

Frequenzumrichter auf dem nordamerikanischen Markt



Fachaufsatz
Dipl.-Ing. Jörg Randermann

Vorwort

Seit über 30 Jahren liefert Eaton Moeller erfolgreich elektronische Antriebssysteme in die Märkte der Welt. Mit Blick auf die europäische Exportwirtschaft von Maschinenbau und OEM (*Original Equipment Manufacturer*) ist der nordamerikanische Markt dabei einer der Wichtigsten.

Der nachfolgende Fachaufsatz wendet sich an alle, die in Anwendung, Technik, Vertrieb und Management mit elektrischer Antriebstechnik und drehenden Maschinen zu tun haben. Er beschreibt einfach und praxisbezogen die Bedingungen für den Export von Europa auf den nordamerikanischen Markt und die Anforderungen für den Einsatz eines Frequenzumrichters.

Frequenzumrichter

Der Frequenzumrichter ist ein elektrisches Betriebsmittel und als gewerbliches Produkt nicht für private Verbraucher vorgesehen.

Frequenzumrichter ermöglichen die stufenlose Drehzahlsteuerung von Drehstrommotoren:

$$n \sim f$$

n = Drehzahl (min^{-1})
 f = Frequenz (Hz)

Dazu wird eine speisende Spannung, mit bestimmter Frequenz und Amplitude, im Frequenzumrichter umgeformt in eine dreiphasige Wechselspannung mit variabler Amplitude und einstellbarer Frequenz. Mit dieser frequenzmodulierten Spannung werden in der Regel (Drehstrom-) Asynchronmotoren betrieben.

Im energieführenden Leistungsteil ist die Funktion des (statischen) Frequenzumrichter unterteilt in drei Gruppen: Gleichrichter, Gleichspannungs-Zwischenkreis und Transistor-Wechselrichter.

Der nordamerikanischen Markt

Mit Kanada, den USA und Mexiko bildet der nordamerikanische Markt einen Wirtschaftsverbund mit Freihandelszone

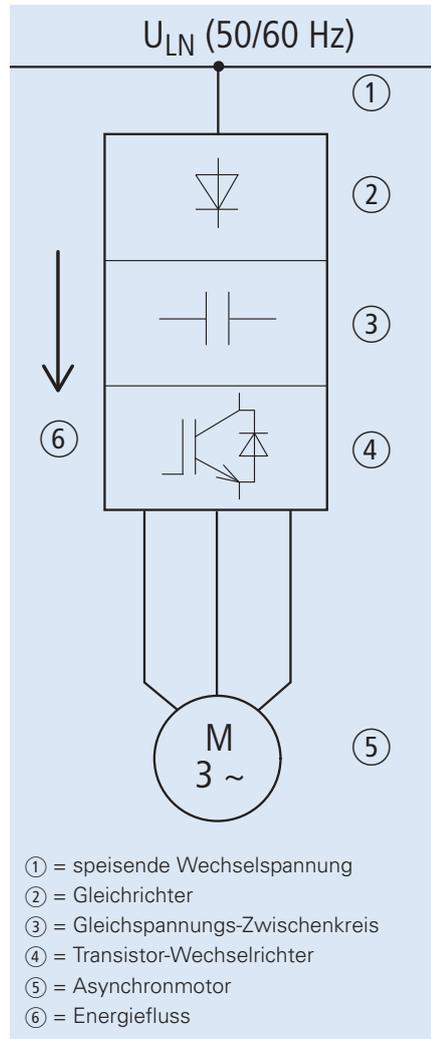


Bild 1: Schematischer Aufbau eines Frequenzumrichters

(NAFTA, *North American Free Trade Agreement*).

Wie im europäischen Wirtschaftsraum gibt es auch in der NAFTA-Zone vielfältige Harmonisierungsbestrebungen,



Bild 2: Die nordamerikanische Freihandelszone NAFTA

so beispielsweise bei der Prüfung, Zertifizierung und Zulassung von elektrotechnischen Produkten. Daher wird nachfolgend der wirtschaftlich größere und rechtlich, wie auch technologisch, führende US-amerikanische Markt bevorzugt als „Stellvertreter“ betrachtet.

Mit der Liberalisierung des Welthandels wurden internationale Standards geschaffen. Die Exportkontrollbestimmungen in Nordamerika sind heute mit denen der europäischen Union, in Bezug auf die zu kontrollierenden Waren und Technologien, vergleichbar. Auch Gesetze und Vorschriften wurden international harmonisiert. Englisch wird dabei in vielen Bereichen (Politik, Wirtschaft, Technik, Kunst usw.) immer mehr zur globalen Standardsprache.

Dennoch können in Europa und Nordamerika die nationalen Genehmigungsvorbehalte, unterschiedliche Normensituationen und andere Marktgewohnheiten, zu Missverständnissen, ärgerlichen Verzögerungen und aufwendigen Umbauten führen. Dabei hat es oft den Anschein, als wäre die nordamerikanische Welt und deren technische Regeln wesentlich komplizierter und anders.

Gemeint sind hier nicht die in Nordamerika immer noch üblichen angloamerikanischen Maßeinheiten, wie beispielsweise:

- Inch (1 in = 25,4 mm),
- HP (*Horsepower* = 1 PS = 1,36 kW),
- AWG (*American Wire Gauge*), Verdrahtungsdurchmesser.

Die Unterschiede liegen vielmehr in den Sicherheitsnormen der Elektrotechnik von **UL** (*Underwriters Laboratories*) und **IEC** (*International Electrical Commission*). Hinzu kommt, dass die Produkthaftungsgesetze, vor allem in den USA, weitaus strenger sind als in Europa.

Sicherheitsnormen der Elektrotechnik

Die Produktsicherheit regelt das Inverkehrbringen und Aufstellen von Produkten. Bei bestimmungsgemäßer Verwendung oder vorhersehbarer Fehlanwendung, dürfen die Sicherheit und Gesundheit von Verwendern oder Dritten nicht gefährdet werden.

Weltweit gibt es daher verbindliche Vorschriften für die Sicherheit von Menschen und Maschinen. Je nach Region sind diese Vorschriften dem rechtlichen und kulturellen Umfeld angepasst. Die Spanne reicht hierbei von zwingenden

Gesetzen bis hin zu Empfehlungen von eher unverbindlichem Charakter. So genügt in einigen Regionen eine Selbst-zertifizierung, während in anderen Regionen die Zertifizierung nur durch staatlich autorisierte Institutionen erfolgt, die zudem durch unabhängige Prüforganisationen überwacht werden.

Grundlage der Sicherheitsnormen in der Elektrotechnik ist der Schutz vor möglichen Gefahren durch:

- Elektrischer Schlag infolge gefährlicher Spannungen,
- Brand infolge hoher Temperaturen,
- Verletzungsgefahr durch bewegliche Teile, scharfe Kanten, instabile Anordnung, heiße Oberflächen,
- Chemische Gefahren durch das Freisetzen gesundheitsgefährdender Stoffe,
- Gefahr durch Strahlung.

Alle Sicherheitsnormen sehen daher entsprechende, grundsätzliche Schutzmaßnahmen vor:

- geeignete Dimensionierung elektrischer Stromkreise,
- Schutz vor indirektem Berühren,
- konstruktive Gestaltung und geeignete Materialien,
- Strahlenschutzmaßnahmen.

Beim Frequenzumrichter wird die elektrische und mechanische Betriebssicherheit gewährleistet durch die Anwendung der Produktnormen IEC 61800-5-1 (*Elektrische Leistungsantriebssysteme mit einstellbarer Drehzahl – Teil 5-1: Anforderungen an die Sicherheit – elektrische, thermische und energetische Anforderungen*) und UL508C (*Power Conversion Equipment*). Als harmonisierte UL/IEC 61800-5-1 sollen beide Normen zukünftig einen einheitlichen und weltweit gültigen Standard schaffen.

CE, Richtlinien gewährleisten Haftungssicherheit

IEC erstellt weltweit Standards, in denen die Mindestsicherheitsanforderungen der Geräte festgelegt sind. Technische Details der konstruktiven Umsetzung bleiben dem Hersteller überlassen.

Mit der CE-Kennzeichnung auf Gerät und Verpackung wird die Einhaltung dieser IEC-Standards in Europa dokumentiert. Sie ermöglicht den uneingeschränkten Vertrieb im gesamten europäischen Wirtschaftsraum (EWR). Der Hersteller muss hierzu in einer Konformitätserklärung bestätigen, dass alle Anforderungen der Richtlinien, unter die sein Produkt fällt, eingehalten werden.

