

Planerfibel - Wasser und Abwasser

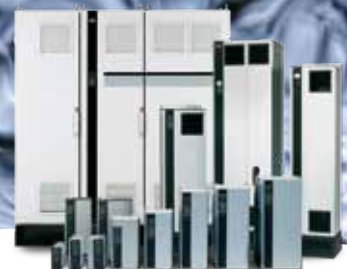
Fachplanung und Projektierung elektrischer Antriebe

**Planer-Checkliste
Inside**

4 Schritte

...zur sicheren Anlage

Danfoss unterstützt Sie mit unserer langjährigen Erfahrung bei der Planung.





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
Kosteneffizienz steigern	9
Vorhandenes Einsparpotenzial in der Praxis realisieren	10
Teil 2 - In 4 Schritten zur optimalen Anlage	11
Schritt 1: Praxis - Netzversorgung	11
Die gegebene Netzform erkennen	
Praxis - Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)	12
Elektromagnetische Einflüsse wirken in beide Richtungen	
Die Verantwortung liegt beim Betreiber	
Zwei Möglichkeiten der Reduzierung	
Kabelgebundene und Strahlungseinflüsse unterscheiden	13
Kopplungsmechanismen zwischen Stromkreisen	
Praxis - Netzqualität	14
Niederfrequente Netzurückwirkungen	
Versorgungsnetze in Gefahr	
Gesetzliche Grundlage sichert Qualität	
Wie entstehen Netzurückwirkungen	
Auswirkungen von Netzurückwirkungen	15
Netzurückwirkungen berechnen	
Praxis - Reduzierung von Netzurückwirkungen	16
Möglichkeiten zur Reduzierung der Netzurückwirkungen	
Drosseln am Eingang oder im Zwischenkreis	
12-, 18- oder 24-pulsige Gleichrichter	
Passive Filter	
Vorteile und Nachteile passiver Filter	
Aktive Filter	17
Vorteile und Nachteile aktiver Filter	
Schlanker Zwischenkreis	18
Active Front End und Low Harmonic Drive	
Vorteile und Nachteile AFE / LHD	
Praxis - Hochfrequente Funkstörungen	20
Funkstörungen	
Normen und Richtlinien definieren Grenzwerte	
Praxis - 1. und 2. Umgebung	21
Der Einsatzort entscheidet - 1. und 2. Umgebung	
1. Umgebung (Klasse B) Wohnbereich	
2. Umgebung (Klasse B) Industriebereich	
Spezialbereiche	
Keine Kompromisse	
Praxis - Maßnahmen zum Schutz des Netzes	22
Blindstromkompensation	
Netztransienten	
Praxis - Betrieb am Transformator oder Notstromgenerator	23
Maximale Transformatorauslastung bei FU-Betrieb	
Belastung des Transformators	
Spannungsqualität	
Betrieb am Notstromgenerator	

Inhaltsverzeichnis

Schritt 2: Praxis - Umgebungs- und Umweltbedingungen.....	24
Der richtige Einbauort: <i>Schaltschrank oder Wandmontage?</i>	
Praxis - IP Schutzklassen.....	25
Struktur der IP-Schutzklassen nach IEC 60529	
Praxis - Kühlkonzept.....	26
<i>Umgebungstemperaturen einhalten</i> <i>Kühlung</i> <i>Luftfeuchtigkeit</i>	
Praxis - Besondere Anforderungen	27
Aggressive Luft oder Gase Staubbelastung	
Praxis - Ex-Bereich.....	29
Ex-gefährdete Bereiche	
Schritt 3: Praxis - Motoren und Verkablung	30
Mindestwirkungsgradklassen von Motoren <i>Verbindliche Mindestwirkungsgrade</i> <i>IE- und eff-Klassen: Große Unterschiede im Detail</i> <i>Betroffene Drehstrommotore</i> <i>Wirtschaftlichkeit</i>	
Praxis - EC- und PM-Motore	32
<i>Viele Namen für eine vergleichbare Technologie</i> <i>Die Technologie</i> <i>Hoher Wirkungsgrad</i> <i>„Übersynchroner“ Betrieb.....</i>	33
<i>IEC-Normgehäuse</i>	
Praxis - Motoreignung für FU-Betrieb	34
Auswahlkriterien <i>Lager- und Isolationsbeanspruchung</i> <i>Thermische Beanspruchung</i>	
Praxis - Ausgangsfilter	35
Sinus- oder du/dt-Filter <i>Funktionen und Aufgaben von Sinusfiltern</i> <i>Wann kommen Sinusfilter zum Einsatz?</i> <i>Nachträglicher Einbau / Retrofit</i>	
Praxis - Motorkabel	36
<i>Nennspannungsklasse</i> <i>Kabeldimensionierung</i> <i>Länge des Motorkabels</i> <i>Kabel mit geeigneter Schirmung</i>	
Praxis - Erdungsmaßnahmen	37
Bedeutung von Erdungsmaßnahmen <i>Leitfähige Materialien</i> <i>Sternförmiges Erdungssystem</i> <i>Kontaktstellen</i> <i>Leiteroberfläche</i>	
Praxis - Schirmungsmaßnahmen.....	38
Bedeutung von Schirmungsmaßnahmen <i>Geschirmte Kabel und Leitungen</i> <i>Schirmanschluss</i> <i>Schirmunterbrechungen</i>	

Masseverbindung	39
Motorzuleitung	
Signalleitung	
Schirmarten	
Schritt 4: Praxis - Auswahl der Frequenzumrichter	40
Basisauslegung	
Konstantes oder quadratisches Drehmoment	
Praxis - Lastkennlinien verschiedener Anwendungen	41
Zuordnung: Kennlinie zur Applikation	
Praxis - Sonderfall Mehrmotorenbetrieb	42
Auslegung	
Kabelführung	
Praxis - EMV Maßnahmen umsetzen.....	43
Von der Theorie zur Praxis	
Funkstörungen	
Empfehlungen für die Praxis	
Netzurückwirkungen	44
Zwischenkreis beeinflusst Netzurückwirkungen	
Reduzierungsmaßnahmen	
Praxis - FI-Schutzschalter	46
Allstromsensitive Schutzeinrichtung	
Praxis - Erdung und Motorschutz	47
Erdungsmaßnahmen in der Praxis	
Motorschutz und Motorkaltleiter	
Praxis - Bedienung und Datenanzeige	48
Einfaches Bedienkonzept	
Lokale Bedienung	49
Übersichtliche Einheit	
Einheitliches Konzept	
Integriert in die Schaltschranktür	
Praxis - Bedienung und Parametrierung mittels PC.....	50
Erweiterte Möglichkeiten	
Praxis - Datenaustausch	51
Bussysteme	
Besseres Alarm- und Anlagenmanagement	
Einsparung bei der Installation	
Vereinfachte Inbetriebnahme	
Praxis - Weitere Auswahlfaktoren	52
Prozessregler	
Wartung	
Lagerung	
VLT® AQUA Drive	55
Richtlinien in Bezug auf Frequenzumrichter	56
Stichwortverzeichnis.....	58
Abkürzungen.....	59
Planer Checkliste.....	60

Hilfestellungen bei Planung und Auslegung

Die Danfoss Planerfibel Wasser/Abwasser richtet sich an Ingenieurbüros, Behörden, Ämter, Verbände sowie Anlagen- und Schaltanlagenbauer in der Wasser- und Abwassertechnik. Sie ist als umfangreiches Hilfsmittel für Fachplaner (MSR/Elektro) und Projektoren konzipiert, zu deren Aufgabenbereich die Projektierung von drehzahlgeregelten Antrieben mittels Frequenzumrichtern 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 umfangreiche Erläuterungen technischer

Sachverhalte, sondern weisen nur auf diese Sachverhalte und deren besondere Anforderungen bei der Projektierung hin. Somit gibt die Planerfibel Wasser/Abwasser 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 betrach-

ten. 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 Wasser/Abwasser teilt sich in zwei Bereiche auf. Der erste Teil bietet Hintergrundwissen zum Einsatz von Frequenzumrichtern 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 müssen. 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. Auf Grund 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 Motornennstrom. 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 Pumpenanlage 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/Gebläse/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 wasser- und abwassertechnischen 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. In wie weit übersynchroner Betrieb möglich ist, hängt vom maximalen Ausgangsstrom und der Überlastfähigkeit des Frequenzumrichters ab. In der Praxis werden häufig Pumpen mit einer Frequenz von 87 Hz betrieben. Der Betrieb im übersynchronen Bereich ist unbedingt mit dem Motorenhersteller zu klären!
- **Geringere Geräuschentwicklung**
Anlagen im Teillastbetrieb laufen leiser. Drehzahlgegener 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 Frequenzumrichter hängt von der Art der anzutreibenden Last und von der Optimierung des Wirkungsgrades der Pumpe oder des Antriebs durch den Frequenzumrichter ab, sowie von der Zeit, die das System im Teillastbetrieb arbeitet. Trink- und Abwasseranlagen sind für selten auftretende Spitzenlasten ausgelegt und laufen daher meist im Teillastbetrieb.

Das größte Energiesparpotenzial erreichen Kreispumpen 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 Energieaufnahme nimmt kubisch zu.

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

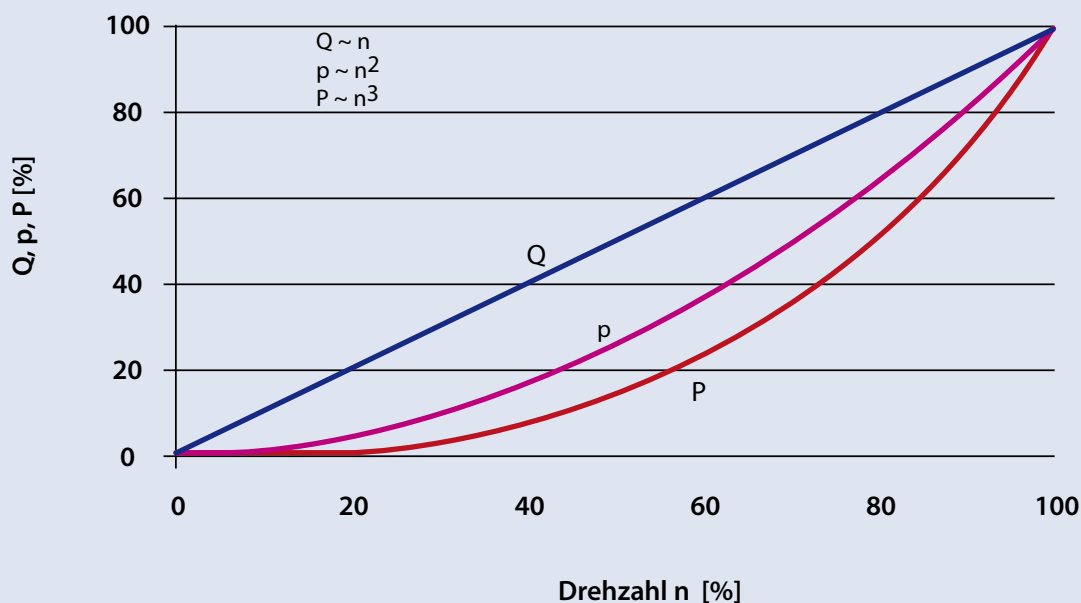
Energieaufnahme. Eine mit halber Drehzahl laufende Pumpe benötigt nur ein Achtel der beim Betrieb mit voller Drehzahl erforderlichen Leistung.

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 Frequenzumrichter 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 der Pumpe/des Antriebs bei Frequenzumrichterbetrieb. Die Spannungssteuerkennlinie (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® AQUA 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® AQUA Drive die Spannung immer an die tatsächliche von ihm gemessene Lastbedingung an. Das zusätzliche Energiesparpotenzial beträgt weitere 3 % bis 5 %.

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 Pumpensystemen 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 Pumpensysteme 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 Pumpenantrieben.

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

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

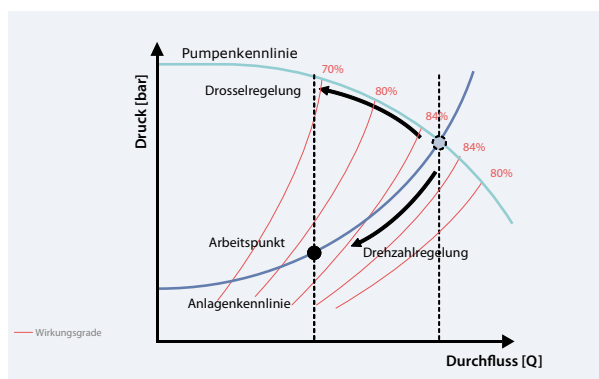
Einer der größten Kostenfaktoren in der Gleichung zur Berechnung der Lebenszykluskosten sind die Energiekosten. Dies gilt vor allem dann, wenn Pumpensysteme mehr als 2000 Stunden im Jahr in Betrieb sind.

In bestehenden Pumpensystemen schlummern meist erhebliche

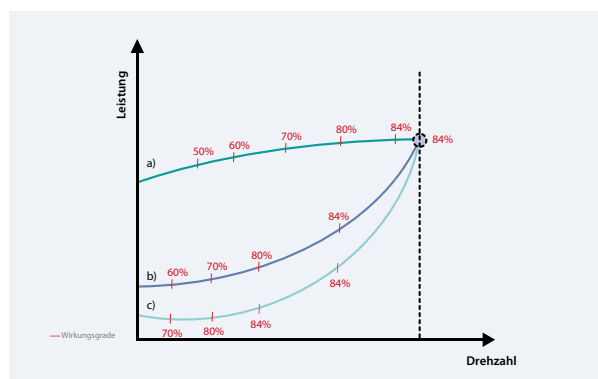
Potenziale zur Energieeinsparung. Das kommt daher, dass der Großteil aller Pumpenantriebe überdimensioniert ist, da sie auf den „worst case“ ausgelegt sind. Häufig erfolgt die Volumenstromänderung über Drosselventile. Bei dieser Regelung laufen die Pumpen immer mit voller Leistung und verbrauchen somit 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.



- 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 Wasser-/Abwasser-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

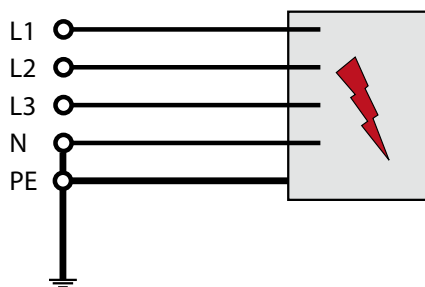
Dieses System ist ein 4-Leiter Netz mit einem geerdeten Neutralleiter und Einzelerdung der Antriebe. Dieses System bietet gute EMV-Eigenschaften, wenn die Erdungen sauber ausgeführt sind.

