

WHITEPAPER

**EMV-PROBLEME IN DER PRODUKTION –
UND WIE MAN SIE VERMEIDET**

EMV-PROBLEME IN DER PRODUKTION – UND WIE MAN SIE VERMEIDET



INHALT

1. EMV-Probleme nehmen zu
2. Definition von elektromagnetischer Verträglichkeit (EMV)
3. Leistungselektronik, Pulsweitenmodulation und das Problem Ableitströme
4. So werden Kabel elektromagnetisch verträglich
5. Neuer Ansatz zeroCM®-Technologie
6. Der richtige Stecker aus EMV-Sicht
7. Der Faktor Mensch

1 EMV-PROBLEME NEHMEN ZU

Die Nachfrage nach ganzheitlichen elektromagnetisch verträglichen (EMV) Lösungen aus dem Anlagen- und Maschinenbau wächst mit rund 6-7 Prozent¹ weltweit. Grund hierfür ist, dass in der „Smart Factory“ die Leistungs- und Datendichte immer weiter ansteigt. Dafür sind vier Entwicklungen maßgeblich verantwortlich:

1. Mehr Frequenzumrichter zur Verbesserung der Energieeffizienz bei gleichzeitig schnelleren Schaltfrequenzen
2. Erhöhte Störanfälligkeit durch mehr Datenübertragung mit weniger Energie
3. Mehr elektronische Geräte auf engstem Raum
4. Steigende Wechselwirkungen durch Erschließung neuer Frequenzbereiche in immer dichteren Abständen

Schon ein kleiner Störer kann schlimmstenfalls zum Ausfall des gesamten Systems führen. Dies zu verhindern hat oberste Priorität. Das setzt jedoch ein gutes Systemverständnis und die Auswahl der richtigen Komponenten voraus.

2 DEFINITION VON ELEKTROMAGNETISCHER VERTRÄGLICHKEIT (EMV)

In der EMV-Richtlinie 2014/30/EU, Artikel 3, ist die elektromagnetische Verträglichkeit definiert als „[...] die Fähigkeit eines Betriebsmittels, in seiner elektromagnetischen Umgebung zufriedenstellend zu arbeiten, ohne elektromagnetische Störungen (EMS) zu verursachen, die für andere in dieser Umgebung vorhandene Betriebsmittel unannehmbar wären.“

Störungen können entweder natürlichen Ursprungs sein, z.B. verursacht durch Blitzeinschläge, oder technischen Ursprungs, wie elektromagnetische Effekte durch Schaltimpulse oder falsche oder fehlende Erdung. Was als Interferenz beim FM-Radio-Empfang allenfalls nur störend ist, kann in der Medizintechnik dramatische Folgen haben.

Die elektrotechnische Theorie hinter EMV-Phänomenen lässt sich auf drei Faktoren abstrahieren: Störquelle, Störsenke und ein Kopplungsmechanismus zwischen beiden.

¹ Quelle: u.a. aus Studien von Bloomberg, GlobeNewswire, Transparency Market Research, Markets and Markets (2022)

Das Konzept der EMV kurz erklärt

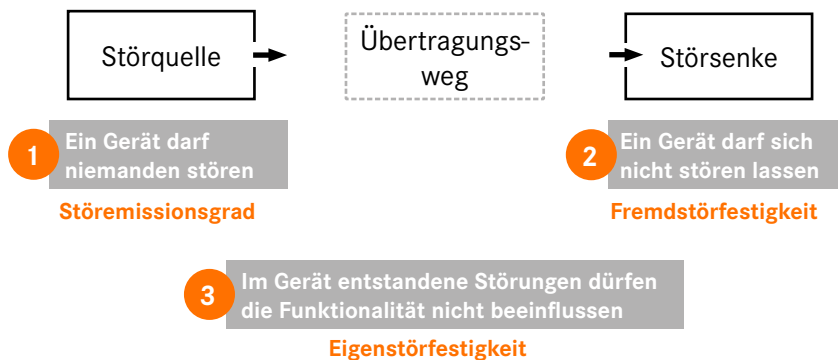


Abbildung 1: Drei Faktoren sind für die elektromagnetische Verträglichkeit relevant

Der Übertragungsweg zwischen Störquelle und Störsenke wird auch als elektromagnetische Kopplung bezeichnet. Es gibt vier verschiedene Arten, die jeweils einzeln aber auch als Mischform auftreten können:

- Galvanische Kopplung durch gemeinsame Leiter verschiedener Stromkreise. Das ist zum Beispiel der Fall, wenn Schutzleiter von Geräten oder die Schirmungen von Kabeln miteinander verbunden sind und darüber Ausgleichsströme fließen können.
- Kapazitive Kopplung elektrischer Felder bei nahe beieinanderliegenden Leitern in einem Kabel oder einem Kabelkanal oder bei parallel geführten Leiterbahnen auf einer Leiterplatte. Der Effekt tritt vor allem bei hohen Frequenzen oder dem Schalten großer Spannungen auf.
- Induktive Kopplung durch magnetische Felder insbesondere bei niedrigen Frequenzen. Das zugrundeliegende physikalische Prinzip macht man sich beim Transformator zunutze, wo es erwünscht ist. Unerwünschterweise tritt die magnetische Kopplung bspw. bei parallel liegenden Leitern in Verbindung mit hohen Lastströmen auf.
- Strahlungsbeeinflussung durch nicht ausreichend abgeschirmte Kabel oder Geräte, die dann wie Antennen wirken. Dieser Effekt tritt erst bei Frequenzen größer 1 MHz auf.

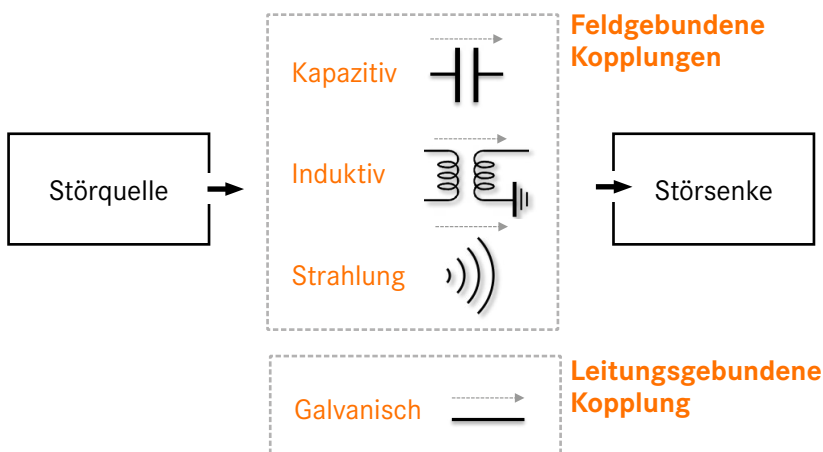


Abbildung 2: Vier mögliche Übertragungswege für elektromagnetische Störungen

3 LEISTUNGSELEKTRONIK, PULSWEITENMODULATION UND DAS PROBLEM ABLEITSTRÖME

In vielen industriellen Anlagen, aber auch in vielen Haushaltsgeräten, werden Motoren heute mit Frequenzumrichtern angesteuert. Mittels Puls-Weiten-Modulation (PWM) lässt sich die Motordrehzahl stufenlos anpassen und Energie einsparen. Um die Energieverluste so gering wie möglich zu halten, streben die Hersteller kürzeste Schaltzeiten an.

