

EMV - elektromagnetische Verträglichkeit Teil 18

Grundlagen und Ausführung von Abschirmungen

Beginnend mit dem vorliegenden 18. Teil dieser Artikelserie wollen wir die grundlegenden Funktionsmechanismen von Abschirmungen erörtern. Weiterhin stellen wir in der Praxis bewährte Schirmausführungen vor.

Allgemeines

Abschirmungen stellen eine der wichtigsten Maßnahmen dar, wenn es darum geht, die EMV eines Produktes zu verbessern. Die Hauptaufgabe einer Abschirmung besteht oft darin, Störungen, die im Gerätinneren erzeugt werden, von der Umwelt fernzuhalten, d. h. sie dienen dazu, die strengen Anforderungen bezüglich der Störaussendungen einzuhalten. Neben dieser Funktion werden Abschirmungen auch dazu benutzt, die Störfestigkeit z. B. in bezug auf Einstrahlung elektromagnetischer Wellen zu verbessern.

Damit es überhaupt zu einem Störvorgang kommt, der mit Hilfe einer Abschirmung bekämpft werden kann, muß grundsätzlich eine Kopplung durch elektromagnetische Felder vorliegen. Durch Einfügen einer Abschirmung zwischen den sich beeinflussenden Geräten oder Schaltungsteilen, wird nun diese elektromagnetische Kopplung mehr oder weniger stark geschwächt.

Die Wirksamkeit einer Abschirmmaßnahme hängt von vielen Faktoren ab. Eine hohe Schirmwirkung allein reicht deshalb nicht in jedem Fall aus, um die gewünschten Verbesserungen zu erzielen. Die genaue Analyse und Berücksichtigung vielfältiger Randparameter ist zur Erreichung effektiver Abschirmmaßnahmen daher unumgänglich.

Um diese großen Verhältnisse zahlenmäßig besser erfassen zu können, bedient man sich, wie in der EMV- und HF-Technik allgemein üblich, der logarithmischen Darstellung. Hierbei werden die Strahlungskomponenten vor dem Auftreffen auf den Schirm und nach dem Durchlaufen des Schirms ins Verhältnis gesetzt und wie in den nachfolgenden Formeln angegeben logarithmiert.

$$Se = 20 \times \log \frac{E_o}{E_s} \quad Sh = 20 \times \log \frac{H_o}{H_s}$$

hierin sind:

- Se = Schirmdämpfung des elektrischen Feldes in dB
- Eo = elektrische Feldstärke vor dem Schirm
- Es = elektrische Feldstärke hinter dem Schirm
- Sh = Schirmdämpfung des magnetischen Feldes in dB
- Ho = magnetische Feldstärke vor dem Schirm
- Hs = magnetische Feldstärke hinter dem Schirm

Wie aus den Formeln ersichtlich, muß zwischen der Schirmdämpfung für die magnetische und die elektrische Feldkomponente unterschieden werden. Die Dämpfung der Feldkomponenten beruht auf unterschiedlichen Mechanismen, wodurch in der Regel sehr unterschiedliche Dämpfungswerte entstehen.

Funktionsmechanismen einer Schirmung

Eine elektromagnetische Welle, die auf eine Abschirmung trifft, macht zunächst einen Impedanzsprung an der Ober-

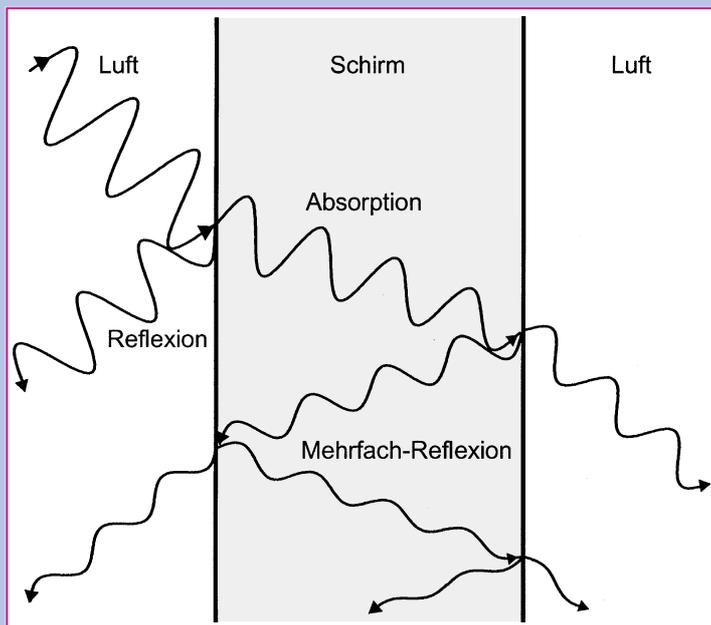
fläche des Schirms. Dies hat zur Folge, daß ein Teil der eintreffenden Welle reflektiert wird. Man bezeichnet diesen ersten grundlegenden Mechanismus als Reflexionsdämpfung. In Abbildung 1 sind die einzelnen Dämpfungseffekte dargestellt.

