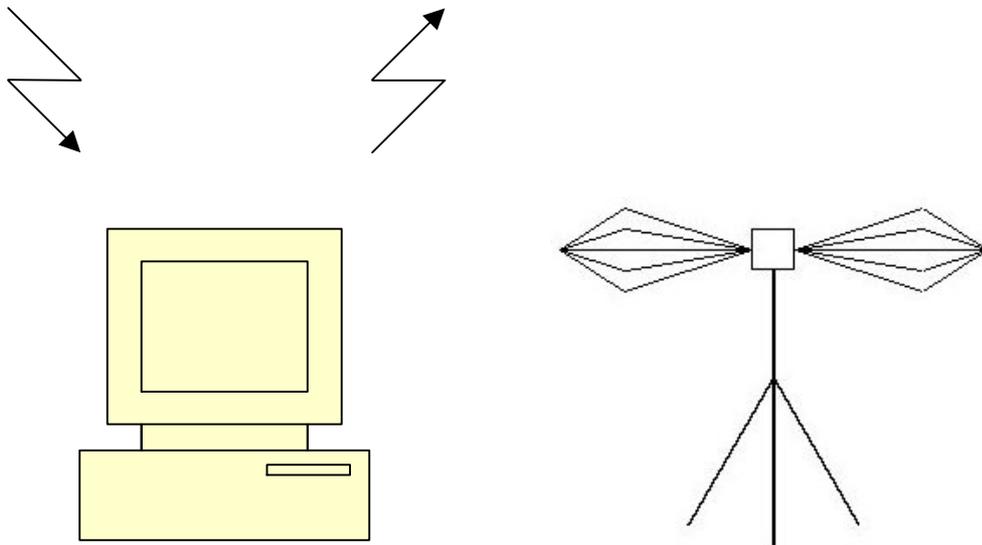




EMV-Praktikum



Netzfilter

Gruppe: _____

Versuchstag: _____

Teilnehmer: _____

Vortestat: _____

Testat: _____

1 Einführung

Die Untersuchung und die Reduktion leitungsgebundener Störungen sind ein wichtiger Teil der EMV-Arbeit. Von elektrischen Geräten und Maschinen ausgelöste Störsignale können sich unter Umständen weiträumig im Versorgungsnetz ausbreiten und die Funktion anderer Komponenten beeinträchtigen. Es ist nahe liegend, elektrische Filter als Entstörmaßnahme einzusetzen, einerseits sendeseitig zur Verminderung der oftmals unvermeidlichen Störungen, andererseits zum Schutz anderer elektrischer Geräte.

Im Unterschied zum klassischen Filterentwurf mit fest vorgegebenen Abschlusswiderständen liegt hier das Problem vor, dass weder der Ausgangswiderstand des Senders (Störquelle) noch der Eingangswiderstand des Empfängers (Störsenke) genau definiert ist. Diese Widerstände sind meistens komplex, also frequenzabhängig und können je nach Gerät und Leitungskonfiguration sehr unterschiedliche Werte annehmen. Daher wird ein Netzfilter nicht für alle Einsatzfälle gleich wirksam sein. Es gibt noch einen weiteren Unterschied zum klassischen Filter: Hier geht es stets um ein 3-Leiter-System mit den Leitern L, N und PE. Eine Mehr-Leiter-Konfiguration bringt immer Gegen- und Gleichtaktströme mit sich, daher müssen beim Filterentwurf beide Aspekte berücksichtigt werden.

Bild 1 zeigt ein handelsübliches Filter. Kernstück ist die Entstördrossel mit den gekoppelten Induktivitäten, sie soll insbesondere einen hohen Wechselstromwiderstand für die Gleichtaktströme darstellen, was durch einen hohen Koppplungsfaktor der gekoppelten Induktivitäten mit $k=0.995$ erreicht wird.

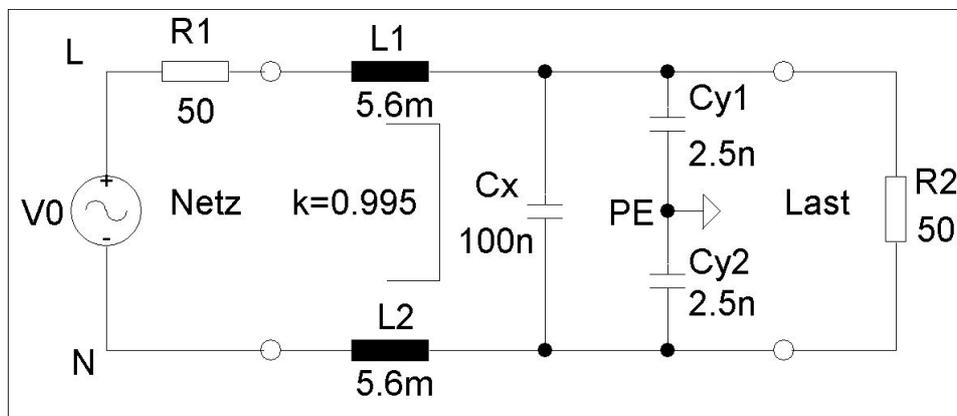


Bild 1: Netzfilter als Beispiel (im Gegentaktbetrieb, Referenz hier $R_1=R_2=50 \Omega$).

