

EMV-Filter für leistungselektronische Systeme heute und morgen

Die Bedeutung der Leistungselektronik erschließt sich vor allem durch das nicht zu übertreffende Potenzial zur effizienten Energiesteuerung. Erst die Leistungselektronik ermöglicht die flexible Erzeugung, Verteilung und Zuführung von Energie, die wirtschaftliche Leistungsfähigkeit mit einem verantwortlichen Umgang mit natürlichen Ressourcen verbindet.

Stephan Guttowski
Volker Keddig

Das wirtschaftliche Interesse an der Weiterentwicklung leistungselektronischer Systeme ergibt sich einerseits aus der Verbesserung vorhandener Systeme, z. B. im Automobil, wo mechanische oder hydraulische Steuerungen durch elektrische mit weit geringerem Energieverbrauch ersetzt werden. Andererseits eröffnet sich eine Vielzahl neuer Anwendungen, wie im Bereich der dezentralen Energieversorgung und Automatisierungstechnik. Durch den

Einsatz leistungselektronischer Systeme gelingt es, den Energieverbrauch zu verringern, Schadstoffemissionen zu reduzieren, die natürlichen Ressourcen zu schonen und Komfort, Sicherheit sowie Anwendungsfreundlichkeit zu verbessern.

Aus dieser großen Bedeutung heraus ergibt sich die dringende Notwendigkeit, die Probleme zu behandeln, die derzeit noch untrennbar mit dem Einsatz leistungselektronischer Systeme verbunden

lichkeit (EMV) von leistungselektronischen Systemen zu einer technischen Disziplin mit enormer wirtschaftlicher Bedeutung entwickelt.

Die Störemissionen lassen sich derzeit nur durch den Einsatz von EMV-Filtern reduzieren. Netzseitig werden dabei Netzfilter und Entstörkombinationen, bestehend aus Netzfilter und Netzdrossel, eingesetzt; ausgangseitig Motordrossel oder du/dt -Filter. Am Ausgang eines Stromrichters kommt es in vielen Anwendungen darauf an, die Änderungsgeschwindigkeit der ausgangseitigen Spannung auf weniger als $500 \text{ V}/\mu\text{s}$ zu begrenzen. Genügt dies nicht, kommen Sinusfilter zum Einsatz.

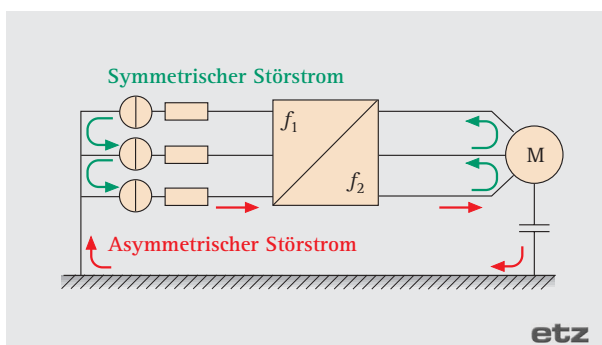


Bild 1. Störpfade in einem Antriebssystem

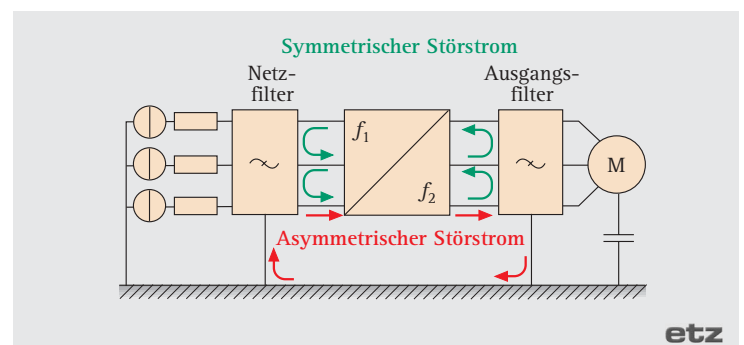


Bild 2. Störpfade in einem Antriebssystem bei Verwendung von EMV-Filtern

Dr. Stephan Guttowski ist Abteilungsleiter für EMV und Leistungselektronik im Fraunhofer Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration in Berlin.
E-Mail: stephan.guttowski@izm.fraunhofer.de.



Dipl.-Ing. Volker Keddig ist Geschäftsführer der Max Fuss GmbH & Co. KG in Berlin.
E-Mail: volker.keddig@fuss-emv.de.



sind und somit einer weiteren Verbreitung im Wege stehen.

