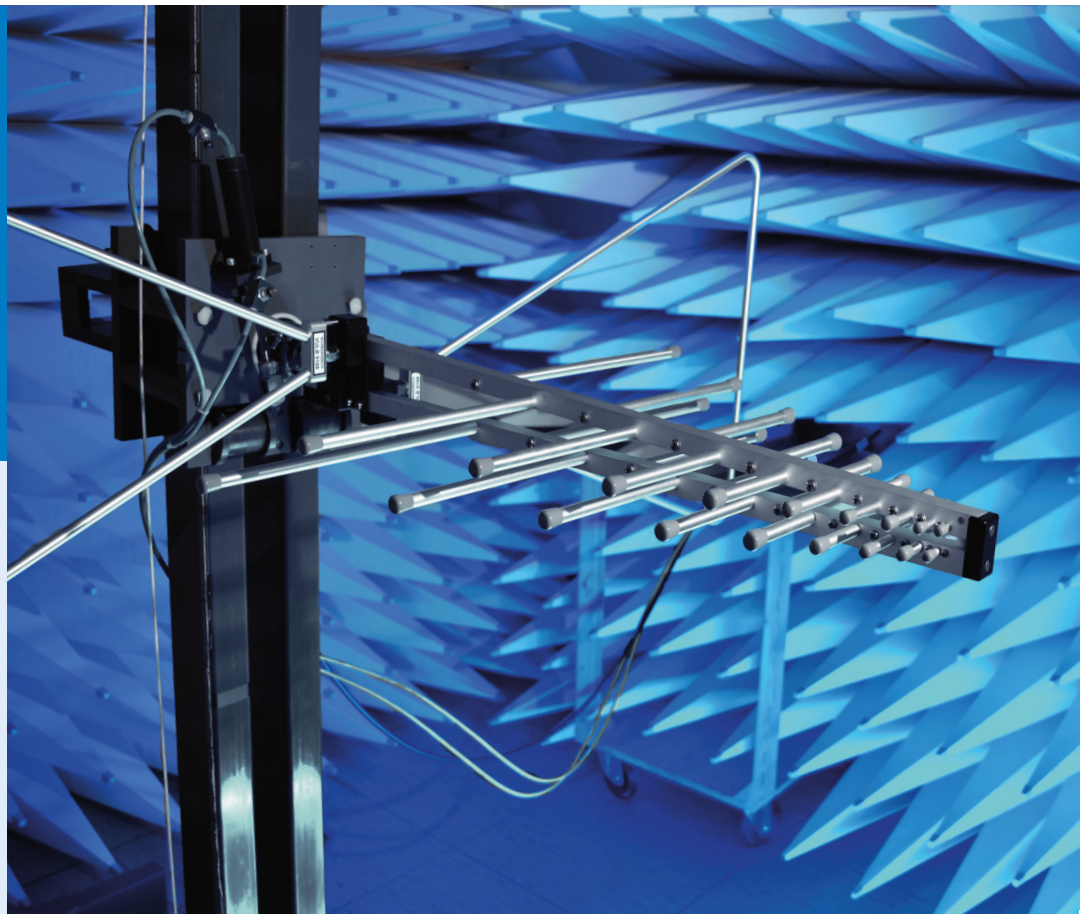
EMV-FIBEL | EMC PRIMER

Wissenskompendium
Knowledge compendium

EMV-Normen und Richtlinien
Fachbegriffe
Bauelemente
Netzseitige und motorseitige Anwendungen
Installations-hinweise

EMC Standards and Directives
Glossary
Components
Mains side and motor side applications
Installation instructions



EPA
www.epa.de

Inhalt | Content

EMV-Normen und Richtlinien 3

Grenzwerte für Störsignale 4

CE-Kennzeichnung / Konformitätserklärung 5

Fachbegriffe 6

Elektromagnetische Verträglichkeit beim Einsatz von Frequenzumrichtern und Servoreglern 9

Bauelemente der EMV 12

Netzseitige Anwendungen 14

Motorseitige Anwendungen 16

Installationshinweise für die optimale EMV in der Antriebstechnik 27

EMC Standards and Directives 3

Limit values for interference signals 4

CE Marking / Declaration of Conformity 5

Glossary 6

Electromagnetic compatibility when using frequency inverters and servo controllers 9

Components of the EMC 12

Mains side applications 14

Motor side applications 16

Installation instructions for optimal EMC in the drives technology 27

EMV-Richtlinien und EMV-Gesetze (EMVG)

In der Vergangenheit wurden die Vorschriften und Normen für die „Elektromagnetische Verträglichkeit“ nur national geregelt und die messtechnischen Vorgaben und Anforderungen an Geräten und Anlagen dadurch unterschiedlich festgelegt. Um die EMV-Rechtsvorschriften in der Europäischen Union anzugleichen und gleichzeitig technische Handelshemmnisse zu vermindern, erklärte der Europäische Rat am 1. Januar 1992 für alle Mitgliedsstaaten der Europäischen Gemeinschaft die EMV-Richtlinie 89/336/EWG vom 3. Mai 1989 als verbindlich. Noch im selben Jahr, am 9. November 1992, wurde für die Bundesrepublik Deutschland das Gesetz über die elektromagnetische Verträglichkeit von Betriebsmitteln (EMVG) im Bundesgesetzblatt veröffentlicht. Nach mehreren Änderungen und Angleichungen ist derzeit die EMV-Richtlinie 2014/30/EU des Europäischen Parlaments und des Rates gültig. Diese wurde am 14. Dezember 2016 mit der Veröffentlichung im Amtsblatt (BGBl. I S. 2879) in deutsches Recht umgesetzt. Seit diesem Datum ist diese Richtlinie für Deutschland für alle neu in den EU-Markt gebrachten elektrischen Geräte verbindlich und somit bei der Konformitätserklärung für die CE-Kennzeichnung zu beachten.

EMC Directives and EMC Acts (EMC)

In the past, the regulations and standards for “electromagnetic compatibility” were only regulated nationally, and the metrological specifications and requirements for devices and systems were therefore defined differently. In order to harmonise the EMC legislation in the European Union and at the same time reduce technical barriers to trade, the European Council declared the EMC Directive 89/336/EEC of May 3, 1989 as binding for all member states of the European Community on January 1, 1992. In the same year, on November 9, 1992, the law on the electromagnetic compatibility of equipment (EMVG) was published in the Federal Law Gazette in the Federal Republic of Germany. After several amendments and adjustments, the EMC Directive 2014/30/EU of the European Parliament and Council is currently valid. This was implemented into German law on 14th December 2016 with its publication in the Official Journal (BGBl. I p. 2879). Since this date, this directive has been binding for Germany for all new electrical equipment placed on the EU market and must therefore be observed in the declaration of conformity for the CE marking.

Normen und Vorschriften für die Konformitätsprüfungen | Standards and guidelines for conformity tests

Grundnormen | Basic standards

Messgeräte Measuring apparatus	EN 55016-1-1 | EN 55016-1-1	Störaussendung und Störfestigkeit Emission and Immunity
Messverfahren Measurement methods	EN 55016-2-2 | EN 55016-2-2 EN 61000-4-1 | EN 61000-4-1	Störaussendung | Emission Störfestigkeit | Immunity
Störfestigkeit Immunity	EN 61000-4-2 | EN 61000-4-2 EN 61000-4-3 | EN 61000-4-3 EN 61000-4-4 | EN 61000-4-4 EN 61000-4-5 | EN 61000-4-5 EN 61000-4-6 | EN 61000-4-6 EN 61000-4-8 | EN 61000-4-8 EN 61000-4-11 | EN 61000-4-11	ESD | ESD EM-Felder | EM-fields Burst | Burst Surge | Surge Induzierte HF-Felder | Induced RF fields Magnetfelder | Magnetic fields Spannungseinbrüche, Kurzzeitunterbrechungen, Spannungsschwankungen | Voltage dips, short-term interruptions, voltage fluctuations
Oberschwingungen Harmonics	EN 61000-3-2 EN 61000-3-2 EN 61000-3-12 EN 61000-3-12	Geräte-Eingangsstrom ≤ 16 A/Leiter Equipment input current ≤ 16 A/phase Geräte-Eingangsstrom ≤ 75 A/Leiter Equipment input current ≤ 75 A/phase
Flicker | Flicker, Spannungsänderungen Voltage changes, Spannungsschwankungen Voltage fluctuations	EN 61000-3-3 EN 61000-3-3 EN 61000-3-11 EN 61000-3-11	Geräte-Eingangsstrom ≤ 16 A/Leiter Equipment input current ≤ 16 A/phase Geräte-Eingangsstrom ≤ 75 A/Leiter Equipment input current ≤ 75 A/phase

Fachgrundnormen | Generic standards

Störfestigkeit Immunity	EN 61000-6-1 | EN 61000-6-1 EN 61000-6-2 | EN 61000-6-2	Wohngebiet | Domestic environments Industriegebiet | Industrial environments
Störaussendungen Emission	EN 61000-6-3 | EN 61000-6-3 EN 61000-6-4 | EN 61000-6-4	Wohngebiet | Domestic environments Industriegebiet | Industrial environments

Produkt(familien)normen | Product (family) standards

Störfestigkeit und Störaussendungen Emission and Immunity	EN 55011 | EN 55011 EN 55022 | EN 55022	ISM-Geräte | ISM devices * ITE-Geräte | ITE devices **
	EN 61800-3 | EN 61800-3	Elektrische Antriebe | Electrical power drives
	EN 50370-1 | EN 50370-1 EN 50370-2 | EN 50370-2	Werkzeugmaschinen | Machine tools

* ISM: Industrielle, wissenschaftliche und medizinische Geräte | ISM: Industrial, scientific and medical devices
** ITE: Informations- und Telekommunikationseinrichtungen | ITE: Information and Telecommunications Equipment

Tabelle zeigt nur einen Teil aller relevanten Normen! | Table shows only a part of all relevant standards!

Im Bereich der elektromagnetischen Verträglichkeit unterscheidet man drei Arten von Normen:
Grundnormen: Die Grundnormen beziehen sich auf die allgemeinen und grundsätzlichen Regeln zur Erfüllung der gestellten Anforderungen. Neben der Klassifizierung elektromagnetischer Umgebungen, beschreiben diese auch Prüf- und Messverfahren, sowie Phänomene, Kompatibilitätsebenen und Terminologie.
Fachgrundnormen: Die Fachgrundnormen legen die EMV-Mindestanforderungen fest, die ein Betriebsmittel in einer bestimmten Umgebung erfüllen muss. Sie werden angewandt, falls keine produktspezifischen Normen existieren.
Produkt(familien)normen: Die Produkt(familien)normen gelten nur für bestimmte Produkte und Produktgruppen. Sie werden in Abstimmung mit den Fachgrundnormen erstellt.

In the field of electromagnetic compatibility, there are three types of standards:
Basic standards: The basic standards relate to the general and fundamental rules to meet the requirements. In addition to the classification of electromagnetic environments, they describe test and measurement and phenomena, compatibility levels and terminology.
Generic standards: The Generic EMC standards define the minimum requirements that equipment in a particular environment must meet. They must be applied when no product specific standards exist.
Product (family) standards: The product (family) standards apply only to certain products and product categories. They will be created in coordination with the specialised basic standards.

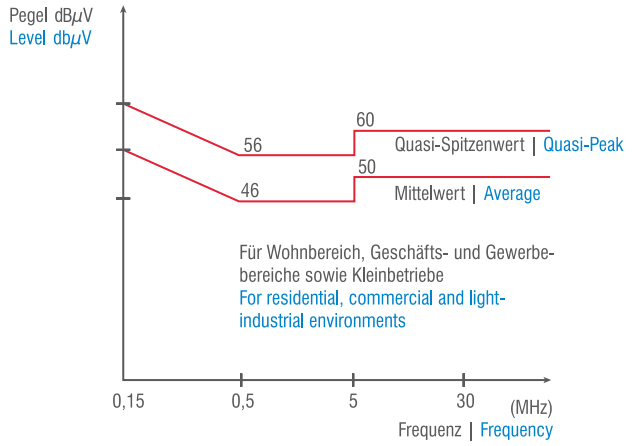
Grenzwerte für Störsignale

Die höchstzulässige Störaussendung eines Gerätes oder einer Anlage wird durch Grenzwerte in der jeweils gültigen Norm festgelegt.
Diese Normen richten sich unter anderem nach dem Einsatzbereich des Gerätes oder der Anlage. Die mit Funkstörmessempfängern ermittelten Quasi-Spitzenwerte und Mittelwerte werden bis 30 MHz als **Störspannungen** gemessen und in der Einheit dBμV angegeben - 0 dBμV entspricht 1 μV an 50 Ω. Um die Reproduzierbarkeit der Messungen an unterschiedlichen Messorten sicher zu stellen und die Störspannung von der Netzspannung zu entkoppeln, werden die Messungen mit einer genormten 50 Ω Netznachbildung (LISN – engl. Abkürzung für Line Impedance Stabilisation Network) durchgeführt.

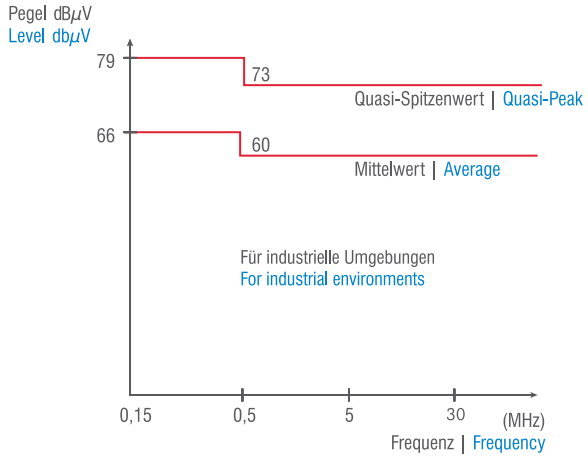
Limit values for interference signals

The maximum permissible interference emission of a device or system is defined by limit values in the respective valid standard.
These standards are based, among other things, on the area of application of the device or system. The quasi-peak values and average values determined with RFI test receivers are measured up to 30 MHz as **interference voltages** and are given in the unit dBμV - 0 dBμV corresponds to 1 μV at 50 Ω. To ensure the reproducibility of the measurements at different measurement locations and to decouple the interference voltage from the line voltage, the measurements are carried out with a standard 50 Ω line impedance stabilisation network (LISN).

Grenzwerte gemäß IEC/EN 61000-6-3 für Wohnbereiche
Limits according to IEC/EN 61000-6-3 for domestic environments



Grenzwerte gemäß IEC/EN 61000-6-4 für industrielle Umgebungen
Limits according to IEC/EN 61000-6-4 for industrial environments



Die Messungen der **Funkstörfeldstärke** werden mit Breitbandantennen durchgeführt. Sie können im Freifeld oder in einer gegen äußere Störeinflüsse abgeschirmten Absorberkabine vorgenommen werden.
Dabei wird zwischen H-Feldern und E-Feldern unterschieden. Das H-Feld (magnetisches Feld) wird im Frequenzbereich von 9 kHz bis 30 MHz und das E-Feld (elektrisches Feld) von 30 MHz bis 1 GHz (oder je nach Anwendung auch höher) messtechnisch erfasst.

The measurements of the **radio interference field strength** are performed with broadband antennas. They can be carried out in an open field or in an anechoic chamber shielded against external interference.
A distinction is made between H-fields and E-fields. The H-field (magnetic field) is measured in the frequency range from 9 kHz to 30 MHz and the E-field (electric field) from 30 MHz to 1 GHz (or higher depending on the application).

CE-Kennzeichnung / Konformitätserklärung

Geräte und Anlagen, die eigenständig arbeiten bzw. eine eigene Funktion besitzen, müssen neben weiteren anwendbaren Richtlinien (wie die Niederspannungs- und die Maschinen-Richtlinie) die Schutzanforderungen der EMV-Richtlinie einhalten. Der Hersteller ist verpflichtet, auf den Produkten und deren Verpackung das CE-Zeichen als Kennzeichnung der Konformität (Übereinstimmung) mit den in Betracht kommenden Normen - anzubringen. Zusätzlich ist eine Konformitätserklärung zu erstellen, in der die Einhaltung der Schutzziele (u. a. Grenzwerte für die Aussendung von Störungen und auch der Störfestigkeit) bestätigt wird.
Für elementare Bauteile wie z. B. Transistoren, ICs, Widerstände, Kondensatoren oder Ersatz- und Zulieferteile (auch Anlagen, bzw. Teile davon), sofern diese Produkte der Weiterverarbeitung durch Industrie, Handwerk oder anderen fachkundigen Betrieben dienen, ist die CE-Kennzeichnung aber nicht erforderlich bzw. unzulässig.

Die CE-Kennzeichnung wird oft fälschlicherweise als Prüfzeichen angesehen. Tatsächlich sagt die Kennzeichnung aber nichts über die Qualität oder über eine Prüfung des Systems aus, denn dies liegt allein in der Verantwortung des Herstellers. In der EU sind die EMV-Richtlinien verbindliche Rechtsvorschriften, die für eine Vermarktung von Produkten innerhalb der Grenzen der Mitgliedsstaaten zwingend einzuhalten sind. Der übrige Weltmarkt ist davon allerdings nicht betroffen. Fertigt ein Hersteller ausschließlich für Länder außerhalb der EU, so unterliegt er den jeweiligen Bestimmungen des Importlandes.

CE Marking / Declaration of Conformity

Devices and systems that work independently or have their own function must comply with the protection requirements of the EMC Directive in addition to other applicable directives (such as the Low Voltage and Machinery Directive). The manufacturer is obliged to affix the CE mark to the products and their packaging - as a mark of conformity (accordance) with the relevant standards. In addition, a Declaration of Conformity must be issued, confirming compliance with the protection goals (including limit values for the emission of interference and also interference immunity).
For elementary components such as transistors, ICs, resistors, capacitors or spare and supply parts (including equipment or parts thereof), however, if these products are used for further processing by industry, trade or other specialist companies, CE marking is not required or is inadmissible.

The CE marking is often erroneously regarded as a test mark. In fact, however, the marking says nothing about the quality or about a test of the system, as this is the sole responsibility of the manufacturer. In the EU, the EMC Directive is binding legal regulations that must be observed if products are to be marketed within the borders of the member states. However, the rest of the world market is not affected by this. If a manufacturer manufactures exclusively for countries outside the EU, he is subject to the respective regulations of the importing country.

Fachbegriffe

EMV (Elektromagnetische Verträglichkeit)
Die Definition des Begriffes EMV ist in der Bestimmung DIN VDE 0870 festgelegt: „Die elektromagnetische Verträglichkeit ist die Fähigkeit einer elektrischen Einrichtung in ihrer elektromagnetischen Umgebung zufriedenstellend zu funktionieren, ohne diese Umgebung, zu der auch andere Einrichtungen gehören, unzulässig zu beeinflussen“.

EMB (Elektromagnetische Beeinflussung)
Die Verursacher elektromagnetischer Störungen sind in unserer Umgebung permanent vorhanden, sie werden in der Fachsprache als **Störquellen** bezeichnet. Einige Beispiele sind: Mobilfunktelefone, Ladegeräte, Netzteile, Frequenzumrichter, Servoregler, Thyristorsteller oder Gasentladungslampen. Aber auch elektrostatisch „aufgeladene“ Personen (Elektrostatische Entladung = ESD), indirekter Blitzeinschlag (Überspannung) und andere natürliche Ereignisse zählen dazu. Die durch elektromagnetische Störungen beeinflussten Geräte und Anlagen werden **Störsenken** genannt. Bekannte Beispiele sind z. B. Radiogeräte, Computer, Sensoren, Messgeräte und Herzschrittmacher.
Elektromagnetische Störungen breiten sich in Abhängigkeit von Ihrer Frequenz auf unterschiedliche Art und Weise aus. Niederfrequente Störungen (< 30 MHz) breiten sich hauptsächlich leitungsgebunden aus, höherfrequente Störungen (> 30 MHz) hingegen durch Abstrahlung. Diese ungewollten Spannungen und Ströme, die sich auf Leitungen und Leiterplatten bewegen, können zu Fehlfunktionen oder Defekten von Geräten führen. Sporadische Ausfälle, die auf diese Ursachen zurückzuführen sind, werden in der Regel nicht sofort erkannt. Dadurch sind die Ausfallzeiten und Reparaturen mit zum Teil erheblichem Zeitaufwand und somit Kosten verbunden. Das Filter spielt, neben einer sorgfältig geplanten Anordnung von Geräten und Verdrahtung, eine ganz entscheidende Rolle, denn es erhöht die Zuverlässigkeit und somit die Qualität der Geräte und Anlagen.

