Rauschunterdrückung und Überspannungsschutz von Stromversorgungsschaltungen

Filtern, aber richtig

Stromversorgungen müssen EMV-sicher arbeiten. Dies beinhaltet sowohl den Schutz vor elektromagnetischen Störungen von außen (Electromagnetic Interference, EMI) als auch die Unterdrückung eigener Störstrahlung, denn die könnte andere Stromkreise und Geräte in ihrer Funktion beeinträchtigen.

Von Falko Ladiges,
Teamleader PEMCO bei WDI AG

Zum Schutz vor externen Störungen müssen die Eingänge von Stromversorgungen adäquat geschützt werden. Sie sind gegen Stromrauschen (Noise) und Überspannungen zu schützen, um eine Fehlfunktion oder die Beschädigung der Schaltung zu verhindern. Nachfolgend werden Bauelemente vorgestellt, die solche Effekte durch elektromagnetische Störgrößen verhindern. Elektromagnetische Störgrößen treten im Frequenzbereich von 0 bis 400 GHz als leitungs- oder feldgebundene Phänomene, als Entladungen statischer Elektrizität und als energieintensive elektromagnetische Strahlungsfelder in Erscheinung.

Am Eingang können verschiedene zu filternde Störsignale bzw. Pulse mit unterschiedlicher Energiemenge auftreten. So sollte der Impuls durch Öffnen/Schließen von Stromkreisen durch die elektromagnetische Charakteristik der Spule in einem EMI-Filter geschützt werden. Gegen

Bild: Fxquadro/stock.adobe.com

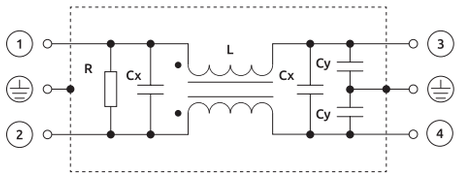

Bild 1: Schaltplan des einphasigen EMI-Filters

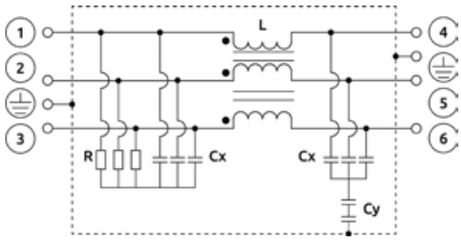

Bild 2: Schaltplan eines dreiphasigen EMI-Filters

große Energie wie z.B. einen induzierten Blitz braucht es ein Überspannungsschutzgerät wie das SPD (Surge Protection Device).

Im Folgenden werden also Komponenten zum Eingangsschutz betrachtet. Es gibt diverse Möglichkeiten, Geräteeingänge mit einzelnen Komponenten, wie z.B. TVS, GDT, Kondensatoren, Induktivitäten, Widerständen, in Kombination zu schalten und damit zu schützen. Dafür wird für diese Schutzschaltung Platz auf der Leiterplatte benötigt. Der Hersteller Okaya bietet fertige Filter und SPD-Module an.

Die Charakteristik von EMI-Filtern

Im Allgemeinen ist ein Schlüsselfaktor von EMI-Filtern die Dämpfungscharakteristik. Diese wird generell durch Messung einer geringen Spannung an einem 50-Ω-Messgerät ermittelt. Doch EMI-Filter erfahren in der Anwendung oft höheres Spannungsrauschen und größere Energie, sodass die tatsächlichen Messwerte von den definierten Dämpfungseigenschaften abweichen. Ein Grund dafür kann die Sättigung von Spulen sein.

EMI-Filter bestehen aus Kondensatoren zwischen den Leitungen (C_x), Kondensatoren zwischen Leitung und Erde (C_y), einer Gleichtaktspule (L) und Entladewiderständen (R). Beispiele sind in Bild 1 und Bild 2 zu finden.

Die Dämpfungscharakteristik im Common Mode (Gleichtakt) wird durch die Kapazität von C_y und der Induktivität der Spule gebildet, beim Differential Mode (Normalbetrieb) durch die Kapazität C_x und der Induktivität der Spule. Je nach Frequenzanstieg wird die Dämpfungscharakteristik durch das Kernmaterial der Spule, die Streukapazität und die Kondensatorinduktivität beeinflusst.

