

IEEE- Student Contest

Elias Kaufhold
TU Dresden
Dresden, Deutschland

I. EINLEITUNG

Im Rahmen des *Student-Contests* des *German Chapters* der EMC Society wird im Folgenden ein Simulationsmodell in Form eines Ersatzschaltbildes für einen einphasigen Netzfilter vorgestellt. Anwendung findet ein solcher Filter nach [1] z.B. bei Küchenmixgeräten.

II. ANORDNUNG DER BAUELEMENTE

Die aufgezeigten Bilder des Filters in [1] ermöglichen es, eine Anordnung von Bauelementen des Filters zu ermitteln.

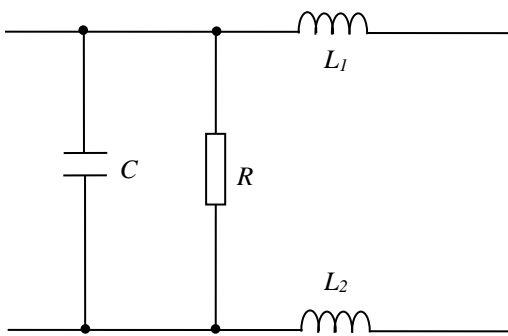


Abbildung 1: vereinfachtes Ersatzschaltbild des Filters

In Abbildung 1 ist ein vereinfachtes Ersatzschaltbild des Filters dargestellt. Im Gegensatz zu den Bildern nach [1] sind im Widerstand R bereits beide zu erkennenden Widerstände vereint. Die Darstellung nach Abbildung 1 stellt lediglich ein vereinfachtes Modell dar. In der Praxis werden häufig vereinfachend ein Kondensator als Kapazität C und eine Spule in Form einer Induktivität L in einem Ersatzschaltbild dargestellt. Dieser Darstellung liegt eine Idealisierung der Bauelemente zu Grunde. Reale Bauelemente hingegen weichen von dieser Vereinfachung ab und weisen parasitäre Effekte auf. Um ein Modell eines Filters mit dem Verhalten nach [1] zu erhalten, müssen diese Effekte berücksichtigt werden. Für die Modellbildung werden Widerstände, Induktivitäten und Kapazitäten verwendet, um das gewünschte Verhalten zu erzielen.

III. MODELLBILDUNG

Das Modell nach Abbildung 1 ist zu erweitern, um mit Hilfe angepasster Parameter das gewünschte Verhalten zu realisieren.

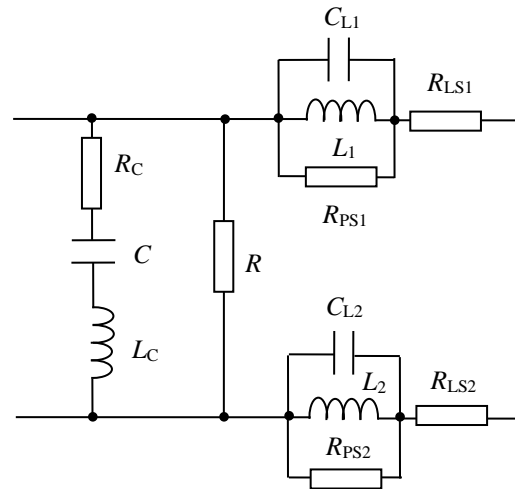


Abbildung 2: Ersatzschaltbild des Filters mit parasitären Elementen

Abbildung 2 stellt das Ersatzschaltbild dar, welches dem Simulationsmodell dieser Arbeit entspricht. C_{L1} und C_{L2} berücksichtigen das Verhalten der parasitären Kapazitäten der Induktivitäten L_1 und L_2 , R_{ps1} und R_{ps2} beinhalten einen parasitären Parallelwiderstand und R_{LS1} und R_{LS2} die Reihenwiderstände zu den Induktivitäten. Die Induktivitäten L_1 und L_2 sind weiterhin über einen Koppelfaktor k gekoppelt. Für die beiden Widerstände nach [1] soll im Modell weiterhin nur ein Widerstand R zur Geltung kommen. Der Kondensator wird durch eine Reihenschaltung aus einem Reihenwiderstand R_C , einer Kapazität C und einer Induktivität L_C nachgebildet. Auf einen parallelen Widerstand zu C wird im Modell verzichtet. Anhand eines Datenblattes nach [S.2, 2] wird dieser parallele Widerstand mit größer als $15 \text{ G}\Omega$ angegeben. Durchgeführte Simulationen haben gezeigt, dass dieser Widerstand keinen erkennbaren Einfluss auf die Verläufe hat.

