

EMV-gerechter Schaltschrankaufbau

Das Gewährleisten der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) wird schwierig, sobald sich „Störquellen“ und „Störsenken“ räumlich nähern. Dies trifft insbesondere bei Schaltschränken zu, da in ihnen oft eine Vielzahl elektrischer und elektronischer Bauteile platziert und verdrahtet sind. Geringe Abstände zwischen Bauteilen und Leitungen verursachen hierbei häufig Einkopplungen von Störungen auf unterschiedlichen Wegen.

- a) private Ton- und Fernsehempfänger
- b) Industrieausrüstungen
- c) mobile Funkgeräte
- d) kommerzielle mobile Funk- und Funktelefongeräte
- e) medizinische und wissenschaftliche Apparate und Geräte
- f) informationstechnische Geräte
- g) Haushaltsgeräte und elektronische Haushaltsausrüstungen
- h) Funkgeräte für die Luft- und Seeschifffahrt
- i) elektronische Unterrichtsgeräte
- j) Telekommunikationsnetze und -geräte
- k) Sendergeräte für Ton- und Fernsehempfänger
- l) Leuchten und Leuchtstofflampen

Für einen EMV-gerechten Schaltschrankbau ist das ausschließliche Verwenden von Geräten mit CE-Zeichen von ausschlaggebender Bedeutung. Dieses Zeichen bescheinigt unter anderem auch eine EMV-Prüfung. Damit ist gewährleistet, dass diese Geräte in einem normalen EMV-Umfeld ein angemessenes Störfestigkeitsniveau aufweisen und ohne Beeinträchtigungen betrieben werden können. Ferner bedürfen Anlagen, die erst am Betriebsort zusammengesetzt werden, keiner Bescheinigung einer zuständigen Stelle, keiner Baumusterbescheinigung und keiner Konformitätserklärung. Dabei ist eine Anlage als eine Zusammenschaltung von Apparaten, Systemen und Bauteilen zu einem bestimmten Zweck an einem gegebenen Ort definiert. Dies betrifft auch Zulieferer für die Industrie oder das Handwerk, sofern es sich nicht um selbstständig betreibbare Geräte handelt, die nicht allgemein erhältlich sind. Darüber hinaus ist eine CE-Kennzeichnung eines Schaltschranks aus Sicht des EMV-Gesetzes nicht erforderlich; es sei denn, andere Richtlinien oder Gesetze (Niederspannungsrichtlinie, Maschinenrichtlinie) schreiben sie vor.

1 Fortschritt und die EMV

Elektrische Energie bestimmt in weiten Teilen das Leben. Es ist im Grunde trivial zu sagen, dass ein großer Teil aller genutzter Anwendungen ohne Elektrizität undenkbar wäre. Mit steigender Technisierung in Haushalt, Büro, Gewerbe und Industrie nimmt damit aber auch zwangsläufig die Installationsdichte elektrischer und elektronischer Systeme zu, mit möglichen negativen Folgen: Es wächst die Gefahr, dass sich eingesetzte Geräte und Systeme mit ihren elektrischen und magnetischen Feldern gegenseitig stören und beeinflussen. Mit dieser Problematik beschäftigt sich die so genannte „Elektromagnetische Verträglichkeit“ (EMV). Die EMV ist besonders dann von großer Bedeutung, wenn elektrisch und elektronisch betriebene Geräte, Anlagen oder komplexe Systeme in großer Zahl eingesetzt werden, wie etwa in der Industrieautomation, in Anlagen mit umfangreicher Informationstechnik oder in der Gebäudetechnik. Fehlfunktionen sind im günstigsten Fall nur ärgerlich, in Produktionsanlagen hingegen fast immer mit hohen Kosten verbunden.