IEC (*International Electrotechnical Commission*). Internationales Normengremium der Elektrotechnik.

EN (*Européenne Normalisation*). Europa Normen sind Regeln die von einem der drei europäischen Komitees (CEN, CENELEC, ETSI) ratifiziert wurden.

CE (*Communauté Européenne*), kennzeichnet die Normenkonformität in der europäischen Gemeinschaft.

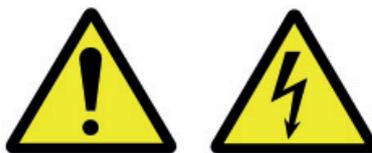


Bild 3: Achtung, Gefährliche Spannung



Bild 4: CE-Kennzeichnung im europäischen Wirtschaftsraum

Beim Frequenzumrichter erfolgt die CE-Kennzeichnung gemäß der Niederspannungsrichtlinie IEC/EN 61800-5-1. In der Konformitätserklärung bestätigt der Hersteller, neben dieser Niederspannungsrichtlinie, auch die EMV-Richtlinie IEC/EN 61800-3 (*drehzahlveränderbare elektrische Antriebe – Teil 3: EMV-Anforderungen einschließlich spezieller Prüfverfahren*).

Diese EMV-Produktnorm betrachtet den Frequenzumrichter dabei nicht als einzelnes Gerät, sondern in seiner Funktion mit der gesamten Beschaltung (Funkentstörfilter, Netzdrössel, Motorleitung usw.). Vom energiespeisenden Netz bis zum antreibenden Motor wird hier ein so genanntes *Power Drive System (PDS)* bewertet.

In den Installations- und Bedienungsanleitungen des Frequenzumrichters muss dazu angegeben werden, unter welchen

Bedingungen er die EMV-Produktnorm für drehzahlveränderbare elektrische Antriebssysteme erfüllt. Dies bedingt wiederum, dass der Frequenzumrichter „in der Regel“ nur an sachkundige Fachleute geliefert wird, zum Einbau in einen Schaltschrank (Maschinensteuerung).

Der Errichter bzw. der Inverkehrbringer einer Maschine (Maschinensteuerung) muss in einer gesonderten Konformitätserklärung bescheinigen, dass die entsprechenden Anforderungen aus der Maschinen-Richtlinie (2006/42/EG) für den Betrieb des Frequenzumrichters erfüllt werden. Bei den Anwendungen ist es dann ausreichend, wenn die Geräteeigenschaften (Gebrauchskategorie) mit der Last übereinstimmen.

Die Frequenzumrichter von Eaton Moeller erfüllen die Anforderungen der Niederspannungsrichtlinie (IEC/EN 61800-5-1) und die Anforderungen zur EMV-Produktnorm (IEC/EN 61800-3) für drehzahlveränderbare elektrische Antriebssysteme (PDS). Die erforderlichen Maßnahmen zur Installation sind in den beiliegenden Aufstell- und Wartungsanweisungen (AWA) sowie in den zugehörigen Handbüchern (AWB) dokumentiert.

UL, oder „in Amerika ist alles anders“

Die *Underwriters Laboratories (UL)* in den USA und die *Canadian Standard Association (CSA)* in Kanada, sind die bekanntesten und am meisten anerkannten Test- und Zertifizierungslabors auf dem nordamerikanischen Markt.

Hierzu einige grundsätzliche Feststellungen:

- UL ist kein Gesetz.
- Es gibt kein Gesetz in Nordamerika, das eine UL-Zertifizierung zwingend vorschreibt.
- UL, das sind unabhängige und anerkannte Testlabore (**NRTL**).
- UL prüft die Produkte der Elektrotechnik in Bezug auf ihre elektrische und mechanische Sicherheit nach den Vorgaben des **NEC**.
- UL ist nicht der einzige Zertifizierer, der elektrotechnische Produkte für den nordamerikanischen Markt zulassen kann.

Die unabhängigen Testlabore (**NRTL**) unterstehen den Bundesbehörden **OSHA** (USA) und sind Bestandteil des nordamerikanischen Sicherheitssystems. Dieses Sicherheitssystem reprä-

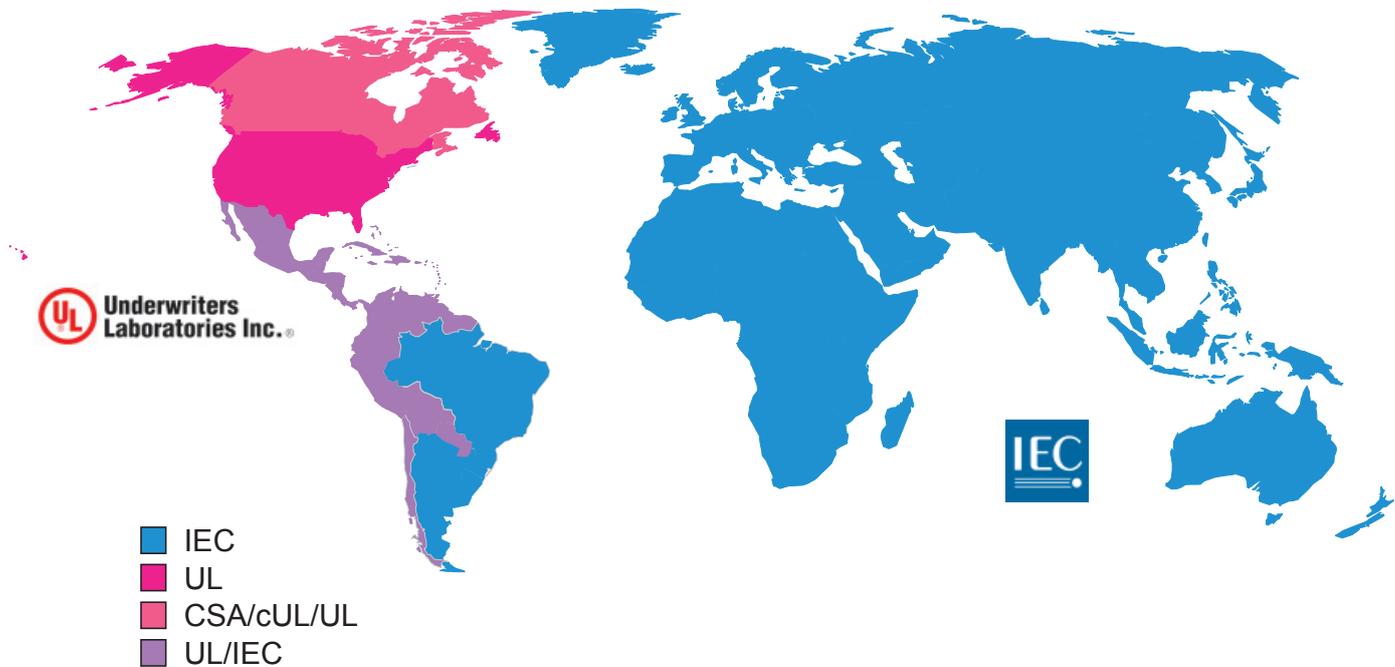


Bild 5: Die „normierte“ Welt für elektrotechnische und elektronische Produkte (vereinfachte Darstellung aus Sicht der UL).

sentiert die Interessen und Bedürfnisse von Behörden, Herstellern, Anwendern und Versicherungen. Es umfasst:

- die (nationale) Gesetzgebung und **Codes (NEC und NFPA)** sind hier die bekanntesten *Code Writing Organisation*,
- Produktnormen,
- individuelle Ergänzungen (*Supplements*) und die Zulassung durch lokale Behörden (**AHJ**),
- die Bestimmungen der **OSHA / SCC (CCOHS)**,
- die Zertifizierung und Akkreditierung durch anerkannte Testlabore (**NRTL**, z.B: **UL** und **CSA**).

Im Fokus stehen hier vor allem die:

- Brandgefahr,

- mechanische Sicherheit,
- elektrische Sicherheit.

In den Anforderungen an die Sicherheitstechnik schreibt die **OSHA** vor, dass in den USA alle elektrisch gesteuerten Geräte und Systeme zugelassen sein müssen (29 CFR 1910.301, *Subpart S* und NEC Article 90-7, 110-2, 110-3). Diese Zulassung kann durch ein „*Listing*“ (**UL-Zertifizierung**) oder durch ein „*Field-Evaluation*“ – eine Bewertung der örtlichen Behörden, kurz **AHJs** (*Authorities Having Jurisdiction*) – nachgewiesen werden. Dazu müssen sich die Geräte und Systeme einer Prüfung unterziehen. Technischen Details von diesen Sicherheitsanforderungen werden nur wenige vorgegeben.