EMS (Elektromagnetische Störfestigkeit)
Um eine elektromagnetische Verträglichkeit von Geräten und Systemen in der Umgebung zu erreichen, sind sowohl die Netzrückwirkungen der an die Spannungsversorgung angeschlossenen Geräte, als auch deren Störfestigkeit normativ festgelegt. In der EMV-Technik wird deshalb nicht nur die elektromagnetische Störaussendung analysiert und beseitigt, sondern auch die Störfestigkeit von Geräten und Anlagen überprüft und sichergestellt. Bei dieser Prüfung werden normkonform unterschiedliche äußere Störeinflüsse simuliert und dabei die Funktionsfähigkeit des Gerätes, der Anlage oder des Systems genau beobachtet.

Glossary

EMC (Electromagnetic compatibility)
The definition of the term EMC is laid down in DIN VDE 0870: "Electromagnetic compatibility is the ability of an electrical device to function satisfactorily in its electromagnetic environment without unduly affecting this environment, which also includes other devices".

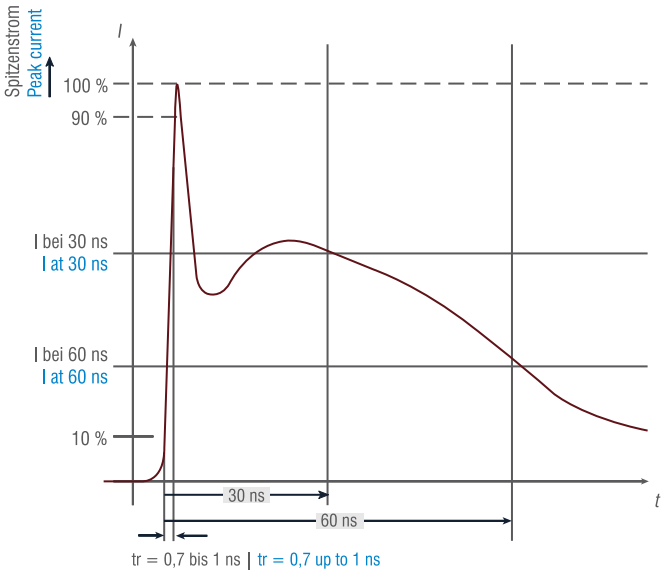
EMI (Electromagnetic interference)
The causes of electromagnetic disturbances are permanently present in our environment, they are called **sources of interference** in the technical language. Some examples are: Mobile phones, chargers, power supplies, frequency inverters, servo controllers, thyristor controllers or gas discharge lamps. But electrostatically "charged" persons (electrostatic discharge = ESD), indirect lightning (over voltage) and other natural events are also included. The devices and systems affected by electromagnetic interference are called **interference sinks**. Well-known examples are e.g. radios, computers, sensors, measuring devices and pacemakers.
Electromagnetic interference spreads in different ways depending on its frequency. Low-frequency interference (< 30 MHz) spreads mainly via a wire, higher-frequency interference (> 30 MHz), on the other hand, is spread by radiation. These unwanted voltages and currents, which move on lines and printed circuit boards, can lead to malfunctions or defects of devices. Sporadic failures due to these causes are usually not immediately detected. As a result, downtimes and repairs can be very time-consuming and therefore costly. In addition to a carefully planned arrangement of devices and wiring, the filter plays a very decisive role, as it increases the reliability and thus the quality of the devices and systems.

EMS (Electromagnetic susceptibility)
In order to achieve electromagnetic compatibility of equipment and systems in the environment, both the system perturbations of equipment connected to the power supply, and their immunity to interference are normatively determined. For this reason, EMC engineering not only analyses and eliminates electromagnetic interference emissions, but also checks and ensures the interference immunity of devices and systems. During this test, various external interference influences are simulated in conformity with standards, and the functionality of the device, equipment or system is closely observed.

ESD (engl. Electrostatic Discharge)
Eine elektrostatische Entladung ist überall möglich. Lediglich durch das Begehen einer isolierenden Bodenoberfläche (z. B. Teppich) kann sich eine Person elektrostatisch aufladen. Die Spannung gegen Erde kann hierbei mehrere 1.000 Volt betragen. Sobald die Person z. B. ein elektrisches Gerät oder System berührt (häufig spürbar und durch Funken sichtbar) findet die Entladung statt. Diese ist zwar für den Menschen weitestgehend ungefährlich, die daraus resultierenden Ströme können aber auf empfindliche Elektronik beeinflussend oder zerstörend wirken. In einigen Fällen können ganze Systeme zum „Absturz“ gebracht werden. Auch Explosionen und Brände sind durch dieses Phänomen möglich. ESD-Prüfungen werden nach EN 61000-4-2 durchgeführt.

ESD (Electrostatic Discharge)
An electrostatic discharge is possible everywhere. Only by walking on an insulating floor surface (e.g. carpet) could a person become electrostatically charged. The voltage to earth can be several 1,000 volts. As soon as the person touches an electrical device or system (often noticeably and visible by sparks) the discharge takes place. Although this is largely harmless to humans, the resulting currents can influence or destroy sensitive electronics. In some cases, entire systems can be “crashed”. This phenomenon can also cause explosions and fires. ESD tests are carried out according to EN 61000-4-2.

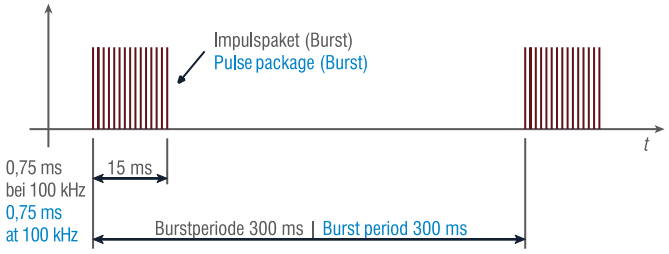
Typische Kurvenform des Ausgangsstromes des ESD-Generators
Typical graph of the ESD generator output current



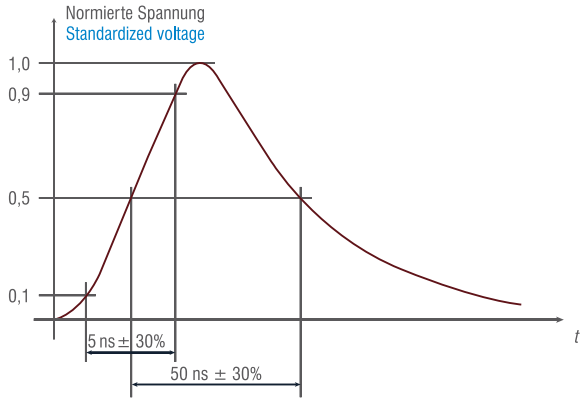
EFT (engl. Electric Fast Transient) und BURST
In der Praxis arbeitende elektronische Systeme schalten meist mit konventionellen Schaltgeräten (z. B. Schütze oder Relais). Alle überwiegend induktiven Lasten erzeugen beim Ein- und Ausschalten die unterschiedlichsten parasitären Schaltsignale (auch BURSTs oder EFT Pulsgruppen genannt). Die Kenndaten einer solchen transienten Störgröße sind Anstiegszeit (im ns-Bereich), Wiederholfrequenz (im kHz bis MHz Bereich), Energie (im mJ-Bereich), Spannungsamplitude (bis einige kV) und Pulsdauer (in ms). Um die Beeinflussung von Geräten gegenüber diesen Störgrößen zu prüfen, werden mittels Störgeneratoren Pulspakete (Burst) aus normativ definierten EFT-Einzelimpulsen erzeugt (EN 61000-4-4).

EFT (Electric Fast Transient) and BURST
Electronic systems operating in practice usually switch with conventional switching devices (e.g. contractors or relays). All predominantly inductive loads generate a wide variety of parasitic switching signals (also called BURSTs or EFT pulse groups) when they are switched on and off. The characteristics of such a transient disturbance are rise time (in the ns range), repetition frequency (in the kHz to MHz range), energy (in the mJ range), voltage amplitude (up to several kV) and pulse duration (in ms). In order to test the influence of devices against these disturbance variables, pulse package (burst) are generated from normatively defined EFT individual pulses by means of interference generators (EN 61000-4-4).

Allgemeine Darstellung einer schnellen transienten elektrischen Störgröße / Burst | General illustration of a fast transient electrical disturbance / Burst



Kurvenform eines EFT-Einzelimpulses an einem 50 Ω-Abschlusswiderstand
Graph of a single EFT pulse on a 50 Ω-termination



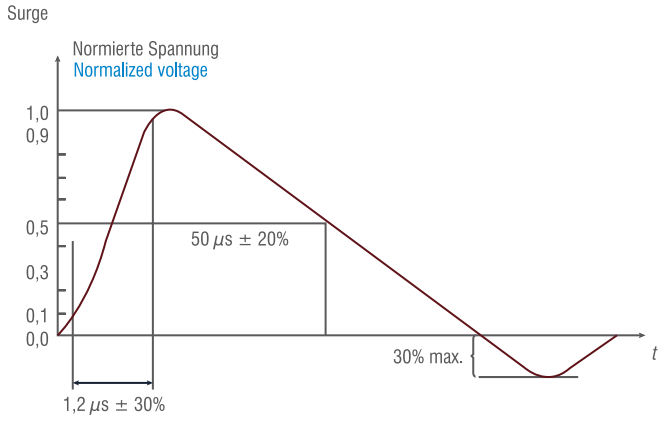
SURGE (Stoßspannung)

Mit SURGE werden energiereiche (bis mehrere Joule enthaltende), niederfrequente Störimpulse mit Spannungen bis zu mehreren 1.000 Volt bezeichnet. Neben Schalthandlungen im Stromversorgungsnetz entstehen diese auch bei Blitzeinschlägen, einer der energiereichsten Störquellen überhaupt. Zur Stromversorgung werden oft mehrere Kilometer lange Leitungen verwendet. Dies hat zur Folge, dass bei einem direkten oder indirekten Blitzeinschlag SURGE Impulse in die Leitungen eingekoppelt werden, welche an den angeschlossenen Geräten Beeinflussungen oder Zerstörungen verursachen können. Um dieses Risiko zu minimieren, werden spezielle Schutzelemente eingesetzt. Die Prüfung der Störfestigkeitgegen Stoßspannungen erfolgen nach DIN EN 61000-4-5.

SURGE

The term SURGE is used to describe high-energy (containing up to several joules), low-frequency interference pulses with voltages of up to several 1,000 volts. In addition to switching operations in the power supply network, these also occur during lightning strikes, one of the most energy-rich sources of interference. Cables several kilometres long are often used to supply power. This means that in the event of a direct or indirect lightning strike SURGE pulses are coupled into the lines, which can cause interference or destruction of the connected devices. To minimise this risk, special protective elements are used. The surge immunity test is carried out in accordance to DIN EN 61000-4-5.

Kurvenform der Leerlaufspannung (1,2/50 μs)
Graph of an open-circuit voltage (1,2/50 μs)



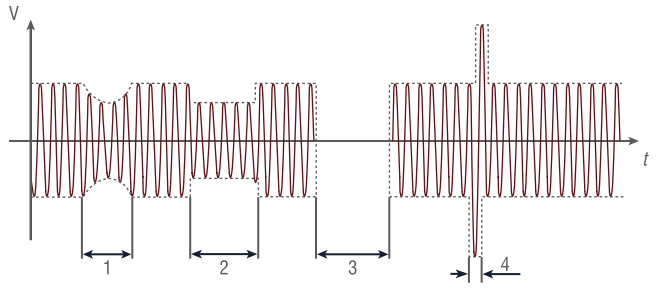
DIPS (Netzunterbrechungen und Netzeinbrüche)

Spannungsunterbrechungen und -einbrüche werden auch als DIPS bezeichnet. Diese ungewollten Phänomene können im Kurzschlussfall, beim Auslösen von Sicherungseinrichtungen und beim Schalten großer Lasten auftreten. Auftretende Beeinträchtigungen sind z. B. kurzfristige Ausfälle oder unerwünschte Neustarts von Geräten oder Anlagen. Die bekanntesten Verursacher sind schaltende, induktive Verbraucher und Schalthandlungen im öffentlichen Stromversorgungsnetz. Die Prüfung der Störfestigkeit gegenüber Spannungseinbrüchen, Spannungsschwankungen und Kurzzeitunterbrechungen erfolgt nach DIN EN 61000-4-11.

DIPS (Mains interruptions and drops intrusions)

Voltage interruptions and drops are also known as DIPS. These unwanted phenomena can occur in the event of a short circuit, when safety devices are tripped and when large loads are switched. Occurring impairments are for example short-term failures or unwanted restarts of devices or systems. The best known causes are switching inductive loads and switching operations in the public power supply network. The immunity tests for voltage dips, voltage variations and short interruptions are carried out in accordance to EN 61000-4-11.

Störungen im Niederspannungsnetz
Disturbances in a low voltage supply



1 Netzschwankungen, Flicker | Mains fluctuation, flicker
2 Netzeinbruch | Mains drop
3 Netzunterbrechung | Mains interruption
4 Netzüberspannung | Mains transient

Netzspannungsschwankungen und Flicker

Starke Laständerungen im Versorgungsnetz, verursacht z. B. durch Schweißgeräte, Pressen oder Aufzüge, sind als Ursache dieser Beeinträchtigungen möglich. Meist werden diese Auswirkungen durch Beleuchtungsschwankungen erkennbar; daher spricht man auch vom Flicker.

Mains voltage fluctuations and flicker

Strong load changes in the supply network, caused e.g. by welding equipment, presses or lifts, are possible as the cause of these impairments. In most cases, these effects can be detected by lighting fluctuations; this is why they are also called flicker.

Jede Maschine oder Anlage kann all diesen Störungen ausgesetzt sein. Bei einer EMV Messung werden all diese Störungen simuliert und die Auswirkungen auf die Anlage / Maschine geprüft.
EPA verfügt über die geeigneten Prüf- und Messmittel, um die Betriebssicherheit von Maschinen und Anlagen überprüfen und ermöglichen zu können.

Every machine or system can be exposed to all these disturbances. During an EMC measurement, all these disturbances are simulated and the effects on the system / machine are tested.
EPA has the appropriate testing and measuring equipment to check and enable the operational safety of machines and systems.

Elektromagnetische Verträglichkeit beim Einsatz von Frequenzumrichtern und Servoreglern

In der elektrischen Antriebstechnik sind Frequenzumrichter und Servoregler die optimale technische und wirtschaftliche Lösung zum Betreiben von Motoren.

Prinzipieller Aufbau eines Frequenzumrichters

Über das Ein- oder Dreiphasennetz wird der Gleichrichterbrücke des Frequenzumrichters elektrische Energie zugeführt. Nach der Gleichrichtung der 50 Hz (oder 60 Hz) Netzspannung wird diese Energie in den Kondensatoren des Gleichspannungszwischenkreises gespeichert. Durch das gezielte Schalten von sechs Halbleiterschaltern (IGBT‘s) wird diese Energie als pulsweitenmodulierte Dreiphasenspannung (PWM Signal) auf die Ausgangsklemmen des Frequenzumrichters zum Motor geschaltet. Durch die spezielle Ansteuerung der Halbleiter werden die besonderen Regelfunktionen des Drehstrommotors, wie langsamer Anlauf, Änderung der Drehfeldfrequenz, konstantes Motordrehmoment usw., ermöglicht.

Unerwünschte Effekte beim Einsatz von Frequenzumrichtern

Die beschriebene physikalische Arbeitsweise verursacht leider auch einige Nachteile: Die pulsweitenmodulierte Ausgangsspannung des Frequenzumrichters ist nicht sinusförmig und sehr steilflankig um Schaltverluste zu reduzieren. Dieses schnelle Schalten hat Störspannungseinkopplungen auf Motor- und Versorgungsleitungen zur Folge. Der Einsatz von zusätzlichen Filtern oder Drosseln wird somit fast immer notwendig.

Electromagnetic compatibility when using frequency inverters and servo controllers

In electrical drive technology, frequency inverters and servo controllers are the optimal technical and economical solution for operating motors.

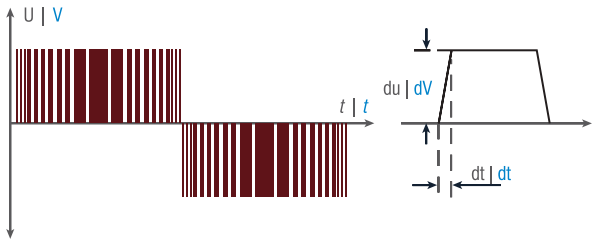
Basic structure of a frequency inverter

Electrical energy is supplied to the rectifier bridge of the frequency inverter via the single-phase or three-phase network. After rectifying the 50 Hz (or 60 Hz) mains voltage, this energy is stored in the capacitors of the DC link circuit. Through the selective switching of six semiconductor switches (IGBT’s), this energy is switched as pulse-width modulated three-phase voltage (PWM signal) to the output terminals of the frequency inverter to the motor. The special control of the semiconductors enables the special control functions of the three-phase motor, such as soft starting, change of the rotating field frequency, constant motor torque, etc.

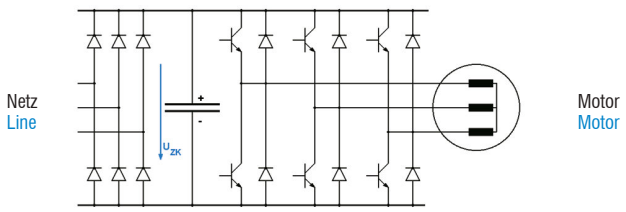
Undesirable effects when using frequency inverters

Unfortunately, the described physical method of operation also causes some disadvantages: The pulse-width modulated output voltage of the frequency inverter is not sinusoidal and very steep to reduce switching losses. This fast switching results in interference voltage couplings on motor and supply lines. The use of additional filters or chokes is therefore almost always necessary.