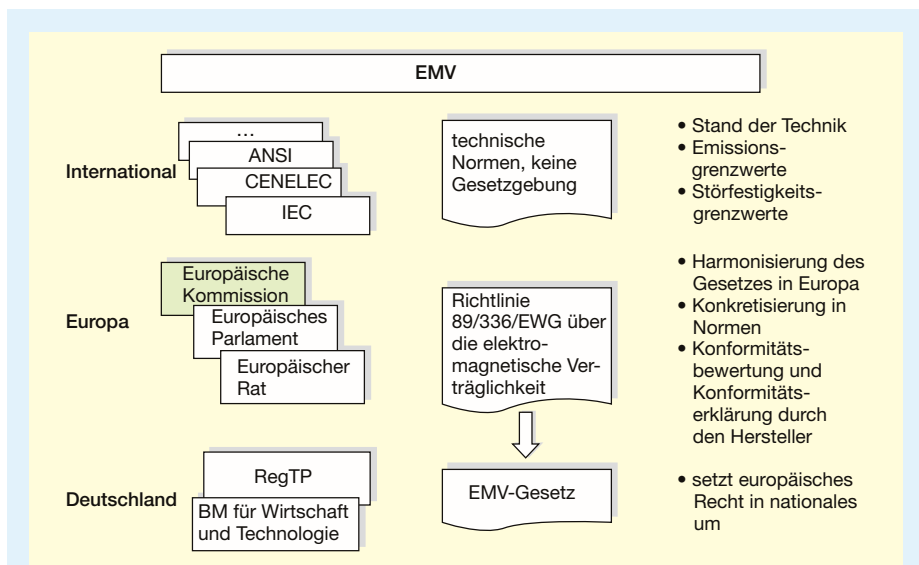
Quellen und Senken können galvanisch, induktiv, kapazitiv oder elektromagnetisch miteinander gekoppelt sein.

3 Gesetzliche Grundlagen

Europäische Richtlinien wie die EMV-Richtlinie 89/336/EWG sind in den Mitgliedstaaten der EU rechtsverbindlich, wenn sie dort in nationales Recht umgesetzt wurden. In Deutschland ist daraus das EMV-Gesetz (EMVG) entstanden (gültig in der Fassung vom 18. September 1998). Das EMVG ist zwar von der Zielsetzung her mit der EU-Richtlinie gleichzusetzen, textlich aber sehr viel genauer gefasst. Die eigentliche technische Konkretisierung der Inhalte erfolgt allerdings noch einen Schritt später, nämlich in der Normungsarbeit der europäischen bzw. deutschen Normenorganisationen (Bild 1). Wesentliche vom Gesetzgeber verlangte Schutzanforderungen sind in der Anlage I des EMVG aufgeführt. Dort heißt es: „Der Höchstwert der von den Geräten ausgehenden elektromagnetischen Störungen muss so bemessen sein, dass der Betrieb insbesondere folgender Geräte nicht beeinträchtigt wird“:

2 Potentielle Auslöser

Es gibt viele potentielle Auslöser: Das elektromagnetische Feld eines stromdurchflossenen Leiters, vor allem aber Geräte, können benachbarte Komponenten in ihrer Funktion beeinträchtigen. Für die Industrie- und Gebäudeautomation sind in diesem Zusammenhang in erster Linie Frequenzumrichter, Zündanlagen und Schweißgeräte zu nennen, Geräte also, die mit hohen Frequenzen und Spannungsspitzen arbeiten. Letztere entstehen im Übrigen bei jedem Abschalten von Induktivitäten wie Motoren, Spulen und Transformatoren. Ein 24-V-Relais beispielsweise kann beim Abschalten eine Störspannung von bis zu 800 V erzeugen. Diesen potentiellen Störquellen gegenüber stehen in Elektroanlagen häufig Geräte wie Prozessrechner, Funkempfangsanlagen und Messinstrumente, die auf Störemissionen empfindlich reagieren. Sie werden in der EMV-Terminologie als Störsenken bezeichnet.



