Wie Übergangswiderstände die Dämpfung eines Filters beeinflussen

EMI-Filter und Durchführungskondensatoren sind heute gängige Elemente, um Signal- oder Versorgungsleitungen von hochfrequenten Störungen zu befreien. Je nach Konstruktion des Filterelements werden unerwünschte Störsignale in dessen Inneren von Induktivitäten in Wärme umgewandelt oder mittels Durchführungskondensatoren nach Masse abgeleitet. Jedem Entwickler sind die „Goldenen Daumenregeln“ der HF-Filterung bekannt:

1.) Der Ausgang des Filterelements darf den Eingang nicht sehen.

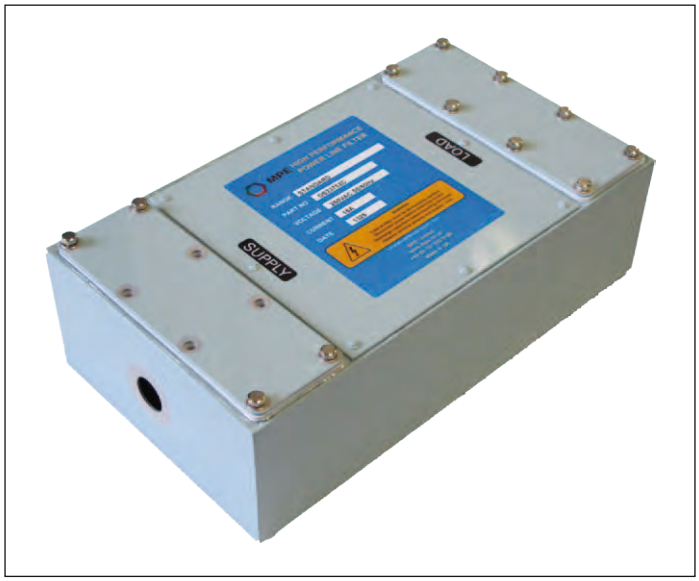
Das heißt tatsächlich, dass der Eingang und der Ausgang des Filterelements keine sichtbare Verbindung miteinander haben sollten. Typischerweise wird also ein Filter in eine leitende Gehäusewand eingeschraubt, der Eingang ist draußen, der Ausgang ist drinnen.

2.) Maximale Fehlanpassung

Hochohmige Signalquellen sollten auf niederohmige Filter treffen - und umgekehrt.

3.) Kurze, niederohmige Verbindung zur Masse.

Während die Regeln 1.) und 2.) üblicherweise gewissenhaft beachtet werden, wird deren Ergebnis durch Verletzung der Regel 3.) oft durch unglaubliche Konstruktionen wieder zunichte gemacht.



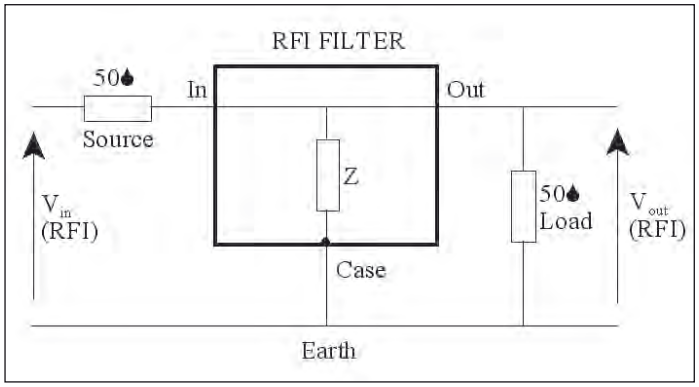


Bild 1: Die Filter-Impedanz Z und die Impedanzen der Signalquelle (Source) und der Last (Load) von jeweils 50 Ohm bilden einen Spannungsteiler.

Warum?

Einfach betrachtet leitet ein Filter hochfrequente Störsignale, die an seinem Eingang eingespeist werden, in Richtung Masse ab. Es muss dazu dem hochfrequenten Störsignal eine recht niedrige Impedanz (Z) anbieten. Niedrig heißt hier, bezogen auf die Impedanz der Signalquelle, die wir mit 50 Ohm annehmen wollen.

Bild 1 verdeutlicht, dass die Filter-Impedanz Z und die Impedanzen der Signalquelle (Source) und der Last (Load) von jeweils 50 Ohm einen Spannungsteiler bilden. V_{out} wird sich also zu V_{in} wie das Verhältnis der Impedanzen verhalten. Ist Z klein genug im Vergleich zur Quell- und Lastimpedanz, kann die Dämpfung des Filterelements annähernd nach der Formel

Einfügungsdämpfung [dB] = 20 log 25/Z

berechnet werden. Diese Formel funktioniert in der Praxis recht gut, speziell für einzelne Filterelemente, wie zum Beispiel Durchführungskondensatoren.