IT-Netze

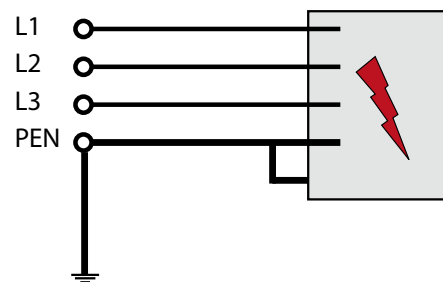
Dieses System ist ein isoliertes 4-Leiter Netz, bei dem der Neutralleiter entweder ungeerdet oder über eine Impedanz EMV Eigenschaften geerdet ist.

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

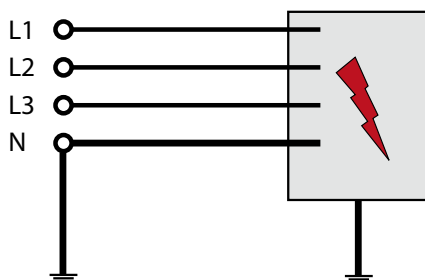
TN-S-System Neutralleiter und Schutzleiter getrennt



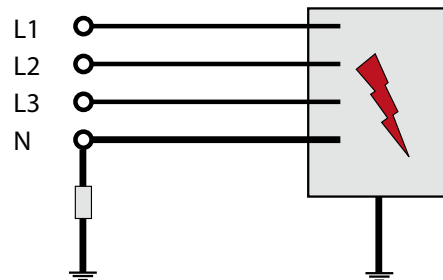
TN-C-System In der gesamten Anlage sind Neutralleiter und Schutzleiter zu einem Leiter zusammengefasst



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.

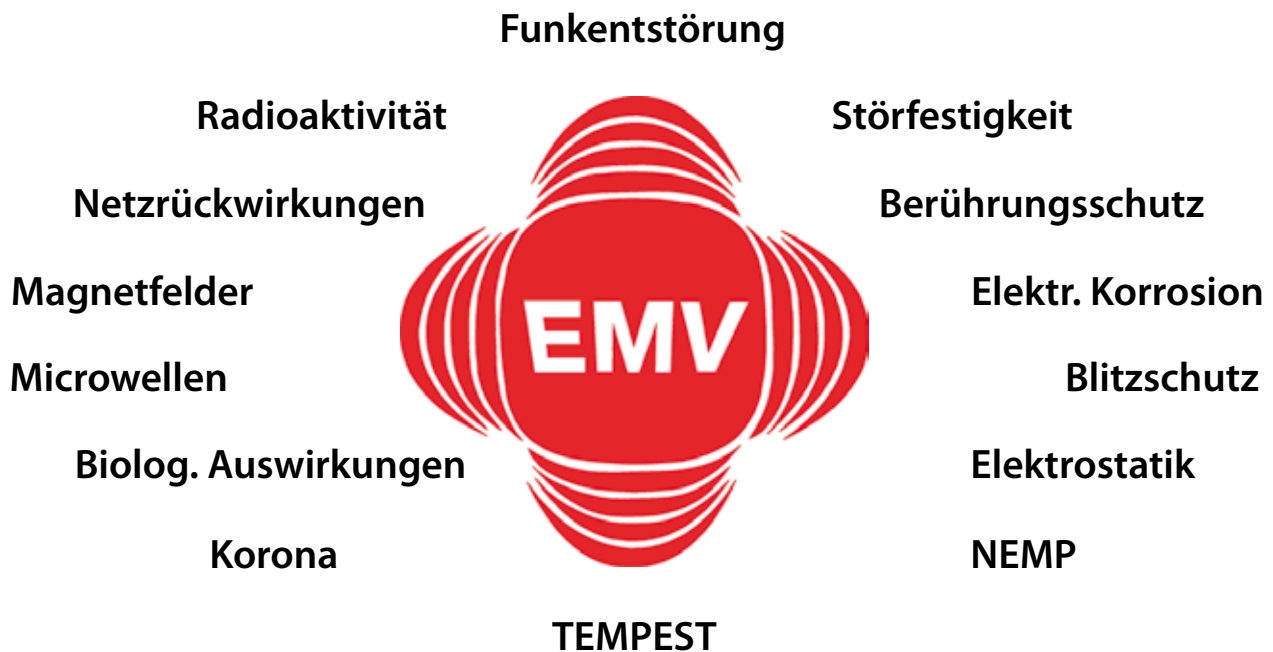
Die Verantwortung liegt beim Betreiber

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 übergegangen. Hersteller müssen jetzt nur noch Lösungen für den normgerechten Einsatz anbieten. Die Beseitigung eventuell auftretender Störungen – sprich: 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 Netzüberschwingungen, in elektrostatischen Entladungen, in schnellen Spannungsänderungen oder in hochfrequenten Störspannungen bzw. Störfeldern. Netzüberschwingungen sind in der Praxis häufig als Netzurückwirkungen, bzw. harmonische Oberschwingungen oder auch nur als Harmonische bekannt.

Kopplungsmechanismen zwischen Stromkreisen

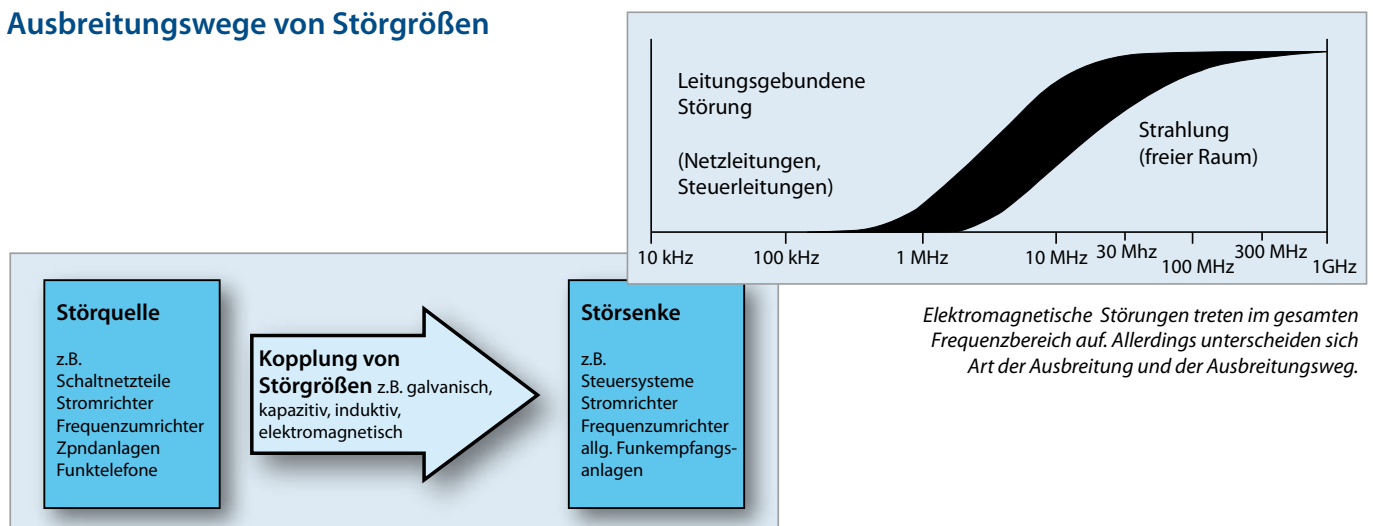
Doch wie erfolgt jetzt die Übertragung der Störenergie? Als elektromagnetische Aussendung kann die Übertragung grundsätzlich über Leitungen, elektrische Felder oder elektromagnetische Wellen erfolgen. Fachleute sprechen von galvanischer, kapazitiver und/oder induktiver Kopplung sowie Strahlungskopplung, 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



Überblick über die Kopplungswege elektromagnetischer Störgrößen und typische Beispiele

EMV im Zusammenhang mit Frequenzumrichtern

Niederfrequente Einflüsse (leitungsgebunden)
Hochfrequente Einflüsse (strahlungsgebunden)



Netzurückwirkungen/Oberschwingungen
Funkstörungen (Emission elektromagnetischer Felder)

Praxis - Netzqualität

Niederfrequente Netzurückwirkungen

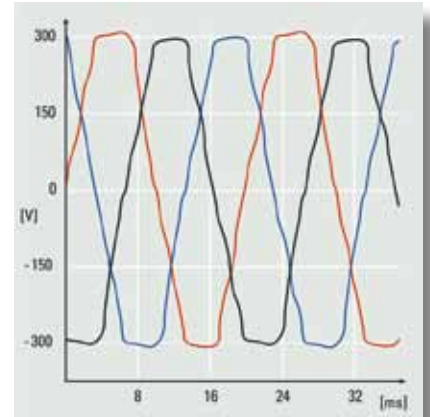
Versorgungsnetze in Gefahr

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.

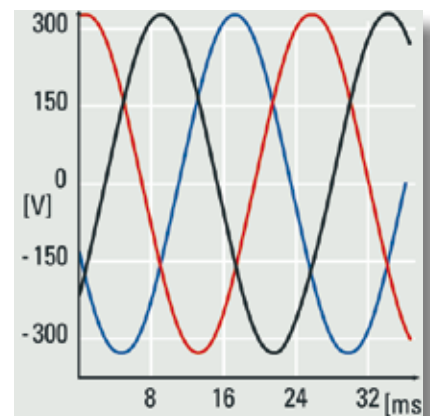
Doch wo liegen diese Grenzen und wer legt sie fest?

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 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 Frequenz-

umrichtern in 50 Hz-Netzen betrachtet man die 3. (150 Hz), 5. (250 Hz) oder 7. (350 Hz) Oberschwingung. Die Auswirkungen sind hier am stärksten. Den 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:

Unterspannungswarnungen

- Auf Grund der Verformung des Netzsinus wird die Spannung nicht richtig gemessen.

- Geringere Leistungsfähigkeit des Versorgungsnetzes

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?

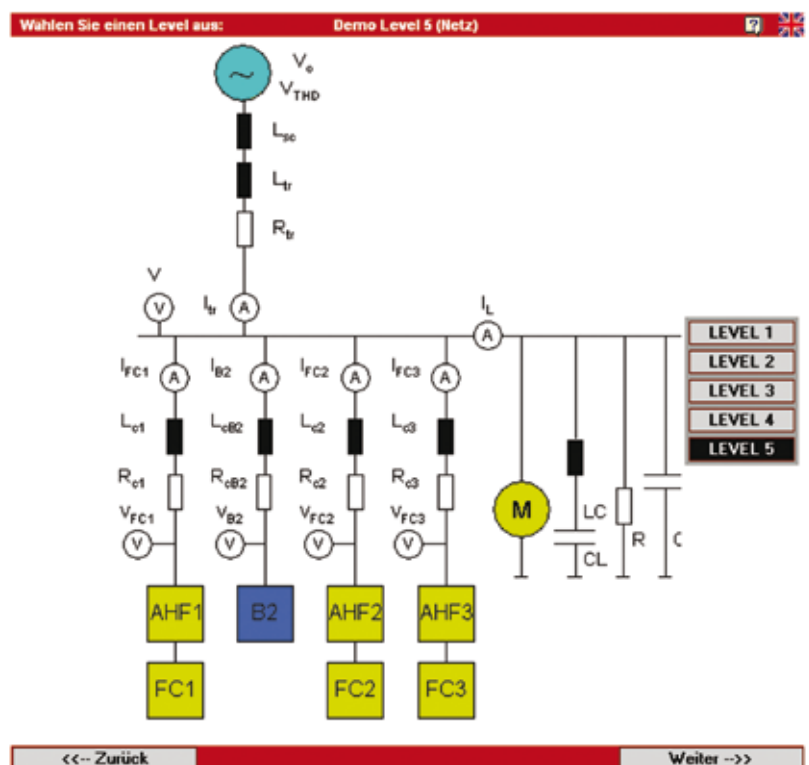
Jeder Frequenzumrichter erzeugt Netzurückwirkungen. Allerdings betrachtet die aktuelle Norm nur den Frequenzbereich bis 2 kHz. Daher verschieben einige Hersteller Netzurückwirkung in den von der Norm nicht definierten Bereich oberhalb von 2 kHz (siehe auch Seite 18 Abschnitt Schlanker Zwischenkreis) 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.

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 und 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 Gleichrich-

ter, schalten. Da die Induktivität an jeder Stelle die gleiche Wirkung hervorruft, ist die Bedämpfung der Netzurückwirkungen vom Einbaort 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 $THD_i = 80\%$ 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 $THD_i = 40\%$ 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 THD 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 .

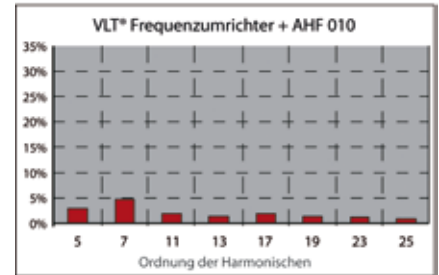
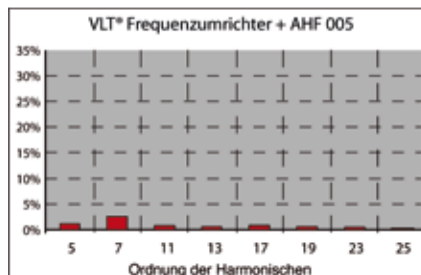
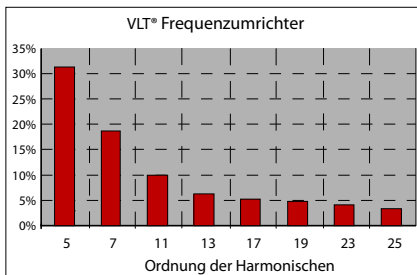
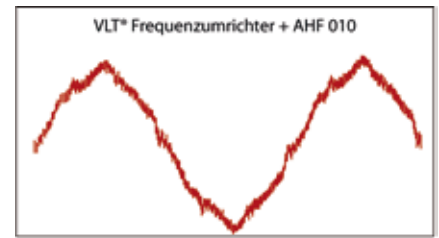
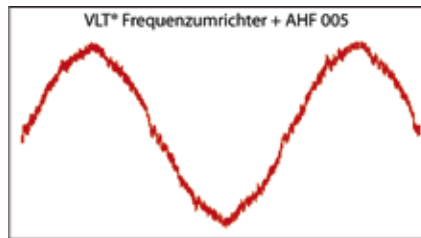
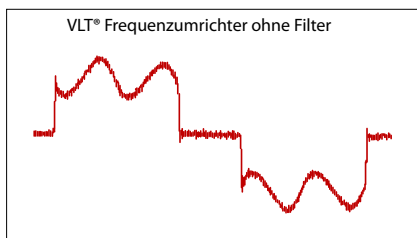
Da sie nur aus passiven Komponenten aufgebaut sind, tritt kein Verschleiß auf und es handelt sich um eine gegen elektrische Störungen und mechanische Belastung unempfindliche Lösung.

