

IEEE EMC Student Simulation Contest 2017 Entry

Frederik Sommerfeld
Jade Hochschule Wilhelmshaven
Email: frederik.sommerfeld@student.jade-hs.de

Januar 2018

Abstract—Ein Netzfilter von Elektrogeräten soll unerwünschte Emissionen von Geräten über das Netzkabel verringern. Für einen solchen Filter wurde aus gegebenen Messungen [1] ein Simulationsmodell entwickelt.

I. Einleitung

Der Netzfilter eines Küchenmixers soll verhindern, dass Störsignale leitungsgebunden aus dem Gerät in das Häusliche Netz gelangen und dort andere Geräte stören. Insbesondere ins Netz gelangende hochfrequente Gleichtaktsignale können zu erheblichen Störpegeln in einem breiten Frequenzspektrum führen und im schlimmsten Fall andere Geräte im Haus oder sogar entfernte Funkdienste stören. Zur Erstellung und Optimierung des Simulationsmodells wurde das Keysight Advanced Design System 2017 mit der Hochschullizenz verwendet.

II. Konvertieren der Messdaten

Das Advanced Design System (ADS) bietet neben der Simulation von Schaltungen auch die Möglichkeit, eine Schaltung nach vorgegebenen Kriterien hin zu optimieren. Hier ist das Ziel, den Netzfilter des Küchenmixers möglichst genau mit einem einfachen Modell darzustellen. Am besten gelingt dies, wenn die Messdaten direkt in den Diagrammen mit den simulierten Daten sichtbar sind. Hierzu wurden die Messdaten mit Hilfe einfacher Linux Kommandos in das Touchstone-Format als 1-Port Z-Parameter konvertiert. In ADS lässt sich ein solches File nun mit einem 1-Port Datenbaustein importieren.

III. Analyse der Schaltung

A. Optische Analyse der Schaltung

Aus den Bildern des Netzfilters [2] wurde zunächst ein einfaches Modell extrahiert, das aus 5 Komponenten bestand. Ein Folienkondensator mit 100nF, zwei 330k Ω Entladewiderstände und zwei durch einen mit Kunststoff umgossenen Ferritkern gekoppelte Spulen, die eine "Common Mode Choke" bilden, waren nach der Analyse des Bildmaterials Teil des ersten Simulationsmodells. Wie zu erwarten war, stimmte das erste Modell nur grob mit den Daten aus den Messungen überein.

B. Tiefere Analyse der Schaltung

Nicht nur die Toleranzen der sichtbaren Bauelemente des Netzfilters haben die großen Abweichungen von den Messdaten zur Folge. Der 100nF Kondensator kann bei

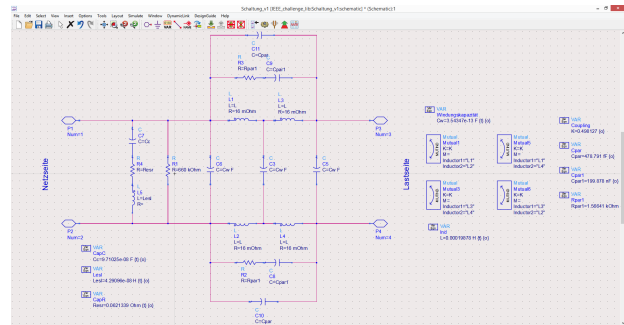


Fig. 1. Finales Modell

höheren Frequenzen nicht nur als reine Kapazität gesehen werden, da die Folien und Verbindungen im Kondensator Widerstände und Induktivitäten aufweisen. Insbesondere die Spulen um den Ferritkern werden durch die einfachen gekoppelten Induktivitäten nicht ausreichend genau beschrieben. Hier kommen Windungskapazitäten und Verluste durch Streuinduktivitäten und Magnetisierungsverluste im Ferrit zum Vorschein. Die Wicklungen der Spulen wurden im Modell zusätzlich einmal geteilt, um ein genaueres Simulationsmodell bei höheren Frequenzen zu erhalten. Die Verluste im Ferrit wurden durch parallel zu den Spulen geschaltete in Serie geschaltete Widerstände und Kondensatoren abgebildet. Zur hohen Gleichtaktunterdrückung müssen die Koppelfaktoren der Spulen sehr hoch, also nahe bei 1, sein. Hierzu wird der Kern eine hohe Permeabilität aufweisen.