Gemessen wird die Einfügungs- bzw. Betriebsdämpfung üblicherweise mit den Abschlüssen $R_1=R_2=50\ \Omega$, auch wenn im Einsatzfall stark abweichende Abschlüsse auftreten können. Die Schaltungen der im Versuch eingesetzten Filter befinden sich im Anhang.

2 Filtermessungen

2.1 Gegen- und Gleichtaktfall

Die Schaltungen zur Dämpfungsmessung sind in den Bildern 2 und 3 dargestellt. Die praktische Durchführung ist im Gegentaktfall wegen der Bezugsmasse (PE, nicht N !) und der an den Geräten vorhandenen coaxialen Ein- und -Ausgänge problematisch, die Übertrager, auf die hier verzichtet wird, dürfen das Ergebnis bis zu $f=30\ \text{MHz}$ nicht verfälschen. Dagegen ist die Messung der Filterwirkung im Gleichtaktfall unkritischer.

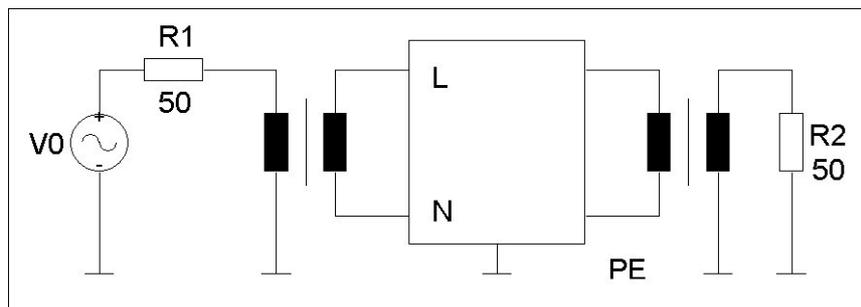


Bild 2: Schaltung zur Dämpfungsmessung im Gegentaktfall (hier mit Symmetrierübertragern).

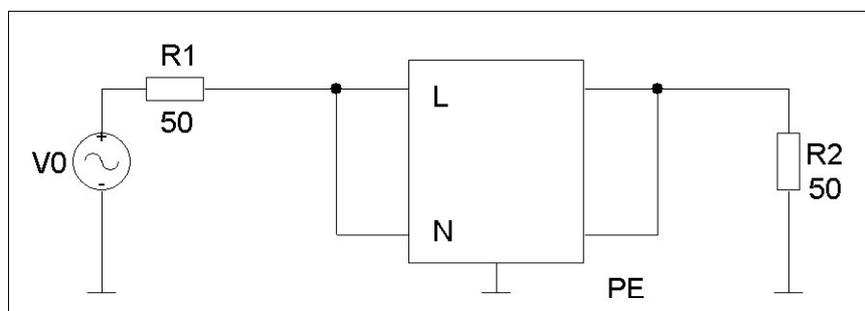


Bild 3: Schaltung zur Dämpfungsmessung im Gleichtaktfall.

2.2 Betriebsdämpfung der eingesetzten Netzfilter

Die Betriebsdämpfung von Filtern mit 50-Ω-Abschlüssen kann mit dem Vektoranalysator direkt bestimmt werden. Sie entspricht hier der Einfügungsdämpfung mit Bezug auf das 50-Ω-System, die aus messtechnischen Gründen zum Vergleich herangezogen wird, auch wenn im realen Einsatz vermutlich andere Innenwiderstände der Störquellen und andere Lasten vorkommen.

Die Betriebsdämpfung wird grundsätzlich durch (2) mit $U_2=|\underline{U}_2|$, $U_0=|\underline{U}_0|$ definiert.

$$a_B = 10 \cdot \log \frac{P_{1\max}}{P_2} \quad dB = 10 \cdot \log \left[\left(\frac{U_0}{2 \cdot U_2} \right)^2 \cdot \frac{R_2}{R_1} \right] \quad dB \quad (2)$$

In diesem Versuch soll a_B für den Gegentaktfall (Bild 2, aber ohne Übertrager) und für den Gleichtaktfall (Schaltung von Bild 3) im Bereich $10 \text{ kHz} \leq f \leq 1 \text{ MHz}$ gemessen werden. Zur Verfügung stehen verschiedene Netzfilter, deren Schaltungen im Anhang dargestellt sind. Die speziell für den Laborversuch ausgewählten Filter werden durch Aushang bekannt gegeben (Filter A und C oder die Kombination B und C).

