ENGINEERING
TOMORROW

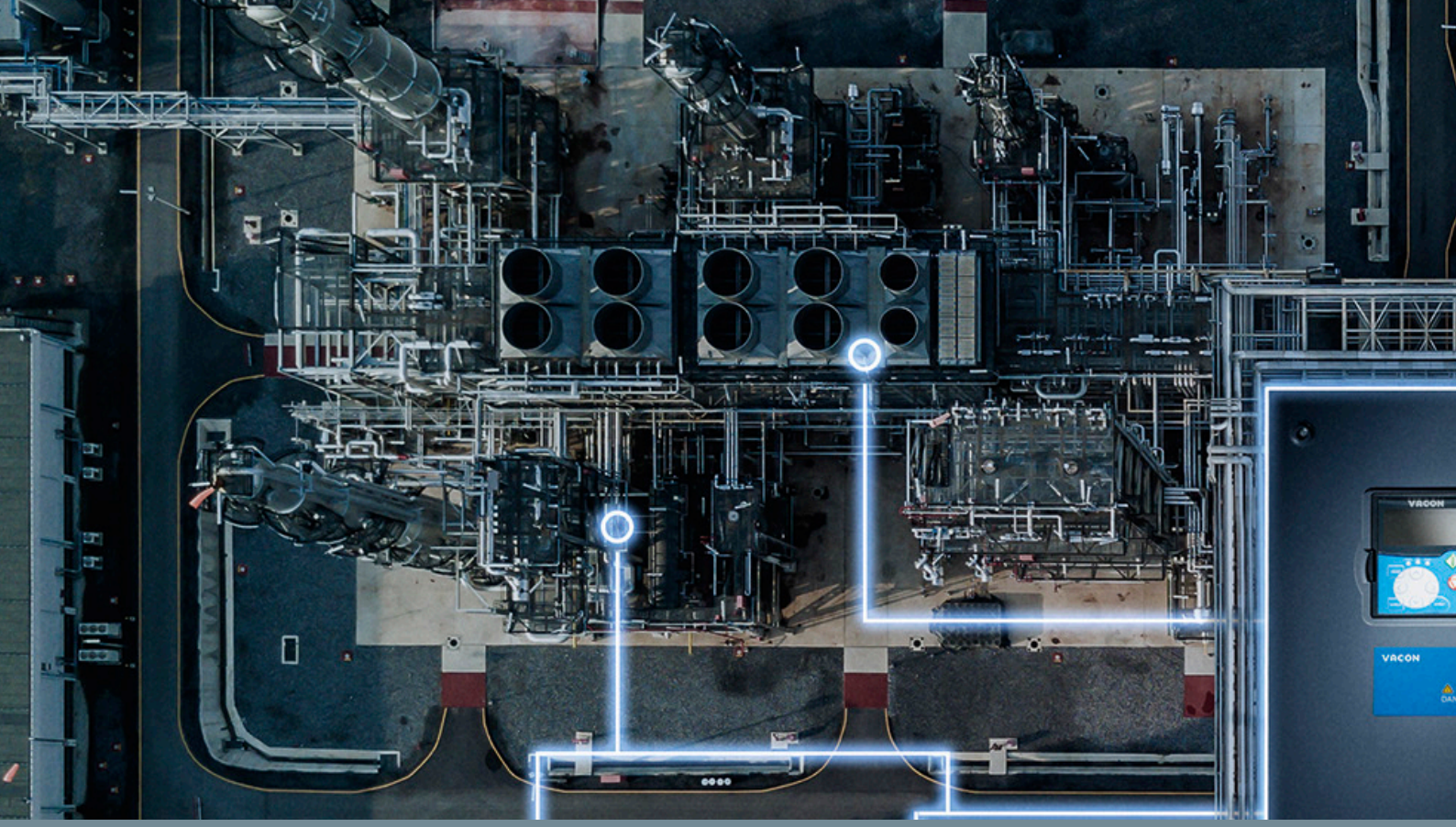
Broschüre | Chemie & Pharma

Planung und Projektierung
von Frequenzumrichtern in Chemie- und Pharmaanwendungen

690 V

Modulare Frequenzumrichter bieten integrierte Sicherheitsfunktionen nach Maß

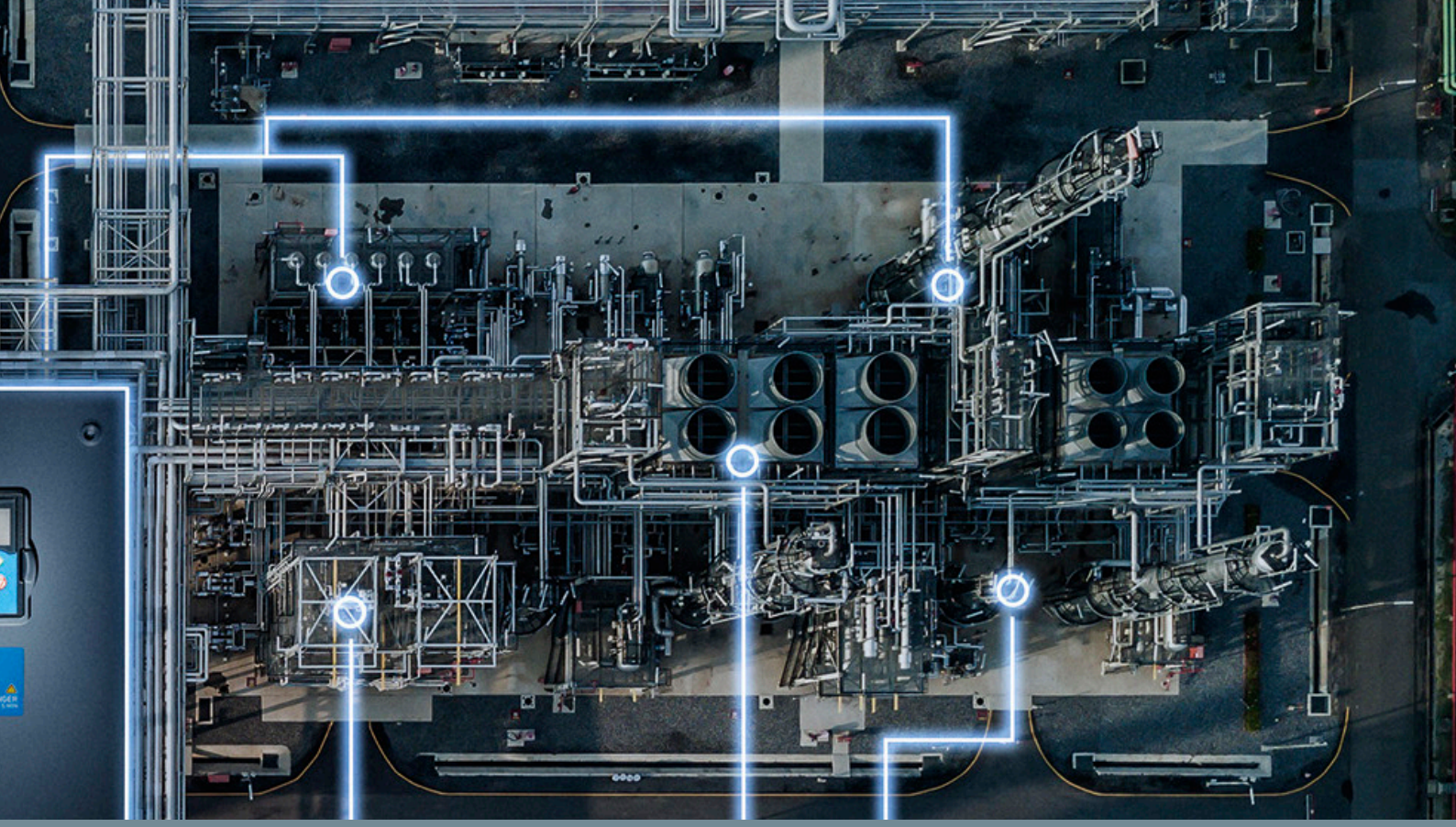
drives.danfoss.de | VLT®



Hilfe bei Planung und Auslegung **5**

Teil 1: Allgemeines zu Frequenzumrichtern **6**
Kosten senken und Produktivität steigern **6**
Sind gleiche Wirkungsgrade wirklich gleich? **8**
Gründliche Planung spart Geld 8
Ziehen Sie Filtermaßnahmen für Schutz und Wirtschaftlichkeit in Betracht **9**
Variable Drehzahlregelung: großes Potenzial und schnell umgesetzt **10**
Energieeinsparungen *10*
Anpassung des Leistungsfaktors (cos φ) *10*
Optimierter Betrieb im Teillastbereich *10*
Automatische Energieoptimierung *10*
Reduzierung von Startvorgängen *10*
Kostensenkung über den gesamten Lebenszyklus **11**
Schonender Anlagenbetrieb *11*

Teil 2: Projektierung **12**
Verfügbares Einsparpotenzial realisieren **12**
Spannungsversorgung **13**
Industrielle DC-Notstromversorgungstechnologie **14**
Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) **16**
Hochfrequente Funkfrequenzstörungen **18**
Normen und Richtlinien definieren Grenzwerte *18*
Der Einsatzort entscheidet – erste und zweite Umgebung **19**
Netzqualität **20**
Niederfrequente Netzrückwirkungen 20
Reduzierung von Netzrückwirkungen **22**
Aktive Filter reduzieren Oberschwingungen **23**
Übersicht über die Technologien zur Oberschwingungsreduzierung **24**
Active Front End und Matrix-Frequenzumrichter **26**
Lösungen zur Oberschwingungsreduzierung **28**
Common DC Bus-Systeme **30**
Zwischenkreiskopplung **30**
Maßnahmen zum Schutz des Netzes **32**
Blindstromkompensation 32
Netztransienten 32
Betrieb am Transformator oder Generator **33**
Maximale Transformatorleistung 33
Transformatorleistung *33*
Netzqualität *33*
Betrieb am Notstromgenerator 33
Beim Betrieb von Oberschwingungserzeugern gelten die Grenzen wie folgt *33*
Umgebungs- und Umweltbedingungen **34**
Der richtige Einbauort 34
Schaltschrank- oder Wandmontage? 34
IP- und NEMA-Schutzarten **35**
Aufbau der IP-Schutzarten nach IEC 60529 35
Aufbau der NEMA-Gehäusetypen nach NEMA EN P1-2020 37
Kühlkonzept **38**
Umgebungstemperaturen einhalten *38*
Kühlung *38*
Flüssigkeitsgekühlte Frequenzumrichtertechnologie *39*
Besondere Anforderungen **40**
Aggressive Luft oder Gase 40
Staubbelastung 41
EEx-gefährdete Bereiche **42**
EEx-gefährdete Bereiche 42
ATEX-Motorauslegung 43
Explosionsgeschützte Motoren 44
Isolierspannung Frequenzumrichtergespeister elektrischer Maschinen *45*



Sicherheitsfunktionen in Antrieben 46
EEx-gefährdete Bereiche 46
Motorvollschutz 46
Explosionsschutzkonzept für Frequenzumrichter mit der Zündschutzart „Erhöhte Sicherheit" 46
Kostengünstige und flexible Alternative 48
Funktionale Sicherheit 50
Sicherheitsfunktionen in Frequenzumrichtern 50
Motoreignung für FU-Betrieb 53
Auswahlkriterien 53
Ausgangsfilter 54
Sinusfilter, allpolige Filter oder dU/dt-Filter 54
Allpolige Filter 55
dU/dt-Filter 56
Common Mode Filter 56
Übersicht der Ausgangsfilter 57
Motorwirkungsgrad 58
Mindestwirkungsgradklassen (MEPS) von Motoren 58
Verbindliche Mindestwirkungsgrade 58
Betroffene Drehstrommotoren 58
Alternativen zu den geforderten IE3-Motoren 58
Motorkompatibilität 58
Getriebemotoren 58
Ecodesign für Motoren 58
IE-Klassifizierung von Motoren 59
Vorteil von PM-Motoren – höhere Energieeffizienz 59
MEPS-Zeitplan 59
Bewährte Praxis – Motorkabel 60
Kabeldimensionierung 60
Energieeinsparungen 60
Kabel mit geeigneter Schirmung 60
Bewährte Praxis – Erdungsmaßnahmen 61
Leitfähige Materialien 61
Kontaktstellen 61
Ausführung 61
Schirmungsmaßnahmen 62
Erdanschluss 63
Motorzuleitung 63
Schirmgeflecht als Erdleiter? 63
EMV-Maßnahmen umsetzen 64
Von der Theorie zur Praxis 64
Funkstörungen 64
Empfehlungen für die Praxis 64
Netzrückwirkungen 65
Der DC-Zwischenkreis beeinflusst Netzrückwirkungen 65
Netzdrosseln (AC- oder DC-Spulen) 65
Passive Filter 66
Aktive Filter, Active Front End und Low Harmonic Drive 66
12-, 18- und 24-pulsige Gleichrichter 66
Empfehlung 66
RCD-SCHUTZSCHALTER 67
Allstromsensitive RCD 67
Höhe des Ableitstromes 67
Erdung und Motorschutz 68
Erdungsmaßnahmen in der Praxis 68
Motorschutz und Motorthermistor 68
Sonderfall: Mehrmotorenbetrieb 69
Design 69
Auslegung der Frequenzumrichter 70
Basisauslegung 70
Lastkennlinien verschiedener Anwendungen 71
Zuordnung von Kennlinien zu Anwendungen 71
Anwendungen mit konstantem Drehmoment (hohes Anlaufmoment) 71
Anwendungen mit quadratischem Drehmoment 71

Bedienung und Datenanzeige **72**
Einfaches Bedienkonzept 72
Bedienung und Anzeigen 73
Vor-Ort-Betrieb *73*
Übersichtliche Anzeige *73*
Einheitliches Konzept *73*
Einbau in die Schaltschranktür *73*
Bedienung und Parametrierung mittels PC **74**
Datenaustausch **75**
Bussysteme *75*
Feldbussysteme, Protokolle und spezifische Funktionen *75*
Feldbus *75*
Verfügbare Feldbusse *75*
Web-Server *75*
Fernzugriff auf den Frequenzumrichter **76**
Weitere Auswahlfaktoren **77**
Prozessregler 77
VLT® AutomationDrive FC 302 ..... **78**
Alle Versorgungsspannungen *78*
Safe Torque Off *78*
Erzielen Sie die maximale Verfügbarkeit Ihres Systems – **mit zustandsbasierter Überwachung** **80**
Integrierter Motion Controller – für **Positionierungs-** und **Synchronisierungs**anwendungen 82
Motion Control- und Servoantriebsanwendungen **84**
Produktübersicht **86**
VLT® AutomationDrive FC 302 86
VLT® Enclosed Drives 86
VLT® Integrated Servo Drive ISD® 510 87
VLT® FlexMotion™ 87
VLT® Multiaxis Servo Drive MSD 510 87
VLT® Decentral Servo Drive DSD 510 87
VACON® NXP Air Cooled 88
VACON® NXC Air Cooled Enclosed Drives 88
VACON® NXP Liquid Cooled Drive 88
VACON® NXP Liquid Cooled Enclosed Drive 89
VACON® NXP System Drive 89
VACON® NXP Common DC Bus 90
VACON® NXP Liquid Cooled Common DC Bus 90
VACON® NXP Grid Converter 90
VACON® NXP DC/DC Converter 91
VACON® 1000 und VACON® 3000 Mittelspannungs-Frequenzumrichter 91
DrivePro® Life Cycle-Services **94**
Richtlinien in Bezug auf Frequenzumrichter **96**

Hilfe bei Planung und Auslegung

Die Danfoss Planerfibel für die Chemie- und Pharmabranche richtet sich an Chemieunternehmen, Entwicklungsingenieure und Schaltschrankhersteller.
Sie soll als umfangreiches Hilfsmittel für Fachplaner und Projektierungsfachleute dienen, zu deren Aufgabenbereich die Projektierung mittels Frequenzumrichtern angesteuerter drehzahlgeregelter Antriebe für Chemieanlagen und Anlagen in der Kosmetik sowie Pharmazeutik gehört.

Unsere Spezialisten haben den Inhalt dieser Planerfibel mit Fachplanern der Branche abgestimmt, um wichtige Fragen zu beantworten und größtmöglichen Nutzwert für die Anlagenbauer, Anlagenbetreiber und Entwicklungsingenieure zu erzielen.

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 Hilfestellung bei der Projektierung mittels Frequenzumrichter angesteuerter Antriebe in den Branchen Chemie und Pharma, aber auch bei der Bewertung der technischen Ausstattung unterschiedlicher Frequenzumrichterfabrikate.

Bei der Projektierung drehzahlgeregelter Antriebe treten häufig Fragen auf, die nicht unmittelbar mit den eigentlichen Aufgaben eines Frequenzumrichters verknüpft sind. Diese Fragen beziehen sich vielmehr auf die Integration dieser Geräte in das Antriebssystem und das System als Ganzes.

Daher ist es entscheidend, nicht nur den Frequenzumrichter, sondern auch das gesamte Antriebssystem zu berücksichtigen. Dieses System besteht aus Motor, Frequenzumrichter, Verdrahtung und allgemeinen Umgebungsbedingungen, einschließlich der Netzversorgung und Umgebungsbedingungen sowie Sicherheitsrichtlinien.

Der Projektierung und Auslegung drehzahlgeregelter Antriebssysteme fällt eine entscheidende Bedeutung zu. Der Planer oder Projekteur 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 für die Chemie- und Pharmabranche ist ein optimales Werkzeug, um für die größtmögliche Planungssicherheit zu sorgen und damit zur Betriebssicherheit der gesamten Anlage beizutragen.

Sie 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 für die Chemie- und Pharmabranche durch die notwendigen Schritte der Planung und Projektierung einer Anlage und gibt Tipps zum Nachrüsten einer variablen 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 sowie den entsprechenden Zusatzteilen und Funktionen beachten müssen. Wenn Sie alle Inhalte dieser Broschüre bei der Projektierung berücksichtigen, liegt Ihnen am Ende eine optimale Konfiguration der Anlage für einen sicheren und zuverlässigen Betrieb vor.

Teil 1: Allgemeines zu Frequenzumrichtern

Kosten senken und Produktivität steigern

Die elektronische Drehzahlregelung hat gegenüber mechanischen Lösungen das Potenzial, den Energieverbrauch und den mechanischen Verschleiß wesentlich zu reduzieren. Beides reduziert die Betriebskosten deutlich. Je häufiger Antriebssysteme im Teillastbetrieb arbeiten, desto höher ist das Einsparpotenzial bei Energie- und Wartungskosten. Aufgrund des hohen Energieeinsparpotenzials amortisieren sich die Mehrkosten für eine elektronische Drehzahlregelung meistens bereits innerhalb kurzer Zeit. Dabei beeinflussen moderne Lösungen den Prozess und die Verfügbarkeit des Gesamtsystems an vielen Stellen äußerst positiv.

- **Hohes Energiesparpotenzial**
  Mit einer elektronischen Drehzahlregelung werden Durchfluss, Druck oder Differenzdruck an den tatsächlich benötigten Bedarf angepasst. In der Praxis laufen Anlagen überwiegend im Teillastbetrieb und nicht unter Volllast. Die Differenz zwischen Voll- und Teillastbetrieb bestimmt bei Strömungsmaschinen mit quadratischer Drehmomentkennlinie die Höhe der Energieeinsparung. Je höher die Energieeinsparung ausfällt, desto kürzer ist die Amortisationszeit.

- **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 Anlage beim Energieversorger geringer; dies senkt die Bereitstellungskosten und eventuelle Emax-Regelungen entfallen.

- **Weniger Systemabnutzung**
  Mit Frequenzumrichtern erfolgen der Anlauf und das Anhalten von Motoren sanft und stufenlos. Anders als beim direkt am Netz betriebenen Motor tritt beim Frequenzumrichterbetrieb kein Momenten- oder Laststoß auf. Dies schützt das gesamte Antriebssystem. So reduziert eine Drehzahlregelung den Verschleiß deutlich. Die Reparatur- und Wartungskosten sinken dank längerer Betriebsintervalle und geringerem Materialverschleiß.

- **Erweiterter Regelungsbereich**
  Frequenzumrichter bieten die Möglichkeit, Motoren in den sogenannten übersynchronen Bereich (Ausgangsfrequenz > 50/60 Hz) zu regeln. Dadurch lässt sich eine kurzzeitige Leistungssteigerung erreichen. Inwieweit übersynchroner Betrieb möglich ist, hängt vom maximalen Ausgangsstrom und der Überlastfähigkeit des Frequenzumrichters und des angeschlossenen Motors ab. In der Praxis werden häufig Pumpen, Verdichter und Lüfter mit einem Frequenzbereich von 55 bis 87 Hz/ 65 bis 104 Hz betrieben.

- **Geringere Geräuschentwicklung**
  Anlagen laufen im Teillastbetrieb leiser. Drehzahlgeregelter Betrieb senkt die Geräuschentwicklung daher deutlich.

- **Längere Lebensdauer**
  Antriebssysteme unterliegen im Teillastbetrieb geringerer Abnutzung, was sich durch längere Lebensdauer bemerkbar macht.
  Der Betrieb im Übersynchronbereich muss mit dem Motorhersteller und Maschinen-OEM abgeklärt werden.
  Zudem wirkt sich der reduzierte und optimierte Systemdruck in den Leitungen vorteilhaft aus.

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

- **Unabhängigkeit von Motor- und Steuersystemen**
  Einige Motorhersteller versuchen, Maschinenbauer, Systemintegratoren und Endverbraucher dazu zu bewegen, sich für ein Gesamtpaket zu entscheiden, um ihren Anteil zu erhöhen. Dies mag einfacher aussehen, geht jedoch in den meisten Fällen mit Kompromissen bei Effizienz und Verfügbarkeit einher. Die Ausführung einer Funktion zur automatischen Motoranpassung (AMA) vor Ort passt den drehzahlveränderlichen Antrieb (VSD) unter Berücksichtigung der Motorkonstruktion, der Länge des Motorkabels und der Umgebungstemperatur perfekt an jeden Motor an. Dadurch wird eine möglichst gute Kombination der Komponenten des gesamten Antriebssystems sichergestellt. Entscheiden Sie sich für einen Frequenzumrichter, der mit allen modernen Antriebstechnologien und Feldbussystemen arbeiten kann, um für spätere Nachrüstungen Ihrer Anlage gerüstet zu sein. Danfoss Drives stellt Ihnen Werkzeuge zur Verfügung, die Sie bei diesem wichtigen Schritt unterstützen.

Sind gleiche Wirkungsgrade wirklich gleich?

Gründliche Planung spart Geld

Beim Vergleich von Wirkungsgraden gibt es auf den ersten Blick keine großen Unterschiede zwischen verschiedenen Geräten. Aber ist dem wirklich so? Haben zwei nach Leistung und Wirkungsgrad identische Geräte die gleichen Verluste?

Der Wirkungsgrad von Frequenzumrichtern berechnet sich aus dem Verhältnis von abgegebener zu zugeführter Leistung. Seine Angabe erfolgt üblicherweise in gerundeten Prozentzahlen, also ohne Nachkommastellen. Im schlechtesten Fall unterscheiden sich also die Umrichter mit gleichem Wirkungsgrad um fast 1 %.

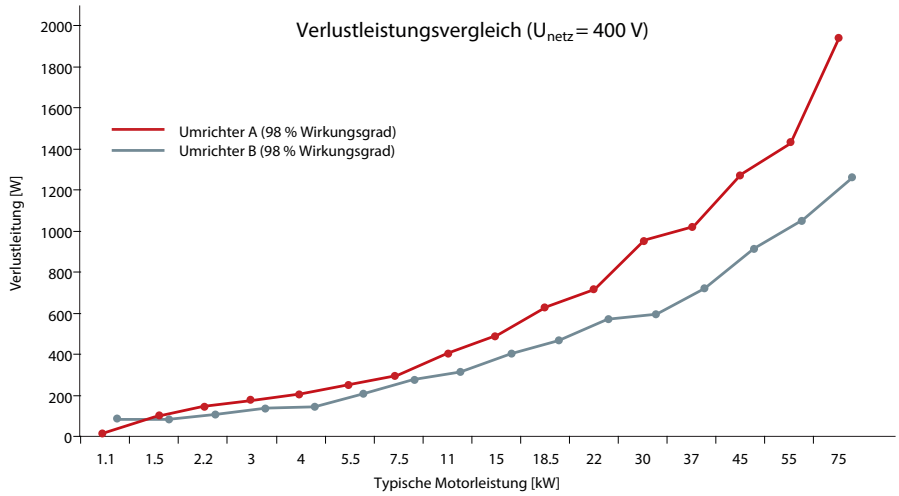
Um die Wirkungsgrade verschiedener Umrichter vergleichen zu können, muss dem Anwender bekannt sein, unter welchen Bedingungen sie der Hersteller ermittelt hat. Bei Umrichtern wird üblicherweise zwischen normaler Überlast (110 %) und hoher Überlast (160 %) unterschieden. Außerdem geht der Nennstrom des Geräts in die Betrachtung mit ein, ebenso wie ein Betrieb im Teillastbereich sowie Messtoleranzen bei der Ermittlung der Wirkungsgrade.

Wesentlich greifbarer sind die Angaben zur Verlustleistung eines Geräts. Natürlich sind auch hier die Betriebsart und der Nennstrom des Geräts wichtig. Da aber Betreiber und Anlagenbauer auf Basis der Verlustleistung auch den Klimatisierungsbedarf eines Schaltschranks ermitteln, können diese als vergleichsweise verlässlich gelten.

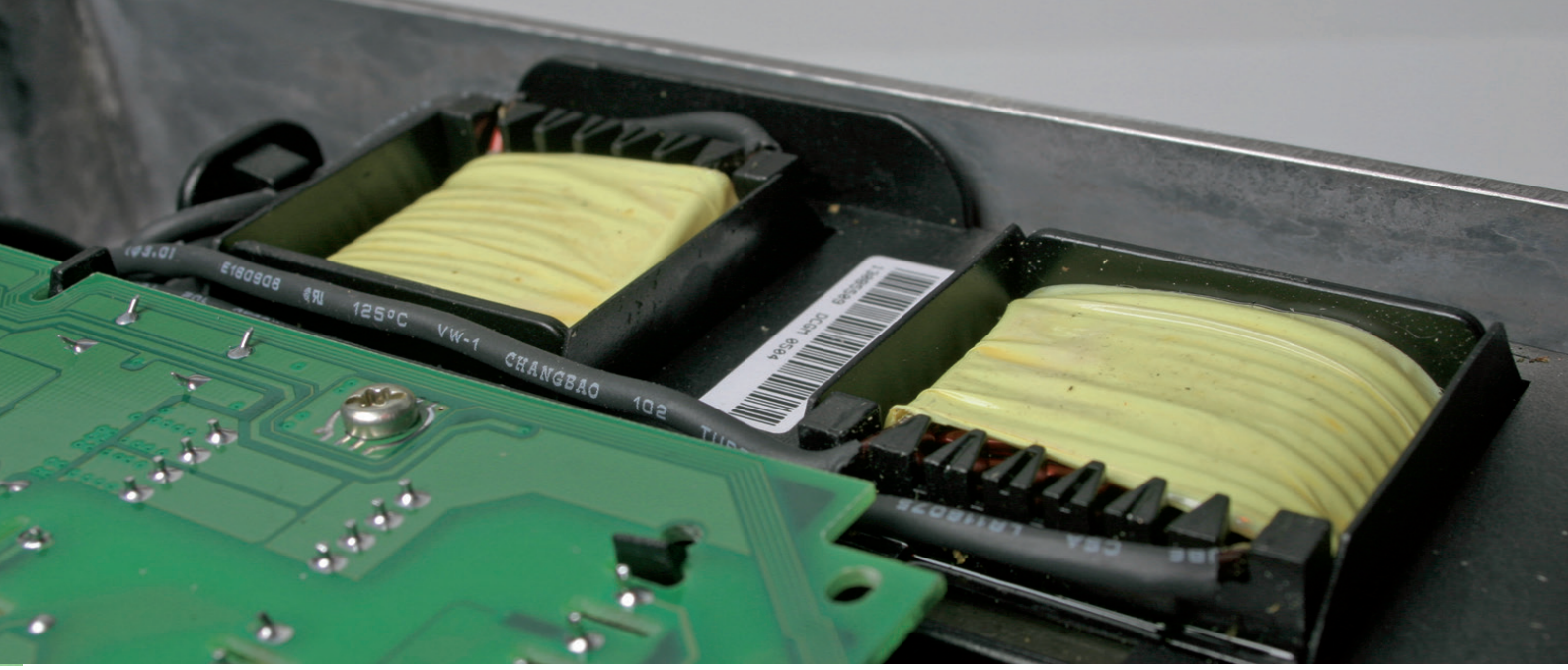
Das folgende Diagramm zeigt den Vergleich der Verlustleistung zweier unterschiedlicher Umrichter. Die Wirkungsgradangaben für die meisten Leistungsgrößen sind dabei identisch.

Was bedeutet dies nun über die gesamte Lebensdauer des Geräts? Geht man von einer Lebensdauer von 60.000 Stunden und einem motorischen Betrieb von 90 % aus, ergibt sich bei den im Diagramm verwendeten 75 kW-Umrichtern eine Gesamtverlustleistung von 124.740 kWh bzw. von 66.528 kWh.

Obwohl beide Geräte den gleichen Wirkungsgrad angeben, hat das eine einen Mehrverbrauch von ca. 58.000 kWh! Dieser Unterschied verringert sich im Teillastbereich. Die Tendenz ist jedoch eindeutig.



Der direkte Vergleich von Frequenzumrichterfabrikaten ist aufgrund unterschiedlicher Rahmendaten wie Nennströmen und Überlastfähigkeit sehr schwierig. Die Verlustleistung bietet eine bessere Vergleichsmöglichkeit.



Ziehen Sie Filtermaßnahmen für Schutz und Wirtschaftlichkeit in Betracht

Aufgrund ihres Funktionsprinzips erzeugen Frequenzumrichter elektromagnetische Störungen. Zur Begrenzung der Störungen sind für jeden Frequenzumrichter EMV-Filter vorgesehen. Die Filter können bereits im Gerät integriert sein oder extern vor die Geräte geschaltet werden. Auch eine Kombination von internen und externen Filtern ist möglich.

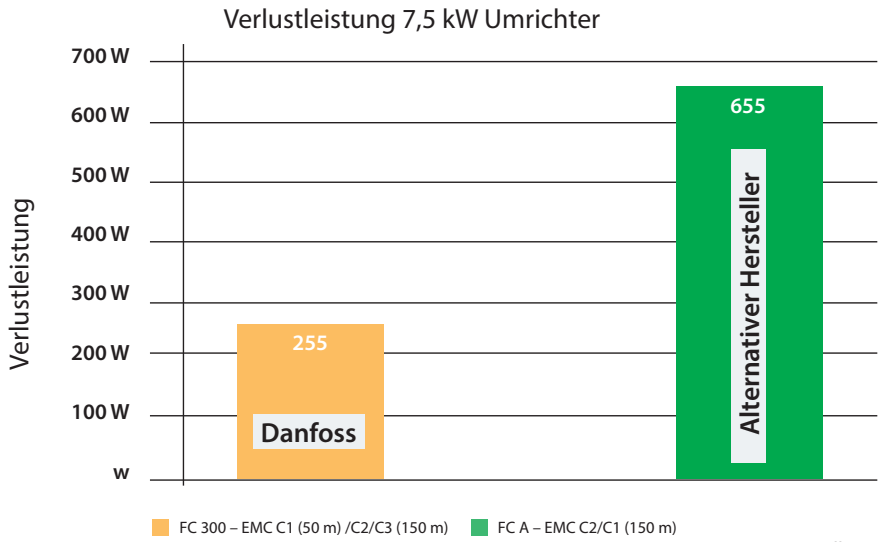
Einfluss der Filter
Ein weiterer Aspekt sind Sinus-, dU/dt- oder Common Modefilter auf der Motorseite. Frequenzumrichter arbeiten für die Erzeugung der Ausgangsspannung der entsprechenden Frequenz mit einer hohen Taktfrequenz.

Dies hat zur Folge, dass die Ausgangsspannung erst einmal nicht mehr sinusförmig ist. Abhängig von der Motorkabellänge und der Motorisolation kann diese Spannung die Isolation schädigen. Problematisch ist dies vor allem bei älteren Motoren. Motorseitige Filter begrenzen die Spannungsanstiegsgeschwindigkeit an der Motorisolation und die Amplitude der Spannungsspitzen, was die Wicklungen vor Überschlägen schützt.

Der Nachteil externer Filter ist der Bedarf an zusätzlichem Installationsplatz. Zudem erzeugen alle externen Filter immer zusätzliche Verluste. Dieses gilt für EMV-Filter genauso wie für motorseitige dU/dt- oder Sinusfilter. Diese zusätzlichen Verluste müssen auch für die Klimatisierung des Schaltschranks berücksichtigt werden, was sich auch auf den Gesamtwirkungsgrad, einschließlich der Klimatisierung des Schaltraums, auswirkt. Bei Umrichtern mit integrierten Filtern sind deren Verluste üblicherweise in der angegebenen Verlustleistung bereits enthalten. Daher ist für einen Vergleich der Wirkungsgrade zweier Frequenzumrichter zu beachten, ob beide die Filter bereits eingebaut haben und ob sie hinsichtlich der EMV-Filter, der Auslegung der Oberschwingungsfilter und der Auslegung der Wechsel-/Gleichstromspulen die gleichen Normen erfüllen. Wenn nicht, so führt dies beim Umrichter ohne Filter zu einer Verschlechterung des Gesamtwirkungsgrads aus Filter und Umrichter, höheren Verlusten und höheren Energiekosten.

Einsparungen auf Kosten keiner oder schlechterer EMV-Filter sowie der Verzicht auf erforderliche Motorfilter können hohe Kosten für Nachrüstung, zusätzliche Verlustleistung und Klimatisierungsbedarf nach sich ziehen.

Vergleich der Verlustleistung zwischen einem integrierten EMV-Filter und einem externen EMV-Filter



Externe Filter erzeugen zusätzliche Verlustleistung. Deshalb sollte bei der Projektierung von Frequenzumrichtern darauf geachtet werden, dass alle notwendigen Filter bereits im Gerät integriert sind.

Grundlagen

Variable Drehzahlregelung: großes Potenzial und schnell umgesetzt

Durch die Drehzahlregelung von Lastmaschinen ergeben sich oft energetische Vorteile, die die Stromrechnung direkt besser aussehen lassen. Zu den Vorteilen beim Einsatz einer Drehzahlregelung gehören:

Energieeinsparungen
Abhängig vom Drehmomentverhalten der Last ergeben sich unterschiedlich hohe Einsparpotenziale. Bei konstantem Drehmomentverlauf ist die Einsparung maximal proportional zur Reduzierung des Moments und der Drehzahl an der Welle, bei quadratischem Drehmomentverlauf steigen Einsparungen mit der dritten Potenz der Drehzahlreduzierung.

Anpassung des Leistungsfaktors (cos φ)
Viele Frequenzumrichter korrigieren den cos φ auf nahezu 1 und reduzieren so die induktive Blindleistungsaufnahme. Damit sinken auch die Verluste auf der Kabelzuleitung.

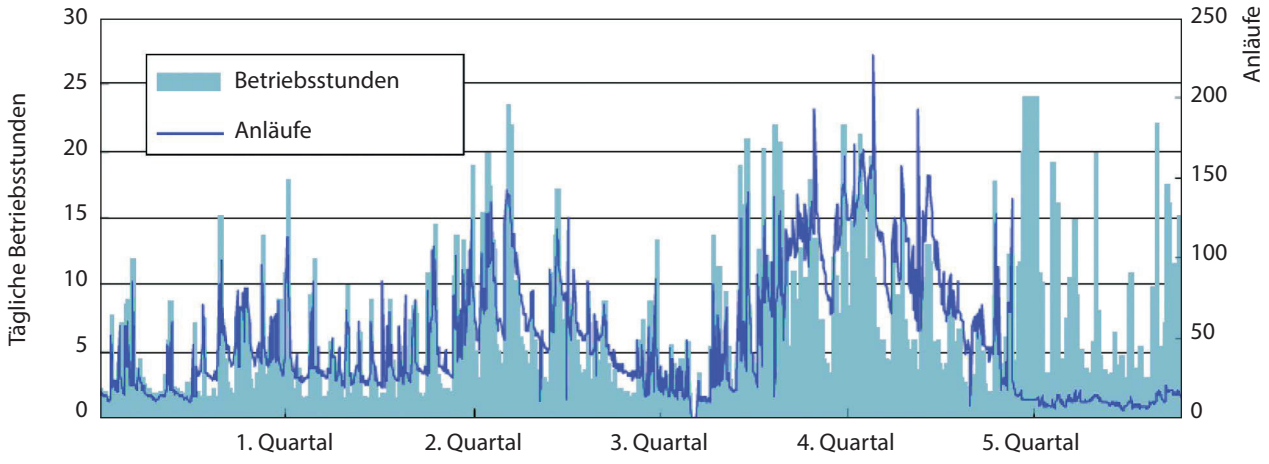
Optimierter Betrieb im Teillastbereich
Wirkungsgrade für Drehstrommotoren werden üblicherweise nur für den Nennpunkt angegeben. Arbeitet ein Motor direkt am Netz im Teillastbereich, verschlechtert sich sein Wirkungsgrad aufgrund konstanter mechanischer und elektromagnetischer Verluste erheblich. Der Frequenzumrichterbetrieb sorgt – abhängig von der Qualität des Regelverfahrens – stets für eine optimale Magnetisierung des Motors. Der Wirkungsgrad geht im Teillastbereich deshalb weniger stark zurück. Spürbare Verbesserungen sind üblicherweise bei Motoren ab 11 kW festzustellen.

Automatische Energieoptimierung
Bei Anwendungen, bei denen keine schnellen Lastwechsel auftreten, kann der Betreiber die Automatische Energieoptimierung (AEO) verwenden. Der Umrichter fährt dann die Motormagnetisierung auf ein Minimum herunter. Das spart Energie. Bewährt haben sich die Funktionen bei allen langsamen Regelungen, wie sie bei Pumpen und Lüftern üblich sind.

Reduzierung von Startvorgängen
Eine Drehzahlregelung kann in vielen Anwendungen die Anzahl der Starts reduzieren. Jeder ungeregelte Start eines Elektromotors benötigt zusätzliche Energie für den Anlauf des Motors und erneutes Beschleunigen der Lasten. Bei Pumpen beträgt normalerweise der Energieverbrauch für Starts 5–10 % des gesamten Energieverbrauchs, aber es gibt Beispiele dafür, dass bis zu 40 % der Energie für Starts notwendig sind. Zudem reduzieren sich Stromspitzen und mechanische Belastungen durch Stöße beim Anlauf.

Weitere Vorteile ergeben sich durch eine Drehzahlregelung aufgrund der Verminderung mechanischer Belastung von Anlage und Anlagenteilen sowie durch die integrierten Softwarefunktionen, die moderne Frequenzumrichter bereitstellen.

Praxisbeispiel: Mit Einführung von Frequenzumrichtern im 4. Quartal hat sich die Anzahl der Starts und somit die mechanische Belastung des Systems im 5. Quartal erheblich reduziert.



Kostensenkung über den gesamten Lebenszyklus

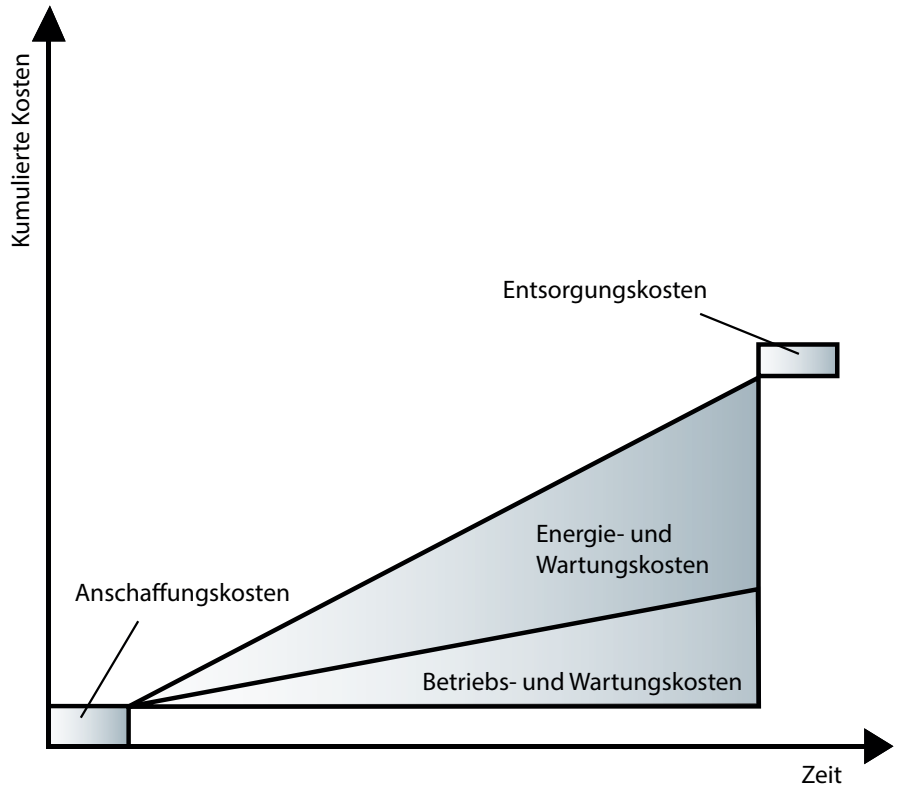
Frequenzumrichter sind inzwischen Stand der Technik und finden immer weitere Verbreitung. Hinweis: Zur Vermeidung unwirtschaftlicher und kontraproduktiver Maßnahmen ist es notwendig, sowohl technische als auch kommerzielle und logistische Aspekte vor einer Investitionsentscheidung zu prüfen. Nach neuesten Untersuchungen machen die Anschaffungskosten in der Betrachtung der gesamten Lebenszykluskosten nur etwa 10 % aus. 90 % der verursachten Kosten gehen zu Lasten der Betriebskosten, beispielsweise Aufwendungen für Energie, Wartung und Service. Daneben schlagen die Anschaffungskosten für Klimatisierung und Netzfilter nicht unerheblich zu Buche.