PWM-Signal und Einzelimpuls am FU-Ausgang
PWM signal and single impulse on an inverter output



Prinzipschaltbild eines Frequenzumrichters
Electrical diagram of a frequency inverter

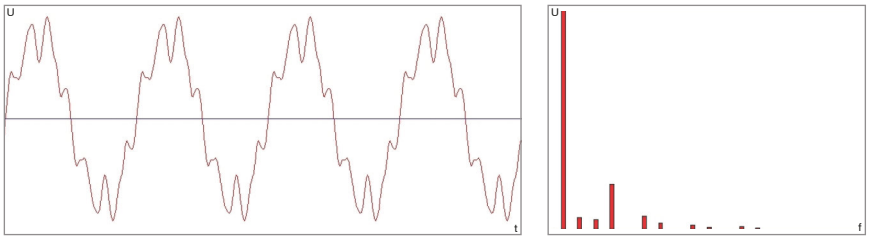


Niederfrequente Netzrückwirkungen (Oberschwingungen)

Die pulsweitenmodulierte Ausgangsspannung des Frequenzumrichters ist nicht sinusförmig und die Anstiegszeit der Spannungssignale sehr kurz, um die Schaltverluste im Antriebsregler zu minimieren. Dieses schnelle Schalten hat Störspannungen und -ströme auf allen möglichen Leitungen in unmittelbarer Nähe zur Folge, so dass der Einsatz von optionalen Bauelementen wie Filtern und Induktivitäten notwendig wird. Die vom Energieversorger gelieferte Netzspannung sollte idealerweise eine gleichförmige Sinusspannung mit konstanter Amplitude und Frequenz sein. Da aber nichtlineare Verbraucher (wie z. B. Eingangsdioden von Antriebsreglern) einen nichtlinearen Strom aus dem Netz aufnehmen (der den effektiven Eingangsstrom zusätzlich erhöht), hat dies einen beträchtlichen Einfluss auf die Qualität der Netzspannung.
Eine typische (Stör-)Belastung des Netzes wird mit der häufig eingesetzten B6-Brückenschaltung (Eingangsgleichrichter, z. B. bei dreiphasigen Frequenzumrichtern oder Schaltnetzteilen) erzeugt. Dies sind u. a. Netzrückwirkungen durch Oberschwingungsströme, die im Wesentlichen durch Kommutierungseinbrüche im Eingangsgleichrichter des Frequenzumrichters entstehen. Die daraus resultierenden Abweichungen zur idealen Sinusform (Verzerrungen) sind in den Versorgungsnetzen unerwünscht und nur bis zu einem bestimmten Maß zulässig.
Wie stark diese “Verzerrung” wird, ist von der Netzimpedanz (Kurzschlussleistung), dem Leitungsquerschnitt und vom Betriebsstrom des Reglers abhängig. Nicht sinusförmige Ströme können mit Hilfe der Fourieranalyse in sinusförmige Ströme mit verschiedenen Frequenzen zerlegt werden, d. h. in eine Grundfrequenz und deren ungeradzahlige Vielfache (Harmonische) davon. Beträgt die Grundfrequenz 50 Hz, so beträgt z. B. die 3. Oberschwingung 150 Hz, die 5. Oberschwingung 250 Hz und die 7. Oberschwingung 350 Hz. Der Gesamtoberschwingungsgehalt (Total Harmonic Distortion) des Stromes wird als “THDI” und derjenige der Spannung als „THDU“ bezeichnet. Zusätzlich entstehen, bei z. B. der Möglichkeit der Rückspeisung vom Antriebsregler in das Versorgungsnetz, auch noch geradzahlige Vielfache des Stromes der Grundfrequenz (Interharmonische).

Low frequency network effects (Harmonics)

The pulse width modulated output voltage of the frequency inverter is not sinusoidal and the rise time of the voltage signals very short in order to minimise the switching losses in the drive controller. This fast switching results in interference voltages and currents on all possible lines in the immediate vicinity, making the use of optional components such as filters and inductors necessary. The mains voltage supplied by the energy supply company should ideally be a uniform sine wave voltage with constant amplitude and frequency. However, since non-linear loads (such as input diodes of drive controllers) draw a non-linear current from the mains (which additionally increases the effective input current), this has a considerable influence on the quality of the mains voltage.
A typical (interference) load on the mains is generated with the frequently used B6 bridge circuit (input rectifier, e.g. in three-phase frequency inverters or switch mode power supplies). These are, among other things, mains feedback effects due to harmonic currents, which are mainly caused by commutation dips in the input rectifier of the frequency inverter. The resulting deviations from the ideal sinusoidal shape (distortions) are undesirable in the supply networks and are only permissible up to a certain extent.
How strong this “distortion” becomes depends on the mains impedance (short-circuit power), cable cross-section and the operating current of the controller. Non-sinusoidal currents can be broken down by Fourier analysis into sinusoidal currents with different frequencies, i.e. into a fundamental frequency and its odd multiples (harmonics). If the fundamental frequency is 50 Hz, for example, the 3rd harmonic is 150 Hz, the 5th harmonic 250 Hz and the 7th harmonic 350 Hz. The total harmonic distortion of the current is called “THDI” and that of the voltage is called “THDU”. In addition, even multiples of the current of the fundamental frequency (inter harmonics) are also generated, e.g. if it is possible to feed back drive controllers into the supply network.



Darstellung der Oberschwingungen einer verzerrten Sinusspannung, in Zeit- und Frequenzdarstellung
Harmonics‘ depiction of a distorted sine voltage, in time and frequency display

Diese Oberschwingungen tragen nicht nur primär zum Leistungsverbrauch der Antriebsregler bei, sondern belasten zusätzlich Installationseinrichtungen, wie Leitungen und Transformatoren, und beeinträchtigen bzw. gefährden auch die Sicherheit von benachbarten Systemen. Ein Beispiel dafür ist eine nicht symmetrische Belastung eines Dreiphasennetzes mit Neutralleiter, in dem sich diese Ströme auf dieser Leitung bis zum √3 fachen addieren können und eine Überhitzungs- bzw. Brandgefahr auftreten kann. Bei Anlagen mit mehreren Antrieben ist es deshalb immer ratsam, die Oberschwingungen auf niedrigere Werte zu begrenzen. Dadurch werden zusätzliche Leitungsverluste, erhöhte Temperaturen in Transformatoren mit Überhitzungs- bzw. Brandgefahr, Resonanzeffekte (in Kompensationsanlagen) sowie akustisches Brummen in Geräten und Anlagen ebenso wie frühzeitige Alterungseffekte und auch Störeinflüsse vermieden.

Energieversorgungsunternehmen (EVU) sind berechtigt, im Rahmen der allgemeinen Anschlussbedingungen nicht ordnungsgemäß betriebene Anlagen ausfindig zu machen und im Extremfall eine Zwangsabschaltung durchzuführen. Oberschwingungen lassen sich durch eine Begrenzung der Amplituden der harmonischen Pulsströme reduzieren; dazu werden z. B. bei Antriebsreglern Induktivitäten (Drosseln) in den Netzeingang oder in den Gleichspannungszwischenkreis geschaltet. Netz- und Zwischenkreisdrosseln sowie Oberschwingungsfilter von EPA reduzieren die Oberschwingungen typischerweise um mehr als 40 %, bei noch vertretbaren Verlusten (Spannungsabfälle).

These harmonics not only primarily contribute to the power consumption of the drive controllers, but also place additional loads on installation equipment such as lines and transformers, and also impair or endanger the safety of neighbouring systems. An example of this is a non-symmetrical load on a three-phase network with a neutral conductor, in which these currents on this line can add up to √3 times over and a risk of overheating or fire can occur. In systems with several drives it is therefore always advisable to limit the harmonics to lower values. This avoids additional line losses, increased temperatures in transformers with the risk of overheating or fire, resonance effects (in compensation systems) and acoustic hum in devices and systems, as well as premature ageing effects and interference.

Energy supply companies are entitled to locate improperly operated systems within the framework of the general connection conditions and, in extreme cases, to carry out a forced shutdown. Harmonic oscillations can be reduced by limiting the amplitudes of the harmonic pulse currents, e.g. in the case of drive controllers, by switching inductors (chokes) into the mains input or into the DC link circuit. Line and DC link chokes as well as harmonic filters from EPA typically reduce the harmonics by more than 40 %, with still acceptable losses (voltage drops).

Hochfrequente Störaussendungen und Auswirkungen auf den angeschlossenen Motor

Beim drehzahlvariablen Antrieb mit einem Frequenzumrichter entstehen, aufgrund der schnellen Schaltvorgänge und in Folge großer Koppelkapazitäten, hohe Störpegel gegen Erde.

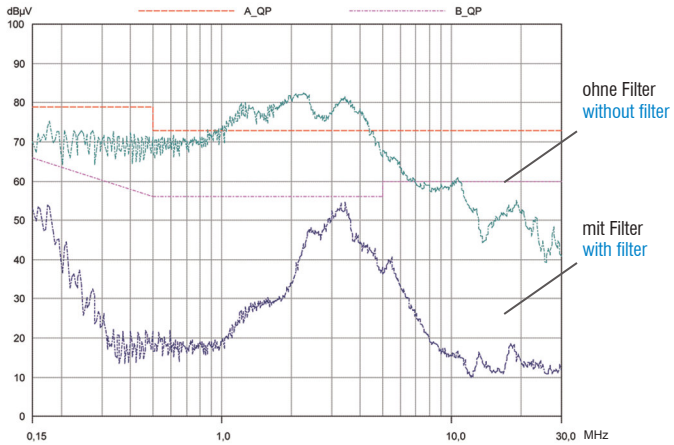
Die Übertragung (Kopplung) dieser hochfrequenten Störungen kann über unterschiedliche Wege erfolgen:

- Galvanisch als Strom oder Spannung (leitungsgebunden)
- Kapazitiv durch elektrisches Feld (gestrahlt)
- Induktiv durch magnetisches Feld (gestrahlt)

Neben auf das Netz rückwirkenden Störgrößen, die man mit Netzfiltern wirksam reduzieren kann, werden besondere Anforderungen an die Ausgangsseite des Antriebsreglers gestellt: Durch die steilen Spannungsanstiegs- und abfallflanken der getakteten Zwischenkreisspannung (du/dt > 10 kV/μs) besteht die Gefahr von Spannungsüberschlägen an den Köpfen der Motorwicklungen (sog. Hot Spots). Besonders ältere Motoren mit nicht ausreichender Isolationsfestigkeit, die mit Antriebsreglern nachgerüstet werden, sind hiervon betroffen. Die zulässige Beanspruchung sollte nach EN 60034-1 den Wert von 500 V/μs nicht überschreiten, da sonst eine zusätzliche Erwärmung, Windungskurzschlüsse und eine Verringerung der Lebensdauer am angeschlossenen Motor auftreten können. Zusätzlich sorgt die Taktfrequenz des Frequenzumrichters (typischerweise 2 bis 18 kHz) im Motor für eine weitere Belastung durch Erwärmung und Geräuschentwicklung.
Die, auf den Motorleitungen auftretenden, hochfrequenten Störgrößen sind technisch bedingt überwiegend asymmetrisch, besitzen also „Massepotenzial“ als Bezugspunkt. Dies führt zum Teil zu erheblicher Störabstrahlung dieser Leitungen. Durch die bereits beschriebene hohe Flankensteilheit der pulsweitenmodulierten (geschalteten) Gleichspannung wird ein leitungsgeführtes und gestrahltes Störspektrum bis in den Hochfrequenzbereich (MHz) erzeugt. Leitungsgeführt besteht die Gefahr der Schädigung durch auftretende Ströme in Motorlagern und -laufringen, gestrahlt durch Beeinflussung von benachbarten Leitungen, Kabeln und Geräten, die nur durch eine konsequente Erdung und Schirmung oder durch optionale Bauelemente reduziert werden kann.

Durch den Einsatz der EPA Entstörtechnik (Netzfilter, Netz- und du/dt-Drosseln, störenergieabsorbierende Filter sowie Sinusfilter) reduziert oder vermeidet man diese negativen Auswirkungen.

Vergleichsmessung mit und ohne Filter
Comparison graph with and without a filter



High-frequency interference emissions and effects on the connected motor

A variable frequency drive (VFD) will cause Radio Frequency Interference (RFI), because of fast switching operations and coupling capacitance to earth.

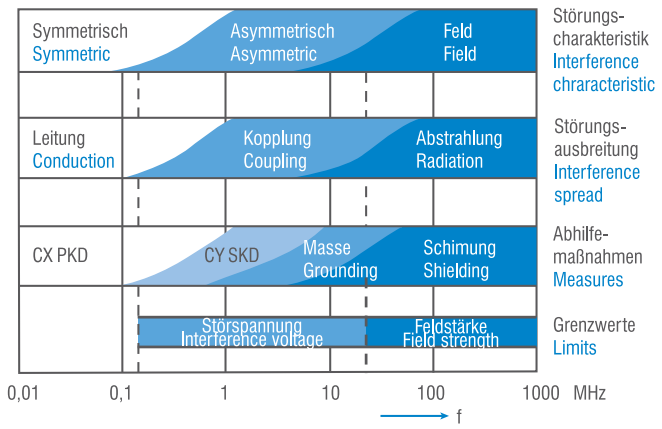
The transmission (coupling) of these high-frequency interferences can be done in different ways:

- Galvanic as current or voltage (conducted)
- Capacitive by electric field (radiated)
- Inductive by magnetic field (radiated)

In addition to disturbance variables that have a retroactive effect on the mains, which can be effectively reduced with line filters, special requirements are placed on the output side of the drive controller: Due to the steep voltage rising and falling edges of the clocked DC circuit voltage (dV/dt > 10 kV/μs) there is a risk of voltage flashovers at the heads of the motor windings (so-called hot spots). Especially older motors with insufficient insulation strength, which are retrofitted with drive controllers, are affected by this. According to EN 60034-1, the permissible load should not exceed the value of 500 V/μs, as otherwise additional heating, winding short circuits and a reduction in the service life of the connected motor can occur. In addition, the carrier frequency of the frequency inverter (typically 2 to 18 kHz) causes further stress due to heating and noise generation in the motor.
For technical reasons, the high-frequency disturbance variables occurring on the motor cables are predominantly asymmetrical, i.e. they have “ground potential” as reference point. This sometimes leads to considerable interference emission from these cables. Due to the high edge steepness of the pulse-width modulated (switched) DC voltage described above, a conducted and radiated interference spectrum is generated up to the high frequency range (MHz). Conducted, there is a risk of damage from currents occurring in motor bearings and races, radiated by interference from adjacent lines, cables and devices, which can only be reduced by consistent earthing and shielding or by optional components.

These negative effects can be reduced or avoided by using EPA interference suppression technology (line filters, line and dV/dt chokes, absorbtion filters and sinusoidal filters).

Frequenzspektrum (stark vereinfacht) | Frequency spectrum (principle)



PKD = Eisenpulverdrosseln | Iron powder chokes
CX = X-Kondensatoren | X-Capacitors
SKD = Stromkompensierte Drosseln | Common mode chokes
CY = Y-Kondensatoren | Y-Capacitors

Bauelemente der EMV

Funkentstörkondensatoren

Funkentstörkondensatoren sind Bauelemente, die je nach Schaltung zur Reduktion symmetrischer (zwischen den Phasen) oder asymmetrischer (alle Phasen gleichzeitig gegen PE) Störspannungen dienen. Die Kapazität der einzelnen X-Kondensatoren liegt hier meist im µF-Bereich, bei Y-Kondensatoren häufig im nF-Bereich (aufgrund des resultierenden Ableitstroms). Je höher die Störfrequenz ist, umso geringer ist der Widerstand (Impedanz) des Bauelements. Bei der Verwendung in Funkentstörfiltern müssen sie den Anforderungen nach IEC 60384-14 entsprechen.
In Netzfiltern werden sowohl X-Kondensatoren als auch Y-Kondensatoren eingesetzt. Die Schaltung von Kondensatoren der Klasse X erfolgt anwendungsbezogen zwischen Phase und Phase bzw. zwischen Phase und Neutralleiter. Kondensatoren der Klasse Y werden hingegen zwischen Phase und PE bzw. zwischen Neutralleiter und PE geschaltet. Sie besitzen aus Sicherheitsgründen eine zusätzliche oder doppelte Isolationsschicht, um bei einem Ausfall (Kurzschluss oder Durchschlag) eine Gefährdung durch einen elektrischen Schlag auszuschließen.

Funkentstördrosseln

Allgemein bezeichnet man Induktivitäten für die EMV als Entstördrosseln. Diese Bauelemente, verwendet man je nach Aufbau und Schaltung zur Reduktion von Gegentakt- (zwischen den Phasen) oder Gleichtakt- (alle Phasen gleichzeitig zum PE) Störspannungen sowie zum Schutz von Antriebsreglern und Motoren. Sie werden deshalb auch als Gleichtakt- oder Gegentaktdrosseln bezeichnet. Je höher die Störfrequenz ist, umso höher ist der Widerstand (Impedanz) des Bauelements. Beim Einsatz in Funkentstörfiltern müssen sie den Anforderungen der Normreihe DIN EN 60938 (VDE 0565) entsprechen.

Gegentaktdrosseln (Längsdrosseln)

Diese Induktivitäten werden unter anderem zur Reduktion von symmetrischen Störspannungen verwendet. Der Einsatzbereich ist im niedrigen (kHz) Frequenzbereich zur Entstörung von z. B. Schaltnetzteilen.
Die verwendeten Materialien sind häufig Eisenpulver oder auch Nickel-Zink (NiZn) bzw. Mangan-Zink (MnZn). Die Bauform ist hier ringkernförmig, in einigen Fällen auch als Stab- oder U-Kern aus geblechtem Eisen ausgeführt.

Components of the EMC

Radio interference suppression capacitors

Radio interference suppression capacitors are components which, depending on the circuit, serve to reduce symmetrical (between the phases) or asymmetrical (all phases simultaneously against PE) interference voltages. The capacitance of the individual X capacitors is usually in the µF range here, with Y capacitors often in the nF range (due to the resulting leakage current). The higher the interference frequency, the lower the resistance (impedance) of the component. When used in RFI filters, they must meet the requirements of IEC 60384-14.
Both X capacitors and Y capacitors are used in line filters. Class X capacitors are switched between phase and phase or between phase and neutral conductor depending on the application. Class Y capacitors, however, are connected between phase and PE or between neutral conductor and PE. For safety reasons, they have an additional or double insulation layer in order to exclude the risk of electric shock in the event of a failure (short circuit or breakdown).

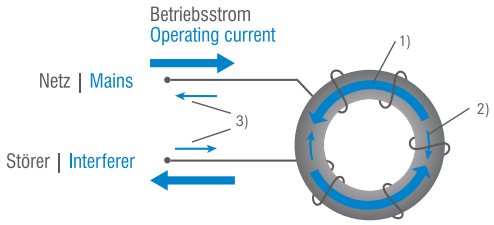
Radio interference suppression chokes

Inductors for EMC are generally referred to as interference suppression chokes. These components are used, depending on the design and circuitry, to reduce differential mode (between the phases) or common-mode (all phases simultaneously to PE) interference voltages and to protect drive controllers and motors. They are therefore also called common mode or differential mode chokes. The higher the interference frequency, the higher the resistance (impedance) of the component. When used in RFI filters, they must meet the requirements of the standards series DIN EN 60938 (VDE 0565).

Differential mode chokes

These inductors are used among other things to reduce symmetrical interference voltages. The range of application is in the low (kHz) frequency range for interference suppression of e.g. switching power supplies.
The materials used are often iron powder or also nickel-zinc (NiZn) respectively manganese-zinc (MnZn). The design here is toroidal, in some cases also designed as rod or U-core shaped made of laminated iron.

Beispiel einer Längsdrossel auf einem Eisenpulverkern
Example of a differential mode choke on an iron powder core

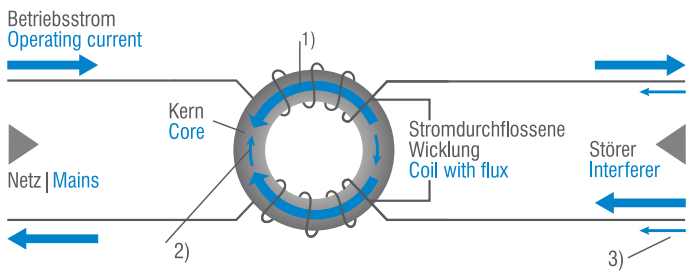


1) = Magnetfeld im Kern, vom Betriebsstrom erzeugt
Magnetic field in the core, generated by the operation current
2) = Magnetfeld im Kern, vom Störstrom erzeugt
Magnetic field in the core, generated by the interference current
3) = Gegentakt-Störstrom, symmetrische Störung
Differential-mode interference current, symmetric interference

Gleichtaktdrosseln (stromkompensierte Drosseln)
Diese Induktivitäten werden unter anderem zur Reduktion von asymmetrischen Störspannungen verwendet. Der Einsatzbereich ist im höheren (MHz) Frequenzbereich zur Entstörung von Antriebsreglern und anderen Hochfrequenz erzeugenden Geräten. In kleineren Bauformen werden sie auch zur Entstörung von Steuerungs- und Datenleitungen eingesetzt.
Die verwendeten Materialien sind hauptsächlich Ferrite, in Sonderfällen aber auch nanokristalline Materialien. Die Bauform ist meistens ringkernförmig, kann aber auch als Rohr- oder Stabkernausführung zum Einsatz kommen.

