

# IEEE EMC Student Simulation Contest 2017

Kosnick, Fynn  
Helmut-Schmidt-Universität  
Universität der Bundeswehr  
Hamburg, Deutschland  
fynn.kosnick@hsu-hh.de

Frankenstein, Johannes  
Helmut-Schmidt-Universität  
Universität der Bundeswehr  
Hamburg, Deutschland  
johannes.frankenstein@hsu-hh.de

**Zusammenfassung**—In diesem Dokument soll der Entwicklungsprozess unseres Ersatzschaltbildes zum Student Contest 2017 aufgezeigt werden.

## EINLEITUNG

Die Aufgabe lautete, für ein gegebenes einphasiges Netzfilter eines Küchenmixers ein möglichst einfaches Simulationsmodell für den weiten Frequenzbereich 40 Hz - 110 MHz zu erstellen. Um die gemessenen Werte über den gesamten Frequenzbereich zu modellieren, reichen ideale Bauelemente nicht aus. Die Schwierigkeit bestand darin, sie um ihre parasitären Anteile zu erweitern, sodass eine Simulation die gegebenen Kurven erzeugt.

### I. ENTWICKLUNG DER ERSATZSCHALTBILDER FÜR DIE GEGENTAKTMESSUNG

Der Ausgangspunkt, auf den im Folgenden aufgebaut wird, ist ein ideales Modell des Netzfilters. Es wurde entsprechend der vorhandenen Abbildungen erstellt, die Werte der Bauelemente wurden ebenfalls den Bildern entnommen. Die Bauelemente wurden anschließend mithilfe des Buches "Introduction to Electromagnetic Compatibility" [1] um ihre parasitären Anteile erweitert, sodass der gemessene Frequenzgang möglichst exakt rekonstruiert werde. Darauf aufbauend wurde das Schaltbild an die einzelnen Messungen angepasst, sodass jeweils nur die relevanten Teile enthalten waren. Dabei wurden zunächst nur die ersten vier Messungen behandelt, da die Gleichaktmessung einen Sonderfall darstellt.

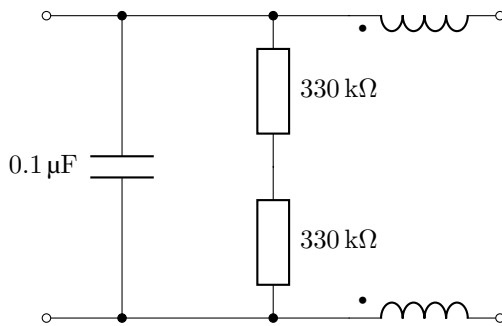


Abb. 1: Basisschaltbild

#### A. Messung 1: Leerlaufende Lastseite

Da bei der ersten Messung die rechte Seite leer läuft, ist die Gleichaktinduktivität nicht beteiligt. Es ergibt sich folgendes

nicht-ideales Schaltbild. Die Bauelementwerte der parasitären Anteile sind zunächst abgeschätzt und durch Simulation experimentell verfeinert. Die so angenommenen Werte sind in Kap. II als Grundlage für eine Parameter-Berechnung mit MATLAB genutzt und optimiert worden.

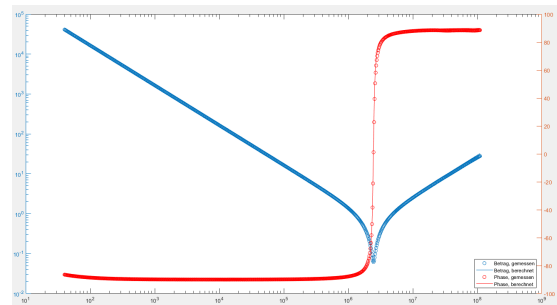
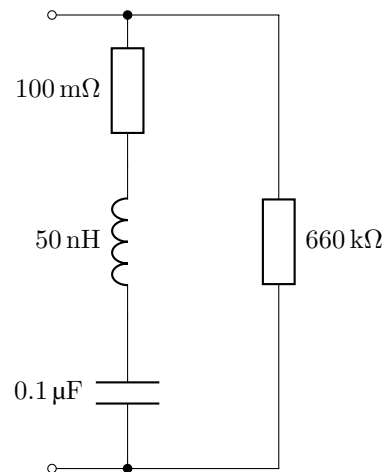