Wird die Kapazität C_x größer dimensioniert, wird das Normalbetriebsrauschen stärker ge-

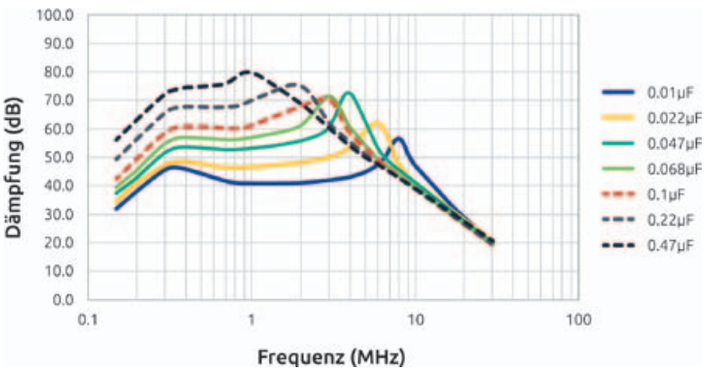

Bild 3: Gleichtakt-Dämpfungscharakteristik für verschiedene Werte von C_y

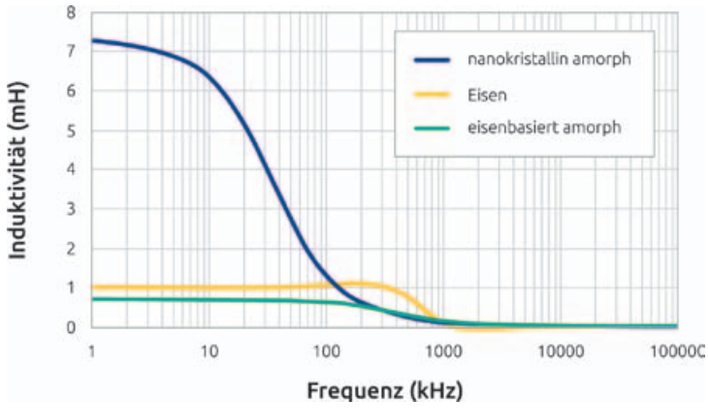

Bild 4: Kennlinie der Induktivität über der Frequenz für verschiedene magnetische Materialien

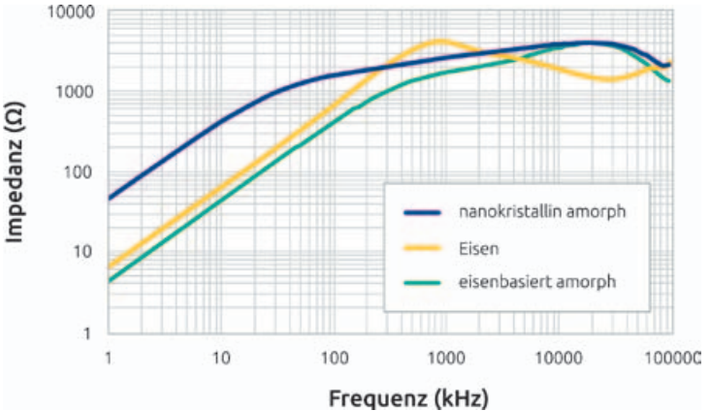

Bild 5: Kennlinie der Impedanz über der Frequenz für verschiedene magnetische Materialien

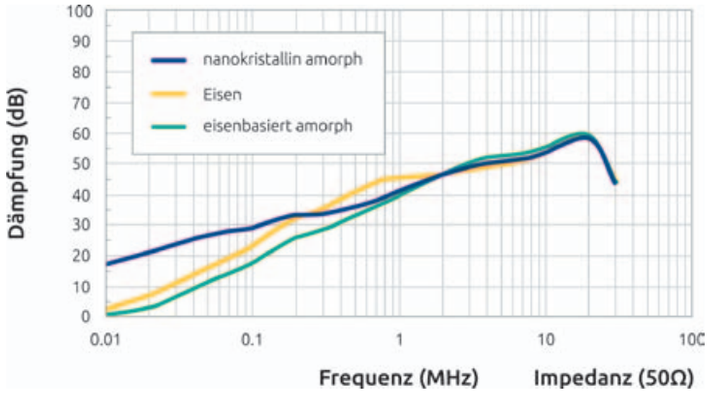

Bild 6: Gleichtakt-Rauschunterdrückungscharakteristik bei Einsatz verschiedener magnetischer Materialien im EMI-Filter