Bekannte Verfahren zu einer Gesamtbetrachtung aller Kosten sind die LCC (Life Cycle Costs = Kosten innerhalb des Lebenszyklus) bzw. die TCO (Total Cost of Ownership = Gesamtkosten über den Nutzungszeitraum). Sie berücksichtigen nicht nur die Anschaffungskosten, sondern auch Energie-, Reparatur- und Wartungskosten. So kann sich ein in der Anschaffung teureres Gerät über die gesamte Lebensdauer betrachtet als günstiger erweisen als ein preiswerteres Gerät.

In eine solche Betrachtung kann beispielsweise auch die Verfügbarkeit eines Produkts mit eingehen. Fällt ein eingesetztes Gerät aus, entstehen Kosten z. B. durch Produktionsausfall. Um diesem Fall vorzubeugen, benötigt der Betreiber ein Lager mit einem oder mehreren Ersatzgeräten. Die Größe des Lagers hängt unter anderem davon ab, wie schnell der Hersteller des Produkts im Bedarfsfall neue Geräte liefern kann.

Schonender Anlagenbetrieb
Moderne Frequenzumrichter bieten darüber hinaus eine Vielzahl von Funktionen, die externe Komponenten und deren aufwendige Verkabelung einsparen. Gleichzeitig schont der prinzipbedingt enthaltene Sanftanlauf Motoren und Anlagenteile, erhöht so Standzeiten und senkt Wartungs- und Servicekosten.

Vorausschauende Wartung für geringere Kosten und höhere Verfügbarkeit
Umfangreiche Schutzfunktionen für Motor und Anlage zeigen jederzeit den aktuellen Status der Antriebe sowie des Systems an. Sie schützen die Komponenten, können die Wartungsintervalle durch frühzeitige Anzeige von Verschleiß verlängern und so die Anlagenverfügbarkeit erhöhen.



In der Regel beträgt der Anteil der Anschaffungskosten, betrachtet man die Lebenszykluskosten der Anlage, lediglich rund 10 %. Höhere Anschaffungskosten eines energiesparenden Geräts amortisieren sich oftmals innerhalb kürzester Zeit.

Teil 2: Projektierung

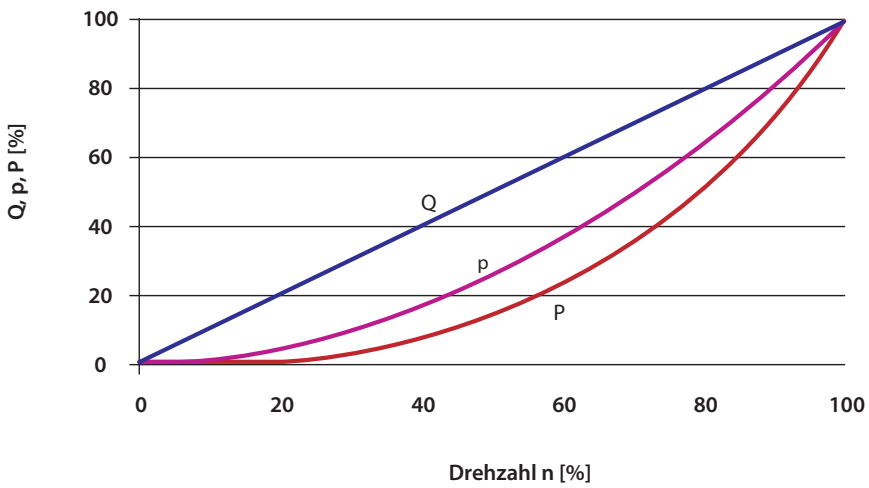
Verfügbares Einsparpotenzial realisieren

In den bisherigen Ausführungen der Planerfibel für die Chemiebranche standen vor allem die Grundlagen mit den möglichen Einsparungen in Anlagen der chemischen sowie pharmazeutischen Industrie im Mittelpunkt der Betrachtungen.
Sie enthielten mehr Informationen zu Lebenszykluskosten, Energieeinsparung sowie Wartungs- und Servicekosten. 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 Teil in vier Schritten durch die Planung. In den Unterpunkten

- Spannungsversorgung
- 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.
In Fällen, in denen tiefergehendes Wissen von Vorteil ist, erhalten Sie neben den Basisinformationen in dieser Fibel auch einen Hinweis auf weiterführende Literatur. Die systematische Beantwortung aller im folgenden aufgeführten Fragen und Aspekte schafft die optimale Voraussetzung für eine energieeffiziente und sichere Anlage.



Spannungsversorgung

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.

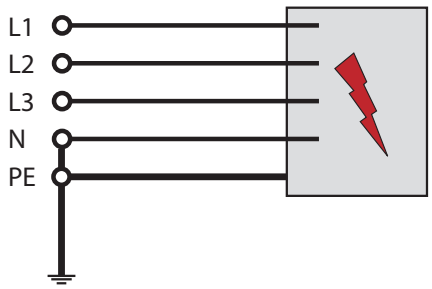
Das TN-C Netz bietet, bedingt durch den gemeinsamen Neutral- und Schutzleiter, keine guten EMV-Eigenschaften.

TT-Netze
Dieses System ist ein 4-Leiter-Netz mit einem geerdeten Neutralleiter – meist in der Nähe der speisenden Stromquelle – und Einzelerdung der Antriebe. Dieses System bietet gute EMV-Eigenschaften, wenn die Erdungen sauber ausgeführt sind.

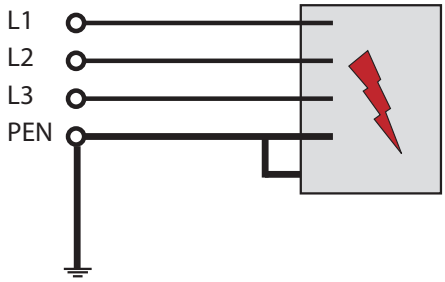
IT-Netze
Dieses System ist ein isoliertes 4-LeiterNetz, bei dem der Neutralleiter entweder ungeerdet oder über eine hohe Impedanz geerdet ist.

Hinweis: In IT-Systemen müssen EMV-Filter abgeschaltet werden.

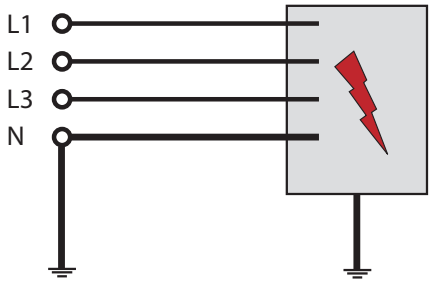
TN-S-System Neutralleiter und Schutzleiter getrennt



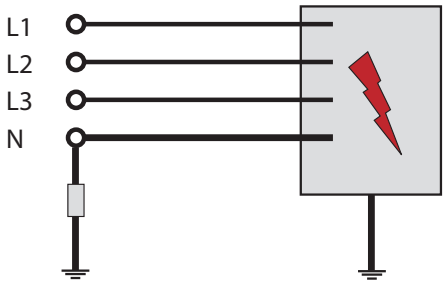
TN-C-System In der gesamten Anlage sind Neutralleiter und Schutzleiter zu einem Leiter zusammengefasst



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

Industrielle DC-Notstromversorgungstechnologie

Maximale Verfügbarkeit ist ein Schlüsselfaktor für komplexe industrielle Produktionslinien. Dies macht sie anfällig für unerwartete Netzinstabilitäten. Wenn das Stromnetz unzuverlässig ist, kann Danfoss hier mithilfe der DC-Notstromversorgungstechnologie eine stabile Stromversorgung für den Prozess gewährleisten. Industrielle DC-Notstromversorgungslösungen von Danfoss gewährleisten kontinuierlichen Betrieb oder ein geregeltes Herunterfahren, wo dies für bestimmte Anwendungen erforderlich ist. Darüber hinaus sorgen sie für

- Gleichbleibende DC-Zwischenkreisspannung wird aufrecht erhalten, um Über- und Unterspannung zu vermeiden
- Nutzung des Energiespeichers als redundante Stromquelle
- Generatoren laufen mit voller Leistung, nicht bei Teillast
- Reduzierte Generatorgröße
- Batteriestrom für höchste Spitzenleistungsansprüche

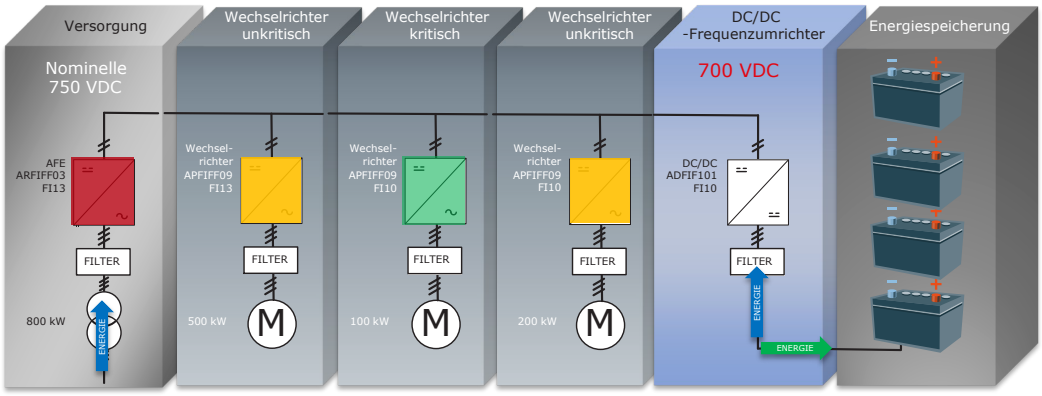
Anwendungsfälle für industrielle DC-Notstromversorgung sind u. a.

Abfangen von Lastspitzen
Die Stromversorgung zwischen speisendem Versorgungsnetz und dem Energiespeichermedium so zu optimieren, dass Bedarfsspitzen keine Probleme verursachen. Die überschüssige Energie lässt sich zu Zeiten geringen Bedarfs und niedriger Kosten speichern.

Zeitversetzte Abgabe
Energie in Zeiten, in denen die Kosten für Energie aus dem Netz niedrig sind, speichern, um diese Energie dann dem Speichermedium zu entnehmen, wenn die Kosten für Energie aus dem Netz hoch sind.

Notstromversorgung
Energiespeicherung kann dazu dienen, in Ausfallzeiten eine Notversorgung bereitzustellen, um den Betrieb über eine gewisse Zeit aufrecht erhalten zu können.

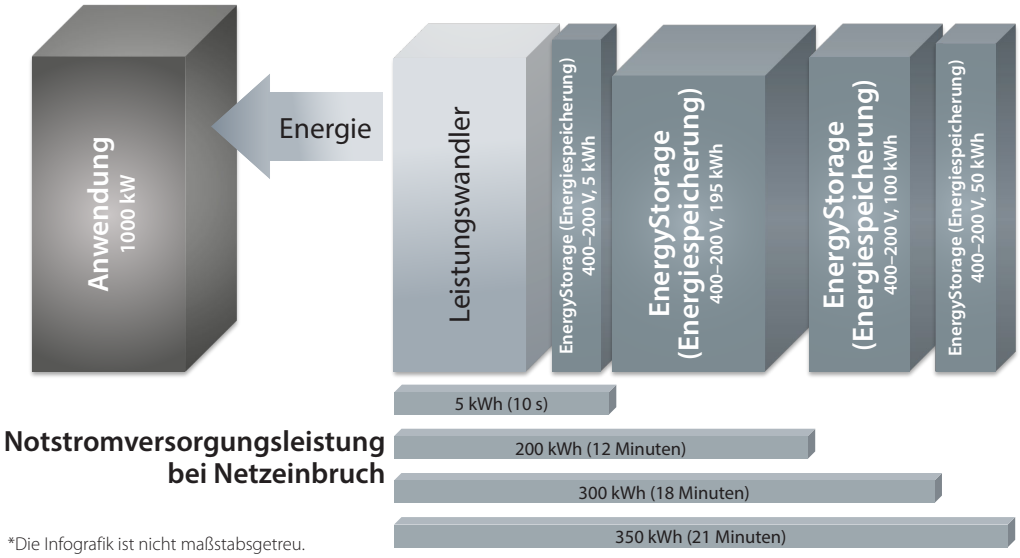
Industrielle DC-Notstromversorgung mit VACON® NXP DC/DC-Frequenzumrichter



Integrierte Zwischenkreis-Notstromversorgung

- Leistung für minimalem Bedarf (kritische Lasten)
- Kein externes Steuerungssystem erforderlich
- Kann Notstromversorgung bereitstellen für:
  - DC-Systeme
  - Einzelumrichter

Grundprinzip

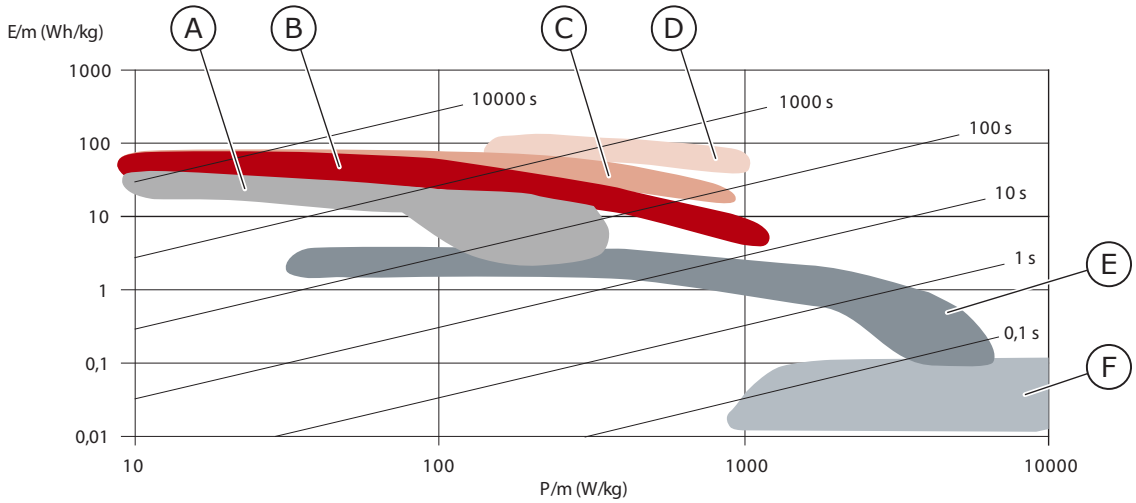


*Die Infografik ist nicht maßstabsgetreu.

Für jede Technologie einen eigenen Frequenzumrichter verwenden

- Batterietechnologien A–F
- Super Caps
- Ultra Caps
- Kinetische Energiespeicherung (?)

Arten der Energieeinspeicherung kombinieren



A – Pb-Batterien

B – NiCd-Batterien

C – NiMH-Batterien

D – Li-Ionen-Batterien

E – Doppellagige Batterien

F – Elektrolytkondensatoren

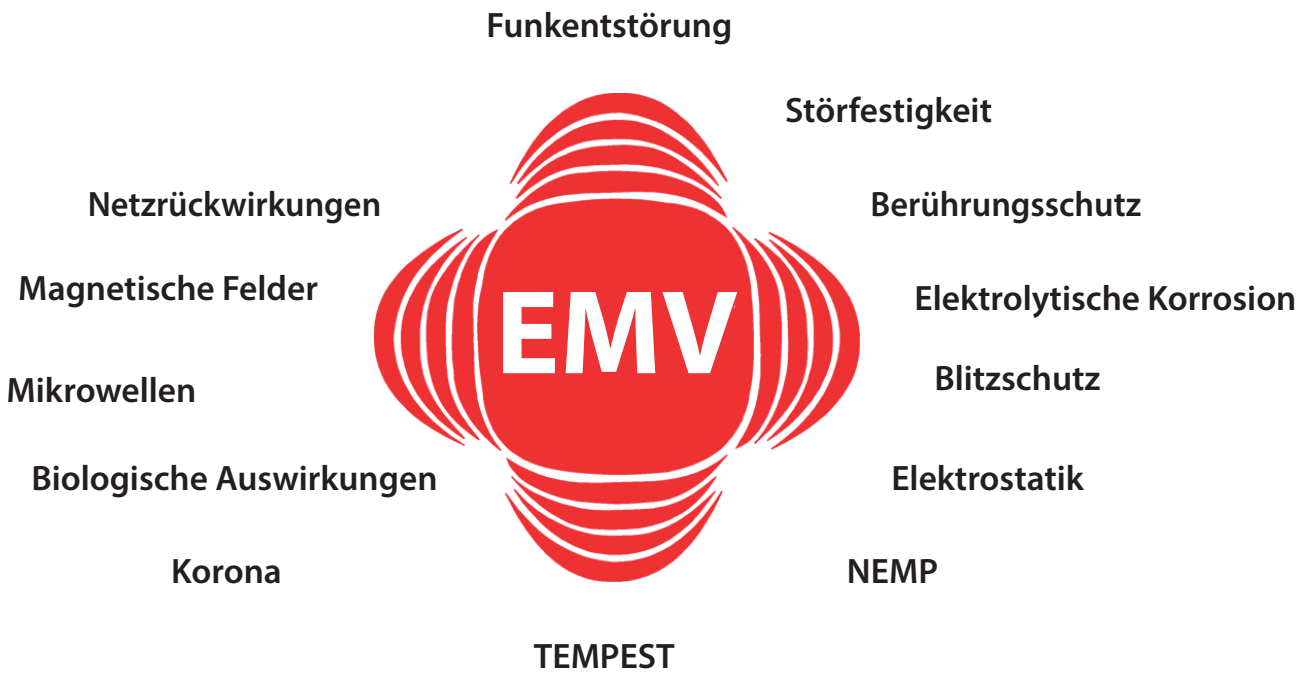
Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)

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
Mit der Norm EN 61800-3 für die Anwendung drehzahlvariabler Antriebe ist die Verantwortung für die Einhaltung auf den Endanwender oder Betreiber der Anlage übergegangen. Hersteller müssen nur Lösungen für den normgerechten Einsatz anbieten. Die Beseitigung eventuell auftretender Störungen – sprich: der Einsatz dieser Lösungen – obliegt dem Betreiber. Ebenso die daraus entstehenden Kosten.

Zwei Ansätze zur Reduzierung von Störungen
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 dabei vor allem Netzrückwirkungen, Funkstörungen (RFI) sowie Ströungsimmunität gemeint.

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

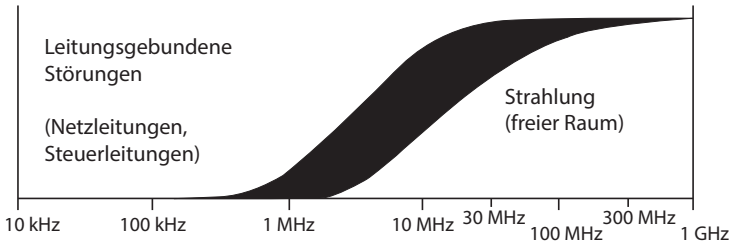
Kopplungsmechanismen zwischen Stromkreisen
Doch wie erfolgt die Übertragung der Störenergie? Als elektromagnetische Aussendung kann die Übertragung grundsätzlich über Leitungen, elektrische Felder oder elektromagnetische Wellen erfolgen. Fachleute sprechen von galvanischer, kapazitiver und/oder induktiver 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 leitende Verbindung miteinander verbunden sind (Beispiel: ein Potenzialausgleichskabel).
- Eine kapazitive Kopplung entsteht durch unterschiedliche Spannungspotenziale zwischen Stromkreisen.
- Eine induktive Kopplung tritt zwischen zwei stromführenden 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 als leitungsgebundene Kopplung zur Strahlungskopplung liegt nach der Norm bei 30 MHz. Dies entspricht einer Wellenlänge von 10 Metern.

Unterhalb dieser Frequenz breiten sich die elektromagnetischen Störgrößen vorwiegend über Leitungen oder an elektrische beziehungsweise magnetische Felder gekoppelt aus. Jenseits der 30 MHz wirken Leitungen und Kabel als Antennen und strahlen elektromagnetische Wellen ab.

Ausbreitungswege von Störgrößen



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

Überblick über die Kopplungswege elektromagnetischer Störgrößen und typische Beispiele

EMV im Zusammenhang mit Frequenzumrichtern

Niederfrequente Einflüsse (leitungsgebunden) → Netzrückwirkungen/Oberschwingungen

Hochfrequente Einflüsse (strahlungsgebunden) → Funkstörungen (Emission elektromagnetischer Felder)

Hochfrequente Funkfrequenzstörungen

Funkstörungen

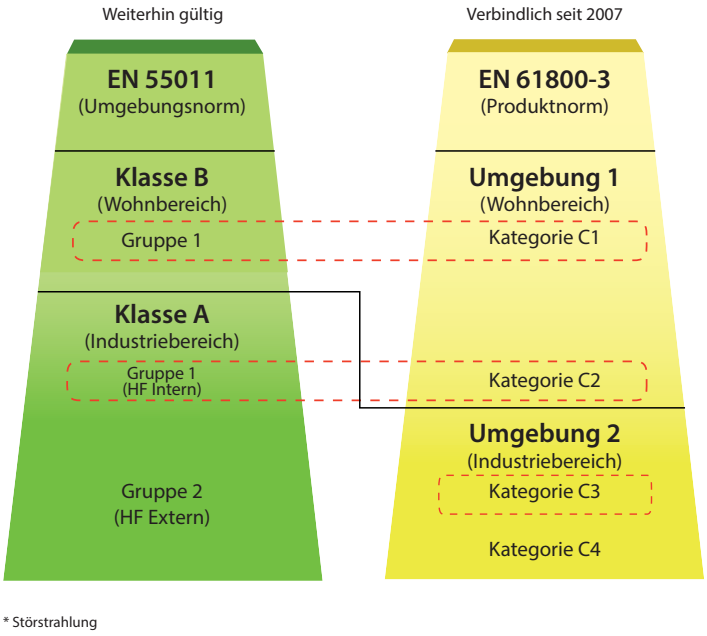
Frequenzumrichter erzeugen variable Drehfeldfrequenzen bei entsprechenden Motorspannungen durch rechteckige Spannungspulse mit verschiedener Breite. In den steilen Spannungsflanken sind hochfrequente Anteile enthalten. Motorkabel und Frequenzumrichter strahlen sie ab und leiten sie auch über das Netzkabel ins Netz ein. Zur Reduzierung derartiger Störgrößen an der Netzeinspeisung nutzen die Hersteller Funkentstörfilter (auch als RFI-Filter, Netzfilter oder EMV-Filter bezeichnet). Sie dienen einerseits dem Schutz der Geräte vor hochfrequenten leitungsgebundenen Störgrößen (Störfestigkeit), andererseits der Reduzierung der hochfrequenten Störgrößen eines Geräts, 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 Produktnorm EN 61800-3 und Fachgrundnorm EN 55011 sind konkrete Grenzwerte für Störpegel definiert.

Normen und Richtlinien definieren Grenzwerte
Für eine umfassende Beurteilung hochfrequenter Funkstörungen sind zwei Normen zu beachten. Die Fachgrundnorm EN 55011 legt die Grenzwerte in Abhängigkeit von dem zugrundeliegenden Industrie- oder Wohnbereich fest. Die Norm EN 61800-3 für elektrische Antriebssysteme legt die Klassen für Anwendungsbereiche von Geräten fest.

Diese sind zwar bezüglich der Grenzwerte mit den bisherigen Klassen vergleichbar, lassen jedoch innerhalb der Produktnorm eine erweiterte Anwendung zu.

Hinweis:
EN 55011 und EN 61800-3: Sind vom Hersteller des Umrichters einzuhalten.

Gegenüberstellung der Grenzwerte*



**Vergleich der Produktnorm EN 61800-3 und der Umgebungsnorm EN 55011.*

Der Einsatzort entscheidet – erste und zweite Umgebung

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:

Erste 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 von Gebäuden.
Zu den Beispielen zählen Geschäftsräume, Wohngebäude/ Wohngebiete, Gastronomie- und Unterhaltungsbetriebe, Parkplätze, Vergnügungsparks und Sportanlagen.

Zweite Umgebung/Klasse A:

Industriebereich

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:

- Anwesenheit wissenschaftlicher, medizinischer oder industrieller Geräte.
- Schalten großer induktiver und kapazitiver Lasten.
- Auftreten starker Magnetfelder (z. B. wegen hoher Ströme).

Die Umgebungsbereiche gelten sowohl innerhalb als auch außerhalb der Gebäude.

Spezialbereiche

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

Verantwortung

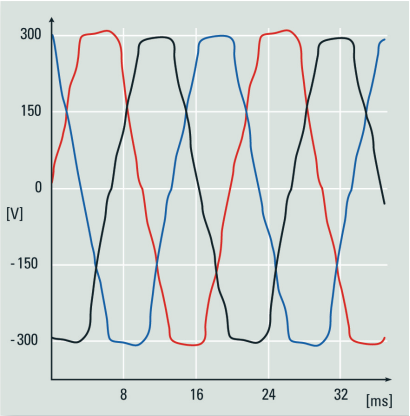
Im Störfall führen Fachleute die Fehlersuche und -behebung entsprechend der Einsatzumgebung durch. Die Kosten für die Beseitigung der EMV-Störungen trägt der Betreiber. Für die passende Zuordnung der Klassen in diesen beiden Normen ist letztendlich der Anwender selbst verantwortlich.

Netzqualität

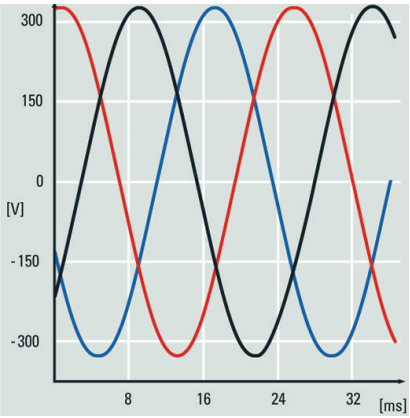
Niederfrequente Netzrückwirkungen

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 an Verbrauchern wie PCs, Fernsehgeräten, Schaltnetzteilen, Energiesparlampen oder auch Frequenzumrichtern, die einen nichtsinusförmigen Laststrom aus dem Netz aufnehmen. Die Netzspannungsqualität wird durch den europäischen Energieverbund, höhere Auslastung der Netze und geringere Investitionen auch zukünftig weiter abnehmen. Abweichungen von der idealen Sinusform sind also unvermeidlich und in gewissen Grenzen zulässig. Für den Planer und den Betreiber besteht die Verpflichtung, diese Netzbelastung gering zu halten. Doch wo liegen diese Grenzen und wer legt sie fest?

Gesetzliche Grundlage sichert Qualität
In der Diskussion um eine saubere und qualitativ gute Netzspannung helfen Normen, Richtlinien und Vorschriften. Grundlage für eine objektive Bewertung der Netzspannungsqualität ist das Gesetz über die elektromagnetische Verträglichkeit von Geräten (EMVG). Die Europäischen Normen EN 61000-2-2, EN 61000-2-4 und EN 50160 beschreiben die einzuhaltenden Grenzwerte der Netzspannung in öffentlichen und in Industrienetzen. Die Normen EN 61000-3-2 und EN 61000-3-12 sowie andere Normen wie IEEE 519 definieren Spezifikationen bezüglich der Netzrückwirkungen angeschlossener Geräte. Grundsätzlich gilt die Annahme, dass bei Einhaltung dieser Pegel alle Geräte und Systeme in elektrischen Versorgungsnetzen ihre bestimmungsgemäße Funktion störungsfrei erfüllen.



Messungen zeigen eine deutliche Verzerrung der Netzspannung durch die Rückwirkungen nicht-linearer Verbraucher.



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

Ursachen für die Entstehung von Netzrückwirkungen
Diese Verzerrung der Sinuskurvenform des Versorgungsnetzes als Folge pulsierender Stromaufnahme angeschlossener Verbraucher nennen Fachleute niederfrequente Oberschwingungen/Netzrückwirkungen oder auch einfach Harmonische. Abgeleitet von der Fourieranalyse sprechen sie auch von der Oberschwingungsverzerrung des Netzes, welche bis zu 2,5 kHz betragen kann, entsprechend der 50. harmonischen Oberschwingung.

Die Eingangsgleichrichter von Frequenzumrichtern erzeugen solch eine typische Oberschwingungsbelastung des Netzes. Bei Frequenzumrichtern in 50-Hz-Netzen handelt es sich in erster Linie um die fünfte (250 Hz) oder siebte (350 Hz) Harmonische. Die Auswirkungen sind hier am stärksten.

Auswirkungen von Netzrückwirkungen

Netzrückwirkungen wie harmonische Oberschwingungen und Spannungsschwankungen 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 Netzrückwirkungen zu berücksichtigen.
Die Auswirkungen eines erhöhten Oberschwingungspegels sind:

Unterspannungswarnungen

- Aufgrund der Verzerrung der Netzsinuswelle 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 und 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(TRMS) und Messsysteme Oberschwingungsanteile berücksichtigen.

Gibt es netzrückwirkungsfreie Frequenzumrichter?
Jeder Frequenzumrichter erzeugt Netzrückwirkungen.

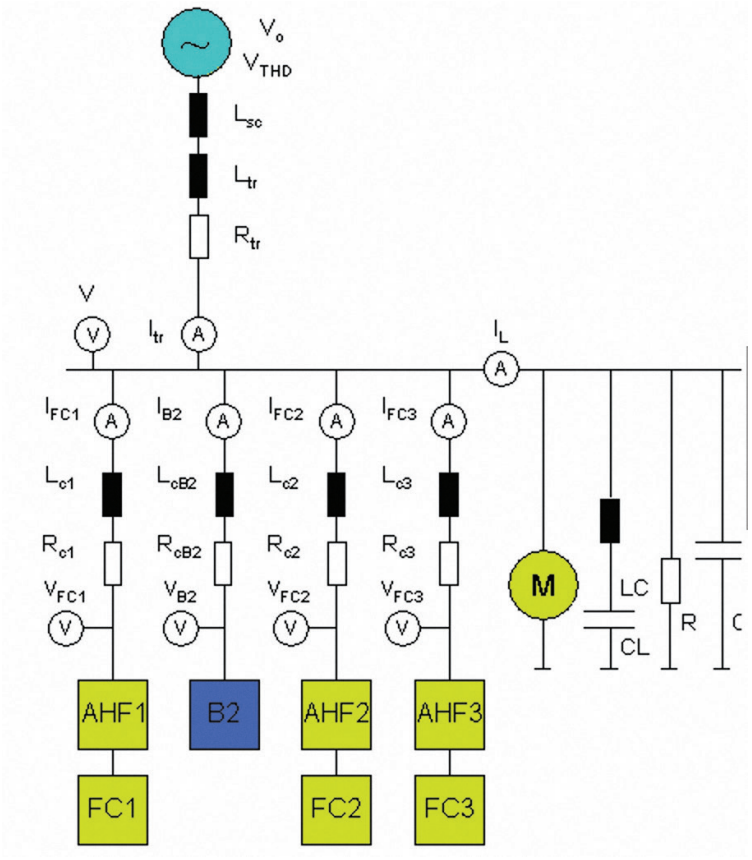
Allerdings betrachtet die aktuelle Norm nur den Frequenzbereich bis 2 kHz. Daher verschieben einige Hersteller die Netzrückwirkung in den von der Norm nicht definierten Bereich oberhalb von 2 kHz (siehe auch Abschnitt ***Schlanker Zwischenkreis***) und bewerben diese als netzrückwirkungsfreie Geräte. 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.*

Netzrückwirkungen 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. HCS (Harmonic Calculation Software) oderMyDrive® Harmonics 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.

Hinweis: Danfoss verfügt über eine 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.



Beispiel für ein System, das in der Danfoss-Software zur Oberschwingungsreduzierung dargestellt ist und hochwirksame Oberschwingungsfilter (AHF) zeigt, die zur Reduzierung von Oberschwingungen an den drei Frequenzumrichtern (FC) eingesetzt sind

Reduzierung von Netzrückwirkungen

Möglichkeiten zur Reduzierung der Netzrückwirkungen

Generell lassen sich Netzrückwirkungen 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
- 12-, 18- oder 24-pulsige Gleichrichter
- Passive Filter
- Aktive Filter
- Active Front End
- Low-harmonic Drives

Drosseln am Eingang oder im DC-Zwischenkreis

Bereits einfache Drosseln reduzieren wirkungsvoll Oberschwingungen, die Gleichrichterschaltungen als Netzrückwirkungen 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 DC-Zwischenkreis, nach dem Gleichrichter, schalten. Da die Induktivität an jeder Stelle die gleiche Wirkung hervorruft, ist die Bedämpfung der Netzrückwirkungen vom Einbauort unabhängig. Beide Varianten bieten Vor- und Nachteile. Netzseitige Drosseln sind teurer, größer, benötigen zusätzlichen Bauraum und Verdrahtungsaufwand, verursachen einen Spannungsfall, der das verfügbare Drehmoment an der Motorwelle reduziert und weisen eine höhere Verlustleistung als DC-Spulen auf. Ihr Vorteil ist, dass sie auch den Gleichrichter im Frequenzumrichter vor Netztransienten schützen. DC-Spulen befinden sich im Zwischenkreis und sind im Frequenzumrichter untergebracht. Sie sind effektiver, aber meist nachträglich nicht nachzurüsten. Mit solchen Drosseln kann die Oberschwingungsverzerrung eines B6-Gleichrichters von einem unverdrosselten Wert THDi = 80 % auf einen Wert von ca. 40 % reduziert werden. In der Praxis haben sich bei Frequenzumrichtern Spulen mit einem Kurzschlussstrom von 4 % als effektiv bewährt. Eine weitere Reduzierung kann nur mit speziell angepassten Filtern erfolgen.

Hinweis: *Danfoss VLT®-Frequenzumrichter sind standardmäßig mit einer DC-Zwischenkreisdrossel ausgestattet, die Netzrückwirkungen auf einen Wert von THDi = 48 % 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 Aufwand und Platzbedarf für den speziellen Transformator sowie die höheren Investitionskosten für den Transformator und die Frequenzumrichter.

Passive Filter

Bei besonders hohen Anforderungen bzgl. Oberwellenfreiheit stehen optional passive Netzrückwirkfilter 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 die Oberschwingungsverzerrung THDi an der Netzeinspeisung auf Werte von 10 % oder auf 5 % ab. 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

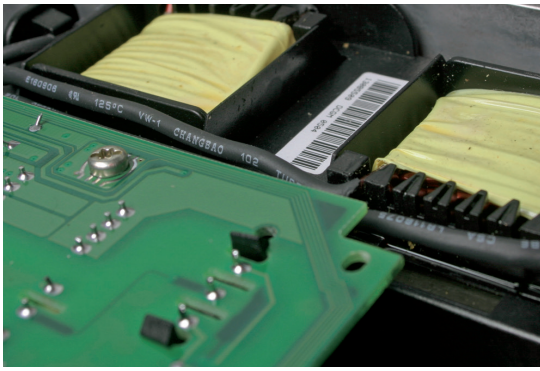
Diese Art von Filter bietet ein gutes Preis-/Leistungsverhältnis. Zu relativ geringen Kosten erhält der Betreiber eine Reduzierung der Oberschwingungen, wie sie mit 12- oder 18-pulsigen Gleichrichtern möglich ist, in der Regel eine Reduzierung des Oberschwingungsstroms auf einen THDi-Wert = 5 %. Zudem erzeugen passive Filter 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 aufgrund ihres Aufbaus weniger kompakt als aktive Filterlösungen. Filter dieser Kategorie arbeiten im Lastbereich von 80–100 % sehr effektiv. Mit abnehmender Last steigt jedoch die kapazitive Blindleistungsaufnahme und es empfiehlt sich, die Kondensatoren des Filters im Leerlaufbetrieb abzuschalten – Danfoss Frequenzumrichter bieten diese Möglichkeit. Hochentwickelte Oberschwingungsfilter von Danfoss sind platzsparend, wandmontierbar und mit Danfoss Frequenzumrichtern kompatibel.

Aktive Filter

Sind die Anforderungen bzgl. der Netzrückwirkungen noch höher, kommen aktive elektronische Filter zum Einsatz. Aktive Filter sind elektronische Saugkreise, die Betreiber parallel zu den Oberschwingungserzeugern anschließen. Sie analysieren den von nichtlinearen Verbrauchern erzeugten Oberschwingungsstrom und liefern einen gegenphasigen Kompensationsstrom. Dies neutralisiert die entsprechenden Oberschwingungsströme am Anschlusspunkt vollständig. Der Kompensationsgrad ist einstellbar. So lassen sich nach Wunsch Oberschwingungen fast vollständig kompensieren oder z. B. (aus wirtschaftlichen Gründen) nur so weit, dass die Anlage die gesetzlichen Grenzwerte einhält.



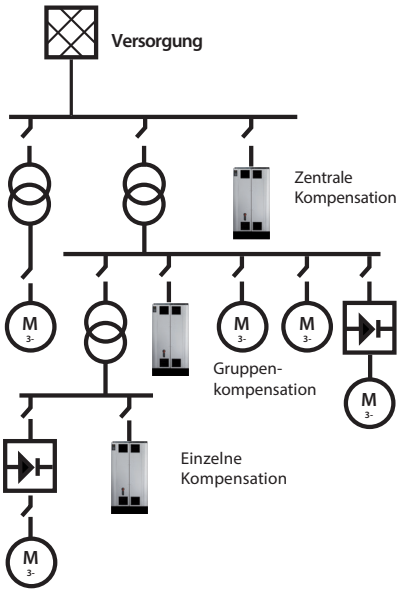
Eingebaute Drosseln, wie hier die DC-Drosseln, reduzieren Oberschwingungen wirkungsvoll.

Aktive Filter reduzieren Oberschwingungen

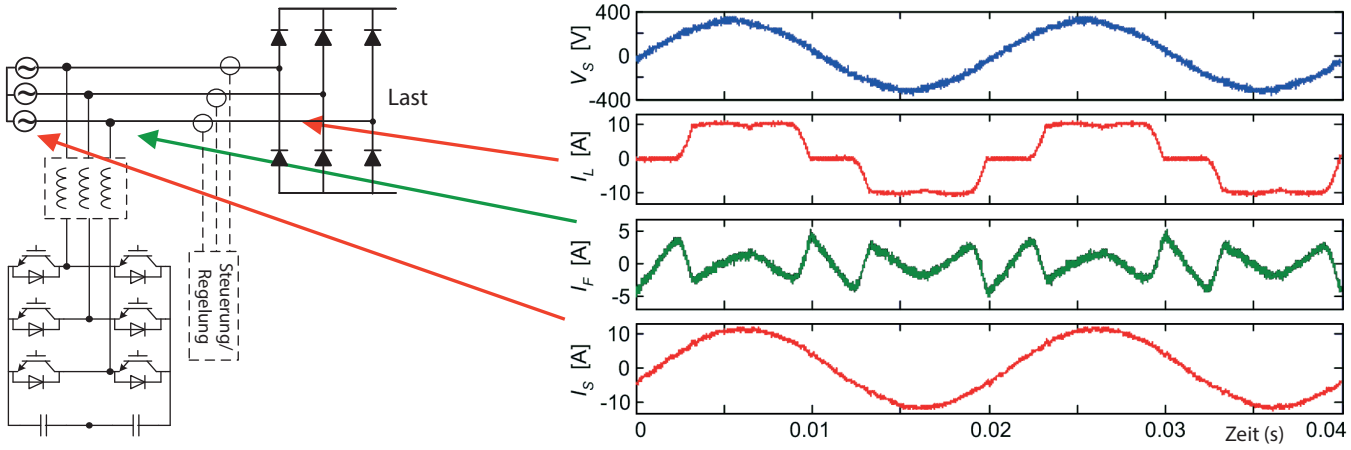
Dabei ist zu beachten, dass diese Filter mit einer Taktfrequenz arbeiten und die Netzspannung im Bereich von 4 bis 10 kHz belasten.

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 Oberschwingungsstrom sinkt auf einen THDi-Wert ≤2 %.

Nachteile aktiver Filter
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.