Eines der vordringlichsten Probleme beim Einsatz leistungselektronischer Systeme ergibt sich aus den elektromagnetischen Störemissionen, die mit dem grundlegenden Funktionsprinzip, einem möglichst schnellen Schalten hoher Ströme und Spannungen, einhergehen. In Bild 1 sind die Störpfade dieser, je nach Ausbreitungspfad in asymmetrische und symmetrische unterteilt, elektromagnetischen Störemissionen dargestellt. Gemeinsam ist diesen Störemissionen, dass sie enorme zusätzliche Kosten während der Entwicklungsphase sowie für die Produkte selbst nach sich ziehen. Deshalb hat sich die elektromagnetische Verträglich-

In Bild 2 sind die durch Verwendung von EMV-Filtern veränderten Störpfade dargestellt. Durch die Eingrenzung des Phänomens sich ausbreitender Störströme gelingt es, das Gesamtsystem, dem auch die Filter zuzuordnen sind, als elektromagnetisch verträglich zu realisieren. In Bild 3 bis 5 sind praktische Realisierungen von EMV-Filtern dargestellt.

Stand der Technik beim EMV-Filterentwurf

Um einen sicheren Betrieb gewährleisten zu können, werden leistungselektronische Systeme stets in Kombination mit ein- oder mehrstufigen EMV-Filtern verwendet. Der Entwurf derartiger Filter erfolgt dabei stets auf der Basis langjähriger Erfahrungen. Dabei liegt der Schwer-



Bild 3. Netzfilter für 5 A bis 1200 A



Bild 4. du/dt-Filter für 1 A bis 610 A

punkt der Tätigkeit im praktischen Experiment, da bisher trotz intensiver Bemühungen keine geeignete Entwurfsmethodik entwickelt werden konnte.

Grundsätzlich folgt der Entwurf entsprechend dem im Bild 6 dargestellten Ablauf.

Das Vorgehen durchläuft zwei Iterationschleifen, die durch die Methode von Versuch und Irrtum zu beschreiben ist. Durch einen umfangreichen Erfahrungsschatz gelingt es, die Anzahl der Durchläufe dieser Iterationsschleifen zu reduzieren. Im Vorfeld kann jedoch nicht zuverlässig abgeschätzt werden, wie viele Versuche notwendig sind, wie hoch also die Entwicklungskosten sein werden. Jeder Durchlauf ist jedoch durch hohe Kosten gekennzeichnet, da jedes Mal ein Filter aufgebaut und im praktischen Experiment vermessen werden muss.

Moderne leistungselektronische Systeme beinhalten in vielen Fällen mindestens bereits die als Grundentstörung bezeichnete, stets notwendige

EMV-Filterung. Beim Entwurf derartiger im System integrierter EMV-Filter werden die beschriebenen Probleme besonders gravierend. Um die entworfene Filterlösung bewerten zu können, muss neben dem EMV-Filter selbst der gesamte Umrichter bereits fer-