Nachteile passiver Filter

Passive Filter sind durch ihr Konstruktionsprinzip relativ groß und schwer. Filter dieser Kategorie arbeiten im Lastbereich von $80\text{--}100\%$ 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 Oberschwingungser-

zeugern 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

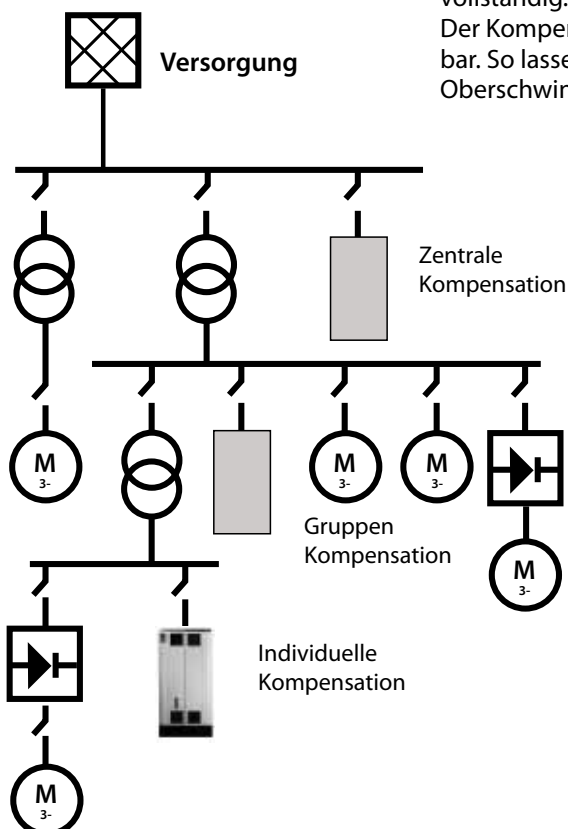
kompensieren oder z.B. aus wirtschaftlichen Gründen nur soweit, dass die Anlage die gesetzlichen Grenzwerte einhält. Auch hier ist zu beachten, dass diese Filter mit einer Taktfrequenz arbeiten und die Netzspannung im Bereich 4 - 10 kHz belasten.

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 THD_i -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.



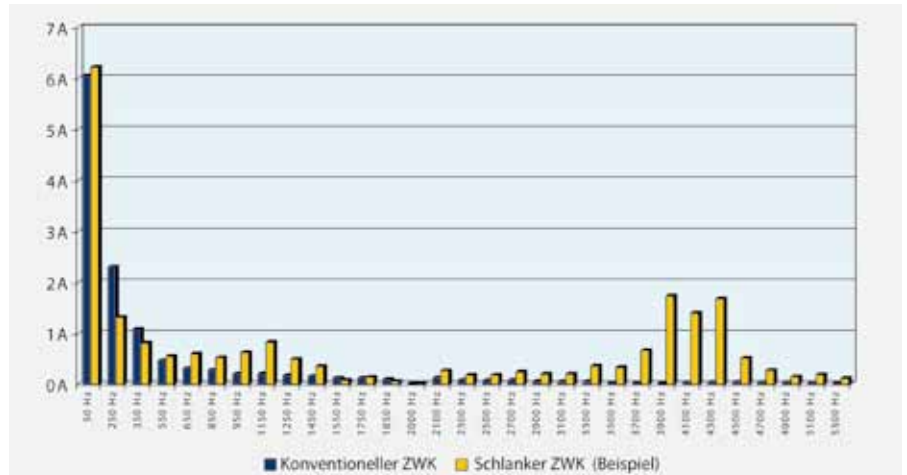
Aktive Filter lassen sich an beliebigen Stellen im Netz einfügen, abhängig davon, ob sie einzelne Antriebe, ganze Gruppen oder gar ganze Netze kompensieren sollen.

Praxis - Reduzierung von Netzurückwirkungen

Schlanker Zwischenkreis

In den letzten Jahren kamen verstärkt Frequenzumrichter 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 $THD_i < 40\%$. 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 generatorische Energie mit hohen Spannungsspitzen. Um sich gegen eine Zerstörung durch Überlastung bzw. Überspannung zu schützen, reagieren Geräte mit



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

schlankem Zwischenkreis hier schneller 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 THD_i -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 Schalt Aufwand sinkt im motorischen Betrieb der Wirkungsgrad des Frequenzumrichters. Die Verlustleistung kann 40-50 % größer sein als bei Frequenzumrichtern mit ungesteuerten Gleichrichtern. Für den einwandfreien Betrieb benötigt eine AFE immer eine erhöhte Zwischenkreisspannung. Oft wird diese höhere Spannung direkt an den Motor weitergegeben, was eine höhere Belastung der Motorisolation bedeutet. Sind die Zwischenkreise der AFE-Geräte nicht getrennt, bedeutet der Ausfall des Filters auch den Ausfall des gesamten Gerätes. Ein weiterer Nachteil ist die Taktfrequenz, mit

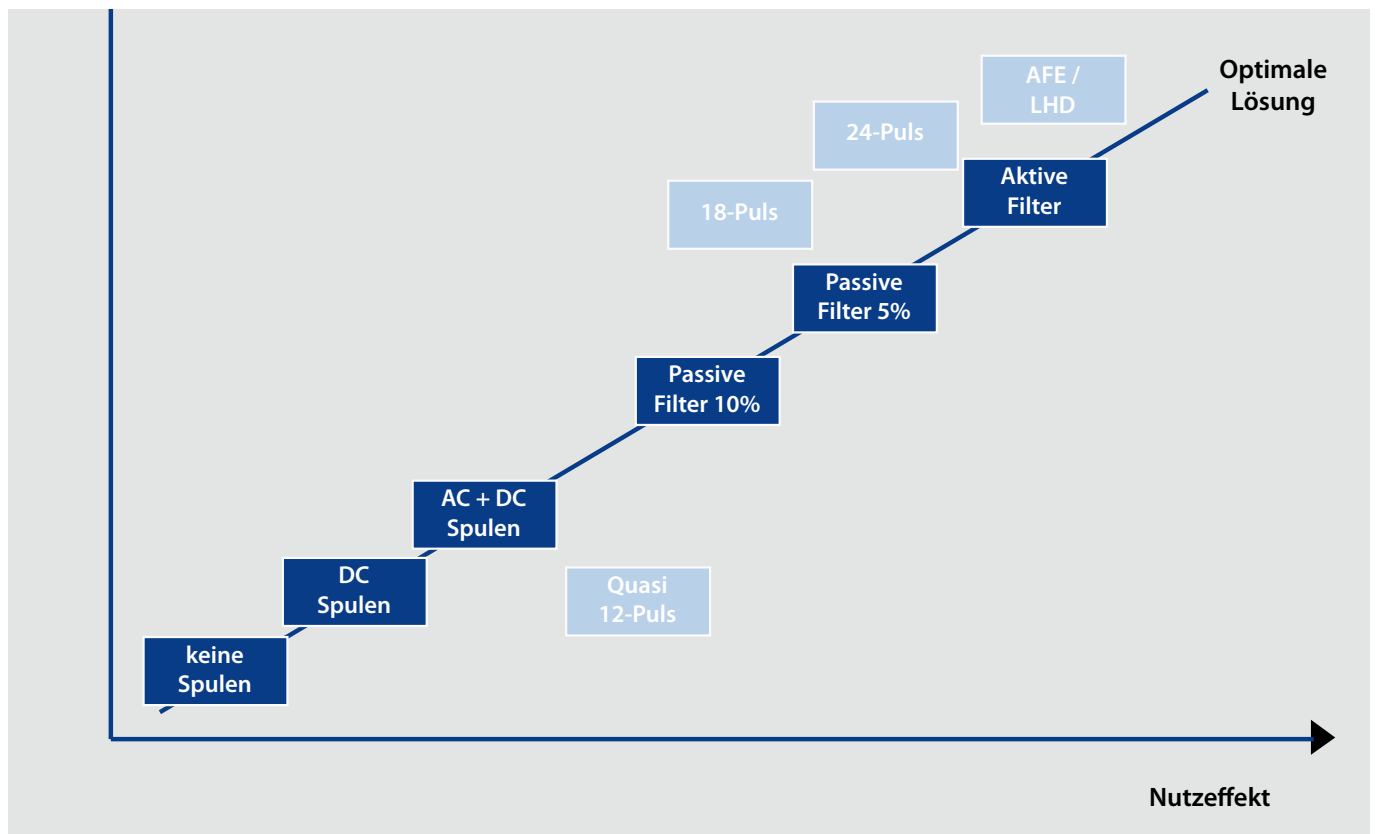
der die Geräte die Korrektur des Eingangsstromes vornehmen. Sie liegt zwischen 4-20 kHz. Gute, technisch aufwändigere Geräte filtern diese Taktfrequenz vor der Einspeisung ins Netz wieder heraus. Die derzeit gültigen Normen und Gesetze decken diesen Frequenzbereich bislang nicht ab. Aktuelle Netzanalysatoren erfassen üblicherweise diesen Frequenzbereich nicht und somit lassen sich die Auswirkungen messtechnisch nicht erfassen. Sie sind aber an allen in diesem Netz arbeitenden Geräten festzustellen, durch beispielsweise erhöhte Stromaufnahme in Netzteilen. Die Auswirkungen werden erst in den nächsten Jahren zu spüren sein. Daher sollte der Anwender im Interesse der eigenen Betriebssicherheit seiner Anlage hier den Hersteller gezielt nach Emissionswerten und Gegenmaßnahmen fragen.

Hinweis: Es ist nicht festgelegt, dass 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 den auf zu kompensierenden Strom ausgelegt wird
- Bei Ausfall des Filters arbeitet der Umrichterteil weiter
- Höhere Zwischenkreisspannung wird nicht an den Motor weitergegeben.



Übersicht über die Maßnahmen zur Reduzierung von Oberschwingungen

Praxis - Hochfrequente Funkstörungen

Funkstörungen

Frequenzumrichter erzeugen variable Drehfeldfrequenzen bei entsprechenden Motorspannungen durch rechteckige Spannungspulse mit verschiedener Breite. In den steilen Spannungsfanken sind hochfrequente Anteile enthalten. Motorkabel und Frequenzumrichter strahlen sie ab und leiten sie auch über die Leitung zum Netz hin. Zur Reduzierung derartiger Störgrößen auf der Netzeinspeisung nutzen die Hersteller Funkentstörfilter (auch RFI-Filter, Netzfilter oder EMV-Filter genannt). Sie dienen einerseits dem Schutz der Geräte vor hochfrequenten leitungsgebundenen

Störgrößen (Störfestigkeit), andererseits der Reduzierung der hochfrequenten Störgrößen eines Gerätes, die es über das Netzkabel oder die Abstrahlung des Netzkabels aussendet. Die Filter sollen diese Störaussendungen auf ein vorgeschriebenes gesetzliches Maß begrenzen, dementsprechend sollten sie möglichst von Anfang an in den Geräten eingebaut sein. Wie bei 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

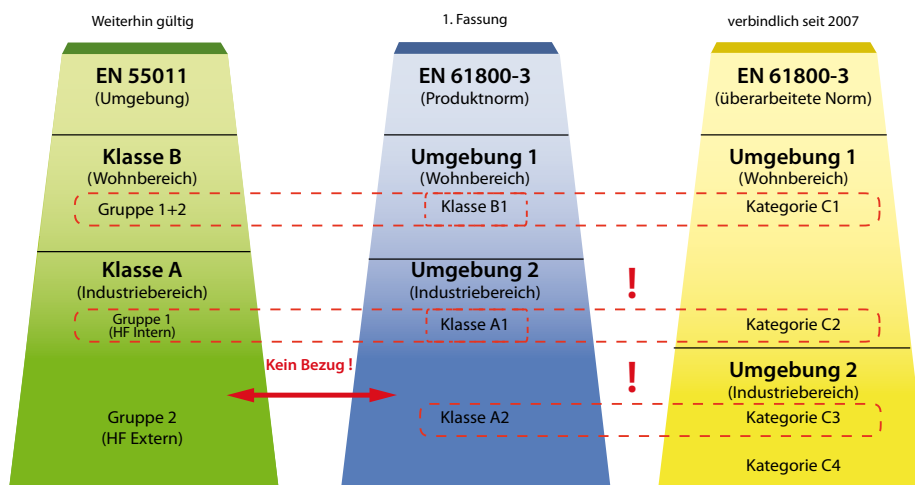
Für eine umfassende Beurteilung hochfrequenter Funkstörungen sind zwei Normen zu beachten. Zum einen definiert die Umgebungsnorm EN 55011 die Grenzwerte in Abhängigkeit von den zugrunde gelegten Umgebungen Industrie mit den Klassen A1/A2 oder Wohnbereich der Klasse B. Daneben definiert die Produktnorm 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*



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

* Störaussendung

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

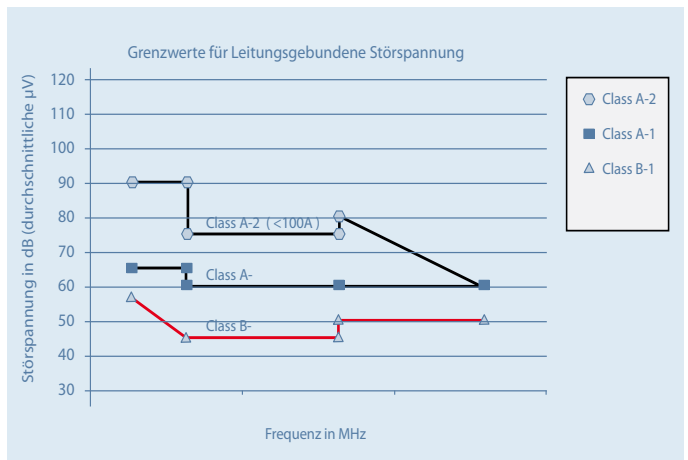
Als Wohn- bzw. Geschäfts- und Gewerbebereich, sowie Kleinbetrieb gelten alle Einsatzorte, die direkt an das öffentliche Niederspannungsnetz angeschlossen sind. Sie besitzen keine eigenen Hoch- oder Mittelspannungs-Verteil-Transformatoren zur separaten Versorgung. Die Umgebungsbereiche gelten sowohl innerhalb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

