus. Alle Einstellungen lassen sich schnell und einfach von Frequenzumrichter zu Frequenzumrichter kopieren. Im Speicher des Displays lässt sich eine Sicherung der Einstellungen dauerhaft ablegen. Planer und Inbetriebnahmepersonal können eine Dokumentation der Einstellungen per Knopfdruck erstellen.



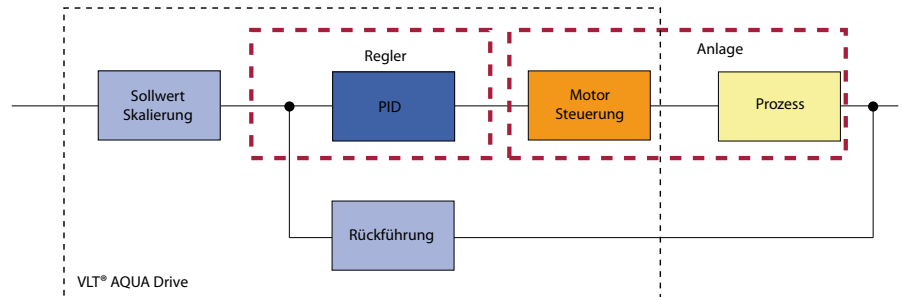
Busse für VLT® HVAC Drive	
Integriert (Serienmäßig)	Option (Nachrüstbar)
Modbus RTU	MCA 101 – Profibus DP V1
FC Protocol	MCA 104 – DeviceNet
N2 Metasys	MCA 108 – LONworks
FLN Apogee	MCA 109 – BACnet (Erweitert)
BACnet (Standard)	MCA 120 – Profinet
	MCA 121 – EtherNet/IP
	MCA 122 – Modbus TCP

Praxis - Weitere Auswahlfaktoren

Prozessregler

Frequenzumrichter sind heutzutage intelligente Antriebsregler. Sie sind in der Lage, Aufgaben oder Funktionen der DDC zu übernehmen. Durch implementierte Prozessregler lassen sich auch unabhängige Regelkreise mit hoher Genauigkeit aufbauen. Dieser Aspekt ist vor allem beim nachträglichen Einbau interessant, wenn in der Anlage nicht mehr genügend DDC-Kapazität zur Verfügung steht oder gar keine DDC existiert.

Die Versorgung aktiver Prozessgrößenwandler (Istwertgeber für Durchfluss, Druck oder Pegelstand) kann dabei über die 24 V DC-Steuerspannung des Frequenzumrichters erfolgen, wenn diese eine ausreichende Versorgungsleistung aufweist.



PID Prozessregler, Prinzip

Wartung

Die meisten Frequenzumrichter sind nahezu wartungsfrei. Bei Frequenzumrichtern größerer Leistung sind Filtermatten eingebaut, die Betreiber je nach Staubbelastung von Zeit zu Zeit reinigen müssen.

Es gilt allerdings zu beachten, dass Hersteller von einigen Frequenzumrichtern Wartungsintervalle für Kühlluftventilatoren (ca. 3 Jahre) und Kondensatoren (ca. 5 Jahre) angeben.



Bemerkung: Danfoss VLT® Frequenzumrichter sind bis 90 kW wartungsfrei. Ab einer Leistung von 110 kW sind in den Kühllüftern Filtermatten integriert, die in regelmäßigen Abständen zu kontrollieren und gegebenenfalls zu reinigen sind.

Lagerung

Wie alle elektronischen Geräte müssen Frequenzumrichter trocken gelagert werden. Die Angaben der Hersteller sind dabei zu beachten. Einige Hersteller schreiben vor, die Geräte regelmäßig zu formieren. Hierfür muss der Anwender das Gerät eine bestimmte Zeit an definierte Span-

nungen legen. Grund für diese Formierung ist die Alterung der Kondensatoren im Zwischenkreis des Gerätes. Je nach Qualität der eingesetzten Kondensatoren altern sie langsamer oder schneller. Die Formierung wirkt diesem Prozess entgegen.