Abb. 2: Messung 1

#### B. Messung 2: Kurzgeschlossene Lastseite

In der zweiten Messung können die beiden 330 kΩ-Widerstände vernachlässigt werden, da die Lastseite kurzgeschlossen ist. Die Gleichaktinduktivität wird durch Teile ihrer parasitären Einflüsse modelliert, wobei die Induktivität selbst im Gegentaktbetrieb keine signifikante Wirkung hat. Die induktiven Eigenschaften der Leiterbahnen machen sich hier allerdings bemerkbar.

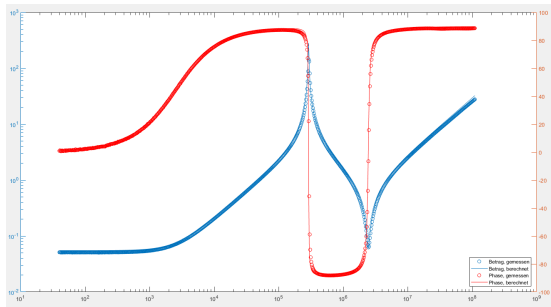
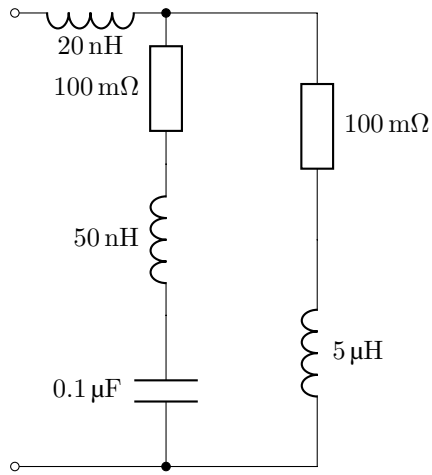


Abb. 3: Messung 2

### C. Messung 3: Leerlaufende Netzseite

In Messung 3 muss die Gleichakttdrossel berücksichtigt werden. Dabei wurden alle parasitären Anteile zu einer Bauelemente-Kombination zusammengefasst. Der parallele  $6\text{ k}\Omega$ -Widerstand wurde erst nach einigen Testläufen hinzugefügt und im Schaltbild belassen, da er die erforderliche Dämpfung der LC-Kombination erzeugt und die benötigten Eigenschaften an den Kurven abbildet.

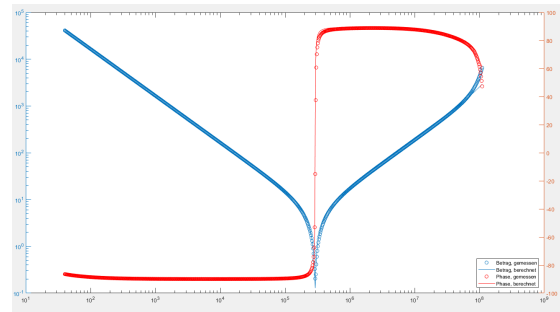
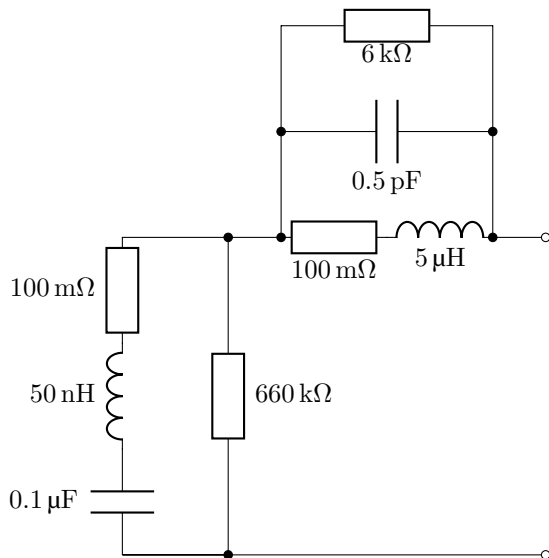


Abb. 4: Messung 3

### D. Messung 4: Kurzgeschlossene Netzseite

Aufgrund des netzseitigen Kurzschlusses können die beiden  $330\text{ k}\Omega$ -Widerstände erneut vernachlässigt werden. Stattdessen treten die induktiven Eigenschaften der Leiterbahnen in den Vordergrund.