Common mode chokes
These inductors are used among other things to reduce asymmetrical interference voltages. The application range is in the higher (MHz) frequency range for interference suppression of drive controllers and other high-frequency generating devices. In smaller designs they are also used for interference suppression of control and data lines.
The materials used are mainly ferrites, but in special cases also nano crystalline materials. The design is mostly toroidal, but can also be used as tube or rod core design.

Beispiel einer stromkompensierten Ringkerndrossel
Example of a common mode choke



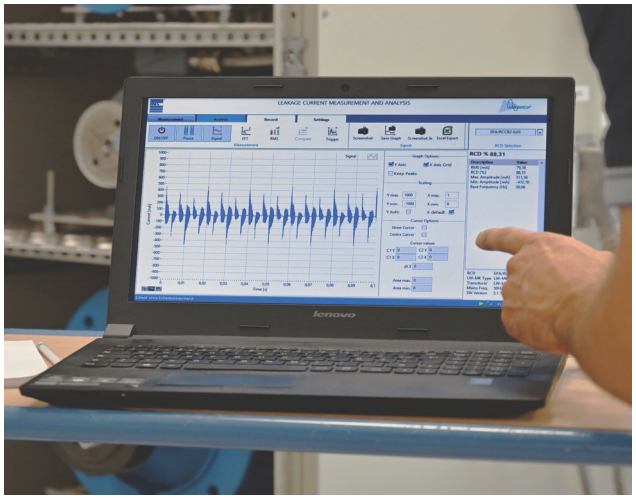
1) Magnetfeld, im Kern vom Betriebsstrom erzeugt
Magnetic field, generated by the operating current in the core
2) Magnetfeld, im Kern von Störungen erzeugt
Magnetic field, generated by the interference current in the core
3) Gleichtakt-Störstrom, asymmetrische Störung
Common mode interference current, asymmetric interference

Beide Arten von Entstördrosseln werden einzeln oder auch in Kombination mit Funkentstörkondensatoren zur breitbandigen Entstörwirkung als Netzfilter gefertigt. Der Einsatz dieser Bauelemente dient in Geräten und Anlagen zur Reduktion selbst erzeugter Störspannungen (Funkentstörung) und auch zum Schutz gegen äußere Störeinflüsse (Erhöhung der Störfestigkeit).

Both types of interference suppression chokes are manufactured individually or also in combination with radio interference suppression capacitors for broadband interference suppression as line filters. These components are used in devices and systems to reduce self-generated interference voltages (radio interference suppression) and also to protect against external interference (increase in interference immunity).

Zur Funkentstörung und Erhöhung der Störfestigkeit werden in weiteren Anwendungen im Bereich der elektrischen Antriebstechnik Filter und Induktivitäten eingesetzt: Dabei wird zwischen dem Einsatz der Filter/Drosseln auf der Netz- oder auf der Ausgangsseite (Motorseite) des Antriebsreglers unterschieden.

Filters and inductors are also used in other applications in the field of electrical drive technology to suppress interference immunity and increase interference immunity: A distinction is made between the use of the filters/chokes on the mains side or on the output side (motor side) of the drive controller.



Netzseitige Anwendungen

Netzfilter

Ein Netzfilter – meist auch Netzentstörfilter genannt – wird zwischen dem Versorgungsnetz und dem Eingang des Verbrauchers (z. B. Frequenzumrichter oder Maschine) eingesetzt. Das Netzfilter ist unmittelbar im Netzeingang des zu entstörenden Gerätes oder der Anlage zu installieren. Diese sind für 1-phasige und 3-phasige Netze, mit und ohne Neutralleiter, verfügbar. Ein Netzfilter kombiniert die Eigenschaften von Kapazitäten und Induktivitäten zu einem hochwirksamen breitbandigen Tiefpass. Es sind sowohl symmetrische als auch asymmetrische Störkomponenten zu unterdrücken. Die asymmetrische Störgröße stellt bereits im unteren Frequenzbereich, aufgrund ihrer Größenordnung, sehr hohe Anforderungen an die Entstörung. Eine optimale Konstruktion und Abstimmung der Einzelkomponenten ermöglicht eine leitungsgeführte Störspannungsunterdrückung, von der Netzfrequenz bis hin zu 30 MHz. Die Kapazitäten in jedem Leitungszweig gegen das Gehäuse erfordern eine für die Hochfrequenz niederohmige Erdung des Filtergehäuses.

Netzfilter sind in verschiedenen Bauformen und Ausführungen erhältlich. Es gibt diese z. B. in flacher Ausführung mit einer geringen Bautiefe sowie Filter in der Buchform, d. h. in einer schmalen Bauform mit wenig Grundflächenbedarf, aber größerer Bautiefe. So kann man bereits bei der Konstruktion des Schaltschrankes oder des Gerätes den entsprechenden Platzbedarf festlegen.

Für viele gängige Frequenzumrichtermodelle gibt es von EPA platzsparende Unterbau-Netzfilter. Diese werden unter den Umrichter montiert und mit diesem zusammen auf einer Montageplatte verschraubt, so dass für das Netzfilter kein zusätzlicher Platz benötigt wird. Durch die optimale Masseverbindung wird hierdurch eine bestmögliche Unterdrückung der asymmetrischen Störungen nahe an der Störquelle erreicht, die nicht entstörte Anschlussleitung zwischen Umrichter und Filter sollte so kurz wie möglich gehalten werden.
Netzfilter mit kleineren Nennströmen sind auch für die DIN-Hutschienenmontage erhältlich.

Mains side applications

Line filters

A power line filter – usually called mains input filter – is used between the supply and the input of equipment (e.g. inverters or machines). The power line filter is installed directly in the input of the system or device to be suppressed. These are available for single-phase and three-phase, with and without neutral conductor, supplies. A power line filter combines capacitors and inductors to form a broadband low-pass. There are both symmetrical and asymmetrical interference components to suppress. The high amplitude asymmetric disturbance already dominates the lower frequency spectrum. An optimal design and coordination of the individual components suppresses supply disturbances up to 30 MHz.
The filter requires a good connection to earth, with low impedance at higher frequencies.

Power line filters are available in various designs and models. There are flat designs with low depth, narrow book-style filters with more depth but little width and more conventional block-style filters. So you can decide on the space needed when designing the control cabinet of the device.

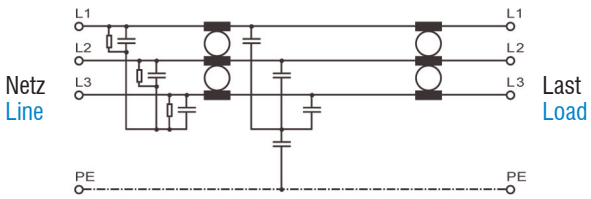
For many popular frequency inverters there are space-saving footprint filters available. These fit between the inverter and the panel, so that no extra panel space is required. With optimal ground connection, this gives the best suppression of RFI. The connections between inverters and filters should be as short as possible.
Power line filters with smaller rated currents are also available for DIN-rail mounting.

Typische Filterschaltung

Die nachfolgend abgebildete Schaltung, ist eine in der Praxis sehr häufig verwendete Ausführung. Sie dient sowohl der asymmetrischen als auch der symmetrischen Störgrößenunterdrückung. Die symmetrischen Störgrößen werden durch den Einsatz der X-Kondensatoren reduziert. Sollten die Kapazitäten allein nicht ausreichen, so werden Induktivitäten (z. B. Längsdrosseln) erforderlich.
Die asymmetrischen Störgrößen werden durch stromkompensierte Induktivitäten (z. B. Ringkerndrossel) und Y-Kondensatoren reduziert. Die gegen den Schutzleiter geschalteten Y-Kondensatoren wirken somit als HF-Widerstand. Die Größe der Kapazität ist durch den maximal zulässigen Ableitstrom des Gerätes begrenzt. Die in der Schaltung dargestellten Induktivitäten sind üblicherweise stromkompensierte Drosseln. Für den Betriebsstrom weisen diese Induktivitäten nur sehr geringe Verluste auf, da sich die magnetischen Flüsse im Kern gegenseitig aufheben. Kommt es jedoch zu asymmetrischen Störgrößen, unterstützen sich die magnetischen Flüsse, so dass die Induktivität der Drossel voll zur Wirkung gelangt.

Typical filter circuit

The circuit shown below is a version that is very often used in practice. It is used for both asymmetrical and symmetrical interference suppression. The symmetrical disturbance variables are reduced by the use of X capacitors. If the capacitances alone are not sufficient, inductors (e.g. series reactors) are required.
The asymmetrical disturbance variables are reduced by common mode inductors (e.g. toroidal chokes) and Y capacitors. The Y capacitors connected against the protective conductor thus act as RF resistors. The size of the capacitance is limited by the maximum permissible leakage current of the device. The inductors shown in the circuit are usually current-compensated chokes. For the operating current, these inductors show only very low losses, since the magnetic fluxes in the core cancel each other out. If, however, asymmetrical disturbance variables occur, the magnetic fluxes support each other so that the inductance of the choke is fully effective.



Netzdrosseln
Netzdrosseln werden als ein- oder dreiphasige Ausführungen in den Netzeingang vor die Antriebsregler (Frequenzumrichter, Servoregler) geschaltet. Sie begrenzen den Einschaltstrom und dessen Stromanstiegsgeschwindigkeit, reduzieren die Oberschwingungsströme und verhindern mögliche Resonanzschwingungen bei direkt nebeneinander installierten Antriebsreglern. Bei hochdynamischen Vorgängen muss die strombegrenzende Wirkung, der Spannungsabfall und die damit verbundene Reduzierung der Dynamik berücksichtigt werden.

Line chokes
Line chokes are connected as single-phase or three-phase versions to the mains input before the drive controllers (frequency inverter, servo controller). They limit the inrush current and its rate of current rise, reduce the harmonic currents and prevent possible resonance oscillations when drive controllers are installed directly next to each other. For highly dynamic processes, the current-limiting effect, the voltage drop and the associated reduction in dynamics must be taken into account.

Oberschwingungsfilter
Bei diesen Filtern wird grundsätzlich zwischen aktiven und passiven Ausführungen unterschieden.
Bei den aktiven Harmonicfiltern werden in den meisten Fällen die Netzrückwirkungen ganzer Anlagen oder Maschinenhallen auf eine vertretbare Größe reduziert. Neben dieser Aufgabe eignen sich diese Filtertypen gleichzeitig auch zur schnellen Regelung der Grundschwingungsblindleistung und Lastsymmetrierung. Sie werden parallel zum Netz geschaltet, analysieren den von den nichtlinearen Verbrauchern erzeugten Oberschwingungsstrom und lieferen den gegenphasigen Kompensationsstrom, entweder als gesamtes Spektrum oder, je nach Ausführung, nur einzeln ausgewählte harmonische Ströme. Der Vorteil dieser Ausführung liegt in der einfachen Anpassung an die temporären Erfordernisse und kann jederzeit angepasst werden.
Passive Harmonicfilter bestehen wie EMV Filter aus Kondensatoren und Induktivitäten. Im Gegensatz zu Netzfiltern mit einer breitbandigen Wirkung werden mehrere aufeinander abgestimmte passive Filter (Saugkreise), die nur bestimmte Frequenzen berücksichtigen, verwendet. Die optimale Wirkung ergibt sich deshalb nur für den konkreten Einzelfall. Eine wesentliche Veränderung (Erweiterung) kann deshalb eine erneute Filterauslegung erfordern.

Harmonic filters
With these filters, a basic distinction is made between active and passive designs.
With active harmonic filters, in most cases the network perturbations of entire plants or machine halls are reduced to an acceptable size. In addition to this task, these filter types are also suitable for fast control of the fundamental reactive power and load balancing. They are connected in parallel with the network, analyse the harmonic current generated by the non-linear loads and supply the counter-phase compensation current, either as a complete spectrum or, depending on the design, only individually selected harmonic currents. The advantage of this design is the easy adaptation to temporary requirements and can be adjusted at any time.
Like EMC filters, passive harmonic filters consist of capacitors and inductors. In contrast to line filters with a broadband effect several passive filters (suction circuits) which are tuned to each other and only take certain frequencies into account are used. The optimum effect is therefore only achieved for the specific individual case. A significant change (extension) may therefore require a new filter design.

Motorseitige Anwendungen

Ausgangsfilter / Motorfilter

Durch den Einsatz sehr schnell schaltender Leistungshalbleiter (IGBT's) in Frequenzumrichtern unterliegen die an den Antriebsregler angeschlossenen Leitungen und Motoren u. U. besonderen Anforderungen.

Der steile Anstieg und Abfall der getakteten Zwischenkreisspannung (du/dt bis zu 15 kV/μs) kann bei nicht geeigneten oder älteren Motoren, die mit Frequenzumrichter nachgerüstet wurden und deren Motorleitungslängen bis zu ca. 20 m (wegen der geringen Leitungsimpedanz) beträgt, zusätzliche Erwärmung und auch Schädigungen der Wicklung, besonders an den Wickelköpfen, verursachen.

Je nach Aufbau der Motorwicklungen können durch die parallel geführten Drähte und die damit verbundene kapazitive Wirkung sog. Hot Spots auftreten, die je nach Motor zu einer vorzeitigen Alterung und damit zu einer Reduktion der Motor Lebensdauer führen.

Bei der Verwendung von längeren Motorleitungen (> 20 m) werden durch die Leitungsimpedanz die du/dt-Werte auf unproblematischere Werte gedämpft.

Allerdings besteht immer noch die Gefahr von Reflexionen nach der Leitungstheorie, nach der Spannungen bis zu 2 kV mit relevanten du/dt-Werten erreicht werden können.

Somit ergeben sich trotz der höheren Kabelimpedanz mit reduzierten du/dt-Werten keine Verbesserungen für den angeschlossenen Motor, da nun die höheren Spannungsamplituden die führende Rolle spielen.

Neben den thermischen Einflüssen bezüglich der Wicklungsisolation wird durch die steilen du/dt-Werte das Oberschwingungsspektrum der Pulsweitenmodulation des Motorstromes zusätzlich erhöht.

Im Motor führt dies zu zusätzlichen magnetischen Eisenverlusten und einer weiteren Erhöhung der Betriebstemperatur, welche die Alterung beschleunigt und somit die Lebensdauer weiter reduziert.

Motor side applications

Output filters / Motor filters

Due to the use of very fast switching power semiconductors (IGBT's) in frequency inverters, the cables and motors connected to the drive controller may be subject to special requirements.

The steep rise and fall of the clocked DC circuit voltage (dV/dt up to 15 kV/μs) can cause additional heating and also damage to the winding, especially at the winding heads, in the case of unsuitable or older motors which have been retrofitted with frequency inverters and whose motor cable lengths are up to approx. 20 m (due to the low cable impedance).

Depending on the design of the motor windings, so-called hot spots can occur due to the parallel wires and the associated capacitive effect, which, depending on the motor, can lead to premature ageing and thus to a reduction of the motor service life.

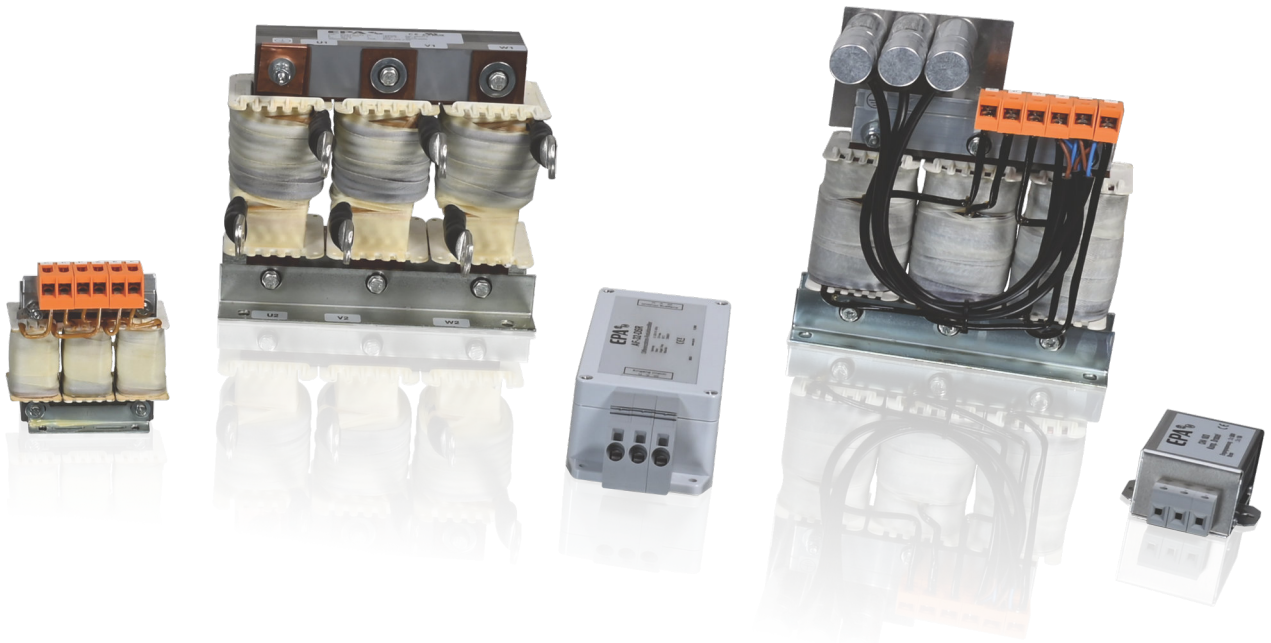
When using longer motor cables (> 20 m), the line impedance attenuates the dV/dt values to less problematic values.

However, there is still the risk of reflections according to the line theory, according to which voltages up to 2 kV with relevant dV/dt values can be reached.

Thus, despite the higher cable impedance with reduced dV/dt values, there are no improvements for the connected motor, since the higher voltage amplitudes now play the leading role.

In addition to the thermal influences concerning the winding insulation, the steep dV/dt values additionally increase the harmonic spectrum of the pulse width modulation of the motor current.

In the motor, this leads to additional magnetic iron losses and a further increase in the operating temperature, which further increases ageing and thus reduces the service life.



Motordrosseln (Common Mode Drosseln)
Zur Reduktion parasitärer Gleichtaktströme (Common Mode Current) vor allem bei längeren Motorleitungen, die wegen der du/dt-Werte in Verbindung mit der kapazitiven Wirkung der Motorleitung gegen PE über die Motorleitung, den Motor und zurück zum Frequenzumrichter fließen, werden Motordrosseln in Ringkernform eingesetzt. Die Induktivitätswerte liegen im mH Bereich.
Die Beeinflussung der Regelungsparameter der Frequenzumrichter ist beim Einsatz dieser Bauelemente nur marginal.
Die verwendeten Materialien sind hauptsächlich Ferrite, in Sonderfällen können aber auch nanokristalline Materialien zum Einsatz kommen.

Motor chokes (Common mode chokes)
Motor chokes in toroidal core form are used to reduce parasitic currents (common mode currents), especially in longer motor cables, which flow via the motor cable, the motor and back to the frequency inverter due to the dV/dt values in conjunction with the capacitive effect of the motor cable against PE. The inductance values are in the mH range.
The influence on the control parameters of the frequency inverters is only marginal when using these components.
The materials used are mainly ferrites, but in special cases nano crystalline materials can also be used.