Bemerkung: Aufgrund der verwendeten Qualität der Kondensatoren und des flexiblen, auftragsbezogenen Fertigungskonzeptes ist eine solche Prozedur für VLT® HVAC Drive Frequenzumrichter nicht erforderlich.

VLT® HVAC Drive

Danfoss hat den VLT® HVAC Drive speziell für Anwendungen in der HLK und Kältetechnik entwickelt. Im Gegensatz zu vielen anderen Fabrikaten sind alle wichtigen Komponenten und Funktionen standardmäßig integriert.

- Volle Netzspannung am Ausgang
- Anschluss langer Motorleitungen (150 m geschirmt/300 m ungeschirmt)
- Dimensioniert für lange Lebensdauer
- Eingebauter Funkentstörfilter nach EN 61800-3; Kategorie C1 (Grenzwerte der Klasse B nach EN55011)
- Eingebaute Netzurückwirkdrossel (UK 4 %)
- Kaltleiterauswertung
- AEO-Funktion für besonders große Energieersparnis
- Thermisches Motorabbild als softwaremäßiger Motorschutz im

Frequenzumrichter integriert, der auch eine geringere Eigenbelüftung eines Motors bei niedriger Drehzahl berücksichtigt (nicht möglich mit Motorschutzschalter)

- Serielle Schnittstelle RS485
- USB-Schnittstelle
- Echtzeituhr
- Übermodulation Ein-/Abschaltbar
- Trockenlaufschutz
- Durchflussüberwachung auf der Druckseite
- Laufzeitgesteuerter Pumpenwechsel
- Verschleißmindernder Pumpenstart
- Kennlinie für die Regelung /Steuerung von Verdichtern
- Optional mit integrierter Feldbus Anbindung (auch mit ext. 24 V DC Spannungsversorgung)
- Integrierter Kaskadenregler für 3 Lüfter, Pumpen oder Verdichter

- Optional mit sensorloser Pumpenregelung
- Optional aktive und passive Netzfilter zur weiteren Oberwellenreduzierung
- Optional Sinusfilter und du/dt-Filter für alle Leistungsgrößen
- VLT® HVAC Drive in Low Harmonic Ausführung

Ausführliche Informationen erhalten Sie bei Ihrem Danfoss Ansprechpartner oder im Internet. Dort stehen Ihnen viele Informationen zum Download bereit.

www.danfoss.de/vlt

www.danfoss.at/vlt

www.danfoss.ch/vlt



Der VLT® HVAC Drive ist in den Leistungen 1,1 kW bis 1,4 MW und den Spannungen 400 V und 690 V erhältlich. Zur Reduktion von Netzurückwirkungen ist er auch als Low Harmonic Drive erhältlich.

Richtlinien in Bezug auf Frequenzumrichter

CE-Zeichen

Das CE-Zeichen (Communauté Européenne) soll technische Barrieren im Warenverkehr innerhalb der EG- und EFTA-Staaten (EWR) abbauen. Das CE-Zeichen dokumentiert, dass der Hersteller eines Produktes alle einschlägi-

gen EG-Richtlinien, die in nationalen Gesetzen umgesetzt worden sind, einhält. Das CE-Zeichen sagt nichts über die Qualität eines Produktes aus. Technische Daten lassen sich vom CE-Zeichen nicht ableiten. Im Umfeld des

Einsatzes von Frequenzumrichtern sind unter anderem die Maschinenrichtlinie, die EMV-Richtlinie und die Niederspannungsrichtlinie zu beachten.