Ausgehend von dem vorgestellten Ersatzschaltbild bietet sich eine systematische Ermittlung der Parameter an. Zu Hilfe genommen kann weiterhin, dass einige Parameter aus den Abbildungen nach [1] erkennbar sind.

IV. ERMITTLUNG DER PARAMETER

A. Messung der Gegentakimpedanz auf der Netzseite mit lastseitigem Kurzschluss:

Aus dieser Messung kann das Verhalten der Kapazität ermittelt werden, da L_1 und L_2 , sowie deren parasitäre Effekte,

im Leerlauf keinen Einfluss auf das Verhalten der Schaltung haben. Anhand von [1] wird eine Kapazität von $C=0,1 \mu\text{F}$ angenommen. Als weitere Freiheitsgrade werden L_C und R_C verwendet. Es gilt weiterhin $R=660 \text{ k}\Omega$, da die Farbkombination eines einzelnen Widerstandes der Reihenschaltung nach [1] jeweils mit $330 \text{ k}\Omega$ abzulesen ist. Es stellt sich heraus, dass R_C die Polstelle nicht beeinflusst. Als letzter Freiheitsgrad verbleibt deshalb lediglich die parasitäre Induktivität L_C um die Polstelle zu beeinflussen. Diese kann variiert werden und systematisch ermittelt werden, sodass sich eine gute Näherung zum gegebenen Verhalten für $L_C=30 \text{ nH}$ ergibt. Über R_C lässt sich eine weichere Kennlinie des Phasengangs einstellen. R_C wird zu $3 \text{ m}\Omega$ ermittelt.

B. Messung der Gegentaktimpedanz auf der Lastseite mit netzseitigem Kurzschluss:

Für die Messung mit lastseitigem Kurzschluss wird angenommen, dass das Verhalten des Kondensators vernachlässigt werden kann. Um die möglichen Freiheitsgrade zu beschränken, werden die Spulen mit gleichem Verhalten simuliert. Sie weisen dann beide die gleichen parasitären Elemente auf. Da beide Spulen auf einem Kern angebracht sind, wird ein hoher Koppelfaktor vermutet. Dieser wird angepasst und hat sich mit $0,9975$ als guter Endwert erwiesen. Für die Induktivitäten wurde ein Wert von $200 \mu\text{H}$, die parallele Kapazität wurde zu $4,5 \text{ pF}$, der Reihenwiderstand zu $35 \text{ m}\Omega$ und der Parallelwiderstand zu $7 \text{ k}\Omega$ ermittelt.

Im Verlauf des Wettbewerbes wurden Werte aus DC-Messungen angegeben. Zu diesem Zeitpunkt standen die hier vorgestellten Werte bereits fest. Es hat sich gezeigt, dass die ermittelten Werte in der gleichen Größenordnung mit lediglich geringen Abweichungen von den gemessenen Werten liegen.

C. Messung der Gegentaktimpedanz auf der Netzseite mit lastseitigem Kurzschluss und Messung der Gegentaktimpedanz auf der Lastseite mit netzseitigem Kurzschluss

Es wurden bereits alle Elemente in Abbildung 1 anhand der beiden Simulationen bestimmt. Die Werte können überprüft werden, indem die verbleibenden beiden Gegentaktmessungen betrachtet werden. Die Simulationen beider Gegentaktmessungen liefern Ergebnisse, die mit dem vorgestellten Verhalten vergleichbar sind, sodass von einer sinnvollen Parametrierung ausgegangen wird.

D. Messung der Gleichtaktimpedanz zwischen Netz- und Lastseite

Durch die Verschaltung der Spulen zu einer stromkompensierenden Drossel ergibt sich das Phänomen, dass sich die durch die Spulen hervorgerufenen magn. Flüsse im Kern kompensieren. Dies hat weiterhin zur Folge, dass sich die Induktivität beider Spulen in Abhängigkeit von der Signalflussrichtung durch die Spule ändert.