Motordrosseln (du/dt-Drosseln - geblechte Bauform)
Durch den Einsatz von du/dt-Drosseln können die Anstiegszeiten des Ausgangsspannungssignals auf der Motorleitung bereits wesentlich verlängert werden.
Dieses Bauteil besitzt nur eine vergleichsweise kleine Bauform, eine relativ kleine Induktivität im μH Bereich, ein geringer Spannungsabfall und eine nahezu unbedeutende Reduktion der Regelungsdynamik.
Motordrosseln mit höherer Induktivität (mH Bereich) reduzieren zwar die du/dt-Werte besser, sind aber bei Frequenzumrichter, die im Vektormodus oder im Vektormodus mit geschlossenem Regelkreis (closed loop) arbeiten, nicht uneingeschränkt einsetzbar, da Regelungsparameter falsch interpretiert werden können.

Motor chokes (dV/dt chokes - sheet metal design)
By using dV/dt chokes, the rise times of the output voltage signal on the motor cable can already be significantly extended.
This component has only a comparatively small design, a relatively small inductance in the μH range, a low voltage drop and an almost insignificant reduction of the control dynamics.
Motor chokes with a higher inductance (mH range) reduce the dV/dt values better, but cannot be used without restrictions in frequency inverters that operate in vector mode or in vector mode with closed loop, because control parameters can be interpreted incorrectly.

Vorteile:

- Deutliche Reduzierung der Schaltflanken (du/dt)
- Dämpfung von Störemissionen der Motorleitung
- Wirksam gegen symmetrische Störgrößen
- Niedriger Spannungsabfall
- Preisgünstiger als ein Sinusausgangsfilter

Advantages:

- Effective reduction of voltage peaks (dV/dt)
- Suppression of emissions on motor cables
- Reduces symmetrical disturbances
- Low voltage drop
- Price advantage against a sinusoidal output filter

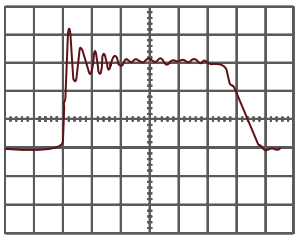
Nachteile:

- Geringe Wirksamkeit gegen asymmetrische Störgrößen
- Keine sinusformenden Eigenschaften
- Bei längeren Motorleitungslängen größere Bauformen notwendig
- Kaum Reduzierung von Ableit- und Lagerströmen

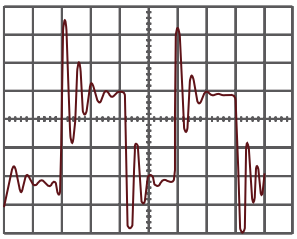
Disadvantages:

- Low effectiveness against asymmetrical disturbances
- No sine-forming attributes
- Bigger construction needed for longer motor cables
- Less reduction of leakage and bearing currents

Ausgangsspannung am Umrichter | Inverter output voltage

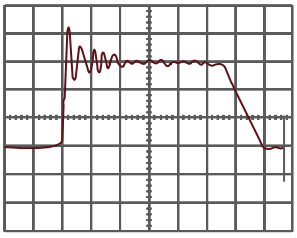


Motorkabellänge 5m
Motor cable length 5m
U=200 V/Div; t=500ns/Div
U=200 V/Div; t=500ns/Div

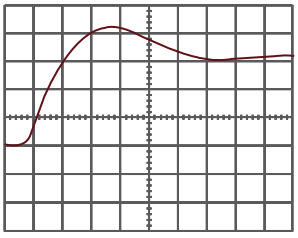


Motorkabellänge 100m
Motor cable length 100m
U=200 V/Div; t=10 μs/Div
U=200 V/Div; t=10 μs/Div

Wirkungsweise von du/dt-Drosseln | Effects with dV/dt-chokes



du/dt=8 kV/μs; U=200 V/Div
dV/dt=8 kV/μs; V=200 V/Div;
t=500 ns/Div; ohne du/dt-Drossel
t=500 ns/Div; without dV/dt-choke



du/dt=400 V/μs; U=200 V/Div
dV/dt=400 V/μs; V=200 V/Div;
t=1 ms/Div; mit du/dt-Drossel
t=1 ms/Div; with dV/dt-choke

Sinusausgangsfilter
Um die pulsweitenmodulierte Ausgangsspannung des Frequenzumrichters in eine glatte Sinuskurve umwandeln zu können, verwendet man symmetrisch aufgebaute LC Tiefpässe, die als Sinusfilter bezeichnet werden.
Die Restwelligkeit der Ausgangsspannung ist abhängig von der Dimensionierung der Induktivitäten und Kapazitäten. Eine Rippelspannung von ca. 5 % gilt als die wirtschaftlichste Lösung.

Sinusoidal output filters
In order to be able to convert the pulse-width modulated output voltage of the frequency inverter into a smooth sine wave, symmetrically constructed LC low-pass filters are used.
The residual ripple of the output voltage depends on the dimensioning of the inductors and capacitors. A ripple voltage of approx. 5 % is considered the most economical solution.

Vorteile:

- Vollständiger Schutz angeschlossener Motoren vor hohen du/dt-Werten und Überspannungen
- Reduktion von (Eisen- und Wirbelstrom) Verlusten in den Motoren sowie im Frequenzumrichter durch geringere (parasitäre) asymmetrische Pulsströme und damit auch eine Verringerung des Störstromaufkommens vom geschirmten Motorkabel
- Reduktion der Motorengeräusche des Blechpaketes (Magnetostriktion) bei einer niedrigen Taktfrequenz des Frequenzumrichters
- Erhöhung der Betriebssicherheit und Zuverlässigkeit der gesamten Anlage
- Ungeschirmte Motorleitung möglich

Advantages:

- Complete protection of connected motors against high dV/dt values and over voltages
- Reduction of (iron and eddy current) losses in the motors as well as in the frequency inverter due to lower (parasitic) asymmetrical pulse currents and thus eduction of interference current from the shielded motor cable
- Reduction of the motor noise of the lamination stack (magnetostriction) at a low switching frequency of the frequency inverter
- An increase in the operational safety and reliability of the entire plant
- Unshielded motor cable possible

Allerdings sind Frequenzumrichter, die im Vektormodus oder im Vektormodus mit geschlossenem Regelkreis (closed loop) arbeiten, auch hier wegen des Zeitverhaltens nicht uneingeschränkt einsetzbar, da Regelungsparameter falsch interpretiert werden.

However, frequency inverters that operate in vector mode or in vector mode with a closed control loop cannot be used without restrictions here either because of the time response, as control parameters are interpreted incorrectly.

Nachteile:

- Geringe Wirksamkeit gegen asymmetrische Störgrößen
- Geringe Reduzierung der Ableitströme
- Spannungsabfall über der Drossel
- Relativ große Abmessungen und Gewichte
- Zu niedrige Taktfrequenz kann eine Resonanz erzeugen

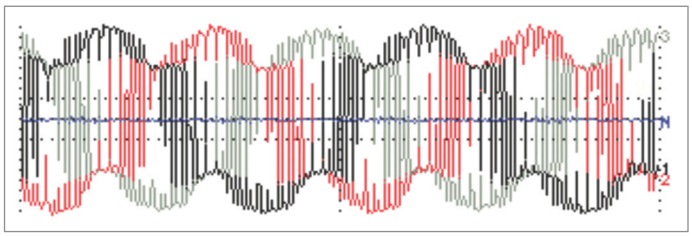
Disadvantages:

- Low efficiency against asymmetrical disturbances
- Small reduction of leakage current
- Voltage drop on the choke
- Bigger dimensions and high weight
- Too low switching frequency can cause resonance

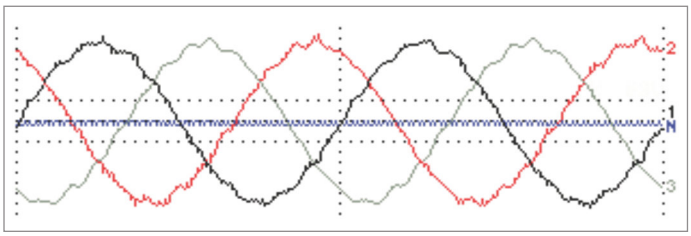
Alternativ können hier die schon in diesem Abschnitt beschriebenen Drossellösungen verwendet werden.

Alternatively, the throttling solutions already described in this section can be used here.

Umrichter-Ausgangsspannungen | Inverter output voltages



Spannungen ohne Sinusfilter | Voltages without sinusoidal filter



Spannungen mit Sinusfilter | Voltages with sinusoidal filter

Ferritringe und stromkompensierte Drosseln

Der Ferritring wird häufig zur Entstörung von Motor- oder Signalleitungen eingesetzt. Durch seine minimalen Abmessungen kann er unkompliziert in die Leitungen integriert werden. Außerdem lassen sich die Ringkerne, auch nachträglich mit wenig Aufwand, in vorhandene Leitungsnetze einbinden. Die Wirksamkeit ist dabei abhängig vom Kernmaterial (A_L-Wert) der Ferrite sowie von der Anzahl der Wicklungen auf dem Kern. Wird eine Leitung nur einmal durch den Kern geführt, entspricht dies einer Windung. Je mehr Windungen, desto höher wird die Induktivität. Hierbei muss unbedingt berücksichtigt werden, dass eine zu hohe Windungszahl die Entstörwirkung der Drossel aufheben kann (Sättigungseffekte). Gegebenenfalls sollten mehrere Kerne hintereinander geschaltet werden, und die Leitungen nur wenige Male durch die Ringkerne geführt werden.

Meist werden die Ferritringe stromkompensiert bewickelt eingesetzt, um asymmetrische Störgrößen (sog. Gleichtaktstörungen) auf den Leitungen zu unterdrücken und um parasitäre Ableitströme der Leitungsschirme (besonders bei langen Motorleitungen) sowie Differenzströme zu bedämpfen.
Bei einer stromkompensierten Bewicklung heben sich die Magnetfelder des niederfrequenten Betriebsstromes (meist 50 Hz oder 60 Hz) gegenseitig auf, hingegen ist sie für die hochfrequenten Störströme von Phase / Neutralleiter zur „Erde" / PE sehr wirksam bzw. stellt für diese einen hohen Widerstand dar. Beim Einsatz in Motorleitungen ist darauf zu achten, dass die Ringkerne so nah als möglich an der Störquelle (z. B. Frequenzumrichter oder Servo-Umrichter) angebracht werden und nur die drei Motorphasen (ohne Schutzleiter und Leitungsschirm) „gleichsinnig" durch den Kern geführt werden, andernfalls ist die Dämpfung nur sehr gering.

Die Induktivität der Ferritringe oder der stromkompensierten Drosseln wird nach folgender Formel berechnet:

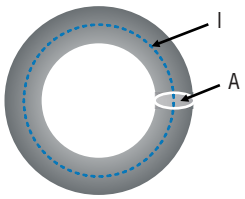
$$L = N^2 \cdot A_L$$

Dieser Zusammenhang gilt nur, solange das Kernmaterial im linearen Bereich und unterhalb der Sättigungsinduktion betrieben wird.

Der A_L Wert setzt sich zusammen aus:

$$A_L = \frac{\mu_0 \cdot \mu_r}{l} \cdot A$$

N = Anzahl der Windungen pro Leitung $\left[\frac{nH}{wdg^2}\right]$
A_L = Induktivitätskonstante
μ_0 = magn. Feldkonstante ≈ 1,2566 $\left[\frac{N}{A}\right]$
μ_r = Permeabilitätszahl des Kernmaterials $\left[\frac{N}{A}\right]$
A = wirksame Fläche des Ringkerns
l = wirksame mittlere Länge des Ringkerns



Ferrite ring cores and common mode chokes

A ferrite ring core is often used to suppress the emissions on the motor cable or signal lines. Because of the small dimensions it is very easy to integrate the ferrite ring cores into the cables. In addition it does not require a great deal of energy to fit the cores into existing cable networks. The efficiency depends on the core material (A_L-value) and the number of turns. One time feed through corresponds to one turn. With more turns you will reach a better performance. However, too many windings can affect the sphere of influence (saturation limit). In order to avoid such an effect several cores should be connected in series and the number of turns should be kept at a minimum.

In most cases, the ferrite ring cores are used wound with current compensation to suppress asymmetrical interference (so-called common mode interference) on the lines and to dampen parasitic leakage currents of the line shields (especially with long motor lines) and differential currents.
In a current-compensated winding, the magnetic fields of the low-frequency operating current (usually 50 Hz or 60 Hz) cancel each other out, whereas it is very effective for the high-frequency interference currents from phase / neutral conductor to "earth" / PE and represents a high resistance for these.
When used in motor cables, care must be taken to ensure that the toroidal cores are placed as close as possible to the source of interference (e.g. frequency inverter or servo inverter) and that only the three motor phases (without protective conductor and cable shield) are fed "in the same direction" through the core, otherwise the damping is very low.

The inductance of the ferrite ring cores or the current compensated chokes is calculated according to the following formula:

$$L = N^2 \cdot A_L$$

This relationship applies only as long as the core material is operated in the linear range and below saturation induction.

The A_L value is composed of:

$$A_L = \frac{\mu_0 \cdot \mu_r}{l} \cdot A$$

N = Number of windings per line $\left[\frac{nH}{wdg^2}\right]$
A_L = Inductance constant
μ_0 = magn. field constant ≈ 1,2566 $\left[\frac{N}{A}\right]$
μ_r = Permeability number of the core material $\left[\frac{N}{A}\right]$
A = effective area of the toroidal core
l = effective average length of the toroidal core

Vorteile:

- Dämpfung von Störemissionen der Leitungen
- Reduzierung von Ableit- und Lagerströmen
- Wirksam gegen asymmetrische Störgrößen
- Induktivität durch Windungszahl selbst wählbar
- Einfache Montage und kleine Abmessungen
- Auch für sehr lange Motorleitungen geeignet
- Kann Überstrom-Abschaltungen des Umrichters verhindern
- Reduziert Störeinkopplungen auf die Netzzuleitung
- Kostengünstig

Advantages:

- Attenuation of line emission
- Reduction of leakage and bearing currents
- Effective to suppress asymmetrical disturbances
- Inductance can be chosen by the number of turns
- Easy mounting and small dimensions
- Also suitable for very long motor cables
- Prevents over-current-trips of inverters
- Reduces the immission on the power line
- Cost-efficient

Nachteile:

- Geringe Wirksamkeit gegen symmetrische Störgrößen
- Kaum Reduzierung der Schaltflanken (du/dt)
- Keine sinusformenden Eigenschaften

Disadvantages:

- Low effectiveness against symmetrical disturbances
- Low reduction of peak voltage (dV/dt)
- No sine-forming attributes

Differenzstrom-Reduktionsfilter

Durch die immer höheren Integrationsdichten der Komponenten in Schaltschränken, verbunden mit der entsprechenden Verdrahtung und Schirmungsmaßnahmen ergeben sich vermehrt hohe parasitäre Kapazitäten gegen das Bezugspotential wie Schaltschrankgehäuse, PE und „Bezugserde“.

Werden in den Schaltschränken neben Schaltnetzteilen in der Praxis auch Frequenzumrichter und Servoregler eingesetzt, so erhalten diese parasitären kapazitiven Verhältnisse eine besondere Bedeutung.

Frequenzumrichter und Servoregler bestehen prinzipiell aus drei Baugruppen:

- Netzeingang mit Gleichrichtung der ein- oder dreiphasigen Wechselspannung
- Gleichspannungszwischenkreis
- Ausgangsstufe

Differential current reduction filter

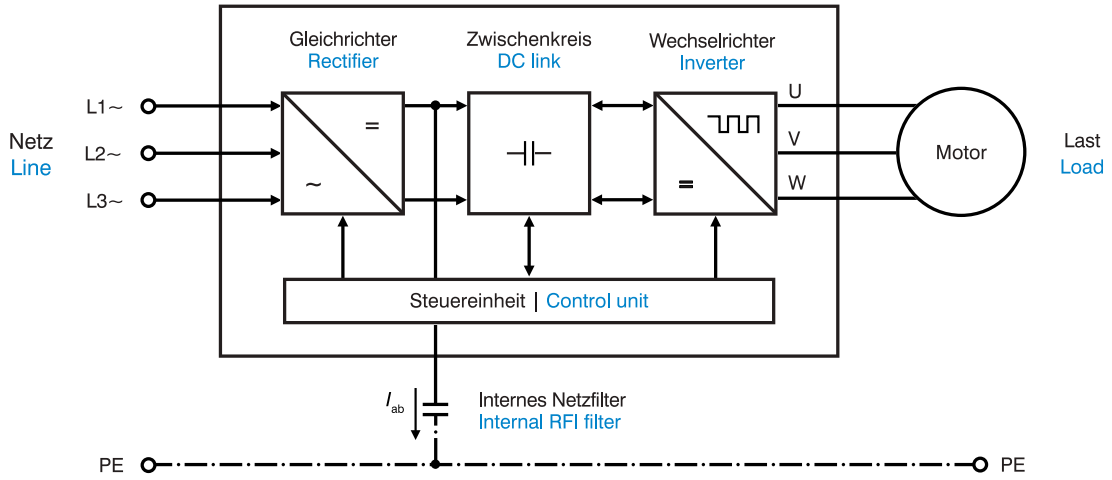
Due to the ever increasing integration densities of components in control cabinets, combined with the corresponding wiring and shielding measures, there are increasingly high parasitic capacitances against the reference potential such as control cabinet case, PE and "reference earth".

If frequency inverters and servo controllers are used in the control cabinets in addition to switched-mode power supplies, these parasitic capacitive conditions take on special significance.

Frequency inverters and servo controllers basically consist of three modules:

- Mains input with rectification of the single-phase or three-phase alternating voltage
- DC link circuit
- Output stage

Schaltbild Frequenzumrichter | Circuit diagram frequency inverter



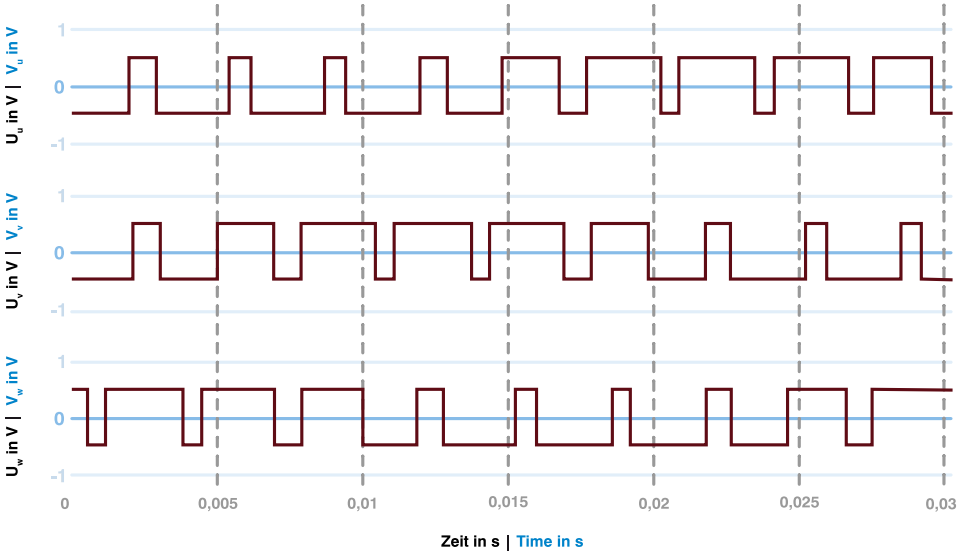
Im Netzeingang wird die ein- oder dreiphasige Spannung gleichgerichtet und lädt die Elektrolytkondensatoren des Gleichspannungszwischenkreises auf, die diese Energie zwischenspeichern. Anschließend wird diese Gleichspannung mittels sechs Leistungshalbleitern (IGBT's) schnell, mit einer besonderen Schaltfolge auf die Motorleitungen geschaltet.
Die Frequenz dieser Schaltfolge wird als Taktfrequenz (Schaltfrequenz) bezeichnet.
Sie liegt bei den derzeit üblicherweise verkauften Geräten je nach Nennleistung einstellbar zwischen ca. 2 bis 18 kHz.
Je höher die Taktfrequenz eingestellt wird, umso höher sind die Schaltverluste, aber umso geringer sind die Motorgeräusche.
Neben der Taktfrequenz ist auch entscheidend, wie schnell die Leistungshalbleiter die Gleichspannung des Zwischenkreises (U_{ZK}) auf die Motorleitungen schalten. Je schneller sie schalten, umso geringer ist die Verlustleistung des Gerätes.
Diese Schaltgeschwindigkeit wird als du/dt bezeichnet und gibt an, wie lange diese Schaltvorgänge dauern. Sie liegen bei den derzeit verkauften Reglern typischer Weise um ca. 15 kV/μs.