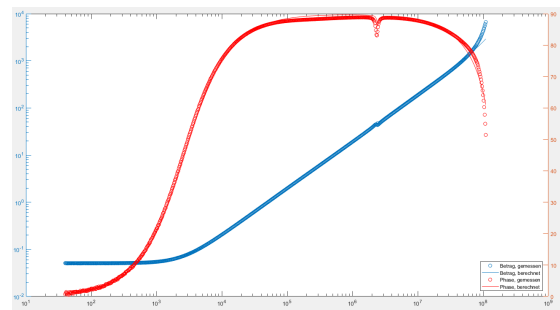
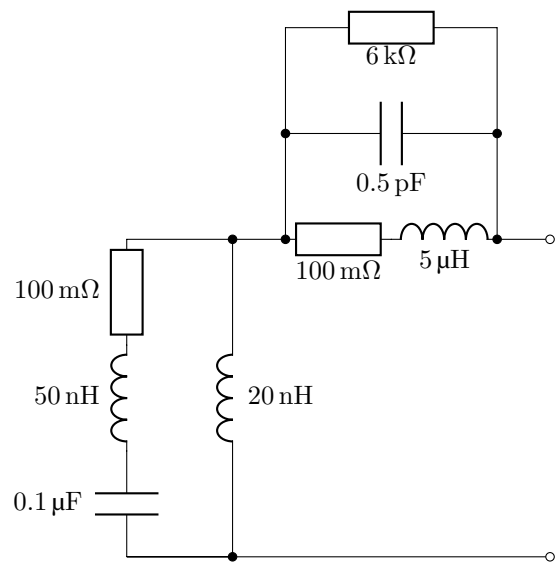


Abb. 5: Messung 4

## II. OPTIMIERUNG DER BAUELEMENTGRÖSSEN

Um die Bauelementwerte zu präzisieren, wurde MATLAB genutzt. Dazu wurde ein Skript geschrieben, in dem die Übertragungsfunktion des jeweiligen Ersatzschaltbildes eingetragen werden konnten, wobei die Bauelementwerte als Parameter variabel gehalten wurden. Mithilfe eines Befehls zur Bestimmung des Minimums einer mehrdimensionalen Funktion wurde anschließend von den abgeschätzten Startwerten durch

verschiedene Wertkombinationen iteriert und jeweils mit den gegebenen Datenpunkten verglichen. Der geringste Abstand der Summe aus Amplitudenpegel und Phasengang war dabei der Indikator für optimale Bauelementwerte. Durch die vielen Variablen waren große Iterationsbereiche nötig und die Genauigkeit des Skriptes sank. Trotzdem waren die entstandenen Kurven vor allem in den niedrigen Frequenzbereichen bereits recht exakt, wenn die anfängliche Abschätzung grob stimmte.

Da eine Bauelement-Kopplung in der Übertragungsfunktion nicht ohne weiteres zu berücksichtigen ist, wurde die Gleichtaktmessung nach wie vor vernachlässigt und erst später hinzugezogen.

### III. ZUSAMMENFÜHRUNG

Nachdem die einzelnen Messungen jeweils verbessert waren, konnten die Ergebnisse in ein finales Schaltbild zusammengeführt werden. Die berechneten Werte für ein Bauelement lagen jeweils in den gleichen Größenordnungen. Um die Größen aufeinander abzustimmen, musste experimentell ein adäquater Mittelwert gefunden werden. Dabei wurden in Vorbereitung auf die Einbindung der Gleichtaktmessung die entsprechenden Schaltbildteile aufgeteilt.