Es werden neue Parameter für die beiden Spulen ermittelt. Eine gute Übereinstimmung ergibt die Festlegung auf $L_1=L_2=400 \mu\text{H}$, $R_{PS1}=R_{PS2}=300 \Omega$, $R_{LS1}=R_{LS2}=42,4 \text{ m}\Omega$, sowie $CL1=CL2=1 \text{ pF}$.

V. SIMULATIONEN

Für die Simulationen wurde die Software LTSpice IV verwendet. Es ergeben sich mit den angeführten Parametern folgende Verläufe:

1.) Messung der Gegentaktimpedanz auf der Netzseite mit lastseitigem Leerlauf

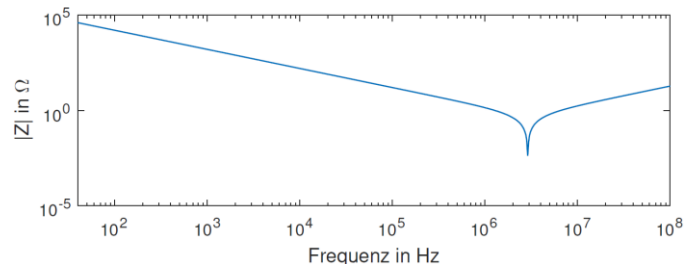


Abbildung 3: frequenzabhängiger Impedanzverlauf (Amplitude)

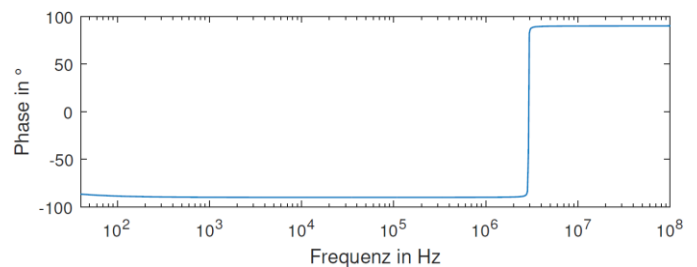


Abbildung 4: frequenzabhängiger Impedanzverlauf (Phasengang)

2.) Messung der Gegentaktimpedanz auf der Netzseite mit lastseitigem Kurzschluss

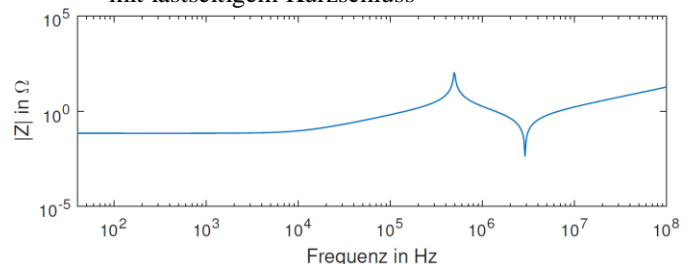


Abbildung 5: frequenzabhängiger Impedanzverlauf (Amplitude)

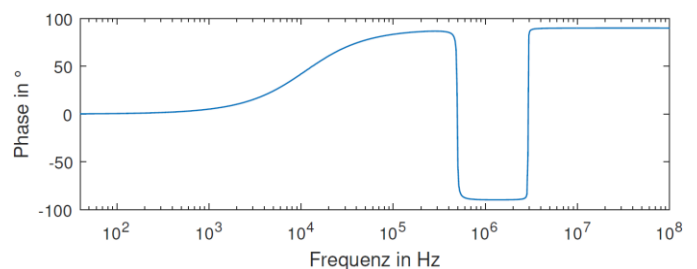


Abbildung 6: frequenzabhängiger Impedanzverlauf (Phasengang)

3.) Messung der Gegentaktimpedanz auf der Lastseite mit netzseitigem Leerlauf

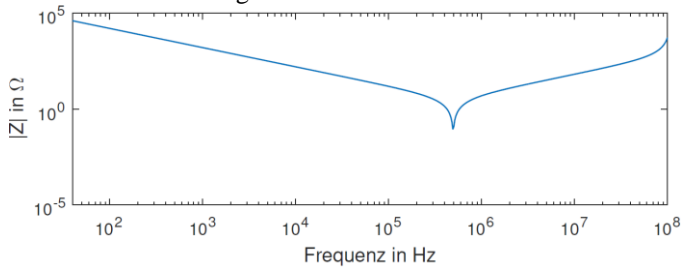


Abbildung 7: frequenzabhängiger Impedanzverlauf (Amplitude)