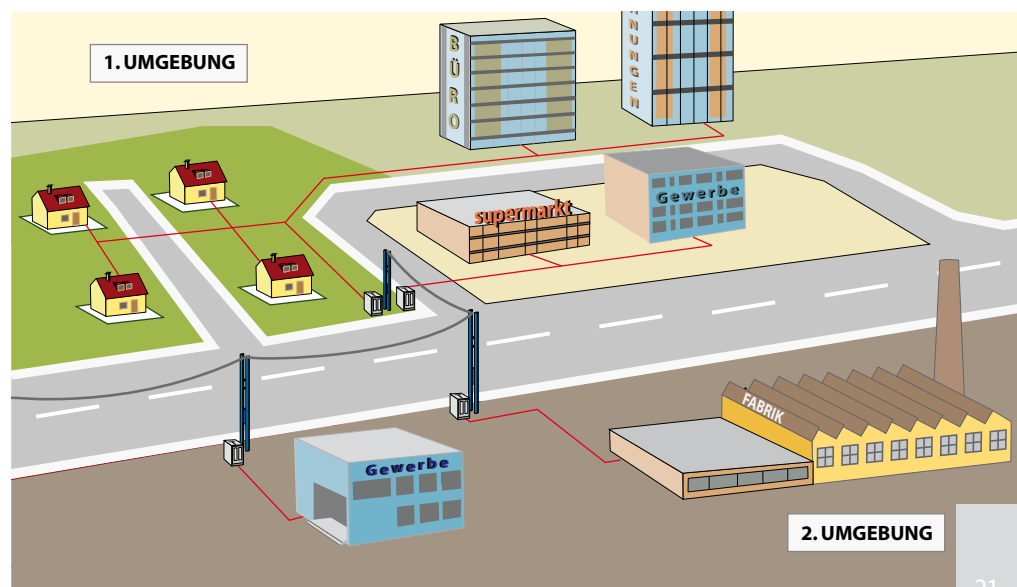
Hier entscheidet der Anwender, welchem Umgebungsbereich er seine Anlage zuordnen möchte. Voraussetzung ist ein eigener Mittelspannungs-Transformator und eine eindeutige Abgrenzung zu anderen Bereichen. Innerhalb seines Bereichs muss er eigenverantwortlich die notwendige elektromagnetische Verträglichkeit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

Keine Kompromisse

Werden Frequenzumrichter 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 Versorg-

ungsnetz 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 $\cos \varphi < 1$ eine Verdrosselung der Kompensationsanlage. Zusätzlich muss der Anwender den höheren Blindstrom bei der Kabelauslegung beachten.

Netztransienten

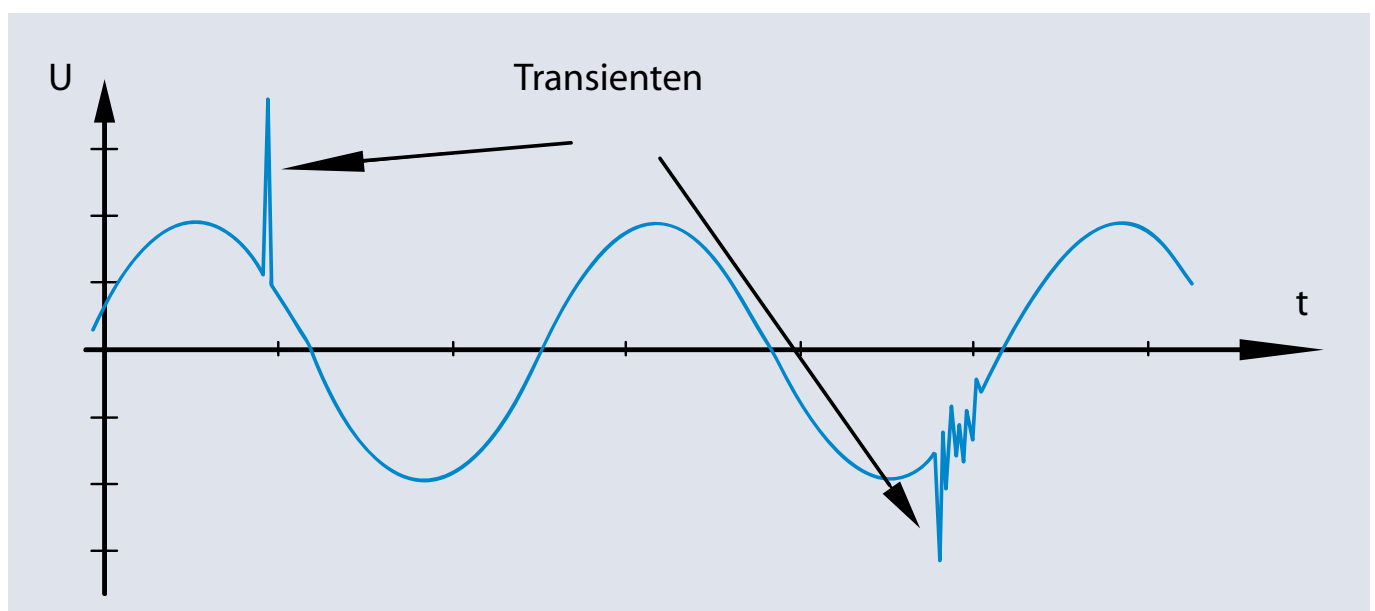
Transienten sind kurzzeitige Überspannungsspitzen im Bereich von einigen 1000 V. Auftreten können sie in allen Versorgungsnetzen, sei es in der Industrie oder auch in Wohnbereichen.

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 wasser- und abwassertechnischen Anlagen.

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 Frequenzumrichterlast verträgt der Transformator?

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

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

Betrieb am Notstromgenerator

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

Bei Netzersatzschaltung mittels Generator ist die Netzimpedanz meist höher, als bei einem Betrieb am öffentlichen Netz. Dies führt zu ansteigenden Oberschwingunggehalten. 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 Komponenten 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. In der Praxis kommen allerdings ca. 70 % der Geräte in Schaltschränken zum Einsatz.

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	senkrechtes 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 Schaltbaus/Schaltsschranks 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 Schaltsschränken eingebaut sind. Auch bei Einsatz von Geräten den 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 Schaltsschränken zur Folge. Die Vermeidung extremer Umgebungstemperaturen erhöht die Lebensdauer von Frequenzumrichtern und damit die gesamte Anlagenverfügbarkeit.

Kühlung

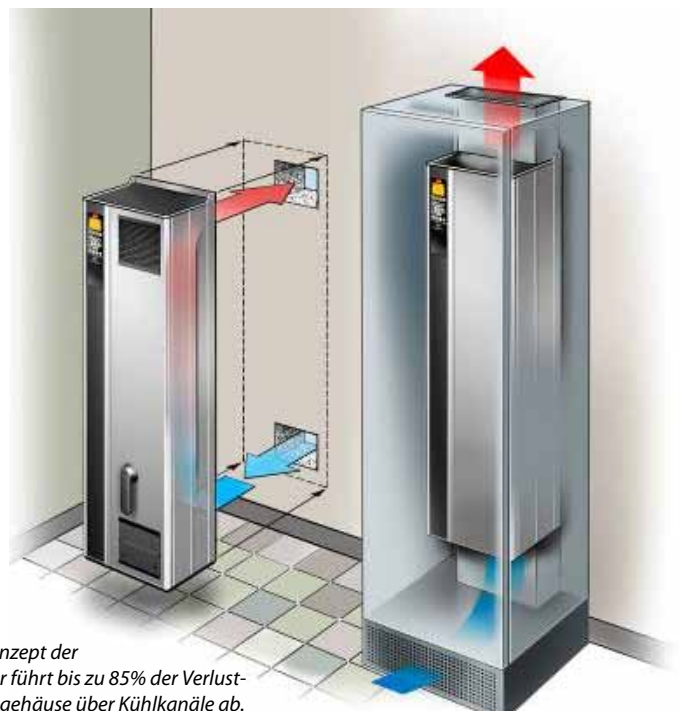
Frequenzumrichter geben Verlustleistung in Form von Wärme ab. Die Größe der Verlustleistung in Watt ist in den technischen Daten der Frequenzumrichter angegeben. Betreiber sollten geeignete Maßnahmen ergreifen, die entstehenden Wärmeverluste der Frequenzumrichter aus dem Schaltsschrank abzuführen, beispielsweise durch Schaltsschranklüfter. 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 Schaltsschrank besteht die Gefahr, dass durch zu enge Montage der Schaltsschrankkomponenten der Luftstrom nicht frei zirkulieren kann und Wärmenester 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 Wassertropfchen 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 Schaltsschrankheizung 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 Kläranlagen 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® AQUA 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 Wär-

me 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 Schutzeinrichtungen 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 Braunschweig ein neues Zulassungs-



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

verfahren 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.

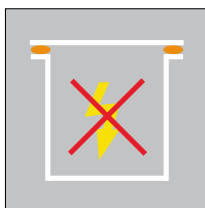
Eine separate Abnahme für Motoren der Schutzart „d“ ist nicht erforderlich, allerdings ist die Einführung der Kabel in den „d“ Bereich recht aufwändig. Die meiste Verbreitung haben „de“ Motoren. Der Motor selbst hat dabei die Zündschutzart „d“, während der Anschlussraum nach Zündschutzart „e“ ausgeführt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

der maximalen Spannung, die in ihn eingeführt werden darf. Durch die Modulation der Ausgangsspannung entstehen am Umrichterausgang 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.

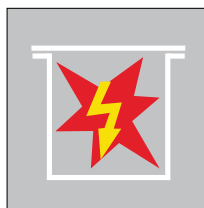
Bemerkung: Die Frequenzumrichter Serie VLT® AQUA Drive verfügen mit der MCB 112 über eine PTB-zertifizierte Motorkaltleiterauswertung für Ex-gefährdete Bereiche. Beim Einsatz von VLT® Frequenzumrichtern mit nachgeschaltetem Sinusfilter sind keine geschirmten Motorkabel erforderlich.

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.

Ex e - Erhöhte Sicherheit



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

Schritt 3: Praxis - Motor und Verkablung

Mindestwirkungsgradklassen 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.

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.

	Leistung			MEPS	MEPS Alternative
Ab 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

Als MEPS Alternative zu den geplanten IE3 Klassen werden auch umrichter gespeiste 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 Baumform 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

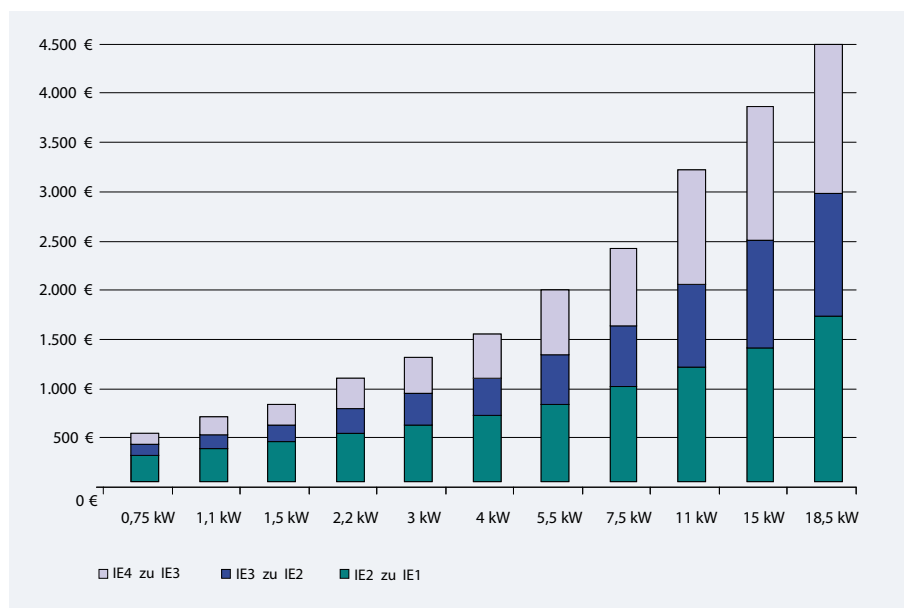
Drehstromasynchronmotoren mit der Klasse IE2 und IE3 werden voraussichtlich die in der EN 50347 definierten Anschlussmaße nicht einhalten können.

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 einen Energiepreis von 8 Cent pro kWh aus.



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

Viele Namen für eine vergleichbare Technologie

Bei Drehstromasynchronmotoren (DASM) sind Steigerungen des Wirkungsgrads nur noch mit viel Aufwand zu erreichen. Eine Alternative stellen deshalb permanent-erregte Synchronmotoren dar. Im Vergleich zu Asynchronmotoren mit ähnlichen Wirkungsgraden (z.B. IE 3) bauen diese Motoren deutlich kompakter.

In der Praxis begegnet der Anwender verschiedenen Unterarten dieser Motoren mit unterschiedlichen Namen. Während die Industrie häufig die Abkürzungen PM (Permanent Magnet) und PMSM (Permanent Magnet Synchron Motor) verwendet, sind in der Gebäudeautomation eher die Bezeichnungen EC (Electrical

Commutated) und BLDC (Brush Less Direct Current) gängig.

Die Vielfalt und unterschiedliche Benennung der permanent erregten Motoren zeigt sich sehr gut am Beispiel EC. Industrielle Anwendungen nutzen EC-Motoren meist als Stell- oder Schrittmotoren. In einer kleinen kompakten Bauform decken sie einen Leistungsbereich bis ca. 300 Watt ab. Als Versorgungsspannung kommen häufig 24V zum Einsatz.