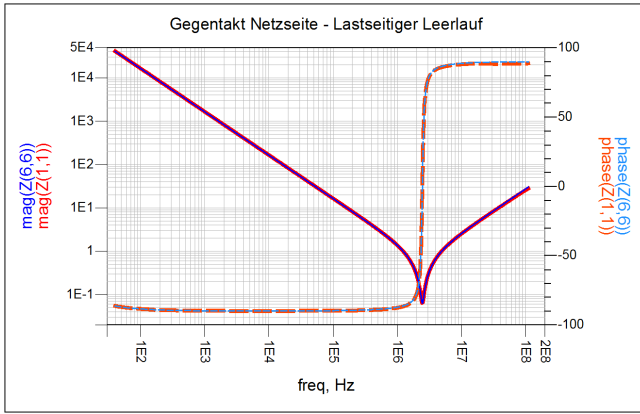
IV. Optimierung

Nachdem die parasitären und nicht sichtbaren Elemente der Schaltung in das Simulationsmodell integriert wurden und mit grob geschätzten Werten belegt wurden, konnte das Modell auf die Messdaten hin optimiert werden. Hierzu wurden in ADS Optimierungsziele festgelegt, welche die Übereinstimmung der Simulation mit den Messwerten fordern. Der Optimizer vom ADS hat mit Hilfe unterschiedlicher Algorithmen die Bauteilewerte so abgeändert, dass die Simulation möglichst gut mit den Messwerten übereinstimmt. Das finale Modell ist in Fig. 1 zu sehen.

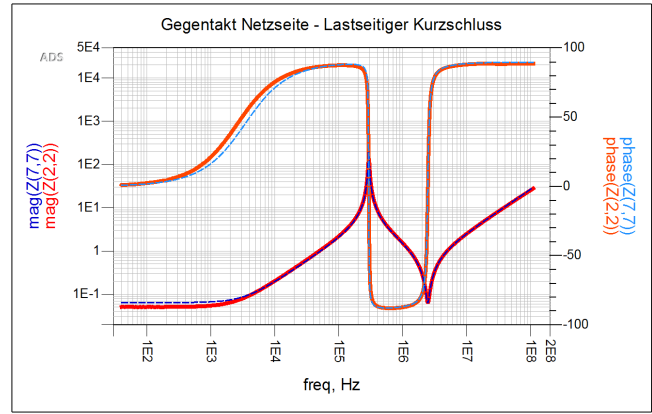
V. Ergebnisse

Analog zu den Messungen in der Aufgabenstellung sind die Simulationsergebnisse zusammen mit den Messwerten

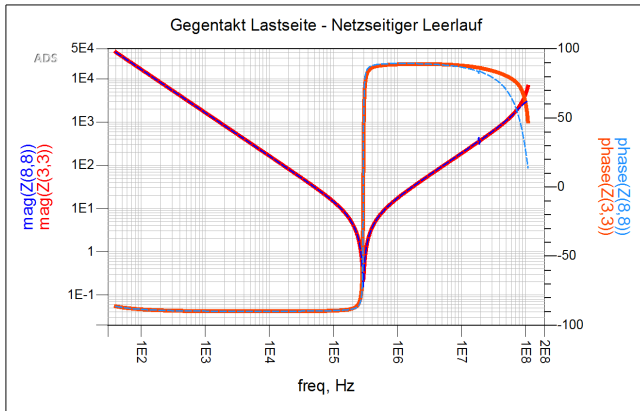
in Fig. 2 dargestellt. Hier sind $Z(1,1)$ bis $Z(5,5)$ die Messdaten der IEEE und $Z(6,6)$ bis $Z(10,10)$ die Daten des Simulationsmodells. Es wurde auf eine gute Übereinstimmung der Simulation mit den Daten der Messungen bei einer möglichst geringen Anzahl an Komponenten Wert gelegt. Dementsprechend sind die Eigenschaften des Ferrits, sowie die parasitären Größen bei höheren Frequenzen nicht präzise beschrieben. Dennoch lässt sich mit wenigen Komponenten ein für die Funktionsweise ausreichend genaues Modell erzeugen.