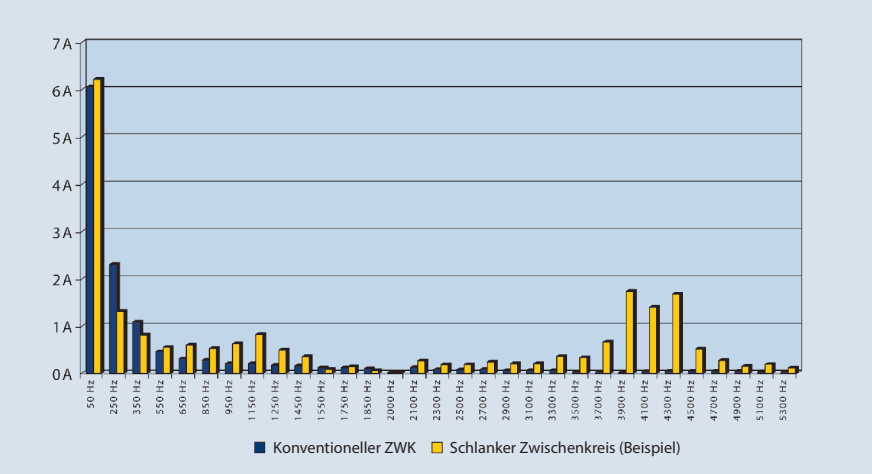
Funktionsprinzip eines aktiven Filters

Übersicht über die Technologien zur Oberschwingungsreduzierung

Nachteile eines schlanken DC-Zwischenkreises

In den letzten Jahren kamen verstärkt Frequenzumrichter mit einem sogenannten „schlanken Zwischenkreis" auf den Markt. Bei diesem Verfahren setzen die Hersteller die Kapazität der Zwischenkreiskondensatoren stark herab. Auch ohne Drossel begrenzt dieser die Oberschwingungen niedrigerer Ordnung auf Standardvorgaben. Allerdings werden im oberen Frequenzbereich Oberschwingungen erzeugt, die ansonsten nicht auftreten würden. Durch das breite Frequenzspektrum von Geräten mit schlanken DC-Zwischenkreisen steigt die Gefahr von Resonanzen mit anderen Bauteilen im Netz, beispielsweise mit 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 schlankem Zwischenkreis hier schneller als konventionelle Geräte mit einer Abschaltung.



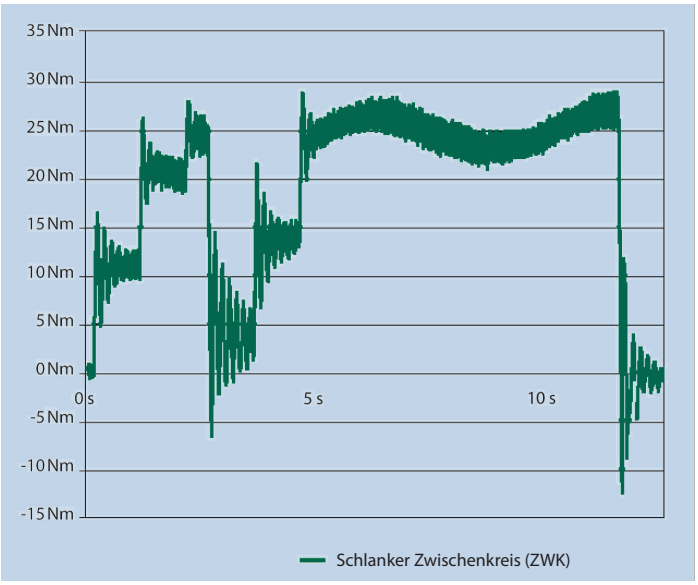
Bei Umrichtern mit schlankem Zwischenkreis treten insbesondere in den höheren Frequenzbereichen erhöhte Oberschwingungen auf.

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 Netzrückwirkungen durch die Stromaufnahme belasten Umrichter mit schlankem Zwischenkreis das Netz auch mit der Taktfrequenz des motorseitigen Wechselrichters. Aufgrund der fehlenden bzw. geringen Kapazitäten im Zwischenkreis ist diese auf der Netzseite deutlich sichtbar.

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, denn sie sind sehr effizient in der Bedämpfung niederfrequenter Netzrückwirkungen. Wie Frequenzumrichter mit schlanken DC-Zwischenkreisen erzeugen sie Netzoberschwingungen im oberen Frequenzbereich.
Ein Active-Front-End-Gerät ist die teuerste Methode zur Reduzierung von Netzoberschwingungen, da es über einen zusätzlichen, vollwertigen Frequenzumrichter verfügt, der in der Lage ist, Strom in das Versorgungsnetz zurückzuspeisen.
Ein Low Harmonic-Frequenzumrichter bietet diese Fähigkeit zur Rückspeisung nicht und ist daher etwas kostengünstiger.



Bei Geräten mit schlankem Zwischenkreis steigt die Neigung zum „Oszillieren" bei größeren Lastwechseln.

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

Nachteile von AFE/LHD
Die Geräte sind technisch aufwendig, was zu höheren Anschaffungskosten gegenüber einer passiven Lösung führt. Im Prinzip bestehen konventionelle AFE-Geräte aus 2 Frequenzumrichtern, wobei der eine zum Motor und der andere zum Netz hin arbeitet. Durch den zusätzlichen Schaltaufwand sinkt im motorischen Betrieb der Wirkungsgrad des Frequenzumrichters. Die Verlustleistung kann 40–50 % größer sein als bei Frequenzumrichtern mit ungesteuerten Gleichrichtern. Für den einwandfreien Betrieb benötigt ein 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 Geräts. 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 noch nicht ab. Stromoberschwingungsanalysatoren erfassen diesen Frequenzbereich in der Regel nicht, weshalb die Effekte in der Regel nicht messbar sind.

Sie lassen sich jedoch in allen an diesem Netz betriebenen Geräten erkennen, beispielsweise durch erhöhte Stromaufnahme in Netzteilen. Daher sollte der Anwender im Interesse der eigenen Betriebssicherheit seiner Anlage hier den Hersteller gezielt nach Emissionswerten und Gegenmaßnahmen fragen.

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

Die Geräte sind für verschiedene Leistungsgrößen und Spannungsbereiche sowie in verschiedenen Gehäusen nach IP- und NEMA-Klassifizierung erhältlich.

Active Front End und Matrix-Frequenzumrichter

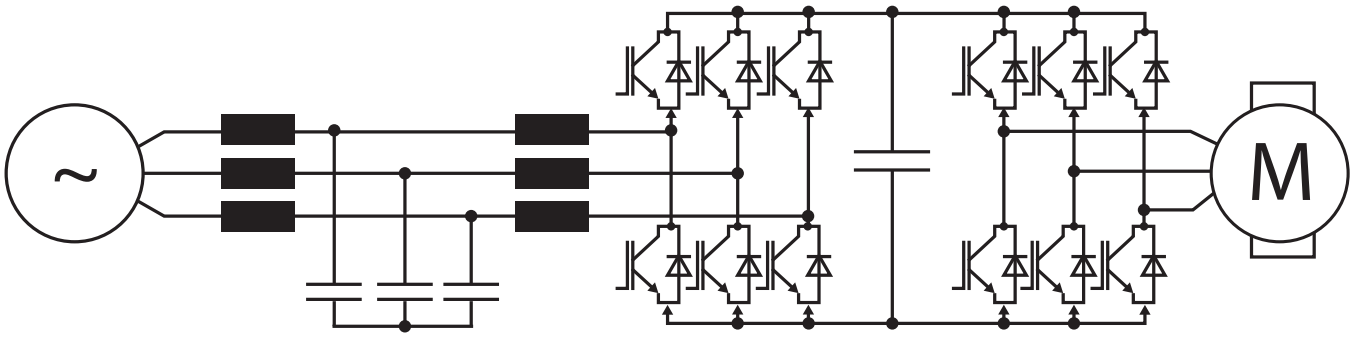
Ein Active Front End (AFE) wird verwendet, um die Leistung bidirektional zwischen Netzeingang und DC-Zwischenkreis zu übertragen. Ein AFE wird in der Regel in zyklischen Anwendungen wie Abscheidern, Dekantern und Zentrifugen eingesetzt, um Bremswiderstände und Verkabelung überflüssig zu machen. Dies wiederum reduziert den Kühl- und Platzbedarf. Da ein AFE-Frequenzumrichter eine aktive Einspeisung verwendet, sind die Gesamtverluste höher als bei einem Standard-Frequenzumrichter mit 6- oder 12-pulsigem Gleichrichter.

Allgemeine AFE-Funktionen

- Niedrige Netzstromoberschwingungen im Bereich der 3. bis 50. Oberschwingungen. Für Oberschwingungen höherer Ordnung können spezielle Hochfrequenzfilter erforderlich sein, um andere Anlagenteile zu schützen
- Direkte Wirk- und Blindstromsteuerung
- Automatische Netzsynchronisation
- Bidirektionaler Leistungsfluss
- Rückspeisung ins Netz steigert die Anlageneffektivität

Verschiedene Active Front End-Technologien
AFE-Frequenzumrichter mit DC-Bus-Kondensatoren:

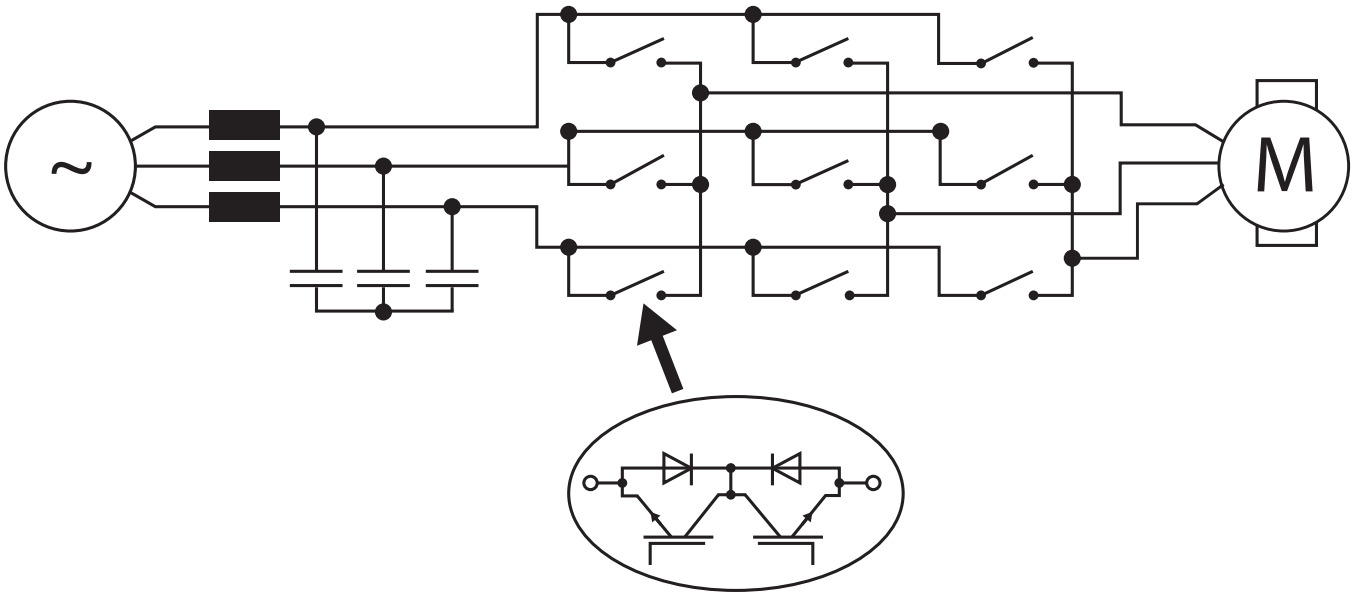
- Volle Ausgangsspannung mit der Möglichkeit, das Ausgangsspannungsniveau noch weiter zu erhöhen
- Vollständige Oberschwingungsreduzierung bis zu 50. Oberschwingungen
- Volle Kontrolle über den Leistungsfaktor
- Volle Überbrückung bei Spannungsausfall
- LCL-Filter am Netzeingang



Prinzip der Steuerung AFE-Umrichter mit DC-Bus-Kondensatoren, einschl. LCL-Filter

Matrix-Frequenzumrichter, AFE-Frequenzumrichter ohne DC-Bus-Kondensatoren:

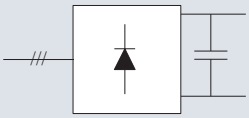
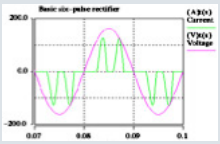
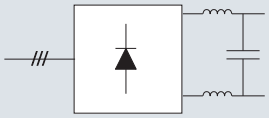
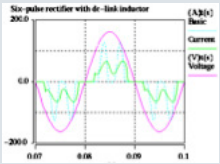
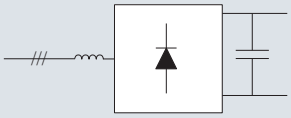
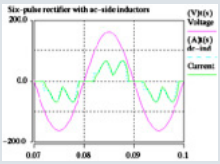
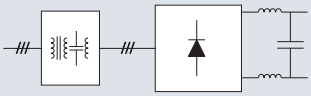
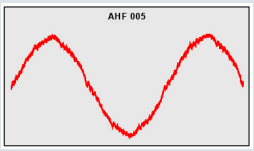
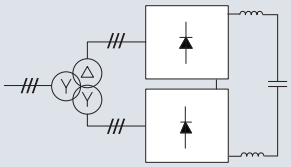
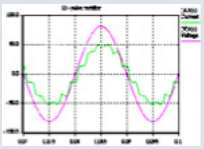
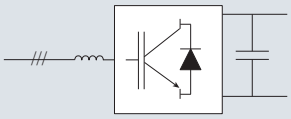
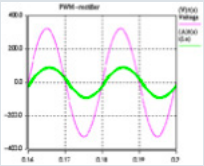
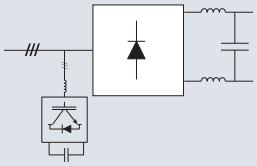
- Geringere Ausgangsspannung bedeutet weniger Motordrehmoment und höhere Motortemperatur (ggf. ist eine Überdimensionierung des Motors erforderlich)
- Geringere und weniger stabilere Oberschwingungsreduzierung
- Einschränkungen hinsichtlich der Leistungsfaktorregelung
- Einschränkungen hinsichtlich Überbrückung bei Spannungsausfall
- Ausgangsspannungsfall während eines Spannungseinbruchs im Netz
- Größere Anzahl von IGBTs für komplexere Regelung
- Überspannungsempfindlich
- LC-Filter am Netzeingang



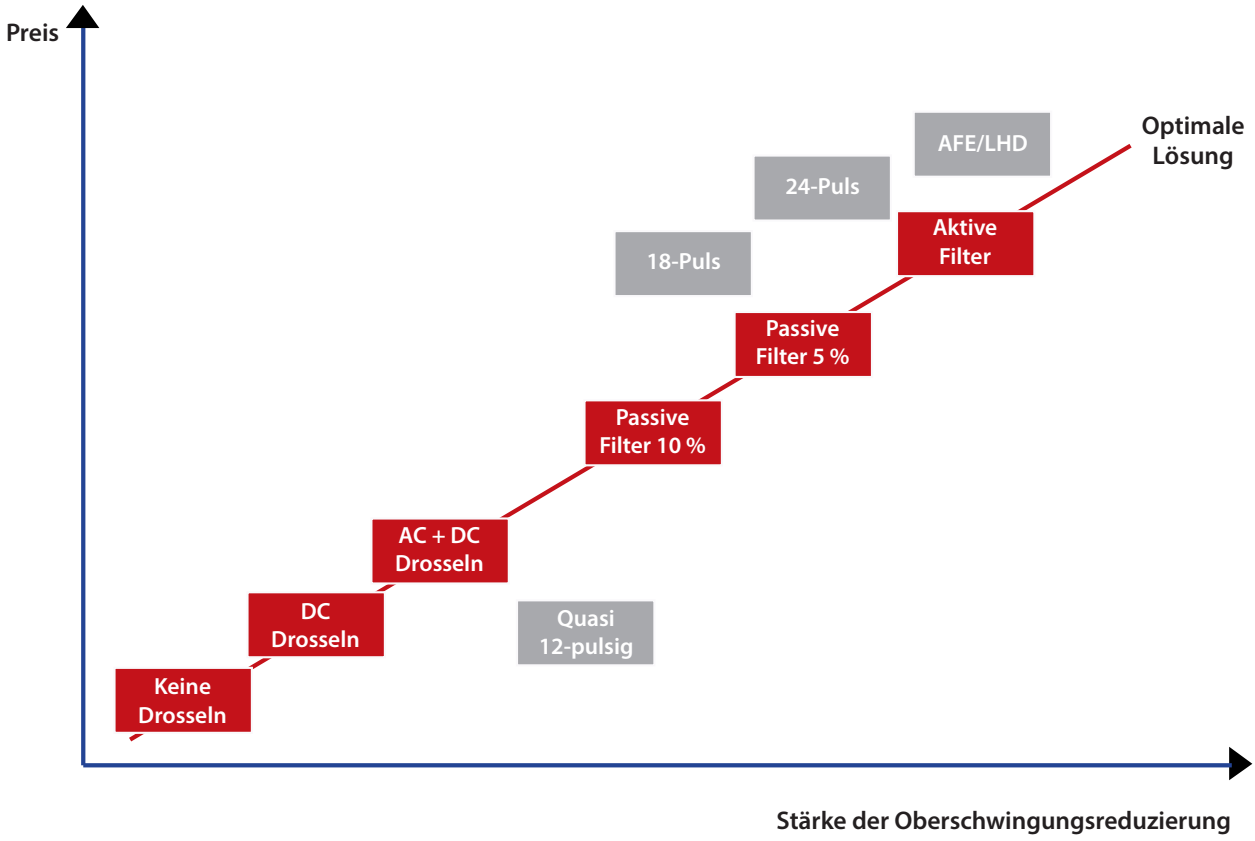
Prinzip der Steuerung AFE-Frequenzumrichter ohne DC-Bus-Kondensatoren (Matrix-Frequenzumrichter), einschl. LC-Filter

Beide AFE-Technologien können Netzoberschwingungen mindern, jedoch mit unterschiedlichen Leistungsniveaus. Ingenieure, die Anwendungen für Chemie- und/oder Pharmaanlagen entwickeln, sollten sich dieser entscheidenden Unterschiede bewusst sein, bevor sie sich für ein Konzept entscheiden.

Lösungen zur Oberschwingungsreduzierung

Typischer THD erreichbar durch Mitigationsmethode	Schaltdiagramm	Typischer Stromverlauf
Keine Reduzierung THD > 80 %		
Zwischenkreisdrosseln THD < 40 %		
AC Drosseln THD < 40 %		
Passiver Oberschwingungsfilter THD < 10 %		
Mehrpuls-Gleichrichter (12/18) THD < 10 %		
Active Front End THD < 5 %		
Aktiver Filter THD < 5 %		Kurvenform ähnlich wie bei AFE

Verfahren zur Oberschwingungsreduzierung



Übersicht über die Maßnahmen zur Reduzierung von Oberschwingungen.

Common DC Bus-Systeme

Common DC-Bus-Systeme bestehen in der Regel aus einer oder mehreren Speisesektionen, die auf einem Gleichrichter basieren könnten, mit nicht rückspeisefähigem Front End (NFE) oder IGBT-basiertem Active Front End (AFE), das einen DC-Bus speist, der an mehrere Wechselrichter angeschlossen ist.

Energieeinsparungen

Ein im generatorischen Betrieb laufender Motor kann andere Motorwechselrichter versorgen, die an denselben DC-Bus angeschlossen sind und im Motorbetrieb laufen. Bremswiderstände können gänzlich vermieden oder die Anzahl der Bremswiderstände kann mit dieser Lösung gesenkt werden, was zu einer allgemeinen Steigerung des Wirkungsgrades führt.

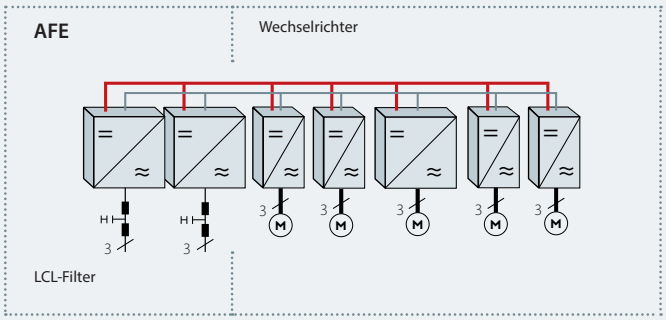
Weniger Teile

Durch die Versorgung mehrerer Frequenzumrichter über einen gemeinsamen DC-Bus kann die Anzahl der Gleichrichter reduziert werden, was zu einer kompakteren Systemauslegung führt.

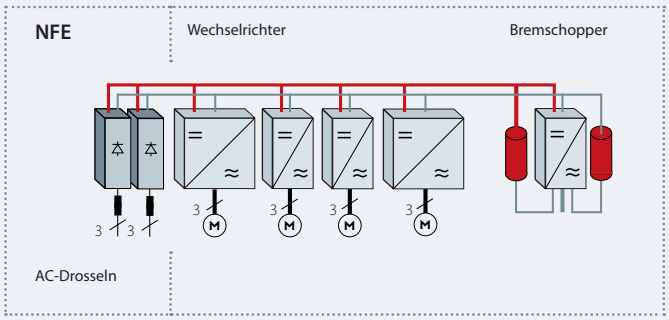
Notstromversorgung

Möglichkeit zum Anschluss eines DC-Notstromversorgungssystems. Lesen Sie mehr im Abschnitt Industrielle DC-Notstrom-versorgungstechnologie

Ein regeneratives System mit gemeinsamem DC-Bus



Ein nicht rückspeisefähiges System mit gemeinsamem DC-Bus

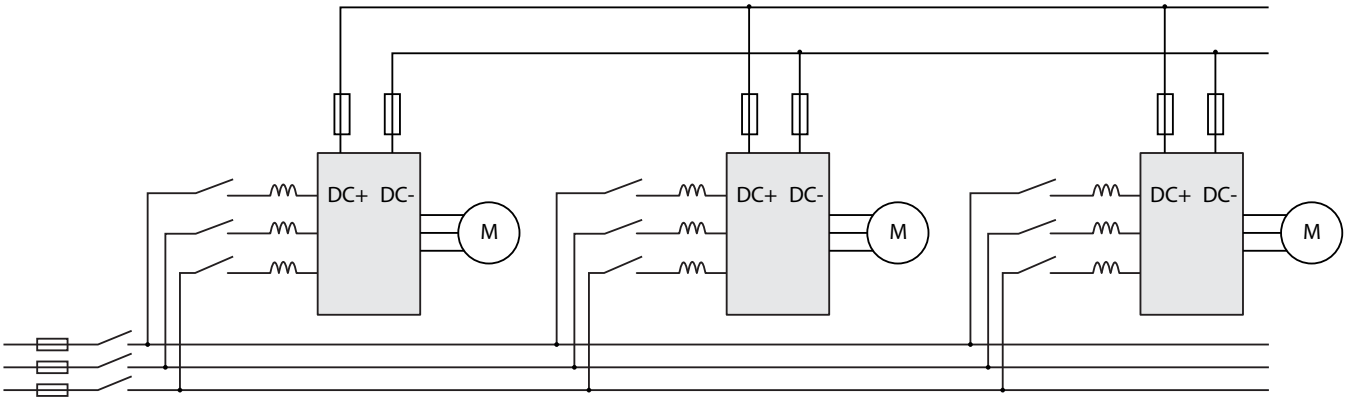


Ein System mit gemeinsamem DC-Bus besteht aus einem oder mehreren Front-End-Modulen und Wechselrichtermodulen, die über einen DC-Bus miteinander verbunden sind.

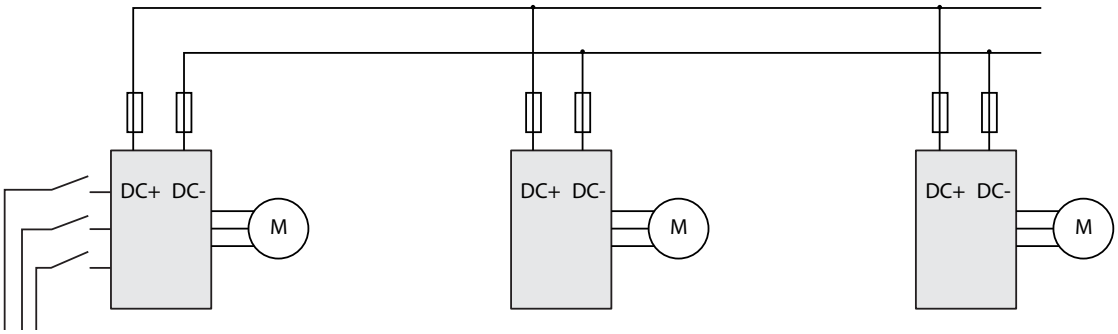
Zwischenkreiskopplung

Es ist auch möglich, mehrere Standard-Frequenzumrichter an den gemeinsamen DC-Bus anzuschließen.

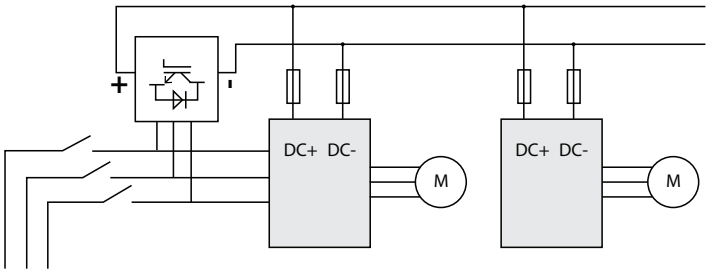
In einer Ausführung werden die DC-Bus-Zwischenkreisklemmen mehrerer Frequenzumrichter verwendet, um sie an einen gemeinsamen DC-Bus anzuschließen. Dadurch kann ein Frequenzumrichter im generatorischen Betrieb seine Bremsleistung mit einem anderen Frequenzumrichter im Motorbetrieb teilen. In dieser Konfiguration sind ein oder mehrere Frequenzumrichter an die Netzversorgung angeschlossen. Ein Anschluss des gemeinsamen DC-Busses an eine externe Rückspeiseeinheit könnte ebenfalls eine Alternative sein, die den Bedarf an externen Widerständen für dynamische Bremsen senkt und gleichzeitig Energie spart. So können beliebig viele Frequenzumrichter angeschlossen werden, solange sie die gleiche Nennspannung haben. In einer solchen Konfiguration kann es erforderlich sein, AC- und/oder DC-Zwischenkreisdrosseln und DC-Sicherungen an jedem Frequenzumrichter einzubauen. Unterschiedliche Frequenzum-richterserien und Leistungsgrößen können unterschiedliche Ladeschaltungen haben, die ebenfalls berücksichtigt werden müssen. Wir empfehlen Ihnen dringend, sich für weitere Informationen an Ihren Frequenzumrichter-Anbieter zu wenden, bevor Sie eine solche Lösung in Betracht ziehen.



Konfiguration mit Zwischenkreiskopplung: Alle Frequenzumrichter werden über AC-Drosseln an die Netzversorgung angeschlossen. DC-Anschluss mit DC-Sicherungen an jedem Frequenzumrichter.

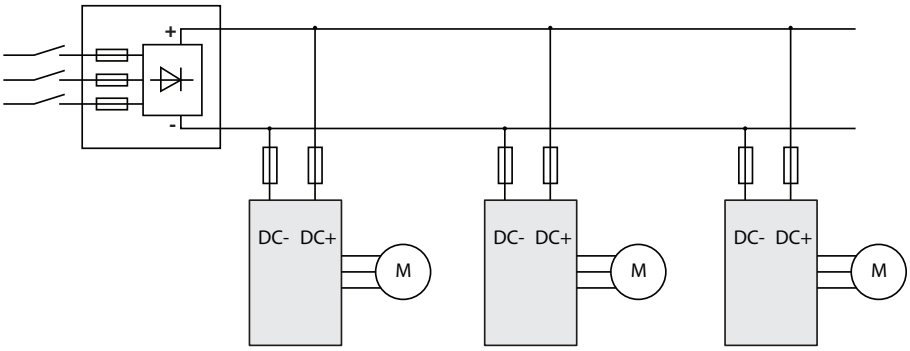


Konfiguration mit Zwischenkreiskopplung: Nur ein Frequenzumrichter ist an die Netzversorgung angeschlossen.
DC-Anschluss mit DC-Sicherungen an jedem Frequenzumrichter.



Zwischenkreiskopplung mit externer Rückspeiseeinheit Nur ein Frequenzumrichter ist an die Netzversorgung angeschlossen.
DC-Anschluss mit DC-Sicherungen an jedem Frequenzumrichter.

In der zweiten Ausführung werden die mit dem DC-Bus verbundenen Frequenzumrichter ausschließlich von einer externen DC-Quelle gespeist. Diese Gleichstromquelle muss dieVorladedung aller angeschlossenen Frequenzumrichter ermöglichen. Wir empfehlen, vor jedem Frequenzumrichter DC-Sicherungen zum Zwischenkreis einzubauen.



Zwischenkreiskopplung mit Stromversorgung aus einer externen DC-Quelle. Keiner der Frequenzumrichter ist an die Netzversorgung angeschlossen.
DC-Anschluss mit DC-Sicherungen an jedem Frequenzumrichter.

Maßnahmen zum Schutz des Netzes

Blindstromkompensation

Blindstromkompensationsanlagen dienen der Kompensation des Phasenverschiebungswinkels φ zwischen Spannung und Strom. Dies ist erforderlich, wenn viele induktive Verbraucher (Motoren, Vorschaltgeräte für Lampen, etc.) in einem Versorgungsnetz zum Einsatz kommen.

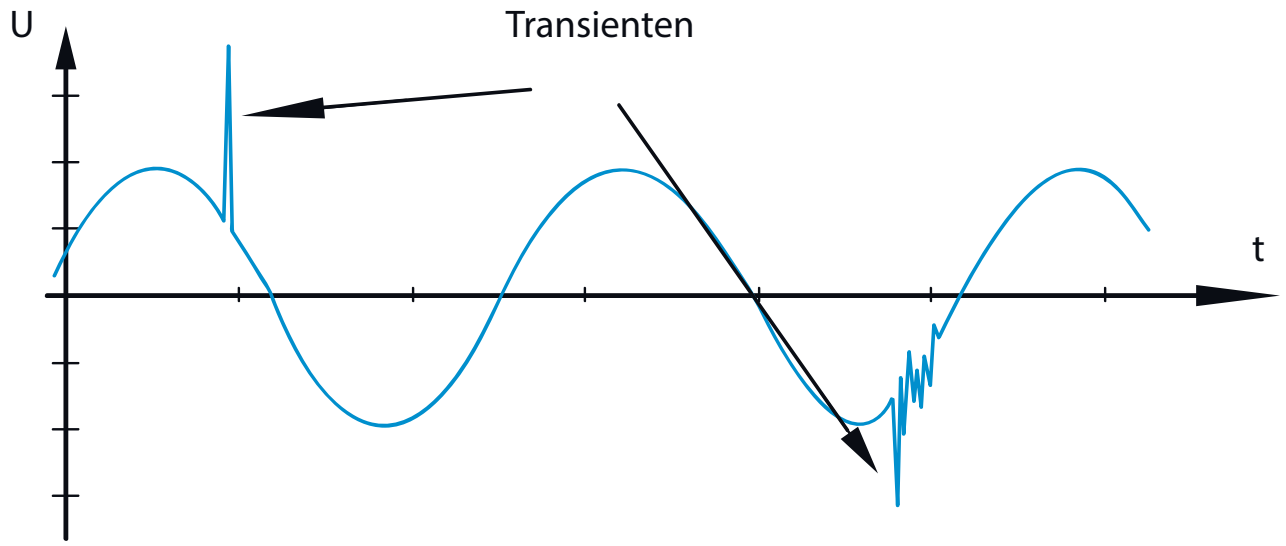
Frequenzumrichter nehmen je nach Ausführung des Zwischenkreises keinen Blindstrom aus dem Versorgungsnetz auf und erzeugen keine Phasenverschiebung. Cos φ liegt bei ca. 1.

Aus diesem Grunde brauchen Anwender drehzahlgeregelte Motoren bei der Dimensionierung einer eventuellen Blindstromkompensationsanlage nicht zu berücksichtigen. Da Frequenzumrichter aber Oberschwingungen erzeugen, steigt der Aufnahmestrom 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.

Netztransienten

Transienten sind kurzzeitige Spannungsspitzen im Bereich von einigen Tausend Volt. Sie können in allen Versorgungsnetzen vorkommen, sei es in Industrie- oder Wohnbereichen. Eine häufige Ursache von Transienten sind Blitzeinschläge. Sie entstehen aber auch durch das Schalten von Großverbrauchern im Versorgungsnetz oder z. B. durch das Schalten von Blindleistungskompensationsanlagen. Auch Kurzschlüsse, das Auslösen von Schutzgeräten im Versorgungsnetz und magnetische Induktivität zwischen parallelen Leitungen können Transienten verursachen. Die EN 61000-4-1 stellt dar, welche Formen diese Transienten haben und welche Energie in ihnen enthalten ist. Das Ausmaß der von ihnen verursachten Schäden kann auf verschiedene Weise begrenzt werden. Bei hochenergetischen Transienten werden Gasableiter oder Funkenstrecken als Grobschutz eingesetzt. Elektronische Geräte nutzen zur Bedämpfung als Feinschutz meist spannungsabhängige Widerstände (Varistoren). Frequenzumrichter greifen ebenso auf diese Lösung zurück.



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

Betrieb am Transformator oder Generator

Maximale Transformatorleistung

Betreiber können in Niederspannungsnetzen (400 V, 500 V, 690 V) Frequenzumrichter bis zu mehreren MW einsetzen. Die notwendige Spannung setzt ein Transformator aus dem Mittelspannungsnetz um. Im öffentlichen Versorgungsnetz (erste Umgebung: Wohnbereiche) übernimmt das Energieversorgungsunternehmen diese Aufgabe. In industriellen Netzen (zweite Umgebung: Industrielles Umfeld; meist 500 V, 690 V) steht der Transformator beim Endverbraucher, der auch für die Einspeisung in seine Anlage selbst verantwortlich ist.

Transformatorleistung
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 Verzerrungsblindleistung belasten. Daraus resultieren höhere Verluste und eine zusätzliche Erwärmung. Im schlimmsten Fall kann es zu einer Zerstörung des Trafos kommen. Intelligente Schaltgruppen (Zusammenschalten mehrerer Trafos) löschen Oberschwingungen gegebenenfalls aus.

Netzqualität
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 und MyDrive® Harmonics *https://suite.mydrive.danfoss.com/content/tools*, treffen eine genaue Aussage darüber, wieviel Frequenzumrichterlast in einer vorgegebenen Anlage ein Transformator versorgen kann.

Betrieb am Notstromgenerator

Betreiber setzen immer dann Netzersatzanlagen ein, wenn sie wie z. B. in der Prozesstechnik 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 einer Netzersatzschaltung mittels Generator ist die Netzimpedanz meist höher als bei einem Betrieb am öffentlichen Netz. Dies lässt die Oberschwingungsverzerrung ansteigen. 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 die Oberschwingungsverzerrung zunehmen können.
- Eine 5/6-Sehnung der Generatorwicklung bedämpft die 5. und 7. Harmonische, erhöht jedoch die 3. Harmonische. Eine 2/3-Sehnung reduziert die 3. Harmonische.
- 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 für eine zusätzliche Belastung durch unkalkulierbare Resonanzeffekte sorgen.

Unter 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 Oberschwingungsberechnungssoftware HCS (Harmonic Calculation Software) möglich. *https://suite.mydrive.danfoss.com/content/tools*

Beim Betrieb von Oberschwingungserzeugern gelten die Grenzen wie folgt:

B2- und B6-Gleichrichter	→	max. 20 % der Generatorlast
Verdrosselter B6-Gleichrichter	→	max. 20–35 % der Generatorlast abhängig von der Ausführung
Gesteuerte B6-Brücken	→	max. 10 % der Generatorlast

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

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, ob Frequenzumrichter besser zentral in einem Schaltschrank oder dezentral an einer Wand zu montieren sind, kann nicht mit richtig oder falsch beantwortet werden. 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 Schranks 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 Wandmontage ist aufgrund der räumlichen Nähe zwischen Frequenzumrichter und Antrieb aus EMV-Sicht einfacher zu handhaben und kommt deswegen auch mit deutlich geringeren Investitionen für geschirmte Motorkabel aus. Der geringe Mehrpreis für einen Frequenzumrichter in Schutzart IP54/NEMA 12 fällt kaum ins Gewicht.

Hinweis:
Danfoss Frequenzumrichter stehen in drei Schutzarten zur Verfügung:

- *Schutzart IP00/20/NEMA Typ 1 für die Montage in Schaltschränken*
- *Schutzart IP54/55/NEMA Typ 12 für dezentrale Montage*
- *Schutzart IP66 NEMA Typ 3R 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.

IP- und NEMA-Schutzarten

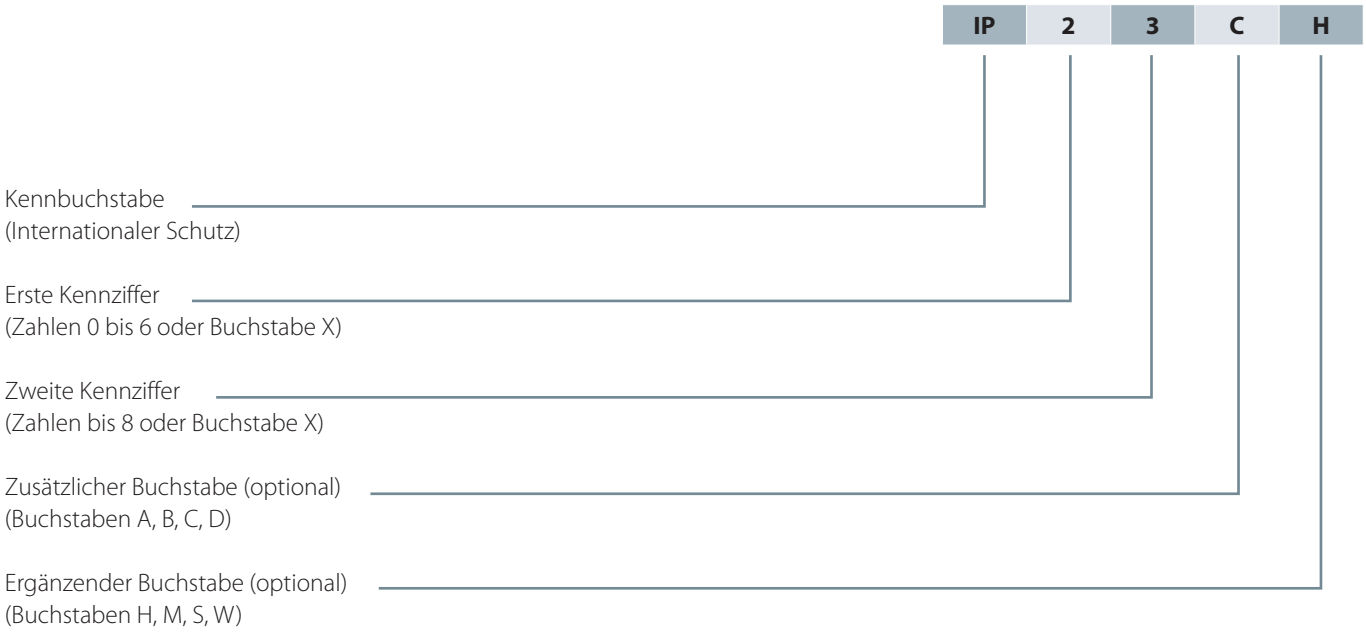
Aufbau der IP-Schutzarten nach IEC 60529

Das in der Norm IEC 60529 definierte Schutzartsystem (IP, Ingress Protection) gibt den Schutzgrad an, den ein Gehäuse gegen den Zugang zu gefährlichen Teilen, das Eindringen von festen Fremdkörpern und das Eindringen von Wasser bietet, und gibt zusätzliche Informationen im Zusammenhang mit diesem Schutz an.

Die IP-Schutzart gibt den Schutzgrad an, der durch Gehäuse von elektrischen Geräten erreicht wird. Dazu gehört Folgendes:

- Schutz von Personen gegen den Zugang zu gefährlichen Teilen im Gehäuse
- Schutz der Anlage im Gehäuse gegen das Eindringen von festen Fremdkörpern
- Schutz der Geräte im Gehäuse vor schädlichen Einflüssen durch Eindringen von Wasser

Aufbau des IP-Codes:



Ist eine Merkmalsziffer nicht erforderlich, so ist sie durch den Buchstaben „X" zu ersetzen („XX" beide Ziffern entfallen). Zusätzliche Buchstaben und/oder Ergänzungsziffern können ersatzlos entfallen. Werden mehrere Zusatzbuchstaben verwendet, so gilt die alphabetische Reihenfolge.

Berührungssichere Frequenzumrichter in den Schutzarten IP20 und 21 (rechts) sind für die Montage in Schaltschränken vorgesehen. Spritzwassergeschützte Frequenzumrichter in den Schutzarten IP54 und 55 (Bild links) sind für die Montage an Wänden oder auf Rahmen konzipiert.