Maschinenrichtlinie

Die Anwendung der 2006/42/EG Maschinenrichtlinie ist ab dem 29.12.2009 verbindlich. Die Maschinenrichtlinie 98/37/EG tritt damit außer Kraft. Die Kernaussage darin lautet: „Eine Maschine, als Gesamtheit von miteinander verbundenen Teilen oder Vorrichtungen, von denen

mindestens eines beweglich ist, muss so beschaffen sein, dass Sicherheit und Gesundheit von Personen und gegebenenfalls Haustieren und Gütern bei richtiger Installierung und angemessener Wartung und bestimmungsgemäßem Betrieb nicht gefährdet werden.“ Frequenzumrichter

sind elektronische Komponenten und unterliegen deshalb nicht der Maschinenrichtlinie. Setzt der Anlagenbauer Frequenzumrichter in Maschinen ein, dann dokumentiert er mit der Herstellererklärung, dass er alle relevanten Gesetze und Sicherheitsmaßnahmen einhält.

EMV-Richtlinie

Die EMV-Richtlinie 2004/108/EG ist seit dem 20.07.2007 zwingend gültig. Die Kernaussage darin lautet: „Geräte, die elektromagnetische Störungen verursachen können, oder deren Betrieb durch diese Störung beeinträchtigt werden kann, müssen so beschaffen sein, dass die Erzeugung elektromagnetischer Störungen soweit begrenzt wird, dass ein

bestimmungsgemäßer Betrieb von Funk- und Telekommunikationsgeräten sowie sonstigen Geräten eine angemessene Festigkeit gegen elektromagnetische Störungen aufweisen, so dass ein bestimmungsgemäßer Betrieb möglich ist.“ Da Frequenzumrichter nicht selbständig zu betreibende Geräte und nicht allgemein erhältlich sind, ist die Einhaltung der

EMV-Richtlinie weder durch ein CE-Zeichen noch durch eine EG-Konformitätserklärung zu dokumentieren. Danfoss Frequenzumrichter werden unabhängig von dieser Aussage mit dem CE-Zeichen für die Einhaltung der EMV-Richtlinie versehen und es ist eine Konformitätserklärung erhältlich.

Niederspannungsrichtlinie

Die Niederspannungsrichtlinie 73/23/EWG trat am 11.06.1979 in Kraft: Die Übergangsphase endete am 31.12.1996. Die Kernaussage lautet: „Elektrische Betriebsmittel zur Verwendung bei einer Nennspannung zwischen 50-1000 V AC und zwischen 75-1500 V DC müssen so beschaffen sein, dass sie bei einer ordnungsgemäßen Installation und Wartung

sowie einer bestimmungsgemäßen Verwendung die Sicherheit von Menschen und Nutztieren sowie die Erhaltung von Sachwerten nicht gefährden.“ Da Frequenzumrichter elektrische Betriebsmittel in dem angegebenen Spannungsbereich sind, unterliegen sie der Niederspannungsrichtlinie und müssen seit dem 01.01.1997 ein CE-Zeichen tragen.

Hinweis: Der Hersteller von Maschinen/Anlagen sollte darauf achten, dass er Frequenzumrichter einsetzt, die ein CE-Zeichen haben. Auf Verlangen muss eine EG-Konformitätserklärung abgegeben werden.

Stichwortverzeichnis

Symbole

1. Umgebung / Klasse B.....	21
2. Umgebung / Klasse A	21
4-Quadranten-Betrieb	18
12-18- oder 24-pulsige Gleichrichter	16, 45

A

Ableitströme	47
Ableitstromes	46
Abschirmung.....	38
Active Front End.....	18, 45
AEO-Funktion (Automatische Energie Optimierung)	8
AFE.....	18, 19
Aggressive Gase.....	27
Aktive Filter	17, 45
Aktive Saugfilter.....	23
Alarmmanagement.....	51
Allstromsensitive FI-Schutzschalter.....	46
Amortisationszeit.....	7
Anlagenverschleiß.....	7
Anlaufstrombegrenzung.....	7
Anschlussleistung	40
Anschlussmaße	31
Arbeitspunkt	9
Arrhenius-Gesetz.....	26
Art der Abschirmung	39
ATEX	29
Ausbreitungswege	13
Ausgangsfiler.....	35
Ausgangsspannung	40
Auslegungstemperatur	26
Auswahl und Dimensionierung von Kabel.....	36