Der Auftritt des Übergangswiderstands

Bei unglücklicher Montage eines Filterelements in ein Gehäuse kann ein Übergangswiderstand zwischen dem Masseanschluss des Filterelements und dem Gehäuse entstehen. Das elektrische Potential des Gehäuses bezeichnen wir dabei als System-Masse. Mögliche Ursachen für Übergangswiderstände sind verschmutzte oder korrodierte Oberflächen, falsches Montagematerial, lange Masseleitung. Wenn dieser Übergangswiderstand R in die Beschaltung des Filters eingefügt wird, so liegt er in Serie mit der Filterimpedanz Z, siehe Bild 2.

Die Dämpfung des hochfrequenten Störsignals wird nunmehr durch das Verhältnis von Quellimpedanz (50 Ohm) zu (Z+R) berechnet. Erreicht dabei R einen viel größeren Wert als Z, wird die Einfügungsdämpfung des Filters hauptsächlich durch den ohmschen Widerstand R bestimmt. Damit lautet unsere Näherungsformel jetzt:

Einfügungsdämpfung [dB] = 20 log 25/R

(Wie bereits erwähnt, gilt diese Formel in erster Linie für einzelne Filterelemente, passt aber auch für alle Filter, bei denen Z << R gilt, wo also der unliebsame Übergangswiderstand R die entscheidende Rolle im System spielt).

Jetzt ist das Filter kein frequenzabhängiges Filter mehr - sondern ein Spannungsteiler. Was so viel heißt, dass die zu erwartende Einfügungsdämpfung eines Filterelements mit hohem Übergangswiderstand R (dank schlechter Anbindung an Masse) für alle Frequenzen praktisch gleich sein wird. Wenn man realistische Werte in die obige Formel einsetzt, ergibt sich erst mal die nachfolgende eindrucksvolle Tabelle für ein 50-Ohm-System:

Autor:

Erich Thomich, Geschäftsführer ELECTRADE GmbH

Übergangswiderstand R [Ω]	Einfügungsdämpfung [dB]
3	18
2	22
1	28
0,1	48
0,01	68
0,001	88
0,0001	108

Das haben wir natürlich auch in der Praxis überprüft - mit einem Hochleistungsfilter und einem 3-Ohm-Widerstand in der Masseleitung. Tatsächlich ergab sich dabei bis zu ca. 1 MHz eine flache Kurve mit ca.18 dB Dämpfung.

Erst darüber setzte eine Filterwirkung ein, sicher dadurch verursacht, dass das hochfrequente Signal einfach am Widerstand R „vorbeirauschte“. Es können dabei auch unterstützende kapazitive Koppeleffekte auftreten. Also: Je kleiner der Übergangswiderstand R ist, umso besser wird die Wirkung des Filters.

Filter für geschirmte Gehäuse

Ein geschirmtes Gehäuse ist ein HF-geschirmtes Gebilde, wie zum Beispiel ein Schaltschrank aus Metall, oder aber auch ein ganzer abgeschirmter Raum für einen Computertomographen im Krankenhaus. Die Thematik ist dabei immer gleich.

Der Übergangswiderstand R zwischen Filterelement und den Gehäuse soll so klein sein wie möglich, haben wir gerade erfahren. Erreicht wird dies durch saubere Schraubverbindungen und korrosionsfreie Oberflächen.

Das gilt natürlich auch für geschirmte Gehäuse, ist hier allerdings nicht immer einfach. Oberflächen können verschmutzt, korrodiert, lackiert oder gar nichtleitend sein, auch wenn diese Flächen mit angeblich leitendem Lack beschichtet sind. Dann ist es natürlich mit der Filter-Performance nicht mehr weit her, wenn ein Filterelement in eine solche Trennwand eingeschraubt wird. Es ist also extrem wichtig, eine tadellose Verbindung zwischen dem Gehäuse des Filterelements und den Wänden des geschirmten Gehäuses herzustellen. Diese Wände bilden nämlich den Schirm und damit