Der nicht reflektierte Anteil der elektromagnetischen Welle durchläuft nach einer entsprechenden Brechung die Schirmwand und trifft auf der Ausgangsseite wiederum auf einen Impedanzsprung.

Bevor hier jedoch abermals eine Reflexion erfolgt, wird der den Schirm durchlaufenden Welle durch Absorption (Umwandlung in Wärme) Energie entzogen. Diesen Mechanismus bezeichnen wir als Absorptionsdämpfung.

Der angesprochene Impedanzsprung auf der Schirmaustrittsseite verursacht wiederum eine Reflexion, was zur Folge hat, daß ein Teil der elektromagnetischen Welle in das Schirmmaterial zurückreflektiert wird. Der zweite Anteil dieser Welle tritt auf der Ausgangsseite des Schirms unter einer entsprechenden Brechung aus. Wie aus Abbildung 1 ersichtlich, entsteht eine so-

Bild 1:
Dämpfungsmechanismen einer Abschirmung



nannte Mehrfach- oder Vielfachreflexion innerhalb des Schirmmaterials. Die Dämpfung, die hierbei durch Absorption und Reflexion entsteht, bezeichnet man als Mehrfachreflexionsdämpfung.

Die einzelnen, durch Reflexion entstehenden Komponenten innerhalb und außerhalb des Schirms addieren sich jeweils entsprechend. Die Gesamtdämpfung, hervorgerufen durch eine Abschirmung, setzt sich somit aus den einzelnen besprochenen Komponenten wie folgt zusammen:

$$\begin{aligned} & \text{Absorptionsdämpfung} \\ & + \text{Reflexionsdämpfung} \\ & + \text{Mehrfachreflexionsdämpfung} \\ & = \text{Gesamt-Schirmdämpfung} \end{aligned}$$

Der Anteil der Mehrfachreflexionsdämpfung ist in der Regel vernachlässigbar klein, so daß die Hauptschirmwirkung bei realen Abschirmungen durch die Reflexionsdämpfung und die Absorptionsdämpfung entsteht. Nachfolgend wollen wir nun diese beiden Dämpfungsmechanismen näher betrachten.

Die Absorptionsdämpfung

Wie bereits vorstehend dargelegt, beruht die Absorptionsdämpfung auf ohmschen Verlusten, die die elektromagnetische Welle beim Durchschreiten des Schirmmaterials erleidet, d. h., die Energie der Welle wird zunehmend in Wärme innerhalb des Schirms umgewandelt. Die Feldkomponenten nehmen exponentiell mit dem Durchschreiten des Schirms ab, womit die Dicke des Schirms von entscheidender Bedeutung ist. Eine weitere wichtige Größe bei der Absorptionsdämpfung ist die Welleneindringtiefe oder auch Skineneffekt genannt. Dieser Einflußfaktor errech-

net sich aus der Frequenz und den Materialeigenschaften wie spezifischer Widerstand und Permeabilität des Schirmes.

Abbildung 2 zeigt die Absorptionsdämpfungswerte je Millimeter für verschiedene Materialien.

Neben der Materialdicke haben wir bei der Betrachtung der Absorptionsdämpfung als einen der wichtigsten Faktoren die Frequenz des Störsignals zu berücksichtigen, wobei mit steigender Frequenz die Absorptionsdämpfung zunimmt.

Die Reflexionsdämpfung

Trifft eine leitungsgeführte Welle auf einen Impedanzsprung in der Leitung, so wird ein Teil der Welle zur Quelle reflektiert. Wie groß der reflektierte Anteil ist, hängt direkt von der Größe des Impedanzsprunges ab, d. h. vom Verhältnis der Leitungsimpedanz zum möglichen Fehlabluß. Liegt ein absoluter Kurzschluß in der Leitung vor, so wird der gesamte vorlaufende Anteil der leitungsgeführten Welle zur Quelle zurückreflektiert.