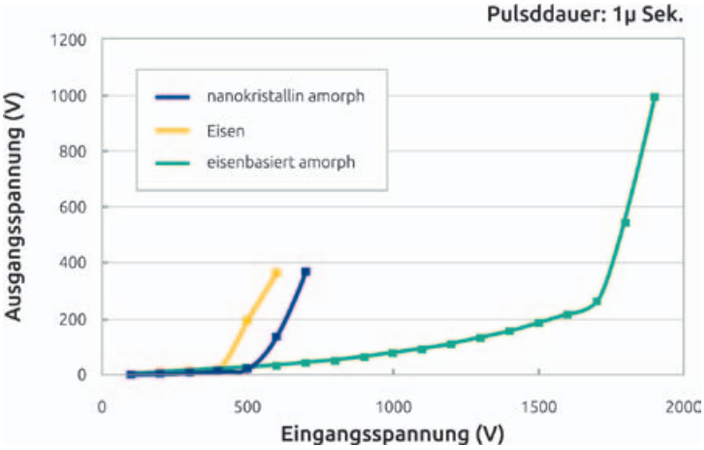

Bild 7: Pulsdämpfungscharakteristik für verschiedene magnetische Materialien der Gleichtaktspule

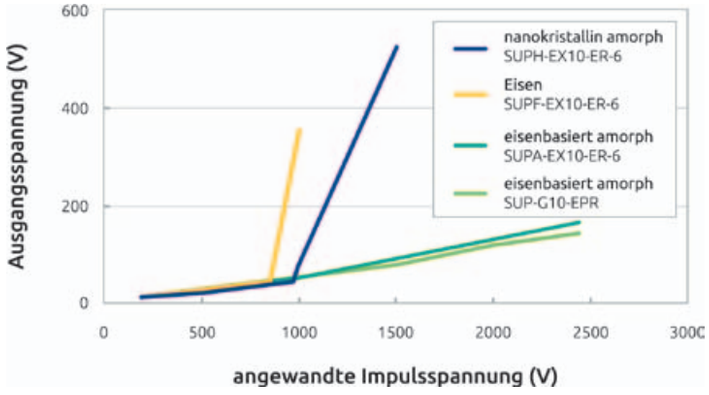

Bild 8: Impulsdämpfungscharakteristik verschiedener EMI-Filter

Bild 9: EMI-Filter der Okaya-Serie SUP-GH

dämpft, aber der Blindstrom erhöht sich und der Leistungsfaktor wird niedriger. Bei höherer Kapazität C_y wird das Gleichtaktrauschen gedämpft, aber der Leckstrom wird erhöht. Die Dimensionierung ist also immer ein Kompromiss zwischen Dämpfung und Blindstrom bzw. Ableitstrom. Bild 3 zeigt die Dämpfungscharakteristik des Gleichtaktrauschens in Abhängigkeit von C_y.

Die verwendeten elektromagnetischen Materialien beeinflussen die Eigenschaften der Spule. Für EMI-Filter kommen vor allem MnZn-Ferrit, nanokristalline amorphe oder eisenbasierte amorphe Materialien infrage; Tabelle 1 zeigt die jeweiligen Eigenschaften auf. Die Bilder 4 und 5 stellen für diese Materialien Induktivität und Impedanz über der Frequenz dar, Bild 6 die Gleichtakt-Rauschunterdrückung von EMI-Filtern.

Den einzelnen Diagrammen lässt sich entnehmen, dass nanokristallines amorphes Material bessere Eigenschaften als die anderen Materialien aufweist. Die Rauschdämpfung von amorphen Materialien auf Eisenbasis ist etwas schlechter als die von Ferriten bei mittleren und niedrigen Frequenzen, da die Anfangspermeabilität gering ist. Bild 7 zeigt die Impulsdämpfungscharakteristik der Spule. Wenn die Impulseingangsspannung mehr als 400 bis 600 V beträgt, steigt die Ausgangsspannung bei Spulen mit Ferrit und aus nanokristallinem amorphem Material schnell an, aber eisenbasiertes amorphes Material kommt erst bei 1700 V in die Sättigung. Wegen dieser Sättigung ist die magnetische Flussdichte größer als 1 T und die Anfangspermeabilität ist gering. Daher kann der größere Effekt bei eisenbasierten amorphen Kernen erwartet werden.

Bild 8 zeigt die Impulsdämpfungseigenschaften von EMI-Filtern für die drei genannten Materialien. Filter mit eisenbasierten amorphen Kernen sättigen noch nicht einmal bei 2500 V, während die anderen bereits bei 800 bis 1000 V gesättigt sind, sodass ein deutlich größerer Effekt bei hohem Impulsrauschen erwartet werden kann.

Ein Beispiel für einphasige EMI-Filter mit amorphem Kern auf Eisenbasis des Herstellers Okaya zeigt Bild 9.