1 Regelhierarchie im Bereich der EMV

Quelle: ZVEI

4 Räumliches Trennen

Die kostengünstigste Entstörmaßnahme ist die räumliche Trennung von Störquellen und Störsenken, vorausgesetzt sie wird bereits während der Planung berücksichtigt. In einem ersten Schritt sollten die einzubauenden Geräte hinsichtlich ihrer Frequenz sowie Strom- und Spannungspegel untersucht und die ermittelten Daten in einer Liste festhalten werden. Ausgehend von diesen Daten kommen folgende Entkopplungsmaßnahmen in Frage. Für Geräte mit einer Frequenz:

- bis zu 10 MHz – räumliche Trennung
 - über 10 MHz – räumliche Trennung und Schirmung
 - über 1 GHz – EMV-geschirmte Gehäuse
- Leistungsstarke Geräte sollten immer räumlich von Steuerungs- und Messkomponenten getrennt werden.

5 Unterschiedliche EMV-Zonen

Es ist sinnvoll, die zum Einsatz kommenden Geräte und Baugruppen hinsichtlich der EMV-Verträglichkeit zu bewerten sowie den Schalt-

schrank in EMV-Zonen einzuteilen und die Geräte diesen zuzuordnen. Die Zonen sind räumlich zu trennen, am besten durch Metallgehäuse oder innerhalb eines Schaltschranks durch geerdete Trennbleche. An den Schnittstellen der Zonen sind gegebenenfalls Filter einzusetzen. Die Aufteilung (Bild 2) könnte folgendermaßen aussehen:

Zone A ist dem Netzanschluss des Schaltschranks einschließlich Filter vorbehalten.

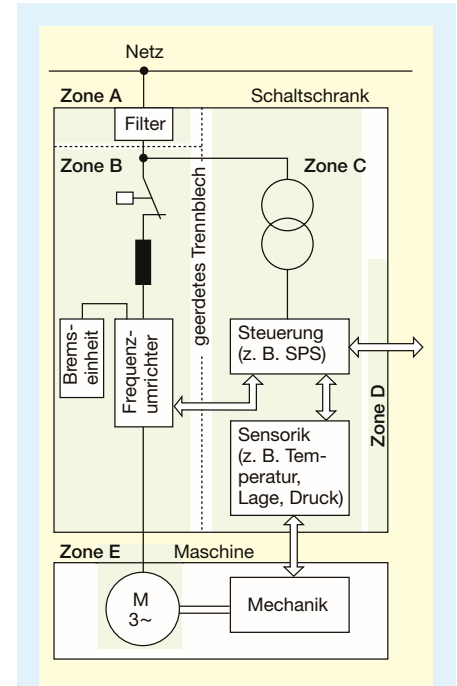
Zone B beinhaltet die Netzdrossel und die Störquellen Frequenzumrichter, Bremsen- und Schutz.

Zone C beherbergt den Steuerungstrafo sowie die Störsenken Steuerung und Sensorik.

Zone D bildet die Schnittstelle der Signal- und Steuerleitungen zur Peripherie und verlangt einen bestimmter Störfestigkeitspegel.

Zone E umfasst den Drehstrommotor und die Motorzuleitung.

Das EMV-gerechte Aufteilen des Schaltschranks betrifft in gleichem Maße die Verdrahtung. Sie ist aufzuteilen in Bereiche für Netzkabel, Motor- und Aktuatorenleitungen, Leitungen für Magnetventile sowie Sensor- und Busleitungen. Netzleitungen sollten wegen ihrer hohen Störaussendung zu Signalleitungen einen Mindestabstand von 20 cm einhalten und in einem eigenen Kabelkanal verlegt sein. Er-