Dafür sind die Richtlinien und Vorschriften zu den Sicherheitsanforderungen in Nordamerika wesentlich detaillierter und die rechtlichen Verantwortlichkeiten strenger gefasst. So liegt dort, im Gegensatz zu den europäischen Gesetzen, die Verantwortung für die Maschinensicherheit bei dem Hersteller und bei dem Betreiber. Er muss als Arbeitgeber für einen sicheren Arbeitsplatz sorgen.

Die behördliche Abnahme vor Ort durch AHJs

Wer elektrotechnische Geräte und Maschinensteuerungen in die USA exportiert, muss den **NEC** (*National*

CSA (*Canadian Standard Association*): unabhängige, staatlich anerkannte Prüfungs- und Zertifizierungsorganisation, die in Kanada auch Normen und Standards setzt. Akkreditierte Prüfstelle (**NRTL**) der **OSHA**.

NEC (*National Electrical Code*), für die elektrische Installationen und Geräte in den USA; in Kanada **CEC** (*Canadian Electric Code*).

NFPA (*National Fire Protection Association*), gemeinnützige US-amerikani-

sche Gesellschaft für Brandschutz, Elektrizität und Gebäudesicherheit.

NRTL, (*Nationally Recognized Testing Laboratory*), in Kanada **CB** (*Certification Bodies*), unabhängige und staatlich anerkannte Prüflabore.



OSHA (*Occupational Safety & Health Administration*), Oberste Bundesbehörde im Sicherheitssystem für Zertifizierung und Akkreditierung in den USA. Die vergleichbare Organisation in Kanada ist die **CCOHS** (*Canadian Centre for Occupational Health and Safety*). Sie hat aber nicht die Gewichtung wie die **OSHA**. Die rechtliche Akkreditierung liegt hier mehr bei den **SCC** (*Standards council of Canada*).

UL (*Underwriters Laboratories*), Prüflabore der Versicherungsunternehmen und Zertifizierungsorganisation für Produktsicherheit. Akkreditierte Prüfstelle (**NRTL**) der **OSHA**. **c-UL** kennzeichnet die in Kanada akkreditierte und akzeptierte **UL**.

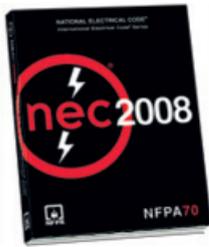


Bild 6: NEC-Buch 2008

Electrical Code) in seiner jeweils aktuellen Fassung einhalten; in Kanada ist dies der **CEC** (*Canadian Electric Code*).

Der **NEC** wird alle drei Jahre neu ausgegeben und beschreibt die Minimalanforderungen für elektrische Installationen und Geräte.

Abweichend von diesen einheitlich festgeschriebenen Mindestanforderungen, können die regionalen Behörden (**AHJs**), weitergehende Anforderungen stellen; die so genannten *Supplements*. Sie berücksichtigen beispielsweise die geografische Lage und die damit verbundenen klimatischen Bedingungen (arktisches Polarklima im Norden und heißes, subtropisches Klima im Südwesten).

Hinzu kommen unterschiedliche Aktualitätsstände der jeweils gültigen **NEC**-Fassung in den einzelnen Bundesstaaten. Die Verhältnisse werden dadurch unübersichtlich und können in der Praxis zu Missverständnissen und Problemen führen. Letztendlich liegt die Entscheidung über die Abnahme und Zulassung bei den lokalen Behörden (**AHJ**). Sie entscheiden über die Zulassung und kontrollieren die Einhaltung von Gesetzen und *Codes*.

AHJ (*Authorities Having Jurisdiction*) = Zertifizierungsbehörde der jeweiligen Bundesstaaten, Landkreise, Städte und Gemeinden. Sie kontrolliert die Einhaltung von Gesetzen und Codes.

AHJs sind beispielsweise:

- *Labour Department* (Abteilung des Arbeitsministerium),
- *Fire Marshall* (Verantwortlich für die Einhaltung der Feuervorschriften),
- *Health Department* (Gesundheitsamt),
- *Building Department* (Bauamt),
- *Elevator Inspector* (Aufzugsinspektor)

Im Umgang mit diesen Behörden werden dann die *Underwriters Laboratories* (**UL**) interessant. Sie werden zu fast 90 % von den Behörden bevorzugt und reduzieren damit das behördliche Abnahmerisiko. **UL** wird daher oft auch als „*the passport to America*“ bezeichnet.

Durch die gesetzliche Einbindung der Normen und die Anforderungen der Versicherungen, kommt es für Hersteller und Betreiber zu einer Pflicht zur Normeinhaltung. Die Komponenten für die industrielle Steuerungstechnik sind dazu in der UL508A (*Standard for Industrial Control Panels*), die Frequenzumrichter in der UL508C (*Power Conversion Equipment*), beschrieben.

Zertifizierung für Serienprodukte

Bei Serienprodukten, die nach Katalog verkauft werden, liegt die volle technische Verantwortung allein beim Hersteller. Hier macht es Sinn, die (**UL**)-Zertifizierung bereits in der Liefer- bzw. Fertigungskette zu berücksichtigen. Dazu



Bild 7: UL-Kennzeichnung nach US-amerikanischen und kanadischen Bestimmungen

sollten die verwendeten Normen spezifiziert und in einer Produktdokumentation angegeben werden. Auch sollten hier die eingesetzten Grundmaterialien (z.B. Kunststoff), die daraus gefertigten Komponenten (z.B. Gehäuse) und die jeweiligen Hersteller dieser Materialien und Komponenten, schon zertifiziert (**UL**) sein. Erfüllen die Fertigungsstätten und Produkte die bestimmten Anforderungen, wird für das anschlussfertige Gerät die Approbation erteilt (**UL**-Kennzeichnung und File-Nummer in der Approbationsakte). Zum Beispiel:

Um sicherzustellen, dass die Produkte immer ihrer ursprünglich bewerteten Bauart entsprechen, führt **UL** in regelmäßigen Abständen eine Begehung der jeweiligen Fertigungsstätten mit Inspektoren durch.

Neben dem bekannten UL-Listing Prüfzeichen wird noch das „*Recognised Component Mark*“ von **UL** verwendet. Zum Beispiel:



Bild 8: US-amerikanische und kanadische UR-Kennzeichnung

Dieses gespiegelte **UR**-Zeichen gilt nur für Komponenten, die Bestandteil eines größeren Produktes oder Systems sind. Es sind meistens passive Komponenten die technische oder konstruktive Einschränkungen haben, die Bestandteil eines Gerätes oder Maschine sind und nur von Fachkräften eingebaut werden dürfen. Zum Beispiel beim Frequenzumrichter optionales Zubehör wie Funkentstörfilter, Netzdrosseln oder Feldbusanschaltungen.

Die Frequenzumrichter der Gerätereihen M-Max™ und H-Max™ von Eaton Moeller sind von **UL** zertifiziert und gelistet. Sie erfüllen zudem alle internationalen Anforderungen und Normen der **IEC**.



Bild 9: Frequenzumrichter M-Max mit CE-Kennzeichnung, c-UL-Approbation und c-Tick.

In der **UL**-Kennzeichnung steht das tiefer gestellte „L“ für *listed* (engl.), für ein gelistetes bzw. gekennzeichnetes Gerät mit Einzelapprobation, ohne Nutzungseinschränkungen innerhalb des vorgesehenen Einsatzzwecks.

Das gespiegelte „R“ steht für *recognized* (engl.) und kennzeichnet geprüfte und anerkannte Produkte oder Komponenten mit Nutzungseinschränkung. Diese können später in **UL**-zertifizierte Endprodukten, Maschinen oder Anlagen, durch Fachkräfte, eingebaut werden.