Im Netzwerkanalysator wird der S-Parameter \underline{S}_{21} ermittelt. Für sein Betragsquadrat gilt das Wirkleistungsverhältnis

$$|\underline{S}_{21}|^2 = \frac{P_2}{P_{1\max}}, \quad (3)$$

so dass die Größe $S_{21}^* = 20 \cdot \log(|\underline{S}_{21}|)$ mit $R_1=R_2=50 \text{ } \Omega$ direkt der Betriebsdämpfung a_B entspricht.

Eine Abbildung des eingesetzten Netzwerkanalysators ist in Bild 4 dargestellt, einige Grundeinstellungen werden im Folgenden angegeben.

Als Startfrequenz sollte i. a. 10 kHz gewählt werden, die Stopfrequenz kann zwischen einigen hundert kHz und einigen MHz liegen. Für die Durchführung der Dämpfungsmessungen sind die folgenden Einstellungen erforderlich:

„MEAS“ → „S21“; „FORMAT“ → „dB Mag“. Die Darstellung der Phase erhält man über „TRACE“, → „Add Plot“ → „Add Trace and Diag Area“ (ebenfalls S21) und „FORMAT“ → „Unwrapped Phase“.

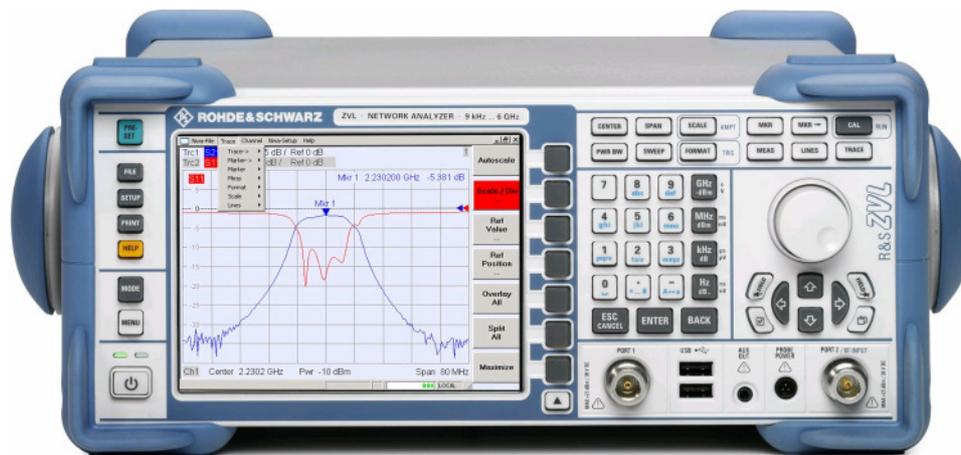


Bild 4: Vektorieller Netzwerkanalysator ZVL-6.

3 Versuchsdurchführung

3.1 Messungen im Frequenzbereich

Die Betriebsdämpfungen von zwei Netzfiltern sollen mit dem Netzwerkanalysator gemessen werden. Dabei handelt es sich entweder um Filter A oder um Filter B (siehe Laborplan) sowie um Filter C. Die gemessenen Filterkurven können auf einem USB-Stick (≤ 2 GB) gespeichert werden. Die Ergebnisse der Messungen sind mit den theoretischen Verläufen (siehe Vorbereitung) zu vergleichen.

3.2 Sprungantworten eines Netzfilters

Die Sprungantworten eines Filters (A oder B) lassen sich für verschiedene Abschlüsse ($R_2=5 \Omega$, 50Ω , 500Ω jeweils bei $R_1=50 \Omega$) in einfacher Weise mit einem Rechteckgenerator und einem Oszilloskop bestimmen, und zwar für den Gleich- und Gegentaktfall. Auch hier ist ein Vergleich mit den Simulationsergebnissen aus der Vorbereitung angebracht, die Signalverläufe werden ebenfalls gespeichert.

3.3 Eigenschaften einer Entstördrossel

Die Eigenschaften einer Entstördrossel (Induktivitäten und Kopplungsfaktor) können mit einer Messbrücke bestimmt werden. Dazu kann beispielsweise die resultierende Gegentaktinduktivität und die Gleichtaktinduktivität ermittelt werden, jeweils bei geeigneter Messschaltung. Nach Bild 5 sind alle Anschlüsse verfügbar und müssen

entsprechend verbunden werden. Die Messbrücke besitzt zwei Messanschlüsse und liefert einen Induktivitätswert pro Messschaltung (siehe auch Vorbereitung).