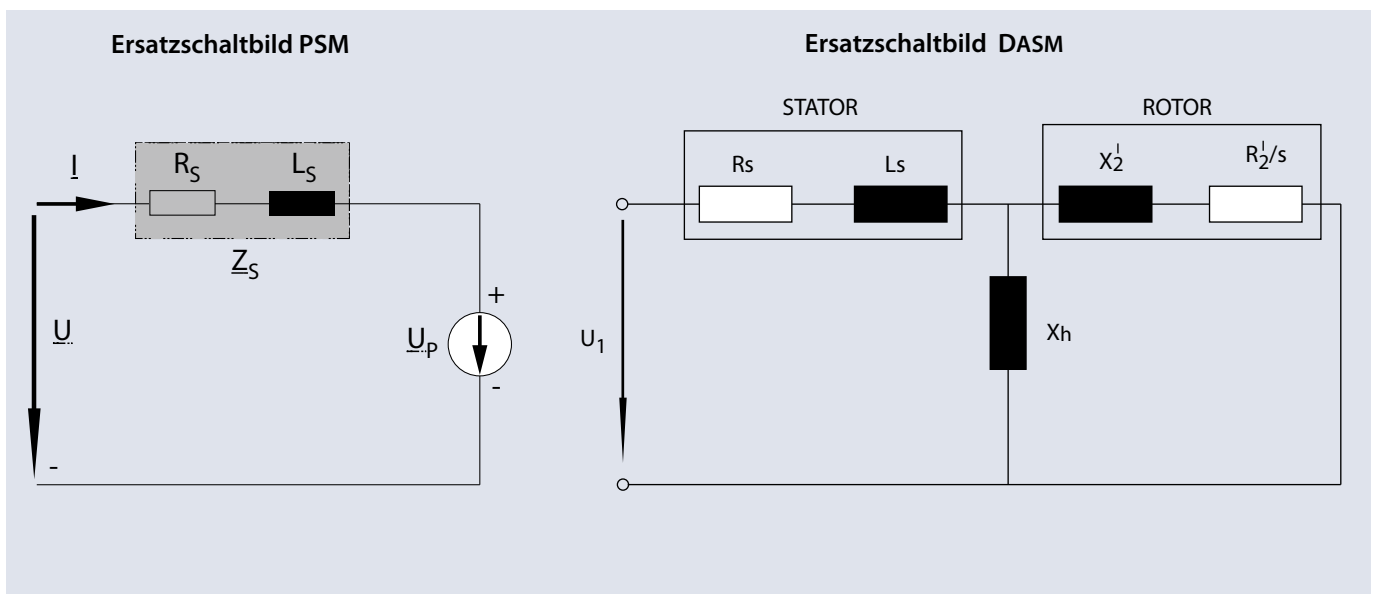
Anders sieht es in der Lüfertechnik für die Gebäudeautomation aus. Dort laufen die EC-Motoren in 1-phasiger und 3-phasiger Ausführung in kompakten Lüfereinheiten und decken Anwendungen bei Leistungen im einstelligen kW-Bereich ab.

Die Technologie

Aufgrund der eingebauten Dauermagnete benötigen permanent erregte Motoren keine separate Erregerwicklung. Allerdings erfordert ihr Betrieb einen elektronischen Regler, der ein Drehfeld erzeugt. Ein direkter Betrieb am Netz ist meist nicht möglich. Für die Ansteuerung des Motors muss der Regler immer die aktuelle Position des Rotors kennen. Es gibt zwei Verfahren für diese Bestimmung: mit und ohne Rückmeldung der aktuellen Rotorposition durch einen Sensor bzw. Positionsgebers.

Hoher Wirkungsgrad

Durch die Dauermagnete entstehen im Rotor des Motors praktisch keine Verluste.



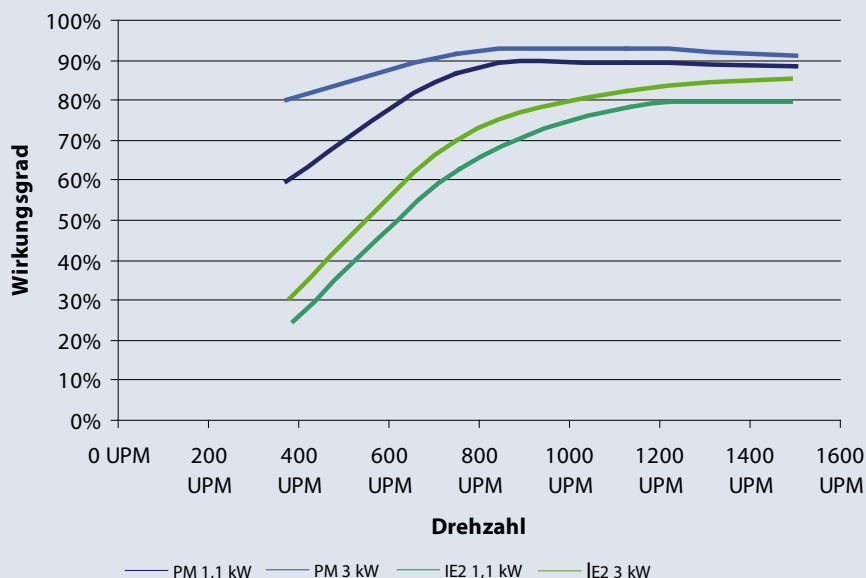
Ein Vergleich der vereinfachten Ersatzschaltbilder zeigt, dass bei PM/EC-Motoren die Verluste im Rotor wegfallen. Daraus ergeben sich im Vergleich zu einem Drehstromasynchronmotor höhere Wirkungsgrade.

„Übersynchroner“ Betrieb

Prinzipiell ist ein Betrieb eines EC- bzw. PM-Motors über der Bemessungsfrequenz bzw. der Bemessungsdrehzahl möglich – falls vom Motorhersteller zugelassen. Diese Betriebsart heißt bei der DASM übersynchroner Betrieb oder Betrieb im Feldschwächbereich. Der Effekt der Feldschwächung ermöglicht den Betrieb mit einer höheren Drehzahl, allerdings nimmt mit ihm das an der Welle verfügbare Drehmoment ab. Im Gegensatz zum DASM muss beim EC- bzw. PM-Motor eine geeignete Ansteuerung des Motors die Feldschwächung „erzwingen“. Wie bei der DASM nimmt dabei das an der Welle verfügbare Moment ab. Ob ein Motor für den Betrieb im Feldschwächbereich geeignet ist, muss beim Motorhersteller nachgefragt werden.

Für den Frequenzumrichter wird ein solcher Betrieb erst kritisch, wenn die im EC- bzw. PM-Motor durch die Dauermagneten erzeugte Spannung die maximal erlaubte Zwischenkreisspannung des Umrichters überschreitet. So kann beispielsweise ein Motor

Vergleich Wirkungsgrade PM zu IE2 (Quadratischer Lastverlauf)



(erzeugte Spannung bei 1000 UPM = 200 V) an einen Umrichter mit einer zulässigen Zwischenkreisspannung von 900 V mit einer Drehzahl von bis zu 3192 UPM laufen. Auch höhere Drehzahlen lassen sich realisieren,

allerdings besteht dann im Falle eines Fehlers die Gefahr, dass eine Spannung von über 900 V den Umrichter elektrisch zerstören kann. Dies tritt beispielsweise bei einem Netzausfall auf.

IEC-Normgehäuse

In vielen Anwendungen arbeiten Drehstromasynchronmaschinen, deren Anschlussmaße und Baugröße in der IEC EN 50487 bzw. IEC 72 genormt sind.

Die meisten PM-Motoren folgten aber bisher einer anderen Bauform. Ein typisches Beispiel sind Servomotoren. Mit ihrer kompakten Bauform und langgestreckten Rotoren sind sie für hochdynamische Vorgänge optimiert.

Um die Vorteile des hohen Wirkungsgrades der permanent erregten Motoren auch in den bestehenden Industrieanwendungen nutzen zu können, sind mittlerweile PM-Motoren in IEC Norm-Motorgehäusen erhältlich. Dies ermöglicht auch in bestehenden Anlagen den Austausch älterer Standard-Drehstromasynchronmotoren (DASM) gegen Motoren mit höherem Wirkungsgrad. Aber auch die Konstruktion bestehender Maschinen muss der

Maschinen-/Anlagenbauer nicht ändern, um die Motoren mit dem höheren Wirkungsgrad einsetzen zu können.

Aus Kompatibilitätsgründen sind aber beide PM-Motorvarianten auf dem Markt zu finden.

Variante 1 - Baugrößengleichheit: PM/EC und DASM haben die gleiche Baugröße

Beispiel: Ein 3 kW DASM kann durch einen EC/PM Motor gleicher Größe ersetzt werden.

Variante 2 - Leistungsgleichheit: PM/EC und DASM haben die gleiche Leistung. Prinzipiell können PMSM Motoren kompakter bauen als ein DASM vergleichbarer Leistung. Je nach Baugröße beträgt ist Leistungsdichte eines PM/EC ca. 1,5 bis 2-mal höher als bei einer DASM.

Beispiel 1: Eine 3 kW DASM kann durch einen EC/PM Motor mit der Baugröße

eines 1,5 kW Motors ersetzt werden.

Beispiel 2: Ein 3 kW DASM kann durch einen EC/PM Motor gleicher Baugröße mit 6 kW ersetzt werden.

Zusätzlich benötigt aber der PM/EC-Motor immer einen Regler zur Ansteuerung.

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 Netz-betrieb. Dazu tragen vor allem die hohe Spannungsanstiegsgeschwindigkeit du/dt sowie das Motorkabel in Abhängigkeit von Länge, Typ, Verlegung, etc. bei.

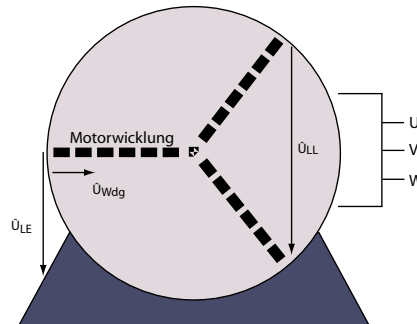
Die Spannungsanstiegsgeschwindigkeit verursachen die schnell schaltenden Halbleiter im Wechselrichter von Frequenzumrichtern. Diese takten mit einer hohen Frequenz im Bereich von 2-20 kHz und sehr kurzen Schaltzeiten, um einen sinusförmigen Stromverlauf nachzubilden.

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

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

Lagerbeanspruchung

Unter ungünstigen Umständen kann es vorkommen, dass frequenzgeregelte Motoren mit Lagerschäden durch Lagerströme ausfallen. Ein Lagerstrom fließt dann, wenn am Lagerschmierspalt eine Spannung anliegt, die hoch genug ist, um die Isolierung des



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

Schmiermittels zu durchschlagen. Tritt dieser Fall ein, so kündigen steigende 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 (Ausgangsdröseln; du/dt -Filter; Sinusfilter)
- Einsatz von stromisolierten Lagern
- Gute Erdverbindung mit niederer Impedanz aller metallenen Anlagenteile
- Geschirmte Motorkabel
- Einsatz eines Gleichspannungsunterdrückungsfilters

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.

Thermische Beanspruchung

Der Betrieb am Frequenzumrichter ruft im Motor zusätzliche Verluste hervor. Durch die zusätzliche Oberschwingungsbelastung entstehen Eisen- und Stromwärmeverluste im Ständer und Rotor. Die Höhe der Verluste hängt von der Amplitude und Frequenz der Oberschwingungen der Strangfrequenz ab. Die zusätzlichen Stromwärmeverluste im Läufer sind von der Nutgeometrie abhängig. Eisen- und Stromwärmeverluste im Motor sind lastunabhängig. Die zusätzlichen Verluste im Motor führen zu einer höheren thermischen Beanspruchung der Wicklungsisolation. Allerdings liegt bei modernen Frequenzumrichtern die zusätzliche Erwärmung von Normmotoren (bis Baugröße 315) im Bereich der Zusatzerwärmung durch Netztoleranzen und ist somit vernachlässigbar. Bei Transnormmotoren (ab Baugröße 355) schreiben Hersteller teilweise eine Leistungsreduzierung vor.

Ist der Umrichter nicht in der Lage, die volle Netzspannung bei der Netznennfrequenz zu erzeugen, empfiehlt sich die Ausführung der Motorisolation in der Wärmeklasse F. Die Motortemperatur wird bei niedriger Motorspannung im Vergleich zum reinen Netzbetrieb um bis zu 10 K größer.

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
- Verbesserung 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 Phasenisololation
- Immer dann, wenn kein Normmotor eingesetzt wird (Motorhersteller fragen)

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 Gleichtakt-Störungen 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 Überspringen in Motorkabeln. Keine Änderung der EMV-Klasse	Beseitigt Überspringen in Motorkabeln. Keine Änderung der EMV-Klasse	Reduziert hochfrequente Emissionen (über 1 MHz). Keine Änderung der EMV-Klasse.
Max. Motorkabellänge EMV konform	Herstellerabhängig. FC 202: max. 150m geschirmt	Herstellerabhängig. FC 202: max. 150m geschirmt bzw. max. 300m ungeschirmt	Herstellerabhängig. FC 202: max. 150m geschirmt
Max. Motorkabellänge EMV Nicht konform	Herstellerabhängig. FC 202: max. 150m ungeschirmt	Herstellerabhängig. FC 202: max. 500m ungeschirmt	Herstellerabhängig. FC 202: 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 Oberwellen 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.

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 Ölflex 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® AQUA Drive können Sie serienmäßig geschirmte Kabel bis 150 m und ungeschirmte Kabel bis 300 m anschließen, bei voller Spannung am Motor!



Ausgangsfilter IP20 (links) oder IP00 (rechts) reduzieren die Spannungsspitzen U_{peak} und die Spannungsanstiegsgeschwindigkeit du/dt moderner Frequenzumrichter und schonen damit die Isolation des Motors.