Schutzarten gegen feste Fremdkörper und Wasser

Erste Kennziffer	Grad der Schutzart gegen feste Fremdkörper		Zweite Kennziffer	Schutzart gegen eindringendes Wasser
	Kurzbeschreibung	Gegen Zugang zu gefährlichen Teilen mit		Kurzbeschreibung
0	nicht geschützt	nicht geschützt	0	nicht geschützt
1	≥50 mm Durchmesser	Mit dem Handrücken	1	senkrecht tropfendes Wasser
2	≥12,5 mm Durchmesser	Mit einem Finger	2	Tropfen (15° Neigung)
3	≥2,5 mm Durchmesser	Mit einem Werkzeug	3	Sprühwasser
4	≥1 mm Durchmesser	Mit einem Leiter	4	Spritzwasser
5	Staubgeschützt	Mit einem Leiter	5	Strahlwasser
6	Staubdicht	Mit einem Leiter	6	starkes Strahlwasser
-	-	-	7	zeitweiliges Untertauchen
-	-	-	8	dauerndes Untertauchen

Mittels Zusatzbuchstabe gekennzeichnete Schutzgrade gegen Zugang zu gefährlichen Teilen

Zusatzbuchstabe	Schutzart
A	Geschützt gegen den Zugriff mit dem Handrücken
B	Geschützt gegen Zugriff mit einem Finger
C	Geschützt gegen Zugriff mit einem Werkzeug
D	Geschützt gegen den Zugriff mit einem Draht

Ergänzende Buchstaben

Buchstabe	Bedeutung
H	Hochspannungsgerät
M	Bewegung während Wasserprüfung
S	Stillstand während Wasserprüfung
W	Spezifizierte Witterungsbedingungen

VACON® NXP in verschiedenen IP-Schutzarten

Aufbau der NEMA-Gehäusetypen nach NEMA EN P1-2020

NEMA 250-2018
Vergleich spezifischer Anwendungen von Gehäusen für Innenräume

Bietet Schutz vor den folgenden Bedingungen	Gehäusetyp									
	1	2	4	4X	5	6	6P	12	12K	13
Zugang zu gefährlichen Bauteilen	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Schutz vor Eindringen von Fremdkörpern (fallender Schmutz)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Eindringen von Wasser (Tropfen und leichtes Spritzwasser)		■	■	■	■	■	■	■	■	■
Eindringen von festen Fremdkörpern (z. B. herumfliegender Staub, Fussel, Fasern und Schwebeteilchen**)			■	■		■	■	■	■	■
Eindringen von festen Fremdkörpern (Staub, Fussel, Fasern und Schwebeteilchen**)			■	■	■	■	■	■	■	■
Eindringen von Wasser (Strahlwasser und Spritzwasser)			■	■		■	■			
Öl und Kühlmittel								■	■	■
Öl- oder Kühlmittelspritzer und Sprühwasser										■
Korrosionsmittel				■			■			
Wassereintritt (gelegentliches vorübergehendes Eintauchen)						■	■			
Wassereintritt (gelegentliches längeres Eintauchen)							■			

NEMA 250-2018
Vergleich spezifischer Anwendungen von Gehäusen für den Innen- und Außenbereich

Bietet gewissen Schutz vor den folgenden Bedingungen	Gehäusetyp									
	3	3X	3R	3RX	3S	3SX	4	4X	6	6P
Zugang zu gefährlichen Bauteilen	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Schutz vor Eindringen von Fremdkörpern (fallender Schmutz)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Eindringen von Wasser (Tropfen und leichtes Spritzwasser)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Eindringen von Wasser (Regen, Schnee und Graupel**)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Graupel**					■	■				
Eindringen von festen Fremdkörpern (durch den Wind aufgewirbelter Staub, Fussel, Fasern und Schwebeteilchen****)	■	■			■	■	■	■	■	■
Eindringen von Wasser (Strahlwasser und Spritzwasser)							■	■	■	■
Korrosionsmittel		■		■		■		■		■
Wassereintritt (gelegentliches vorübergehendes Eintauchen)									■	■
Wassereintritt (gelegentliches längeres Eintauchen)										■

** Externe betriebene Mechanismen müssen nicht betriebsfähig sein, wenn das Gehäuse eisbedeckt ist.
*** Externe betriebene Mechanismen sind betriebsfähig, auch wenn das Gehäuse eisbedeckt ist. Siehe Abschnitt 5.6 von NEMA 250-2018.
**** Diese Fasern und Schwebeteilchen gelten nicht als entzündliche Fasern der Klasse III oder brennbare Schwebeteilchen. Für entzündliche Fasern oder Schwebeteilchen vom Typ Klasse III siehe NEC, Artikel 500.5(D).

Kühlkonzept

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

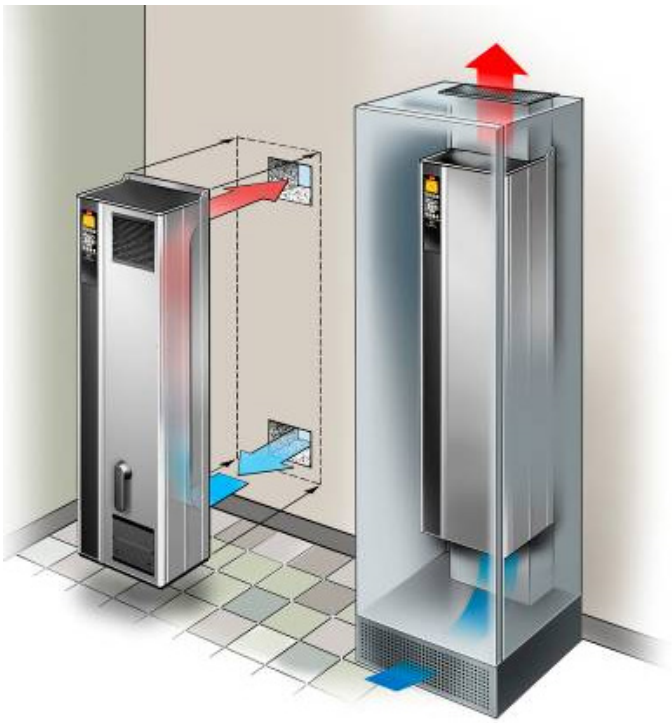
Umgebungstemperaturen einhalten
Für alle Frequenzumrichter sind Temperaturgrenzen für die minimale und maximale Umgebungstemperatur angegeben. Meist sind diese Grenzen durch die eingesetzten elektronischen Komponenten vorgegeben. So darf beispielsweise die Umgebungstemperatur für die im Zwischenkreis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

Unter bestimmten Bedingungen können Frequenzumrichter auch bis -25 °C funktionieren. 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 Sie es über seiner Auslegungstemperatur betreiben. Dies gilt nicht nur für Geräte, die in Schaltschränken eingebaut sind. Auch beim Einsatz von Geräten der Schutzklassen IP54, IP55/NEMA 12 oder IP66/NEMA 3R darf die Umgebungstemperatur die in den Handbüchern angegebenen Werte nicht über- oder unterschreiten. Dies macht eventuell die Klimatisierung von Montageräumen oder Schaltschränken notwendig. Die Vermeidung extremer Umgebungstemperaturen erhöht die Lebensdauer von Frequenzumrichtern und damit die gesamte Anlagenverfügbarkeit.

Kühlung
Frequenzumrichter geben Verlustleistung in Form von Wärme ab. Die Größe der Verlustleistung in Watt ist in den technischen Daten der Frequenzumrichter angegeben. Betreiber sollten geeignete Maßnahmen ergreifen, die entstehenden Wärmeverluste der Frequenzumrichter aus dem Schaltschrank abzuführen, beispielsweise durch Schaltschranklüfter. Die erforderlichen Luftmengen sind in den Herstellerunterlagen angegeben. Frequenzumrichter sind so zu montieren, dass der Kühlluftstrom ungehindert durch die Kühlrippen des Geräts strömen kann. Besonders bei IP20/NEMA 1-Geräten im Schaltschrank besteht die Gefahr, dass durch zu enge Montage der Komponenten der Luftstrom nicht frei zirkulieren kann und Wärmenester entstehen. Die richtigen, unbedingt einzuhaltenden Montageabstände finden Sie in den Handbüchern.

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

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



Das intelligente Kühlkonzept der VLT® Frequenzumrichter führt bis zu 90 % der Verlustwärme aus dem Gerätegehäuse über Kühlkanäle ab.

Flüssigkeitsgekühlte Frequenzumrichtertechnologie

Mit Flüssigkeitskühlung können Sie die Frequenzumrichteranlage in Fertigungsbereichen aufstellen, in denen keine saubere Kühlluft zur Verfügung steht und Platz sparen dank der geringen Gehäusegröße. Wärme kann relativ leicht dorthin übertragen werden, wo sie abgeführt werden kann. Luftkanäle, die im Nachhinein in Werkshallen eventuell schwer zu verlegen sind, sind nicht notwendig. Dies ermöglicht zudem die Aufstellung des Frequenzumrichters in unmittelbarer Nähe der angetriebenen Maschinen und Motoren, um lange Motorkabel zu vermeiden. Nutzen Sie die Prinzipien der Sektorkopplung: Nutzen Sie die in der Kühlflüssigkeit des Frequenzumrichters enthaltene Wärmeenergie, um die Gesamteffizienz des Systems zu verbessern.

Typische Anwendungen für die Chemieindustrie:

- Verdichter
- Extruder
- Pumpen und Lüfter
- Produktionslinien
- Crusher
- Förderbänder

Vorteile dieser Kühltechnologie

Bis zu **25 %** weniger Lebenszykluskosten im Vergleich zu luftgekühlten Lösungen

um **20 dBA** leiser als luftgekühlte Frequenzumrichter

25 % kleinere Geräte können die gleiche oder bessere Performance erbringen

Wärmetauscher

Prinzipbedingt muss die Wärme flüssiggekühlter Frequenzumrichter in der Kühlflüssigkeit abgeführt werden. Hierfür sind spezielle Wärmetauscher erforderlich. Wählen Sie aus mehreren Optionen den richtigen Wärmetauscher für die Anwendung aus:

- Flüssigkeit-zu-Flüssigkeit-Wärmetauscher, bei denen Wärme vom Hauptkühlkreislauf des Frequenzumrichters in einen Sekundärkreislauf getauscht wird
  Dies ist die typischste Lösung
- Flüssigkeit-zu-Luft, wobei der zweite Kreislauf aus einer natürlichen Kühlluftumwälzung besteht
- Kälteanlagenlösung, bei der der sekundäre Kühlkreislauf auf einer aktiven Kälteanlage aufgebaut ist

Auswahlleitfaden hier lesen

Besondere Anforderungen

Aggressive Luft oder Gase

In Industrieanlagen treten häufig aggressive Gase, wie beispielsweise Schwefelwasserstoff, Chlor oder Ammoniak auf. Eine Kontamination der Kühlluft kann langfristig zur 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 (beispielsweise anderes Gebäude, gekapselter Schaltschrank mit Wärmetauscher, etc.) oder sie sollten Geräte bestellen, deren Platinen mit einem speziellen Schutzlack beschichtet sind, der den aggressiven Bestandteilen in den Gasen widersteht.

Ein deutliches Zeichen für aggressive Umgebungsluft ist die Korrosion von Kupfer. Wenn sich dieses innerhalb kurzer 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.*
Hinweis: *Der VLT® AutomationDrive verfügt serienmäßig über eine Beschichtung der Klasse 3C2. Auf Wunsch ist auch eine Beschichtung nach Klasse 3C3 erhältlich.*

Klassifikation: Nach IEC 60721-3-3 sind Durchschnittswerte die erwarteten Langzeitwerte.
Maximalwerte sind vorübergehende Spitzenwerte, die pro Tag nicht länger als 30 Minuten auftreten.

Umgebungsparameter	Einheit	Klasse				
		3C1	3C2		3C3	
			Durchschnittswert	Max. Wert	Durchschnittswert	Max. Wert
Meersalz	mg/m³	Nein	Salznebel		Salznebel	
Schwefeloxid	mg/m³	0,1	0,3	1,0	5,0	10
Schwefelwasserstoff	mg/m³	0,01	0,1	0,5	3,0	10
Chlor	mg/m³	0,01	0,01	0,3	0,3	1,0
Chlorwasserstoff	mg/m³	0,01	0,1	0,5	1,0	5,0
Fluorwasserstoff	mg/m³	0,003	0,01	0,3	0,1	3,0
Ammoniak	mg/m³	0,3	1,0	3,0	10	35
Ozon	mg/m³	0,01	0,05	0,1	0,1	0,3
Stickstoff	mg/m³	0,1	0,5	1,0	3,0	9,0

Staubbelastung

Der Einbau von Frequenzumrichtern in Umgebungen mit hoher Staubbelastung lässt sich in der Praxis oft nicht vermeiden. Dieser Staub dringt auch in jede noch so kleine Ritze und setzt sich überall ab. Betroffen sind dabei nicht nur dezentral an Wänden und Gestellen montierte Frequenzumrichter in den Schutzarten IP55 (NEMA Typ 12) oder IP66 (NEMA Typ 4X), sondern auch Geräte in Schutzart IP20 oder IP21, die im Schaltschrank montiert sind. Kommen Frequenzumrichter in solchen Umgebungen zum Einsatz, müssen Sie drei Dinge beachten:

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

- **Lüfter**
  Den Luftstrom zur Kühlung von Frequenzumrichtern erzeugen Lüfter, 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 Lagerschäden.

- **Filtermatten**
  Vor allem Frequenzumrichter im höheren Leistungsbereich verfügen über Lüfter, 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, was ebenfalls eine verminderte Kühlung zur Folge hat. Die Lüfter können die Komponenten im Frequenzumrichter nicht mehr richtig kühlen.

Hinweis: *Es ist ratsam, luftgekühlte Frequenzumrichter unter den oben genannten Gegebenheiten in regelmäßigen Wartungsintervallen zu reinigen: Blasen Sie Staub aus dem Kühlkörper und säubern Sie die Filtermatten regelmäßig. In Umgebungen mit sehr hohem Staubaufkommen bieten flüssiggekühlte Frequenzumrichter Vorteile.*

EEx-gefährdete Bereiche

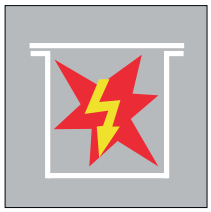
EEx-gefährdete Bereiche

Antriebssysteme arbeiten häufig in explosionsgefährdeten Bereichen. Kommen dort zur Drehzahlregelung dieser Motoren und Pumpen Frequenzumrichter zum Einsatz, müssen Anlagen besondere Bestimmungen erfüllen. Die Grundlage bildet hier die EU-Richtlinie 2014/34/EU, 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. Außerdem sollte sich der Anwender bei der Installation von Frequenzumrichtern an die NAMUR-Empfehlung NE 38 halten.

Regeln Frequenzumrichter Motoren in Ex-gefährdeten Bereichen, müssen diese Motoren unter anderem 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 Entzünden eines explosiven Mediums unterbunden wird. In der Praxis kommen an Frequenzumrichtern eher selten Motoren mit der Schutzart „e" zum Einsatz. Eine solche Kombination musste zusammen als eine Einheit mit einer aufwendigen und teuren Baumusterprüfung abgenommen werden. Als Alternative hat die PTB in Braunschweig ein neues Zulassungsverfahren entwickelt, das zukünftig den Einsatz von Drehzahlregelungen an Ex-e-Motoren deutlich vereinfacht.

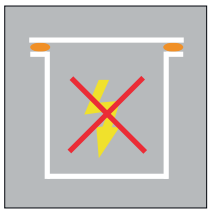
Motoren der Schutzart Ex-d müssen für den Umrichterbetrieb zugelassen sein. Diese Motoren erhalten dann ein zweites Typenschild mit den Daten für den Umrichterbetrieb.

Druckfeste Kapselung „d" nach EN 60079-1, ISA 60079-1 und IEC 60079-1



Teile, die eine explosionsfähige Atmosphäre entzünden können, sind in ein Gehäuse eingeschlossen, das bei der Explosion eines explosionsfähigen Gemischs im Innern den Druck aushält und eine Übertragung der Explosion auf die das Gehäuse umgebende Atmosphäre verhindert (Quelle: Norm EN 60079-1).

Erhöhte Sicherheit „e" gemäß EN 60079-7; ISA 60079-7 und IEC 60079-7



Hier wurden zusätzliche Maßnahmen getroffen, um mit einem erhöhten Grad an Sicherheit die Möglichkeit unzulässig hoher Temperaturen und das Entstehen von Funken und Lichtbögen im Innern oder an äußeren Teilen elektrischer Betriebsmittel, bei denen diese im normalen Betrieb nicht auftreten, zu verhindern.

Eine separate Abnahme des Systems aus Umrichter und für den für Umrichterbetrieb zugelassenen druckfesten Motoren ist dann nicht mehr erforderlich.

Am verbreitetsten sind „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 Spannungshöhe. Durch die Modulation der Ausgangsspannung können am Umrichterausgang Spannungsspitzen entstehen, die die zulässigen Grenzen im Ex-e-Anschlussraum überschreiten. In der Praxis hat sich der Einsatz von Sinusfiltern am Ausgang von Frequenzumrichtern bewährt, durch den unter anderem die hohen Spannungsspitzen bedämpft werden.

Hinweis: *Installieren Sie Frequenzumrichter nie direkt im Ex-gefährdeten Bereich. Die Installation muss außerhalb dieser Zone in einem Schaltschrank oder Schaltanlagenraum erfolgen. Der Einsatz von Sinusfiltern am Frequenzumrichterausgang wird ebenfalls empfohlen, da diese die Spannungsanstiegsgeschwindigkeit dU/dt und die Spitzenspannung Upeak dämpfen. Die Länge des angeschlossenen Motorkabels ist aufgrund des Spannungsfalls im Kabel und am Sinusnfilter möglichst kurz zu halten.*

Hinweis: *Die Frequenzumrichter der Serie VLT® AutomationDrive verfügen mit der MCB 112 über eine PTB-zertifizierte Motorthermistorauswertung für Ex-gefährdete Bereiche. Beim Einsatz von VLT® Frequenzumrichtern mit Ausgangs-Sinusfilter sind keine geschirmten Motorkabel erforderlich.*

Hinweis: *Mit der OPT-AF-Optionskarte verfügen die Frequenzumrichter der Vacon® NX-Serie über eine geprüfte Motorthermistorauswertung für explosionsgefährdete Bereiche gemäß ATEX-Richtlinie 94/9/EG, Kategorie (2) im G-Bereich (Bereich, in dem explosionsgefährdete Gase, Dämpfe, Nebel oder Luftgemische vorhanden sind) und im D-Bereich (Bereich mit brennbarem Staub).*

ATEX-Motorauslegung

Während der Produktion, Lagerung und Förderung von chemischen oder petrochemischen Produkten können Gase, Dämpfe, Nebel oder Stäube entstehen, die in bestimmten Mischungsverhältnissen mit Luft explosiv sein können. Die Zündung findet statt, wenn das Mischungsverhältnis im Bereich der oberen und unteren Explosionsgrenze liegt und wenn die Zündtemperatur oder die Mindestzündenergie überschritten wird.

In durch Gase, Dämpfe, Nebel oder Stäube explosionsgefährdeten Bereichen müssen explosionsgeschützte elektrische Betriebsmittel eingesetzt werden.
Für alle Bereiche, in denen Staub oder Staubablagerungen auftreten können, ist ein Staubexplosionsschutz vorzusehen.

Elektromotoren für explosionsgefährdete Bereiche (ATEX-Ausführung) entsprechen der Richtlinie 2014/34/EU (ATEX) und sind so konstruiert, dass sie Explosionsgefährdungen vermeiden. Elektromotoren in explosionsgeschützter Ausführung können in der chemischen und petrochemischen Industrie, Gasanlagen und Gasversorgungsunternehmen, Tankstellen, Kokereien, Mühlen, Kläranlagen, in der Öl- und Erdgas-förderung, in der Holzindustrie und in nahezu allen explosionsgefährdeten Industriebereichen sicher eingesetzt werden.

Zoneneinteilung		
Gas	Zone 0*	ist ein Bereich, in dem gefährliche explosionsfähige Atmosphäre als Gemisch aus Luft und brennbaren Gasen, Dämpfen oder Nebeln ständig, über lange Zeiträume oder häufig vorhanden ist.
	Zone 1*	ist ein Bereich, in dem sich bei Normalbetrieb gelegentlich eine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre als Gemisch aus Luft und brennbaren Gasen, Dämpfen oder Nebeln bilden kann.
	Zone 2*	ist ein Bereich, in dem bei Normalbetrieb eine gefährlich explosionsfähige Atmosphäre als Gemisch aus Luft und brennbaren Gasen, Dämpfen oder Nebeln normalerweise nicht oder aber nur kurzzeitig auftritt.
Staub	Zone 20*	ist ein Bereich, in dem gefährliche explosionsfähige Atmosphäre in Form einer Wolke aus in der Luft enthaltenem brennbaren Staub ständig, über lange Zeiträume oder häufig vorhanden ist.
	Zone 21*	ist ein Bereich, in dem sich bei Normalbetrieb gelegentlich eine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre in Form einer Wolke aus in der Luft enthaltenem brennbaren Staub bilden kann.
	Zone 22*	ist ein Bereich, in dem bei Normalbetrieb eine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre in Form einer Wolke aus in der Luft enthaltenem brennbaren Staub normalerweise nicht oder aber nur kurzzeitig auftritt.

** Definitionen aus Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV)*

Die obenstehende Tabelle beschreibt in einfacher Form, wie die ATEX-Zonen definiert sind. Die Zonen geben Auskunft darüber, mit welcher Häufigkeit und welcher Zeitdauer mit dem Auftreten einer explosionsfähigen Atmosphäre zu rechnen ist. Zu beachten gilt, dass bei der Auswahl der im Ex-Bereich eingesetzte Komponenten, diese in ihrer Kategorie mindestens der vorherrschenden Zone entsprechen müssen. Weitere Kriterien sind die Temperaturklassen sowie die Explosionsgruppen. So ist der Einsatz eines Elektromotors in Zone 0 generell nicht möglich. Unbedingt erforderlich ist, dass die bestimmungsgemäße Zulassung eines eingesetzten Gerätes der Art der explosionsfähigen Atmosphäre gerecht werden muss: Staub (Code D) oder Gas (Code G). Darüber hinaus gelten weitere Vorgaben z. B. im Bereich des Bergbaus zum Schlagwetterschutz.

Explosionsgeschützte Motoren

Die folgende Tabelle zeigt die möglichen Explosionsschutzkategorien für Motoren und die zugehörigen Zonen:

Design	Option	Verwenden Sie
2G	Motoren nach Richtlinie 2014/34/EU, Kategorie 2 (Gas)	Einsetzbar in Zone 1 und 2
2D	Motoren nach Richtlinie 2014/34/EU, Kategorie 2 (Staub)	Einsetzbar in den Zonen 21 und 22
2GD	Motoren nach Richtlinie 2014/34/EU, Kategorie 2 (Gas/Staub)	Einsetzbar in Zone 1 und 2 sowie in Zone 21 und 22
3G	Motoren nach Richtlinie 2014/34/EU, Kategorie 3 (Gas)	Einsetzbar in Zone 2
3D	Motoren nach Richtlinie 2014/34/EU, Kategorie 3 (Staub)	Einsetzbar in Zone 22
3GD	Motoren nach Richtlinie 2014/34/EU, Kategorie 3 (Gas/Staub)	Einsetzbar in Zone 2 und 22

Isolierspannung Frequenzumrichter-gespeister elektrischer Maschinen
Die Isolierung eines Motors wird bei der Speisung durch einen Frequenzumrichter stärker elektrisch belastet als bei einer rein sinusförmigen Quelle. Ein Frequenzumrichter erzeugt Rechteckimpulse mit konstanter Amplitudenspannung, die unterschiedlich breit und frequent sind.

Die Amplitudenspannung der Impulse am Ausgang des Frequenzumrichters wird von der DC-Zwischenkreisspannung bestimmt. Moderne Niederspannungs-Frequenzumrichter verfügen über eine Anstiegszeit der Ausgangsspannung im µs-Bereich, um Schaltverluste im Ausgangsbereich des Frequenzumrichters zu minimieren. Deshalb können Frequenzumrichter wiederholte Spannungsspitzen (Upeak) mit einer Hochspannungsanstiegrate (dU/dt) an den Klemmen des Frequenzumrichters erzeugen, was die Lebensdauer der Motorisolierung verkürzen kann. Abhängig von der Anstiegzeit des Spannungsimpulses (dU/dt) am Frequenzumrichterausgang, der Motorkabellänge, dem Erdungssystem und der Impedanz des Motors erzeugen die Impulse Spitzenspannungen an den Motorklemmen, die höher sein können als die doppelte DC-Zwischenkreisspannung des Frequenzumrichters (Phase-Phase und Phase-Erde). Wenn das Motorkabel kurz ist (wenige Meter), sind Anstiegzeit und Spitzenspannung niedriger. Bei einem langen Motorkabel (100 m oder länger) sind Anstiegzeit und Spitzenspannung höher. Hierbei ist zu beachten, dass die DC-Zwischenkreisspannung eines Frequenzumrichters mit aktivem Frequenzumrichter (AFE) höher ist als bei einem Frequenzumrichter mit dreiphasigem Diodengleichrichter.

Bei Motornennspannungen ≤500 V AC sollte das Isoliersystem in der Regel eine zufriedenstellende Lebensdauer aufweisen, wenn es Spitzenspannungen eines modernen Frequenzumrichters ausgesetzt wird. Für Motoren mit einer Nennspannung von über 500 bis 690 V AC können ein verbessertes oder verstärktes Isoliersystem und/oder Filter am Frequenzumrichterausgang erforderlich sein, um die Anstiegszeit und/oder Spitzenspannungen zu begrenzen.

Es wird empfohlen, dass der System-integrator des Frequenzumrichters und des Motors diese Fakten berücksichtigt.

Motornennspannung	Motorisolation
Un ≤420 V	Standard U_{LL} ~1300 V
420 V <Un ≤500 V	Verstärktes U_{LL} ~1600 V
500 V <Un ≤600 V	Verstärktes U_{LL} ~1800 V
600 V <Un ≤690 V	Verstärkte U_{LL} ~2000 V

Typische Isolierungsnennwerte

In den Normen für explosionsgeschützte elektrische Maschinen sind keine Vorkehrungen zur Begrenzung der Ursache für von Frequenzumrichtern erzeugten Spitzenspannungen festgelegt. Dennoch ist es aus Sicht der Motorhersteller und im Interesse einer erhöhten Betriebssicherheit dringend ratsam, das Frequenzumrichtersystem mit Maßnahmen auszustatten, die die zusätzliche Isolierbelastung reduzieren, z. B. durch Verwendung einer gemäßigten Schaltfrequenz, Vermeidung extrem kurzer Anstiegszeiten (sehr hohe dU/dt) und hoher Upeak-Werte durch den Einbau eines zusätzlichen Ausgangsfilters auf der Ausgangsseite eines Frequenzumrichters. Diese Maßnahmen werden auch in IEC 60034-25 und IEC 60034-18-41 empfohlen. Spezifische Anforderungen der verschiedenen Motorhersteller sind zu berücksichtigen. Beachten Sie unbedingt das Produkthandbuch des Motors, des Getriebes und des Frequenzumrichters!

Die Projektierung spielt eine große Rolle bei der Vermeidung von Übertemperaturen und der Erhöhung der Lebensdauer des Motors.

Die Performance-Eigenschaften und Betriebsdaten von Frequenzumrichtern mit umrichtergespeisten Asynchronmotoren werden vom gesamten System beeinflusst, das aus Speisungssystem, Frequenzumrichter, Ein- und Ausgangsfilter, Motor, Kabeln, Erdungssystem und Steuersystem besteht.

Alle in diesem Dokument genannten Werte sind daher nur als Richtwerte zu verstehen!

In explosionsgefährdeten Bereichen geht es jedoch in erster Linie um die Spannung im Motorklemmenkasten und die Oberflächentemperaturen am Motor. Dies zeigt, welcher Typ von Ex-Motor in welcher Zone eingesetzt werden darf, um eine Zündquelle auszuschließen. Grundsätzlich sind der Anlagenbauer und der Anlagenbetreiber verantwortlich. Ein Spezialist für explosionsgefährdete Bereiche darf die Zonenkategorie und die Auswahl der Gerätschaften festlegen und ist grundsätzlich dafür haftbar.

Diese Fachleute sollten die geltenden örtlichen Installationsempfehlungen und die Empfehlungen von NAMUR NE 38 (Frequenzumrichterauslegung, Spannungsbelastungsgrenzen von Motoren an Frequenzumrichtern) und NE 47 (3-phasige Asynchronmotoren, Technische Anforderungen) befolgen, in denen Grenzwerte festgelegt sind.

Auszug aus NE 38:
Filter sollten in der Regel am Frequenzumrichterausgang angebracht werden, um Spannungsbelastungen und Oberschwingungen zu reduzieren und EMV zu unterdrücken. Als geeignete Grenzwerte können angesehen werden:
Für 400-V- und 500-V-Motoren:
ULL <1000 V und dU/dt <500 V/µs

Für 690-V-Motoren:
ULL <1350 V und dU/dt <500 V/µs

Die letztgenannten Werte bilden die Grundlage für alle neuen Motoren in der VIK-Empfehlung VE1 (NAMUR-Empfehlung NE 47) von 05.2011.

Sicherheitsfunktionen in Antrieben

EEx-gefährdete Bereiche

Frequenzumrichter kommen in der Chemie- und Pharmaindustrie immer häufiger zum Einsatz. Angesichts des steigenden Kostendrucks suchen Betreiber deshalb nach neuen Lösungen, um Kosten zu senken und die Verfügbarkeit in Anlagen sowie die Sicherheit zu erhöhen. Eine Möglichkeit ist dabei, Sicherheitsfunktionen, die bisher mit diskreten Komponenten aufgebaut waren, in Antriebe zu verlagern. Dies senkt die Kosten bei den Raumkosten ebenso wie bei Installation und Verdrahtung, aber auch bei Fehlersuche und Wartungseinsätzen. Moderne Frequenzumrichter bieten dafür eine Vielzahl von Möglichkeiten

Motorvollschutz
Eine Antriebslösung, die die erforderlichen Bauteile, Verdrahtung, Schnittstellen, Planungsaufwand und Montagezeiten für den Motorvollschutz reduziert, bietet erhebliche Einsparmöglichkeiten.

Neben der Aufgabe, die Motordrehzahl anzupassen, können Frequenzumrichter die für den Explosionsschutz relevanten Funktionen integrieren. Durch eine ATEX-zertifizierte PTC-Auswerteelektronik in Verbindung mit einer ebenfalls zertifizierten und sicheren Möglichkeit, die Energie zum Motor abzuschalten, ist die Grundfunktion der Motorüberwachung im explosionsgefährdeten Bereich gesichert. Kommt zu dieser Funktionalität die Feldbusanbindung hinzu, und steht die PTC-Auswertung als internes, auswertbares Signal des Frequenzumrichters zur Verfügung, verringert sich der Aufwand an Signalleitungen, Installation und Schnittstellenplanung merklich. Danfoss bietet solche Lösungen beispielsweise mit den Serien VLT® AutomationDrive und Vacon® NX mit Feldbus- und PTC-Optionsmodulen an.

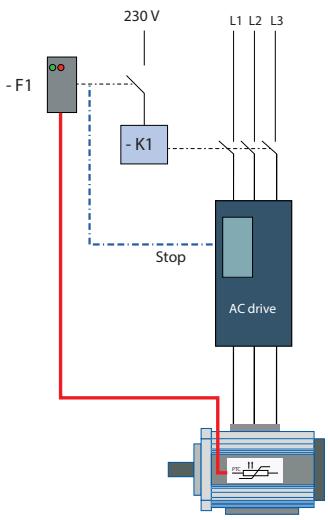
Auf Grund der sichergestellten Unterbrechung der Energiezufuhr zum Motor durch geräteinternes redundantes Abschalten der IGBT-Zündstufenversorgung und gleichzeitiger Zündimpulssperre, ist die Verwendung eines Hauptschützes, eines eventuell benötigten Koppelrelais und der erforderlichen Steuerspannungssicherung im Einspeisefeld überflüssig. Die in der Chemieindustrie verbreitete Feldbus-Kommunikationsschnittstelle eröffnet weiteres Einsparpotenzial. Der VLT® AutomationDrive und die Vacon® NX-Serie mit Feldbus und PTC Modulen hilft dies zu nutzen und reduziert Planungs- und Installationskosten ebenso wie den Baugruppenbedarf im Prozessregelungsystem. Im Fehlerfalle vereinfacht sich eine Fehlersuche und -behebung stark, Ausfall- und Reparaturzeiten werden auf ein Minimum reduziert.

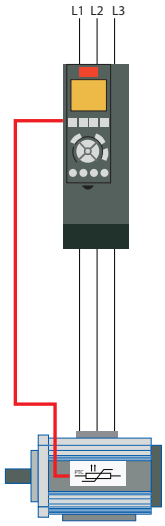
Explosionsschutzkonzept für Frequenzumrichter mit der Zündschutzart „Erhöhte Sicherheit“
Das bisherige Zulassungsverfahren für umrichtergespeiste Motoren mit der Zündschutzart „Erhöhte Sicherheit“ (kurz Ex e) war sehr unflexibel und aufwendig. Betreiber wichen daher bei Anwendungen in explosionsgefährdeten Bereichen häufig auf die deutlich teureren Motoren mit druckfester Kapselung (Ex d) aus. Mittlerweile gibt es ein neues Abnahmeverfahren, das den Einsatz der variablen Drehzahlregelung bei Ex e-Motoren deutlich attraktiver macht.

Die PTC Thermistor Optionskarte MCB112 kann, wie jede andere Option des VLT® AutomationDrive FC 302 auch, vor Ort schnell und kostengünstig per „Plug & Play“ nachgerüstet werden.

Die Optionskarte OPT-AF ergänzt das Produkt NXP um einen ATEX-zertifizierten Thermistoreingang zum Schutz des Motors vor Überhitzung, wenn sich der Motor in einer ATEX-Umgebung befindet.

Das neue Konzept sieht nur die Abnahme des Motors selbst vor, jedoch mit speziellen Anforderungen für die thermische Überwachung, die in seiner EG-Baumusterprüfbescheinigung definiert sind. So wird neben der üblichen zertifizierten Kaltleiterauswertung zusätzlich eine drehzahlabhängige Strombegrenzung gefordert, um der reduzierten Kühlung von eigenbelüfteten Motoren bei Drehzahlregelung Rechnung zu tragen.

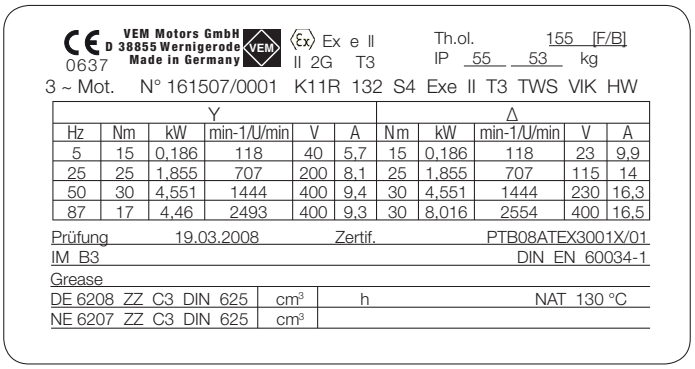




Zugelassenes Schutzkonzept für den Betrieb an einem Frequenzumrichter
Das Überwachen des Motor-PTC-Thermistors durch ein Überwachungsgerät zum Schutz von explosionsgeschützten Motoren ist z. B. nach Richtlinie 2014/34/EU vorgeschrieben. Am Motor ist ein zusätzliches Typenschild mit frequenzabhängigen Dauerströmen anzubringen. Die auf dem Motortypenschild angegebenen Höchst- und Mindestfrequenzen dürfen diese Angaben nicht unter- oder überschreiten. Der Nennstrom des Frequenzumrichters darf nicht mehr als das Doppelte des Nennstroms des Motors betragen.

Die auf dem Typenschild angegebenen Daten sind Teil der Zulassung für den Motor. Belassen Sie die Parametereinstellungen des Frequenzumrichters auf den auf dem Motortypenschild angegebenen Daten.

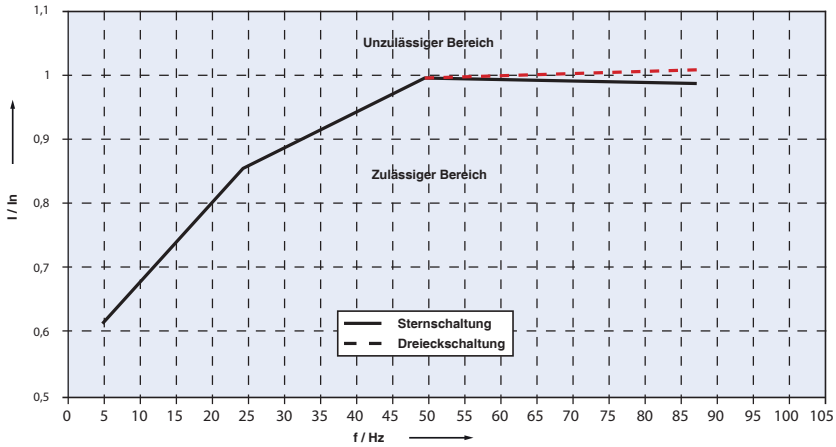
Alle Motore sind gemäß ATEX-Richtlinie 2014/34/EU vor unzulässiger Erwärmung zu schützen. Die für den sicheren Betrieb erforderliche Sicherheitsausrüstung ist von dieser Richtlinie betroffen und muss aus diesem Grund zertifiziert werden.


CE 0637 VEM Motors GmbH D 38855 Wernigerode Made in Germany VEM Ex Ex e II II 2G T3 Th.ol. 155 [F/B] IP 55 53 kg
3 ~ Mot. N° 161507/0001 K11R 132 S4 Exe II T3 TWS VIK HW

Y						Δ				
Hz	Nm	kW	min-1/U/min	V	A	Nm	kW	min-1/U/min	V	A
5	15	0,186	118	40	5,7	15	0,186	118	23	9,9
25	25	1,855	707	200	8,1	25	1,855	707	115	14
50	30	4,551	1444	400	9,4	30	4,551	1444	230	16,3
87	17	4,46	2493	400	9,3	30	8,016	2554	400	16,5

Prüfung 19.03.2008 Zertif. PTB08ATEX3001X/01
IM B3 DIN EN 60034-1
Grease
DE 6208 ZZ C3 DIN 625 cm³ h NAT 130 °C
NE 6207 ZZ C3 DIN 625 cm³

Die drehzahlabhängigen Daten für die Auswertefunktion sind auf dem Typenschild (oben) enthalten und können bei der Inbetriebnahme eingegeben werden. Anschließend überwacht die Auswertefunktion (nachstehende Grafik) den eigenbelüfteten Motor während der Drehzahlregelung gemäß den Vorgaben.



Kostengünstige und flexible Alternative

Das neue Verfahren eröffnet zukünftig interessante Energiesparpotenziale durch den günstigeren Einsatz einer Drehzahlregelung – insbesondere bei Pumpen und Lüfterantrieben, bei denen aufgrund hoher Umrüstungskosten bisher keine Umstellung erfolgt ist.

Unkompliziert
Flexibler Einsatz von Drehzahlregelung bei Motoren mit Zündschutzart „Erhöhte Sicherheit".

Kompakt
Deutlich geringere Baugröße, Gewicht und Kosten im Vergleich zur Drehzahlregelung von Motoren mit druckfester Kapselung.

Flexibel
Leichte Kombinierbarkeit und dadurch geringere Lagerhaltung von Motoren und Umrichter.

Sicher
Zukunftssicherer Betrieb des Ex-e/ Ex-n-Motors (kombinierbar auch mit Nachfolgeserien).

Günstig
Reduzierte Investitionskosten ermöglichen frühere Amortisation bei Einsatz der Drehzahlregelung zur Energiekosteneinsparung.

Universell
Durchgängige Lösung im Leistungsbereich ab 0,4 kW, für 400/500/690 V.

Sonderfunktionen für Chemieanwendungen

Optionale Sicherheitsfunktionen für VLT® AutomationDrive und die Vacon® NX-Serie. Danfoss hat zertifizierte Module für den Vollschutz eines für den Betrieb mit Frequenzumrichter geeigneten explosionsgeschützten Motors entwickelt. Dadurch werden externe Kosten eingespart, ebenso wie teurer Platz im Schaltschrank und Verdrahtungskosten. Das Modul ist geeignet dafür, PTC nach DIN 44081 und DIN 44082 anzuschließen und zu überwachen. Die Überwachung des Fühlerkreises auf Kurzschluss und Leitungsbruch ist selbstverständlich integriert. Durch Nutzung der serienmäßig im VLT® FC302 AutomationDrive integrierten STO-Funktion bei Performance Level d nach EN ISO 13849-1 bzw SIL 2 nach EN 61508 kann auf eine Netztrennung mittels Schütz verzichtet werden.

ATEX Zertifizierung für Ex-e-Motoren
VLT® AutomationDrives und die Vacon® NX-Serie können ebenfalls zur Steuerung ATEX-zertifizierter Motoren beliebiger Hersteller für den drehzahlvariablen Betrieb in den Zonen 1 und 2 (Gas) sowie den Zonen 21 und 22 (Staub) verwendet werden. Mit der MCB 112 PTC-Option für die VLT-Serie oder der OPT-AF-Option für die Vacon® NX-Serie können Anwender jetzt die erforderliche ATEX-zertifizierte Temperaturüberwachung direkt im Frequenzumrichter implementieren.
Auswertefunktion für Ex-e-Motoren
Zusätzlich bieten die VLT® AutomationDrive eine spezielle Auswertefunktion, die den Betrieb von frequenzumrichtergeeigneten Atex-zertifizierten Ex-e-Motoren ermöglicht. Die für die Auswertefunktion benötigten Angaben sind auf dem Motortypenschild entsprechend abgenommener Ex-e-Motoren angegeben und Anwender können sie während der Inbetriebnahme über die Bedieneinheit oder die MCT 10-Programmiersoftware einfach eingeben.