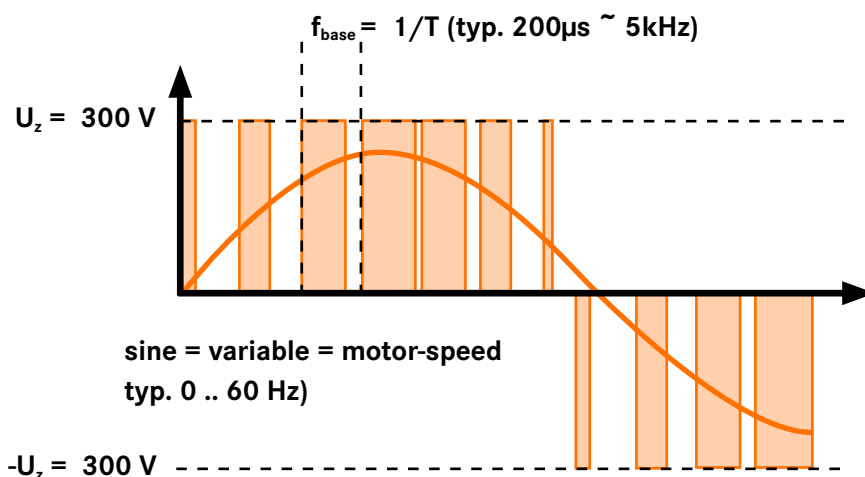


Abbildung 3: Prinzipschaubild Pulsweitenmodulation

Sie führen jedoch zu steilen Flanken im Spannungsanstieg und -abfall, was hochfrequente Spannungsanteile nach sich zieht. Diese koppeln über die parasitären Erdkapazitäten des Motors, den Kühlkörper des Frequenzumrichters selbst oder über die Motorleitung (Abb. 4) auf metallische Strukturen und regen dort störende PE-/PA²-Ströme an. Sind diese Störströme erst ins Erdungs- oder Potentialausgleichsnetzwerk eingekoppelt, vagabundieren sie durch das System, bevorzugt über großflächige und metallische Strukturen. Dort stören sie die Datenkommunikation und empfindliche Geräte, erwärmen Bauelemente in EMV-Filtern, lösen Fehlerstromschutzschalter aus, erhöhen den Verschleiß von Lagern und beschleunigen die Korrosion an Stahlträgern oder Wasserrohren.

² PE (engl.) = protective earth (dt. Schutzerdung), PA = Potentialausgleich

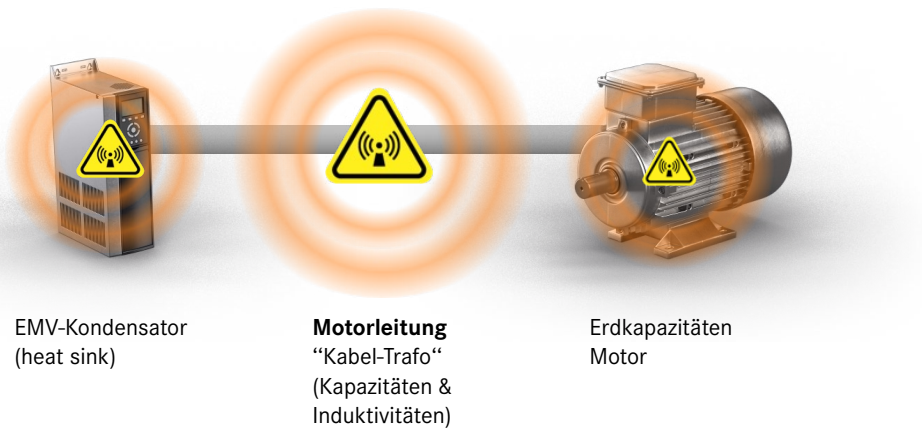


Abbildung 4: Haupt-Koppelpfade für PE-/PA-Störströme

Aus Sicht eines Leitungsherstellers sind vor allem zwei Frequenzbereiche relevant:

- 1) Niederfrequenter Bereich 0–50 Hz:** Hoher Einfluss der Netzspannung. Um hier die Konstruktion einer elektrischen Leitung zu verbessern, sind Maßnahmen erforderlich, die sich auf die Symmetrie und/oder auf die magnetische Kopplung (Induktivität) innerhalb einer Leitung beziehen.
- 2) Mittelfrequenter Bereich 2 kHz–200 kHz:** Hier liegt typischerweise die Grundtaktfrequenz eines Frequenzumrichters (2–8 kHz). Gemäß der Fourier-Theorie bilden sich harmonische Überlagerungen mit steigender Frequenz aus (10 kHz–200 kHz). Die Höhe der „Nadeln“ wird hauptsächlich durch die elektrische Kopplung innerhalb der Motorleitung – also durch die wirkenden Kapazitäten – bestimmt. Deshalb nutzen Motoranschlussleitungen meist Polyethylen (PE) oder Polypropylen (PP) als Aderisoliationswerkstoff, um die elektrische Kopplung innerhalb der Leitung zu verringern.