In der Schirmtechnik bezüglich der Reflexionsdämpfung sind die Funktionsmechanismen ähnlich. Wie zuvor schon dargelegt, beruht die Reflexionsdämpfung auf dem Impedanzsprung zwischen der Impedanz der eintreffenden Welle und der Impedanz des Schirms.

Auch hier gilt: Je größer der Impedanzsprung ist, um so größer ist auch die Reflexionsdämpfung. Um die Reflexionsdämpfung beurteilen zu können, müssen wir die Impedanz der auftreffenden elektromagnetischen Welle sowie die Impedanz des Schirmes betrachten.

Die Schirmimpedanz ist, wie bei der Absorptionsdämpfung, wiederum eine Funktion der Frequenz und den Materialeigenschaften, d. h. sie kann für die verschiedenen Schirmmaterialien relativ leicht berechnet werden.

Der Wellenwiderstand oder auch die Impedanz einer elektromagnetischen Welle errechnet sich aus dem Verhältnis der Feldvektoren. Stehen die E-Feldvektoren und die H-Feldvektoren senkrecht aufeinander, so liegt ein definierter Wellenwiderstand von 377Ω vor. Diese Bedingung gilt jedoch nur dann, wenn gemessen an der Frequenz ein ausreichender Abstand von der Strahlungsquelle gegeben ist. In unmittelbarer Nähe zur Strahlungsquelle kann der Wellenwiderstand einer ausgehenden elektromagnetischen Welle im Bereich von einigen Ω bis hin zu mehreren $k\Omega$ liegen.

Aufgrund dieser Verhältnisse müssen wir bei der Betrachtung der Reflexionsdämpfung zwischen dem sogenannten Nahfeld, wo der Abstand von der Strahlungsquelle kleiner als $0,8 \times \text{Wellenlänge} (\lambda)$

Bild 2: Absorptionsdämpfung verschiedener Materialien

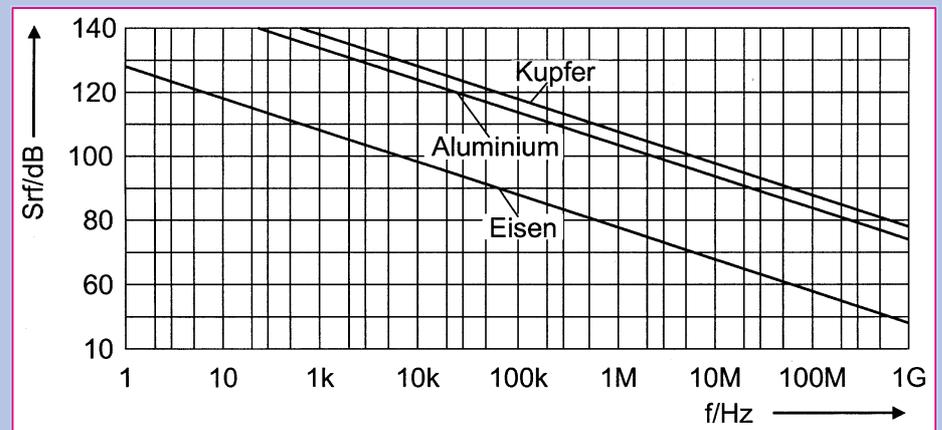
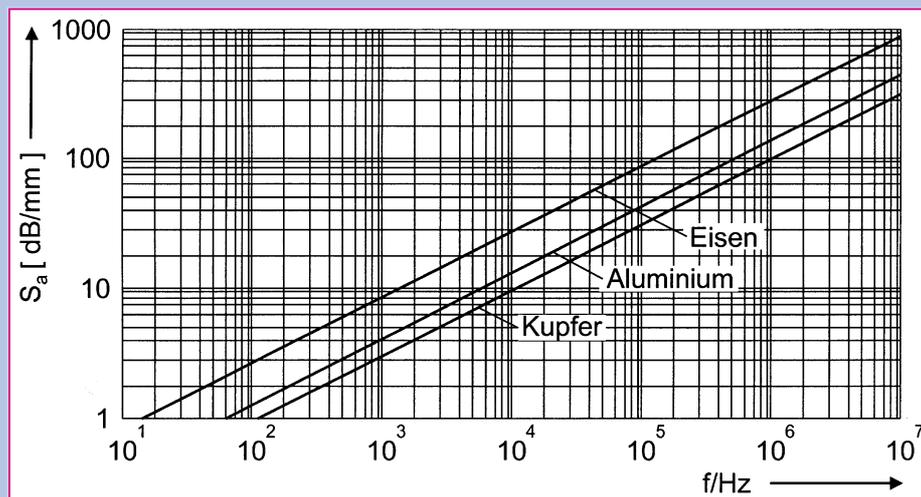