B

Bedieneinheiten.....	48
Beispiel für niedrigere LCC	9
Betriebspunktanpassung	7
BLDC.....	32
Blindleistung	23
Blindstromkompensation.....	22, 23
Blindstrom-Kompensationsanlagen.....	15
Blockheizkraftwerken.....	23
Breitbandstörer	43
Brushless DC	32
Bussysteme	51

C

CE-Zeichen.....	54
Common Mode Filter.....	35

D

Differenzstrom-Schutzschalter	46
Doppelschirmung	39
Drehmoment.....	40
Drehmomentkennlinie	40
Drehzahlabhängige Strombegrenzung.....	29
Drehzahlregelung	9
Drosseln	16, 23
Drosselregelung.....	8, 9
du/dt 36	
du/dt-Filter.....	35

E

EC+ Konzept	33
EC-Motoren	32
Einfachschirmung	39
Elektrische Felder.....	13
Elektrolytkondensatoren.....	26
Elektromagnetische Verträglichkeit	21
Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV).....	12
Elektromagnetische Wellen	13
Elektronische Drehzahlregelung	7
EMV-Filter	20, 43
EMVG	14
EMV-gerechte Erdung	37
EMV-gerechte Installation	43
EMV-Maßnahmen	43
EMV-Richtlinie.....	54
EMV-Störungen	21, 43
EN 50160.....	14
EN 50178.....	14, 47
EN 50310.....	11
EN 50347.....	31
EN 55011.....	20, 21, 43
EN 60204-1.....	36
EN 60335.....	47
EN 61000-2-2.....	14
EN 61000-2-4.....	14
EN 61000-3-2.....	14
EN 61000-3-12.....	14, 44
EN 61000-4-1.....	22
EN 61008-1.....	46
EN 61800-3.....	12, 20, 35, 43
Energieeinsparpotenzial.....	7
Energieeinsparung	8
Energiekosten.....	9
Erdleiter.....	47
Erdung.....	47
Erdungsmaßnahmen	37
Erdungssystem	37
EU-Richtlinie 94/9/EG.....	29
EU-Verordnung Nr. 640/2009.....	31
Ex-Bereich.....	29

F			
Filtermatten	28	Kennliniendiagramm	9
FI-Schalter	46	Klimatisierung	26
FI-Schutzschalter	46	Kommunikationsschnittstellen	50
Funkenstörfilter	43	Konstantes Drehmoment	41
Funkenstrecken	22	Kontamination	27
Funkentstörfilter	20, 43	Kopplung, kapazitive	13
Funkentstörgrad	46	Kühhlüfter	28
Funkentstörung	12	Kühlluftstrom	26
Funkstörung	20, 43	Kühlung	26
Funkstörungen	45		
G		L	
Galvanische Kopplung	13	Lagerbeanspruchung	34
Gasableiter	22	Lagerströme	34, 35
Gase	27	Lagerung	52
Generator	23	Lastkennlinie	40
Geräuschentwicklung	7	LC-Filter	35
Geschirmte Kabel	36	Lebensdauer	7
Geschirmte Leitung	47	Lebenszykluskosten	9
Geschirmte Leitungen	38	Leistungsfaktors $\cos \varphi$	22
Geschirmte Motorkabel	24	Leiteroberfläche	37
Geschirmter Kabel	39	LHD ..	18, 19
Gleichrichter	16, 18	Lokale Bedienung	49
Gleichrichterschaltungen	16	Low Harmonic Drive	18
Grenzwerte	20	Low Harmonic Drives	45
Güte des Netzes	44	Luftfeuchtigkeit	26
H		M	
Hochfrequenter Funkstörungen	20	Maschinenrichtlinie	54
I		Maximale Transformatorauslastung	23
IEC 60034-17	34, 35	Mehrmotorenbetrieb	42
IEC 60034-30	30	MEPS ..	30
IEC 60034-31	30	Mindestwirkungsgradklassen	30
IEC 60721-3-3	27	Momentenrippeln	34
IEC 60755	46	Motorfilter	35
ILK Dresden	33	Motorisolation	19, 34
Impulsspannungen	34	Motorkabel	36
induktive Kopplung	13	Motorkaltleiter	47
Industriebereiche	21	Motorleistung	40
IPMSM	32	Motornennleistung	40
Isolationsbeanspruchung	34	Motornennmoment	40
IT-Netze	11	Motornennstrom	40
K		Motorschutz	47
Kabelkanäle	39	Motorspannung	40
Kaltleiterauswertung	29	Motortemperatur	34
Kapazitive Kopplung	13	Motorzuleitung	39
Kennlinie	41		
		N	
		Nennspannungsklasse	36
		Nennstrom	40
		Netztopologie	45
		Netzanalysatoren	19
		Netzanalyse	45