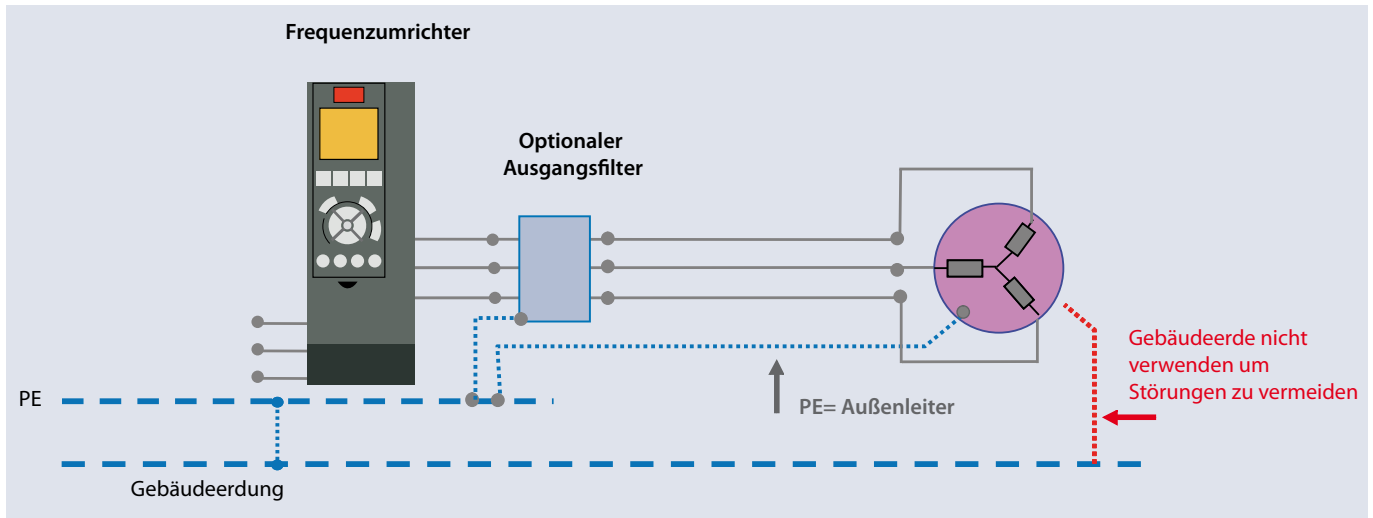
Praxis - Erdungsmaßnahmen

Bedeutung von Erdungsmaßnahmen

Erdungsmaßnahmen sind generell zwingend erforderlich, um die gesetzlichen Vorschriften der EMV- und Niederspannungsrichtlinie zu erfüllen. Sie sind Voraussetzung für

den wirkungsvollen Einsatz weiterer Maßnahmen wie Schirmung oder Filter. Ohne gute Erdungsmaßnahmen erübrigen sich weitere Schritte. Daher ist auch bei der Nachrüstung von

Schirmen und Filtern sowie bei der Fehlersuche zuerst die EMV-gerechte Erdung zu prüfen und sicherzustellen.



Grundsätzlich sollte für jede Anlage ein Erdungsplan erstellt werden.

Leitfähige Materialien

Betreiber müssen darauf achten, metallische Flächen niederimpedant mit Masse zu verbinden. Für EMV-Maßnahmen ist dabei nicht der Querschnitt der Leitung maßgebend, sondern die Oberfläche, auf der hochfrequente Ströme (bedingt durch den Skin-Effekt) abfließen. Denn die Stelle mit der geringsten Leiteroberfläche begrenzt das Ableitvermögen. Geerdete Flächen wirken als Schirmmaßnahmen und reduzieren im Umfeld elektromagnetische Felder.

Sternförmiges Erdungssystem

Alle geerdeten Punkte und Komponenten sind möglichst auf direktem Weg mit dem zentralen Erdungspunkt, beispielsweise einer Potentialausgleichsschiene, zu verbinden. Es entsteht dadurch ein Erdungssystem, das alle Anschlussstellen sternförmig mit dem Erdungspunkt verbindet. Dieser zentrale Erdungspunkt ist eindeutig zu definieren.

Kontaktstellen

Kontaktstellen sind, von Farbe und Korrosion befreit, großflächig anzuschließen. Kratzscheiben sind dabei besser geeignet, als Unterlegscheiben. Die Verwendung von verzinnten, verzinkten oder kadmierten Elementen ist lackierten Bauteilen vorzuziehen. In Steckern sind mehrere Kontakte für die Schirmverbindung vorzusehen.

Leiteroberfläche

Große Leiteroberflächen zum Ableiten von hochfrequenten Strömen können durch eine feindrahtige Leitung, beispielsweise eine hochflexible Messleitung oder durch spezielle Erdungsbänder oder -kabel, erreicht werden. In der Praxis kommen heute häufig geflochtene Erdungsbänder zum Einsatz, die die starren Leitungen von früher ersetzen. Diese Bänder haben bei selbem Querschnitt eine wesentlich größere Oberfläche.

Hinweis: Auf den reibungslosen und störungsfreien Betrieb einer Anlage hat die Erdung des Systems einen wesentlichen Einfluss. Potentialverschleifungen sind zu vermeiden. Ein guter Potentialausgleich ist eine unabdingbare Voraussetzung. Erstellen Sie bereits während der Planungs- und Projektierungsphase einen geeigneten Erdungsplan.

Bemerkung: Zusätzliche Informationen finden Sie in unserer Broschüre EMV-Installationsmaßnahmen für Frequenzumrichter.

Ausführung

Zu Sicherstellung einer ausreichenden Erdung sind die auf Seite 47 beschriebenen Erdungsmaßnahmen in der Praxis beachten.

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 Federringe zu verwenden und lackierte Flächen freizukratzen, um einen niederimpedanten Übergang zu erreichen. Eloxierte Aluminiumgehäuse z. B. erreichen bei Verwendung von Unterlegscheiben unter den Befestigungsschrauben nur eine ungenügende Masseverbindung. Erd- und Massekabel sollten Sie mit möglichst großen 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 einzuhalten, sind Leitungen zwischen Frequenzumrichter und Motor je nach Herstellerangabe geschirmt zu verlegen und der Schirm **beidseitig** aufzulegen.

Signalleitung

Der Abstand Motorleitung zu Signalleitung sollte mehr als 20 cm betragen und Netz- und Motorleitung sollten möglichst nicht parallel verlegt sein. Mit zunehmenden Abständen verringert sich die Störbeeinflussung deutlich. Bei kleineren Abständen sind zusätzliche Maßnahmen unbedingt erforderlich (z.B. Trennsteg). Es können sonst Störungen eingekoppelt oder übertragen werden.

Steuerkabel sollten wie die Motorkabel 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 zwischen Frequenzumrichter und Motor empfehlen Hersteller von Frequenzumrichtern 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 ausgeführt ist. Ein Schirm aus gewundenem Kupferdraht dagegen (z.B. Typ NYCWY) lässt lange Schlitzlängen unbedeckt, aus denen HF-Anteile ungehindert entweichen können. Außerdem ist die Oberfläche für den Ableitstrom deutlich geringer.

Für eine Nachrüstung gibt es Schirmgeflecht als Meterware, das dann – über das Kabel gezogen – die Schirmung übernimmt. Für kurze Verbin-

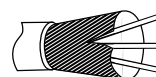
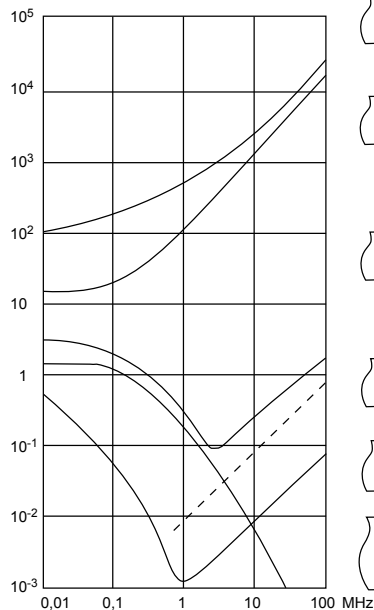
dungen dienen alternativ Metallschläuche oder -rohre. Kabelkanäle können nur unter bestimmten Bedingungen eine Schirmung ersetzen (strahlungsdichter Kanal, gute Verbindung der Deckel und der Kanalteile zur Masse). Kabel mit Doppelschirmung verbessern die Bedämpfung der Störaussendung und der Störeinstrahlung weiter. Der Anschluss erfolgt beim inneren Schirm einseitig und beim äußeren Schirm zweiseitig. Verdrillte Leitungen reduzieren magnetische Felder. Signalleitungen lassen sich mit Doppelschirm und verdrillt einsetzen. Die Dämpfung steigt dabei bei magnetischen Feldern von etwa 30 dB bei Einzelschirmung auf 60 dB bei Doppelschirmung und auf ca. 75 dB bei zusätzlichem Verdrillen.

Schirm als Masseleiter?

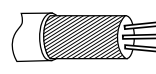
Bei der Nutzung eines Schirmes als Masseleiter, verliert er seine Schirmwirkung. Bei EMV-Problemen kann der Umrichterhersteller deshalb auf mangelnde Schirmung hinweisen.

Übertragungsimpedanz, Z_t

mΩ/m



Alu-umantelt mit Kupferdraht



Gewundener Kupferdraht oder bewehrtes Stahlkabel



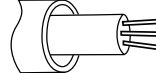
Kupferdraht einlagig, geflochten mit prozentual unterschiedlicher Schirmabdeckung



Kupferdraht zweilagig, geflochten.



Kupferdraht zweilagig, geflochten mit magnetisch abgeschirmter Zwischenlage.



In Kupfer- oder Stahlrohr geführtes Kabel.

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 Motornennstroms 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.

Bemerkung: Ein 11 kW Frequenzumrichter der VLT® AQUA 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 Motorklemmbrett. Es gibt heute immer noch Frequenzumrichter auf dem Markt, die dazu nicht in der Lage sind. 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® AQUA Drive sorgt ein spezielles Modulationsverfahren für die volle Motorspannung. Sogar mit bis zu 10 % Unterspannung am Netz werden Motornennspannung und Motornennmoment aufrecht erhalten.

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 (Kreispumpen und Ventilatoren) und solche, die über den gesamten Arbeitsbereich, also auch schon bei niedrigen Drehzahlen, dem Motor ein hohes Drehmoment abfordern können (Drehkolbengebläse).

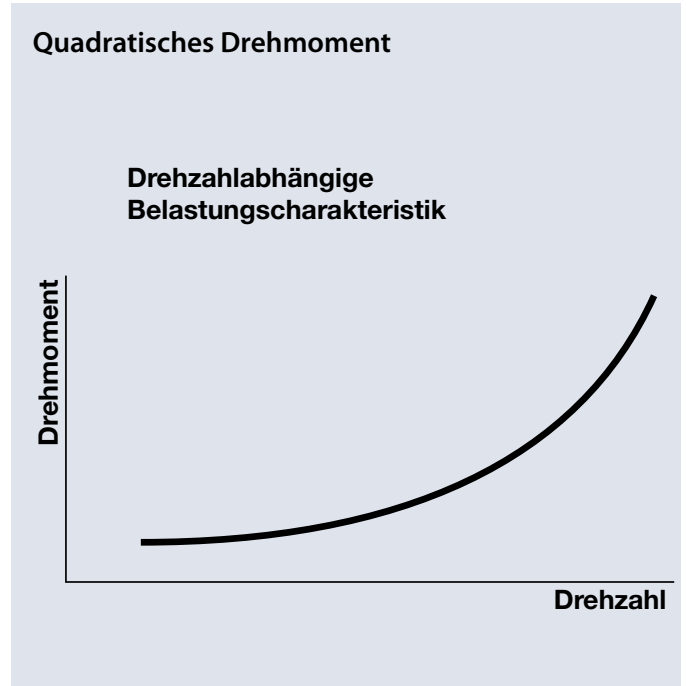
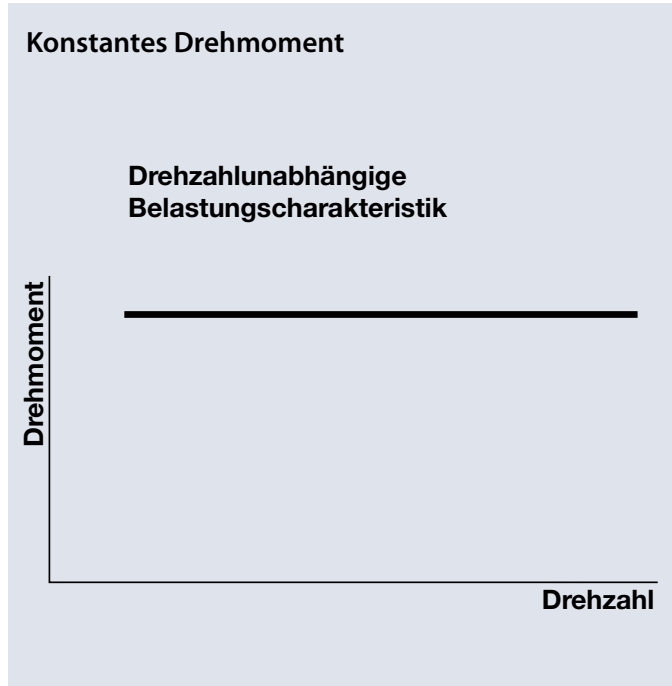
Bei den meisten Antriebssystemen in der Wasser-/Abwassertechnik steigt die Lastkennlinie bis zum Nennmoment quadratisch zur Drehzahl an. Um einen wirkungsgradoptimalen Betrieb bei diesen Lastverhältnissen zu erreichen, stellt der Frequenzumrichter unter anderem eine quadratisch zur Motordrehfeldfrequenz

ansteigende Motorspannung bereit. 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, loszubringen. 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 Drehkolbengebläsen 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 Wasser-/Abwassertechnik

Zuordnung: Kennline zur Applikation



Anwendungen mit konstantem Drehmoment

normales Anlaufmoment [110 % Überlast]

Dosierpumpen
Drehkolbengebläse
Oberflächenbelüfter
Rezirkulationspumpen
Seitenkanalverdichter

hohes Anlaufmoment [150 % Überlast]

Axialkolbenverdichter
Drehkolbenverdichter
Exenterschneckenpumpen (Anlaufmoment beachten!)
Kolbenpumpen
Rührwerke
Schlammentwässerungspressen
Verdichter (außer Turboverdichter)
Verdrängerpumpen
Zahnradpumpen
Zahnradschleusen

Anwendungen mit quadratischem Drehmoment

Kreiselpumpen
Brunnenpumpen ¹⁾
Druckerhöhungspumpen
Filterbeschickungspumpen
Grundwasserpumpen ¹⁾
Heisswasserpumpen
Heizungspumpen (Primär- & Sekundärkreislauf)
Kanalradpumpen (feste Stoffe)
Kühlwasserpumpen (Primär- & Sekundärkreislauf)
Regenbeckenentleerungspumpen
Rücklaufschlammumpen
Tauchmotorpumpen ¹⁾
Turboverdichter
Unterwasserpumpen ¹⁾
Überschußschlammumpen
Ventilatoren

¹⁾ Empfehlung eines Sinusfilters.