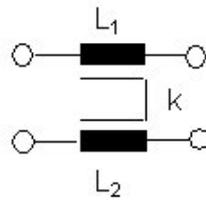
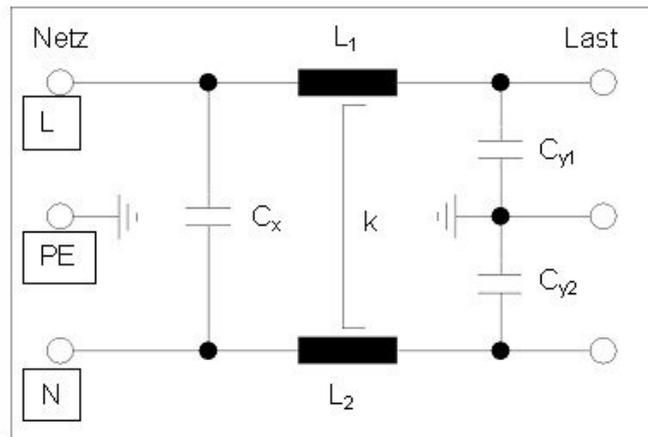


Bild 5: Parameter einer Entstördrossel.

4 Vorbereitung

- a) Man zeichne je ein Ersatzschaltbild des Netzfilters von Bild 6 für den Gegentakt- und den Gleichtaktfall (Filter A oder B, je nach Laborplan).
- b) Bestimmen Sie die Betriebsdämpfung $a_B = 10 \cdot \log(P_{1\max}/P_2)$ mit $P_{1\max} = U_0^2 / (4 \cdot R_1)$, $P_2 = U_2^2 / R_2$ für Frequenzen bis zu 1 MHz sowie die Sprungantwort $u_2(t)$ für beide Fälle. Während $R_1 = 50 \Omega$ konstant sein soll, ist der Lastwiderstand zu variieren: $R_2 = 5 \Omega, 50 \Omega, 500 \Omega$.
Es bietet sich eine Simulation mit SPICE im Zeit- und Frequenzbereich (.TRAN und .AC) unter Benutzung der Parameteranweisung PARAM an.
- c) Überlegen Sie ein Verfahren, wie man die Eigenschaften einer Entstördrossel bestimmen kann, beispielsweise über die Induktivitätsmessung mit einer Messbrücke.

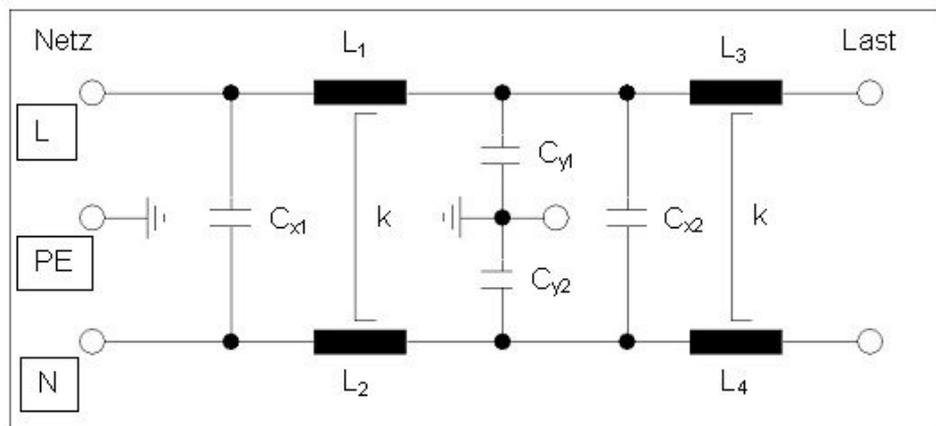
5. Anhang: Schaltungen der verfügbaren Netzfilter



Netzfilter A: $L_1=L_2=2.5$ mH, $k=0.995$, $C_x=100$ nF, $C_{y1}=C_{y2}=2.2$ nF.

Netzfilter B: $L_1=L_2=0.75$ mH, $k=0.995$, $C_x=47$ nF, $C_{y1}=C_{y2}=2.2$ nF.

Bild 6: Netzfilter A (FN 9222-3-06) und B (FN 9223-3-06).



Netzfilter C: $L_1=L_2=L_3=L_4=2$ mH, $k=0.995$, $C_{x1}=C_{x2}=150$ nF, $C_{y1}=C_{y2}=2.2$ nF.

Bild 7: Netzfilter C (FN 660)