Klemmenbezeichnung nach NAMUR NE 37. In Verbindung mit dem Erweiterungsmodul MCB 113 kann im VLT® AutomationDrive FC 302 die Funktionalität der Steuerklemmenleiste nach NAMUR-Empfehlung NE37 ohne zusätzliche externe Peripherie bereitgestellt werden. Damit gelingt es, mit minimalem Platzbedarf hohe Funktionalität und Sicherheit in die Anlage zu integrieren.

NAMUR ist ein internationaler Anwenderverband für Automatisierungstechnik und Digitalisierung in der Prozessindustrie. Die Organisation vertritt ihre Interessen in Bezug auf Automatisierungstechnik.

Sie stellt Druckschriften, Ratschläge (NE) und Arbeitsblätter (NA) zu unterschiedlichsten technischen Themen der Prozessindustrie zur Verfügung. Einige dieser Empfehlungen betreffen Frequenzumrichter und Drehstrommotoren und sind wichtig für die Pharma- und Chemieindustrie. Bsp. NE 37 (Realisierung von Frequenzumrichtern – Standard-Klemmleiste für Frequenzumrichter), NE 38 (Frequenzumrichterauslegung – Spannungsbelastungsgrenzen von Motoren an Impuls-Frequenzumrichtern) und NE 47 (3-Phasen-Asynchronmotoren; Technische Anforderungen), um nur einige zu nennen.

Funktionale Sicherheit

Funktionale Sicherheit definiert den Schutz gegen Gefahren durch falsche Funktionsweise von Systemkomponenten. Für die Chemieindustrie in Europa fällt die funktionale Sicherheit unter die Maschinenrichtlinie 2006/42/EG und die Seveso-Richtlinie 2012/18/EU.

Hier werden die Sicherheitseinrichtungen in großen Anlagen (die nicht als Maschinen eingestuft sind) in der Regel gemäß der Norm IEC 61511 zugelassen, die eine IEC 61508-Zertifizierung für sicherheitsrelevante Unterelemente wie STO im Frequenzumrichter vorschreibt. Sie beschreibt den Zweck der funktionalen Sicherheit folgendermaßen: „Die Maschine ist so zu konstruieren und zu bauen, dass sie ihrer Funktion gerecht wird und unter den vorgesehenen Bedingungen – aber auch unter Berücksichtigung einer vernünftigerweise vorhersehbaren Fehlanwendung der Maschine – Betrieb, Einrichten und Wartung erfolgen kann, ohne dass Personen einer Gefährdung ausgesetzt sind."

Abhängig von der zu erfüllenden Anwendungsnorm muss das System eine definierte Sicherheitsstufe erreichen. Diese Sicherheitsstufe wird durch die Risikobeurteilung definiert. Die Maschinenrichtlinie nennt verschiedene Standards gemäß erforderlicher Sicherheitsstufe.

Safety Level	Abkürzung	Standard
Performance Level	PL	EN ISO 13849-1
Safety Integrity Level	SIL	IEC 61508, IEC 62061

Sicherheitsfunktionen in Frequenzumrichtern
Durch die Verwendung von Optionen können Sie die Sicherheitsfunktionen, die in Danfoss-Frequenzumrichtern verfügbar sind, erweitern. Beispiele für Sicherheitsfunktionen.

STOPP-Funktionen:

Safe Torque Off (STO)
Am Motor liegt keine Spannung an, die eine Drehung verursachen kann. Der Umrichter liefert keine Energie an den Motor, die ein Drehmoment erzeugen kann.

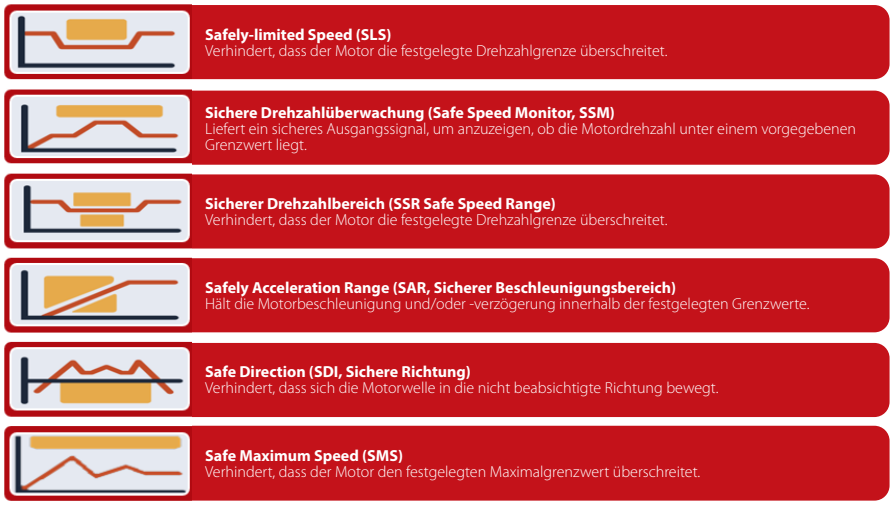
Safe Stop 1 (SS1)
Initiiert und überwacht die Verzögerung innerhalb festgelegter Grenzen, um den Motor anzuhalten, und löst die STO-Funktion aus, wenn die Motordrehzahl unter einem festgelegten Grenzwert liegt, bzw. nach einer festgelegten Zeit.

Safe Stop 2 (SS2)
Initiiert und überwacht die Verzögerung innerhalb festgelegter Grenzen, um den Motor anzuhalten, und leitet die Funktion „Sicherer Halt" ein, bei der die Motordrehzahl noch mit Spannung vorsorgt wird, wenn die Motordrehzahl unter einem festgelegten Grenzwert liegt, beziehungsweise nach einer festgelegten Zeit.

Safe Quick Stop (SQS)
Unabhängiger Funktionsumfang in Kombination mit STO-, SS1- oder SS2-Funktionen.
Die Funktionen verwenden von den Standardfunktionen SS1 und SS2 unabhängige Rampendefinitionen.

Safe Brake Control (SBC)
Liefert ein oder mehrere sichere(s) Ausgangssignal(e) zur Ansteuerung einer oder mehrerer externer Bremsen. In STO-Funktion integriert.

Drehzahlfunktionen:



Safely-limited Speed (SLS)
Verhindert, dass der Motor die festgelegte Drehzahlgrenze überschreitet.

Sichere Drehzahlüberwachung (Safe Speed Monitor, SSM)
Liefert ein sicheres Ausgangssignal, um anzuzeigen, ob die Motordrehzahl unter einem vorgegebenen Grenzwert liegt.

Sicherer Drehzahlbereich (SSR Safe Speed Range)
Verhindert, dass der Motor die festgelegte Drehzahlgrenze überschreitet.

Safely Acceleration Range (SAR, Sicherer Beschleunigungsbereich)
Hält die Motorbeschleunigung und/oder -verzögerung innerhalb der festgelegten Grenzwerte.

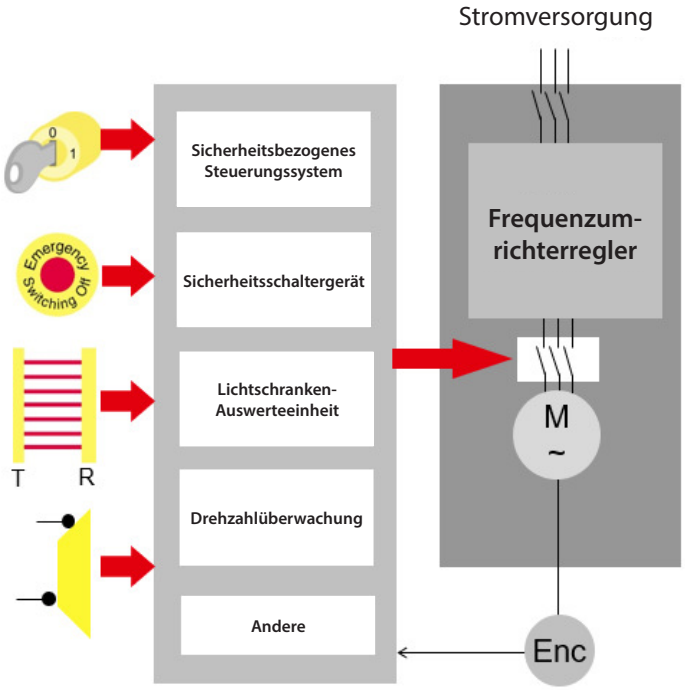
Safe Direction (SDI, Sichere Richtung)
Verhindert, dass sich die Motorwelle in die nicht beabsichtigte Richtung bewegt.

Safe Maximum Speed (SMS)
Verhindert, dass der Motor den festgelegten Maximalgrenzwert überschreitet.

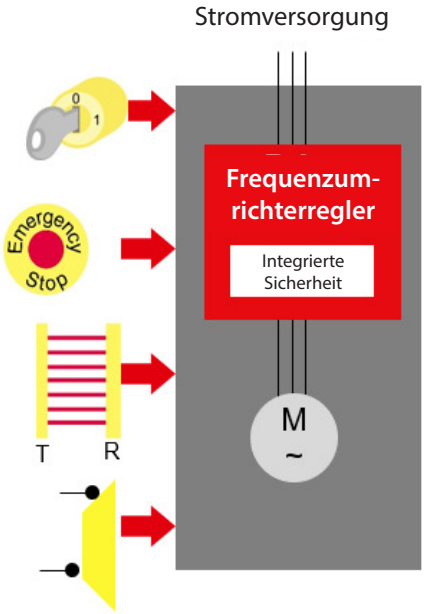
Allgemeine Vorteile von Frequenzumrichtern mit integrierter Betriebssicherheit:

- Durch integrierte funktionale Sicherheit werden externe Sicherheitseinrichtungen und zusätzliche Schütze ersetzt, um Kosten zu sparen
- Geringerer Verdrahtungsaufwand und Platzbedarf in Schaltschränken
- Einfachere und schnellere Fehlerverfolgung durch Übermittlung von Statusmeldungen über den Feldbus
- Passwort- und Protokollfunktion
- Steigerung der Produktivität durch innovative Sicherheitskonzepte
- Erleichterung des Maschinen-/Anlagendesigns durch Bereitstellung zertifizierter Sicherheitsbauteile
- Einfachere Maschinenzertifizierung durch Vorerfüllung internationaler Normen
- Einfachere und schnellere Regelung, da der Frequenzumrichter bei einem Sicherheitsereignis nicht ausgeschaltet werden muss

Hinweis: *VLT® und VACON® Safety Options erweitern die Sicherheitsfunktionen beider Frequenzumrichterserien. Selbst Drehzahlsicherheitsfunktionen können ohne Einbau eines Gebers an der Anwendung realisiert werden (Funktionssicherheit ohne Rückführung). Bei Kombination der VLT® Safety Option MCB 151 mit der integrierten Option VLT® Sensorless Safety MCB 159 entfällt die Notwendigkeit eines externen Gebers zur Überwachung der sicheren Drehzahl.*



Conventionelle Lösung



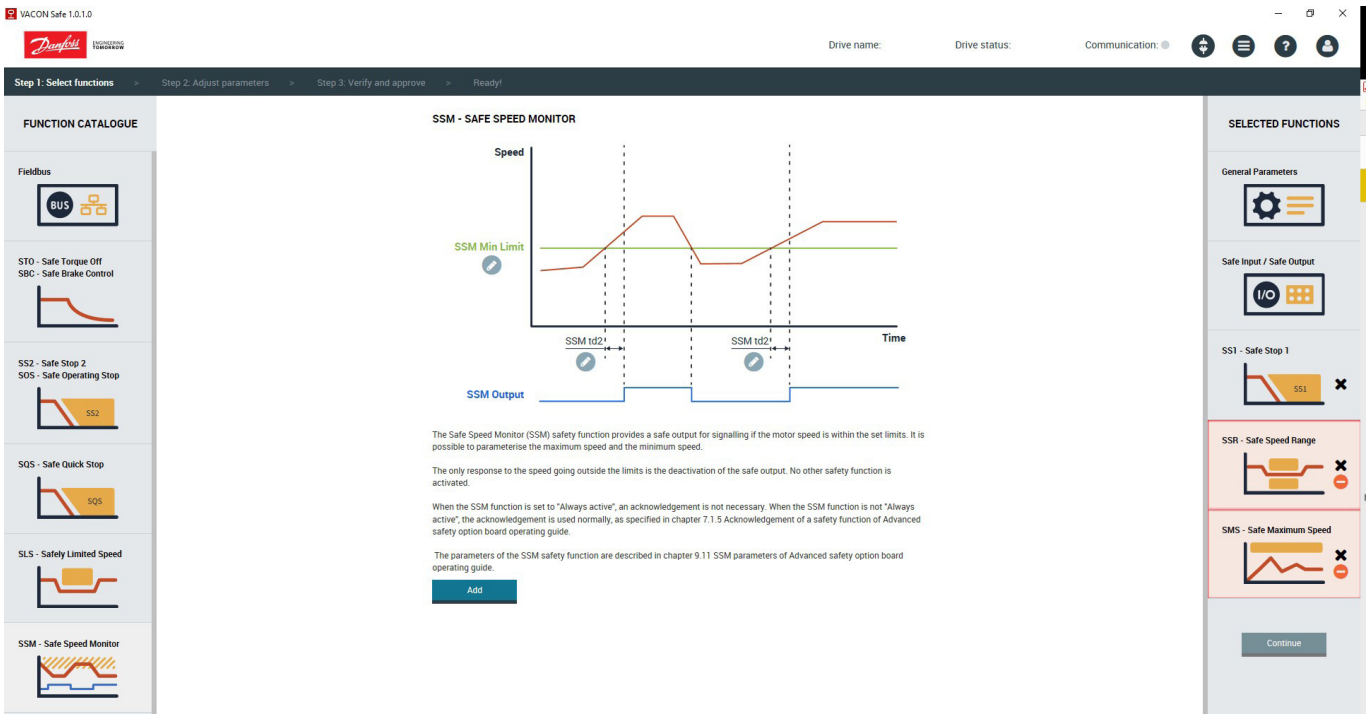
Integrierte Sicherheit

Mit den Frequenzumrichtern von heute ist es möglich, eine flexible Drehzahlregelung in Kombination mit speziellen Sicherheitsfunktionen zu verwenden. Der Anwender kann Eingabegeräte – wie Sicherheitsschalter mit Zuhaltefunktion, Lichtvorhänge und Not-Aus – direkt mit dem Modul verbinden und erspart sich eine eigenständige sicherheitsgerichtete Regelung.

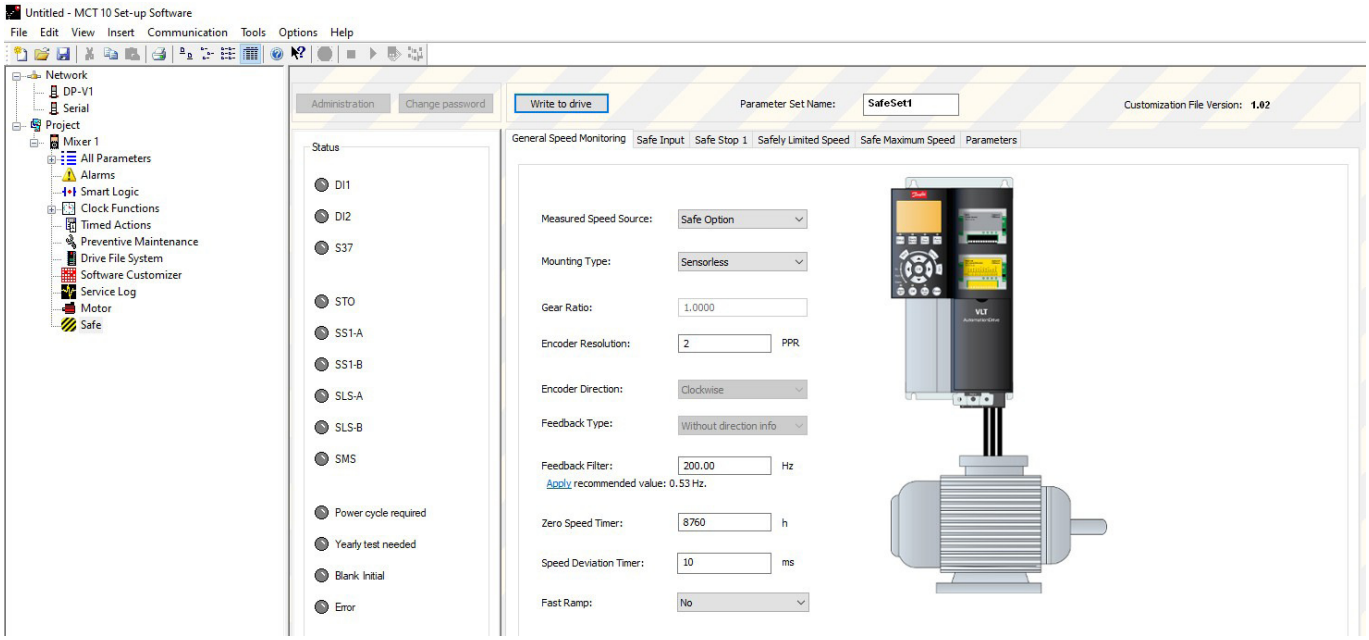
Zur Inbetriebnahme und Dokumentation stellen viele Frequenzumrichterhersteller spezielle PC-Tools für die Anwender bereit. Es lohnt sich für den Anwender, zu prüfen, ob diese Tools kostenlos zur Verfügung stehen oder mit Lizenzkosten verbunden sind.

Hinweis: *Danfoss Drives stellt diese Werkzeuge (VLT® MCT10 Safe-Plugin für MCT10 und VACON® Safe PC-Tool) kostenlos zur Verfügung. Sie können unter https://suite.mydrive.danfoss.com/content/tools heruntergeladen werden.*

VACON® Safe



VLT® MCT10 Safe-Plugin für MCT10



Verfügbare Sicherheitsoptionen für Danfoss Frequenzumrichter:

- VLT® AutomationDrive Safety Options (Sicherheitsoptionen): MCB108, MCB112, MCB150, MCB151, MCB152, MCB159 nach SIL2, PLd, Kat. 3
- Vacon® Advanced Safety Options: OPT-AF, OPT-BL/BM/BN nach SIL3, PLd, Kat. 3
- PROFIsafe durch PROFIBUS und/oder PROFINET

Hinweis: *Integrierte Funktionssicherheit reduziert die Gesamtanlagenkosten, erhöht die Flexibilität und steigert die Produktivität, denn sie ermöglicht es dem Bedienpersonal, Wartungsarbeiten sicher durchzuführen, selbst wenn die Maschine noch in Bewegung ist.*

Motoreignung für FU-Betrieb

Auswahlkriterien

Im Zusammenhang mit frequenzumrichtergeregelten Motoren gibt es folgende Punkte zu beachten:

- Isolationsbelastung
- Lagerströme
- Thermische Belastung

Isolationsbelastung
Der Betrieb eines Motors mit Frequenzregelung belastet die Motorwicklung stärker als bei reinem Netzbetrieb. Hierzu tragen vor allem die hohe Spannungsanstiegsgeschwindigkeit dU/dt sowie das Motorkabel in Abhängigkeit z. B. von Länge, Typ und Verlegung bei. Ursache für die hohe Spannungsanstiegsgeschwindigkeit sind die schnell schaltenden Halbleiter im Wechselrichter der Frequenzumrichter. 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:

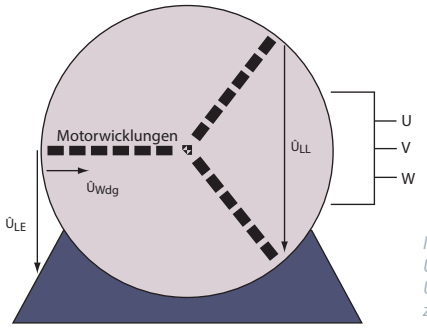
- Hohe Impulsspannungen ÛLL an den Motorklemmen belasten die Phasenisolierung stärker.
- Höhere Impulsspannungen ÛLE zwischen Wicklung und Blechpaket belasten die Nutisolierung stärker.
- Die höhere Spannungsbelastung zwischen den Windungen ÛWdg belastet die Leiterisolierung der Wicklung wesentlich stärker.

Lagerströme
Unter ungünstigen Bedingungen können drehzahlvariable Motoren aufgrund von Lagerschäden, die durch Lagerströme verursacht werden, ausfallen. Ein Lagerstrom fließt dann, wenn am Lagerschmierspalt eine Spannung anliegt, die hoch genug ist, die Isolierung des 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 EDM-Ströme (Funkenerosion).
Welche dieser Ströme zu Lagerschäden führen, 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 beispielsweise durch folgende Maßnahmen reduzieren:

- Verwendung von Ausgangsfiltern (Ausgangsdrosseln, dU/dt-Filter, Sinusfilter und Gleichtaktfilter)
- Einsatz isolierter Lager
- Gute Erdungsverbindung mit niedriger Impedanz aller metallenen Anlagenteile
- Abgeschirmtes Motorkabel



Im Motor treten Impulsspannungen an den Motorklemmen ÛLLund zwischen den Wicklungen und dem Blechpaket ÛLE auf. Außerdem liegt eine Spannungsbelastung zwischen jedem Leiter Ûwdg der Motorwicklung vor.

Hinweis: *Lassen Sie sich vom Motorhersteller bestätigen, dass der Motor für den Betrieb an einem Frequenzumrichter ausgelegt ist und in welchem Drehzahlbereich Sie ihn betreiben dürfen (min/max Drehzahl). Hinweis: Lagerströme entstehen aus dem Gesamtsystem aus Frequenzumrichter, Motor, Kabel und Erdung. IEC 60034-25 empfiehlt, ab einer Achshöhe von 315 mm (ca. 132 kW) Maßnahmen zu treffen.*

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

Die sogenannte Übermodulation kann die maximale Ausgangsspannung des Frequenzumrichters erhöhen, um z. B. Spannungsfälle aufgrund eingesetzter Sinusfilter auszugleichen oder das Drehmoment des Motors oberhalb der Nenndrehzahl zu erhöhen. Die Motorerwärmung liegt dann bei Normmotoren (bis Baugröße 315) im Bereich der Zusatzerwärmung durch Netztoleranzen und ist somit zu vernachlässigen. Bei Transnormmotoren (ab Baugröße 355) schreiben Hersteller allerdings teilweise eine Leistungsreduzierung vor.

Übermodulation führt zu kleinen Momentenrippeln an der Motorwelle. Diese können zu ungewollten mechanischen Vibrationen führen. In Lüftungsanlagen können beispielsweise systembedingt mechanische Resonanzen auftreten. Anwender sollten das System bei der Inbetriebnahme daraufhin überprüfen. Gerade bei kritischen Anwendungen sollten Sie vor einer dauerhaften Aktivierung Rücksprache mit den Herstellern halten.

Ausgangsfilter

Sinusfilter, allpolige Filter oder dU/dt-Filter

Zu den Ausgangsfiltern gehören Sinusfilter, dU/dt-Filter und allpolige Filter. Im Gegensatz zu Sinusfiltern haben dU/dt-Filter lediglich die Aufgabe, die Spannungsanstiegsgeschwindigkeit zu reduzieren.
Sie haben eine geringere Grundfläche, eine einfachere Bauweise als Sinusfilter (niedrigere L- und C-Werte) und sind daher 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
Sinusfilter sind so ausgelegt, dass sie nur niedrige Frequenzen passieren lassen. Hohe Frequenzen werden somit herausgefiltert und Strom und Spannung werden nahezu sinusförmig. Durch den sinusförmigen Verlauf von Spannung und Strom entfällt der Einsatz spezieller Frequenzumrichtermotoren mit verstärkter Isolierung. Zudem werden hörbare Taktfrequenzgeräusche gedämpft. Der Sinusfilter senkt die Belastung der Motorisolation und Lagerströme im Motor. Dies verlängert die Motorlebensdauer und Wartungsintervalle. Da der Filter nicht zwischen den Motorphasen und Masse wirkt, reduziert er die Ableitströme in den Kabeln nicht. Daher erhöht sich die Motorkabellänge nicht.

- Reduziert Spannungsanstiegs-geschwindigkeit dU/dt an den Motorklemmen
- Verringert die Spitzenspannungen ÛII
- Akustisches Taktgeräusch aus dem Motor
- Verringert Verlustleistung im Motor
- Verringert elektromagnetische Ausstrahlungen von Motorkabeln durch Beseitigung hochfrequenter Oberschwingungen im Kabel

Sinusfilter kommen in den folgenden Fällen zum Einsatz:
- Anwendungen, bei denen akustische Taktfrequenzgeräusche vom Motor vermindert werden müssen
- Nachrüstung in Anlagen mit alten Motoren mit nicht ausreichender Isolation
- Die Ursachen für Lagerströme sind vielfältig. Wirksame Gegenmaßnahmen sind u. a. Sinusfilter, die Kreisströme reduzieren.
- Anwendungen, in denen der Motor unter aggressiven Umgebungsbedingungen aufgestellt ist oder mit hohen Temperaturen läuft
- Anwendungen mit Motorkabeln von bis zu 150 m (mit geschirmten Kabeln) und bis zu 300 m (mit ungeschirmten Kabeln). Die Verwendung von Motorkabeln von mehr als 300 m Länge hängt von der Anwendung ab. Verwenden Sie bei längeren Motorkabeln allpolige Sinusfilter
- Anwendungen, in denen das Wartungsintervall des Motors verlängert werden muss
- Immer dann, wenn ein nicht für Wechselrichter spezifizierter Motor verwendet wird (fragen Sie den Motorhersteller)
- Anwendungen mit generatorischer Bremsung zur Begrenzung hoher Spitzenspannung

Nachträglicher Einbau/Retrofit
Stellt ein Betreiber in Anlagen ältere Motoren, die bisher direkt am Netz liefen, auf variable 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 frequenzumrichtertaugliche Motoren sinnvoll. In diesen Fällen entfällt die Notwendigkeit für einen zusätzlichen Sinusfilter. Der neue Motor amortisiert sich allein durch die geringeren Energiekosten meist in kürzester Zeit.

Reduzierung von Lagerströmen
Lagerströme verringern die Lebensdauer von Motorlagern. Um Lagerströme zu reduzieren, empfiehlt IEC 60034-25 Maßnahmen. Sinusfilter reduzieren Kreisströme (Lager-Lagerströme). Gleichtaktfilter reduzieren hochfrequente Gleichtaktstörungen gegen Erde. Kreisströme (Lager-Lager-Ströme) werden durch dU/dt-Filter leicht reduziert. Hochfrequente Gleichtaktstörungen gegen Erde können durch Common Mode Filter (Gleichtaktfilter) eliminiert werden. Zusätzlich zum Einsatz der erwähnten Filter ist eine störungsfreie EMV-Installation absolut unabdingbar.

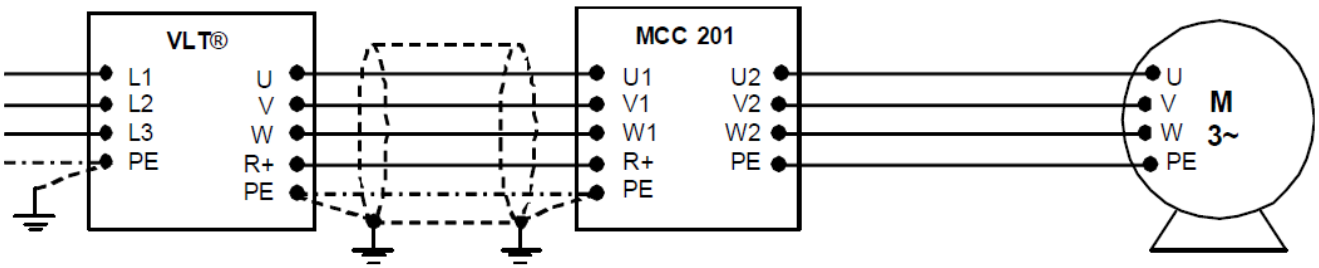
Allpolige Filter

Allpolige Sinusfilter, auch All-Mode-Filter genannt, sind Dual-Mode-Tiefpass-Sinusfilter, die im Differenzbetrieb und im Gleichtaktmodus arbeiten. Diese Filter unterdrücken die Schaltfrequenzkomponente des Frequenzumrichters und glätten die Ausgangsspannungen sowohl zwischen zwei Phasen wie auch zwischen Phase und Erde zu einer sinusförmigen Spannung. Diese Technologie reduziert den Differenzbetrieb und die Gleichtaktstörungen am Frequenzumrichterausgang und ermöglichen so sehr lange Motorkabel. Mithilfe dieser Filter können auch ungeschirmte Motorkabel verwendet werden.

Durch den Anschluss an den Zwischenkreis des Frequenzumrichters werden die Gleichtaktströme zur Frequenzumrichterquelle zurückgeleitet. Diese Konfiguration vermeidet auf äußerst wirksame Weise, dass sich dieser hochfrequente Störstrom in der gesamten Elektroinstallation verteilt. Durch den Wechselrichter verursachte Lagerströme im Motor können durch die Gleichtaktspannung von der IGBT-Ausgangsstufe des Frequenzumrichters verursacht werden. Allpolige Filter stellen praktisch eine wirksame Lösung für solche Effekte dar und beseitigen Gleichtaktstörungen, was die Lebensdauer des Motors erheblich erhöht. Um einen Gleichtaktfilter (Common Mode Filter) anzuschließen, benötigt der Frequenzumrichter einen DC-Zwischenkreisanschluss für Gleichtaktrückführung.

Vorteile:

- Ermöglicht die Verwendung längerer Kabel, was sonst durch den Frequenzumrichter und den integrierten EMV-Filter begrenzt wird, mit Motorkabeln von bis zu 1000 m ohne Schirmung
- Ermöglicht die Verwendung ungeschirmter Motorkabel, wobei die abgestrahlte Emissionsklasse des Frequenzumrichters weiterhin eingehalten wird
- Reduziert die Taktfrequenzgeräusche vom Motor
- Reduziert leitungsgebundene Emissionen
- Reduziert Motorlagerströme
- Reduziert die Belastung der Motorisolierung
- Verlängert die Lebensdauer des Motors
- Klemmen für Motorkabelanschlüsse können erhöhte Kabelquerschnitte aufnehmen, was den Spannungsfall bei Verwendung langer Kabel reduziert



Anschlussplan und Verdrahtung eines allpoligen Sinusfilters

Hinweis: *Das Sortiment VLT® All-mode Sinusfilter MCC 201 ist als Ergänzung zum bestehenden VLT® Motorschutzfiltersortiment für den VLT® AutomationDrive, zu den Sinusfiltern, zu den dU/dt-Filtern und zu den Gleichtaktfiltern konzipiert. Allpolige Sinusfilter sind im Strombereich von 6–65 A Nennstrom bei 380–440 V und 5,5–62 A Nennstrom bei 441–500 V erhältlich.*

dU/dt-Filter

dU/dt-Filter haben niedrigere L- und C-Werte und sind damit kostengünstiger und kleiner als Sinusfilter. Bei einem dU/dt-Filter ist der Spannungsverlauf noch immer pulsförmig, der Strom ist jedoch sinusförmig. dU/dt-Filter reduzieren die Spannungsanstiegsgeschwindigkeit der Impulse an den Motorklemmen, typisch auf ca. 500 V/µs.

Danfoss empfiehlt die Verwendung von dU/dt-Filtern in den folgenden Anwendungen:

- Anwendungen mit häufigem regenerativen Bremsen
- Motoren, die nicht für Frequenzumrichterbetrieb ausgelegt sind
- Motoren, die unter aggressiven Umgebungsbedingungen aufgestellt sind oder bei hohen Temperaturen betrieben werden
- Anwendungen mit Überschlagrisiko
- Systeme mit alten Motoren (Nachrüstung) oder Universalmotoren
- Anwendungen mit kurzen Motorkabeln (unter 15 m), da die Anstiegzeit kurz ist, wodurch hohe dU/dt-Werte entstehen. Diese können eine schädlich hohe Potentialdifferenz zwischen den Wicklungen im Motor hervorrufen, die zu Isolationsdurchschlag und -überschlag führen kann
- 690-V-Anwendungen

Ausgangsfilter IP20 (links) oder IP00 (rechts) reduzieren die Spannungsspitzen Upeak und die Spannungsanstiegsgeschwindigkeit dU/dt moderner Frequenzumrichter und schonen damit die Isolation des Motors.

Common Mode Filter

Gleichtaktfilter reduzieren elektromagnetische Störungen und Schäden an den Lagern durch elektrische Entladung. Bei Installation um die drei Motorphasen (U, V, W) reduzieren sie hochfrequente Gleichtaktströme. Als Ergebnis werden hochfrequente elektromagnetische Störungen vom Motorkabel verringert. Gleichtaktfilter sollten jedoch nicht als alleinige Abhilfemaßnahme verwendet werden, und selbst wenn Gleichtaktfilter verwendet werden, müssen die EMV-Installationsvorschriften befolgt werden. Die wichtigste Funktion ist die Verringerung hochfrequenter Ströme im Zusammenhang mit elektrischen Entladungen in den Motorlagern. Diese Entladungen tragen zu einem vorzeitigen Verschleiß und Versagen der Motorlager bei. Durch die Reduzierung oder sogar Eliminierung von Entladungen wird der Lagerverschleiß reduziert und die Lebensdauer verlängert. Dadurch werden Wartungskosten und Stillstandszeiten gesenkt.

Installieren Sie Gleichtaktfilter an den Ausgangsklemmen des Frequenzumrichters (U, V, W) oder im Motorklemmenkasten. Bei Installation an den Klemmen des Frequenzumrichters verringert der HF-CM-Satz sowohl die Lagerbelastung als auch hochfrequente elektromagnetische Störungen vom Motorkabel. Die Anzahl der Adern hängt in der Regel von der Länge des Motorkabels und der Spannung des Frequenzumrichters ab.

Hinweis: *Die Hochfrequenz-Gleichtaktfilter des Typs VLT® Common Mode Filter MCC 105 (HF-CM) sind nanokristalline Spezialmagnet-Ferrite, die höhere Filterleistungen als normale Ferrite aufweisen. Sie wirken wie eine Gleichtaktspule (zwischen Phasen und Erde) und eignen sich am besten für den hochfrequenten Anteil des Stroms.*

Common Mode Filter/Gleichtaktfilter

Übersicht der Ausgangsfilter

	Allpolige Filter	dU/dt-Filter	Sinusfilter	Common Mode Filter
Belastung der Motorisolation	Verringern die Belastung der Motorisolation – Liefern sinusförmige Spannung zwischen Phasen und Motorklemmen	Reduziert	Reduziert – Einsatz langer Motorkabel möglich Liefert eine sinusförmige Spannung zwischen Phasen und Motorklemmen. In der Regel geeignet für Universalmotoren mit Kabeln bis zu 500 m (1 km für VLT Baugrößen D, E und F)	Keine Reduzierung
Belastung der Motorlager	Reduzierung von Gleichtaktströmen	Leicht Reduziert	Reduziert Kreisströme, aber keine Gleichtaktströme	Reduziert Gleichtaktströme
Elektromagnetische Verträglichkeit	Reduzierung von Spitzen in Motorkabeln. Sichere EMV-Klassifizierung des Frequenzumrichters auch bei sehr langen, ungeschirmten Motorkabeln	Keine Änderung der EMV-Klasse	Keine Änderung der EMV-Klasse	Reduziert hochfrequente Emissionen (über 1 MHz). Keine Änderung der EMV-Klasse
Max. Motorkabellänge EMV konform		Herstellerabhängig.	Herstellerabhängig. FC 302: max. 150 m abgeschirmt. Mit angegebener EMV Konformität: 150 m geschirmt und 300 m ungeschirmt. Ohne zugesicherte EMV-Konformität bis zu 500 m (1 km für VLT Baugrößen D, E und F)	Herstellerabhängig. FC 302: max. 150 m geschirmtes Motorkabel
Max. Motorkabellänge EMV Nicht konform	Herstellerabhängig. FC 302: bis zu 1000 m ungeschirmtes Motorkabel	Herstellerabhängig. FC 302: max. 150 m ungeschirmtes Motorkabel	Herstellerabhängig. FC 302: max. 300 m ungeschirmtes Motorkabel	Herstellerabhängig. FC 302: max. 300 m ungeschirmtes Motorkabel
Taktfrequenzgeräusche am Motor	Reduziert	Kein Einfluss	Reduziert	Kein Einfluss
Relative Größe (zum Umrichter)	100 %	15–50 % (leistungsabhängig)	100 %	5–15 %
Spannungsabfall	4–10 %	0,5 %	4–10 %	Keine

Motorwirkungsgrad

Mindestwirkungsgradklassen (MEPS) von Motoren

Verbindliche Mindestwirkungsgrade
Für eine höhere Energieeffizienz in Anlagen hat die EU eine Reihe von neuen Regularien entwickelt, die sich auch auf die Wirkungsgrade eingesetzter Motorentechnik erstreckt.

Seit Sommer 2011 gelten in der EU verbindliche Mindestwirkungsgrad-klassen (MEPS) für Drehstromasynchron-motoren. Die EU-Gesetzgebung sieht eine schrittweise Erhöhung der Leistungsstandards für Motoreffizienz bis 2023 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).

Betroffene Drehstrommotoren
Die Einhaltung der MEPS ist verpflichtend für folgende Drehstromasynchronmotoren:

- Betriebsart S1 (Dauerbetrieb) bzw. S3 (Aussetzbetrieb) mit einem Arbeitszyklus (ED) >80 %.
- Polzahl 2 bis 6 (8 Pole ab 2021)
- Leistungsbereich 750 W bis 375 kW (0,12 bis 1000 kW ab 2021)
- Bemessungsspannung bis 1000 V

Die Einführung der MEPS soll zur Energieeinsparung beitragen. Allerdings kann in seltenen Fallen die Lösung auch mehr Energie verbrauchen. Deshalb sind in der EU-Verordnung Nr. 640/2009 technisch sinnvolle Ausnahmen für verschiedene Anwendungsgebiete enthalten. Hierzu gehören u. a.:

- Motoren in explosionsgeschützten Bereichen (im Sinne der ATEX-Richtlinie 2014/34/EU) und Bremsenmotoren. Ex eb-Motoren werden ab 2023 eingeschlossen.
- Spezielle Motoren für eine der folgenden Betriebsbedingungen:
  – Umgebungstemperaturen über 60 °C
  – Umgebungstemperaturen unter 15 °C (luftgekühlte Motoren 0 °C
  – Betriebstemperaturen über 400 °C
  – Kühlwassertemperaturen unter 5 °C oder über 25 °C
  – Betrieb über 4000 m über dem Meeresspiegel.
- 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 gilt in Europa der Motor nicht als integraler Bestandteil und wird separat gemessen. Ähnlich ist die Vorgehensweise bei Sondermotoren. Es wird der Basismotor gemessen und die Wirkungsgradklasse auf Varianten des Motors übertragen.

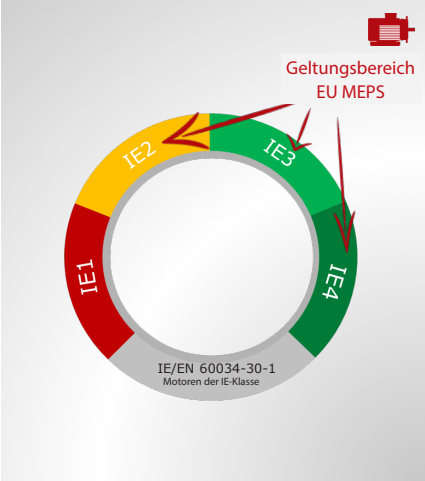
Alternativen zu den geforderten IE3-Motoren
Als Alternative zu den geplanten IE3-Klassen können Anwender auch umrichtergespeiste IE2-Motoren einsetzen. Die Einhaltung der Klasse IE3 oder der Alternative IE2 mit Umrichter muss der Anwender am „point of putting into service" sicherstellen. Ab 2021 entfällt die MEPS-Alternative. Ab diesem Zeitpunkt müssen die Motoren die Anforderungen des MEPS-Systems gemäß nachstehender Tabelle erfüllen.

Motorkompatibilität
Die neuen hohen Wirkungsgradklassen können bei IE2-, IE3- und IE4-Motoren zu einer größeren Bauform führen. Dies kann vor allem beim Austausch älterer Motoren ein Problem darstellen, wenn nicht genügten Raum bereitsteht, um bestehende Montagepunkte zu nutzen.

Getriebemotoren
Der Einsatz energieeffizienter Elektro-motore zum Betrieb von Getrieben ist heute Standard. Herstellerabhängig kann der Anwender zwischen verschiedenen Effizienzklassen wählen, die sein Antriebsmotor haben soll. Die Effizienzklasse des Motors bezieht sich allerdings nur auf den Motor und nicht auf die Kombination aus Getriebe und Motor.

Erhebliches Potenzial bietet die Wahl der Getriebeart. Stirnrad- und Kegelradgetriebe haben in der Regel deutlich bessere Wirkungsgrade als Schneckengetriebe. Verwendet der Betreiber anstelle von Schnecken-getrieben alternativ die ebenfalls kompakt bauenden Kegelradgetriebe, entstehen zunächst höhere Investitionskosten. Durch den besseren Wirkungsgrad und geringeren Flankenverschleiß amortisieren sich diese Kosten aber meistens in kurzer Zeit.

Gerade Getriebemotoren sind prädestiniert für den Betrieb an Frequenzumrichtern. Zum einen optimiert der Frequenzum-richter den Betrieb des Elektromotors, zum anderen kann der Betreiber durch ihn auf mechanische Verstellgetriebe verzichten.