Hinweis: Fragen Sie beim Pumpen-/Motorenhersteller nach der 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:

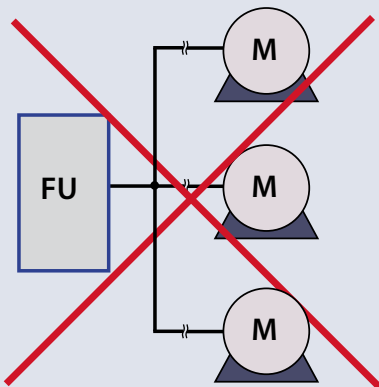
- Es sind jeweils die Nennströme und die Leistungen der Motoren zu addieren.
- Die Auswahl des geeigneten Frequenzumrichters erfolgt auf Grundlage der beiden summierten Leistungen und Ströme.
- Für den Motorschutz muss der Betreiber die Kaltleiter der Motoren durchschleifen und der Frequenzumrichter 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.

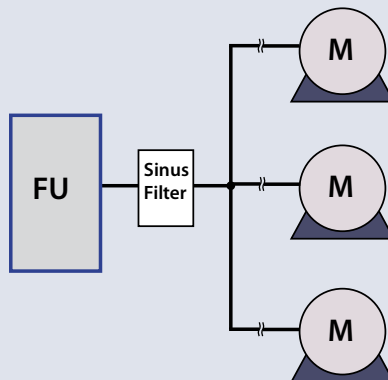
Kabelführung

zu vermeiden



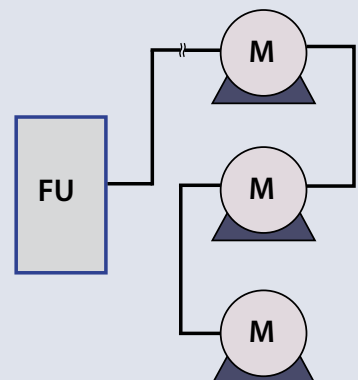
Bei Mehrmotorenbetrieb zu vermeiden: Parallele Leitungen erzeugen zusätzliche Kapazitäten. Daher sollte der Anwender auf jeden Fall auf diese Art des Anschlusses verzichten.

Empfehlung



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

Empfehlung



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 einhalten.

Kommen Funkentstörfilter zum Einsatz, die nicht der Kategorie C1 entsprechen, sondern nur den Kategorien C2 und niedriger, so sind zusätzlich Warnhinweise auf den Frequenzumrichtern anzubringen. Die Verantwortung dafür liegt letztendlich 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 Anwender selbst verantwortlich. Für Funkentstörfilter gibt es in der Praxis zwei Lösungen. Es gibt Hersteller, die Funkentstörfilter bereits serienmäßig in die Geräte einbauen und es gibt Hersteller, 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 den Frequenzumrichter, als Option installierte EMV-Filter, weisen einen zusätzlichen Spannungsverlust auf. In der Praxis bedeutet das, 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. Wichtig ist auch die maximal anschließbare Motorkabellänge, bei der der Frequenzumrichter die EMV-Grenzwerte noch einhält. Hier gibt es in der Praxis Unterschiede von 1m 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® AQUA 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® AQUA Drive hält C1 bis max. 50 m und C2 bis max. 150 m geschirmtes Motorkabel ein.

Praxis - EMV-Maßnahmen umsetzen

Netzrückwirkungen

Zwischenkreis beeinflusst Netzrückwirkungen

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

Der zunehmende Einsatz von Gleichrichterlasten verschärft das Auftreten von Netzrückwirkungen. Gleichrichter nehmen einen nicht sinusförmigen Strom aus dem Netz auf. Netzrückwirkungen 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 Netzrückwirkungen auf THD_i -Werte $< 10 \%$ oder $< 5 \%$ reduzieren muss, bieten optionale Filter und aktive Maßnahmen Möglichkeiten, um die Netzrückwirkungen fast vollständig zu bedämpfen.

Reduzierungsmaßnahmen

Um den Netzrückwirkungen 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 Netzrückwirkungen 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 Netzrückwirkungen). 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 Speisetrafoleistung gelten die Werte in der Tabelle unten. Bei Überschreitung der Maximalwerte sollten Sie Rücksprache mit dem Hersteller des Frequenzumrichters halten. Neben der Reduktion der Netzrückwirkungen erhöht die Netzdrossel die Lebensdauer der Zwischenkreiskondensatoren, da sich diese durch das Kappen der Stromspitzen schonender aufladen. Zusätzlich verbessern Netzdrosseln die Spannungsfestigkeit der Frequenzumrichter bei Netztransienten. Aufgrund des geringeren Eingangsstroms fallen die Kabelquerschnitte und Netzsicherungen kleiner aus. Die Drossel kostet jedoch zusätzlich Geld und beansprucht Platz.

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

Maximal 20 % Frequenzumrichter-Last am Transformator

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

Maximal 40 % Frequenzumrichter-Last am Transformator

—> bei FU mit Maßnahmen zur Netzrückwirkung, 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

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.

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.

Empfehlung

Eine grundsätzliche Empfehlung für eine der genannten Maßnahmen zur Reduktion von Netzurückwirkungen gibt es nicht. Wichtig ist, bereits während der Planungs- und Projektie-

rungsphase, die Weichen für ein Antriebssystem mit hoher Verfügbarkeit und geringen Netzurückwirkungen 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.

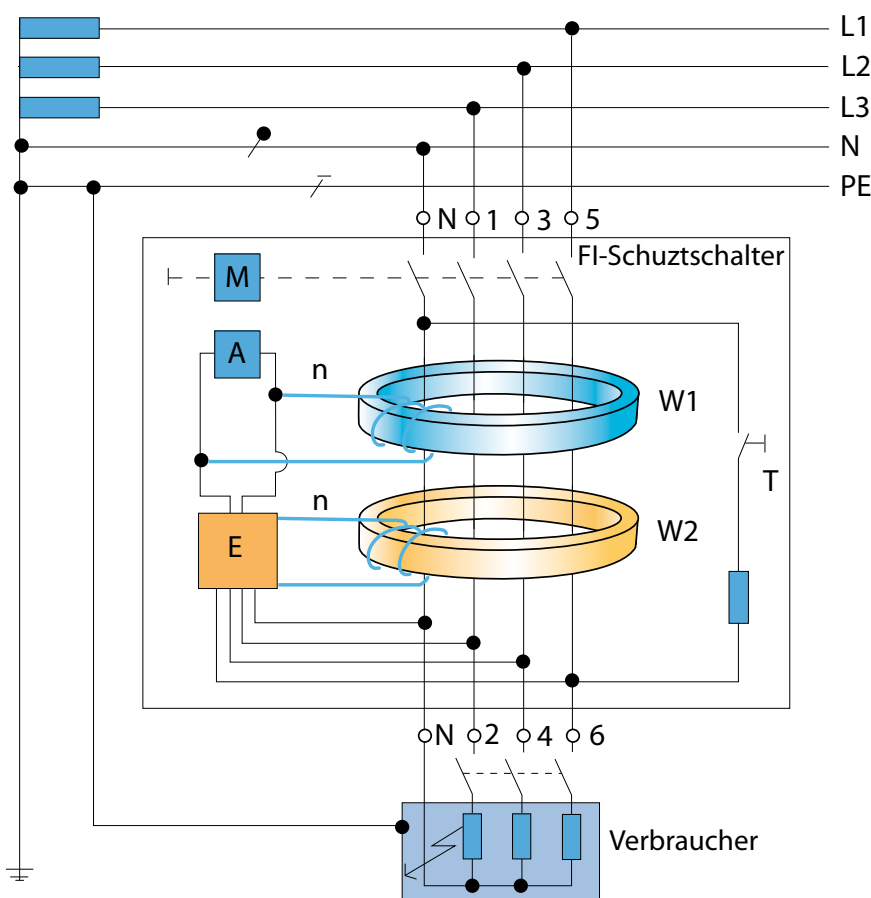
Sie müssen FI-Schutzeinrichtungen in allstromsensitiver Ausführung verwenden, falls Sie im abzuschließenden Bereich Geräte einsetzen, die im Fehlerfall einen glatten Gleichstrom erzeugen können. Dies trifft auf alle elektrischen Betriebsmittel zu, die eine B6-Gleichrichterbrücke

(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 Bemessungsfehlerstromes 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 Ableitstromes

Verschiedene Faktoren beeinflussen die Höhe des auftretenden Ableitstromes. 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 Motorschutz kommen Thermistorfühler oder Thermokontakte in der Motorwicklung zum Einsatz. Die Auswertung erfolgt über entsprechende Eingangsklemmen am Frequenzumrichter.

Die Geräteschutzfunktion von Motorschutzschaltern ist auf den direkten Netzbetrieb beschränkt. In Schaltanlagen mit Frequenzumrich-

tern 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 Dreiphasen-Leistungsschalter 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 Grundsatz für den Motor zu gewährleisten.

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.



Einfache numerische Bedieneinheiten sind preisgünstig.
Grafische Bedieneinheiten bieten besseren Bedienkonfort 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.

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 anpassen 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 wasser- und abwassertechnischen 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 Schaltschranktür parametrieren und auslesen.

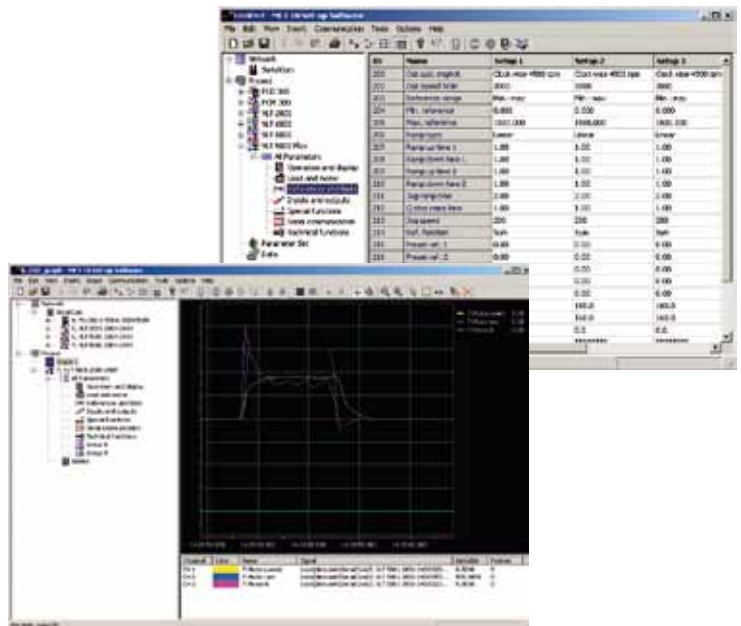


Praxis - Bedienung und Parametrierung mittels PC

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® AQUA Drive Serie bereit. Die Basis Version der Software ist kostenlos und kann von der Webseite [www.danfoss.de /software](http://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 einer SPS 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. PROFIBUS in das Leitsystem integrieren. Mit nur einem einzigen Hardware-Datenpunkt haben sie dann den vollen Zugriff auf alle Parameter der installierten Frequenzumrichter. 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.

Bemerkung: Die Remote Guardian Option RGO 100 setzt Maßstäbe bei Monitoring, Wartung und Alarmierung von Frequenzumrichtern innerhalb einer oder mehrerer Anlagen. Sie ermöglicht typische Aufgaben wie Fernwirken, Fernwarten, Alarmierung, Daten-Logging bei der Anlagenkonfiguration und -überwachung.

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 Hardware-datenpunkt 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.

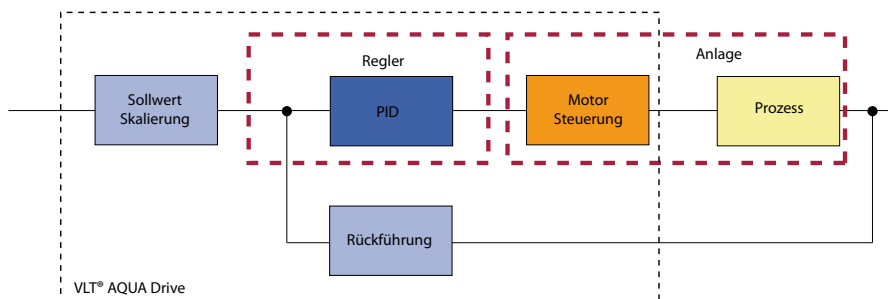


Praxis - Weitere Auswahlfaktoren

Prozessregler

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

Spannungen 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® AQUA Drive Frequenzumrichter nicht erforderlich.