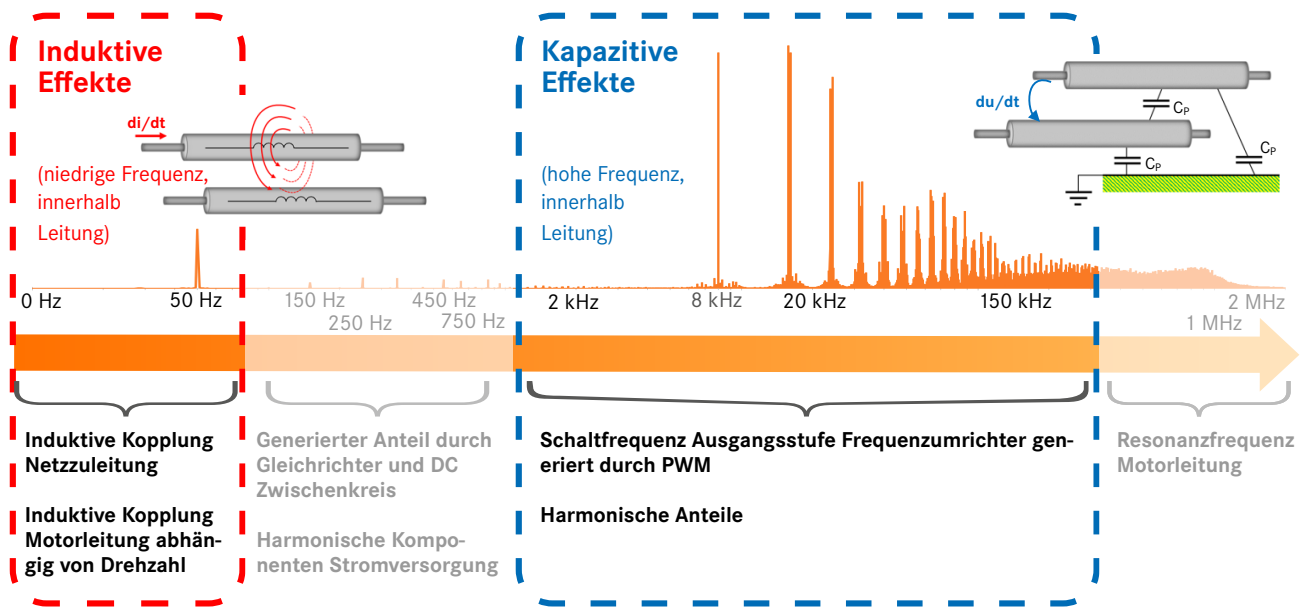


Abbildung 5: Typische spektrale Verteilung von parasitären Strömen auf PE-/PA-Netz, gemessen an einer 55 kW-Pumpe

Im Forschungsprojekt „Ursachen, Ausbreitungswege und Wechselwirkungen von PE-/PA-Strömen sowie Modellierung von Komponenten“ (kurz: „PEPA“) im 6. Energieforschungsprogramm des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz haben mehrere Partner – darunter auch LAPP – an diesem Thema geforscht. Das Projektziel war, PE/PA-Ströme mit Simulation vorherzusagen, sie zu erfassen und zu untersuchen, sowie Maßnahmen zu erforschen, um diese Ströme innerhalb von Maschinen und Anlagen zu begrenzen.

4 SO WERDEN KABEL ELEKTROMAGNETISCH VERTRÄGLICH

Elektrotechnisch-passive Produkte wie Kabel, Leitungen, Kabelverschraubungen und Steckverbinder sind im Sinne des Gesetzes für elektromagnetische Verträglichkeit von Betriebsmitteln „Bauteile ohne direkte Funktion“ und fallen deshalb nicht unter die EMV-Richtlinie 2014/30/EU. Dafür sind aber EMV-relevante Anforderungen für einige geschirmte Leitungstypen Teil der europäischen oder nationalen Kabel- und Leitungsbauartnormen. Die Herausforderung ist es, diese so zu konstruieren, dass sie nicht zu elektromagnetischen Störungen beitragen, also elektromagnetische Störungen nicht aufnehmen, weiterleiten oder gar aussenden.

Einfaches Beispiel: Eine Datenleitung muss vor externen Störungen geschützt werden – also ist eine hohe Fremdstörfestigkeit wichtig. Daher wird die Datenübertragung mit einem aufwendigen Schirm geschützt. Dieser besteht aus einem Kupfer-Schirmgeflecht, das magnetische Einkopplungen unterbindet, und einer Metallfolie, die elektrische Felder abschirmt. Aber auch die einzelnen Datenpaare

innerhalb der Leitung, die sich gegenseitig beeinflussen können, müssen voneinander geschützt werden. Außerdem werden die Datenleiter eines Datenleiterpaars verdreht (Twisting). Damit werden magnetische Kopplungen unterbunden, die sonst die Datenqualität beeinflussen können. Eine Motoranschlussleitung, wie beispielsweise eine Servoleitung, muss einen geringen Emissionsgrad aufweisen und wird ausreichend geschirmt – aber von innen nach außen.