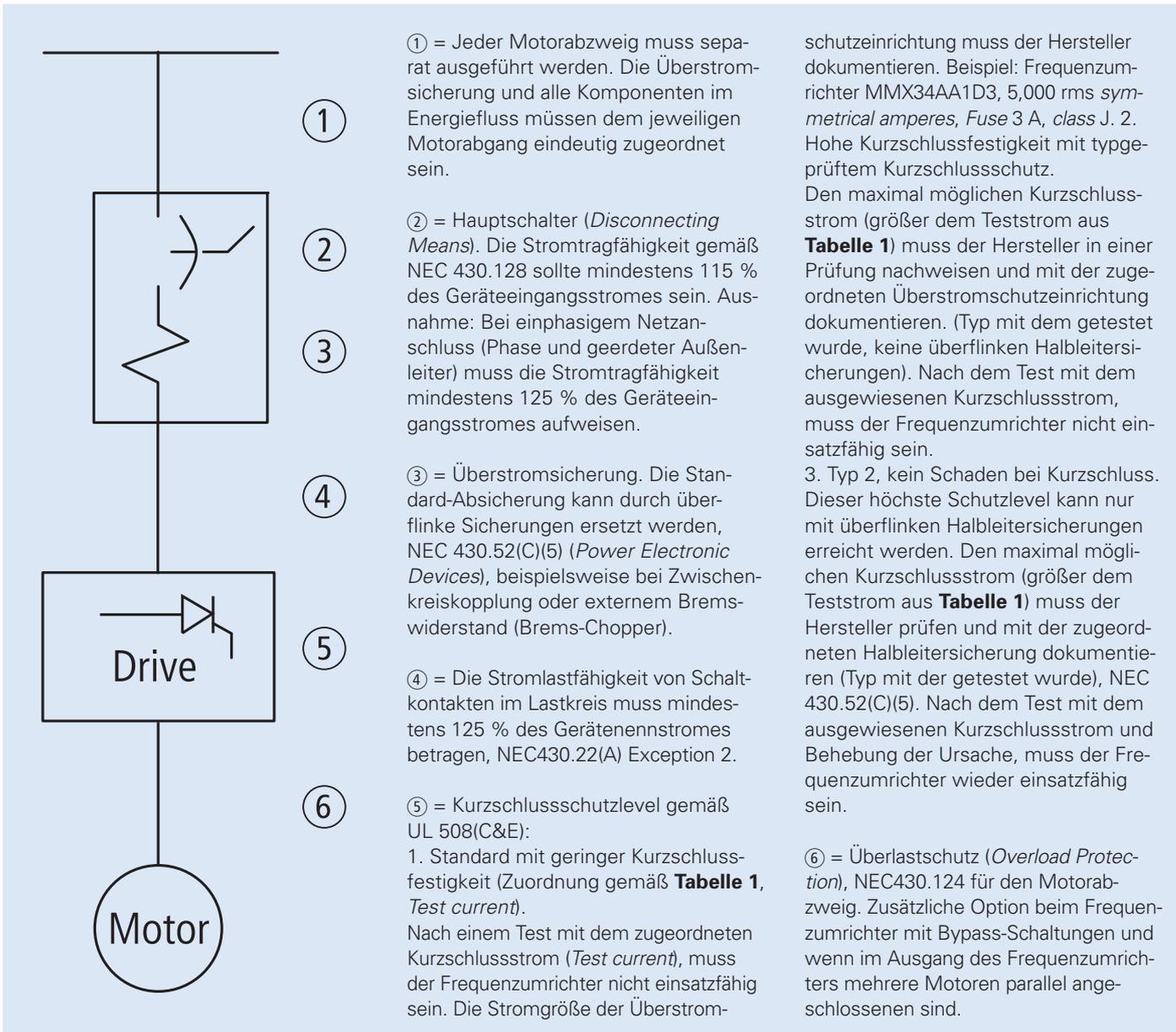


Bild 10: Antriebssystem (Adjustable Speed Drive System)

In den, den Geräten beiliegenden Aufstell- und Wartungsanweisungen (AWA) sowie in den zugehörigen Handbüchern (AWB) beschreibt Eaton Moeller die erforderlichen Maßnahmen zur elektrotechnischen Installation gemäß **IEC** und **UL**. Auch die zulässige Kombination mit Zusatzausrüstungen, zum Beispiel Feldbusanschlüsse und Funkentstörfilter, sind in Approbationsberichten, Handbüchern und Datenblättern beschrieben.

Vom Serienprodukt zur Maschinensteuerung

Zur Herstellung einer normgerechten (**UL**-gerechten) Maschinensteuerung reicht es nicht aus, nur **UL**-approbierte Produkte miteinander zu kombinieren. Entscheidend für die nordamerikanischen Sicherheitsanforderungen ist das

Zusammenspiel der Geräte nach den jeweiligen Standards im Umfeld der tatsächlichen Anwendung.

Der elektrische Anschluss eines frequenz- bzw. drehzahleregelten

Antriebssystems für den amerikanischen Markt ist im NEC-Buch (2008) beschrieben. **Bild 10** gibt hierzu eine Übersicht der betrachteten Komponenten im Hauptstromkreis (Energiefluss).

Ratings		Test current
Horsepower	(kW)	Amperes
1.5 – 50	(1.1 -37.3)	5,000
51 – 200	(39 – 149)	10,000
201 – 400	(150 – 298)	18,000
401 – 600	(299 – 447)	30,000
601 or more	(601 or more)	42,000

Tabelle 1: SCCR-Richtwerte (Testströme) für Frequenzumrichter und zugeordnete Motorleistungen. Auszug: UL 508C, Table 45.1, Short circuit test current values for devices rated 600 volts or less.

Nennkurzschlussstrom (SCCR)

Eine Maschinensteuerung bzw. Schaltanlage (*Industrial Control Panel*) muss in Nordamerika mit der Kurzschlussfestigkeit, dem so genannten **SCCR** (*Short Circuit Current Rating*), gekennzeichnet sein. Dieser Wert entspricht in etwa dem I_{cw} -Wert (Bemessungskurzzeitstromfestigkeit) einer **IEC**-Schaltanlage.

Bestimmende Größe für den **SCCR**-Wert ist hier nicht nur das Kurzschluss-schaltvermögen der netzseitigen Absicherung (z.B. Lasttrennschalter), sondern die Kurzschlussfestigkeit jeder einzelnen, am Hauptstromkreis angeschlossenen Komponente (Schütz, Schutzschalter, Klemmen, Stromschiene, die Eingangsseite Steuertransformator und Frequenzumrichter). Der kleinste **SCCR**-Wert dieser eingebauten Komponenten bestimmt den Wert des gesamten Schaltschranks. An den Eingangsklemmen des Schaltschranks darf kein höherer Kurzschlussstrom auftreten. Die schaltschrankinterne Verdrahtung ist von dieser Betrachtung ausgenommen.

Frequenzumrichter haben relativ niedrige **SCCR**-Werte. Für zugeordnete Motorleistungen bis 50 HP (37,3 kW), liegt dieser Standard-Wert bei 5 kA (siehe **Tabelle 1**). Wird dieser Frequenzumrichter als kleinster **SCCR**-Wert in eine Maschinensteuerung eingebaut, kann die gesamte Maschinensteuerung nur für diesen geringen Kurzschlusslevel von 5 kA zugelassen und gekennzeichnet werden.

Höhere Kurzschlusslevel bzw. größere **SCCR**-Wert für die industrielle Schaltschrankinstallation nach NEC, Article 409 (edition 2008) und UL508A (April 2006) sind nur möglich, wenn ein (**UL**-) geprüfter und gelisteter Motorabzwegschutz (*Branch circuit Protection*), netzseitig vor dem Frequenzumrichter angeordnet wird. Mit so einem zugeordneten „Self-Protected Motor Controller“ (Schutzschalter), Type E oder einer (**UL**-) anerkannte/ -gelistete Sicherungen (Class J oder RK), können die Frequenzumrichter, nach erfolgreicher Prüfung, beliebig hohe **SCCR**-Werte erreichen; passend zum Kurzschluss-Ausschaltstrom der jeweiligen Applikation.

Beispiel: Frequenzumrichter bis 50 HP (37,3 kW mit einem Richtwert von 5 kA, **Tabelle 1**), können durch einen geprüften und zugeordneten Überstromschutzschalter der Reihen PKM0 und PKZM4, ein **SCCR**-Wert von 50 kA erreichen.

Die Auswahl des vorgeschalteten Hauptschalters erfolgt dabei gemäß dem Nenneingangsstrom des Frequenzumrichters. Seine Stromtragfähigkeit muss mindestens 115 % des Eingangstromes sein, bei einphasiger Einspeisung mindestens 125 %. Die Auswahl der damit verbundenen Anforderungen an die Schaltgeräte ist in den Eaton Moeller Handbüchern berücksichtigt.