2 EMV-gerechter Schaltschranksaufbau mit Zoneneinteilung

Quelle: DEMVT

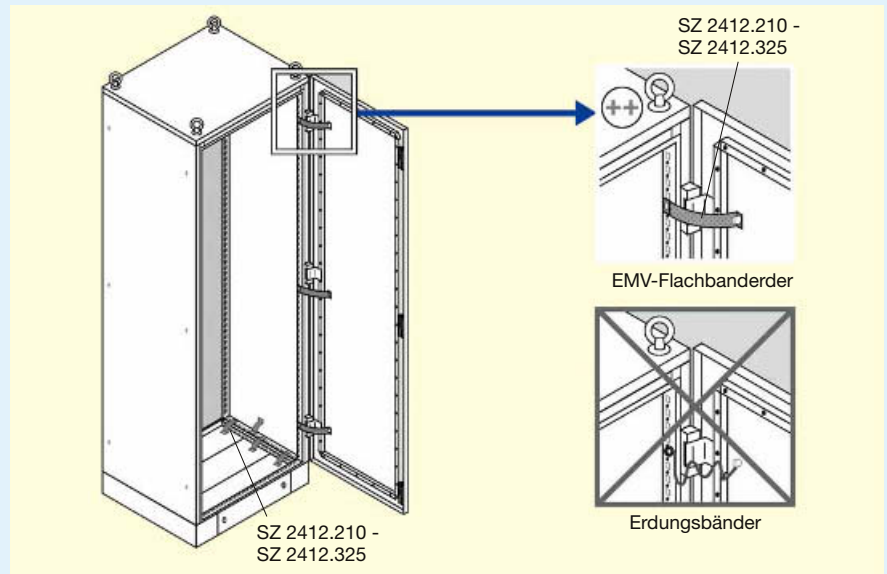
laubt das Platzangebot keine großzügige Aufteilung, ist das zusätzliche Abschirmen durch Bleche erforderlich.

6 Geräte und Gehäuseschirmung

Abschirmung oder Schirmung werden wie folgt definiert: „Elektromagnetische Abschirmungen sind Feldbarrieren, die der Abschwächung elektrischer, magnetischer und elektromagnetischer Felder dienen.“ Abschirmungen sollen einerseits das Eindringen von Störfeldern in Bausteine, Baugruppen, Geräte, Kabel, Räume und Gebäude und andererseits das Ausstrahlen solcher Felder aus elektrischen und elektronischen Betriebsmitteln verhindern. Da auf die Schirmung treffende elektromagnetische Felder Spannungen induzieren, können die darauf fließenden Ströme ihrerseits neue Felder bilden, die dem Primärfeld entgegenwirken und es schwächen. Die Wirksamkeit von Abschirmungen hängt im Wesentlichen von der Frequenz des Feldes, der Leitfähigkeit, Permeabilität, Wandstärke und Geometrie der jeweiligen Abschirmung ab. Schirmungsmaßnahmen sind stets frequenzbezogen – niederfrequente Felder sind gegebenenfalls anders zu handhaben als hochfrequente.

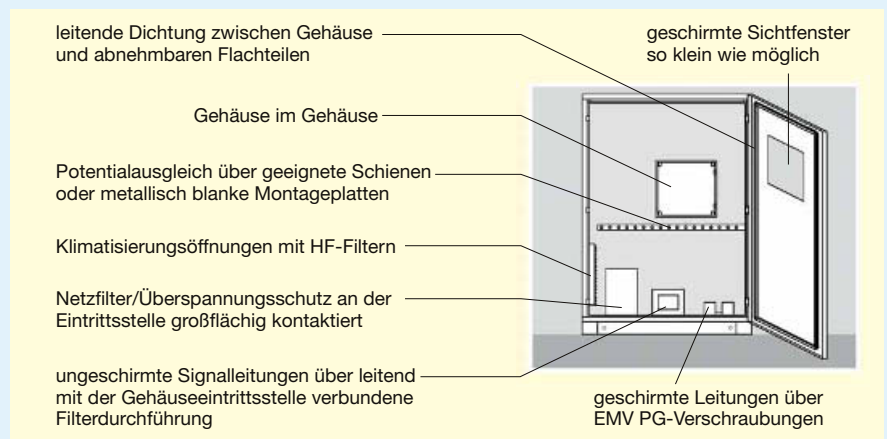
- Als Schirmmaterialien zur Abschirmung elektrischer und magnetischer Felder im höheren Frequenzbereich sowie bei elektrischen Feldern auch im niederen Frequenzbereich werden vorzugsweise Kupfer und Aluminium verwendet, da hier die Impedanz der Schirmfläche besonders niedrig ist.
- Zur Abschirmung von magnetischen Feldern im niederen Frequenzbereich müssen Stahlblech und hochpermeables Material verwendet werden, die die Feldlinien des magnetischen Feldes ablenken können. Ist der Schirm magnetisch gesättigt, geht die Schirmwirkung völlig verloren. Man benötigt also viel Material, um niederfrequente H-Felder ablenken zu können – ein (zu) hoher Aufwand.