5 NEUER ANSATZ zeroCM®-TECHNOLOGIE

LAPP hat ein neues Leitungsdesign entwickelt und getestet, das die bisherigen EMV Probleme lösen soll: zeroCM. Statt wie üblicherweise das Problem EMV über die Schirmung zu lösen, wird das komplette Leitungsdesign neu gedacht. Drei Phasenleiter sind symmetrisch angeordnet und in einer Innenlage verseilt. Ergänzend wird der Schutzleiter in einer Außenlage mit entgegengesetzter Verseilrichtung um die drei Phasenleiter in einem bestimmten Schlaglängenverhältnis verseilt. Die Isolation der Leiter ist kapazitätsoptimiert und besteht beispielsweise aus Polyethylen.



Abbildung 6: ÖLFLEX® SERVO FD zeroCM 3X4 + 1G2,5

Um die Wirksamkeit der neuen Konstruktion unter Realbedingungen zu prüfen, wurden neben den Tests im PEPA-Forschungsprojekt weitere Messungen im DEKRA EMV Labor Stuttgart ausgeführt und sogar eigene Prüfaufbauten entwickelt.

Die Ergebnisse sind eindeutig. Bei allen handelsüblichen Leitungsstrukturen für Dreiphasen-Wechselstrom (beispielsweise 4G2.5) wird in der Schutzleiter-Ader eine Spannung induziert. Diese Spannung ist proportional zur Last und zur Leitungslänge. Ist der Schutzleiter mit weiteren Anlagenteilen verbunden, treibt die induzierte Spannung einen Ringstrom. Diese Art der Störeinkopplung ist unabhängig davon, ob ein Frequenzumrichter zum Einsatz kommt. Der Effekt kann auch bei Anschluss- oder Versorgungsleitungen beobachtet werden.

Das neue Leitungsdesign ÖLFLEX® SERVO zeroCM dagegen weist innerhalb und entlang der Leitung ein vollsymmetrisches Verhalten auf. Der Schutzleiter nimmt entlang der Leitung immer eine andere, jedoch wiederkehrende Position um das Bündel der Phasenleiter ein (Symmetrie). Somit erfahren potenziell induzierte Spannungen sofort eine Auslöschung (destruktive Interferenz).