Je kürzer diese Schaltvorgänge sind, umso hochfrequenter sind die daraus resultierenden Störgrößen, die sich bis in den MHz Bereich erstrecken können.

At the mains input, the single-phase or three-phase voltage is rectified and charges the electrolytic capacitors of the DC link circuit, which temporarily store this energy. This DC voltage is then quickly switched to the motor leads by means of six power semiconductors (IGBTs), with a special switching sequence.
The frequency of this switching sequence is called carrier or switching frequency.
The frequency of the devices usually sold at present is adjustable between approx. 2 and 18 kHz, depending on the rated power.
The higher the carrier frequency is set, the higher the switching losses, but the lower the motor noise.
In addition to the carrier frequency, the speed at which the power semiconductors switch the DC voltage (U_{dcl}) of the DC link to the motor cables is also decisive. The faster they switch, the lower the power loss of the device.
This switching speed is called dV/dt and indicates how long these switching processes last. They are typically around 15 kV/μs for the controllers currently sold.

The shorter these switching processes are, the higher the frequency of the resulting interference, which can extend into the MHz range.

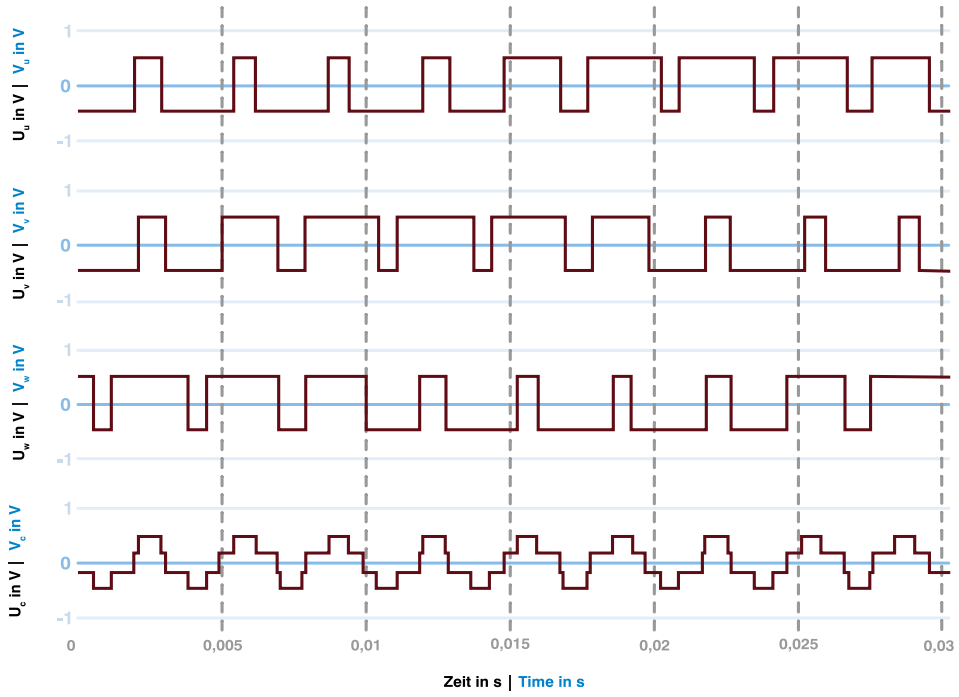
Ausgangsspannungen der drei Motorleitungen U_u, U_V und U_w eines Frequenzumrichters
Output voltages of the three motor lines V_u, V_V, and V_w of a frequency inverter



Wie man dem Bild entnehmen kann, sind die Summen der drei Phasenspannungen im Gegensatz zum dreiphasigen Drehstromversorgungsnetz zu keinem Zeitpunkt 0V.
Somit ist eine getaktete Differenzspannung „vom virtuellen Sternpunkt“ des angeschlossenen Motors zum Bezugspunkt (PE) vorhanden, deren Werte zwischen $\pm U_{zk}/2$ und $\pm U_{zk}/6$ liegt.
Diese Spannung wird auch als Gleichtaktspannung (U_c) bezeichnet.

As can be seen in the figure, the sums of the three phase voltages are never 0V, in contrast to the three-phase AC supply network.
This means that there is a clocked differential voltage "from the virtual star point" of the connected motor to the reference point (PE), whose values are between $\pm V_{dcl}/2$ und $\pm V_{dcl}/6$.
This voltage is also called common mode voltage (V_c).

Ausgangsspannungen der drei Motorleitungen U_u , U_v und U_w eines Frequenzumrichters und der Differenzspannung U_c
Output voltages of the three motor lines V_u, V_v , and V_w of a frequency inverter and the differential voltage V_c



Die Gleichtaktspannung besitzt somit ebenfalls die gleiche Spannungssteilheit mit den gleichen Hochfrequenzeigenschaften.

Demzufolge ist die Ansteuerung der angeschlossenen Motoren von elektronischen Antriebsreglern mit einem Gleichspannungszwischenkreis unsymmetrisch.
Das bedeutet, dass bei jedem Schaltvorgang der Taktfrequenz eine unsymmetrische Spannung vom „virtuellen Sternpunkt“ zum Bezugspunkt, also PE (Masse bzw. „Erde“) besteht.

In Verbindung mit den bereits beschriebenen „parasitären“ Kapazitäten im System, wie geschirmte und lange Motorleitungen oder u. U. mehreren Motoren an einem Regler, entstehen durch diese *hochfrequente* Spannung gegen das Bezugspotential *hochfrequente* Differenzströme (common mode currents) im Kilo- bis Megahertzbereich.
Die Spitzenwerte dieser Ströme können je nach dem Schrankaufbau und der Verdrahtung der Maschinen im zweistelligen Amperebereich liegen und **auch z. B. über die Lager von Motoren fließen, besonders aber von Motorspindeln, da diese konstruktionsbedingt oft höhere Kapazitätswerte zwischen Stator und Rotor aufweisen.**

Sie fließen *nicht zwischen* den spannungsführenden Leitungen, sondern *auf allen drei Motorleitungen gleichzeitig* zu den angeschlossenen Motoren und von dort über die Motorerdung(-en) wieder zurück zur Störquelle (Frequenzumrichter oder Servoregler).
Im ungünstigen Fall auch, wie bereits erwähnt, über die Lager von Motoren mit einer zerstörenden Auswirkung.

Soweit die Theorie.

The common mode voltage therefore also has the same voltage slope with the same high frequency characteristics.

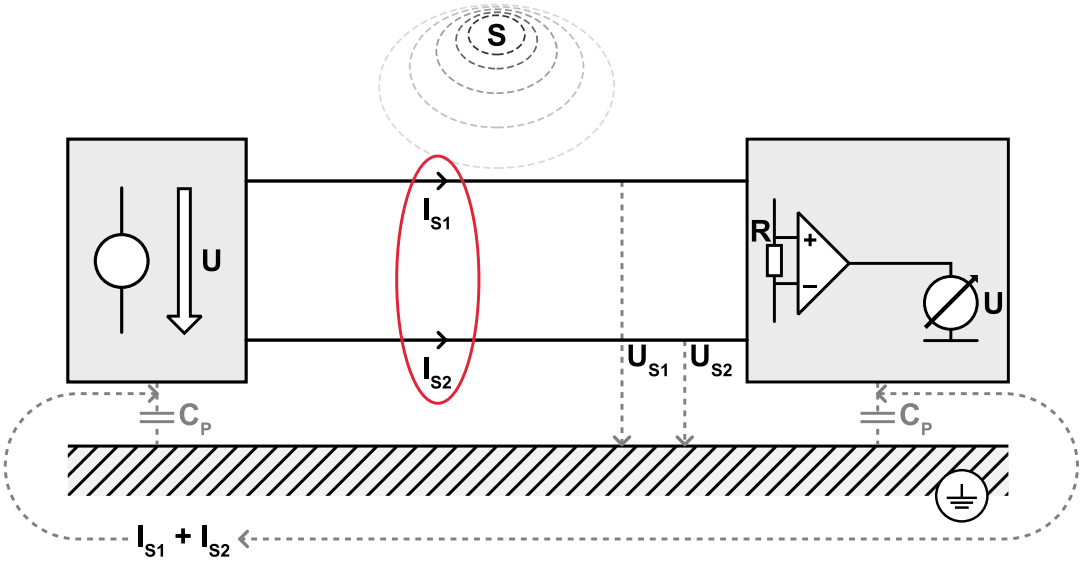
Consequently, the control of the connected motors of electronic drive controllers with a DC link circuit is asymmetrical.
This means that there is an asymmetrical voltage from the "virtual star point" to the reference point, i.e. PE (ground or "earth"), with every switching operation of the carrier frequency.

In connection with the "parasitic" capacitances in the system already described, such as shielded and long motor cables or possibly several motors on one controller, this *high-frequency* voltage produces *high-frequency* differential currents (common mode currents) in the kilo to megahertz range against the reference potential.
The peak values of these currents can be in the two-digit ampere range, depending on the cabinet design and the wiring of the machines **and can also flow, for example, via the bearings of motors, but especially of motor spindles, since these often have higher capacitance values between stator and rotor due to their design.**

They do *not* flow *between* the live cables, but *on all three motor cables simultaneously* to the connected motors and from there via the motor earthing(s) back to the source of interference (frequency inverter or servo controller).
In unfavourable cases also, as already mentioned, via the bearings of motors with a destructive effect.

So much for the theory.

Ausbreitung der Differenzströme | Differential current propagation



Da es sich bei diesen Ausgleichsvorgängen aber um *hochfrequente, parasitäre Ströme* handelt, so müssen auch die Erdungsmaßnahmen für diese Frequenzbereiche entsprechend ausgeführt werden.

However, since these equalisation processes involve *high-frequency, parasitic currents*, the grounding measures for these frequency ranges must also be implemented accordingly.

Die „normalen“ Leitungsquerschnitte der PE-Leitungen sind für die elektrische Sicherheit in einem Kurzschlussfall ausgelegt; sie besitzen aber nur vergleichsweise geringe Hochfrequenzeigenschaften.

The "normal" cable cross-sections of PE cables are designed for electrical safety in the event of a short circuit, but they have comparatively low high-frequency characteristics.

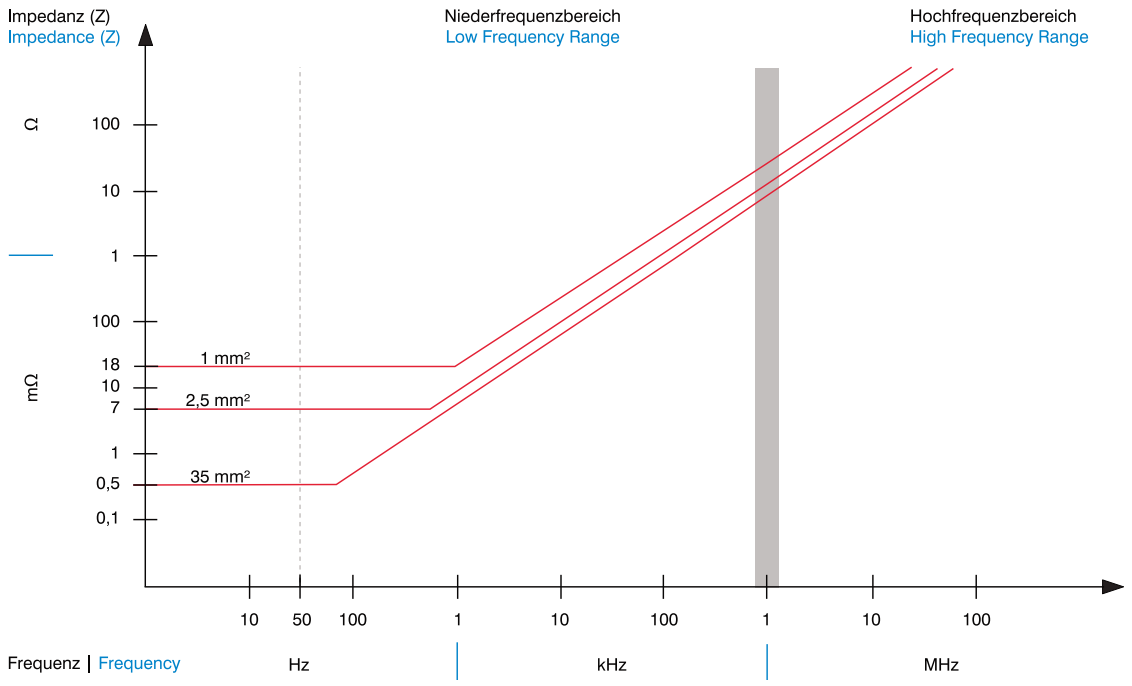
Entscheidend für den Weg dieses Ausgleichsstromes ist die Impedanz (komplexer Widerstand), der diesem hochfrequenten Strom angeboten wird. Je niederohmiger eine Leitung, Schraubverbindung oder eine Gehäuseverbindung ist, umso leichter und umso mehr Ausgleichsstrom wird darüber fließen.

Decisive for the path of this equalising current is the impedance (complex resistance) offered to this high-frequency current.
The lower the resistance of a cable, screw connection or case connection, the easier and all the more equalising current will flow over it.

Um diesen Zusammenhang beurteilen zu können, muss man das Verhalten einer Leitung hinsichtlich der Frequenz kennen.

In order to be able to assess this relationship, one must know the behaviour of a cable with regard to frequency.

Frequenzverhalten einer Leitung | Frequency response of a line

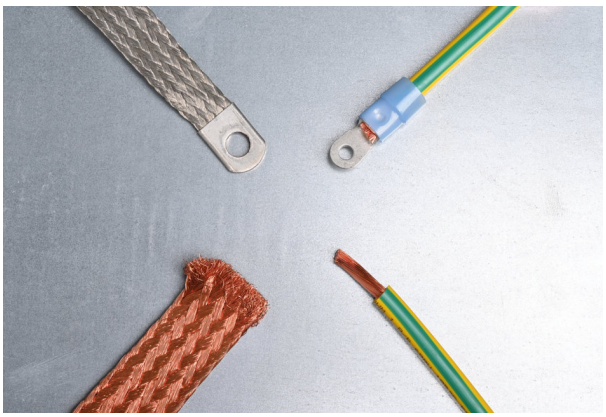


Mit steigernder Frequenz steigt somit auch die Impedanz einer Leitung.
Neben der (komplexen) Leitungsimpedanz und der damit verbundenen Signalverzerrung bei längeren Anschlussleitungen beginnt zusätzlich dazu bereits bei Frequenzanteilen in Signalen um ca. 1 MHz der sog. Skin Effekt zu wirken, das heißt, dass Ströme mit diesen Frequenzanteilen nur noch nahe der Oberfläche oder auf der Oberfläche einer Leitung fließen können, was zu einer zusätzlichen Erhöhung der Leitungsimpedanz führt.

The impedance of a line increases with increasing frequency.
In addition to the (complex) line impedance and the associated signal distortion with longer connection lines, the so-called skin effect also begins to take effect with frequency components in signals around approx. 1 MHz, i.e. currents with these frequency components can only flow near the surface or on the surface of a line, which leads to an additional increase in the line impedance.

Um die Auswirkungen des Skin-Effekt zu reduzieren, werden deshalb für den (niederohmigeren) HF Stromfluss viele voneinander separierte Drähte wie Flachbandleitungen oder „HF Litze“ verwendet.

In order to reduce the impacts of the skin effect, many wires that are separated from each other such as flat ribbon cables or "HF strand" are therefore used for the (lower-impedance) HF current flow.



Links: Kupfergeflechtband zur Ableitung hochfrequenter Ströme (Funktionserdung)
Rechts: Schutzleiter zur Ableitung niederfrequenter Ströme (Schutzerdung)

Left: Braided copper to conduct high-frequency currents (functional earthing)
Right: Protective conductor to conduct low-frequency currents (protective earthing)

Das bedeutet für die Impedanz einer Leitung:

- Nur im *niedrigeren Frequenzbereich* spielt der *Kabelquerschnitt* die entscheidende Rolle,
- im *hochfrequenten Bereich* zählt hauptsächlich die *Oberfläche*.

Für beide Frequenzbereiche ist die Impedanz direkt proportional zur Leitungslänge.

Somit stellt die „normale“ Sicherheitserdung nach den VDE Bestimmungen der elektrischen Sicherheit für diese HF Ströme einen erhöhten Widerstand dar, die auf diesem Wege nicht gut oder gar nicht abfließen können und sich deshalb „niederohmigere“ Wege suchen.

Besonders trifft dies auf steuerungstechnisch verbundene Anlagen zu. Dann nehmen diese hochfrequenten Ausgleichsvorgänge den Weg über Abschirmungen, Gehäuse, Feldbus- oder über andere Kommunikationsleitungen zurück zur Störquelle, da diese Verbindungen oft gut geschirmt ausgeführt sind und somit einen niedrigeren HF Widerstand (Impedanz) als die „normale“ PE-Anbindung aufweisen.

Ein Beispiel dazu sind Maschinen oder auch Teile davon, die über Kommunikationsleitungen verbunden sind, aber unterschiedliche Netzeinspeisungen verwenden.
Auswirkungen sind Busfehler, fehlerhafte Anzeigen und Geräteabstürze.

Eine oft zu hörende Aussage ist, dass durch das Trennen einer Schirmverbindung (einseitige Erdung) die Störung beseitigt sei.

Grundsätzlich ist dies natürlich richtig, damit kann der Common Mode Ausgleichsstrom nicht mehr über dieses Kabel fließen und diese spezielle Auswirkung verursachen.
Trotzdem ist die Ursache der Störung (also die Common Mode Spannung) noch vorhanden und lässt diesen Ausgleichsstrom über andere Ausbreitungswege wie Schirmungen und Kabel zur Störquelle, wie z. B. dem Antriebsregler, zurück fließen.
Erneute Störungen und Beeinflussungen können sich somit an anderen Teilen der Anlage negativ auswirken, die vorher noch unbeeinflusst arbeiteten.
Zusätzliche Schirmungen und Erdungsmaßnahmen, die keiner Systematik folgen, können somit durch das Bereitstellen von weiteren parasitären Ausbreitungswegen das Ganze auch noch „verschlimmbessern“.

In folgenden Fall aus der Fleischverarbeitung wurde der Metalldetektor durch die Differenzströme negativ beeinflusst:

This means for the impedance of a line:

- Only in the *lower frequency range* the cable cross section plays the decisive role,
- in the *high-frequency* range it is mainly the *surface* that counts.

For both frequency ranges the impedance is directly proportional to the length of the cable.

Thus, the "normal" safety earthing according to the VDE regulations for electrical safety represents an increased resistance for these HF currents, which cannot flow off well or not at all in this way and therefore look for "low-impedance" paths.

This is especially true for systems connected by control technology. In this case these high-frequency compensation processes take the path via shields, cases, fieldbus or other communication lines back to the source of interference, since these connections are often well shielded and therefore have a lower HF resistance (impedance) than the "normal" PE connection.