Blitzinduzierte Überspannung

Die elektronischen Komponenten wie ICs in modernen Geräten werden wegen geringerer Treiberspannungen und hoher Integrationsdichte immer anfälliger für Überspannungen. Ohne entsprechende Schutzmaßnahmen steigt das Risiko, dass die Geräte durch Blitz-

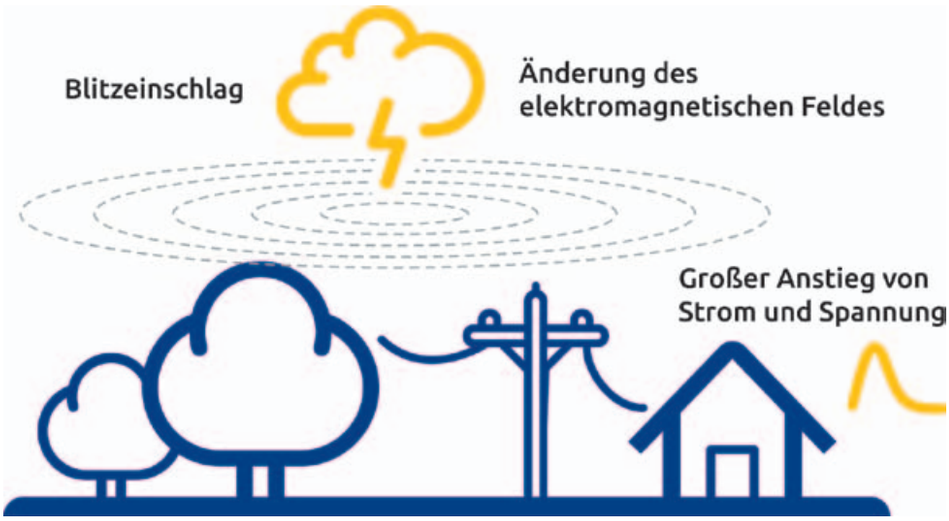

Bild 10: Induzierte Blitzüberspannung

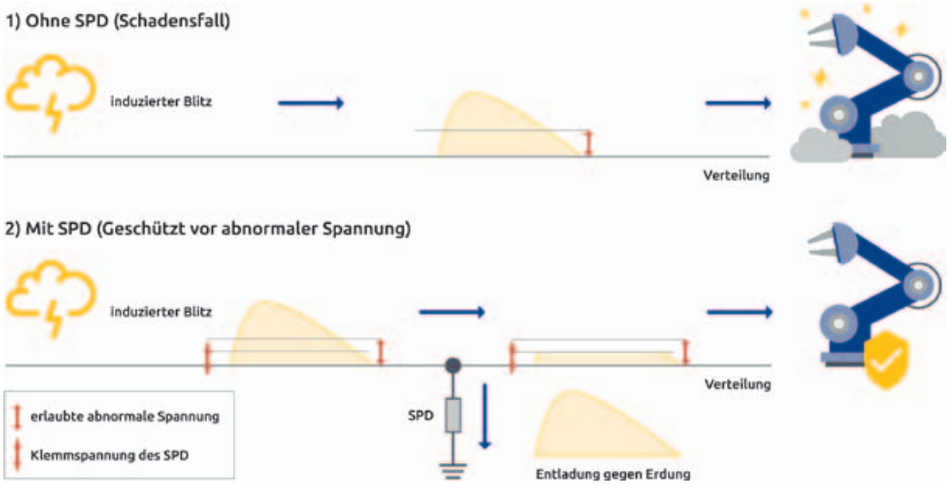

Bild 11: Wirkungsweise eines SPD (Surge Protection Device)

überspannungen beschädigt werden, und die immer dichter werdende Vernetzung der Schaltungswege öffnet immer mehr Invasionswege für den Blitz.

Wenn sich aus Gewitterwolken ein Blitz Richtung Erde entlädt, ändert sich das elektromagnetische Feld plötzlich. Der in Überlandleitungen induzierte Strom fließt dann in elektrische Geräte in Haushalten (Bild 10, induzierte Blitzüberspannung, Induced Lightning Surge).

EMI-Filter allein können dieses Problem nicht lösen, deshalb ist die Verwendung von zusätzlichen Überspannungsschutzgeräten (SPDs) für die Netzleitung, den EMI-Filtern vorgelagert, ein effektiver Weg. Das SPD ist ein Gerät, das verhindert, dass plötzlich auftretende Überspannungen und Überströme, z.B. durch Blitzeinschlag, in elektrische Geräte eindringen. Es wird mit der Stromleitung oder zwischen Kommunikationsleitung und Erdung verbunden.