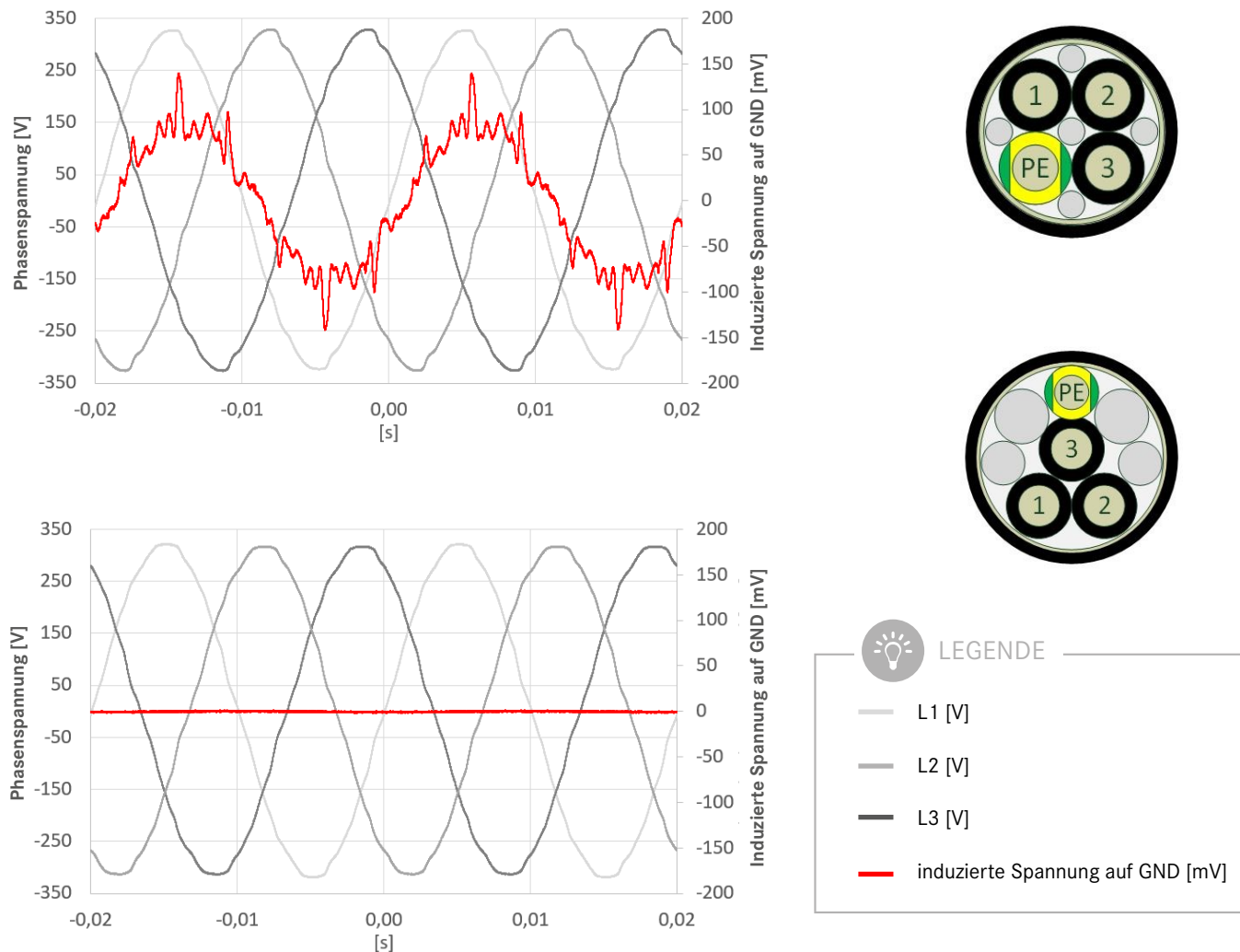
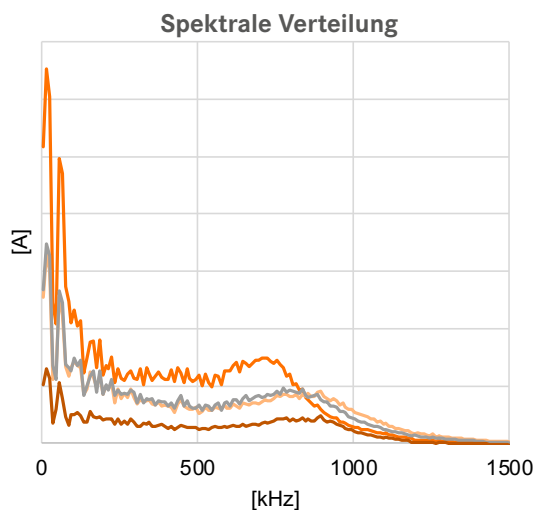
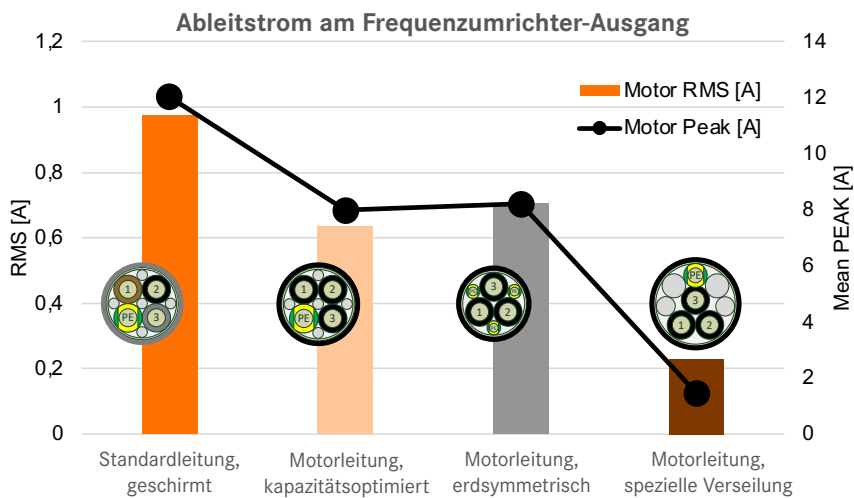