Stichwortverzeichnis

Netzberechnungsprogramme	15, 23
Netzdrosseln	43, 44
Netzersatzanlagen	23
Netzfilter	20
Netzform	11
Netzimpedanz	23
Netz Oberschwingungen	13
Netzurückwirkungen	12, 13, 14, 18, 44
Netzspannung	14
Netzspannungsqualität	14, 15
Netzstörungen	15
Netztransienten	16, 22
Netzversorgung	11
Nichtlineare Kennlinie	14
Nichtsinusförmigen Laststrom	14
Niederfrequente Netzurückwirkung	14
Niederfrequente Netzurückwirkung	15
Niederspannungsrichtlinie	54
Notstromgenerator	23

O

Oberschwingungen	14, 15, 16, 19, 23
Oberschwingungsfilter	45
Oberschwingungsgehalt	16, 23

P

Passive Filter	16, 45
permanenterregte Motoren	32
Phasenverschiebungswinkel	22
Pigtails	38
PMAC	32
PM-Motoren	32
PMSM	32
Power Factor Correction	18
Proportionalitätsgesetze	8
Prozessregler	52
Pulszahl	16

Q

Quadratisches Drehmoment	41
--------------------------------	----

R

Reduzierung der Netzurückwirkungen	16
Residual Current operated Device (RCD)	46
Retrofit	35
RFI-Filter	20

S

Saugkreise	17
Schaltraum	26

Schaltschrank	24, 26
Schaltschrankheizung	26
Schirm	38
Schirmabdeckung	39
Schirmung	36, 37, 38, 39
Schlanker Zwischenkreis	18
Schutzleiter	47
Signalleitung	39
Sinusfilter	29, 34, 35, 36
Spannungsanstiegsgeschwindigkeit	29, 34
Spannungsqualität	23
Spannungsspitzen	29, 36
Spannungssteuerkennlinie (U/f-Kennlinie)	8
Spezialbereiche	21
Spitzenlasten	8
SPMSM	32
Staub	28
Störabstrahlung	43
Störaussendung	12, 39
Störbeeinflussung	39
Störeinstrahlung	39
Störenergie	38
Störfelder	13
Störfestigkeit	38
Störfestigkeit	12, 20
Störgrößen	13, 20, 47
Störquelle	13
Störsenke	13
Störsicherheit	43
Störspannungen	13
Strahlungskopplung	13
Strombelastbarkeit	36
Strömungsmaschinen	8, 40
Stromverteilungsanlagen	11
Systemwirkungsgrad	33

T

Teillastbetrieb	7, 8
Temperatur	29
Thermische Beanspruchung	34
Thermistorauswertung	47
TN-Netze	11
Transformator	23, 44
Transienten	22
TT-Netze	11

U

Überdimensionierung	43
Überlastfähigkeit	40
Übermodulation	34
Übermoment	40
Überstrom	47
Übertragungsimpedanz	39