VLT® AQUA Drive

Danfoss hat den VLT® AQUA Drive speziell für Anwendungen in der Wasser-/ Abwassertechnik 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 (U_K 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
- Trockenlaufschutz
- Durchflussüberwachung auf der Druckseite
- Laufzeitgesteuerter Pumpenwechsel
- Verschleißmindernder Pumpenstart
- Rohrfüllfunktion zur Vermeidung von Wasserschlägen
- Optional mit integrierter PROFIBUS- oder PROFINet Anbindung (auch mit ext. 24 V DC Spannungsversorgung)
- Integrierter Kaskadenregler für 3 Pumpen
- Optional mit einfachem oder erweiterten Kaskadenregler
- Optional mit sensorloser Pumpenregelung
- Optional aktive und passive Netzfilter zur weiteren Oberwellenreduzierung
- Optional Sinusfilter und du/dt-Filter für alle Leistungsgrößen
- VLT® AQUA 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® AQUA Drive ist in den Leistungen 0,37 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 einschlägigen 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 lautete: „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 Installation 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

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 lautete: „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

A

Abschirmung	38
Ableitstrom	39, 47
Abstrahlung	38
Active Front End	18, 45
Automatische Energie Optimierung	8, 52
Aggressive Luft / Gase	27
Aktive Filter	17, 45
Allstromsensitiver FI-Schutzschalter	46
Ammoniak	27
Amplitude	14
Amortisationszeit	7
Anlagenverschleiß	7
Anlaufstrombegrenzung	7
Anschaffungskosten	9
Anschlusswert	7
Antriebssystem	6
Antriebsstrang	7
Anlagenbetreiber	14
Anlaufstrombegrenzung	7
Anschaffungskosten	9
Anschlussbedingungen	14
ATEX	29
Ausfallkosten	9
Ausgangsfilter	35
Auslegung / Auswahl	6, 40
Auswirkungen	15

B

Basisinformationen	10
Bedarf	7
Bedeutung	6
Bedienung	48, 49
Bedieneinheit	48, 49
Bedienteil	48, 49
Bedingungen	24, 26
Beeinflussung	13
Belastungscharakteristik	41
Belastungsunsymmetrie	23
Bereiche	21
Bereitstellungskosten	7
Beschichtete Platinen	27
Betauung	26
Betreiber	12
Betriebsintervalle	7
Betriebskosten	6, 9
Betriebspunktanpassung	7
BLDC BrushLess Direct Current	32
Blindstrom	8, 34
Blindstromkompensation	22
Blindleistung	15, 23, 36
Blindleistungsaufnahme	16
Blitzeinschläge	22
Blockheizkraftwerk	23
Bussystem	51

C

CE-Zeichen	53
Cos φ	22
Chlor	27

D

DASM Drehstromasynchronmotoren	30, 31, 32, 33
Datenanzeige	48, 49
Datenaustausch	51
Dauermagnete	32, 33
Differenzdruck	7
Dimensionierung	6, 40
Drehfeldfrequenz	20
Drehmomentkennlinie	7, 40
Drosseln	16, 43
Druck	7
Durchfluss	7
du/dt-Filter	35

E

EC Electrical Commutated	32, 33
Effektivwert	15
Effizienzklassen	30, 40
Einbauort	24
Einbauverhältnis	24
Einbindung	6
Einfluss	12
Eingangsgleichrichter	14
Einrichtungskosten	9
Einsatzort (EMV)	20, 21, 24
Einsparpotenzial	7, 8
Einspeiseseite	16
Einzelerdung	11
Elektrisches Feld	13
Elektrolytkondensator	26
Elektromagnetische Wellen	13
EMV	11, 36
EMV - Eigenschaften	11
EMV - Filter	20
EMV- Maßnahmen	11
EMV- Richtlinie	53
EMV - Kabelverschraubungen	38
EMV- Verhalten	11
Endanwender	12
Energieaufnahme	8
Energieeffizienz	6
Energieeinsparung	7
Energieeinsparpotenzial	7, 8
Energiekosten	9
Energieverbund	14
Energieversorgung	11
Energieversorgungsunternehmen	13
Entsorgungskosten	9
Entstehungsort	15
Erdungsmaßnahmen	37, 47
E _{max} -Regelung	7

EVU	13
Explosionsgefahr	28
Ex-Schutz (ATEX)	29

F

Fachgrundnorm	20
Fachplaner	6
Feinschutz	22
Fehlerstrom-Schutzschalter	46
Felder	13
Feldschwächbereich	33
Ferneinbausatz	49
Filter	16, 35, 44
Filtermatten	28
FI-Schutzschalter	46
Fluorwasserstoff	27
Fourieranalyse	14
Frequenz	14
Frequenzspektrum	18
Funkentstörfilter	20
Funktstörungen	20, 45

G

Galvanische Kopplung	13
Gegenmaßnahmen	12, 15
Generator	23
Geräuscentwicklung	7
Gesamtanlage	6
Gesamtoberschwingungsgehalt THD	14
Gesamtsystem	7
Gleichrichter	16
Gleichwertigkeit	6
Grenzwerte	14
Grobschutz	22
Grundlagen	7
Gruppen Kompensation	17

H

Harmonische Oberschwingung	13
Hilfsmittel	6
Hilfestellungen	6
Hintergrundwissen	6
Hochfrequente Funkstörungen	20, 21, 45

I

IE-Klassen	30
Inbetriebnahme	48, 51
Inbetriebnahmekosten	9
Individuelle Kompensation	17
Induktive Kopplung	13
Industriebereich	21
Industriernetz	14
Informationen	6
Installationskosten	9

Instandhaltungskosten	9
IP20 / IP21 / IP54 / IP66	24
Isolationsbeanspruchung	34
IT-Netz	11

K

Kabellänge	38
Kabelquerschnitt	36
Kabelverschraubungen	38
Kabelverlegung	36
Kaltleiter	28
Kapazitive Kopplung	13
Klartextdisplay	48
Klirrfaktor	14
Kennlinien	14
Klimabedingungen	26
Klimatisierung	26
Komfort	7
Kompensation	15, 16
Kompensationsanlage	22
Kompensationsgrad	17
Kompensationsstrom	17
Kondensator	26
Kondensieren	26
Konfiguration	6, 10
Konstante Kennlinie	40, 41
Konstellation	15
Kontaktstellen	37
Kontamination	27
Kopplung	13
Kopplungsmechanismen	13
Korrosion	27
Kosten	7, 9
Kosteneffizienz	9
Kostenfaktor	9
Kurzschluss	22, 26
Kühlung	26
Kühlkonzept	26
Kühlluftstrom	26
Kühlrippen	26
Kühlkörper	28

L

Lackierte Platinen	27
Lagerbeanspruchung	34
Lagerstrom	34
Lagerung	52
Lastbereich	16
Laststoß	7
Laststrom	14
Laufzeit	9
LC-Filter	35
LCC (Life Cycle Cost)	6, 9
LCC-Gleichung	9
Lebensdauer	6, 24, 26, 43

Lebenszykluskosten	6, 9
Lebenszykluskostengleichung	9
Leerlaufbetrieb	16
Leistungsfaktor	16, 22
Leistungssteigerung	7
Lineare Kennlinie	40, 41
Low Harmonic Drive	18, 44, 53
Luftfeuchtigkeit	26
Luftmenge	26
Luftstrom	26

M

Magnetisches Feld	13
Maschinenrichtlinie	53
Masselitzen	39
Masseverbindung	39
Materialverschleiß	7
Mehrkosten	7
Mehrmotorenbetrieb	42
Messgerät	15
Mindestwirkungsgradklassen	30
Mittelspannungsnetz	23
Momentenstoß	7
Montage	24
Montageabstand	26
Motor	6, 30, 34
Motordrossel	36
Motoreignung	34
Motorisolation	34
Motorkabel	36
Motorkaltleiter	42
Motorlager	34
Motornennstrom	7, 40
Motorwirkungsgrad	30

N

Nachrüsten	6
Nachträglicher Einbau	7, 33
Nebeneffekte	6
Nennstrom	38
Netzanalysen	15
Netzberechnung	15
Netzbelastung	14
Netzberechnungsprogramm	15, 23
Netzdrosseln	16, 41
Netzersatzanlagen	23
Netzfilter	20
Netzform	11
Netzimpedanz	23
Netzüberschwingungen	13
Netzqualität	14
Netzsicherung	41
Netzspannungsqualität	14
Netzurückwirkungen	14, 41
Netzversorgung	6, 11, 14
Netztransienten	17, 23, 41
Neutralleiter	11

Nichtlineare Kennlinie	14, 39
Niederspannungsnetz	23
Niederspannungsrichtlinie	53
Norm	12, 20
Notstromgenerator	23
Nutzen	6

O

Oberwellenfilter	16, 43, 44
Oberwellenfreiheit	16
Oberschwingungen	13
Oberschwingungsanteile	15
Oberschwingungsbelastung	14, 23
Oberschwingungserzeuger	17
Oberschwingungsgehalt	14
Oberschwingungspegel	15
Oberschwingungsstrom	15, 17
Öffentliches Netz	14
Ozon	27

P

Parametrierung	50
Parallelbetrieb	42
Passive Filter	13, 45
Pegel	14
Phasenversatz	16
Phasenverschiebungswinkel	22
Pig Tail (verdrillte Kabelschirme)	38
Planercheckliste	6, 62
Planung	10
Planungsschritte	6
Planungssicherheit	6
Planungsstadium	15
PM Permanent Magnet	32
PMSM Permanent Magnet Synchron Motor	32
Potentialausgleich	37
Potentialverschleifung	37
Power Factor Correction	18
Produktnorm	20
Projektierung	6, 9
Proportionalitätsgesetze	8
Prozessregler	52
PTB-Zulassung	29
Pulszahl	16
Pumpensysteme	9

Q

Quadratische Kennlinie	14, 41
Qualität	6

R

Rahmenbedingungen	6
Reduzierung	12, 16, 43
Regelbereich	7
Regelkreis	52

Resonanzen	23
Reparaturkosten	7
Retrofit	7, 35
RFI-Filter	20
Richtlinien	14
Richtwert	12
Rohrleitungssystem	7
S	
Sachverhalte	6
Saugkreis	17, 23
Schaltraum	26
Schaltschrankheizung	26
Schaltschrankmontage (zentral)	24
Scheinleistung	15
Schirmung	38
Schirmungsmaßnahmen	38
Schirmwirkung	38
Schlanker Zwischenkreis	16, 18, 40
Schutzarten	24, 25
Schutzleiter	11
Schwefelwasserstoff	27
Schwingkreis	16
Sehnung	23
Sekundärwicklung	16
Sinusfilter	35
Sinusform	14
Sinusspannung	14
Sinusverzerrung	14
Skin-Effekt	37
Spannungsabfall	34, 40
Spannungsanstiegsgeschwindigkeit	35
Spannungseinbruch	7
Spannungsfestigkeit	43
Spannungspotential	13
Spezialbereich	21
Standzeit	24
Staubbelastung	28
Stickstoff	27
Stilllegungskosten	9
Störaussendung	12
Störenergie	13
Störfelder	13
Störfestigkeit	12, 20
Störpegel	20
Störquelle	12, 13
Störsenke	12, 13
Störübertragung	11
Strahlungseinflüsse	13
Strahlungskopplung	13
Stromaufnahme	14
Stromspitzen	7
Strömungsmaschinen	7
Systemdruck	7

T	
Teillastbetrieb	7, 8
Temperaturüberwachung	28
THD (Gesamtoberschwingungsgehalt)	14
Thermische Beanspruchung	34
Tipps	6
TN-C Netz	11
TN-S Netz	11
TT-Netz	11
Transformator	16, 23
Transformatorauslastung	23
Transformatorbelastung	23
Transienten	17, 23, 43

U	
Übergangswiderstand	38
Überlastfähigkeit	38
Übersynchroner Bereich	7
Überspannungsspitzen	22
Übersynchroner Betrieb	33
Umgebung (1. oder 2.)	20, 21
Umgebungsbedingungen	6, 24
Umgebungsbereich	21
Umgebungstemperatur	26
Umweltbedingungen	6, 24
Umweltkosten	9
Unsymmetrische Belastung	23
Unterspannungsverluste	15
U/f- Kennlinie	8

V	
Varistor	22
Verantwortung	12
Verdrosselung	22
Verfügbarkeit	7, 15, 24
Verkabelung	6
Verlustleistung	26
Verzerrung	14
Versorgungsnetz	7, 14
Verschraubungen (EMV, Kabel)	38
Verunreinigte Luft / Gase	27
Volllast	7
Volumenstromänderung	9
Vorfeld	6, 15
Vorschriften	14
Visualisierung	48, 49, 51

W	
Wärmeverluste	26
Wandmontage (dezentral)	24
Wartung	52
Wartungskosten	6
Wechselwirkungen	12, 13
Wellenlänge	13
Werkzeuge	6

Wicklung	34
Wirkleistung	15
Wirkstrom	36
Wirkungsgrad	7, 8
Wohnbereich	21

Z

Zentrale Kompensation	17
Zerstörung	15
Zersetzung	27
Zündschutzart	29
Zwischenkreisspannung	18
Zwischenkreis	16, 43
Zwischenkreisdrossel	16
Zwischenkreiskondensator	43

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

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



Frequenzumrichter

☐	Dimensionierung und Auswahl	Auslegung nach Motorstrom. Spannungsverluste berücksichtigen.
☐	Sonderfall Mehrmotorenbetrieb	Hier gelten besondere Bedingungen.
☐	Funktstörungen (hochfrequent)	Passenden Funkentstörfilter für vorliegende EMV-Umgebung vorgeben.
☐	Netzurückwirkungen (niederfrequent)	Netzurückwirkdrosseln zur Reduzierung des Oberwellenstroms einsetzen.
☐	Erdungsmaßnahmen	Sind Maßnahmen gegen Ableitströme getroffen?
☐	FI-Schutzschalter	Nur allstromsensitive FI-Schutzschalter verwenden.
☐	Motorschutz und Motorkaltleiter	Motor Kaltleiter wird vom FU ausgewertet. (EX-Bereich PTB-Zulassung)
☐	Bedienung und Datenanzeige	Bedienung und Visualisierung über Klartextdisplay (Einbau in Schaltschranktür).
☐	Datenaustausch (Bussysteme)	Über Bussystem (z.B. PROFIBUS) oder über herkömmliche Klemmenverdrahtung.
☐	Prozessregler	FU können SPS-Aufgaben übernehmen oder Aufbau eines autarken Regelkreises.
☐	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, Telefax: +43 2236 5040-35
www.danfoss.at/vlt

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

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



Planer Checkliste Frequenzumrichter

4 Schritte zur grundsätzlichen FU-Auslegung einer betriebssicheren Anlage in der Wasser-/Abwassertechnik

Beginnend nach der Festlegung der Antriebsaufgabe und der Drehmomentcharakteristik



Netzversorgung

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



Umgebungsbedingung

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

Die Vision hinter VLT®

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

Verantwortung für die Umwelt

Danfoss VLT® Produkte mit Rücksicht auf Mensch und Umwelt

Alle 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.

EU Richtlinien

Alle Fertigungsstätten sind gemäß ISO 14001 zertifiziert, ebenso erfüllen alle Produkte die EU Richtlinie für Generelle Produktsicherheit und die Maschinenrichtlinie. Danfoss VLT® Antriebstechnik setzt für alle Produktlinien die Richtlinien RoHS und WEEE um.

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 Drives ist weltweit einer der führenden Antriebstechnikhersteller. Bereits 1968 stellte Danfoss den weltweit ersten in Serie produzierten Frequenzumrichter für Drehstrommotore vor und hat sich seitdem auf die Lösungen 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 Drives Zentrale in Graasten, Dänemark, entwickeln, fertigen, beraten, verkaufen und warten 2000 Mitarbeiter in mehr als 100 Ländern die Danfoss Antriebslösungen.

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

Vertrauen Sie Experten – weltweit.

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

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



Deutschland:

Danfoss GmbH VLT® Antriebstechnik

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

Österreich:

Danfoss Gesellschaft m.b.H. VLT® Antriebstechnik

Danfoss Straße 8, A-2353 Guntramsdorf
Tel: +43 2236 5040, 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.