EMV-Maßnahmen

Unabhängig vom globalen Einsatzort und unabhängig von der jeweiligen Normenlandschaft (**UL**, **IEC**), bedingt der ordnungsgemäße Betrieb eines Frequenzumrichters, eine **EMV**-gerechte Installation. Die Hersteller müssen dazu die erforderlichen Maßnahmen beschreiben und gegebenenfalls erfor-

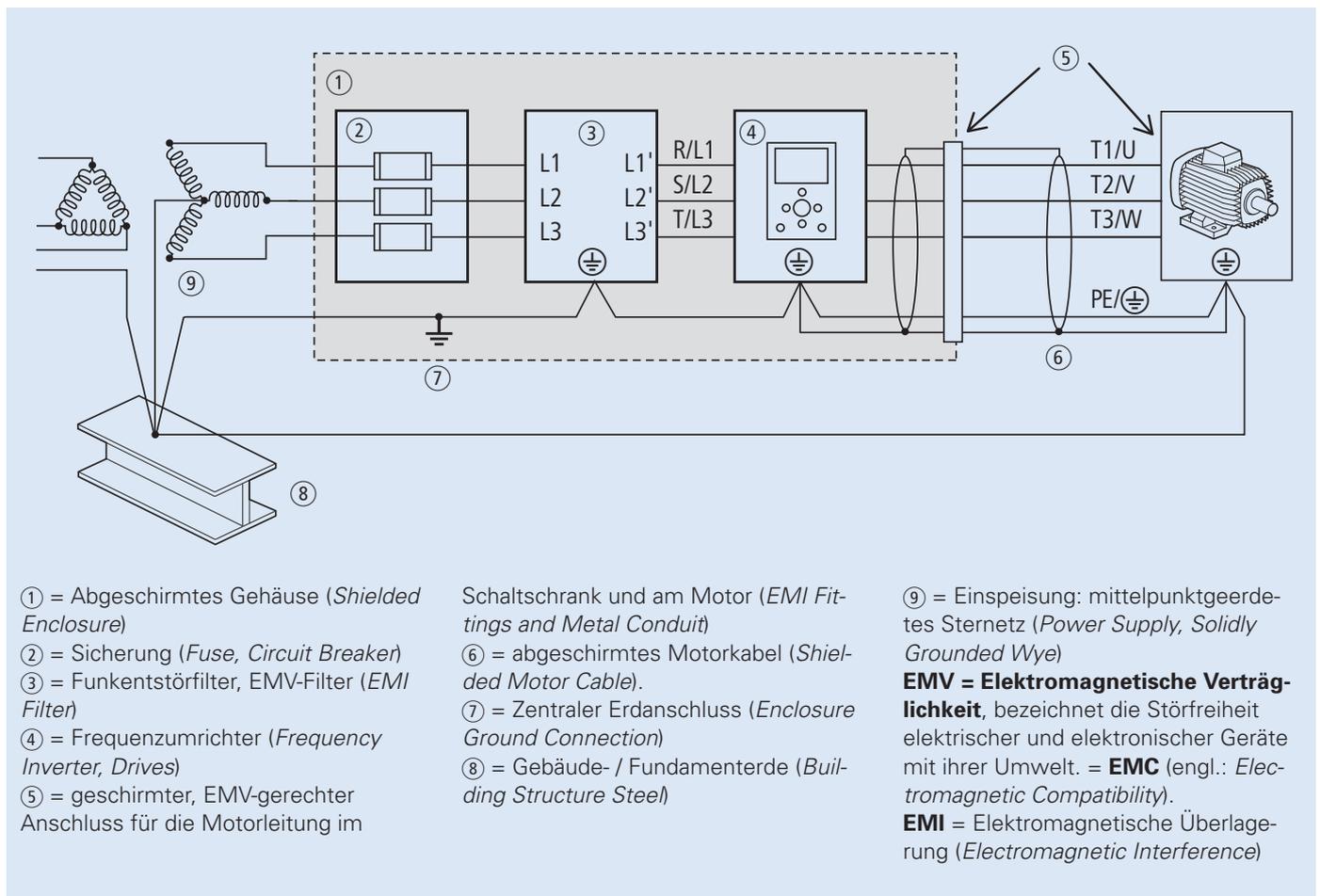


Bild 11: Beispiel einer EMV-gerechten Installation

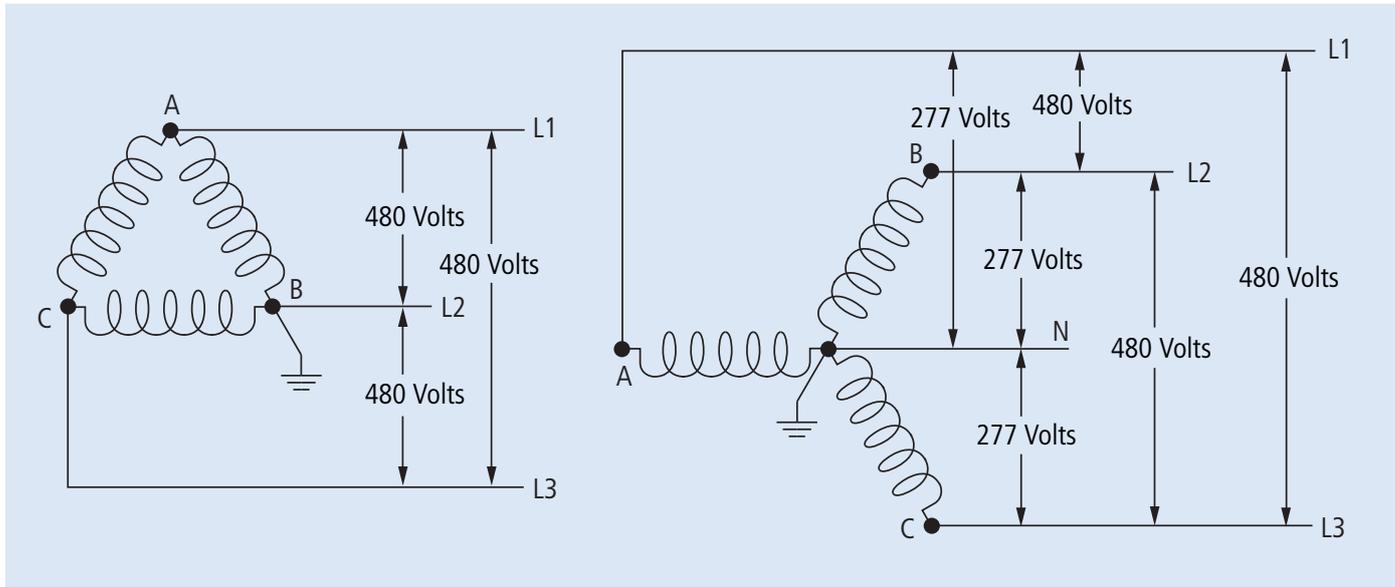


Bild 12: Phasengeerdetes Dreiecknetz und mittelpunktgeerdetes Sternnetz.

derliche Zusatzausrüstungen (z.B. Funkentstörfilter) zu benennen.

Der elektrische Anschluss einer EMV-gerechten Installation bedingt in der Regel die elektrische Einspeisung des **PDS** über ein mittelpunktgeerdetes Sternnetz. Bei den in Nordamerika oft anders ausgeprägten Netzformen wird zur Anpassung dann vor dem Frequenzumrichter (**PDS**) ein Transformator geschaltet, mit mittelpunktgeerdeter Sekundärwicklung.

Ein solcher Anpasstransformator ermöglicht dann auch weitere Anschlussvarianten:

- Verzicht auf eine stromoberwellen-dämpfende Netzdrossel,
- Reduzierung der Stromoberwellen bei großen Anschlussleistungen durch die so genannte 12-puls-Schaltung (Einspeisung über zwei Gleichrichter, gespeist aus zwei getrennten Sekundärwicklungen mit elektrisch 30 Grad Phasenverschiebung).
- Anpassung der Netzspannung 480 V auf 400 V.