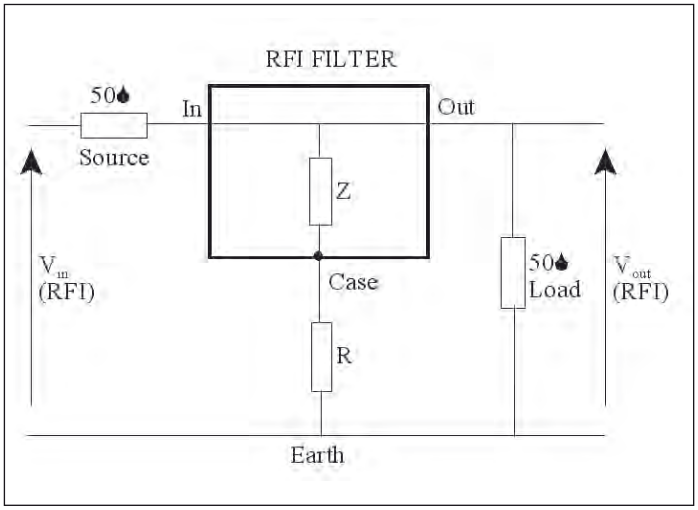


Bild 2: Wenn der Übergangswiderstand R in die Beschaltung des Filters eingefügt wird, so liegt dieser in Serie mit der Filterimpedanz Z.

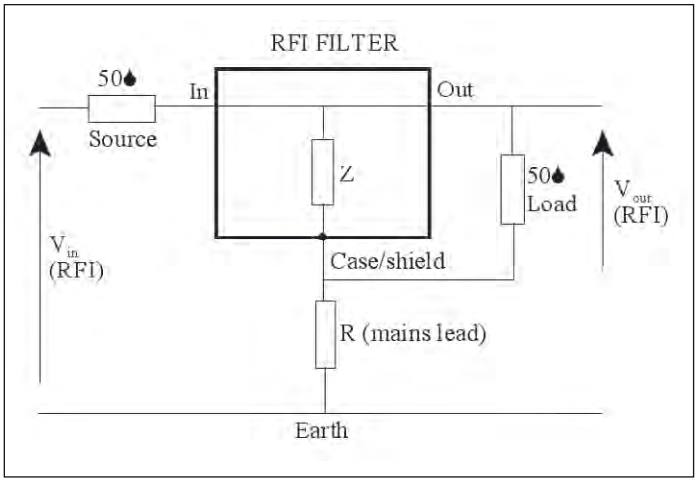


Bild 3: Die tatsächliche Erdung kann zum Beispiel die Verbindung mit dem Schutzleiter der Stromversorgung sein.

die System-Masse des Gehäuses, die nicht unbedingt mit der tatsächlichen Erdung (hin zur Umgebung) identisch sein muss. Die tatsächliche Erdung kann zum Beispiel die Verbindung mit dem Schutzleiter der Stromversorgung sein. Sehen wir uns dazu Bild 3 an.

Der Widerstand R (mains lead) vom geschirmten Gehäuse zur tatsächlichen Erdung kann z.B. aufgrund langer Zuleitung beträchtlich ausfallen. Das ist aber nicht weiter schlimm, vorausgesetzt, Filterelement und geschirmtes Gehäuse - sprich System-Masse - sind gut leitend miteinander verbunden.

Wenn das hochfrequente Störsignal außerhalb der Schirmung auftritt ist sein Pegel auf die tatsächliche Erdung bezogen. So wird ein Teil des Störsignals über R (mains lead) abgeleitet. Vout bezieht sich dabei aber auf die System-Masse und „weiß nichts“ von R (mains lead). Damit kann das Filterelement seine volle Wirkung zeigen - unbeeinflusst von R (mains lead).

Netzfilter - über Schutzleiter geerdet

Hier ist die Situation vergleichbar mit dem geschirmten Gehäuse. Auch hier bezieht sich Vout auf das Gehäuse des Filters, die System-Masse. Die Länge und der Widerstand des Schutzleiters sind dann auch nicht relevant.

Ist jedoch das Netzfilter nicht korrekt in das Gehäuse des Geräts eingebaut, kann es auch hier wieder einen Übergangswiderstand geben und die schon vertraute Problematik tritt auf.

Schlussfolgerung:

Soll ein Filter seine volle Filterwirkung erbringen, so muss sein Gehäuse möglichst niederohmig mit der System-Masse verbunden sein. Für geschirmte Gehäuse und über Leitungen geerdete Netzfilter gilt: Die Leitung zwischen System-Masse und tatsächlicher Erdung sollte ebenfalls niederohmig sein. Zwar wird durch sie die Filterwirkung nicht beeinflusst, dennoch ist es im Hinblick auf elektrische Sicherheit sinnvoll. Die Potentiale von System-Masse und tatsächlicher Erdung sollten immer möglichst gleich sein. Auch, weil dadurch HF-Abstrahlung seitens der System-Masse verhindert wird.

Merke: Wenn ein Filter nicht richtig funktioniert, liegt es wahrscheinlich am Einbau!

Artikel erstellt unter teilweiser Verwendung von Applikationsunterlagen der Firma MPE Limited, Liverpool, UK. MPE wird in Deutschland exclusiv von der ELECTRADE GmbH vertreten.