Alle Bemühungen sollten in jedem Fall darauf hinauslaufen, die EMV-Ziele schon größtenteils auf der Ebene der Geräte zu erreichen. Voraussetzung dafür ist eine ausschließliche Verwendung von Geräten, die das CE-Zeichen tragen und somit den nationalen sowie europäischen Normen entsprechen. Das schließt eine EMV-konforme Schirmung ein. Hierbei sollte die Schirmung leicht an eine Potentialausgleichsschiene anzuschließen sein und jedes Gerät eine lackfreie metallische Kontaktfläche besitzen, die eine gute Verbindung gewährleistet. Oft jedoch genügt allein ein metallisches Schaltschrankgehäuse, um die gewünschten EMV-Ziele zu erreichen. Es handelt sich dabei um eine breitbandig wirksame Maßnahme, die unabhängig von der im Gehäuse beinhaltenen Elektronik einsetzbar ist. Diese „Grundschrilmwirkung“ verlangt zusätzliche Potentialausgleichsverbindungen an Türen,



3 Optimierter Potentialausgleich an Gehäuseteilen

Quelle: Rittal



4 Optimale Schirmwirkung

Quelle: Rittal

Klappen, Deckeln oder ähnlichen Gehäuseteilen. Eine Verbesserung der Schirmwirkung lässt sich durch einen optimierten Potentialausgleich der Schaltschrankoberflächen erreichen (Bild 3). Dabei werden alle Gehäuseteile mehrfach untereinander verbunden. In vielen Fällen ist die Schirmwirkung durch vorhandene notwendige Schlitze, Fugen, Kabeldurchführungen und Sichtfenster stark eingeschränkt. Hier hilft es, leitende Dichtungen zwischen Gehäuse und abnehmbaren Verkleidungsteilen einzusetzen und die Öffnungen mit HF-Gittern zu versehen (Bild 4). Besonders Augenmerk erfordert das Bemessen der Lüftungsöffnungen zur Wärmeabfuhr und der damit verbundenen Schirmungsmaßnahmen. Sie lassen sich mit einfachen, kostengünstigen Messverfahren und etwas physikalisch-technischem Grundlagenwissen berechnen. Der Leitfaden vom Deutsche Gesellschaft für EMV-Technologie e. V. (DEMVT) bietet dazu relativ einfache Näherungsformeln an. Weitere Schirmungsmaßnahmen im Überblick:

- Potentialausgleich über geeignete Schienen herstellen
- Netzfilter und Überspannungsschutz an der Eintrittsstelle großflächig kontaktieren

- ungeschirmte Signalleitungen über leitend mit der Gehäuseeintrittsstelle verbundene Filterdurchführungen in das Gehäuse einführen
- geschirmte Leitungen über spezielle EMV-Verschraubungen einführen
- eventuell „Gehäuse im Gehäuse“ einsetzen (Abschottung)
- Öffnungen in Abhängigkeit von Frequenz und Materialdicke bemessen