Besondere Niederspannungsnetze in Nordamerika

Der vorliegende Aufsatz betrachtet ausschließlich Frequenzumrichter für den Anschluss an gewerbliche und industrielle Niederspannungsnetze. Die in Nordamerika bevorzugten (dreiphasigen) Außenleiterspannungen dieser Netze sind 240 V und 480 V. Hinzu kommt im industriellen Bereich noch die Spannung 600 V, die hier jedoch nicht weiter

betrachtet wird. Die Nennfrequenz aller Spannungen beträgt 60 Hz. In einem kombinierten Toleranzbereich „B“ (*Range B*) sind die maximal zulässigen Abweichungen festgeschrieben: Spannung $\pm 10\%$, Frequenz $\pm 3\%$.

Die in Nordamerika üblichen Netzformen unterscheiden sich dabei deutlich von den europäischen Netzen (Literaturhinweis [1]).

Im Bereich der Industrie- und Zweckbauten (*Industry and Commercial*) gibt es neben den Mittelpunkngeerdeten Sternnetzen (*Solidly Grounded Wye*), auch phasengeerdete Dreiecknetze (*Grounded Delta*). Diese geerdeten Dreiecknetze sind für den Betrieb von Frequenzumrichtern nicht geeignet und erfordern einen Anpasstransformator mit mittelpunktgeerdeter Sekundärwicklung.

Das mittelpunktgeerdete Sternnetz entspricht den in Europa bekannten TN-S-Netzen. Es gibt dabei aber keinen PEN-Leiter. Für PE (*Grounded Conductor*) und N (*Neutral*) werden immer getrennte Leiter verwendet. PE darf dabei keinen Strom tragen.

Um Verwechslungen zu vermeiden, werden stets alle Spannungen angegeben, die in der jeweiligen Netzform vorkommen. So erfolgt die Spannungsangabe im geerdeten Mittelpunknetz beispielsweise in 480Y / 277 V. Der mit „Y“ gekennzeichnete Wert ist hierbei die Spannung zwischen den Phasen, der Wert nach dem Schrägstrich, die Spannung zwischen Phase und Neutralleiter (N) bzw. gegenüber PE.

Abweichend von den Netzspannungen (240, 480, 600 V) sind die Verbraucherspannungen normiert auf 230 V, 460 V und 575 V. Auch hier sind die zulässigen Abweichungen auf $\pm 10\%$ festgeschrieben. Aus europäischer Sicht sind diese unterschiedlichen Spannungsangaben oft missverständlich.

Der höhere Spannungswert (z.B. 480 V) ist der von den Energieversorgern garantierte Wert am Einspeisepunkt in die öffentlichen und privaten Stromnetze. Die geringeren Werte der Verbraucherspannung (460 V) berücksichtigen bereits einen eventuellen Spannungsabfall bei der Übertragung in den oft sehr weitläufigen, linienförmig ausgeführten Verbrauchernetzen Nordamerikas – im Gegensatz zu den ringförmig strukturierten und von mehreren Seiten gespeisten, europäischen Stromnetzen.

Mit den weiten Anschlussspannungsbereichen von 180 V bis 264 V ($\pm 0\%$) und 342 V bis 528 V ($\pm 0\%$) gewährleisten die Frequenzumrichter von Eaton Moeller den elektrischen Anschluss an nahezu alle gewerblich genutzten Wechselstromnetze in Nordamerika und der Welt (50/60 Hz $\pm 3\%$).

Frequenzumrichter in der Applikation

Frequenzumrichter werden auf dem nordamerikanischen Markt überwiegend in einem anschlussfertigen Schaltschrank eingebaut, angeboten. Diese Frequenzumrichterschranke beinhalten alle erforderlichen Komponenten (Hauptschalter, Sicherungen, Anpasstransformator, Funkentstörfilter, Bedien-

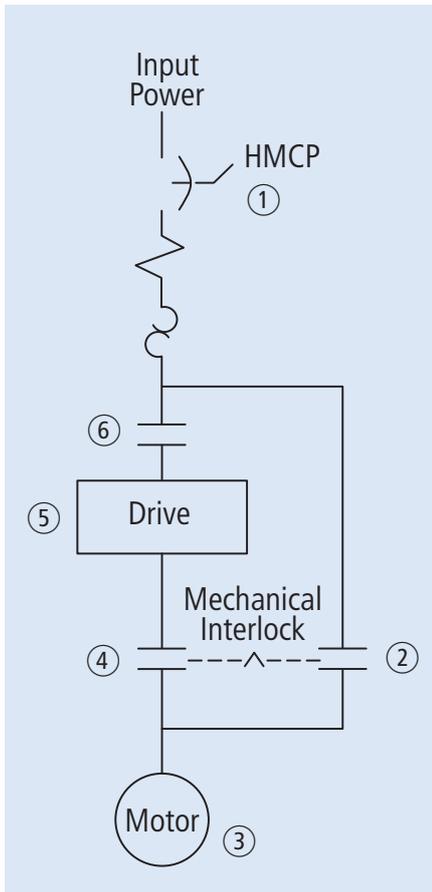


Bild 13: Beispiel: Frequenz geregelter Pumpenantrieb mit Bypass-Schutz

elemente usw.), für den sicheren Betrieb eines **PDS** in einer bewährten und bekannten Applikation. Sie sind geprüft (UL-Zertifikat) und mit einem nummerierten „Listing Label“ gekennzeichnet. Zudem berücksichtigen sie die örtlichen Netzspannungen und zugeordneten Motorleistungen. Und sie werden in der Regel in der Nähe des Motors aufgestellt (kurze Motorleitungen).

Beispiel für eine solche Standardlösung ist der in **Bild 13** dargestellte frequenzgeregelter Pumpenantrieb. Im Bedarfsfall kann die Pumpe auch unregelt über ein Bypass-Schutz betrieben werden.

Approbation (**UL**-Zulassung) und numerisches „Listing Label“ (begleitender Bericht) sind Grundvoraussetzung die problemlose Zulassung einer Maschinensteuerung durch die örtlichen Behörden (**AHJ**).

Für den Export einer Maschinensteuerung nach Nordamerika und die örtliche Zulassung ist der Aufwand noch wesentlich umfangreicher. Schon bei der Projektierung müssen hier normenkonforme und marktübliche Kombinationen sowie die regionalen und lokalen Besonderheiten am Einsatzort berücksichtigt werden. Dazu zählen beispiels-