Überwachung	29
Überwachungskreise	46
Umgebungstemperatur	26
USB-Schnittstelle	50

V

Varistoren	22
VDE 0113-1	36
VDE 0298-4	36
VDI DIN 6014	33
Verdrosselung	22
Vereinfachte Inbetriebnahme	51
Verlegeart	36
Verlustleistung	26
Verminderte Kühlung	28

W

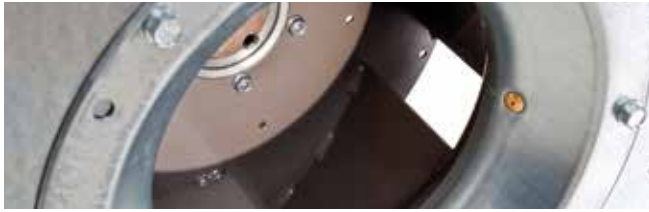
Wandmontage	24
Wartung	52
Wellenlänge	13
Wellenleistung	40
Wirkungsgrad	8
Wirkungsgradgrenzen	9
Wohnbereich	21

Z

Zündschutzart	29
Zwischenkreis	16, 44
Zwischenkreiskondensatoren	44
Zwischenkreisspannung	19

Abkürzungen

AFE	Active Front End
ATEX	Atmosphères EXplosible
BHKW	Blockheizkraftwerk
BLDC	BrushLess Direct Current
CE	Communauté Européenne
CEMEP	Europäisches Komitee der Hersteller elektrischer Maschinen und Leistungselektronik
DASM	Drehstromasynchronmotor
EC	Electrical Commutated
ED	Einschaltdauer
eff	Effizienzklassen (Motoren)
EMD	Electric Machining Discharge
EMV	Elektromagnetische Verträglichkeit
EN	Europäisches Normungsinstitut
EVU	Energieversorgungsunternehmen
FU	Frequenzumrichter
IE	International Efficiency (Motoren)
IEC	International Electrotechnical Commission (Norm Gremium)
LCC	Life Cycle Cost (Lebenszykluskosten)
LHD	Low Harmonic Drive
MEPS	Minimum Efficiency Performance Standards (Mindestwirkungsgrad)
N	Neutralleiter
PFC	Power Factor Correction (Leistungsfaktorkorrektur)
PE	Schutzleiter
PM	Permanent Magnet
PMSM	Permanent Magnet Synchron Motor
RCCB	Residual Current operated Circuit-Breaker (Fehlerstromschalter)
RCD	Residual Current operated Device (Fehlerstromschutzeinrichtung)
RFI	Radio Frequency Interference
S1	Dauerbetrieb
S3	Aussetzbetrieb
THD	Total Harmonic Disturbtion (Gesamte harmonische Verzerrung)
Trafo	Transformator



Motor und Verkabelung

<input type="checkbox"/>	Motorwirkungsgradklassen	Auswahl eines energieeffizienten Motors.
<input type="checkbox"/>	Motoreignung für FU-Betrieb	FU-Betrieb vom Motorlieferanten bestätigen lassen.
<input type="checkbox"/>	Ausgangsfilter: Sinus oder du/dt	Zusätzliche Filter für besondere Einsatzfälle.
<input type="checkbox"/>	Motorkabel	Kabel mit geeigneter Schirmung verwenden. Max. Kabelanschlußlänge des FU beachten.
<input type="checkbox"/>	Erdungsmaßnahmen	Auf richtigen Potentialausgleich achten. Liegt ein Erdungsplan vor?
<input type="checkbox"/>	Schirmungsmaßnahmen	EMV-Verschraubungen verwenden und Schirm richtig auflegen.