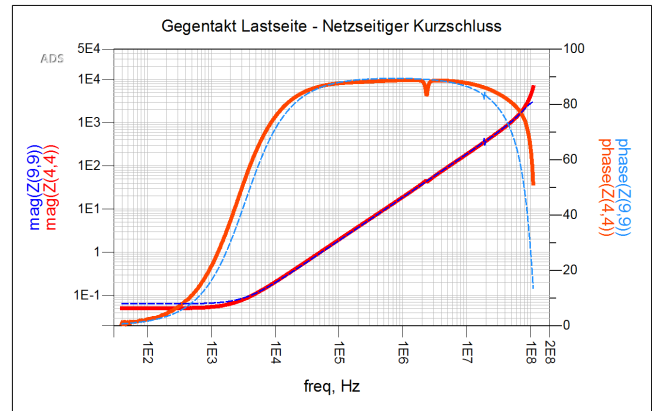
(a) Gegentakt Netzseite mit Lastseitigem Leerlauf



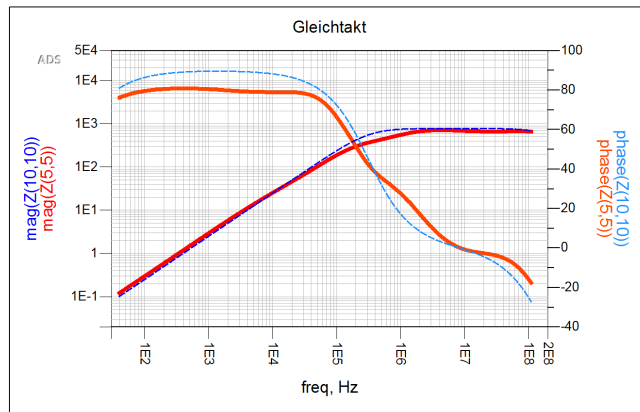
(b) Gegentakt Netzseite mit Lastseitigem Kurzschluss



(c) Gegentakt Lastseite mit Netzseitigem Leerlauf



(d) Gegentakt Lastseite mit Netzseitigem Kurzschluss



(e) Gleichtakt

Fig. 2. Ergebnisse der Simulation des finalen Modells

VI. Fazit

Aus der Erstellung des Simulationsmodells wird ersichtlich, dass eine Optisch einfach wirkende Schaltung oftmals ein sehr komplexes Verhalten aufweisen kann und die Simulation nicht nur auf die sichtbaren Teile der Schaltung beschränkt werden kann. Insbesondere bei höheren Frequenzen müssen elementare Baugruppen der Schaltung in kleinere Gruppen aufgeteilt werden. Zusätzlich kann bei

höheren Frequenzen der Verlauf von Leiterbahnen und das Platinenmaterial von Bedeutung

References

- [1] IEEE EMC Student Simulation Contest 2017 Ausschreibung (Seite 2) http://sites.ieee.org/germany-emc/files/2017/08/IEEE EMC Student Simulation Contest_2017.pdf
- [2] IEEE EMC Student Simulation Contest 2017 Bilder der Schaltung und Bilder von den Messungen <https://www.flickr.com/photos/152364969@N02/albums/72157689369398765>