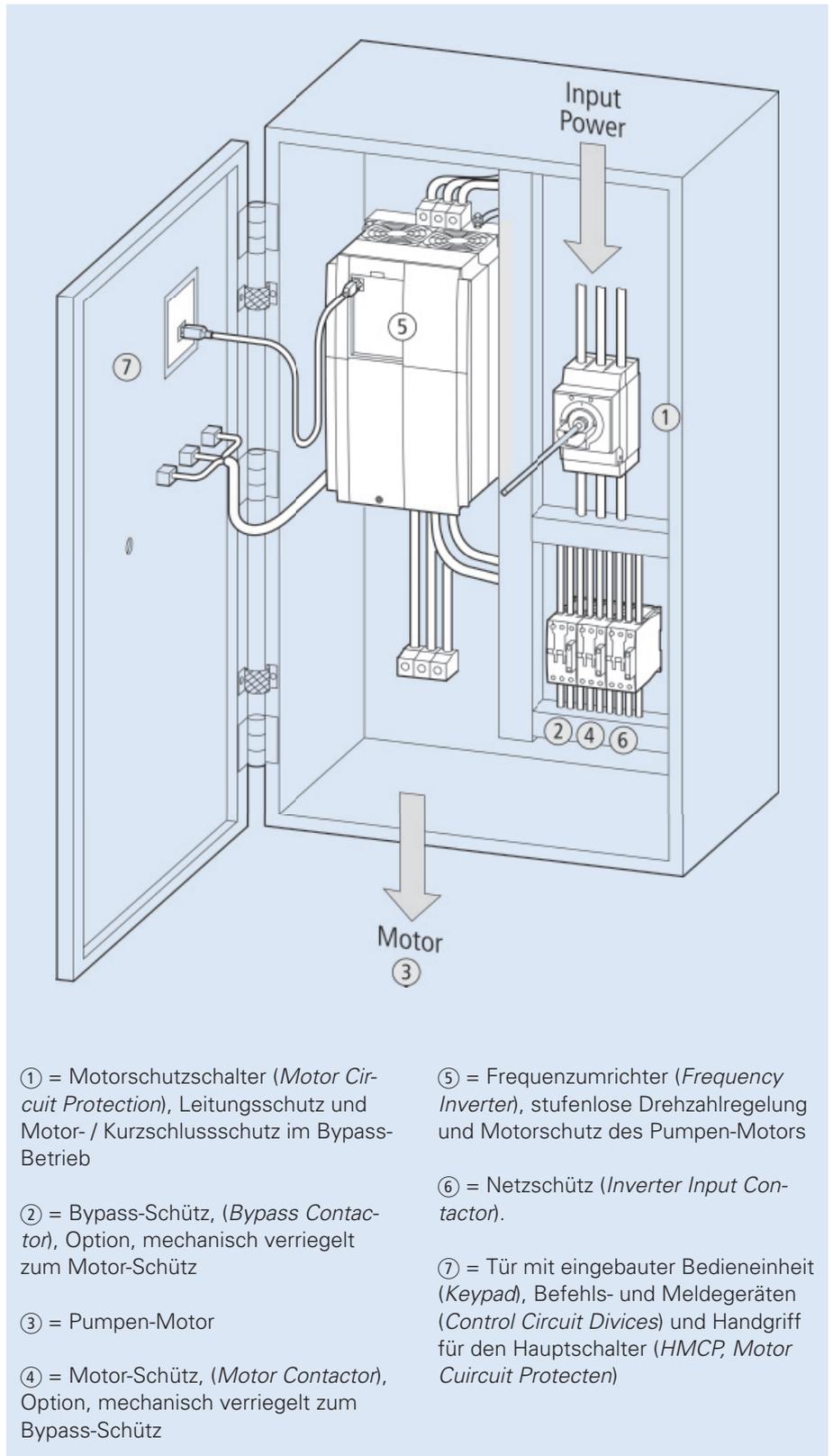


Bild 14: Frequenzumrichterschrank, schematischer Aufbau gemäß Bild 13

① = Motorschutzschalter (*Motor Circuit Protection*), Leitungsschutz und Motor- / Kurzschlussschutz im Bypass-Betrieb

② = Bypass-Schutz, (*Bypass Contactor*), Option, mechanisch verriegelt zum Motor-Schutz

③ = Pumpen-Motor

④ = Motor-Schutz, (*Motor Contactor*), Option, mechanisch verriegelt zum Bypass-Schutz

⑤ = Frequenzumrichter (*Frequency Inverter*), stufenlose Drehzahlregelung und Motorschutz des Pumpen-Motors

⑥ = Netzschutz (*Inverter Input Contactor*).

⑦ = Tür mit eingebauter Bedieneinheit (*Keypad*), Befehls- und Meldegeräten (*Control Circuit Devices*) und Handgriff für den Hauptschalter (*HMCP, Motor Circuit Protection*)

weise die von der allgemeinen Norm abweichenden klimatischen Bedingungen, spezifische Anforderungen der jeweiligen Kundenbranche an die Brand-sicherheit und die Ersatzteilbeschaffung (z. B. die eingesetzten Schmelzsicherungen, Filter bei Schranklüfter).

Für eine schnelle und einfache Zulassung in Nordamerika empfiehlt es sich,

die Maschinensteuerungen im europäischen Herstellerland bereits vorzuprüfen. Unterstützung geben können hierbei erfahrene Fachleute und Gremien (z.B. **UL**, TÜV-Rheinland usw.).

Etwaige Modifikationen können vorteilhaft unter eigener Leitung und in eigenen Fertigungsstätten durchgeführt werden. Eine „ferngesteuerte“ Modifi-

Motorbemessungsströme für normale 4-polige innen- und oberflächengekühlte Drehstrom-Asynchronmotore (1500 min ⁻¹ bei 50 Hz, 1800 min ⁻¹ bei 60 Hz). Zugeordnete Frequenzumrichter:					
230 V, 50 Hz		220-240 V, 60 Hz		bei U _{LN} = 1 AC 230V/240V, 50/60Hz	
[kW]	[A]	[HP]	[A]	Typ	[A]
0,25	1,4			MMX12AA1D7...	1,4
0,37	2	1/2	2.2	MMX12AA2D4...	2,4
0,55	2,7			MMX12AA2D8...	2,8
0,75	3,2	3/4	3.2	MMX12AA3D7...	3,7
1,1	4,6	1	4.2	MMX12AA4D8...	4,8
1,5	6,3	1-1/2	6	MMX12AA7D0...	7
		2	6.8	MMX12AA7D0...	7
2,2	8,7	3	9.6	MMX12AA9D6...	9,6

230 V, 50 Hz		220-240 V, 60 Hz		bei U _{LN} = 3 AC 230 V/240 V, 50/60Hz			
[kW]	[A]	[HP]	[A]	Typ	[A]	Typ	[A]
0,25	1,4			MMX32AA1D7...	1,4		
0,37	2	1/2	2.2	MMX32AA2D4...	2,4		
0,55	2,7			MMX32AA2D8...	2,8		
0,75	3,2	3/4	3.2	MMX32AA3D7...	3,7	HMX32AG3D4...	3,7
1,1	4,6	1	4.2	MMX32AA4D8...	4,8	HMX32AG4D8...	4,8
1,5	6,3	1-1/2	6	MMX32AA7D0...	7	HMX32AG5D6...	6,6
		2	6.8	MMX32AA7D0...	7	HMX32AG8D0...	8
2,2	8,7	3	9.6	MMX32AA011...	11	HMX32AG011...	11
3	11,5					HMX32AG012...	12,5
4	14,8	5	15,2			HMX32AG018...	18
5,5	19,6	7-1/2	22			HMX32AG024...	24,2
7,5	26,4	10	28			HMX32AG031...	31
11	38	15	42			HMX32AG048...	48
15	51	20	57			HMX32AG062...	62
18,5	63	25	68			HMX32AG077...	77
22	71					HMX32AG077...	77
30	69	30	80			HMX32AG088...	88
		40	104			HMX32AG106...	106
37	117	50	130			HMX32AG143...	143
45	141					HMX32AG143...	143
		60	154			HMX32AG170...	170
55	173	75	192			HMX32AG208...	208
75	233	100	248			HMX32AG261...	261
90	279	125	312			HMX32AG310...	310

400 V, 50 Hz		440-480 V, 60 Hz		bei U _{LN} = 3 AC 400 V/480 V, 50/60Hz			
[kW]	[A]	[HP]	[A]	Typ	[A]	Typ	[A]
0,37	1,1	1/2	1.1	MMX34AA1D3...	1,3		
0,55	1,5	3/4	1.6	MMX34AA1D9...	1,9		
0,75	1,9	1	2.1	MMX34AA2D4...	2,4		
1,1	2,6	1-1/2	3	MMX34AA3D3...	3,3	HMX34AG3D4...	3,4
1,5	3,6	2	3.4	MMX34AA4D3...	4,3	HMX34AG4D8...	4,8
2,2	5	3	4.8	MMX34AA5D6...	5,6	HMX34AG5D6...	5,6
3	6,6	5	7.6	MMX34AA7D6...	7,6	HMX34AG8D0...	8
4	8,5			MMX34AA9D0...	9	HMX34AG9D6...	9,6
5,5	11,3	7-1/2	11	MMX34AA012...	12	HMX34AG012...	12
7,5	15,2	10	14	MMX34AA014... ¹⁾	14	HMX34AG016...	16
11	21,7	15	21			HMX34AG023...	23
15	29,3	20	27			HMX34AG031...	31
18,5	36	25	34			HMX34AG038...	38
22	41	30	40			HMX34AG046...	46
30	55	40	52			HMX34AG061...	61
37	68	50	65			HMX34AG072...	72
45	81	60	77			HMX34AG087...	87
55	99	75	76			HMX34AG105...	105
75	134	100	124			HMX34AG140...	140
90	161	125	156			HMX34AG170...	170
110	196	150	180			HMX34AG205...	205
132	231	200	240			HMX34AG261...	261
160	279	250	302			HMX34AG310...	310

¹⁾ MMX34AA014... bei Motoren mit 7,5 kW (400 V) nur mit reduzierter Motorlast.

Tabelle 2: Motorbemessungsströme und zugeordnete Frequenzumrichter

kation in Nordamerika verursacht immer wesentlich höhere Kosten. In Zweifelsfällen kann aber auch hier oft nur der rechtzeitige Kontakt mit dem Anlagenbetreiber (Endkunde) und mit der Genehmigungsbehörde (AHJ) am Aufstellort zu einer Klärung führen.