Frequenzumrichter

<input type="checkbox"/>	Dimensionierung und Auswahl	Auslegung nach Motorstrom. Spannungsverluste berücksichtigen.
<input type="checkbox"/>	Sonderfall Mehrmotorenbetrieb	Hier gelten besondere Bedingungen.
<input type="checkbox"/>	Funkstörungen (hochfrequent)	Passenden Funkentstörfilter für vorliegende EMV-Umgebung vorgeben.
<input type="checkbox"/>	Netzurückwirkungen (niederfrequent)	Netzurückwirkdrosseln zur Reduzierung des Oberwellenstroms einsetzen.
<input type="checkbox"/>	Erdungsmaßnahmen	Sind Maßnahmen gegen Ableitströme getroffen?
<input type="checkbox"/>	FI-Schutzschalter	Nur allstromsensitive FI-Schutzschalter verwenden.
<input type="checkbox"/>	Motorschutz und Motorkaltleiter	Motor Kaltleiter wird vom FU ausgewertet. (EX-Bereich PTB-Zulassung)
<input type="checkbox"/>	Bedienung und Datenanzeige	Bedienung und Visualisierung über Klartextdisplay (Einbau in Schaltschranktür).
<input type="checkbox"/>	Datenaustausch (Bussysteme)	Über Bussystem (z. B. BACnet) oder über herkömmliche Klemmenverdrahtung.
<input type="checkbox"/>	Prozessregler	FU können DDC-Aufgaben übernehmen oder Aufbau eines autarken Regelkreises.
<input type="checkbox"/>	Wartung	Ist der Frequenzumrichter wartungsfrei?

Nach Überprüfung der Punkte dieser Checkliste wird einem störsicheren Betrieb der Anlage nichts mehr im Wege stehen.

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-Mitarbeiter 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.



Planer Checkliste Frequenzumrichter

4 Schritte zur grundsätzlichen FU-Auslegung einer betriebssicheren Anlage in der HLK und Kältetechnik

Beginnend nach der Festlegung der Antriebsaufgabe und der Drehmomentcharakteristik



Netzversorgung

<input type="checkbox"/>	Netzform: TN-C, TN-S, TT, IT	TN-S ist günstig bzgl. EMV. In IT-Netzen sind besondere Maßnahmen erforderlich.
<input type="checkbox"/>	EMV	EMV-Normen und deren Grenzwerte beachten.
<input type="checkbox"/>	Netzurückwirkungen (niederfrequent)	Wie hoch ist die Netzvorbelastung? Wie hoch darf der max. Oberwellenstrom (THD) sein?
<input type="checkbox"/>	Funkstörungen (hochfrequent)	Zu welcher EMV-Umgebung (1. oder 2. Umgebung) gehört die Anlage?
<input type="checkbox"/>	Blindstromkompensationsanlagen	Kompensationsanlagen verdrosselt ausführen.
<input type="checkbox"/>	Netztransienten	Sind die FU ausreichend gegen Netztransienten geschützt?
<input type="checkbox"/>	max. Transformatorauslastung	Faustformel für die Trafobelastung: ca. 40 % FU-Last (verdrosselt).
<input type="checkbox"/>	Betrieb am Notstromgenerator	Hier gelten für FU andere Bedingungen als bei Netzbetrieb.



Umgebungsbedingung

<input type="checkbox"/>	Einbauort	FU-Montage zentral in Schaltschrank (IP20) oder dezentral an der Wand (IP54, IP 55 oder IP66)?
<input type="checkbox"/>	Kühlkonzept	Kühlung von Schaltschrank und FU; Hohe Temperaturen schädigen alle elektron. Bauelemente.
<input type="checkbox"/>	Aggressive Luft / Gase	Lackierte Platinen gegen die aggressiven Gase Schwefelwasserstoff H ₂ S, Chlor CL ₂ und Ammoniak NH ₃ .
<input type="checkbox"/>	Staubbelastung	Staub auf und in den FU beeinträchtigt die Kühlwirkung.
<input type="checkbox"/>	Ex-gefährdete Bereiche	Hier gelten für FU Einschränkungen.

Die Vision hinter VLT®

Danfoss ist einer der Marktführer bei der 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 and 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 Drehstrommotoren 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 VLT 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 VLT 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 gegenüber 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.