Bild 3: Reflexionsdämpfung im Fernfeld für verschiedene Materialien

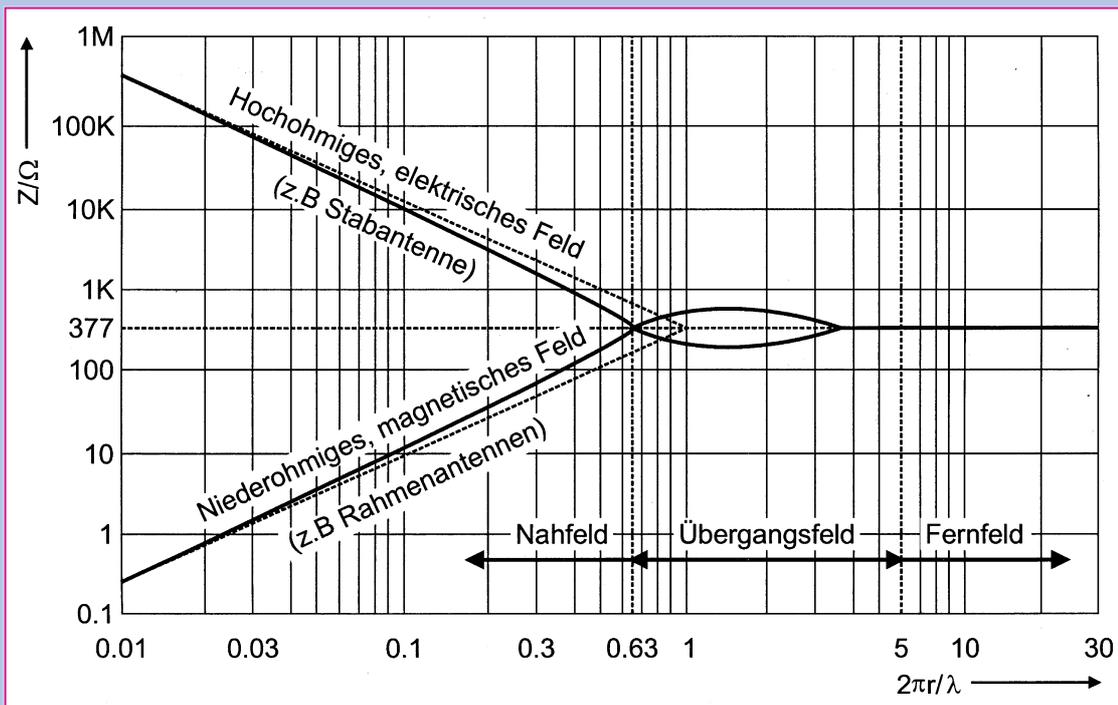
ist und dem Fernfeld (Abstand größer als $0,8 \times \text{Wellenlänge}$) unterscheiden.

Reflexionsdämpfung im Fernfeld

Für das Fernfeld ist sowohl die Impedanz der Schirmung als auch die Impedanz der elektromagnetischen Welle genau definiert, womit die für die Reflexionsdämpfung relevanten Größen bekannt sind.

Abbildung 3 zeigt die typische Reflexionsdämpfung verschiedener Materialien bei Fernfeldbedingungen.

Bild 4: Wellenimpedanz in Abhängigkeit von der Quellenentfernung und der Feldart



Im Gegensatz zur Absorptionsdämpfung ist bei der reinen Reflexionsdämpfung die Materialdicke ohne Bedeutung. Betrachtet man die Fernfeld-Reflexionsdämpfung im Vergleich zur Absorptionsdämpfung und berücksichtigt hierbei die Fernfeldbedingungen, so wird deutlich, daß die Fernfeld-Reflexionsdämpfung nur eine untergeordnete Rolle spielt.

Reflexionsdämpfung im Nahfeld

Um im Nahfeld Aussagen über die Reflexionsdämpfung machen zu können, ist die Kenntnis der Impedanz der auftretenden elektromagnetischen Welle von großer Wichtigkeit.

Abbildung 4 zeigt die Abhängigkeit der Wellenimpedanz verschiedener Strahlungsquellen von der Quellenentfernung.