Das SPD ist isoliert von der Schaltung, doch sobald der Blitzstoß eintritt, reagiert das SPD, entlädt den Strom zur Erdung und hält eine bestimmte Spannung aufrecht. Nach verrichteter Arbeit kehrt es automatisch wieder in den Normalbetrieb zurück und es gibt keinen Einfluss auf die Schaltung (Bild 11).

	Eisen	nanokristallin amorph	eisenbasiert amorph
Sättigung magnetische Flussdichte	ca. 0,4 T	ca. 1,2 T	Mehr als 1,0 T
Anfangspermeabilität	ca. 7000	ca. 60.000	ca. 4400
Curie-Temperatur	ca. 140 °C	Mehr als 500 °C	Mehr als 500 °C

Magnetische Eigenschaften von Gleichtaktspulen aus unterschiedlichem Material

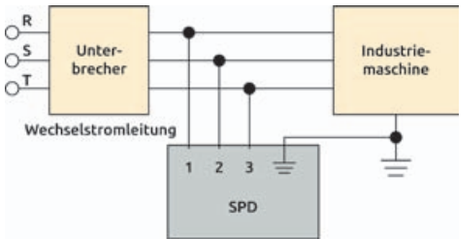

Bild 12: Überspannungsschutz für Industriemaschinen

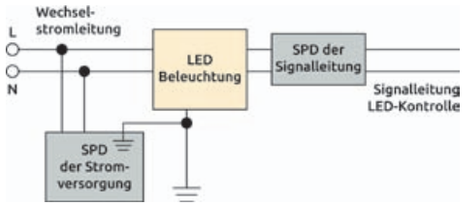

Bild 14: Überspannungsschutz für LED-Beleuchtung

Bild 13: SPDs LV275DI-U4 und GFA-300-Q4

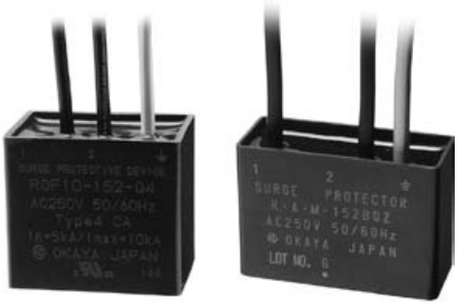

Bild 15: SPD RGF10-152-Q4 (Power Line) und RAM-152BQZ (LED)

SPDs für industrielle Maschinen

Verwendung finden SPDs etwa in der Eingangsstromleitung für Industriemaschinen wie Werkzeugmaschinen, Laser, Roboter, Halbleiterfertigungsanlagen, Montagegeräte oder Servoverstärker. Für die USA und Europa ist es notwendig, dasjenige SPD zu wählen, das eine Zulassung nach Sicherheitsstandards wie UL/cUL oder IEC/EN hat.

Bild 12 zeigt die Schaltung für Überspannungsschutz von dreiphasigen Industriemaschinen. Beispiele für SPDs von Okaya sind in Bild 13 zu sehen, mit Zertifizierungen nach UL1449, CSA C22.2 und IEC/EN 61643-11. Bei wiederholten Überspannungen und Strömen über seine Spezifikation hinaus geht das SPD in den Kurzschlussmodus. Durch seine Funktion, sich vom Stromkreis zu trennen, verhindert es zu verbrennen oder Rauchentwicklung. So gibt es SPDs mit eingebauter Fail-Safe-Funktion, die durch eine Farbänderung im Anzeigefenster ihren Ausfall anzeigen oder die den Ausfall über eine separate Leitung signalisieren, was noch schneller wirken kann und die Netzwerksicherheit erhöht.

SPDs für LED-Außenbeleuchtung

In LED-Außenbeleuchtungen sind Blitzstoß-Prüfspannungen von 15 kV (1,2/50 us) erforderlich. Größere Beleuchtungssysteme bieten zudem mehr invasive Wege des Blitzstoßes über die Lichtsteuerungs-Signalleitung. Für diesen Fall lassen sich Stromleitung und Signalleitung mit SPDs schützen. Besonders für die Power Line sind SPDs mit ausfallsicherer Funktion und Wasserdichtigkeit am besten geeignet (Bild 14).

Schützen!

Die Immunität von Schaltungen und Stromversorgungen gegen Strom- und Spannungsstöße wird immer wichtiger, je weiter die Entwicklungen von elektronischen Geräten (kleiner und schneller) voranschreiten und je niedriger die Versorgungsspannung ist. Zum Schutz von Geräteeingängen sollten die richtigen Komponenten an der richtigen Stelle entsprechend der Energiemenge des Stoßes eingesetzt werden. Nützliche Bauelemente stellen die vorgestellten Filter und SPD-Module dar. (ag)