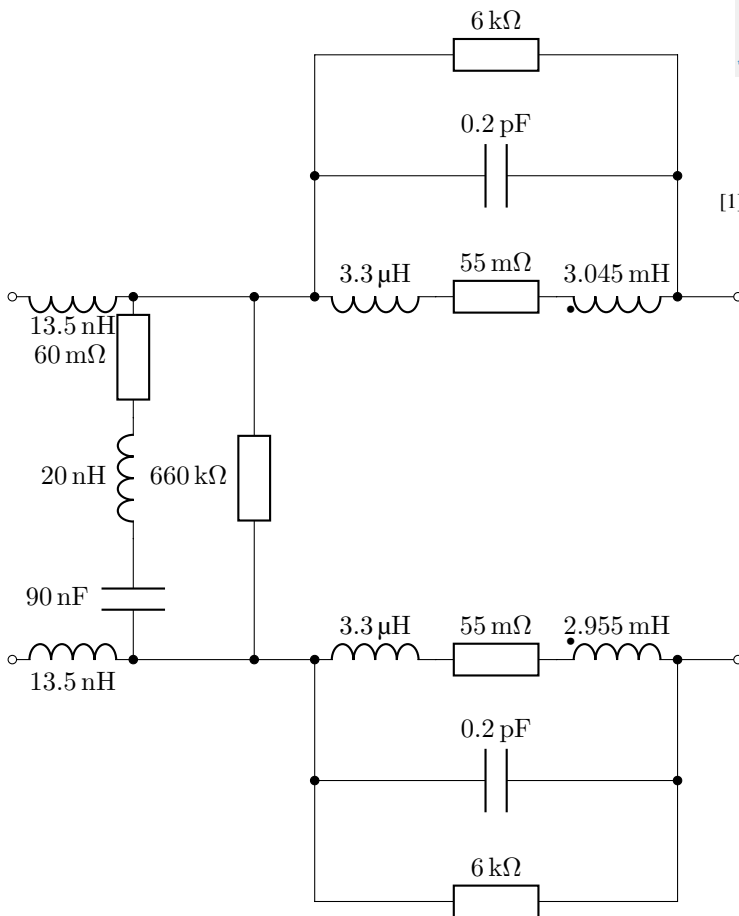


Abb. 6: Gesamtes Ersatzschaltbild des Filters

### IV. FEINABSTIMMUNG UND MESSUNG 5

Das berechnete Schaltbild lieferte bei der Simulation bezüglich Messung 5 Ergebnisse mit dem bisher größten Fehler zu den gegebenen Messpunkten. Alle anderen Messungen waren zufriedenstellend. Die Abweichung sollte durch verschiedene Anpassungen möglichst gering werden. Dabei wurden Wiederholungen der Windungsanteile getestet, sowie eine Asymmetrie der Bauelementwerte der gekoppelten Spulen. Eine Vervielfachung der Gleichtaktspulen-Bereiche entsprechend der Wicklungszahl führte zwar zu einem leicht verbesserten Ergebnis, allerdings war der entsprechend höhere Schaltungsaufwand den geringen Gewinn nicht wert. Mit einer leichten Asymmetrie konnte der Phasengang hingegen ein wenig näher an die gegebenen Datenpunkte gebracht werden, daher wurde sie im Schaltbild belassen. Da die Simulation nun annähernd die gewünschten Ergebnisse lieferte, wurde an dieser Stelle auf weitere Optimierung verzichtet.

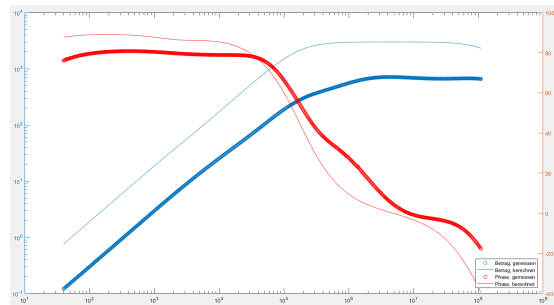


Abb. 7: Messung 5

### LITERATUR

- [1] Clayton R. Paul, "Introduction to Electromagnetic Compatibility", WILEY, 2006.