7 Leitungsschirmung

Nicht nur bei eingebauten Geräten und dem Schaltschrank selbst, sondern auch bei Kabeln und Leitungen gilt es, eventuelle Störfelder zu unterdrücken. Auch hier ist die wichtigste und am häufigsten angewandte Methode die Schirmung. Die in der Praxis verwendeten Leitungsschirme bestehen in der Regel aus nichtmagnetischen Materialien wie Kupfer oder Aluminium. Sie sind meistens aus zwei gegenläufig in sich verwobene Drahtgeflechte aufgebaut. Die Qualität des Schirms definiert sich durch die Dichte und Stärke des Ge-

flechts. Wenn vom Hersteller nicht anders angegeben, sollten Schirme von analogen Signalleitungen nur einseitig angeschlossen werden, Schirme digitaler Signalleitungen dagegen beidseitig. Das Auflegen muss großflächig geschehen. Es empfiehlt sich die Verwendung von Erdungsschellen, -klemmen und -verschraubungen. Besonders wichtig bei allen geschirmten Leitungen ist, dass die Schirmung nicht unterbrochen wird. Ungeschirmte Zwischenstücke sind EMV-Lecks und können die Schirmwirkung gänzlich aufheben. EMV-gerechte geschirmte Leitungen gibt es heute nahezu für jeden Anwendungsfall. Passende Verschraubungen drücken das Abschirmgeflecht mit dem Kunststoffeinsatz auf den Verschraubungsboden und garantieren unter allen Betriebsbedingungen eine gute Kontaktierung. Schützen lassen sich die Leitungen außerdem durch Kabelschutzhäute. So können PVC-Schläuche mit feuerverzinktem Stahlgeflecht hohe EMV-Sicherheit bieten. Sie widerstehen gleichzeitig glühenden Metallteilen, was unter anderem beim Einsatz an Schweißrobotern von Bedeutung ist. Besonders bei Kommunikationsleitungen mit beidseitig aufgelegten Schirmverbindungen können Potentialausgleichsströme zu erheblichen Störeinflüssen durch Masseschleifen führen. Bei größeren Anlagen ist es daher rat-

sam, zwischen den einzelnen Schaltschränken Erdpotentialleitungen einzuplanen, um Erdausgleichsströme zu verhindern. Hinweise zur Leitungsschirmung im Überblick:

- Schirmungen nach Herstellerangaben der Geräte ein- bzw. beidseitig oder mehrfach auflegen
- Schirmunterbrechungen, beispielsweise bei Klemmen, Schaltern und Schützen, möglichst niederimpedant und großflächig überbrücken
- Signalleitungen mit Doppelschirm und verdrillt einsetzen (die Dämpfung steigt von etwa 30 dB bei Einfachschirmung auf 60 dB bei Doppelschirmung und auf ca. 75 dB bei zusätzlichem Verdrillen)

8 Erdung und Potentialausgleich

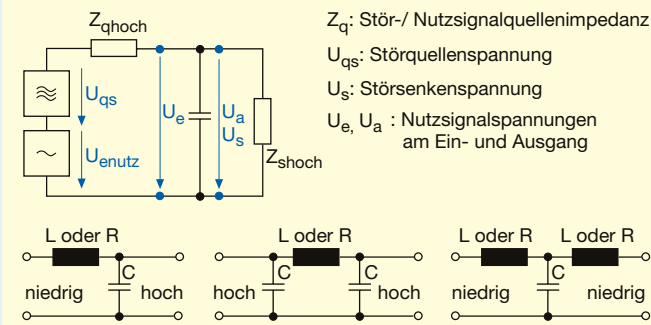
Potentialunterschiede zwischen verschiedenen Anlagenteilen können dazu führen, dass störende Ausgleichsströme fließen. Deshalb ist im Schaltschrank ein ordnungsgemäßer Potentialausgleich unerlässlich, wobei alle leitfähigen Gehäuseteile, Geräte- und Baugruppenelemente maschenförmig miteinander zu verbinden sind. Als Potentialausgleichs-Sammelschiene bietet sich die metallisch blan-

ke Montageplatte an. Potentialausgleichsleiter sollten so kurz wie möglich sein und einen Querschnitt von mindestens 6 mm², besser 16 mm² haben. Beim Anschluss an Geräte- und Gehäuseteile ist zudem auf eine großflächige korrosionsschutzgeschützte Kontaktherstellung zu achten. Das ist in lackierten oder beschichteten Schränken und Gehäusen allerdings nur mit erheblichem Arbeitsaufwand zu bewerkstelligen. Die wichtigsten Empfehlungen des DEMVT-Leitfadens zum Thema Potentialausgleich lauten:

- eindeutigen zentralen Erdungspunkt definieren
- metallisch blanke Montageplatten als Potentialausgleichs-Sammelschiene nutzen
- alle Metallteile erden
- Erdungsverbindungen mit einem Mindestquerschnitt von 16 mm² einsetzen (auch für bewegliche Teile wie Türen).

Der Leitfaden nennt als Anwendungsbeispiel eine Anlage mit einem Frequenzumrichter und einer SPS, die ein unterschiedliches Erdpotential aufweisen. Hier können elektrische Ausgleichsströme fließen, die das gesamte System stören. Dazu gibt der Leitfaden folgende Empfehlungen:

- Anbringen eines Potentialausgleichskabels, parallel zum Steuerkabel, mit einem Mindestquerschnitt von 16 mm²



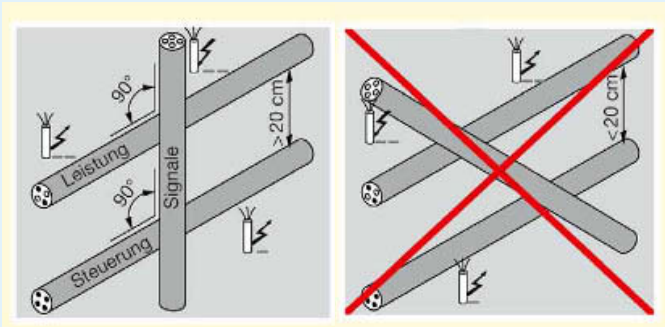
5 Elementare Filterschaltungen

Quelle: DEMVT



7 Überspannungsschutzkomponenten für den Schaltschrankbau

Quelle: Phoenix Contact



6 Leitungskreuzungen möglichst rechtwinklig und mit ausreichendem Abstand zwischen störabsendenden und empfindlichen Leitungen

Quelle: Rittal

- Relais- und Schützsicherungen für induktive oder kapazitive Lasten mit Entstörgliedern ausrüsten

Je besser der Potentialausgleich in einer Anlage ausgeführt ist, desto geringer ist die Gefahr von Störungen durch Potentialschwankungen und daraus resultierenden Strömen.

9 Filter

Eine weitere wichtige Maßnahme im Rahmen eines EMV-gerechten Schaltschrankaufbaus ist der Einsatz von Filtern. Es handelt sich dabei um Bausteine zur Dämpfung von Störgrößen. Ihrem Zweck entsprechend können sie sowohl an einer Störquelle als auch an einer Störselektrode eingesetzt werden. Im ersten Fall reduzieren sie das Aussenden von Störungen, im zweiten erhöhen sie die Störfestigkeit. In der Regel werden passive Filter verwendet, die aus passiven Bauelementen bestehen. Aktive Filter, die eine eigene Stromversorgung benötigen, werden in Stromversorgungsnetzen kaum angewendet. Filter sind möglichst nahe am Gerät zu montieren und auf der Netz- sowie Geräteseite mit dem Erdleiter zu verbinden. Im Fehlerfall, bei einem Phasenausfall oder einer auftretenden Schiefast, können sehr hohe Ableitströme fließen. Die VDE 0160 bzw. EN 60335 fordert für solche Fälle einen Schutzleiter mit einem Querschnitt von mindestens 10 mm². Alternativ besteht die Möglichkeit, den Schutzleiter auf Unterbrechung zu überwachen oder einen zweiten Schutzleiter zusätzlich zu verlegen. Da es sich bei den Ableitströmen um hochfrequente Störgrößen handelt, müssen die Erdungsmaßnahmen niederohmig, großflächig und auf dem kürzestem Weg zum Erdpotential durchgeführt werden. Je nach Impedanz der Störquelle so-

wie der Eingangsimpedanz der Störselektrode stehen verschiedenen Filterschaltungen zur Auswahl (Bild 5).