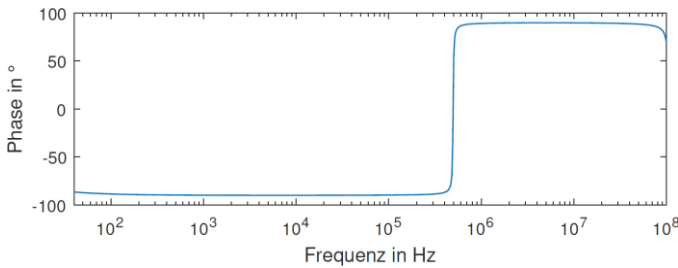


Abbildung 8: frequenzabhängiger Impedanzverlauf (Phasengang)

4.) Messung der Gegentaktimpedanz auf der Lastseite mit netzseitigem Kurzschluss

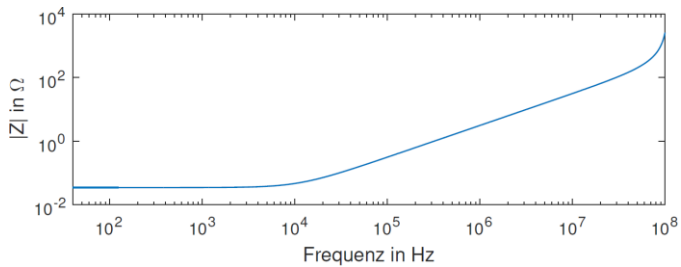


Abbildung 9: frequenzabhängiger Impedanzverlauf (Amplitude)

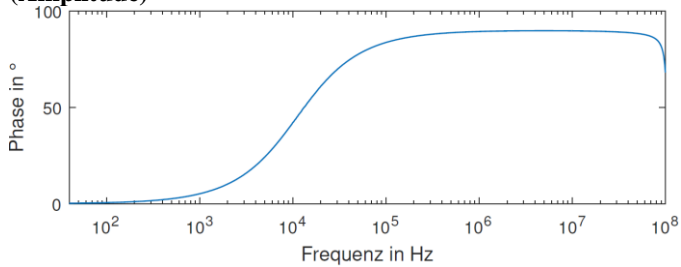


Abbildung 10: frequenzabhängiger Impedanzverlauf (Phasengang)

5.) Messung der Gleichtaktimpedanz zwischen Netz- und Lastseite

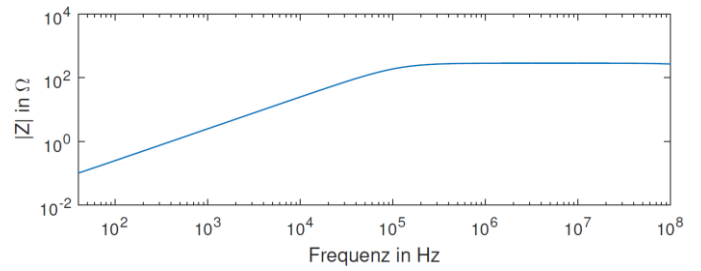


Abbildung 11: frequenzabhängiger Impedanzverlauf (Amplitude)

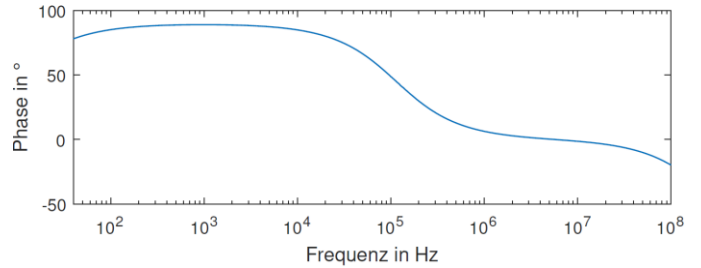


Abbildung 12: frequenzabhängiger Impedanzverlauf (Phasengang)

REFERENCES

- [1] IEEE German EMC Chapter: Student Contests. <http://sites.ieee.org/germany-emc/research/student-contests/> (12.01.2018)
- [2] CARLI Electronics Co. LTD: MPX Series XS Class <http://www.sjohm.co.kr/products/img/pdf06.pdf> (13.01.2018)