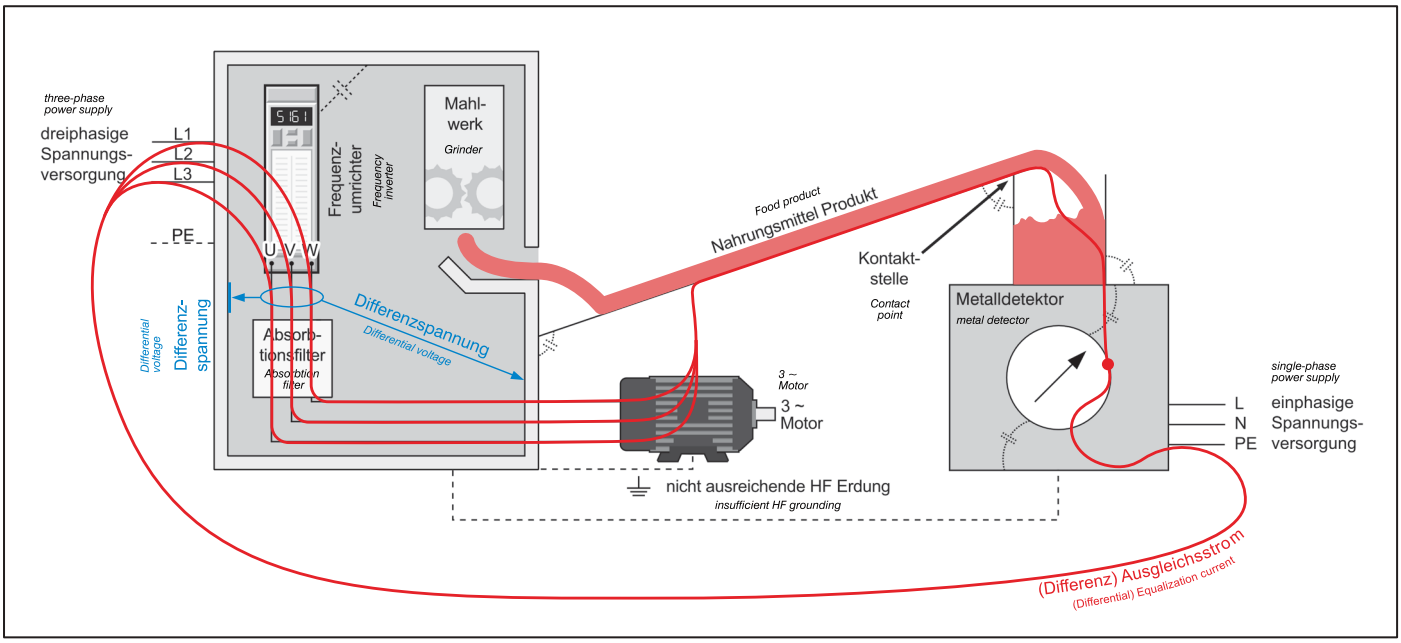
An example of this is machines or even parts of them, which are connected via communication lines, but use different mains feeds.
The effects are bus errors, faulty displays and device crashes.

An often heard statement is that by disconnecting a shield connection (one-sided grounding) the interference is eliminated.

Basically, this are of course correct, so the common mode equalising current can no longer flow through this cable and cause this special effect.
Nevertheless, the cause of the interference (i.e. the common mode voltage) is still present and allows this equalising current to flow back to the source of interference such as drive controllers via other propagation paths such as shielding and cables.
Renewed disturbances and influences can therefore negatively affect other parts of the system that were previously unaffected.
Additional shielding and grounding measures that do not follow a systematic approach can therefore also worsen the situation by providing additional parasitic propagation paths.

In the following case from meat processing, the metal detector was negatively affected by the differential currents:

Anwendung in der Praxis am Beispiel einer Fleischverarbeitung | Application in practice using the example of meat processing



Die schnellste und gleichzeitig effektivste mögliche Lösung ist der Einsatz der neuen Absorptionsfilterbaureihen AF-DSR oder AF-BCR. Beide Typen werden motorseitig installiert, d. h. zwischen Umrichter und Motor.
Die Differenzstrom-Reduktionsfilterreihe AF-DSR ermöglicht durch ihre speziellen Absorptionseigenschaften einen störungsfreien Betrieb von Maschinen bzw. Anlagen. Varianten von 16 A bis 63 A sind standardmäßig verfügbar. Sondervarianten können auf Anfrage kurzfristig geliefert werden. Auch bei ungünstigen Platzverhältnissen ist diese Baureihe die ideale Lösung.
Motorlagerschäden, verursacht durch zu hohe Differenz-/Lagerströme, können durch den Einsatz der Motor-Lagerstrom-Reduktionsfilterreihe AF-BCR vermieden werden. Das Risiko von Ausfallzeiten der Motoren kann somit minimiert werden. Mit der Installation der Filter lassen sich die Wartungsintervalle der Motoren verlängern und somit Kosten einsparen.
Die Filter werden direkt an die Hauptstörquelle des Systems (wie z. B. in die Motorleitung der Antriebsregler) geschaltet und sorgen dort durch ihre störungsabsorbierende Wirkung für eine erhebliche Reduktion der Differenzströme.

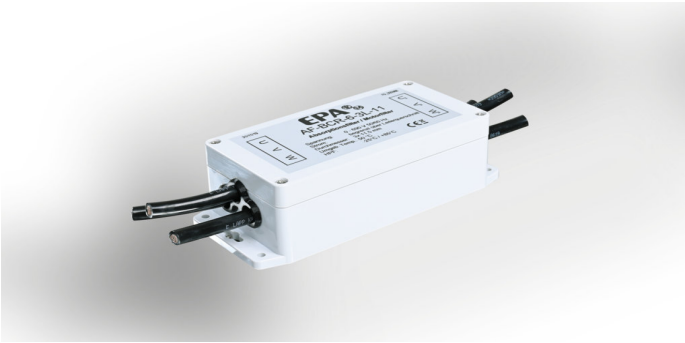
The fastest and at the same time most effective possible solution is to use the new AF-DSR or AF-BCR absorption filter series. Both types are installed on the motor side, i.e. between inverter and motor.
Due to its special absorption properties, the AF-DSR series of differential current reduction filters enables trouble-free operation of machines or systems. Variants from 16 A up to 63 A are available as standard. Special variants can be delivered at short notice on request. This series is also the ideal solution for unfavourable space conditions.
Motor bearing damage caused by excessive differential/bearing currents can be avoided by using the motor bearing current reduction filter series AF-BCR. The risk of motor downtime can thus be minimised. By installing the filters, the maintenance intervals of the motors can be extended and thus costs can be saved.
The filters are connected directly to the main source of interference in the system (e.g. in the motor cable of the drive controllers) and ensure a considerable reduction of differential currents there due to their interference-absorbing effect.

Differenzstrom-Reduktionsfilter | Differential current reduction filters:

Absorptionsfilter: AF-DSR
Absorption filters: AF-DSR

Motor-Lagerstrom-Reduktionsfilter | Motor bearing current reduction filters:

Absorptionsfilter: AF-BCR
Absorption filters: AF-BCR



Die Dynamik der Anwendung wird durch diesen Einbau nicht beeinflusst. Hochfrequente Ausgleichsvorgänge wie Schirmströme und die Störabstrahlung dieser Leitungen werden schon kurz nach der Entstehung wirksam reduziert und die EMV des gesamten Systems merklich erhöht.

Sogar auf die Verwendung von geschirmten Motorleitungen, die man häufig wegen der Störabstrahlung einer ungeschirmten Leitung einsetzt, kann in manchen Fällen verzichtet werden.

The dynamics of the application are not affected by this installation. High-frequency compensation processes such as shielding currents and the interference radiation of these lines are effectively reduced shortly after they occur, and the EMC of the entire system is noticeably increased.

Even the use of shielded motor cables, which are often used because of the interference emission of an unshielded cable, can be avoided in some cases.

Fazit:

Die besten Differenzströme sind diejenigen, die nicht vorhanden sind.
Die derzeit verwendete Antriebstechnik lässt aber eine Vermeidung dieser parasitären Ströme technisch nicht zu.

Differenz- und damit verbundene Lagerströme sind ein komplexes und interessantes Gebiet:
Nicht der Antriebsregler, der Aufbau, die Verdrahtung oder gar der Motor oder die Motorspindel stellt alleine für sich das Problem dar, sondern durch die Wechselwirkungen der Komponenten das *gesamte System* einschließlich Erdung, HF Masseanbindung und Leitungsführung.

Die Verwendung von absorbierenden Filtermaßnahmen zur Reduktion dieser nicht gewünschten Ströme kann als Lösung zur Erhöhung der Betriebssicherheit von Maschinen und Anlagen, vor allem bei einer Nachrüstung, angesehen werden.

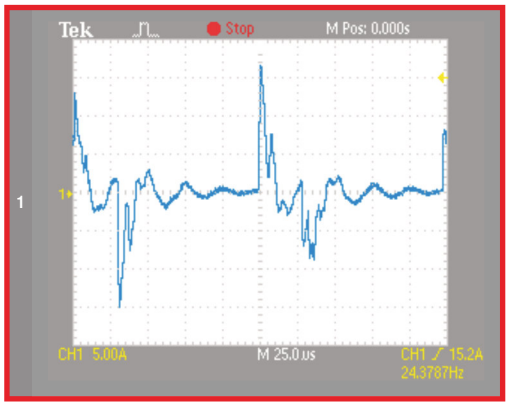
Conclusion:

The best differential currents are those which do not occur.
However, the drive technology currently in use does not technically allow these parasitic currents to be avoided.

Differential and associated bearing currents are a complex and interesting area:
It is not the drive controller, the structure, the wiring or even the motor or motor spindle alone that poses the problem, but rather, due to the interaction of the components, the *entire system* including earthing, HF ground connection and cable routing.

The use of absorbing filter measures to reduce these unwanted currents can be seen as solution to increase the operational safety of machines and systems, especially in the case of retrofitting.

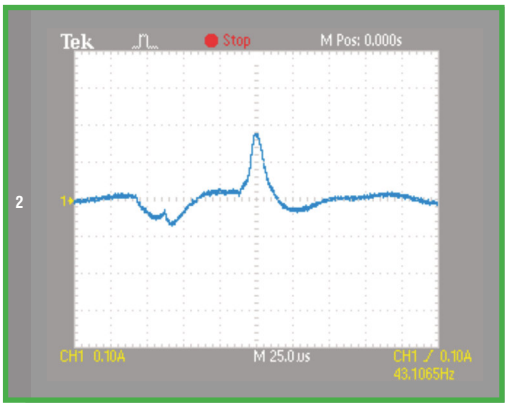
Differenzstrom-Vergleichsmessung | Differential current comparison measurement



Differenzstrommessung ohne Absorptionsfilter
Differential current measurement without absorption filter

Mit der
EPA Filter-Technologie

By using the
EPA filter technology



Differenzstrommessung mit Absorptionsfilter
Differential current measurement with absorption filter

Installationshinweise für die optimale EMV in der Antriebstechnik

Eine gute Schaltschrankentstörung ist von der Auswahl des richtigen Netzfilters sowie von einer EMV-gerechten Installation abhängig. Damit die maximale Entstörwirkung erreicht wird, sind einige grundlegende Punkte zu beachten. Wenn diese bereits bei der Konstruktion bzw. beim Aufbau des Schaltschrankes berücksichtigt werden, können alle EMV-Komponenten ihre volle Entstörwirkung bezüglich Störemission und -immission entfalten. Bereits bei der Auswahl der einzelnen Komponenten des Schaltschrankes sollte man erkennen, welche der einzelnen Bauteile/Geräte EMV kritisch sind. Hierzu zählen z. B. Frequenzumrichter, Servoumrichter, Schaltnetzteile, SPS-Steuerungen und Industrie-PCs. Alle diese Geräte werden über ein gemeinsames Netz versorgt und sind meist auf sehr engem Raum angeordnet. Es ist deshalb mit negativen Auswirkungen der Geräte untereinander sowie auf andere Verbraucher zu rechnen.

Folgende Punkte sollten besonders beachtet werden:

- Schütze, Relais und Magnetventile, die sich im gleichen Stromkreis mit anderen Elektronikkomponenten befinden, sind mit Funkenlösch-Kombinationen bzw. Überspannungs-Schutzschaltungen zu versehen.
- Bei Baugruppen mit hohem Störpegel sollten einzelne Filter vorgeschaltet werden. Außerdem ist es empfehlenswert diese räumlich von anderen empfindlicheren Baugruppen zu trennen, um Störeinkopplungen zu minimieren.
- Durch Einzelfilterung wird das leitungsgebundene Störpotenzial auf niedrigere Werte gesenkt und gleichzeitig die Störfestigkeit der entstörten Komponente, gegenüber netzgeführten Spannungseinflüssen, verbessert.
- Bei der Einzelentstörung sollte das Filter so nah als möglich an der Störquelle platziert werden. Ist dies aus Platzgründen nicht möglich, so ist ein beidseitig, flächig aufgelegtes abgeschirmtes, Kabel als Verbindung zu wählen.
- Sollte man sich für eine Sammel-Entstörung entscheiden, so muss dieses Filter möglichst nahe am Netzeingang platziert werden. Dies führt unter anderem auch zu einer Steigerung der leitungsgebundenen Immissionsfestigkeit gegenüber netzseitig geführten Spike-, Burst- und Surgeimpulsen.
- Alle Geräte und Anlagenkomponenten sind HF-tauglich miteinander zu kontaktieren, d. h. sie sind großflächig, niederohmig und korrosionsgeschützt mit dem PE-Bezugspotenzialzu verbinden.
- Bei der Verwendung von Netzfiltern ist auf eine ausreichend dimensionierte PE-Verbindung zu achten, da die in den Filtern eingesetzten Y-Kapazitäten entsprechende Ströme gegen PE ableiten. Bei den dreiphasigen Netzfiltern treten im Normalbetrieb nur sehr geringe Ableitströme auf. Bei unsymmetrischen Netzverhältnissen kann der Ableitstrom jedoch mehrere 100 mA betragen.
- Alle metallischen Teile des Schaltschrankes wie z. B. Rück- und Seitenwand, Deck- und Bodenblech sind HF-optimiert miteinander zu verbinden. Ohne diese Verbindung wirken diese Teile wie „Flächenstrahler“. Als Verbindungsleitung eignen sich hervorragend querschnittsgroße, feindrähtige Litzen oder Massebänder aus Kupfer. Auf Volldraht sollte man gänzlich verzichten. Dies gilt auch für den PE-Anschluss.
- In manchen Schaltschränken sind noch farbig lackierte Montageplatten eingebaut. Diese sind für einen EMV-gerechten Aufbau ungeeignet, da durch die Lackschicht eine gute HF-Kontaktierung unmöglich gemacht wird. Eloxierte Flächen sind aufgrund des hohen Übergangswiderstandes im Hochfrequenzbereich ebenfalls nicht für Verbindungen geeignet.
- Es ist darauf zu achten, dass eine eventuelle Korrosion die HF-Kontaktierung nicht angreift.
- Eine ausreichende räumliche Trennung zwischen Störern und belasteten Komponenten erhöht die Störfestigkeit gegenüber gestrahlter Immission. Sollte die räumliche Trennung nicht möglich sein, so sind metallische Trennwände und Abschirmbleche eine Alternative.

Abbildung siehe Seite 32: EMV-gerechter Schaltschrank

Installation instructions for optimum EMC in drive technology

Good switch cabinet interference suppression depends on the selection of the correct line filter and on installation in accordance with EMC requirements. In order to achieve the maximum interference suppression effect, some basic points must be observed. If these are already taken into account during the design or installation of the control cabinet, all EMC components can develop their full suppression effect with regard to interference emission and immission. Already during the selection of the individual components of the control cabinet, it should be recognised which of the individual components/ devices are critical to EMC. These include frequency inverters, servo inverters, switching power supplies, PLC controls and industrial PCs. All these devices are supplied by a common power supply and are usually arranged in a very small space. Therefore negative effects of the devices among each other as well as on other consumers have to be expected.

Special attention should be paid to the following points:

- Contactors, relays and solenoid valves which are in the same circuit with other electronic components must be equipped with spark extinction combinations or over voltage protection circuits.
- In the case of assemblies with high noise levels, individual filters should be connected upstream. It is also recommended to separate these filters from other more sensitive modules to minimise interference.
- Through individual filtering, the conducted interference potential is reduced to lower values and at the same time the interference immunity of the suppressed component is improved compared to mains-supplied voltage influences.
- For single interference suppression, the filter should be placed as close as possible to the source of interference. If this is not possible for reasons of space, a shielded cable laid flat on both sides should be selected as the connection.
- If you decide to use a collective interference suppression, this filter must be placed as close as possible to the mains input. Among other things, this also leads to an increase in the line bound immission resistance compared to spike, burst and surge pulses on the mains side.
- All devices and system components must be HF-compatible, i.e. they must be connected to the PE reference potential over a large area, with low resistance and protected against corrosion.
- When using line filters, care must be taken to ensure a sufficiently dimensioned PE connection, since the Y-capacities used in the filters discharge corresponding currents against PE. With three-phase line filters, only very low leakage currents occur during normal operation. In case of unbalanced mains conditions, however, the leakage current can amount to several 100 mA.
- All metallic parts of the control cabinet, such as the rear and side panels, top and bottom panels are to be joined together in an RF-optimised manner. Without this connection these parts act as "area radiators". As connecting cables, fine strands with large cross sections or grounding strips made of copper are suitable. Solid wire should be avoided completely. This also applies to the PE connection.
- In some switch cabinets there are still coloured mounting plates installed. These are unsuitable for an EMC-compliant assembly, since the paint coating makes good HF contacting impossible. Anodised surfaces are also not suitable for connections due to the high contact resistance in the high-frequency range.
- Care must be taken to ensure that any corrosion does not attack the HF contact.
- A sufficient spatial separation between interferers and loaded components increases the interference immunity to radiated immission. If spatial separation is not possible, metallic partitions and shielding plates are an alternative.

See page 32 for illustrations: EMC compliant cabinet

Auswahl und Verlegung von Kabeln und Leitungen

Neben einer sorgfältigen Planung des Schaltschrank Layouts trägt die richtige Auswahl sowie die Verlegungsart der Kabel und Leitungen elementar zum EMV-Erfolg bei. Durch die stetige Weiterentwicklung der Frequenzumrichter und Servoantriebe ist man heute in der Lage, hoch dynamische Applikationen zu betreiben. Diese Dynamik bedingt immer schnellere Taktzeiten in den IGBT-Ausgangsstufen der Umrichter. Es werden hierbei Spannungssteilheiten von bis zu 15 kV/µs erzeugt; daraus ergibt sich ein sehr hohes Störpotenzial für die Peripherie. Diese Störungen können sich in die Leitungen und Kabel einkoppeln.