10 Leitungsverlegung

Bei dem Bemühen, im Schaltschrank störende Felder zu vermeiden, spielt auch die Leitungsverlegung eine wesentliche Rolle. Es soll an dieser Stelle genügen, einzelne wichtige Punkte noch einmal in einem kurzen Überblick wiederzugeben:

- Störfähige bzw. störempfindliche Leitungen sind mit möglichst großem räumlichem Abstand zu verlegen.
- Die Störfestigkeit erhöht sich, wenn die Leitungen dicht am Massepotential verlegt werden.
- Reservekabel sind auf mindestens einer Seite zu erden.
- Lange Leitungen sollten gekürzt oder an störunempfindlichen Stellen verlegt werden. Es könnten sonst leicht zusätzliche Koppelstellen entstehen.
- Bei sehr großen Leiterquerschnitten ist zu erwägen, anstelle von geschirmten Kabeln geschirmte Einzeladern zu verlegen.
- Leiter oder Kabel, die Signale verschiedener Klassen führen, müssen sich im rechten Winkel kreuzen, insbesondere wenn es sich um empfindliche und störfähige Signale handelt (Bild 6).

11 Überspannungsschutz

Überspannungen können elektrische und elektronische Geräte und Anlagen zerstören. Dabei ist zu beachten, dass solche Überspan-

nungen nur selten von Blitzschlägen herühren, sondern vor allem von Schaltvorgängen oder elektrostatischen Entladungen. Sie treten nur für den Bruchteil einer Sekunde auf, weshalb man sie auch „transiente (vorübergehende) Spannungen“ nennt. Aufgrund der Gefahren, die von transienten Spannungen für elektrische und elektronische Baugruppen ausgehen, gehört zu einem EMV-gerechten Schaltschrankaufbau neben den genannten Schirmungs- und Filterungsmaßnahmen auch ein angemessener Überspannungsschutz. Zur Auswahl stehen Schutzgeräte, die üblicherweise den Bereichen Grob-, Mittel- und Feinschutz zugerechnet werden. Diese schon etwas älteren Bezeichnungen abgestufter Schutzbereiche sind zwar immer noch ge- läufig, wurden aber in die DIN EN 61643 nicht mehr aufgenommen. In dieser Norm sind die Schutzgeräte in folgende Klassen eingeteilt:

- Überspannungsschutzgeräte vom „Typ 1“, so genannte Blitzstromableiter, sind erforderlich, um die sehr hohen Ströme abzuleiten, die bei einem Blitzeinschlag auftreten.
- Überspannungsschutzgeräte vom „Typ 2“, auch Überspannungsableiter genannt, bilden die zweite Schutzstufe, die eine niedrigere Bemessungsstoßspannung aufweist und dem Schutz der festen Elektroinstallation dient.
- Überspannungsschutzgeräte vom „Typ 3“ begrenzen Überspannungen auf ein für das zu schützende Gerät zulässiges Maß.

12 Prüfprotokollierung und Begleitdokumentation

Die gesamte Dokumentation ist Bestandteil des Schaltschranks und muss mit diesem zusammen ausgeliefert werden. Es sind daher Schalt- und Aufbaupläne zu erstellen sowie die EMV-gerechte Ausführung anhand geeigneter Checklisten zu überprüfen, zu dokumentieren und zu archivieren. Zu einer ordnungsgemäßen Dokumentation gehören außerdem alle Montage- und Inbetriebnahmeanleitungen der eingebauten Geräte, alle notwendigen Hinweise auf Leitungsverlegung und -einführung, Schirmanforderungen abgehender Kabel, Schirmverbindungen und auf eventuell notwendige EMV-Kabelverschraubungen.