Ecodesign für Motoren
Verordnung (EG) 2019/1781 definiert MEPS für Elektromotoren auf Grundlage von IEC/EN 60034-30-1

Die Anforderungen gelten für die meisten Asynchronmotoren, die diese Anforderungen erfüllen:

- Nennfrequenz 50 Hz, 60 Hz oder 50/60 Hz
- Betrieb bei sinusförmiger Spannung
- Leistungsbereich 0,12 –1000 kW
- Nennspannung bis 1000 V (1~ und 3~)
- Betriebsart S1, S3 oder S6 (ED >=80 %)
- 2 bis 8 Pole
- Höhe bis 4000 m
- Umgebungstemperatur bis zu 60 °C
- Umgebungstemperatur -30 °C oder 0 °C für wassergekühlte Motoren

IE-Klassifizierung von Motoren

Vorteil von PM-Motoren – höhere Energieeffizienz
Da das Erreichen immer höherer Wirkungsgrade bei Drehstromasynchronmotoren immer schwieriger wird, gewinnen zukünftig permanent erregte Synchronmotoren (PM-Motoren) an Bedeutung.

PM-Motoren sind Synchronmotoren mit meist am Rotor angebrachten Permanentmagneten. Solche Motoren kommen schon seit geraumer Zeit im Maschinenbau vor allem bei hochdynamischen Anwendungen in Form von Servoantrieben zum Einsatz. Im Vergleich zu Asynchronmotoren mit ähnlichen Wirkungsgraden (z. B. IE 3 oder IE4) sind PM-Motoren oft kompakter aufgebaut. Fallende Preise für die verwendeten Dauermagneten machen PM-Motoren auch für Anwendungen mit weniger dynamischen Anforderungen attraktiv.

Bei den jetzt aufkommenden PM-Motoren für Anwendungen in der Industrie steht aber ein anderer Aspekt im Vordergrund – die Energieeinsparung. Durch ihren im Vergleich zu Asynchronmotoren höheren Wirkungsgrad sorgen sie für mehr Energieeffizienz in der Anlage. Daneben bieten sie einige Vorteile wie zum Beispiel eine häufig geringere Baugröße bei gleicher Leistung, geringere Verluste, kleinere Massenträgheitsmomente, einen großen Drehmomentbereich und Drehzahlstellbereich.

Um diesen hohen Wirkungsgrad auch bei weniger dynamischen Anwendungen wie Lüftern oder Pumpen nutzen zu können, drängen jetzt PM-Motoren in IEC Normbaugrößen auf den Markt. Sie sind nicht auf hohe Dynamik, sondern auf Energieeinsparung hin optimiert und erlauben neben einer einfachen Integration in Neuanlagen ohne aufwändige Neukonstruktionen in vielen Fällen auch die Nachrüstung bestehender Anlagen.

Ob sich der Austausch von Drehstromasynchronmotoren gegen PM-Motoren wirtschaftlich rechnet, hängt von vielen Faktoren ab. Bei entsprechenden Untersuchungen sollte der Betreiber neben den Anschaffungs-, Umbau- und Energiekosten selbstverständlich auch Wartungs- und Ersatzmotorkonzepte betrachten.

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

VLT® AutomationDrive: PM-Motoren optimal steuern
Danfoss bietet verbesserte Regelalgorithmen für PM-Motoren, da der Rotorwinkel für die Regelung von PM-Motoren erforderlich ist. Dafür hat Danfoss beispielsweise eine Open-Loop-Lösung entwickelt, die bei Initialisierung die Winkelposition des Rotors ermittelt. Insgesamt ist damit die Inbetriebnahme eine PM-Motors nicht aufwendiger als das bestens bekannte Verfahren für Asynchronmotoren.

MEPS-Zeitplan

Jahr der Einführung	Minimum Efficiency Performance Standard in Europe			
	Motoren [1], [2]		Drives	
	Klasse	Leistungsbereich	Klasse	Leistungsbereich
2017	IE3/IE2 und VSD[3]	3~ 0,75–375 kW	Keine Anforderung	0,12–1000 kW
2021	IE2	3~ 0,12–0,75 kW	IE2	0,12–1000 kW
	IE3	3-phasig: 0,75–1000 kW		
2023	IE2	einphasig: ≥0,12 kW	IE2	0,12–1000 kW
	IE3	3-phasig: 0,75–75 kW und 200–1000 kW		
	IE4	3~ 75–200 kW		

[1] Für 3-phasige Motoren (2/4/6 Pole). Ab 2021 auch 8-polige Motoren. Für 1-phasige und Ex eb-Motoren gilt ab 2023 die Klasse IE2. IE4 nur für 2-, 4- und 6-polige Motoren.
[2] Teillastverluste für Frequenzumrichterbetrieb müssen seit dem 01. Juli 2022 angegeben werden.
[3] IE2 + Frequenzumrichter als Alternative für IE3 Motoren.

Danfoss Frequenzumrichter erfüllen alle Anforderungen hinsichtlich der IE2-Klassifikation für Frequenzumrichter.

Erfahren Sie mehr über Ökodesign

MyDrive® ecoSmart™-Berechnungstool

Energiekostenvorteil IE-Motor zur nächstbesseren IE-Klasse

Bewährte 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 U0/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 Oberschwingungen ist nicht notwendig.

Zur Auswahl und Dimensionierung von Kabeln 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.

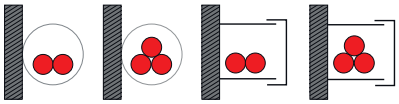
Motorkabellänge
Lange Motorkabel sind häufig in Chemie- und Pharmaanlagen anzutreffen. Oft sind Pumpen und Frequenzumrichter mehr als 100 m voneinander entfernt installiert. Bei der Projektierung ist hier der Spannungsabfall über die Kabellänge zu berücksichtigen. Planen Sie die Anlage so, dass auch bei langen Motorkabeln die volle Ausgangsspannung am Motor ankommt. Die mittlere Motorkabellänge, die an typische Frequenzumrichter angeschlossen werden kann, liegt zwischen 50 und 100 m. Auch dann steht bei Geräten mancher Hersteller nicht mehr die volle Ausgangsspannung zur Verfügung. Benötigen Anwender Kabellängen von mehr als 100 m, so gibt es wenige Hersteller, die diese Anforderung serienmäßig erfüllen. Falls dies nicht der Fall ist, müssen Sie zusätzliche Motordrosseln oder Ausgangsfilter vorsehen, die wiederum einen zusätzlichen Spannungsfall verursachen.

Energieeinsparungen
Der Spannungsfall und die (Wärme-) Verlustleistung eines Kabels sind 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.

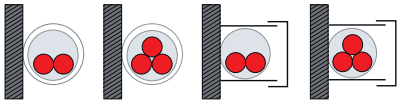
Kabel mit geeigneter Schirmung
Geschirmte Kabel sollten mindestens eine Schirmabdeckung von 80 % haben. Geeignete Kabeltypen sind zum Beispiel:
- Lapp Ölflex 100-CY
- Helu Y-CY-JB
- Helu Topflex-EMV-UV-2YSLCYK-J

Hinweis: *Fragen Sie den Hersteller nach der am Frequenzumrichter anschließbaren Kabellänge und dem zu erwartenden Spannungsfall.*
Hinweis: *An Frequenzumrichter der Serie VLT® AutomationDrive können Sie serienmäßig geschirmte Kabel bis 150 m und ungeschirmte Kabel bis 300 m Länge anschließen, bei voller Spannung am Motor!*

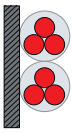
Verlegeart B1: Mantelleitung in Elektro-Installationsrohr oder geschlossenem Elektro-Installationskanal.

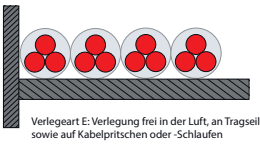


Verlegeart B2: Mehradriges Kabel oder mehradrige Mantelleitung in Elektro-Installationsrohr oder geschlossenem Elektro-Installationskanal



Verlegeart C: Direkte Verlegung an oder in Wänden/Decken oder in Kabelwannen





Verlegeart E: Verlegung frei in der Luft, an Tragseilen sowie auf Kabelpritschen oder -Schlaufen

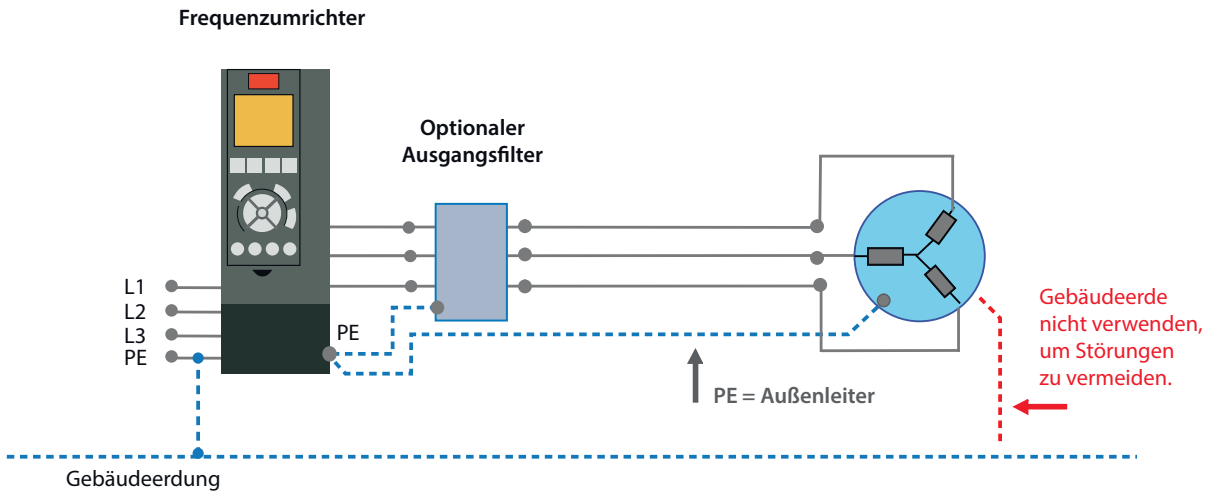
Strombelastbarkeit [A] für Tamb 40 °C				
Verlegeart mm²	B1	B2	C	E
1	10,3	10,1	11,7	12,4
1,5	13,5	13,1	15,2	16,1
2,5	18,3	17,4	21,0	22,0
4	24,0	23,0	28,0	30,0
6	31	30,0	36,0	37,0
10	44,0	40,0	50,0	52,0
16	59,0	54,0	66,0	70,0
25	77,0	70,0	84,0	88,0

Auszug aus der EN 60204-1, Strombelastbarkeit von Kabelquerschnitten.

Bewährte 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 bedingt durch den Skin-Effekt die Oberfläche, auf der hochfrequente Ströme abfließen. Denn die Stelle mit der geringsten Leiteroberfläche begrenzt das Ableitvermögen. Geerdete Flächen wirken als Schirmmaßnahmen und reduzieren im Umfeld elektromagnetische Felder.

Sternförmiges Erdungssystem
Der Motor sollte am Frequenzumrichter geerdet werden, der dann mit dem zentralen Erdungspunkt verbunden wird, z. B. mit einer Potenzialausgleichsschiene. Dieser zentrale Erdungspunkt ist eindeutig zu definieren.

Kontaktstellen
Kontaktstellen sind, von Farbe und Korrosion befreit, großflächig anzuschließen. Fächerscheiben sind dabei besser geeignet als Unterlegscheiben. Die Verwendung von verzinnten oder verzinkten 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: *Die Erdung des Systems hat einen wesentlichen Einfluss auf den reibungslosen und störungsfreien Betrieb einer Anlage. Brummschleifen sind zu vermeiden. Ein guter Potenzialausgleich ist eine unabdingbare Voraussetzung. Erstellen Sie bereits während der Planungs- und Projektierungsphase einen geeigneten Erdungsplan.*
Hinweis: *Zusätzliche Informationen finden Sie in unserer Broschüre EMV-Installationsmaßnahmen für Frequenzumrichter.*

Ausführung
Zur Sicherstellung einer ausreichenden Erdung sind die hier beschriebenen Erdungsmaßnahmen in der Praxis zu beachten.

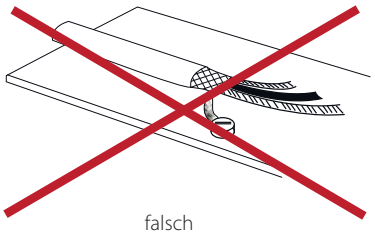
Schirmungsmaßnahmen

Bedeutung von Schirmungsmaßnahmen

Maßnahmen zur Abschirmung dienen der Reduzierung der abgestrahlten Störenergie (Beeinflussung benachbarter Anlagen und Komponenten) sowie der Verbesserung der Störfestigkeit eines Geräts selbst (Störfestigkeit gegenüber Beeinflussungen von außen).

Nachträglich sind sie nur mit erhöhtem Kostenaufwand (z. B. Kabelaustausch, zusätzliche Gehäuse) umzusetzen.
Zur Einhaltung gesetzlicher Grenzwerte machen in der Regel bereits die Hersteller von Frequenzumrichtern Angaben, inklusive Angaben zu zusätzlich erforderlichen Maßnahmen (z. B. geschirmte Kabel) Frequenzumrichter erzeugen an ihrem Ausgang Impulse mit großer Flankensteilheit. Diese enthalten hochfrequente Anteile (bis in den GHz-Bereich), die zu einer unerwünschten Abstrahlung über die Motorleitung führen. Deshalb sind als Motorleitung geschirmte Kabel einzusetzen. Das Schirmgeflecht hat die Aufgabe, die hochfrequenten HF-Anteile „einzufangen" und zur Störquelle, in diesem Fall zum Frequenzumrichter, zurückzuführen.

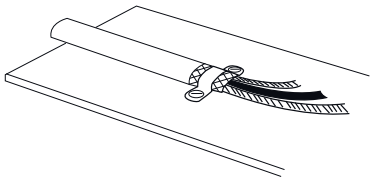
Geschirmte Kabel und Leitungen
Auch eine gute Schirmung, die die Grenzwerte einhält, eliminiert die Abstrahlung nicht völlig. Es ist mit elektromagnetischen Feldern im Nahbereich zu rechnen, die von in der Nähe befindlichen Bauteilen und Geräten störungsfrei ertragen werden müssen.
In Bezug auf die zulässigen Grenzwerte unterscheidet die Norm zwischen



falsch

dem Einsatz in der ersten Umgebung (Wohnbereich) und der zweiten Umgebung (Industriebereich).
Weitere Informationen finden Sie unter „***Grenzwerte nach Standort***".

Schirmanschluss
Eine wirksame Kabelschirmung lässt sich nur mit Rundumkontaktierung des Schirms erreichen. Dazu werden EMV- oder Erdungsverschraubungen sowie Erdungsschellen verwendet, die den Schirm ganz umfassen und großflächig mit Masse verbinden. Der Schirm selbst muss zum Erdungspunkt geführt und großflächig untergeklemmt sein, an den Leitungsenden ist er möglichst kurz zu halten.



richtig

Alle anderen Kontaktierungsmaßnahmen führen zu einer Verschlechterung der Wirksamkeit des Schirms. Häufig drehen Anwender die Kabelschirme am Ende zusammen (Pigtails) und verbinden sie über Klemmen mit Masse. Diese Art der Verbindung stellt für die hochfrequenten Anteile einen hohen Übergangswiderstand dar und führt Störungen nicht nur schlechter zur Quelle zurück, sondern strahlt sie vom Schirm wieder ab. Die Schirmwirkung wird dadurch um bis zu 90 % verringert!

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

Schirmungsmaßnahmen

Erdanschluss
Die Masseverbindung einer Schirmung hat einen wesentlichen Einfluss auf deren Wirkung. Daher sind bei der Montage von Gehäusen unter den Schrauben Fächerscheiben 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 mm^2 zum Einsatz, ist ein separater PE-Leiter mit mindestens 10 mm^2 vom Umrichter zum Motor zu führen.

Motorzuleitung
Um die Funkfrequenzstörgrenzwerte einzuhalten, sind Leitungen zwischen Frequenzumrichter und Motor je nach Herstellerangabe geschirmt zu verlegen und der Schirm beidseitig aufzulegen.

Signalleitung
Der Abstand zwischen Motorleitung und Signalleitung sollte mehr als 20 cm betragen. 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. Trennstege). Es können sonst Störungen eingekoppelt oder übertragen werden. Steuerkabel sollten Sie wie die Motorkabel beidseitig auflegen. In der Praxis könne Sie in Ausnahmefällen eine einseitige Auflage in Betracht ziehen. Sie ist aber nicht zu empfehlen.

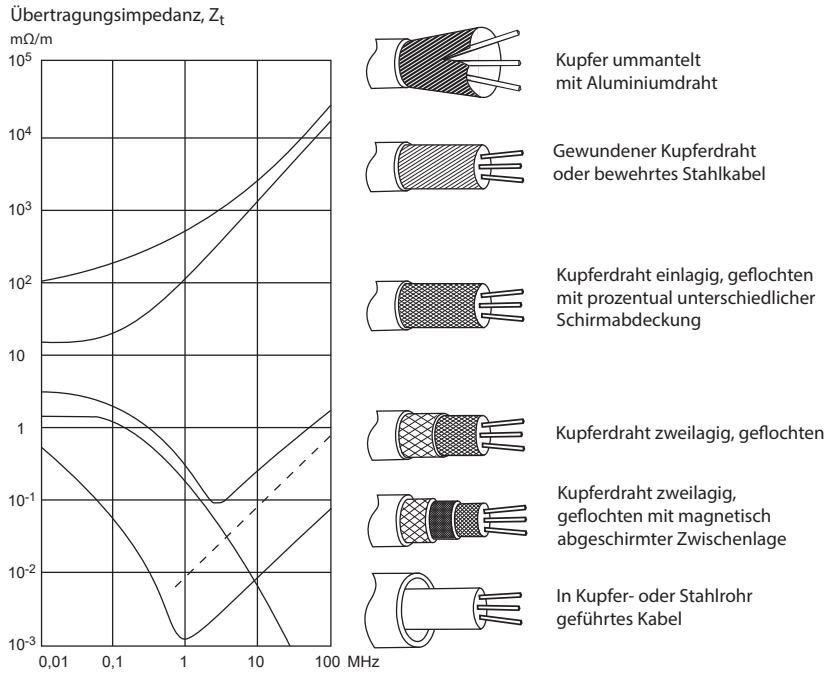
Schirmarten
Für die Schirmung der Leitung zwischen Frequenzumrichter und Motor empfehlen Hersteller von Frequenzumrichtern geschirmte Kabel. Bei der Auswahl sind zwei Kriterien wichtig: Schirmabdeckung und Schirmtyp.

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 Verbindungen 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).

Doppelt geschirmte Kabel verbessern die Dämpfung abgestrahlter und eingestrahlter Störungen noch weiter. Der Anschluss erfolgt beim inneren Schirm einseitig und beim äußeren zweiseitig. Verdrillte Leitungen reduzieren magnetische Felder. Signalleitungen lassen sich mit Doppelschirm und verdrillt einsetzen. Die Dämpfung steigt bei magnetischen Feldern von etwa 30 dB bei Einfachschirmung auf 60 dB bei Doppelschirmung und auf ca. 75 dB bei zusätzlichem Verdrillen.

Schirmgeflecht als Erdleiter?
Verwenden Sie das Schirmgeflecht nicht als Erdleiter.



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

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 oder DC-Zwischenkreisdrosseln 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 Netzrückwirkungen und hochfrequente Funkstörungen finden Sie in dieser Broschüre.

Hinweis: *Hochwertige Frequenzumrichter verfügen standardmäßig über qualitativ gute Maßnahmen zur Funkentstörung und Reduktion von Netzrückwirkungen. Diese Maßnahmen machen rund 15 bis 20 % des Preises für einen Frequenzumrichter aus.*

Funkstörungen

Empfehlungen für die Praxis
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 empfindliche Messungen nicht mehr störungsfrei möglich und/oder Messsignale verfälscht sind. Genau diese Fälle gilt es zu vermeiden. Um ein hohes Maß an Störsicherheit zu erreichen, empfiehlt es sich daher, Frequenzumrichter mit einem hochwertigen Funkentstörfilter einzusetzen. Dieser sollte die Kategorie C1 nach der Produktnorm EN 61800-3 erfüllen und damit die Grenzwerte der Fachgrundnorm EN 55011 nach Klasse B berücksichtigen. Kommen Funkentstörfilter zum Einsatz, die nicht der Kategorie C1 entsprechen, sondern nur den Kategorien C2 /C3/C4, so sind zusätzlich Warnhinweise auf den Frequenzumrichtern anzubringen.

Das Prüfungsinstitut legt bei einer Störung in jedem Fall zur Störungsbeseitigung die Grenzwerte A1/2 und B der Fachgrundnorm EN55011 entsprechend der Einsatzumgebung zugrunde. Die Kosten für die Beseitigung der EMV-Störungen trägt der Betreiber. Für die passende Zuordnung der Klassen in diesen beiden Normen ist letztendlich der Betreiber selbst verantwortlich.

Bedingt durch den Übertragungsweg Kabel, können sich leitungsgebundene Störungen bei unzureichenden Maßnahmen schnell in verschiedene Bereiche einer Installation ausbreiten. EMV-Störungen, die vom Gerät und Kabel selbst über die Luft abgestrahlt werden, sind dagegen räumlich gebunden. Mit jedem cm weiteren Abstand von der Störquelle nimmt ihre Intensität ab. Deshalb ist z. B. die EMV-gerechte Installation eines Umrichters in einem geeigneten Schaltschrank zur Begrenzung der abgestrahlten Störungen meist ausreichend. Für die leitungsgebundenen Störungen sollte der Betreiber aber immer einen geeigneten Filter vorsehen.

Für Funkentstörfilter gibt es in der Praxis zwei Lösungen. Es gibt Hersteller, die Funkentstörfilter bereits serienmäßig in die Geräte einbauen und 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.
Vor den Frequenzumrichter als Option installierte, externe 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 , die Verantwortung trägt der Errichter. Wichtig ist auch die maximal anschließbare Motorkabellänge, bei der der Frequenzumrichter die EMV-Grenzwerte noch einhält. In der Praxis reicht dies von 1 m bis zu 50 m. Verlängerte Motorkabel erfordern bessere EMV-Entstörfilter.

Hinweis: *Für einen störsicheren Betrieb des Antriebssystems gilt grundsätzlich die Empfehlung, Frequenzumrichter mit einem Funkentstörfilter nach Kategorie C1 einzusetzen.*
Hinweis: *Die Serie VLT® AutomationDrive 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.*
Der VLT® AutomationDrive hält C1 (leitungsgebunden) bis max. 50 m und C2 bis max. 150 m geschirmtes Motorkabel ein.

Netzrückwirkungen

Der DC-Zwischenkreis beeinflusst Netzrückwirkungen
Der zunehmende Einsatz von nichtlinearen Verbrauchern verschärft das Auftreten von Netzrückwirkungen. Diese Verbraucher entnehmen nicht sinusförmige Ströme aus dem Netz. Netzrückwirkungen bei Frequenzumrichtern entstehen vorwiegend durch Ladeströme für die DC-Zwischenkreiskondensatoren. Dabei fließt der Strom immer nur kurzzeitig in der Nähe des Netzspannungs-scheitelpunkts. Durch die hohe Stromstärke bricht die Netzspannung kurzfristig etwas zusammen, die Sinusform der Netzspannung geht verloren. Die Anforderungen sind in der Netznorm EN 61000-3-12 beschrieben. In Anwendungsfällen, in denen der Betreiber die Netzrückwirkungen auf THDi -Werte <10 % oder <5 % reduzieren muss, bieten optionale Filter und aktive Maßnahmen Möglichkeiten, um die Netzrückwirkungen fast vollständig zu bedämpfen.

Reduzierungsmaßnahmen
Um die 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 (AC- oder DC-Spulen)
Das übliche und im Hinblick auf die Kosten effektivste Verfahren, um Netzrückwirkungen zu reduzieren, ist der Einbau zusätzlicher Drosseln, entweder im DC-Zwischenkreis oder am Eingang von Frequenzumrichtern. Der Einsatz einer Netzdrossel im Frequenzumrichter dämpft den Stromfluss zur Aufladung der Zwischenkreiskondensatoren, setzt die Stromstärke (Amplitude) herab und reduziert die Verzerrungen der Netzspannung deutlich (weniger Netzrückwirkungen). Hochenergetische transiente Spannungsspitzen werden gedämpft. Bei kurzzeitigen Spannungseinbrüchen können hohe Ladeströme in die Zwischenkreiskondensatoren des Frequenzumrichters fließen. Netzdrosseln begrenzen diese Stromstöße. Zudem wird die Stromwelligkeit im Zwischenkreis vermindert, was sich günstig auf die Lebensdauer der DC-Zwischenkreiskondensatoren auswirkt. Die Intensität der Verzerrung der Netzspannung hängt auch von der Qualität des Netzes ab (Transformatorimpedanz und Netzimpedanzen). Als Faustformel für die angeschlossene Frequenzum-richterlast (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.

Hinweis: *Bei Frequenzumrichtern der Serie VLT® AutomationDrive ist die Netzdrossel als DC-Zwischenkreisspule ausgeführt und immer im Gerät integriert. Diese senkt den THDi von 80 auf 40 % und erfüllt damit die Anforderung der EN 61000-3-12. Die Wirkung ist dabei mit einer externen 3-Phasen-Netzdrossel (UK 4 %) vergleichbar. Der Frequenzumrichter kompensiert den Spannungsfall über die DC-Drossel. Die volle Spannung (400 V) steht somit dem Motor zur Verfügung (siehe auch* ***Eignung von Motoren für Frequenzumrichterbetrieb****).*

Bitte beachten Sie auch das Kapitel ***Drosseln*** *am Eingang oder im Zwischenkreis.*

Maximal 20 % Frequenzumrichterlast am Transformator bei FUs ohne Maßnahmen zur Netzrückwirkung, das bedeutet unverdrosselt oder gering verdrosselt (z. B. mit U_K 2 %)

Maximal 40 % Frequenzumrichterlast am Transformator bei FU mit Maßnahmen zur Netzrückwirkung, das bedeutet verdrosselt mit mindestens U_K 4 %

Die oben genannten maximalen Lastwerte sind Empfehlungen, die auf Erfahrung mit einem störungsfreien Systembetrieb basieren, wenn keine anderen Lösungen zur Oberschwingungsreduzierung, z. B. passive oder aktive Filter, verwendet werden.

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 Lüfter 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 Drive
Ein neuer Weg ist der Einsatz von aktiven elektronischen Filtersystemen. Diese basieren auf verbesserten Halbleitern und moderner Mikroprozessortechnik, messen permanent die Netzqualität und speisen mittels einer aktiven Stromquelle gezielt einen Komplementärstrom ins Netz ein. Das Ergebnis ist in Summe wieder ein sinusförmiger Strom.

Der Aufbau dieser neuen Filtergeneration ist im Vergleich zu den bisher genannten Filtern vergleichsweise aufwendig und teurer, da eine hoch auflösende und schnelle Datenerfassung und hohe Rechnerleistung erforderlich sind.

12-, 18- und 24-pulsige Gleichrichter
Frequenzumrichter mit Gleichrichterschaltungen höherer Pulszahl sind in der Praxis eher im größeren Leistungsbereich anzutreffen. Zum Betrieb ist ein spezieller Transformator erforderlich.

Empfehlung
Es besteht keine grundlegende Empfehlung für eine der oben dargelegten Maßnahmen zur Reduzierung der Netzrückwirkungen. Wichtig ist, bereits während der Planungs- und Projektierungsphase die Weichen für ein Antriebssystem mit hoher Verfügbarkeit und geringen Netzrückwirkungen und Funkstörungen richtig zu stellen. Prinzipiell gilt:
Vor der Entscheidung, welche der genannten Reduktionsmaßnahmen zum Einsatz kommt, müssen folgende Faktoren sorgsam analysiert werden:

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

Oberschwingungsarme Frequenzumrichter sind eine Kombination aus Frequenzumrichter und einem eingebauten, zum Netz hin wirkenden aktiven Filter.

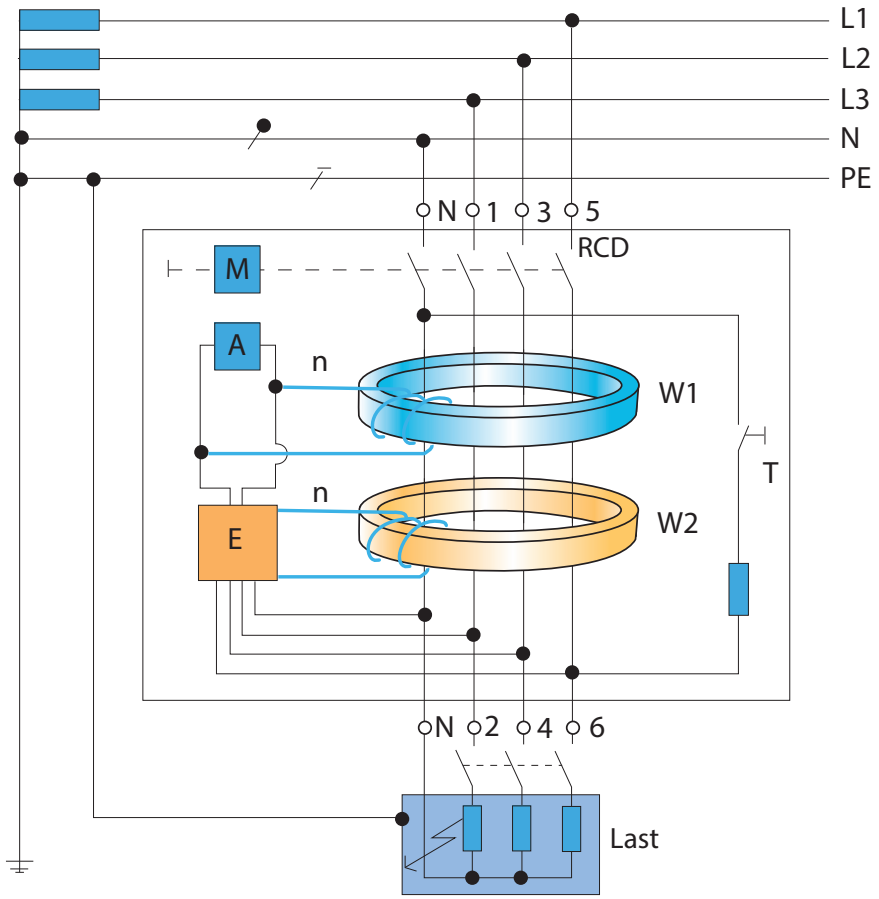
RCD-SCHUTZSCHALTER

Allstromsensitive RCD

International werden diese Geräte als Residual Current operated Circuit-Breaker (RCCB) bezeichnet. Der übergeordnete Begriff lautet Residual Current operated Device (RCD) nach EN 61008-1.
Sie müssen FI-Schutzeinrichtungen in allstromsensitiver Ausführung verwenden, falls Sie im abzusichernden Bereich Geräte einsetzen, die im Fehlerfall einen glatten Gleichstrom erzeugen können. Dies trifft auf alle elektrischen Betriebsmittel zu, die eine B6-Gleichrichterbrücke (z. B. Frequenzumrichter) am Drehstromnetz nutzen.

Ein allstromsensitiver (AC/DC) 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.

Höhe des Ableitstromes
Verschiedene Faktoren beeinflussen die Höhe des auftretenden Ableitstromes. Generell gilt, die Höhe der Ableitströme, die im Frequenzumrichter und Motor auftreten, ist eine Funktion der Leistung.



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

Erdung und Motorschutz

Erdungsmaßnahmen in der Praxis

Die Erdungsmaßnahmen finden Sie im Kapitel „Motor und Verkabelung" 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.

EMV-Filter produzieren Ableitströme, die im Fehlerfall (Phasenausfall, Schieflast) erheblich über die Nennwerte ansteigen können.

Um gefährliche Spannungen zu vermeiden, sind Filter daher vor dem Einschalten des Stroms zu erden.

Frequenzumrichter erzeugen in der Regel Ableitströme > 3,5 mA. Wenn dieser Grenzwert gemäß EN 61800-5-1 überschritten wird, gilt Folgendes:

- der Schutzleiter muss ≥10 mm² sein oder
- der Schutzleiter muss auf Unterbrechung überwacht werden oder
- die Schutzleiterader sollte Teil eines Netzkabels mit einem Industriestecker sein oder
- ein zweiter Schutzleiter muss zusätzlich verlegt werden.

Es handelt sich bei Ableitströmen um hochfrequente Störgrößen. Diese erfordern Erdungsmaßnahmen, die niederohmig ausgeführt, großflächig angeschlossen und auf kürzestem Weg mit dem Erdpotential zu verbinden sind.

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

Hinweis: *Aufgrund der erzeugten Ableitströme >3,5 mA schreibt die EN 61800-5-1 besondere Erdungsmaßnahmen vor.*

Motorschutz und Motorthermistor

Frequenzumrichter übernehmen den Motorschutz gegen Überstrom. Für bestmöglichen thermischen Motorschutz kommen Thermistorfühler oder Thermokontakte in der Motorwicklung zum Einsatz. Thermistoren nach DIN 44081 bzw. DIN 44082 sind so ausgelegt, dass beim Erreichen ihrer Norm-Ansprechtemperatur (NAT) ihr Widerstandswert in einem bestimmten Bereich (NAT - 5 °C < 550 Ω / NAT + 5 °C > 1330 Ω) liegt. Viele Umrichter verfügen über geeignete Funktionen zur Auswertung dieser Thermoelementen. Bei Motoren in explosionsgefährdeten Bereichen darf der Thermistor nur mit zugelassenen Auslösegeräten geprüft werden.

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

Hinweis: *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 Grundschutz für den Motor zu gewährleisten.*

Hinweis: *Beim VLT® AutomationDrive sind als Standard die Klemmen 50 und 54 für den Anschluss von Thermistoren vorgesehen. Der Anschluss ist geeignet für eine Motortemperaturüberwachung mit 3 bis 6 PTCs.*

Sonderfall: Mehrmotorenbetrieb

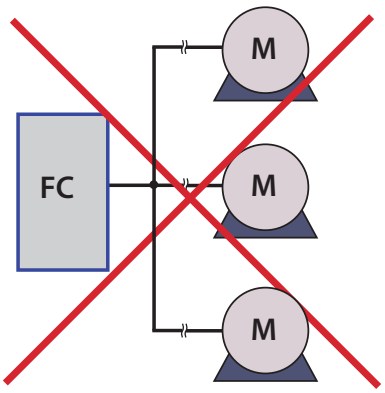
Design
Ist es das Ziel des Betreibers, mehrere Motoren an einem Frequenzumrichter gleichzeitig parallel zu betreiben, so gilt für die Auslegung folgendes:

- Die Nennströme und die Leistungen der einzelnen Motoren sind jeweils zu addieren.
- Die Auswahl eines geeigneten Frequenzumrichters erfolgt auf Grundlage der summierten Leistungen und Ströme.
- Für den Motorschutz muss der Betreiber die Thermistoren der Motoren durchschleifen. Der Frequenzumrichter wertet dann dieses durchgeschleifte Signal aus.
- Die angeschlossenen Motoren arbeiten dann bei derselben Drehzahl. Das heißt, der Frequenzumrichter steuert sie alle mit derselben Frequenz und derselben Spannung an.
- Prüfen Sie die maximale Motorkabellänge aller parallelgeschalteten Motoren.
- Verwenden Sie am Frequenzumrichterausgang einen Sinusfilter.

Hinweis: *Wegen sich addierender Widerstände der in Reihe zu schaltenden Wicklungsthermistoren ist es nicht sinnvoll, die Thermistorauswertung des Frequenzumrichters als Motorschutzfunktion für mehr als zwei parallel betriebene Motoren zu nutzen! Beachten Sie auch die Anweisungen zum* ***Motorschutz***

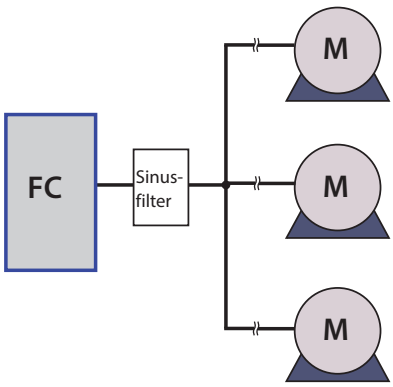
Kabelführung

Zu vermeiden



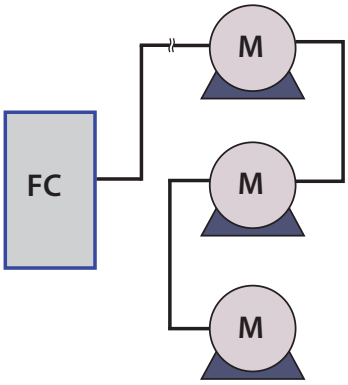
Bei Mehrmotorenbetrieb zu vermeiden: Parallele Leitungen erzeugen zusätzliche Kapazitäten. Daher sollte der Anwender auf jeden Fall auf diese Art des Anschlusses verzichten.

Empfehlung



Die Kabelladeströme zwischen den Phasen sind geringer, da ein LC-Filter die Schaltfrequenzen entfernt. Dies ermöglicht den Parallelanschluss von Motoren, notfalls auch mit einem längeren, parallel geführten Motorkabel.

Empfehlung



Empfehlung für Mehrmotorbetrieb: Schleifen Sie das Motorkabel von Motor zu Motor durch.

Auslegung der Frequenzumrichter

Basisauslegung

In der Praxis legen Planer und Betreiber Frequenzumrichter immer wieder ausschließlich nach der Leistung in kW aus. Grundsätzlich muss die Auswahl aber aufgrund des jeweiligen Motornennstroms Inenn bei der höchsten 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 Pnenn 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.

Hinweis: *Ein 11-kW-Frequenzumrichter der VLT® AutomationDrive-Serie hat einen Nennstrom von 24 A bei normaler Überlasteinstellung. 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 ausreichende Motorspannung zur Verfügung stellen. Im 400 V Spannungsnetz sind das volle 400 V bei 50 Hz am Motorklemmbrett. Es gibt immer noch Frequenzumrichter auf dem Markt, die dazu nicht in der Lage sind (siehe auch ***Motoreignung für FU-Betrieb***). Wegen des Spannungsfalls an Filtern, Spulen und beim Motorkabel reduziert sich die Ausgangsspannung am Motor, z. B. auf 390 V. Hier benötigt der Motor einen höheren Strom, um die geforderte Leistung zu erreichen. Mit dem Strom nehmen die Wärmeverluste quadratisch zu, der Motor erwärmt sich stärker, seine Lebensdauer sinkt. Dazu muss der Anwender auch den höheren Strombedarf bei der Auslegung berücksichtigen.

Hinweis: *Beim VLT® AutomationDrive sorgt ein spezielles Modulationsverfahren für die volle Motorspannung. Selbst bei bis zu 10 % Unterspannung am Netz werden Motornennspannung und Motornenndrehmoment aufrechterhalten.*

Konstantes oder quadratisches Drehmoment

Die durch den Motor angetriebene Last ist ausschlaggebend für die Auswahl des richtigen Frequenzumrichters. Zu unterscheiden sind Lasten mit quadratisch zur Drehzahl ansteigender Drehmomentkennlinie und solche, die über den gesamten Arbeitsbereich, also auch schon bei niedrigen Drehzahlen, dem Motor ein hohes Drehmoment abfordern können.

Zu Anwendungen mit konstantem Moment gehören solche, bei denen sich die Last nicht groß mit der Drehzahl verändert. Hierzu zählen Förderbänder, Extruder und Mischer. Die von einem solchen System benötigte Leistung ist proportional zum erforderlichen Drehmoment und zur Drehzahl des Motors. Ist es möglich, die Drehzahl bei einer konstanten Last zu reduzieren, ergeben sich direkt auch energetische Einsparungen. Ist eine Anpassung der Geschwindigkeit nicht möglich oder nicht erwünscht, ergeben sich bei den meisten Frequenzumrichtern dennoch energetische Einsparungen. Sie regeln abhängig von der Last die Ausgangsspannung des Motors. Die Güte einer solchen Regelung wird von der Qualität des Umrichters bestimmt.

Anwendungen mit quadratischem Drehmoment beinhalten häufig Pumpen und Lüfter, d. h. Strömungsmaschinen. Bei solchen Geräten kann die erforderliche Leistung durch Verringerung der Drehzahl kubisch verringert werden.

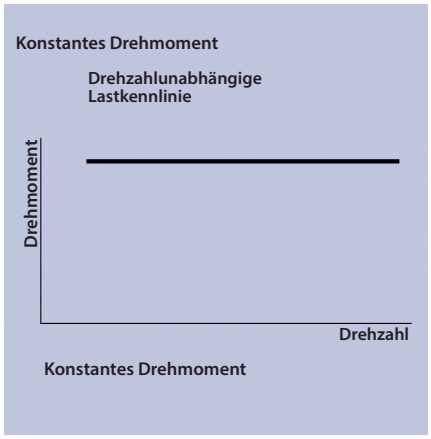
Um Überraschungen bei der Drehzahlregelung von Pumpen und Lüftern zu vermeiden, sollte der Betreiber in der Projektierungsphase beachten, dass sich mit Änderung der Drehzahl auch der Arbeitspunkt und somit der Wirkungsgrad der Strömungsmaschine ändert.