Nachfolgend geben wir Ihnen Hinweise und Tipps zur richtigen Auswahl und Verlegung der Verbindungsleitungen:

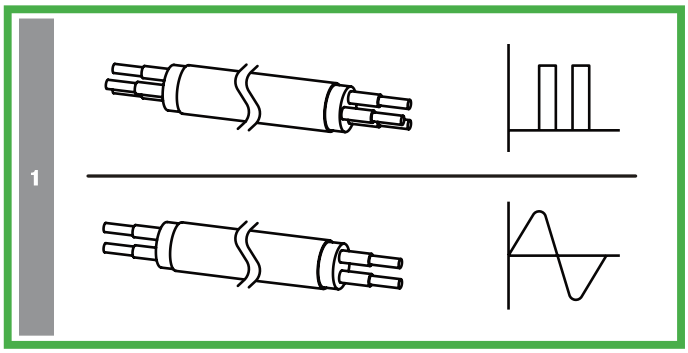
- Störbehaftete Leitungen (z. B. Leitungen vom Frequenzumrichterausgang zum Motor) sollten möglichst nahe am Bezugspotenzial (z. B. Schaltschrankrückwand, Seitenwand) verlegt werden, damit ein Teil der gestrahlten Emission von der Bezugsfläche absorbiert werden kann.
- „Heiße“ und „kalte“ Leitungen müssen räumlich getrennt voneinander verlegt werden, das bedeutet, dass störbehaftete Leitungen auf keinen Fall parallel oder in der Nähe von bereits entstörten oder nicht störenden Leitungen verlegt werden dürfen (Abbildung 1, rechts). Ist dies nicht möglich, so muss eine Metall-Trennwand zwischen den Kabelsträngen eingebracht werden (Abbildung 2, rechts).
- Jede Verbindungsleitung hat eine E-Feldkomponente (elektrisches Feld), daher sollte eine „ordentliche“ parallele und räumlich enge Verlegung zwischen störbehafteten und sauberen Leitungen vermieden werden. Durch die kapazitive Kopplung könnte sonst die bislang störungsfreie Leitung negativ beeinflusst werden (Abbildung 3, rechts).
- Störbehaftete Leistungskabel und Steuerkabel sollten sich möglichst im 90°-Winkel kreuzen (Abbildung 4, rechts).
- Nicht belegte Adern in einem Kabel sind beidseitig mit PE-Potenzial zu verbinden, da sie ansonsten als Antennen wirken (Abbildung 5, rechts).
- Ungeschirmte Analogleitungen sollten miteinander verdrillt werden, um symmetrische Störungseinkoppelungen zu vermeiden (Abbildung 6, rechts).
- Überlange Verbindungsleitungen (Sicherheitslängen) sollten vermieden werden, meistens werden sie aufgerollt im Kabelkanal „verstaut“. Diese Wicklungen wirken wie Antennen (Induktionsschleifen) und strahlen Störungen ab, bzw. nehmen diese auf.
- Bei der Verwendung von abgeschirmten Kabeln wird die Sorte YCY empfohlen, da dieses Kabel ein Kupferschirmgeflecht enthält. Kabel mit Stahlgeflecht sind hier ungeeignet, da der elektrische Leitwert für HF-Anwendungen zu hoch ist.
- Sollte applikationsbedingt eine Auftrennung des Schirmes nötig sein, so sind die freien Aderenden bis zur Anschlussklemme möglichst kurz zu halten. Geschirmte Motorkabel dürfen keine weiteren Leitungen, wie z. B. Steuer- oder Datenleitungen mitführen.
- Die Verbindung zwischen Funkentstörfilter und Störquelle sollte möglichst geschirmt durchgeführt werden. Bei kurzen Verbindungswegen (< 20 cm) kann meist auf eine Abschirmung verzichtet werden.

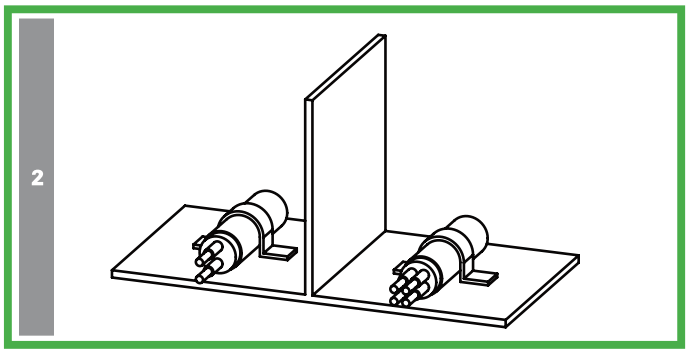
Selection and placement of cables and wires

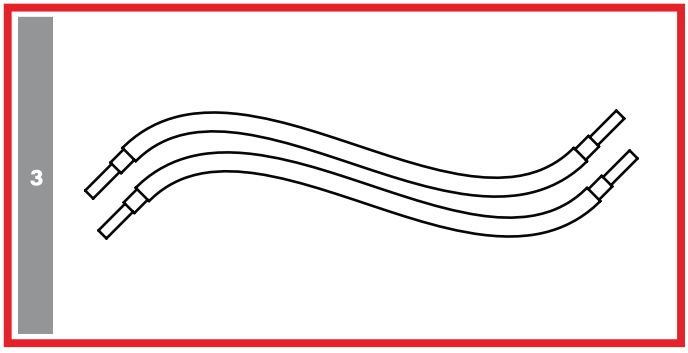
The correct cabinet layout as well as the selection and the placement of the cables and wires is crucial for an EMC-success. The fast technological improvements of inverters and servo drives make it easy to operate dynamic applications. This dynamic leads to fast switching frequencies in the IGBT-output of the drives; therefore causing voltages with a rate of rise up to 15 kV/µs. This means a considerable interference potential, which can be coupled into cables and wires.

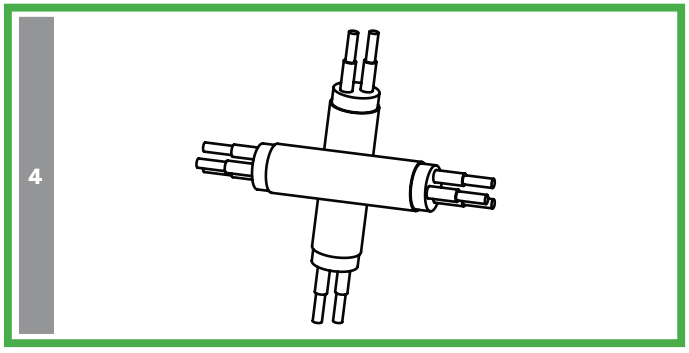
The following recommendations are useful for the selection and placement of cables and wires:

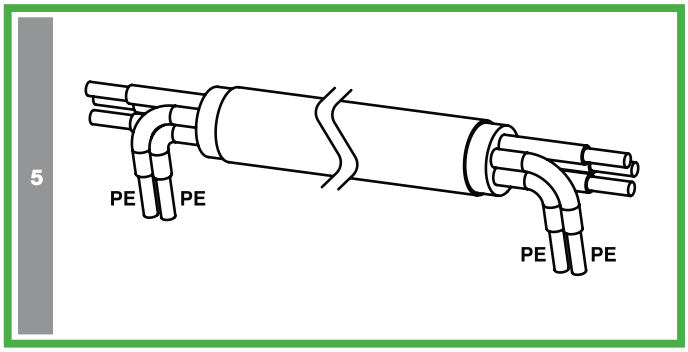
- Interfered lines (e.g. output motor cable of an inverter)should be installed as close as possible to reference potentials (e.g. cabinet rear wall, sidewall). Through this placement a part of the emission will be absorbed by the reference potential.
- “Hot” and “cold” cables must be separated. This means that cables with interference potential should not be placed near by non-interference lines or already filtered lines (figure 1, on the right). If this separation is impossible, a shielding or metallic partition must be installed (figure 2, on the right).
- Every wire has an E-field component (electrical field), which will lead to capacitive coupling. This is the reason why an accurate parallel and close placement of interference-prone and filtered wires must be avoided. Otherwise the capacitive coupling can influence the filtered line (figure 3, on the right).
- Interfered power cables and control cables should be crossed in a 90°-angle (figure 4, on the right).
- Unused cores in one cable should be connected on both sides to earth potential or they will act like antennas (figure 5, on the right).
- Unshielded analogue lines should be drilled. This method avoids symmetrical interference couplings (figure 6, on the right).
- Very long wires (safety lengths) should be avoided. It is common to store these “rolled up” wires in the ducts of the cabinet, but these coils act like antennas and radiate and / or pick up interference.
- The cable type YCY is recommended when using a shielded cable. This type contains a copper shielding. Cables with steel mesh are not useful, because their electric conductance is insufficiently high for HF applications.
- For applications that need an interrupted shield, the free wire ends should be kept as short as possible and connected with the terminal. Shielded motor cables should not contain any wires like control or data lines.
- The setup of the connection between the RFI filter and the emission source should be shielded. In cases of short length (< 20 cm) screening may not be needed.

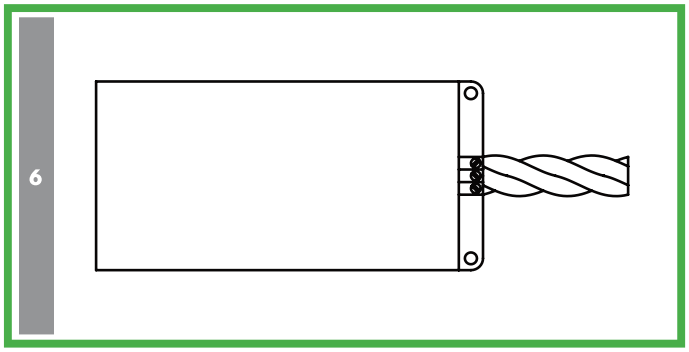












Abbildungen zum Text links | Figures to the text on the left

Richtiger Umgang mit dem Kabelschirm

Alle Komponenten und elektrischen Geräte sind innerhalb eines Schaltschrankes durch Leitungen miteinander verbunden. Bei der Verwendung von geschirmten Leitungen gilt es zu unterscheiden, ob analoge oder digitale Signale übertragen werden sollen.

Bei analogen geschirmten Signalleitungen ist eine einseitige Schirmauflage auf der „Senderseite“, also der Signalquelle empfehlenswert, um Brumm- und Erdschleifen zu verhindern.
Bei geschirmten Leitungen mit digitalen Signalen (hierzu zählt auch die Leitung vom Umrichterausgang zum Motor) ist eine beidseitige Schirmauflage zwingend erforderlich (Abbildung 1, rechts).

Dabei gilt es die nachfolgenden Tipps zu beachten:

- Der Schirm muss immer großflächig aufgelegt werden, z. B. mit einer Kabelschelle (Abbildung 1, rechts).
- Der Abstand zwischen Schirmschelle und Klemmstelle ist möglichst kurz zu halten. Ist dies nicht möglich, so sollte der Schirm nah an die Klemmstelle weitergeführt werden (Abbildung 2, rechts).
- Das Schirmende sollte mit einem Schrumpfschlauch mechanisch gesichert werden.
- Ein einfaches Verdrillen des Schirmes mit Anschluss an die PE-Klemme ist nicht ausreichend (Abbildung 3, rechts).
- Der Schirm darf nicht über ein angelötetes Litzenende an eine PE-Klemme angeschlossen werden (Abbildung 4, rechts).
- Ein Anschluss des Schirmgeflechtes mittels eines Quetschringes mit angelötetem Litzenende, bietet keine gute HF-Kontaktierung (Abbildung 5, rechts).
- Bei Kabeldurchführungen (auch am Klemmenkasten des Motors) sollten spezielle EMV-Verschraubungen verwendet werden.
- Die am Frequenzumrichter angeschlossene Motorzuleitung hat das größte Emissionspotenzial; diese sollte immer geschirmt ausgeführt werden.

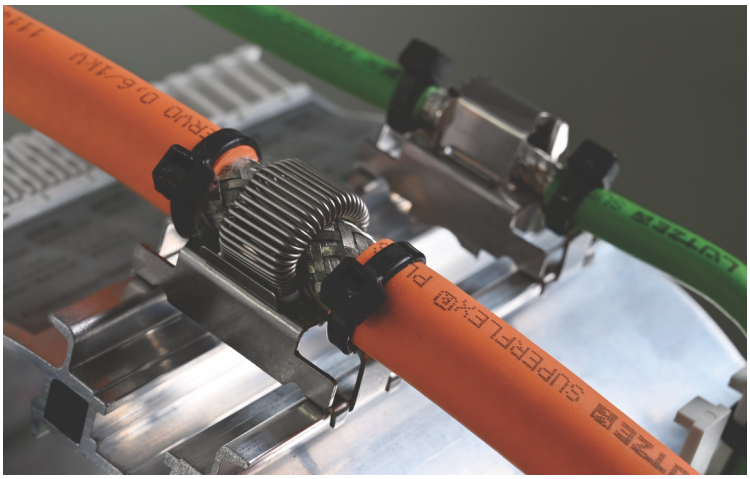
Proper use of the cable shield

All components and electrical devices in a cabinet are connected with wires. When using a shielded cable it is necessary to know if analogue or digital signals will be transferred.

With analog shielded signal lines, a one-sided shield connection on the "transmitter side", i.e. the signal source, is recommended to prevent hum and ground loops.
For shielded cables with digital signals (this includes the cable from the inverter output to the motor) a shield connection at both ends is mandatory (figure 1, on the right).

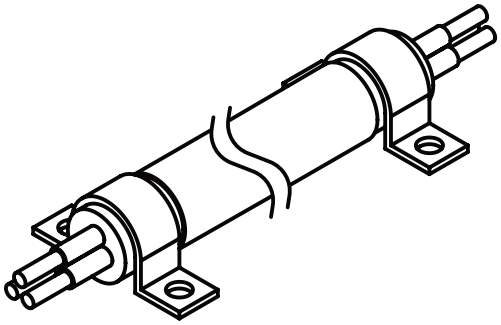
Please observe the following recommendations:

- The shield must be connected to a large surface, e.g. with a cable clip (figure 1, on the right).
- The distance between the shield strap and the clamping point is to be kept short. If this is not possible the shield should be carried close to the connecting terminal (figure 2, on the right).
- The end of the shield should be mechanically secured with a heat-shrinkable sleeve.
- A simple drilling of the shield end connected to a PE-terminal is not recommended (figure 3, on the right).
- The shield must not be connected by means of soldered strand ends to a PE terminal (figure 4, on the right).
- Connection of the shield braid with a pressure ring and a soldered on strand end will not work as a good HF connection (figure 5, on the right).
- Special threaded connections for cable bushings with HF-suitable shield layer should be used.
- The motor cable connected on an inverter has the biggest emission potential; always use a shielded cable for this type of connection.

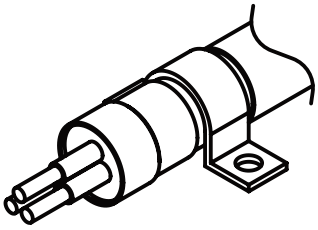


Richtiger Umgang mit dem Kabelschirm | Proper use of the cable shield

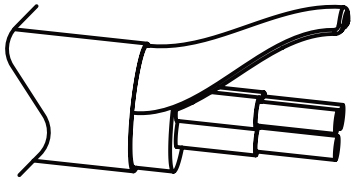
1



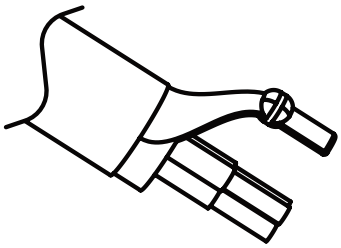
2



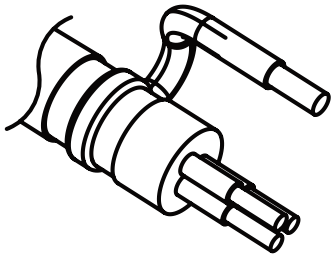
3



4

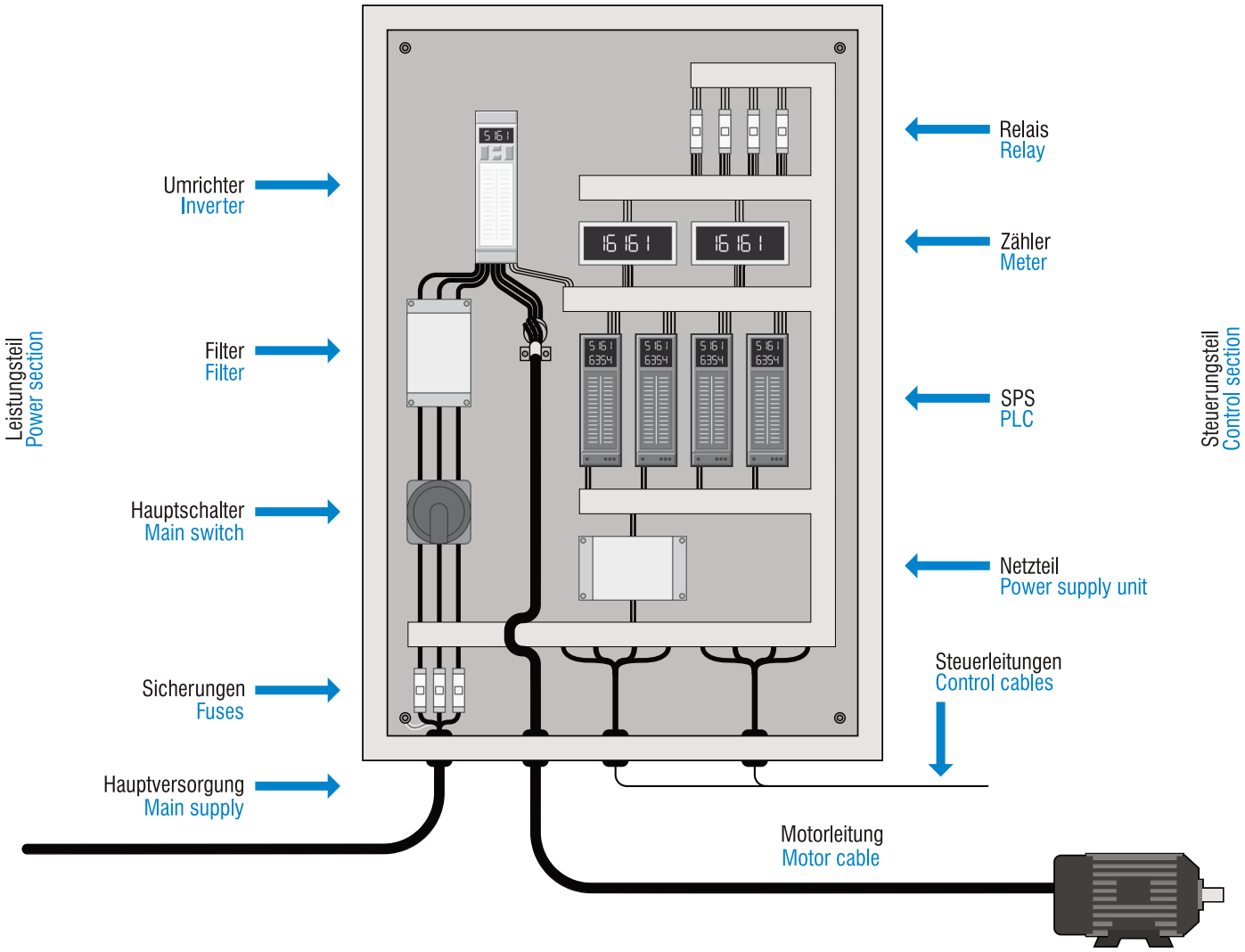


5



Abbildungen zum Text links | Figures to the text on the left

EMV-gerechter Schaltschrank | EMC compliant cabinet



Alle Angaben ohne Gewähr auf Richtigkeit und Genauigkeit. | All information without liability for correctness and accuracy.

Überreicht durch: | Presented by:

EPA GmbH

Fliederstraße 8, D-63486 Bruchköbel
Deutschland / Germany

Telefon / Phone: +49 (0) 6181 9704 - 0
Telefax / Fax: +49 (0) 6181 9704 - 99

E-Mail: info@epa.de
Internet: www.epa.de

Marken – Geschäftliche Bezeichnungen
Die erwähnten Firmen- und Produktnamen dienen ausschließlich der Kennzeichnung und werden als solche ohne Berücksichtigung eines eventuell bestehenden gewerblichen Schutzrechtes genannt. Das Fehlen der Kennzeichnung eines eventuell bestehenden gewerblichen Schutzrechtes bedeutet nicht, dass der erwähnte Firmen- und / oder Produktname frei ist. Das EPA-Logo und EPA-Zeichen sind eingetragene Warenzeichen der EPA GmbH. Alle Rechte und technische Änderungen vorbehalten. Stand: 28.19d/e/04.21a Best.-Nr.: 50275745

Brands – business names – work titles
Company and product names used by EPA are used only for labelling and are mentioned without taking into account any commercial protection right; the lack of the marking of a possibly existent commercial protection right does not mean that the used company and / or product name is available. The EPA logo is a registered trademark for the EPA GmbH.
All rights reserved. Technical changes without notice. Release: 28.19d/e/04.21a Order no.: 50275745