Abbildung 7: Induzierte Spannung auf dem Schutzleiter infolge 3x 400 V, 20 A Last und 50 m Leitungslänge.
 Oben: ÖLFLEX® SERVO 2YSLCY 4G2.5
 Unten: ÖLFLEX® SERVO zeroCM 3X2.5+1G2.5

Die PEPA-Forschungspartner haben einen Referenzaufbau mit einem realitätsnahen Antriebsstrang aus Trenntransformator, Frequenzumrichter, Motorleitung, Leitungstrasse und Elektromotor (Asynchronmaschine) errichtet. Die Messung der PE-/PA-Ströme erfolgte mit Stromwandlern beispielsweise durch eine Differenzstrommessung am Frequenzumrichter-Ausgang.

Das Ergebnis: ÖLFLEX® SERVO zeroCM senkt den kableseitigen Einfluss auf die PE-/PA-Ströme um 80% bezogen auf die PVC-Standardleitung oder um 60% bezogen auf die bereits optimierten Kabeltypen aus der 2YSLCY-Familie. Die Entwicklung der zeroCM®-Technologie zeigt, welche verblüffenden Stellhebel sich durch einfache technische Änderungen beziehungsweise Neuordnung der Konstruktionselemente einer elektrischen Leitung ergeben.



LEGENDE

- Standardleitung, geschirmt
ÖLFLEX® CLASSIC 110 CY 4G2.5
- Motorleitung, kapazitätsoptimiert
ÖLFLEX® SERVO 2YSLCY 4G2.5
- Motorleitung, erdsymmetrisch
ÖLFLEX® SERVO 2YSLCY 3G2.5 + 3G0.5
- Motorleitung mit spezieller Verseilung
ÖLFLEX® SERVO zeroCM 3x2.5 + 1G2.5

Abbildung 8: Messergebnisse PE-/PA-Ströme am Umrichter-Ausgang mit diversen Leitungstypen.

6 DER RICHTIGE STECKER AUS EMV-SICHT

Das Kabel ist aus EMV-Sicht nur die halbe Miete. Ebenso kommt es auf den Steckverbinder an und besonders auf die optimale Kontaktierung des Kabels. Ein idealer Stecker wäre für die elektrischen Signale/Ströme unsichtbar, also ein naht-loser Übergang von Leitung auf Endgerät oder umgekehrt. Insbesondere für eine ideale Verbindung von Kabel und Stecker aus EMV-Sicht sollte der Hochfrequenz-Widerstand, also die Impedanz zwischen Kabelschirm und Erdpotential, möglichst gering sein. So ist beispielsweise der Übergangswiderstand bei hohen Frequenzen nicht mehr abhängig vom ohmschen Widerstand, sondern in erster Näherung nur noch eine Funktion der Geometrie. Dafür braucht es eine möglichst große Kontaktfläche, indem der Kabelschirm am Übergang von der Kabelverschraubung zum Stecker 360° und ohne Lücken aufliegt. Entgegen der früheren Empfehlung, den Schirm nur an der Quelle aufzulegen, sollte der Schirm

unbedingt beidseitig kontaktiert werden. Andernfalls schirmt das Geflecht der Leitung nur gegen elektrische Störer ab, nicht aber gegen magnetische Störer. Im Fall von Motorleitungen würden die o.g. PE-/PA-Ströme sich andere, unerwünschte Pfade durch die Anlage suchen und dort evtl. Störungen hervorrufen.