Eine relativ sichere Möglichkeit zum Export einer Maschinensteuerung nach Nordamerika und zur örtlichen Zulassung, ist die Approbation. Die Maschinensteuerung muss dazu in einer von UL- bzw. CSA-Inspektoren überwachten Werkstätte gebaut werden. Nach erfolgreicher Endprüfung und Abnahme ermöglicht das UL-Zertifikat dann die Zulassung in ihrem tatsächlichen Anwendungsfeld. Die Zertifizierung der Maschinensteuerung ist jedoch mit hohen Kosten verbunden und macht nur bei hohen Stückzahlen Sinn.

Drehstrommotor und Frequenzumrichter

Die Ausführung der meisten Drehstrommotoren entspricht heute der IEC- und NEMA (UL)- Spezifikationen. Mit den Bemessungsspannungen:

- UL, 460 V, 60Hz (NEMA MG-1, UL, CSA)
- IEC, 400 V, 50 Hz (IEC 60 034)

und zulässigen Bereichen von beispielsweise 380 bis 480 V ± 10 %, können sie nahezu weltweit an allen bekannten Stromnetzen angeschlossen werden.

In Nordamerika bedingt die, gegenüber Europa (50 Hz) 20 % höhere Netzfrequenz auch eine 20 % höhere Drehzahl und die etwa 15 % höhere Netzspannung hat eine 15 % höhere Wellenleistung; bei nahezu gleichem Bemessungsstrom (siehe Beispiel in **Tabelle 3**).

Die Zuordnung eines Frequenzumrichters zum Drehstrommotor sollte daher immer über den Bemessungsstrom des Motors erfolgen und nicht über seine mechanische Wellenleistung.

Beim frequenzgeregelten Drehstrommotor kann durch die Entkopplung über den Gleichspannungszwischenkreis, die Drehfeldfrequenz für den Motor, unabhängig von der Netzfrequenz, eingestellt werden. Die zulässigen Frequenz- bzw. Drehzahlbereiche und die zugehörige Drehmomentcharakteristik des Motors muss dabei berücksichtigt werden (Angaben des Motorherstellers).

f [Hz]	U [V]	P [kW]	I [A]	n [min ⁻¹]	cos φ	M [Nm]
50	400	7,5	14,4	1450	0,87	49,4
60	460	8,6 (~10 HP)	14,2	1750	0,86	47
120 %	115 %	115 %	~ 100 %	120 %	~ 100 %	~ 96 %

Tabelle 3: Bemessungswerte beim Drehstrommotor (50/60 Hz)

Überlastschutz

Beim frequenzgeregelten Drehstrommotor (Einzelantrieb) erfolgt der Überlastschutz des Motors direkt durch den Frequenzumrichter. Dies bedingt eine genaue Übertragung der Motordaten (Leistungsschild) in die entsprechenden Parameter des Frequenzumrichters (Motormodell, Schutzfunktion).

Da für den Endanwender ein direkter Überlastschutz (Bimetallrelais, PKZM, NZM usw.) nicht sichtbar ist, wird in Nordamerika oft eine Kennzeichnung auf dem Frequenzumrichter gefordert: "Overload Protection provided". Die Forderung wird dabei vom Anwender mit der "Marking Location H and F" der UL 508C, Par. 56.1 begründet. Dies trifft für Frequenzumrichter zwar nicht zu, trotzdem sind die Hersteller dazu übergegangen den Hinweis in Aufstellanweisungen und Handbüchern abzudrucken oder als Aufkleber beizulegen bzw. zum Ausdruck auf eine beiliegende CD bereitzustellen.

Bei Mehrmotorenantrieben, also dem parallelen Anschluss mehrerer Motoren im Ausgang eines Frequenzumrichters, muss jeder Motorabgang mit einem separaten Motorüberlastschutz (Bimetallrelais, PKE) geschützt werden. Der Überlastschutz wird dabei auf den Bemessungsstrom des zugeordneten Motors eingestellt.

Fazit

Frequenzumrichter für den nordamerikanischen Markt müssen die erforderlichen Approbationen (UL, CSA) nachweisen.

Für den Einsatz eines Frequenzumrichters in einer Maschinensteuerung reicht es nicht aus, wenn der Frequenzumrichter und alle weiteren, angewandten Produkte approbiert sind. Entscheidend ist das gemeinsame Wirken der Geräte nach den jeweiligen Anwendungsstandards im tatsächlichen Anwendungsumfeld (zertifizierte Maschinensteuerung).

NEMA: *National Electrical Manufacturers Association* = amerikanischer Fachverband für den Standard elektrisch genutzter Produkte.

Weitere Informationsquellen

Internet:

www.ansi.org
 www.csa.ca
 www.iec.ch
 www.nema.org
 www.nfpa.org
 www.tuv.com
 www.ul.com
 www.ul-europe.com

Literatur:

- [1] Wolfgang Esser
 „Exportrelevante Spannungsangaben und Netzformen in Nordamerika“
 Moeller GmbH, Bonn, 2008
 VER4300-965...
 Artikel Nr.: 116834
- [2] Wolfgang Esser
 „SCCR – Overall Panel Short Circuit Current Rating – gemäß NEC und UL Standards“
 Moeller GmbH, Bonn, 2007
 VER0211-959...

Eaton Electric GmbH
Kunden-Service-Center
Postfach 1880
53105 Bonn

Auftragsbearbeitung

Kaufmännische Abwicklung
Direktbezug
Tel. 0228 602-3702
Fax 0228 602-69402
E-Mail: Bestellungen-Bonn@eaton.com

Kaufmännische Abwicklung
Elektrogroßhandel
Tel. 0228 602-3701
Fax 0228 602-69401
E-Mail: Bestellungen-Handel-Bonn@eaton.com

Technik

Technische Auskünfte / Produktberatung
Tel. 0228 602-3704
Fax 0228 602-69404
E-Mail: Technik-Bonn@eaton.com

Anfragen / Angebotserstellung
Tel. 0228 602-3703
Fax 0228 602-69403
E-Mail: Anfragen-Bonn@eaton.com

Qualitätssicherung / Reklamationen
Tel. 0228 602-3705
Fax 0228 602-69405
E-Mail: Qualitaetssicherung-Bonn@eaton.com

Zentrale

Tel. 0228 602-5600
Fax 0228 602-5601

Schweiz
Internet: www.moeller.ch

Lausanne

Eaton Industries II Sarl
Chemin du Vallon 26
1030 Bussigny
Tel. +41 58 458 14 68
Fax +41 58 458 14 69
E-Mail: lausanneswitzerland@eaton.com

Zürich

Eaton Industries II GmbH
Im Langhag 14
8307 Effretikon
Tel. +41 58 458 14 14
Fax +41 58 458 14 88
E-Mail: effretikonswitzerland@eaton.com

Österreich

Internet: www.moeller.at / www.eaton.com

Wien

Eaton GmbH
Scheydgasse 42
1215 Wien, Austria
Tel. +43 (0)50868-0
Fax: +43 (0)50868-3500
Email: InfoAustria@Eaton.com

After Sales Service

Eaton Industries GmbH
Hein-Moeller-Straße 7-11
53115 Bonn
Tel. +49 (0) 228 602-3640
Fax +49 (0) 228 602-1789
Hotline +49 (0) 1805 223822
E-Mail: AfterSalesEGBonn@Eaton.com
www.moeller.net/aftersales

Eaton Corporation

Eaton ist ein führendes Energiemanagement-Unternehmen. Weltweit ist Eaton mit Produkten, Systemen und Dienstleistungen in den Bereichen Electrical, Hydraulics, Aerospace, Truck und Automotive tätig.

Eatons Electrical Sector

Eatons Electrical Sector ist weltweit führend bei Produkten, Systemen und Dienstleistungen zu Energieverteilung, sicherer Stromversorgung und Automatisierung in der Industrie, in Wohn- und Zweckbauten, öffentlichen Einrichtungen, bei Energieversorgern, im Handel und bei OEMs.

Zu Eatons Electrical Sector gehören die Marken Cutler-Hammer®, Moeller®, Micro Innovation, Powerware®, Holec®, MEM® und Santak®.

www.eaton.com

Adressen weltweit:
www.moeller.net/address

E-Mail: info-bonn@eaton.com
Internet: www.moeller.net
www.eaton.com

Herausgeber:
Eaton Corporation
Electrical Sector – EMEA

Eaton Industries GmbH
Hein-Moeller-Str. 7-11
D-53115 Bonn

© 2010 by Eaton Industries GmbH
Änderungen vorbehalten
VER8230-964de ip 10/10
Printed in Germany (10/10)
Artikelnr.: 119898