Bild 5. Sinusfilter für 2,5 A bis 500 A

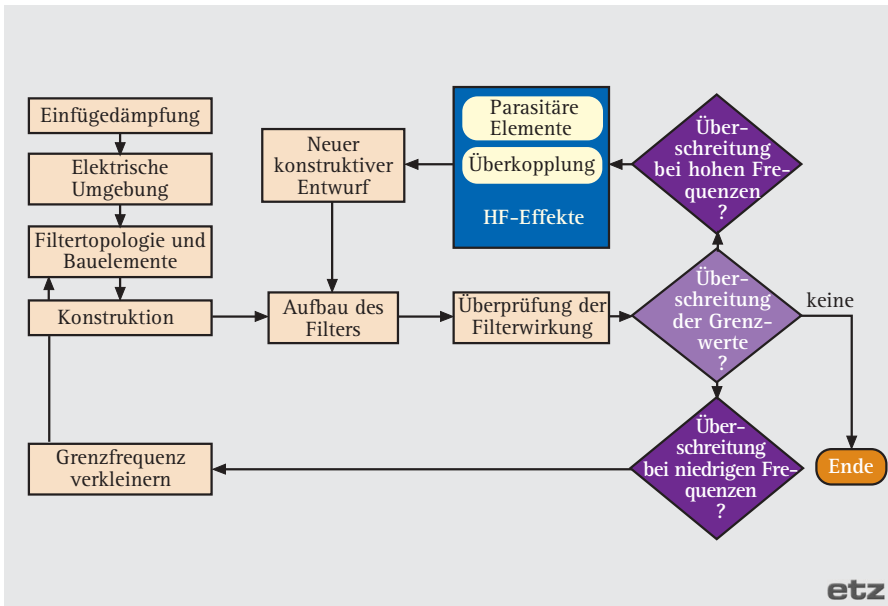


Bild 6. EMV-Filterentwurf heute

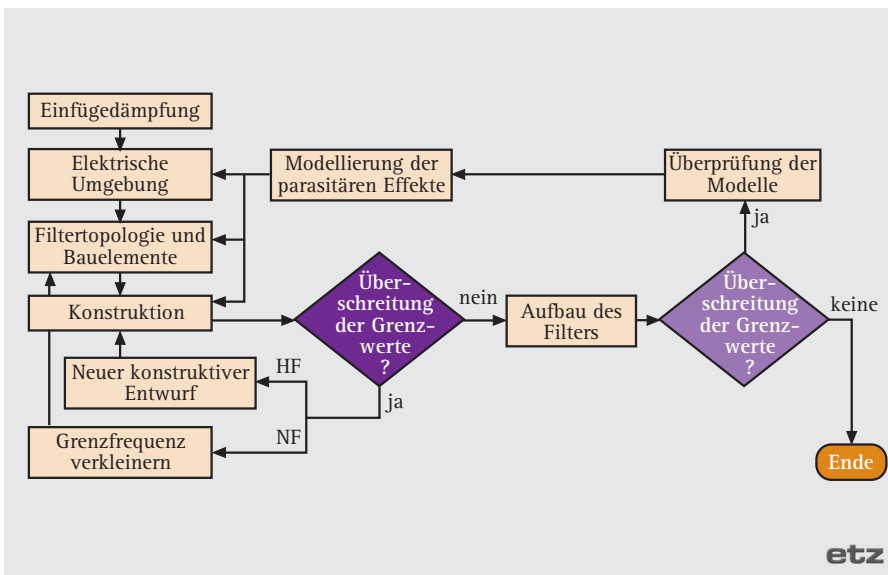


Bild 7. Moderne Methoden zum EMV-Filterentwurf

tig realisiert vorliegen. Änderungen an der Filterlösung in einem Durchlauf dieser Iterationschleifen können Änderungen am Umrichterentwurf erfordern, so dass die Gesamtkosten erheblich steigen.

An dieser Stelle wird besonders deutlich, dass es in der Zukunft darauf ankommt, eine geeignete Methodik zu entwickeln, die einen zielgerichteten Entwurf der EMV-Filter für leistungselektronische Systeme ermöglicht.

Gemeinsames Forschungsprojekt zur EMV-Filterentwurfsmethodik

Aktuelle Forschungsaktivitäten auf dem Gebiet der EMV in der Leistungselektronik haben die Beherrschung der elektromagnetischen Störemissionen

durch leistungselektronische Systeme zu möglichst geringen Kosten zum Gegenstand. Grundsätzlich lassen sich die derzeit laufenden Aktivitäten in zwei Richtungen unterscheiden. Zum einen geht es um die Verbesserung der Methodik des EMV-Filterentwurfs, wobei die möglichst frühzeitige Bestimmung und Berücksichtigung der Störemissionen im Entwicklungsprozess des Gesamtsystems zu den wesentlichen Herausforderungen gehört. Zum zweiten werden neuartige Filtertopologien erforscht, um die Kosten zur Sicherstellung der EMV zu reduzieren und leistungselektronische Systeme auch in sensiblen Bereichen vermehrt einsetzen zu können.

In einem gemeinsamen, langfristig angelegten Forschungsprojekt werden vom Fraunhofer Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration und der Max Fuss GmbH die physikalischen Zusammenhänge zwischen dem Aufbau der Filterbauteile und ihren parasitären Eigenschaften untersucht. Ziel dieser Arbeiten ist die Entwicklung einer Methodik für den zielgerichteten Entwurf von EMV-Filtern für leistungselektronische Systeme. Bild 7 zeigt die Struktur dieser neuartigen Filterentwurfsmethodik. Wesentliches Element ist die geeignete Modellierung sämtlicher, die Performance des Filters beeinflussenden Komponenten. Gelingt diese Modellierung, können die – auch in Zukunft notwendigen – Designiterationen am Simulator durchgeführt werden. Es ergibt sich eine bedeutende Kosteneinsparung aufgrund der verringerten Entwicklungszeit, aber auch wegen des Wegfalls der bisher stets notwendigen Realisierungen der Filterentwürfe.

Auf dem Weg zum rechnergestützten Filter-Entwurf

Selbst bei strenger Einhaltung sämtlicher verfügbaren Hinweise und Vorschriften für den EMV-gerechten Aufbau leistungselektronischer Systeme wird es in absehbarer Zeit notwendig sein, die EMV des Systems durch den Einsatz von EMV-Filtern sicherzustellen. Der zu entwickelnden Methode des zielgerichteten Entwurfs dieser Filter kommt daher eine besondere Bedeutung zu.

Anders als in vielen Bereichen der Mikroelektronik sind derzeit noch keine für die EMV-Simulation auf Systemebene geeigneten Tools auf dem Markt erhältlich. Die Vorhersage des Einflusses der vielen im Entwurfsstadium zum Teil noch nicht bekannten Elemente des Systems auf das letztendlich auftretende elektromagnetische Störspektrum ist Gegenstand der Forschung. Momentan wird an dieser Stelle das Ziel verfolgt, durch moderne, auf erweiterte EMV-Simulationen beruhende Methoden für den Filterentwurf, die Anzahl der für ein entwürft System notwendigen Iterationen im Designprozess zu reduzieren. Nach Abschluss dieses Forschungsprojekts wird es möglich sein, mit einer rechnergestützten Entwurfsmethodik den für ein bestimmtes leistungselektronisches System erforderlichen EMV-Filter zu 70 % bis 90 % im Rechner zu entwerfen. Das ist gegenüber der heutigen Praxis ein enormer Sprung hinsichtlich Entwicklungsaufwand und Entwicklungszeit. ■