Wie aus dieser Abbildung hervorgeht, müssen wir zwischen magnetischen und elektrischen Feldern unterscheiden. Hochohmige Schaltungsstrukturen, d. h. Schaltungsteile, in denen relativ hohe Spannungen, aber nur kleine Ströme vorkommen, werden oft als Spannungsstörer oder auch als elektrischer Strahler bezeichnet. Eine solche Schaltung erzeugt in der Regel starke elektrische Felder, wobei die Wellenimpedanz, hier beginnend mit dem hochohmigen Innenwiderstand, der Schaltung bei zunehmender Entfernung von der Quelle immer mehr abfällt und schließlich 377 Ω im Fernfeld erreicht. Die Reflexionsdämpfung elektrischer Strahler wird mit zunehmender Entfernung von der Quelle abnehmen, bis Fernfeldbedingungen vorliegen.

Bei niederohmigen Schaltungen, die auch als Stromstörer oder magnetische Störer bezeichnet werden, sind die Verhältnis-

se genau umgekehrt. Bis zum Erreichen des Fernfeldes steigt hier mit zunehmender Entfernung von der Quelle die Reflexionsdämpfung an. Der Grund hierfür liegt in der Zunahme des Strahlungswiderstandes vom Schaltungswiderstand ausgehend, bis hier wiederum 377 Ω im Fernfeld erreicht sind.

Abbildung 5 zeigt die Nahfeld-Reflexionsdämpfung für Aluminium und Eisen, wobei zwischen der H-Feld- und der E-Feldkomponente unterschieden wird.

schen Nah- und Fernfeld unterschieden werden, wobei im Nahfeld zusätzlich zwischen H-Feld- und E-Feldstrahler zu unterscheiden ist.

- Elektrische Felder können durch gut leitendes, dünnes Material geschirmt werden, da hohe Reflexionsverluste auftreten.
- Magnetische Felder sollten mit dickem Material geschirmt werden, da hohe Absorptionsverluste gefordert sind.
- Zur Schirmung hochfrequenter Störsi-

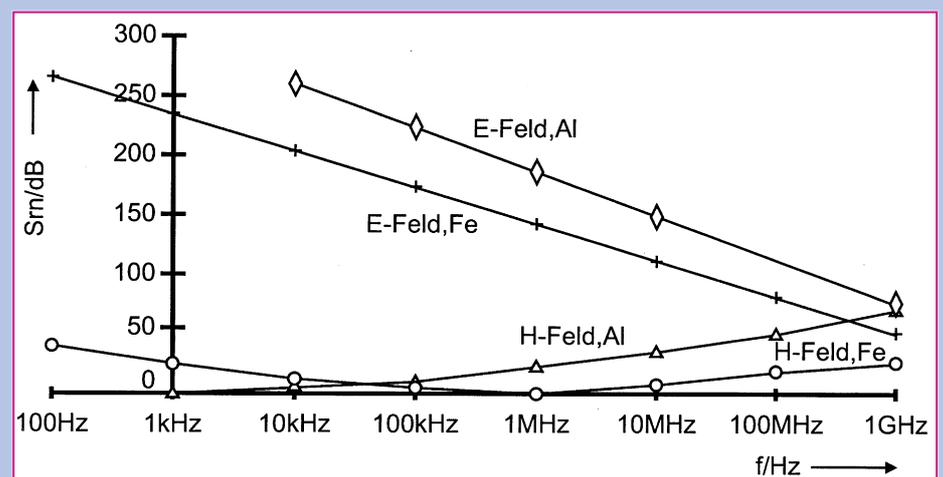


Bild 5: Reflexionsdämpfungen im Nahfeld

Zusammenfassung

- Bei der Absorptionsdämpfung ist es gleichgültig, ob die Strahlungsquelle ein H-Feld- oder ein E-Feldstrahler ist. Auch muß hier keine Unterscheidung zwischen Nah- und Fernfeld berücksichtigt werden.
- Bei der Reflexionsdämpfung muß zwi-

gnale kann dünnes, nicht magnetisches Material verwendet werden.

- Niederfrequente Störsignale lassen sich gut mit weichmagnetischen Materialien wie Eisen und Mu-Metall schirmen.

Nachdem wir mit dem vorliegenden Artikel einige Grundlagen zur Abschirmtechnik betrachtet haben, wollen wir in der kommenden Ausgabe die praktische Abschirmungsausführung aufzeigen. **ELV**