Der Rechteckstecker EPIC® ULTRA erfüllt diese Anforderungen. Er hat ein vernickeltes Metallgehäuse, die Dichtung liegt innen, sodass sich die beiden hoch leitfähigen Gehäuseteile großflächig berühren. Dazu passt die Kabelverschraubung SKINTOP® MS-M BRUSH, die den Übergang vom Steckverbinder zum Kabel EMV-dicht hält und für eine geringe Impedanz auch im höheren Frequenzbereich sorgt. Üblicherweise erfolgt die Fixierung des Schirms mit einer Kontaktfeder, bei der BRUSH übernehmen dies tausende ringförmig angeordnete Bürstenhärdchen. Ein großer variabler Klemmbereich macht die Montage, Demontage und Zuordnung einfacher und schneller. In einem einzigen Arbeitsgang wird das Kabel zentriert, fixiert, zugentlastet und hermetisch abgedichtet. Schirmströme, welche bspw. durch magnetische Kopplung induziert werden, können durch die niederimpedante und 360° umlaufende Bürstenschirmung ohne Beeinträchtigung abgeführt/abgeleitet werden. Das ist besonders für die Übertragung empfindlicher Signale wichtig. Bei der SKINTOP® MS-M BRUSH ist es egal, wie man Stecker und Kabel dreht und biegt, die große Kontaktfläche zwischen Abschirmgeflecht der Leitung und Bürsteneinsatz der Kabelverschraubung bleibt immer unverändert – sowohl bei der festen Montage am Gehäuse als auch bei bewegten Anwendungen, etwa vorne an einem Roboterarm, wo auf engstem Raum Power- und Datenleitungen gebündelt sind.

7 DER FAKTOR MENSCH

Auch beim Thema EMV ist der Faktor Mensch nicht zu vernachlässigen. Wenn Expert:innen von LAPP einen Schaltschrank öffnen, sehen sie meist sofort die Problemstellen: Einsatz von billigen, nicht industrietauglichen Komponenten wie bspw. ungeschirmten Patch-Cords, fehlende Ableitbleche an Frequenzumrichtern, die Verwendung sogenannter Pig-Tails statt flächiger Aufnahme des Kabel-Geflechteschirms, Einsatz von Kunststoff- statt EMV-Verschraubungen oder Motorleitungen, die nicht direkt am Frequenzumrichter aufgelegt, sondern über Reihenklemmen angeschlossen sind. Auch gut gemeinte Reserveschleifen können ein Problem darstellen, wenn durch die zusätzliche, jedoch nicht benötigte Leitungslänge die maximal freigegebene Installationslänge des Frequenzumrichter-Herstellers überschritten wird. Oft werden im Schaltschrank aufgrund Platzmangels die Komponenten nach Größe bzw. räumlichen Gegebenheiten, nicht jedoch nach Systemkomplexität bzw. Störaussendung und Störfestigkeit angeordnet. Ebenso zählen nicht angezogene Schraubverbindungen, fehlende Erdungsbänder an Türen oder der fehlende Anschluss der Funktionserde zu häufigen Fehlerquellen.

Die Schwierigkeit bei der Einschätzung der Zuverlässigkeit einer Anlage hinsichtlich EMV ist, dass viele Fehler entweder unentdeckt bleiben (bspw. Profinet-Protokoll sendet automatisch das fehlerhafte Paket erneut) oder durch Aus- und Einschalten behoben werden können. Diese Art Fehler werden von der Instandhaltung meist nicht protokolliert und somit auch nicht behoben. Wie hoch die „Funktionsreserve“ gegen einen elektromagnetischen Störer (also Störungen, welche einen Fehlerfall erzeugen) ist, ist meist ungewiss. Kritisch wird es dann meist bei Anlagenerweiterungen oder wenn äußere und zusätzliche Einflüsse auf die Anlage wirken. Bspw. trockene Luft oder Temperatureinflüsse. Dann kann die EMV-Funktionsreserve Werte kleiner 1 annehmen, in anderen Worten: die Störaussendung übersteigt die Störfestigkeit empfindlicher Komponenten und es kommt zur Störung bzw. zum Ausfall der Anlage.

LAPP bietet Informationen und Hilfsmittel zur leichten und sicheren Installation an. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit zum sogenannten Health-Check-Service, der EMV-Probleme im Produktionsumfeld identifiziert und Verbesserungsvorschläge macht.

Um EMV-Mängel bei der Installation auszuschließen, bietet LAPP mit ÖLFLEX® CONNECT ein Programm aus vorkonfektionierten Leitungen an, von der Standard-Servoleitung über individuelle Konfektionen bis zur fertig bestückten Schleppkette, die nur noch eingehängt werden muss. Diese Produkte garantieren eine optimale Verarbeitungsqualität und damit beste EMV-Eigenschaften.

Folgen Sie LAPP auf:



Unsere AGBs finden Sie unter
www.lapp.com/de/de/e/000010

U.I. Lapp GmbH

Schulze-Delitzsch-Straße 25 · 70565 Stuttgart
Tel.: 0711 7838-01 · Fax: 0711 7838-2640
www.lapp.com · info.de.uil@lapp.com