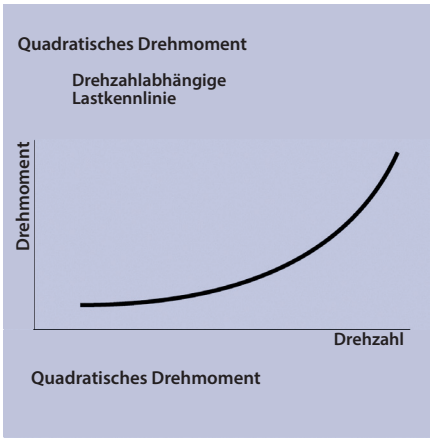
Im Zusammenspiel aus Strömungsmaschine und Umrichter ergibt sich ein Drehzahlbereich, in dem das System Energie spart. In diesem Bereich sollte die Maschine die meiste Zeit laufen. Ist der Unterschied zwischen der maximal benötigten Leistung und dem durchschnittlichen Teillastbetrieb zu groß, ist es sinnvoll, eine Kaskadierung der Anlage vorzunehmen. Dabei deckt eine drehzahlgeregelte Pumpe die Grundlast ab. Steigt der Verbrauch, schaltet der Frequenzumrichter weitere Pumpen nacheinander zu. Die Pumpen arbeiten so möglichst in ihrem Wirkungsgradoptimum. Die Regelung einer Pumpe sorgt immer für die energetisch beste Ausnutzung des Systems.
Das gleiche System kann analog auch bei Lüftern angewendet werden. Oft rechnen sich auch bei einem Umbau der bestehenden Anlage die Investitionen nach kurzer Zeit.

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

Lastkennlinien verschiedener Anwendungen

Zuordnung von Kennlinien zu Anwendungen





Anwendungen mit konstantem Drehmoment (hohes Anlaufmoment)

- Axialkolbenverdichter
- Drehkolbenverdichter
- Externe Schneckenpumpen (Anlaufmoment beachten!)
- Kolbenpumpen
- Rührer
- Schlammentwässerungspressen
- Verdichter (außer Turboverdichtern)
- Verdrängerpumpen
- Zahnradpumpen
- Flügelzellenpumpen
- Verdichter
- Förderbänder
- Zentrifugen
- Hebezeuge und andere Flurförderzeuge
- Extruder

Anwendungen mit quadratischem Drehmoment

- Kreiselpumpen
- Brunnenpumpen
- Druckerhöhungspumpen
- Filterbeschickungspumpen
- Grundwasserpumpen
- Heißwasserpumpen
- Heizungspumpen (Primär- und Sekundärkreislauf)
- Kanalimpellerpumpen (Feststoffe)
- Kühlwasserpumpen (Primär- und Sekundärkreislauf)
- Regenbeckenentleerungspumpen
- Rücklaufschlammpumpen
- Tauchpumpen
- Turboverdichter
- Unterwasserpumpen
- Überschussschlammpumpen
- Lüfter

Hinweis: *Erfragen Sie beim Pumpen-/Motorenhersteller die Drehmomentkennlinie.*

Bedienung und Datenanzeige

Einfaches Bedienkonzept

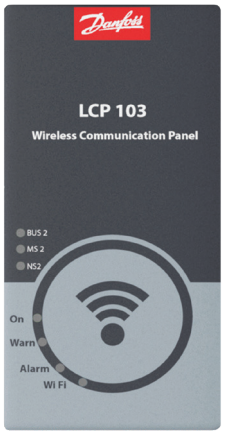
Die grundlegende Technik aller Frequenzumrichter ist gleich, daher spielt die Bedienerfreundlichkeit eine entscheidende Rolle. Viele Funktionen sowie die Integration in Maschinen und Anlagen erfordern ein einfaches Bedienkonzept. Es soll alle Anforderungen für eine einfache und zuverlässige Konfiguration 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 hierzu wie die Zugriffsmöglichkeiten über Software, Feldbusse oder sogar Fernüberwachung über das Internet oder Mobilgeräte bzw. Tablets.

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

Grafische Bedieneinheiten bieten Bedienkomfort und Informationen im Klartext.

LCP102



LCP103 WLAN

VACON® Display

Bedienung und Anzeigen

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

Übersichtliche Anzeige
Ideal ist dafür ein grafisches Display, das die Bedienung in der jeweiligen Landessprache erlaubt und in der Grundfunktion die für die jeweilige Applikation wesentlichen Parameter anzeigt. Diese Statusinformationen müssen sich für eine gute Übersichtlichkeit auf die absolut notwendigen Parameter beschränken und jederzeit anzupassen bzw. zu ändern sein. Hilfreich ist auch die Möglichkeit, entsprechend dem Kenntnisstand der Bediener bestimmte Funktionen zu sperren oder auszublenden und nur jene 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
Im Industriebereich 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. Generell gilt, je einfacher die Bedienung, desto schneller und effektiver kann eine Inbetriebnahme oder eventuelle Fehlersuche und -behebung erfolgen. Bewährt haben sich daher Konzepte mit während des Betriebs steckbaren Bedieneinheiten.

Hinweis: *Achten Sie bei der Projektierung auf das richtige Bedienkonzept der zu projektierenden Frequenzumrichter. Vorteilhaft ist eine Auslegung, die größtmöglichen Bedienkomfort beim Parametrieren und Programmieren bietet, denn heute sind sowohl die Funktionalität des Frequenzumrichters als auch schnelle, einfache und bedienerfreundliche Bedienung wichtig. Nur so reduzieren sich der Aufwand und damit die Kosten für die Einarbeitung und die späteren Zugriffszeiten der mit den Frequenzumrichtern arbeitenden Mitarbeiter.*

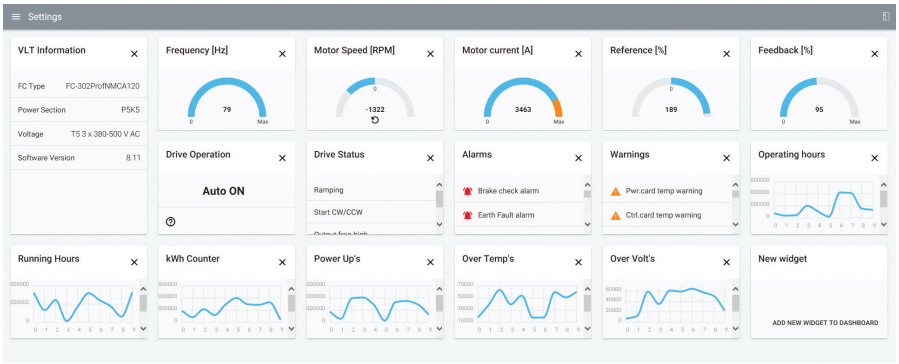
Einbau in die Schaltschranktür
In vielen Anlagen, in denen Frequenzumrichter im Schaltschrank installiert sind, sollen Anlagenbauer zur Prozessvisualisierung die Bedienteile in die Schaltschranktür integrieren. Dies ist nur bei Frequenzumrichtern möglich, die eine abnehmbare Bedieneinheit haben. Mittels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

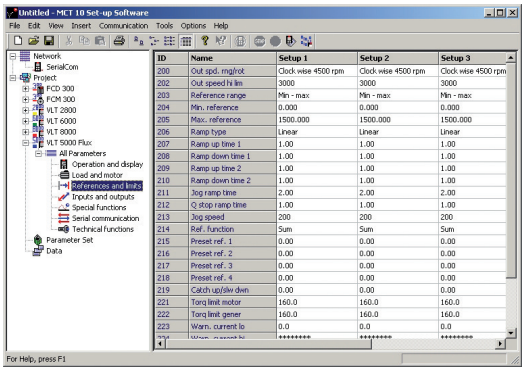
Frequenzumrichter lassen sich auch bei geschlossener Schaltschranktüre parametrieren und auslesen.

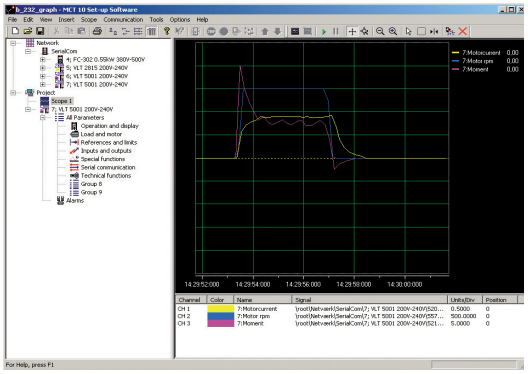
Bedienung und Parametrierung mittels PC

Erweiterte Möglichkeiten
Neben der Bedienung über ein Bedienteil bieten moderne Frequenzumrichter in der Regel, die Möglichkeit der Parametrierung und des Auslesens von Daten über eine PC-Software. Diese Software läuft meistens unter Windows und unterstützt mehrere Kommunikationsschnittstellen.
Sie erlauben den Datenaustausch über die klassische RS-485-Schnittstelle, über Feldbus (PROFIBUS DPV1, PROFINET, Ethernet, etc.) oder über eine USB-Schnittstelle. Eine übersichtliche Bedienoberfläche vermittelt 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 Produkthandbücher zuzugreifen.

Hinweis: *Mit der MCT 10 Software steht ein Windows-basiertes Engineering Tool für einfachere Projektierung, Parametrierung und Programmierung der VLT® AutomationDrive-Serie bereit. Die Basisversion der Software ist kostenfrei und kann von der Webseite https://suite.mydrive.danfoss.com/content/tools heruntergeladen werden*







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

Datenaustausch

Hochverfügbarkeitssysteme

Permanente(r) Zugang zu und Verfügbarkeit von Anlagen und Maschinen sind ein absolutes Muss für profitable Geschäftssysteme. Bei Automatisierungssystemen, bei denen hohe Verfügbarkeit erforderlich ist, unterstützt Danfoss eine Reihe von Technologien, um hohe Verfügbarkeit und lange störungsfreie Betriebszeiten zu bieten.

Danfoss bietet unterbrechungsfreie Datenübertragung auf der Grundlage von Redundanzprotokollen wie MRP (Media Redundancy), DLR (Device Level Ring) und redundanten Feldbussystemen. Dadurch wird vermieden, dass ein einzelner Fehler im Ethernet-basierten Netzwerk zu einem Kommunikationsausfall der Frequenzumrichter führt.

Steuerungsredundanz wird in Systemen eingesetzt, in denen ein einzelner Steuerungsausfall zum vollständigen Stillstand und zu hohem Produktionsausfall oder sogar zu Schäden an der Umgebung führen würde. Danfoss unterstützt einfache Steuerungsredundanz in Modbus TCP und für die anspruchsvollste Anwendung über PROFINET IO Systemredundanz S2, wodurch eine hohe Verfügbarkeit für kritische Systeme sichergestellt wird.

Bussysteme
Moderne Frequenzumrichter sind intelligent und damit in der Lage viele Funktionen in Antriebssystemen zu übernehmen. Dabei lässt sich das volle Potential von Frequenzumrichtern einfach ausschöpfen, indem Anwender sie mittels einer Feldbusanbindung in ihre Anlage integrieren. Mit nur einem einzigen Hardware-Datenpunkt haben sie dann den vollen Zugriff auf alle Objekte des angeschlossenen Frequenzumrichters. Inbetriebnahme und Verdrahtung vereinfachen sich, was bereits bei der Installation zu Kosteneinsparungen führt. Ohne zusätzliche Komponenten steht eine Vielzahl von Daten für ein effektives Anlagenmanagement zur Verfügung. Die Aufschlüsselung der Sammelstörmeldungen ermöglicht es, bereits aus der Ferne Ursachen einzugrenzen und die richtigen Schritte zur Fehlerbehebung einzuleiten.

Besseres Alarmmanagement
Detaillierte Alarmmeldungen vereinfachen die Lokalisierung möglicher Fehlerursachen und unterstützen somit wirksam die Anlagenfernüberwachung. Durch Fernüberwachung über das Internet ist es möglich, Zustands-, Fehler- und/oder Störungsmeldungen auch von entlegenen Anlagen oder Anlagenteilen schnell zu visualisieren.

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

Einsparung bei der Installation
- Nicht jeder Frequenzumrichter benötigt ein eigenes Display. Der Anwender/Betreiber hat bereits über das Leitsystem Zugriff auf alle relevanten Daten des Frequenzumrichters.
- Vereinfachte Verdrahtung durch Zweileiterverbindung.
- Nicht genutzte Ein- und Ausgänge des Frequenzumrichters können als E/A fungieren und andere Komponenten wie z. B. Messfühler, Filter und Endschalter in das Leitsystem integrieren.
- Wegfall von Ein- und Ausgabebaugruppen, da zur Ansteuerung der Frequenzumrichter wenige Steuerbytes ausreichen.
- Überwachungsfunktionen wie Motorthermistorüberwachung, Trockenlaufschutz usw. sowie Leistungs- und Betriebsstundenzähler stehen ohne zusätzliche Komponenten zur Verfügung.

Vereinfachte Inbetriebnahme
Die Parametrierung erfolgt von der Leitwarte aus. Alle Einstellungen lassen sich schnell und einfach von Frequenzumrichter zu Frequenzumrichter kopieren. Eine Sicherung der Einstellung kann dauerhaft im Speicher des Displays abgelegt werden.
Planer und Inbetriebnahmepersonal können die Einstellungen auf Knopfdruck dokumentieren.

Verfügbare Feldbusse

PROFIBUS DP V1
DeviceNet
CANopen
PROFIBUS-Frequenzumrichter VLT 3000
PROFIBUS-Frequenzumrichter VLT® 5000
PROFINET
EtherNet/IP
Modbus TCP
POWERLINK
EtherCat
PROFIsafe

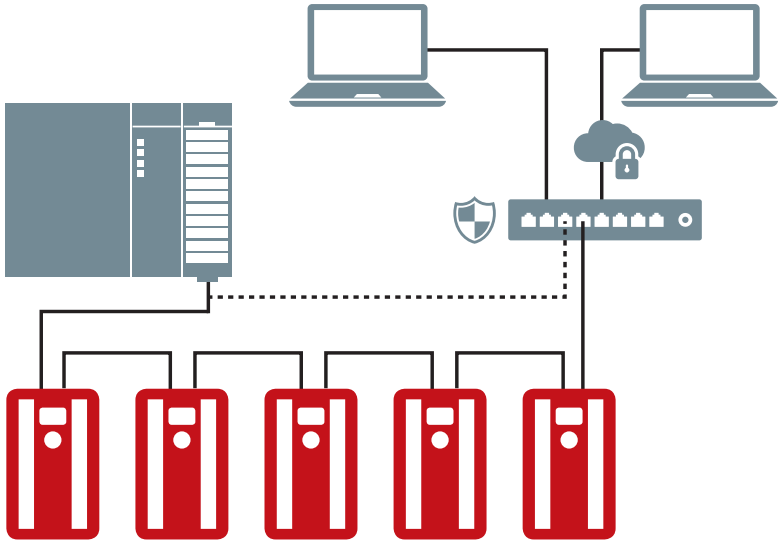
Web-Server
Der Frequenzumrichter FC300 mit Ethernet-basiertem Feldbus bietet einen integrierten Webserver. Er gibt Ihnen Zugriff auf Frequenzumrichterstatistiken, Fehlerinformationen, Netzinformationen und statistische Daten. Der WEB-Server kann Ihnen eine E-Mail-Benachrichtigung senden, wenn eine Störung oder Warnung auftritt. Die Bedieneroberfläche ermöglicht die einfache Nutzung und Sie erhalten die wichtigsten Informationen für Ihre Anwendung übersichtlich auf einem konfigurierbaren Dashboard. Es handelt sich um eine anpassungsfähige Webseite, deren Layout sich je nach Größe und Möglichkeiten des verwendeten Geräts ändert.

PROFIenergy
PROFIenergy ist eine Energiemanagement-Norm für Produktionsanlagen, die auf dem PROFINET-Kommunikationsprotokoll basiert. Frequenzumrichter des Typs FC300 unterstützen PROFIenergy-Funktionen. Durch den Wegfall externer Geräte und Energieeinsparungen selbst in kurzen Pausen durch abgestimmtes Schalten sparen wir Kosten.

Fernzugriff auf den Frequenzumrichter

Auf dem Weg zu Industrie 4.0 gewinnen Echtzeitinformationen in industriellen Automatisierungs- und Steuerungssystemen immer mehr an Bedeutung. Der sofortige Zugriff auf Daten sorgt in Produktionsanlagen für mehr Transparenz und bietet gleichzeitig die Möglichkeit, die Systemleistung zu optimieren, Systemdaten zu erheben und zu analysieren und zu jeder Tages- oder Nachtzeit und an jedem Ort der Welt Fernsupport leisten zu können.

Unabhängig von Ihrer Anwendung oder Ihrem bevorzugten Kommunikationsprotokoll verfügen Frequenzumrichter über zahlreiche verschiedene Kommunikationsprotokolle, aus denen Sie wählen können. So können Sie sicher sein, dass sich der Frequenzumrichter nahtlos in Ihr System einfügt und Ihnen das gewünschte Maß an Kommunikationsfreiheit garantiert.



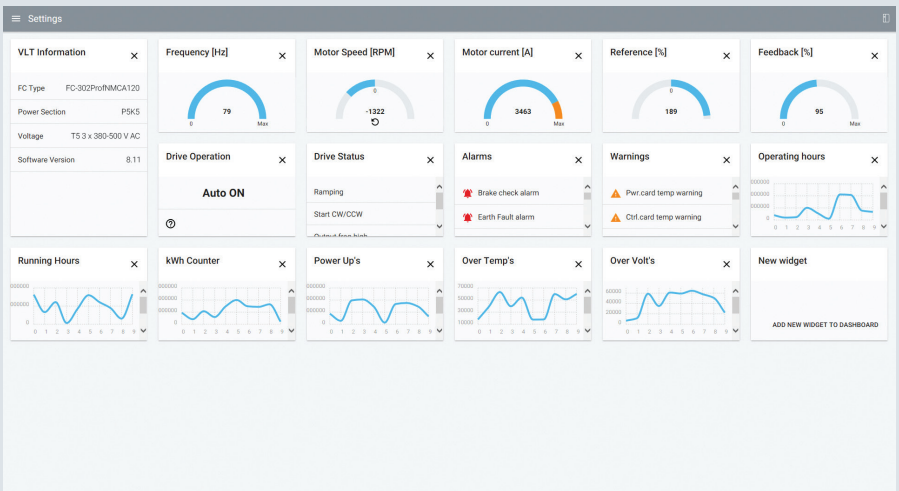
Steigerung der Produktivität

Die Feldbuskommunikation ermöglicht die Reduzierung der Investitionskosten für Produktionsanlagen. Neben den Einsparungen aufgrund der deutlich reduzierten Verkabelung und der geringeren Anzahl an Schaltschränken sind Feldbusnetze einfach zu warten und bieten eine gesteigerte Systemleistung.

Benutzerfreundlich und schnell einzurichten

Sie konfigurieren die Feldbusse von Danfoss über die LCP-Bedieneinheit des Frequenzumrichters, die über eine benutzerfreundliche Bedienoberfläche in vielen Sprachen verfügt. Alternativ lassen sich Frequenzumrichter und Feldbus auch mit der Software konfigurieren, welche die jeweilige Umrichter-Familie unterstützt. Um die Integration in Ihr System noch einfacher zu gestalten, hält Danfoss Drives auf der Unternehmenswebseite kostenlos Feldbus-Treiber und Beispiele für die Integration in eine SPS bereit.

Web-Server Dashboard

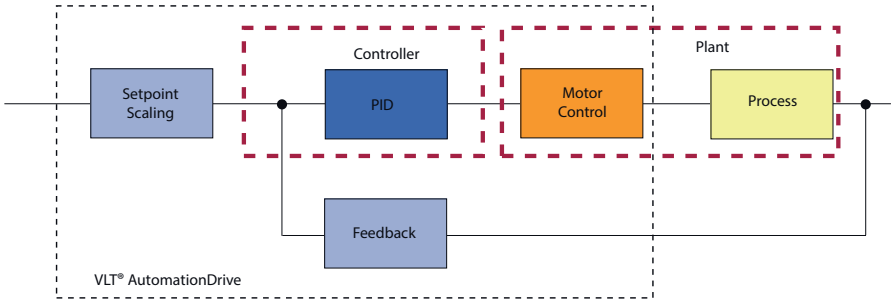


PROFINET · ETHERNET POWERLINK · DeviceNet · CANopen · PROFIBUS · EtherCAT · EtherNet/IP · Modbus

Weitere Auswahlfaktoren

Prozessregler

Moderne Frequenzumrichter sind intelligente Antriebsregler. Sie sind in der Lage Aufgaben oder Funktionen der DDC zu übernehmen. Durch implementierte Prozessregler lassen sich auch unabhängige Regelkreise mit hoher Genauigkeit aufbauen. Dieser Aspekt ist besonders attraktiv im Rahmen von Nachrüstungen, wenn keine ausreichende SPS-Kapazität verfügbar oder überhaupt keine SPS vorhanden ist. Die Versorgung aktiver Messwandler (Istwertgeber für Durchfluss, Druck oder Pegelstand) kann dabei über die 24-V-DC-Steuerspannung des Frequenzumrichters erfolgen, wenn eine ausreichende Versorgungsleistung gegeben ist.



PID-Prozessregler, Prinzipdiagramm

Wartung

Die meisten Frequenzumrichter sind nahezu wartungsfrei. Bei Frequenzumrichtern höherer Leistung sind Filtermatten eingebaut, die Betreiber je nach Staubbelastung von Zeit zu Zeit reinigen müssen. Es gilt allerdings zu beachten, dass Hersteller einiger Frequenzumrichter Wartungsintervalle für Kühlluft-ventilatoren (ca. 3 Jahre) und Kondensatoren (ca. 5 Jahre) angeben.

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 DC-Zwischenkreis des Geräts. Je nach Qualität der eingesetzten Kondensatoren altern sie langsamer oder schneller. Die Formierung wirkt diesem Prozess entgegen.

Installieren Sie Frequenzumrichter niemals direkt in Ex-gefährdeten Bereichen. Die Installation muss außerhalb dieser Zone in einem Schaltschrank oder Schaltanlagenraum erfolgen. Der Einsatz von Sinusfiltern am Frequenzumrichterausgang wird ebenfalls empfohlen, da diese die Spannungsanstiegsgeschwindigkeit dU/dt und die Spitzenspannung Upeak dämpfen. Die Länge des angeschlossenen Motorkabels ist aufgrund des Spannungsfalls im Kabel und dem Sinusfilter möglichst kurz zu halten.

Lesen Sie auch Wissenswertes über Frequenzumrichter

Der Geltungsbereich dieses Dokuments bezieht sich auf Niederspannungsfrequenzumrichter.

Informationen zu Mittelspannungs-antrieben finden Sie auf der **Website**

VLT® AutomationDrive FC 302

Die modularen VLT® AutomationDrive erfüllen alle Anforderungen Ihrer Antriebsaufgaben in den Anlagen der chemischen und pharmazeutischen Industrie. Um die Bandbreite von Standard- bis zu High-Performance-Frequenzumrichtern optimal und ohne Kompromisse abzudecken, beginnt die Modularität bei der Auswahl der Leistungsplattform.

Alle Versorgungsspannungen
Die VLT® AutomationDrive Serie deckt den Leistungsbereich von 0,37 bis 1400 kW ab. Sie unterstützt dabei Anschlussspannungen von 200 V, 380–480/500 V, 525–600 V und 690 V. Auch der Betrieb an speziellen Netzformen wie beispielsweise IT-Netzen ist möglich. Falls erforderlich, stehen 12-pulsige Geräte auch für Frequenzumrichterleistungen ab 250 kW zur Verfügung. Sie reduzieren die Netzrückwirkungen in Ihrer Applikation weiter und sorgen für eine noch bessere Netzqualität. Auch eine Kombination mit dem VLT® Advanced Active Filter als oberschwingungsreduziertem Einzelantrieb bietet bei schwierigen Netzverhältnissen die Möglichkeit, die Infrastruktur oder Nachhaltigkeit weiter zu nutzen bzw. durch nachträgliche Installation des VLT® Active Line Filter (Aktiver Netzfilter) die Versorgungssituation zu verbessern.

Safe Torque Off
Die VLT® AutomationDrive Frequenzumrichter können signifikant dazu beitragen, die Systemkosten für die funktionale Sicherheit einer Maschine/Anlage zu senken. Dazu verfügt der FC 302 standardmäßig über einen sicheren digitalen Eingang mit der Funktion Safe Torque Off (STO) gemäß EN 61800-5-2 (FC 301/A1 Gehäuse optional).
Die Sicherheitskategorie, die sich damit erreichen lässt, entspricht dem typisch vorkommenden Performance Level d nach EN ISO 13849-1 bzw. SIL 2 nach EN 61508.

- Volle Netzspannung am Ausgang
- Anschluss langer Motorkabel (150 m geschirmt oder 300 m ungeschirmt)
- Dimensioniert für lange Lebensdauer
- Eingebauter Funkentstörfilter nach EN 61800-3, Kategorie C1
- Eingebaute Netzdrossel (UK 4 %)
- Thermistorauswertung
- AEO-Funktion für besonders hohe Energieersparnis
- Thermisches Motorabbild als softwaremäßiger Motorschutz im Frequenzumrichter integriert, der auch eine geringere Eigenbelüftung eines Motors bei niedriger Drehzahl berücksichtigt (nicht möglich mit Motor-Hauptschalter)
- Cold plate-Technologie
- Mehrere Kommunikationsschnittstellen
- RS485
- USB
- Drahtlose Bedieneinheit (LCP)
- Logische E/A-Verknüpfung
- Geregelte Ramp down-Funktion (Kinetische Notstromversorgung)
- Digitale Motorpotenziometerfunktion
- Schnittstelle für Drehgeber
- Motorfangschaltung (Flystart)
- Modulares Konzept
- Integrated Motion Control (IMC)
- PID-Regler
- ProfiSafe-Option
- Safe-Stop-Eingang
- „Safe Torque Off"-Eingang
- Scope-Funktion
- Drehmomentregelung
- Smart Logic Control
- Übermodulation ein-/abschaltbar
- Wahlweise integrierbare Feldbusanbindungen (auch mit externem 24-VDC-Netzteil)
- Optional aktive und passive Netzfilter zur weiteren Oberschwingungsreduzierung
- Optional Sinusfilter und dU/dt-Filter für alle Leistungsnenngrößen
- 12-pulsige Ausführungen für höhere Leistungsgrößen
- Optionale allpolige Sinusfilter

Ausführliche Informationen erhalten Sie bei Ihrem Danfoss Drives Sales and Service-Ansprechpartner.

Die gesamte VLT® AutomationDrive-Familie besitzt ein durchgängiges Bedienkonzept, nutzt identische Erweiterungsmodule und ist serienmäßig mit EMV-Filtern und Netzdrosseln ausgestattet.

Erzielen Sie die maximale Verfügbarkeit Ihres Systems – **mit zustandsbasierter Überwachung**

Der mit einer intelligenten Überwachungsfunktion ausgestattete VLT® AutomationDrive ermöglicht die Nutzung des Frequenzumrichters als intelligenter Sensor. Er kann den Zustand Ihres Motors und Ihrer Anwendung in Echtzeit überwachen und erkennen, wann der aktuelle Betriebsstatus von den festgelegten Grenzwerten abweicht. Dann informiert er den Bediener über die Änderungen, bevor diese sich auf Ihren Prozess auswirken.

Zustandsbasierte Überwachung

Während der Installation legt die zustandsbasierte Überwachung (Condition Based Monitoring, CBM) einen Ausgangswert (Baseline) fest, der die aufgezeichneten Betriebsbedingungen für jedes Überwachungselement des Systems definiert, und es werden Schwellwerte definiert. Während des Betriebs überwacht die CBM die Zustände der Motorstatorwicklungen, der Sensoren und der Lasthüllkurve, die alle an die tatsächliche Drehzahl des Systems angepasst sind. Wenn die tatsächlichen Betriebsbedingungen die festgelegten Grenzwerte überschreiten, sendet das CBM Warnungen, um das Personal zu benachrichtigen, damit es Maßnahmen ergreifen kann.

Die CBM-Funktion entspricht den Anforderungen einschlägiger Normen und Richtlinien, wie z. B.
- ISO-Norm 13373 für Zustandsüberwachung und -diagnostik von Maschinen
- VDMA-Richtlinie 24582 für Zustandsüberwachung
- ISO-Normen 10816/20186 zur Messung und Bewertung mechanischer Schwingungen.

Der VLT® AutomationDrive verfügt über eine einzigartige integrierte CBM-Überwachung im FU. Aktivieren Sie bei Bedarf die Cloud- oder SPS-Verbindung, um diverse Bedingungen zu überwachen oder ggf. Warnungen zu senden.

Funktion	Vorteil
Zustandsbasierte Überwachungsfunktion im Frequenzumrichter integriert	- Keine Cloud-Verbindung erforderlich: hohe Sicherheitsstufe und keine Abogebühr - Geringere Installationskosten, da keine externe Steuerung oder SPS erforderlich ist, um die CBM-Beobachtung und -Meldung zu erzeugen - Dokumentation der Systemstabilität
Überwachung der Motorstatorwicklung	- Längere Betriebszeiten durch frühzeitige Erkennung und Behebung von Fehlern in der Statorwicklung, bevor diese zu einem schwerwiegenden Ausfall und einem ungeplanten Anlagenausfall führen
Überwachung der Lasthüllkurve Anwendungs-Lastkurve (Run/Online)	- Prozessoptimierung/maximierte Effizienz dank der Fähigkeit, die tatsächliche Systemleistung mit Ausgangsdaten zu vergleichen und Wartungsmaßnahmen auszulösen
Sensorbasierte Anwendungsüberwachung (extern) Anwendungs-Lastkurve (Run/Online)	- Höhere Verfügbarkeit durch frühzeitige Erkennung und Reaktion auf Anzeichen mechanischer Fehlausrichtung, Verschleiß und sich lösende Verbindungen - Höhere Präzision, da sich die Sensorüberwachung auf die Motordrehzahl bezieht

Lesen Sie hier den Leitfaden

Motorstatorwicklungs-Zustandsüberwachung

Fehler bei Motorwicklungen treten nicht plötzlich auf; sie entwickeln sich im Laufe der Zeit. Sie beginnen mit einem kleinen Kurzschluss an einer Windung, der zu zusätzlicher Erwärmung führt. Der Schaden setzt sich weiter fort, bis der Überstromschutz auslöst und den Betrieb stoppt, was zu unerwünschten Ausfallzeiten führt.

Mit der einzigartigen Wicklungszustands-überwachung können Sie von der reaktiven Instandsetzung fehlerhafter Motoren zur proaktiven und frühzeitigen Erkennung von Motorisolationsfehlern und deren Behebung während der planmäßigen Wartung wechseln. Auf diese Weise lassen sich unerwünschte und potenziell kostspielige Maschinenausfallzeiten aufgrund defekter Motoren vermeiden.

Sensorauswahl

Vier Sensoreingänge für die zustandsbasierte Überwachung stehen durch die Analogeingänge bereit. Mithilfe der zustandsbasierten Überwachungsparametrierung können Sie die Eingänge skalieren, um die Sensorsignale dort zu überwachen, wo der Schwingungssensor der am häufigsten verwendete Sensortyp ist. Druck- und Durchflusssensoren können ebenfalls ausgewählt werden, sofern die Sensorauswahl sich auf die Drehzahl des Systems bezieht.

Überwachung mechanischer Schwingungen

Vermeiden Sie eine zu schnelle Abnutzung mechanischer Teile des Antriebssystems, indem Sie die CBM zusammen mit einem externen Schwingungsaufnehmer einsetzen, um Schwingungen und Vibrationen in einem Motor oder einer Anwendung bezogen auf die tatsächliche Drehzahl oder Drehung des Systems zu überwachen.

Die Schwingungsüberwachung erfolgt mittels standardisierter Methoden und Schwellwerte, welche in Normen wie ISO 13373 zur Zustandsüberwachung und -diagnostik von Maschinen oder ISO 10816/20816 zur Messung und Klassifizierung mechanischer Schwingungen vorgesehen sind.

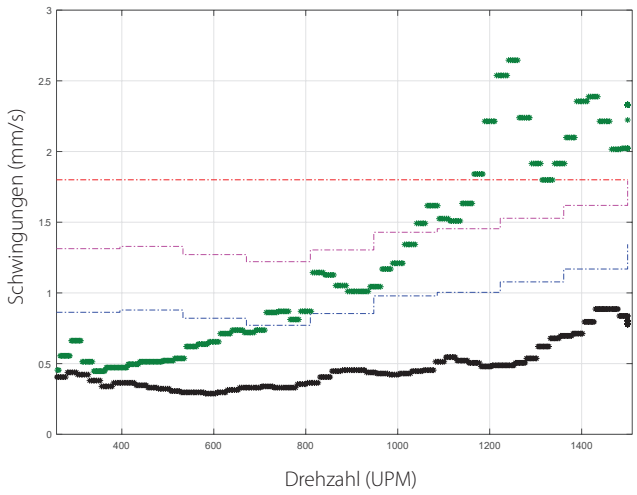
Die Messung der Lastkurve von Min.-/Max.- und Durchschnittswerten zeigt die Stabilität eines Systems bei unterschiedlichen Drehzahlen an und ist als Übergabetest vom Auftragnehmer an den Endverbraucher sehr nützlich.

Überwachung der Lasthüllkurve

Vergleichen Sie mit dem VLT® AutomationDrive die tatsächliche Lastkurve mit den bei der Inbetrieb-nahme bestimmten Ausgangswerten. So können Sie unerwartete Betriebszustände erkennen, z. B.

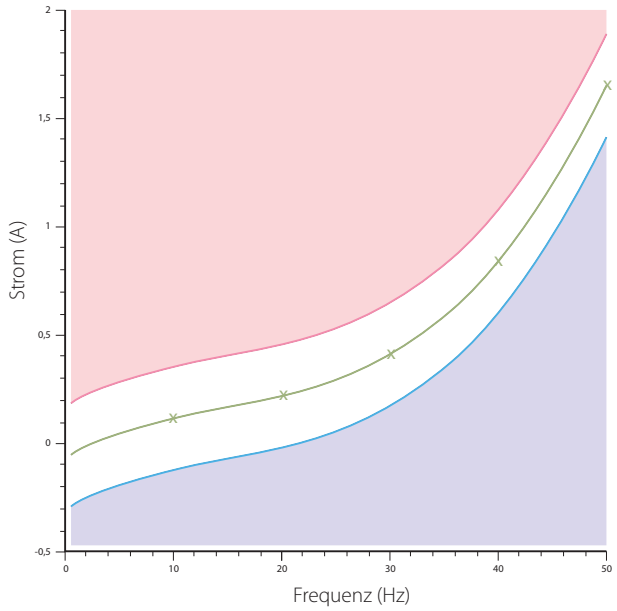
- Ableitströme im System. Unzureichende oder übermäßige Leistungsaufnahme deutet auf ein Problem hin, definiert bei einzelnen Drehzahlen
- Verschmutzte oder versandete Pumpen
- Verstopfte Luftfilter in Belüftungssystemen

Wenn ein Teil verschlissen ist, ändert sich die Lastkurve im Vergleich zu den Ausgangswerten, und es wird ein Wartungsalarm ausgelöst, sodass Sie das Problem schnell und effektiv beheben können. Die Lasthüllkurvenüberwachung kann auch Energie sparen, da das Gerät stets unter optimalen Bedingungen betrieben wird.



Anwendungsbeispiel mit Veränderungen des Schwingungssignals

- Baseline-Werte
- Fehlerhafte Daten
- Alarmwert
- Warnstufe Ebene 2
- Warnstufe Ebene 1



Baseline – Überwachung der Lasthüllkurve des Energieverbrauchs

- Energieverbrauch über Grenzwert
- Energieverbrauch unter Grenzwert

Integrierter Motion Controller – für **Positionierungs-** und **Synchronisierungs**anwendungen

Erreichen Sie hochpräzise Positionierung und Synchronisierung, einfach mit einem Frequenzumrichter. Mit den Funktionen des Integrated Motion Controller (IMC) ersetzt der **VLT® AutomationDrive FC 302** komplexere Positionierungs- und Synchronisierungsregler. Das spart Zeit und Kosten.

Positionierung und Synchronisierung erfolgen üblicherweise mit einem Servoantrieb oder Motion Controller. Allerdings benötigen viele Anwendungen keine so dynamische Leistung, wie sie ein Servoantrieb bietet.

Daher ist der FC 302 mit IMC eine kosteneffiziente und hochleistungsfähige Alternative zu Servoantrieben in einachsigen Positionierungs- und Synchronisierungsanwendungen.

Sie können IMC für viele Anwendungen einsetzen, für die bisher ein Servoantrieb notwendig war, zum Beispiel:

- Drehtische
- Schneidmaschinen
- Verpackungsmaschinen

Verwenden Sie den FC 302, um einen Asynchron- oder PM- Motor mit **oder ohne Motor-Istwert** zu betreiben – ohne zusätzlich erforderliche Hardware. Steuerungen ohne Geber (kein Motor-Feedback) erreichen die beste Leistung mit einem PM-Motor. Die Leistungsfähigkeit von geberlosen Steuerungen von Induktionsmotoren ist jedoch für weniger anspruchsvolle Anwendungen ausreichend.

Mit IMC sparen Sie **Zeit und Kosten**:

- Einfache Programmierung und weniger Komponenten sparen Arbeitszeit für technische Einrichtung, Installation und Inbetriebnahme
- Mit einer Steuerung ohne Rückführung sparen Sie weitere Kosten für Geber, Verdrahtung und Installation
- Verwenden Sie die Funktion „Referenzfahrt auf Drehmomentgrenze", um Kosten für einen Referenzfahrt-Geber und die entsprechende Verdrahtung zu sparen

Die IMC-Lösung bietet **einfache und sichere Konfiguration**

- Konfiguration über Parameter, keine komplizierte Programmierung erforderlich. Die geringere Komplexität minimiert die Gefahr von Fehlern
- Für noch mehr Funktionalität verwenden Sie den Smart Logic Controller (SLC), der mit dem IMC vollständig kompatibel ist
- Verwenden Sie die Funktion „Referenzsynchronisierung", um die Referenzposition im Betrieb neu auszurichten

Ohne Drehgeber
für weniger Kosten und Komplexität

Positionierung

Im Positionierungsmodus steuert der Antrieb die Bewegung über eine spezifische Distanz *(relative Positionierung)* oder zu einem spezifischen Ziel *(absolute Positionierung)*. Der Antrieb berechnet das Bewegungsprofil basierend auf Zielposition, Geschwindigkeitsreferenz und Rampeneinstellung *(siehe Beispiele in Abb. 1 und Abb. 2 rechts)*.

Es gibt drei Positionierungsarten, bei denen unterschiedliche Referenzen für die Definition der Zielposition zum Einsatz kommen:

- **Absolute Positionierung**
  Die Zielposition bezieht sich auf den definierten Nullpunkt der Maschine.
- **Relative Positionierung**
  Die Zielposition bezieht sich auf die Ist-Position der Maschine.
- **Endschalterpositionierung**
  Die Zielposition bezieht sich auf ein Signal an einem Digitaleingang

Diese Abbildung *(Abb. 3)* zeigt die verschiedenen Ziele, die sich mit einer eingestellten Zielposition (Referenz) von 1000 und einer Startposition von 2000 für die verschiedenen Positionierungsarten ergeben.

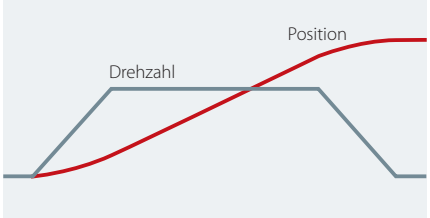


Abb. 1. Motion- bzw. Bewegungsprofil mit linearen Rampen

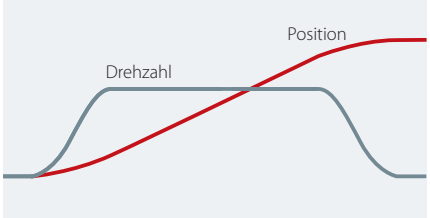


Abb. 2. Motion- bzw. Bewegungsprofil mit S-Rampen

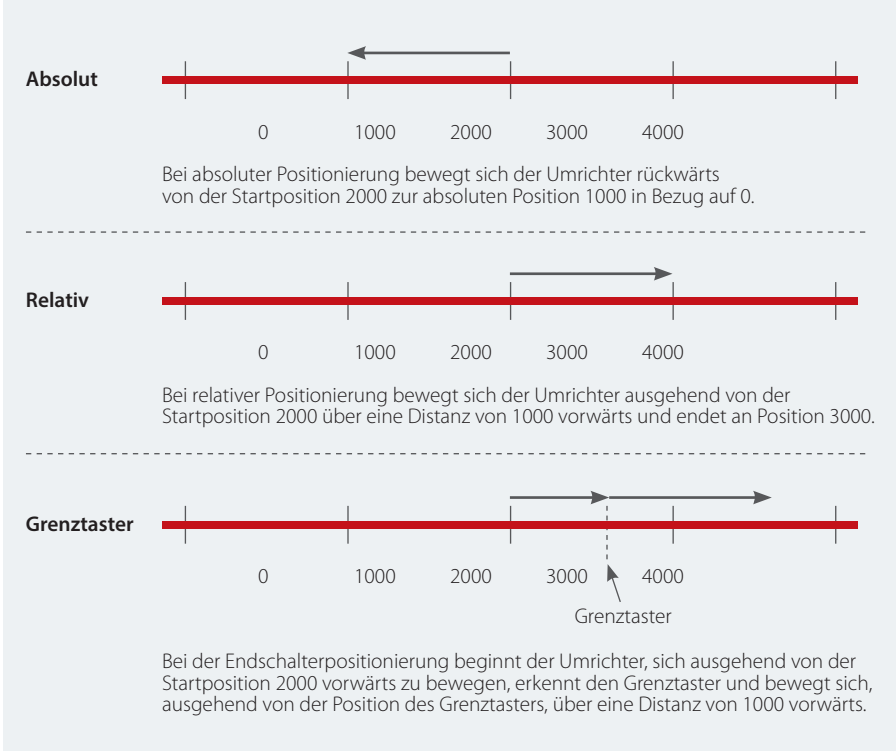


Abb. 3. IMC unterstützt drei Positionierungsmodi

Synchronisierung

Im Synchronisierungsmodus folgt der Antrieb der Position eines Masters. Mehrere Antriebe können demselben Master folgen.
Das Mastersignal kann ein externes Signal sein, z. B. von einem Drehgeber, ein vom Umrichter erzeugtes virtuelles Mastersignal oder aus Masterpositionen bestehen, die per Feldbus übertragen werden. Die Getriebeübersetzung und der Positionsversatz sind durch Parameter einstellbar.

Referenzfahrt

Bei der Steuerung ohne Geber und bei Rückführung mit Inkrementalgeber ist eine Referenzfahrt erforderlich, um nach der Netzeinschaltung eine Referenz für die physische Position der Anlage zu erzeugen.

Es stehen mehrere Referenzfunktionen mit und ohne Geber zur Auswahl.
Die Referenz-Synchronisationsfunktion kann verwendet werden, um die Referenz-Position während des Betriebs kontinuierlich neu auszurichten, wenn das System irgendwelchen Schlupf aufweist. Beispiele sind eine Induktionsmotorsteuerung ohne Geber oder Schlupf bei der mechanischen Übertragung.

Motion Control- und Servoantriebsanwendungen

Abgesehen von der Frequenzumrichtertechnologie können in verschiedenen Bereichen der Chemie- und Pharmaindustrie dynamische Bewegungssteuerungstechnologien (Motion Control) erforderlich sein. Viele dieser Bewegungsanwendungen für Materialumschlags-, Pack-, Etikettier- oder Abfüllanlagen können mit hochmodernen Frequenzumrichtern mit integrierten Motion Control-Funktionen abgedeckt werden. Siehe den Abschnitt über Integrated Motion Controller (IMC) zu Synchronisierungs- und Positionierungsanwendungen mit einem Standard-Frequenzumrichter. Diese integrierten Bewegungsfunktionen können in vielen Fällen mechanische Lösungen aus der Vergangenheit und komplexere Bewegungs-/Servo-Systeme ersetzen und reduzieren das Erfordernis auf der Endbenutzerseite, in spezielle Antriebstechnologien zu investieren. Modernste Techniken bieten zudem geberlose Motion- bzw. Bewegungsfunktionen. Auch wenn moderne Frequenzumrichter viele Funktionen in Bezug auf Motion- bzw. Bewegungsanwendungen umsetzen können, gibt es einige Faktoren, die den Einsatz dieser einfacheren Technologie einschränken können. Für Anwendungen mit hochdynamischer Motion Control bzw. Bewegungssteuerung kann die Notwendigkeit von Regelkreis-Zykluszeiten im µ-Sekundenbereich bestehen, sowie für einen internen Regelkreis und Kommunikationsschnittstellen, z. B. Ethernet-Kommunikationsschnittstellen.

Für solche hochdynamischen Anwendungen sind sogenannte Servoantriebe für ein- und mehrachsige Antriebssysteme erhältlich. Auch in diesem Bereich bietet Danfoss Drives ein komplettes Sortiment an zentralen und dezentralen Lösungen an, die skalierbar, programmierbar und benutzerfreundlich sind.

VLT® FlexMotion™ ist eine vielseitige Servoantriebslösung. Die Kombination ihrer zentralen und dezentralen Hardware-Varianten bietet ein Maximum an Flexibilität bei der Maschinenauslegung und Systemintegration. Das intelligente Plattformkonzept sorgt für einheitliche Benutzerschnittstellen und gewährleistet eine schnelle und einfache Installation sowie Programmierung und Wartung. Das modulare System ermöglicht sogar später problemlose Maschinenerweiterungen oder -anpassungen.

Durch die offene Anbindung an gängige Echtzeit-Ethernetsysteme, z. B. PROFINET, POWERLINK und EtherCAT sowie Programmierung basierend auf IEC 61131-3 und PLCopen Motion-Funktionsblöcken wird das System noch flexibler, wodurch es sich einfacher in unterschiedliche Entwicklungsumgebungen integrieren lässt.

Weitere Informationen finden Sie im **VLT® FlexMotion™ Selection Guide** (Auswahlhandbuch)

VLT® Multiaxis Servo Drive MSD 510

VLT® Integrated Servo Drive ISD® 510

VLT® Decentral Servo Drive DSD 510

Produktübersicht

VLT® AutomationDrive FC 302

VLT® Enclosed Drives

VLT® AutomationDrive FC 302

Der VLT® AutomationDrive FC 302 ist ein modularer Frequenzumrichter. Leicht zu konfigurieren und mit einem extrem großen Leistungsbereich erfüllt dieser Frequenzumrichter alle Anforderungen moderner Anwendungen.

Dieser intelligente Frequenzumrichter verfügt über einen Integrated Motion Controller und zustandsbasierte Überwachung, einsatzbereit als integrierter Sensor in einer IIoT-Umgebung.

Safe Torque Off ist im VLT® Automation-Drive FC 302 serienmäßig verfügbar. Optional stehen über ein Safety-Modul weitere, einfach zu konfigurierende Sicherheitsfunktionen bereit: SS1, SLS, SMS und SSM.

Unterschiedliche Advanced Active Filter reduzieren die Oberschwingungen im besten Fall auf unter 3 %. 12-Puls-Frequenzumrichter bieten eine robuste und kosteneffektive Reduzierung der Oberschwingungen in Versorgungsnetzen.

Leistungsbereich

3 x 200–240 V ..... 0,25–37 kW
3 x 380–500 V ..... 0,37–1100 kW
3 x 525–600 V ..... 0,75–75 kW
3 x 525–690 V ..... 1,1–1400 kW

Leistungsbereich – 12-Puls-Frequenzumrichter

3 x 380–500 V ..... 250–1000 kW
3 x 525–690 V ..... 250–1400 kW

VLT® Enclosed Drives

VLT® Enclosed Drives genügen den höchsten Ansprüchen: Sie sind flexibel, robust, kompakt und wartungsfreundlich. Damit empfehlen sie sich zum Einsatz in vielen Anwendungen. Durch hervorragende Oberschwingungs-reduzierung eignen sie sich ideal für „Low Harmonic Drive (LHD)"-Lösungen.

VLT® Enclosed Drives lassen sich mit Ein-/Ausgangsfiltern, Regelungs- und Schaltschrankoptionen so konfigurieren, dass sie praktisch sämtliche Erfordernisse der Anwendung abdecken. Es besteht kein Bedarf für einen zusätzlichen Schaltschrank.

Leistungsbereich

380–480/500 V ..... 90–500 kW
525–690 V ..... 90–710 kW
mit 150 % Überlast

VLT® Integrated Servo Drive ISD® 510

VLT® Multiaxis Servo Drive MSD 510

VLT® Decentral Servo Drive DSD 510

VLT® Integrated Servo Drive ISD® 510

Der VLT® Integrated Servo Drive ISD® 510 ist ein dezentraler Servoantrieb mit flexibler Modularität. Er vereint Servomotor und Servoantrieb in einer kompakten Einheit. Dieses Konzept bietet bei vielen Anwendungen große Vorteile, wie etwa bei Drehtischen, Etikettier- und Verschlusssystemen sowie Verpackungsmaschinen für Lebens- und Arzneimittel.

Motion Control ist in die Antriebe integriert. Dadurch führen sie den Bewegungsablauf selbstständig aus und entlasten die zentrale SPS.

Nennspannung
565–680 VDC ±10 %

Nenndrehmoment
1,5–11,2 Nm

Maximales Drehmoment
6,1–38,6 Nm

VLT® Multiaxis Servo Drive MSD 510

Der VLT® Multiaxis Servo Drive MSD 510 ist eine universell einsetzbare zentrale Servoantriebslösung und ein wesentlicher Bestandteil des VLT® FlexMotionTM-Konzepts.

Die Flexibilität und Modularität von Hard- und Software stellen den nötigen Spielraum bereit, um Maschinen exakt nach den Kundenanforderungen zu entwickeln und zu konstruieren.

Eingangsnennspannung
3 x 400–480 V AC ±10 %

DC-Zwischenkreisspannung
565–680 V DC ±10 %

VLT® Decentral Servo Drive DSD 510

Flexible Modularität für dezentrale Servoanwendungen
Der VLT® Decentral Servo Drive DSD 510 bietet flexible Modularität für dezentrale Servoanwendungen und erweitert damit das Konzept des dezentralen Servoantriebs VLT® FlexMotion™. Dank der großen Auswahl an Istwertgebern und geberloser Steuerung ist der Aufbau vollkommen offen und Sie können zwischen PM- und ACM-Motoren wählen.

Verwenden Sie den integrierten Motion Control-Regler, um den Bewegungsablauf selbstständig ablaufen zu lassen, und entlasten Sie damit die zentrale SPS.

Nennspannung
565–680 V DC ±10 %

Nennleistung
4 kW

Nennstrom
8 A (standalone)

VLT® FlexMotion™

VLT® FlexMotion™-Servokonzept
Diese modulare und multifunktionale Servoantriebslösung ist darauf ausgelegt, die Anforderungen zukünftiger Maschinenarchitekturen bereits heute zu erfüllen. Ihre modulare Auslegung bietet Ihnen ein System, mit dem Sie auf der Grundlage von drei Servo-Produktreihen eine Vielzahl von Maschinenkonzepten entwickeln können:
- VLT® Multiaxis Servo Drive MSD 510
- VLT® Integrated Servo Drive ISD® 510
- VLT® Decentral Servo Drive DSD 510

Weitere Informationen zu VLT® FlexMotion™

VACON® NXP Air Cooled

VACON® NXC Air Cooled Enclosed Drives

VACON® NXP Liquid Cooled Drive

VACON® NXP luftgekühlt

Der VACON® NXP Air Cooled ist für viele anspruchsvolle Industrieanwendungen ausgelegt, insbesondere für höhere Leistungsbereiche und Systemumrichter.

Leistungsbereich
3 x 208–240 V ..... 0,55–90 kW
3 x 380–500 V ..... 1,5–1200 kW
mit DriveSynch 1,5–4000 kW
3 x 525–690 V ..... 2,0–2000 kW
mit DriveSynch 2,0–4500 kW

VACON® NXC luftgekühlter Schrankumrichter

Der VACON® NXC kombiniert das VACON® NXP-Produktprogramm mit umfangreichen Optionen in einem einzigen Gehäuse.

Einfache Konfiguration
Zur Auswahl stehen ein großes Sortiment an Schaltschrankoptionen sowie 6- oder 12-pulsige Gleichrichter oder Active Front End (AFE).

Leistungsbereich
3 x 380–500 V ..... 132–1200 kW
3 x 525–690 V ..... 110–2000 kW

Leistungsbereich – AFE-Versorgung
3 x 380–500 V ..... 132–1500 kW
3 x 525–690 V ..... 110–2000 kW

Leistungsbereich – Low harmonic, Active Filter-Stromversorgung
400 V ..... 132–560 kW
500 V* ..... 132–560 kW
690 V ..... 110–800 kW

*benötigt 690-V-Aktivfilter

VACON® NXP flüssigkeitsgekühlter Frequenzumrichter

Dieser anwendungsspezifische Frequenzumrichter mit Flüssigkeitskühlung passt perfekt zu Anwendungen, bei denen die Luftqualität kritisch und der Platz beschränkt ist und bei denen hohe Anforderungen an eine effiziente Wärmeübertragung bestehen.

Leistungsbereich
3 x 400–500 V ..... 132–4100 kW
3 x 525–690 V ..... 110–5300 kW

VACON® NXP Liquid Cooled Enclosed Drive

VACON® NXP System Drive

VACON® NXP flüssigkeits-gekühlter Schrankumrichter

Der VACON® NXP Liquid Cooled Enclosed Drive bietet alle Vorteile des VACON® NXP Liquid Cooled für Anwendungen mit höherer Leistung in einem kompakten IP54-Gehäusepaket.

Leistungsbereich

3 x 400–500 V.....700–1100 kW
3 x 525–690 V..... 800–1550 kW

VACON® NXP System Drive

Durch die Kombination der Common DC Bus-Komponenten des VACON® NXP System Drive erhalten Sie ein optimal auf ihre Anforderungen angepassten und individuell zusammengestelltes und konfiguriertes Frequenzumrichtersystem – unabhängig von der Anzahl der zu regelnden Motoren.

Nennstrom (Hauptsammelschienen)

3 x 380–500 V..... 630–5000 A
3 x 525–690 V..... 630–5000 A

VACON® NXP Common DC Bus

VACON® NXP Liquid Cooled Common DC Bus

VACON® NXP Grid Converter

VACON® NXP luftgekühlte Common DC Bus Geräte

Mit den Komponenten des VACON® NXP Common DC Bus können Systemintegratoren, Maschinenbauer und OEM effiziente industrielle Antriebssysteme entwickeln und konstruieren.

Umfassendes Produktprogramm
Mit diesem umfassenden Produktprogramm lässt sich fast jedes denkbare System konstruieren. Dazu gehören Wechselrichter (INU), rückspeisefähige Einheiten (AFE), nicht rückspeisefähige Einspeisemodule (NFE) und Bremschopper (BCU).

Leistungsbereich
3 x 380–500 V.....1,5–1850 kW
3 x 525–690 V..... 3–2000 kW

VACON® NXP flüssigkeitsgekühlte Common DC Bus Geräte

Die Common DC Bus-Komponenten mit Flüssigkeitskühlung stellen die Vorteile einer Flüssigkühlung auch in Common DC Bus-Systemen zur Verfügung.

Für anspruchsvolle Anlagen
Flüssigkühlung bietet große Vorteile in Anwendungen, in denen die Zufuhr oder Qualität der Kühlluft beschränkt ist. Sie ermöglicht perfekte Lösungen für anspruchsvolle Anwendungen.

Leistungsbereich
3 x 400–500 V..... 7,5–4100 kW
3 x 525–690 V.....110–5300 kW

VACON® NXP Grid Converter

Diese Frequenzumrichter mit Luft- oder Flüssigkeitskühlung eignen sich speziell für die Anwendungsbereiche Energiespeicherung und andere Wandleranwendungen.

Leistungsbereich
Luftgekühlt
3 x 380–500 V.....180–1100 kW
3 x 525–690 V.....200–1200 kW

Flüssigkeitsgekühlt
3 x 400–500 V..... 160–1800 kW
3 x 525–690 V.....210–1800 kW
Für eine noch höhere Leistung lassen sich mehrere VACON® NXP Grid Converter-Einheiten kombinieren.

VACON® NXP DC/DC Converter

Energieversorgung nahe am Verbraucher. Um die Leistung durch bessere Energienutzung zu steigern, werden Energiespeicher zunehmend in Systeme integriert und es entstehen Hybridlösungen. Es kommen verschiedene Speichermethoden zum Einsatz, aber aufgrund sinkender Batteriepreise und der steigenden Energiedichte gelten Batterien als das am schnellsten wachsende und am einfachsten zu integrierende Speichermedium. Mithilfe von DC/DC-Umrichtern können z. B. Batterien, Superkondensatoren, Brennstoffzellen und Solarmodule angeschlossen werden.

Aufgrund des weiten Eingangsbereiches der Quellenspannungen, z. B. Batterie, ist der VACON® NXP DC/DC Umrichter optimal zur Anpassung der Quellenspannung an ein gemeinsames DC-Bussystem geeignet. Er erzeugt dann aus der gespeicherten Energie die richtige Zwischenkreisspannung für den Betrieb der in diesen Hybridsystemen laufenden Maschinen.

Der VACON® NXP DC/DC Umrichter kann sowohl in flüssigkeits- als auch in luftgekühlte VACON® NXP Antriebsmodule eingebaut werden.

Versorgungsspannung und Leistungsbereich

Luftgekühlt

3 x 380–500 V ... 180–1100 kW mit Batteriespannungen von 100 VDC* bis 800 VDC**

3 x 525–690 V ... 200–1200 kW mit Batteriespannungen von 100 VDC* bis 1100 VDC**

Flüssigkeitsgekühlt

3 x 380–500 V ... 160–1800 kW mit Batteriespannungen von 100 VDC* bis 800 VDC**

3 x 525–690 V ... 210–1800 kW mit Batteriespannungen von 100 VDC* bis 1100 VDC**

* Mindestspannung ist anwendungsabhängig

** Je nach System-DC-Zwischenkreisspannung. Die Betriebsspannung (Batterie) muss immer kleiner als die Zwischenkreisspannung sein.

VACON® 1000 und VACON® 3000 Mittelspannungs-Frequenzumrichter

Diese technische Broschüre behandelt Anwendungen mit Niederspannungsantrieben. Bei Anwendungen mit höherer Leistung werden Mittelspannungsfrequenzumrichter aus verschiedenen Gründen vorgezogen. MS-Lösungen werden jedoch in dieser Broschüre nicht beschrieben. Weitere Informationen über MS-Frequenzumrichtersysteme erhalten Sie bei Ihrer Danfoss Niederlassung vor Ort.

DrivePro® Life Cycle-Services

Für maßgeschneiderten Service!

Wir wissen, dass jede Anwendung anders ist. Deshalb ist die Möglichkeit zur Zusammenstellung eines individuellen Servicepakets entscheidend.

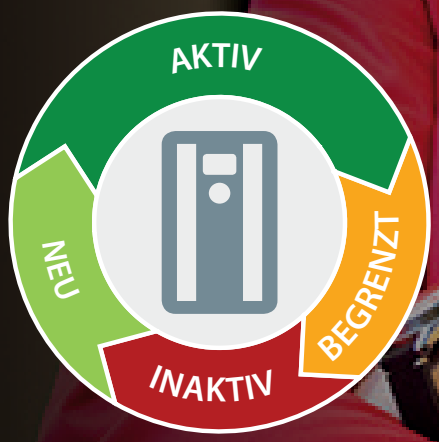
DrivePro® Life Cycle Services bieten maßgeschneiderte Produkte, die auf Ihre Anforderungen abgestimmt sind. Jeder Service ist so angelegt, dass Sie Ihren Frequenzumrichter während seines gesamten Lebenszyklus optimal nutzen können.

Von optimierten Ersatzteilpaketen bis hin zu Lösungen für die Zustandsüberwachung – unsere Dienstleistungen lassen sich optimal an Ihre individuellen Ziele anpassen.

Mithilfe dieser Produkte schaffen wir einen Mehrwert für Ihre Anwendung, indem wir sicherstellen, dass Sie Ihren Frequenzumrichter optimal nutzen können.

Wenn Sie sich für eine Zusammenarbeit mit uns entscheiden, bieten wir Ihnen zudem Schulungen und umfangreiches Anwendungswissen, um Sie bei Anlagenplanung und -ausrüstung zu unterstützen. Unsere Experten stehen Ihnen gerne zur Verfügung.

drives.danfoss.de/services/drivepro-services/#/



Sichern Sie sich ab
mit den DrivePro® Life Cycle-Serviceprodukten

Keine Frequenzumrichteranwendung gleicht der anderen. DrivePro® Life Cycle Services bieten maßgeschneiderte Produkte, die auf Ihre Bedürfnisse zugeschnitten sind. Von optimierten Ersatzteilpaketen bis hin zu Zustandsüberwachungslösungen können Sie unsere Produkte Ihren Erfordernissen anpassen, um Ihren Produktionsbetrieb in den verschiedenen Phasen der Lebensdauer Ihres Frequenzumrichters zu unterstützen.

DrivePro® Site Assessment
Optimierte Planung auf Basis einer standortweiten Analyse

Optimieren Sie Ihre Wartungsstrategie durch eine komplette, standortweite Erfassung und Risikobewertung aller Ihrer Frequenzumrichter – für Sie zusammengefasst in einem detaillierten Bericht. Gemeinsam mit den Experten von Danfoss können Sie auf der Grundlage Ihrer exakten Anforderungen einen maßgeschneiderten Plan für den künftigen Wartungs-, Nachrüstungs- und Aufrüstungsbedarf erstellen.

DrivePro® Start-Up
Optimieren Sie Ihren Frequenzumrichter noch heute für maximale Leistung

Vereinfachen Sie die Inbetriebnahme – mit DrivePro® Start-up und seiner breiten Palette an Funktionskontrollen und Einstellungen. Unsere DrivePro®-Experten untersuchen und testen Ihre Frequenzumrichter- und Motorleistung, um sicherzustellen, dass Ihre Frequenzumrichter optimal konfiguriert sind.

DrivePro® Extended Warranty
Langfristige Sicherheit

Auch die robustesten Frequenzumrichter brauchen Schutz. DrivePro® Extended Warranty bietet umfassende Gewährleistungsoptionen und die längste Laufzeit der Branche. Profitieren Sie von höchster Verfügbarkeit, besseren Reparatur- und Austauschoptionen sowie einem umfassenden Ersatzteilsupport – für bis zu sechs Jahre.

DrivePro® Spare Parts
Vorausschauend planen mit Ihrem Ersatzteil-Paket

Optimieren Sie Ihre Betriebszeiten mit einem Ersatzteil-Paket, das Ihnen bei einem Frequenzumrichterausfall eine rasche Problemlösung ermöglicht. Wählen Sie aus drei individuellen Paketen, um Ihren Frequenzumrichter mit minimalen Auswirkungen auf Ihre Produktion wieder zum Laufen zu bringen.

DrivePro® Exchange
Die schnelle und kosteneffiziente Alternative zur Reparatur

Wenn jede Minute zählt: Halten Sie Ihre Produktion am Laufen, mit unserer schnellen Alternative zur Reparatur. Wenn ein Frequenzumrichter ausfällt, kann im Rahmen des DrivePro® Exchange Services jeder Frequenzumrichter rasch ausgetauscht werden, um größere Produktionsverzögerungen zu vermeiden.

DrivePro® Preventive Maintenance
Ergreifen Sie vorbeugende Maßnahmen

Verlässliche Wartungspläne ohne Unwägbarkeiten. Mit einem strukturierten Wartungsprogramm, das auf Ihre Bedürfnisse zugeschnitten ist, können Sie Ihre betriebliche Effizienz steigern und die Folgen von Abnutzung und Verschleiß minimieren.

DrivePro® Remote Monitoring
Schnelle Problemlösung

DrivePro® Remote Monitoring bietet Ihnen ein Online-System mit wichtigen Informationen für die Echtzeit-Überwachung.
Das System sammelt alle relevanten Daten und analysiert sie, für eine schnellere Lösung von Problemen, bevor diese Ihre Prozesse beeinträchtigen.

DrivePro® Remote Expert Support
Sie können sich in jeder Phase auf uns verlassen

DrivePro® Remote Expert Support ermöglicht die schnelle Lösung von Problemen vor Ort, durch schnellen Zugriff auf die richtigen Informationen. Über eine sichere Verbindung analysieren unsere Frequenzumrichter-Experten Probleme aus der Ferne, wodurch sich der Zeit- und Kostenaufwand für unnötige Serviceeinsätze reduziert.

DrivePro® Retrofit
Minimaler Aufwand bei maximalem Nutzen

Nutzen Sie dafür professionelle Unterstützung bei der Planung des effizienten Austauschs Ihrer am Ende des Lebenszyklus angelangten Frequenzumrichter. Der DrivePro® Retrofit Service stellt optimale Verfügbarkeit und Produktivität während des reibungslosen Austauschs sicher.

Um zu erfahren, welche Produkte in Ihrer Region erhältlich sind, wenden Sie sich bitte an Ihren Danfoss Drives-Vertrieb oder ***besuchen Sie unsere Website***

Erfahren Sie ***hier*** mehr über DrivePro® Services

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 Kernaussage der Maschinenrichtlinie 2006/42/EG lautet: „Eine Maschine als Gesamtheit von miteinander verbundenen Teilen oder Vorrichtungen, von denen mindestens eine(s) beweglich ist, muss so beschaffen sein, dass Sicherheit und Gesundheit von Personen und gegebenenfalls Nutztieren und Gütern bei richtiger Installation, angemessener Wartung und bestimmungsgemäßem Betrieb nicht gefährdet werden." Frequenzumrichter sind elektronische Komponenten und unterliegen deshalb 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 Kernaussage der EMV-Richtlinie 2014/30/EU 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 so weit begrenzt wird, dass bei bestimmungsgemäßem Betrieb von Funk- und Telekommunikationsgeräten sowie sonstigen Geräten eine angemessene Festigkeit gegen elektromagnetische Störungen besteht, sodass ein bestimmungsgemäßer Betrieb möglich ist." Danfoss Frequenzumrichter tragen das CE-Kennzeichen für die Einhaltung der EMV-Richtlinie und eine Konformitätserklärung ist erhältlich.

Niederspannungsrichtlinie

Die Kernaussage der Niederspannungsrichtlinie 2014/35/EU lautet: „Elektrische Betriebsmittel zur Verwendung bei einer Nennspannung zwischen 50–1000 V AC und zwischen 75–1500 V DC müssen so beschaffen sein, dass sie bei ordnungsgemäßer Installation und Wartung sowie bestimmungsgemäßer 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 ein CE-Zeichen tragen.

Hinweis: *Hersteller von Maschinen/ Anlagen sollten sicherstellen, dass sie Frequenzumrichter einsetzen, die ein CE-Zeichen tragen. Auf Verlangen muss eine EG-Konformitätserklärung abgegeben werden.*

Erfahren Sie Wissenswertes über Frequenzumrichter

Erfahren Sie mehr über Enclosed Drives

Erfahren Sie mehr über Mittelspannungsfrequenzumrichter

Mittelspannungsantriebe VACON® 1000 und VACON® 3000
Diese technische Broschüre behandelt Anwendungen mit Niederspannungsantrieben. Bei Anwendungen mit höherer Leistung werden Mittelspannungsfrequenzumrichter aus verschiedenen Gründen vorgezogen. MS-Lösungen werden jedoch in dieser Broschüre nicht beschrieben. Weitere Informationen über MS-Frequenzumrichtersysteme erhalten Sie bei Ihrer Danfoss Niederlassung vor Ort.

A
Abfangen von Lastspitzen 14
Abgeschirmtes Motorkabel 53
Ableitstrom 67
Ableitströme 68
Abschirmung 62, 63
Abstrahlung 62
AC Drosseln 65
achtzehn(18)-pulsige Gleichrichter 22
Active Front End 22, 24, 66
AEO 10
AFE 24, 25
aggressive Gase 40
Aggressive Luft 40
aggressive Umgebungsluft 40
Aktive Filter 22, 23, 66
Aktiver Filter 23
Alarmmeldungen 75
Allpolige Sinusfilter 55
Allstromsensitive RCD 67
Anlagenverschleiß 6
Anlaufstrombegrenzung 6
Anpassung des cos φ 10
Anschlussleistung 70
Anwendungen 71
ATEX 48
ATEX-Richtlinie 42
Ausgangsdrosseln 53
Ausgangsfilter 54, 60
Ausgangsspannung 60
Auswahlkriterien 53
Automatische Energieoptimierung 10

B
Basisauslegung 70
Baumusterprüfung 42
Bemessungsfehlerstrom 67
Betrieb 72
Betriebsart S1 58
Betriebskosten 11
Blindleistung 21
Blindstromkompensation 32, 33
Blindstromkompensations-
anlagen 21, 32
Brumm 62
Bussysteme 75
Bypass-Schaltung 68

C
CBM 80
CE-Zeichen 96
Common DC-Bus-Systeme 30
Common Mode Filter 53

D
Datenanzeige 72
Datenaustausch 75
DC/DC-Frequenzumrichter 14, 91
DC-Notstromversorgung 14
DC-Zwischenkreisspannung 60
Design 70
Diagnosefunktionen 73
Differenzstrom-Schutzschalter 67
Dimensionierung 12
DIN 44081 48, 68
DIN 44082 48, 68
Display 73, 75
Drehgeber- 82
Drehmomentbereich 59
Drehmomentkennlinie 70
Drehstromasynchronmotoren 59
Drehstrommotoren 58
Drehzahlregelung 10
Drehzahlstellbereich 59
Drosseln 22, 65
dU/dt-Filter 9, 53

E
Echt-Effektivwert-Messgeräte 21
EEx-gefährdete Bereiche 42
Effizienzklasse 70
EG-Baumusterprüfbescheinigung 46
Einsparungen 12
Elektromagnetische Störungen 9, 19, 64
Elektromagnetische Verträglichkeit 16
EMV 16, 21, 34
EMV-Filter 9
EMV-Maßnahmen 61, 64
EMV-Richtlinie 96
EN 50160 20
EN 50178 68
EN 55011 18, 19, 64
EN 60204-1 60
EN 61000-2-2 20
EN 61000-2-4 20
EN 61000-3-2 20
EN 61000-3-12 20, 25
EN 61000-4-1 32
EN 61008-1 67
EN 61800 16
EN 61800-3 18, 19, 64, 78
EN 61800-5-2 78
Energieeinsparpotenziale 6, 48
Energieeinsparungen 10, 30, 60
Energieoptimierung 10
EN ISO 13849-1 78
Erdableitströme 67
Erdanschluss 63
Erdleiter 68
Erd- und Massekabel 63
Erdung der Anlage 53
Erdungsmaßnahmen 61, 68
Erdungssystem von Motorgehäuse
und Motorwelle 53
Erdung und Motorschutz 68
Erdverbindung 53
Erhöhte Sicherheit 46
EU-Richtlinie 42
EU-Richtlinie 94/9/EG 42
Ex 68
Ex d 46
Ex-e-Motoren 42, 48
explosionsgefährdeter Bereich 46
Explosionsschutz 46

F
FC 302 48
Fehlerstromschutzschalter 67
Feldbus 75
Filter 9
Filtermatten 41
Flüssigkeitskühlung 39
Fourieranalyse 20
Frequenzumrichter 12
Frequenzumrichterlast 33
Funkentstörfilter 18, 64
Funkstörgrenzwerte 63
Funkstörungen 18, 64
Funktionale Sicherheit 50

G
Gase 40, 42
Generator 33
Geräuschentwicklung 6
Gesamtbetriebskosten 11
Gesamtkosten 11
Geschirmte Kabel 60
geschirmte Leitungen 62
Getriebemotoren 58

H
Harmonic Calculation Software 21
Hauptschütze 46
HCS 21
HCS-Software 33
HF-Anteile 63
hochfrequente Funkstörungen 64
Hubwerke 70

I
IEC 60034-17 53, 54
IEC 60034-30 58
IEC 60529 35
IEC 60721-3-3 40
IEC 60755 67
IE-Klassifizierung 59
IGBT 46
IMC 82
Inbetriebnahme 75
Installation 7
IP2 41
IP55 41
IP66 41
IP-Schutzarten 35
Isolation 9
Isolationsbeanspruchung 53
isolierte Lager 53
Istwertgeber 77
IT-Netze 13

K
Kabeldimensionierung 60
Kabelführung 60
Kabel mit geeigneter Schirmung 60
Kabelschirmung 62
Kaltleiterauswertung 46
Kaltleitertemperaturfühler 42
Klasse 3C2 40
Klasse 3C3 40
Klasse A 19
Klasse B 19
Klimatisierung 9, 11, 38
Kompensation 21
Kondensation 38
Kondensatoren 77
Konstantes oder quadratisches Drehmoment 70
Koppelrelais 46
Korrosion 40
Kostensenkung 11
Kühlkonzept 38
Kühlluft 40
Kühllüfter 41
Kühlluftventilatoren 77
Kühlung 34, 38, 40
Kupfergeflecht 63

L
Lagerbeanspruchung 53
Lagerschäden 41, 53
Lagerströme 53
Lagerung 77
Lastkennlinien 71
Lastwechsel 10
LC-Filter 54
Lebensdauer 7, 11, 34, 38, 41, 70
Lebenszyklus 11
Leistungsfaktor 22
Leitungsbruch 48
Leitungsgebundene Störungen 64
LHD 24, 25
Low Harmonic Drive 24
Low Harmonic Drives 22, 66
Lüfter 41, 70

M
magnetische Felder 17
Magnetisierung 10
Maschinenrichtlinie 96
Massenträgheitsmomente 59
Matrix-Frequenzumrichter 26
MCB 112 48
MCB 113 48
MCT 10 48
MCT 10 Software 74
Mehrmotorenbetrieb 69
MEPS 58
Mindestwirkungsgrade 58
Mindestwirkungsgradklassen (MEPS) 58
Mischer 70
Mittelspannung 91
Motion Control 84
Motor 58
Motoreignung für FU-Betrieb 53, 65, 70
Motoren in explosionsgeschützten Bereichen 58
Motorisolation 9, 53
Motorkabellänge 9, 60
Motorkompatibilität 58
Motormagnetisierung 10
Motornennstrom I 70
Motorschutz 68, 69
Motorschutzschalter 68
Motorthermistor 68
Motor und Kabel 12
Motorvollschutz 46
Motorwirkungsgrad 58
Motorzuleitung 63

N
Nachrüstung 54, 95
NAMUR-Empfehlung NE 38 42
NAMUR NE 37 48
NEMA-Schutzarten 35
Netzanalyse 66
Netzbelastung 20
Netzberechnungsprogramme 33
Netzeinbrüche 24
Netzfilter 18
Netzform 13
Netzqualität 20
Netzrückwirkungen 17, 20, 21, 22, 24, 65, 66
Netzspannung 20
Netzspannungsqualität 20, 21, 22
Netztopologie 66
Netztransienten 32, 65
Netzumrichter 90
Netzversorgung 12, 13, 17, 21
Niederspannungsrichtlinie 96
Normen 18, 19, 20
Notstromgenerator 33
Notstromversorgung 14
Notstromversorgungsleistung 15

O
Oberschwingung 20
Oberschwingungen 17, 20, 21, 22, 23, 32, 33
Oberschwingungsfilter 22, 66
Oberschwingungsstrom 22
Oberschwingungsströme 21
Oberschwingungsverzerrung 20, 22, 33
Oberwellenstromgehalt 25
Ökodesign 58

P
Parallel 69
Parametrierung 74, 75
Passive Filter 22, 66
PC-Software 74
PFC 24
Phasenisolierung 53
Phasenverschiebung 32
Planung 5, 8
PM-Motoren 59
Positionierung 82
Potentialausgleichskabel 17
Potentialausgleichsschiene 61
Produktnorm 18
PROFIenergy 75
Prozessregler 77
PTC-Option 48
Pumpen 70

Q
Querschnitt 60

R
RCD-Schutzschalter 67
Reduzierung von Lagerströmen 54
Regelbereich 6
Relative Luftfeuchte 38
Remote Monitoring/ Fernüberwachung 95
Reparatur 11
Richtlinien 96
RS-485-Schnittstelle 74

S
„Safe Stop"-Funktion 48
Schaltschrank 34
Schaltschränken 38
Schaltschrankheizung 38
Schaltschrankmontage 34
Schaltschrankplatz 48
Schaltschranktür 73
Schaltschrank-Umrichter 86, 88
Scheinleistung 21
Schirmanschluss 62
Schirmarten 63
Schirmungsmaßnahmen 62, 63
Schütz 48
Schutzarten 41
Schutzarten IP55 41
Schutzlack 40
Schutzleiter 68
Scope-Funktion 73
Servicekosten 11
Servoantriebe 59
Sicherer Stopp 78
Sicherheitsfunktionen 46
Signalleitung 63
SIL 2 nach EN 61508 78
Sinus 9
Sinusfilter 42, 53
Sinusform 20
Spannungsabfall 60
Spannungsänderungen 17
Spannungsanstiegsgeschwindigkeit 9

Spannungsanstiegsgeschwindigkeit du/dt 53
Spannungsfestigkeit 65
Spannungsspitzen 9, 24, 42, 54
Staubbelastung 41
Stäube 42
Steuerkabel 63
Störaussendungen 16, 18
Störfestigkeit 16, 62, 64
Störgrößen 17
Störquelle 17, 64
Störsenke 17
Störspannungen 17
Strombegrenzung 46
Stromrechnung 10
Stromspitzen 10, 65
Synchronisierung 82
System Drive 89
Systemunabhängigkeit 7

T
Teillastbereich 8, 10
Temperaturüberwachung 42
THDi 22
Thermische Beanspruchung 53
thermischer Motorschutz 68
Thermische Überwachung 46
Thermistoren 68
TN-C 13
TN-Netze 13
TN-S 13
Transformator 22, 33
Transformatorleistung 33
Transienten 32
TT-Netze 13

U
Übermodulation 53
Überstrom 68
Umgebungsbedingungen 34
Umgebungsluft 40
Umgebungstemperatur 38, 60
Umgebungstemperaturen 38
Umweltbedingungen 34
USB-Schnittstelle 74

V
VDE 0113-1 60
Verdrahtungsaufwand 48
Verdrosselung 32
Verluste 9, 21
Verlustleistung 8, 38
Versorgungsnetze 20
Versorgungsspannung 78
vier(4)-Quadranten-Betrieb 25
vierundzwanzig(24)-pulsige Gleichrichter 22
Vorbeugende Wartung 95

W
Wandmontage 34
Wärmetauscher 39
Wartung 11, 77
Wartungskosten 11
Web-Server 75
Wellenleistung 70
Wirkleistung 21
Wirkungsgrad 8, 9, 10, 25, 33, 54, 58, 59, 70

Z
Zeitversetzte Abgabe 14
Zündschutzart 42
Zustandsbasierte Überwachung 80
Zwischenkreisdrossel 22
Zwischenkreiskondensatoren 24, 65
Zwischenkreiskopplung 30, 65
zwölf(12)-pulsige Gleichrichter 22

ENGINEERING
TOMORROW

Zuverlässiger Anlagenbetrieb – Tag für Tag

Wir wissen, dass Ihre Chemieanlagen immer in Bewegung sind. Sie müssen jeden Tag zuverlässig funktionieren; unter schwierigsten Bedingungen und ohne unerwartete Ausfallzeiten. Mit unseren hochwertigen Frequenzumrichtern halten wir Ihren Betrieb in Schwung und senken gleichzeitig Ihren Energieverbrauch.

Frequenzumrichter für Spitzenleistungen

Für den optimalen Betrieb Ihrer Chemieanlage benötigen Sie Frequenzumrichter, die Spitzenleistungen ermöglichen. Danfoss Frequenzumrichter, die mit unserer jahrzehntelangen Branchenkenntnis entwickelt wurden, bieten in ihrer Klasse konkurrenzlose Zuverlässigkeit und Belastbarkeit. Ihre führende Energieeffizienz senkt Ihre Gesamtbetriebskosten und trägt positiv zur Erreichung der globalen Klimaziele bei.

Außerdem ist vorausschauende und zustandsbasierte Überwachung in unsere Frequenzumrichter integriert, um Ihnen die Intelligenz zu bieten, die Sie benötigen, um Ihre Systeme zukunftssicher zu machen. Unsere Frequenzumrichter sind außerdem mit jedem Motor oder System uneingeschränkt kompatibel, so dass Sie das für Ihre Fabrikanlage optimale System nutzen können.

Entscheiden Sie sich für Danfoss als Ihren Partner für Frequenzumrichter und verlassen Sie sich darauf, dass wir Ihren Betrieb in Schwung halten.

Weitere Informationen: Wissenswertes über Frequenzumrichter

VLT® AutomationDrive FC 302 Selection Guide (Auswahlleitfaden)

VLT® FlexMotion Selection Guide (Auswahlleitfaden)

VACON® NXP und NXC Drives Selection Guide (Auswahlleitfaden)

Mittelspannungsantriebe

Alle Informationen, einschließlich, aber nicht beschränkt auf Informationen zur Auswahl von Produkten, ihrer Anwendung bzw. ihrem Einsatz, zur Produktgestaltung, zum Gewicht, den Abmessungen, der Kapazität oder zu allen anderen technischen Daten von Produkten in Produkthandbüchern, Katalogbeschreibungen, Werbungen usw., die schriftlich, mündlich, elektronisch, online oder via Download erteilt werden, sind als rein informativ zu betrachten, und sind nur dann und in dem Ausmaß verbindlich, als auf diese in einem Kostenvoranschlag oder in einer Auftragsbestätigung explizit Bezug genommen wird. Danfoss übernimmt keine Verantwortung für mögliche Fehler in Katalogen, Broschüren, Videos und anderen Drucksachen. Danfoss behält sich das Recht vor, ohne vorherige Bekanntmachung Änderungen an seinen Produkten vorzunehmen. Dies gilt auch für bereits in Auftrag genommene, aber nicht gelieferte Produkte, sofern solche Anpassungen ohne substanzielle Änderungen der Form, Tauglichkeit oder Funktion des Produkts möglich sind. Alle in dieser Publikation enthaltenen Warenzeichen sind Eigentum von Danfoss A/S oder Danfoss-Gruppenunternehmen. Danfoss und das Danfoss Logo sind Warenzeichen der Danfoss A/S. Alle Rechte vorbehalten.

© Copyright Danfoss Drives | 2023.07