

# «DJ» EMI Filter für Schaltnetzteil

Pflichtenheft technischer Teil

Windisch, 04.04.2019



**Hochschule** Hochschule für Technik - FHNW

**Studiengang** Elektro- und Informationstechnik

**Auftraggeber** Dr. Luca Dalessandro

**Betreuer** Prof. Dr. Sebastian Gaulocher  
Prof. Peter Niklaus  
Prof. Dr. Richard Gut  
Dr. Anita Gertiser  
Pascal Buchschacher

**Autoren** **Gruppe 1**  
Niklaus Schwegler  
Lukas von Däniken  
Pascal Puschmann  
Alfare Claudio  
Simon Rohrer

**Version** 1.0

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Übersicht</b>	<b>1</b>
1.1	Ausgangslage . . . . .	1
1.2	Projektziele . . . . .	1
1.3	Lieferobjekt . . . . .	1
1.4	Rahmenbedingungen . . . . .	1
<b>2</b>	<b>Theoretische Grundlagen</b>	<b>2</b>
2.1	EMI-Filter . . . . .	2
2.2	Schaltungen . . . . .	2
2.3	Vorgehen . . . . .	3
2.4	Beispiel . . . . .	4
<b>3</b>	<b>Softwarekonzept</b>	<b>6</b>
3.1	Anforderung Software . . . . .	6
3.2	GUI . . . . .	6
3.2.1	Menu . . . . .	7
3.2.2	Filtertabelle . . . . .	8
3.2.3	CM/DM Plot . . . . .	8
3.2.4	Buttonfenster . . . . .	8
3.2.5	Eingabefenster . . . . .	8
3.2.6	Statusleiste . . . . .	8
3.3	Softwarestruktur . . . . .	9
3.3.1	Model . . . . .	9
3.3.2	View . . . . .	9
3.3.3	Controller . . . . .	9
3.3.4	Klassendiagramm . . . . .	9
3.4	Programmablauf . . . . .	9
<b>4</b>	<b>Testkonzept</b>	<b>10</b>
4.1	1 . . . . .	10
4.2	2 . . . . .	10
4.3	3 . . . . .	10
<b>5</b>	<b>Projektvereinbarung</b>	<b>11</b>
<b>6</b>	<b>Anhang</b>	<b>12</b>

# **1 Übersicht**

## **1.1 Ausgangslage**

## **1.2 Projektziele**

## **1.3 Lieferobjekt**

## **1.4 Rahmenbedingungen**

## 2 Theoretische Grundlagen

### 2.1 EMI-Filter

Das vorgegebene EMI-Filtes muss bezüglich der Einfügungsverluste (insertion loss) untersucht werden. Die Einfügungsverluste hängen vom Gesamttrauschen der Schaltung ab. Es wird ein Ansatz verwendet der in der Praxis weit verbreitet ist, bei welchem das Gesamttrauschen in zwei Komponenten unterteilt wird. Man spricht vom Gegen-(=Differential Mode=DM) und Gleichtaktrauschen (=Common Mode=CM) . Anhand der vorgegebenen CM- und DM-Äquivalenten Schaltungen werden die Einfügungsverluste in Funktion der Frequenz berechnet. Die Berechnungen decken einen Bereich von 0 bis 30MHz ab.

Die Einfügungsverluste sind wie folgt definiert:

$$|H(j\omega)| = 20 \log \frac{|U_{20}|}{|U_2|}.$$

Abbildung 2.1: insertionloss

Wobei H dem Streuparameter (S-Parameter) S index 21 entspricht. Die Einfügungsverluste sind auch mit dem Verhältnis von eingehenden zu abegegebenen Leistung zu Berechnen, jedoch eignet sich diese Methode mehr beim messtechnischen bestimmen der Einfügungsverluste. Da die Berechnungen in einem Bereich von bis zu 30 MHz gemacht werden, ist es notwendig die parasitären Parameter von Spule und Kondensator miteinzubeziehen. Zudem können sie in einem Bereich von +- 30

### 2.2 Schaltungen

CM:

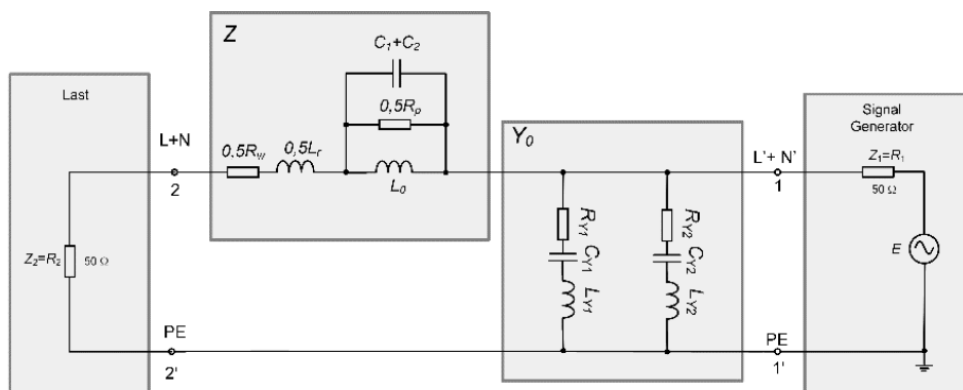


Abbildung 2.2: CM-Schaltungäquivalent

DM:

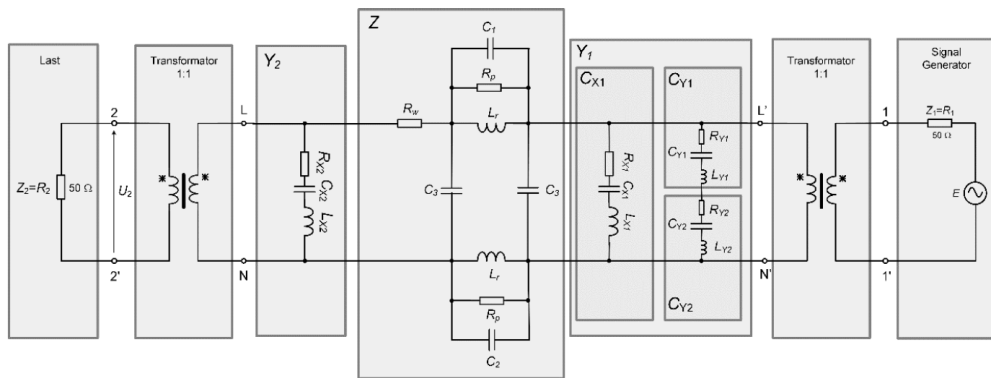


Abbildung 2.3: DM-Schaltungsäquivalent

## 2.3 Vorgehen

Die Einfügungsverluste werden analytisch ermittelt. Im ersten Schritt werden die Berechnungen in MATLAB gemacht. Somit können die Funktionen einfach geplottet werden. Diese Plots werden dann mit Simulationen in MPLAB Mindi verglichen um festzustellen ob diese korrekt sind. Die vollständigen und korrekten Berechnungen können somit in Java implementiert werden. Um die Einfügungsverluste bestimmen zu können, wird das Model der 2-Tore verwendet. Einzelne Schaltungsteile werden in ABCD-Matrixen abgebildet, welche dann durch Kaskadierung der einzelnen ABCD-Matrixen zusammengeführt werden. Die Einfügungsverluste werden den S-Parameter abgeleitet, welche direkt aus der ABCD-Matrix errechnet werden kann. Der S-Parameter Index 12 gibt den Tranmissionsgrad der Wellen an, die vom Tor 1 zum Tor2 übertragen wird. Die S-Parameter sind abhängig von den Bezugswiderständen (Innenwiderstand der Quelle sowie Lastwiderstand). In unserem Fall sind die Bezugswiderstände mit 50Ohm gegeben.

## 2.4 Beispiel

$$IL = -20 * \log(|S_{21}|) \quad (2.1)$$

Bei der Definition der Einfügungsverluste kann für das Verhältnis der Spannungen der Streuparameter S21 eingesetzt werden. Der Streuparameter wird wie folgt berechnet. Schritt1: Berechnen der Längsimpedanz Z und der Queradmittanz Y0. Für die Querimpedanz Y0 ergibt sich die Formel

$$Y_0 = \frac{1}{R_{y1} + \frac{1}{j * \omega * C_{y1}} + j * \omega * L_{y1}} + \frac{1}{R_{y2} + \frac{1}{j * \omega * C_{y2}} + j * \omega * L_{y2}} \quad (2.2)$$

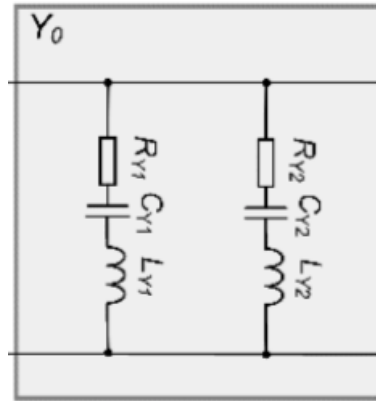


Abbildung 2.4: CM-Admittanz

Für die Impedanz Z ergibt sich folgende Formel

$$Z = 0.5 * R_w + j * \omega * L_r + \frac{1}{\frac{1}{0.5 * R_p} + j * \omega * L_r * (C_1 + C_2) + \frac{1}{j * \omega * L_0}} \quad (2.3)$$

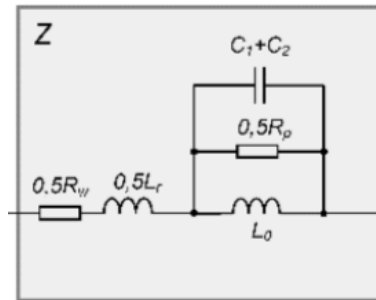


Abbildung 2.5: CM-Impedanz

Schritt2: Erstellen der ABCD-Matrixen.

Somit ergeben sich die ABCD-Matrixen wie folgt

$$A_1 = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ Y & 1 \end{pmatrix} \quad (2.4)$$

$$A_2 = \begin{pmatrix} 1 & Z \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2.5)$$

Die ABCD-Matrixen haben den Vorteil, dass man sie sehr unkompliziert kaskadieren kann indem man das Produkt bildet.

$$A = A_1 * A_2 \quad (2.6)$$

Schritt3: S21 Parameter bilden.

Der S21 Parameter ist wie folgt definiert.

$$S_{21} = \frac{2}{A_{11} + \frac{A_{12}}{R_w} + A_{21} * R_w + A_{22}} \quad (2.7)$$

Somit sind alle gesuchten Werte gegeben und der S21 Parameter wird durch einsetzen der Werte gebildet.

Schritt4: Einfügungsverluste bilden

Durch Einsetzen des Streuparameters S21 in die Definition der Einfügungsverluste, lassen sich diese darstellen. Folgende Grafik zeigt die Berechnungen in MATLAB.

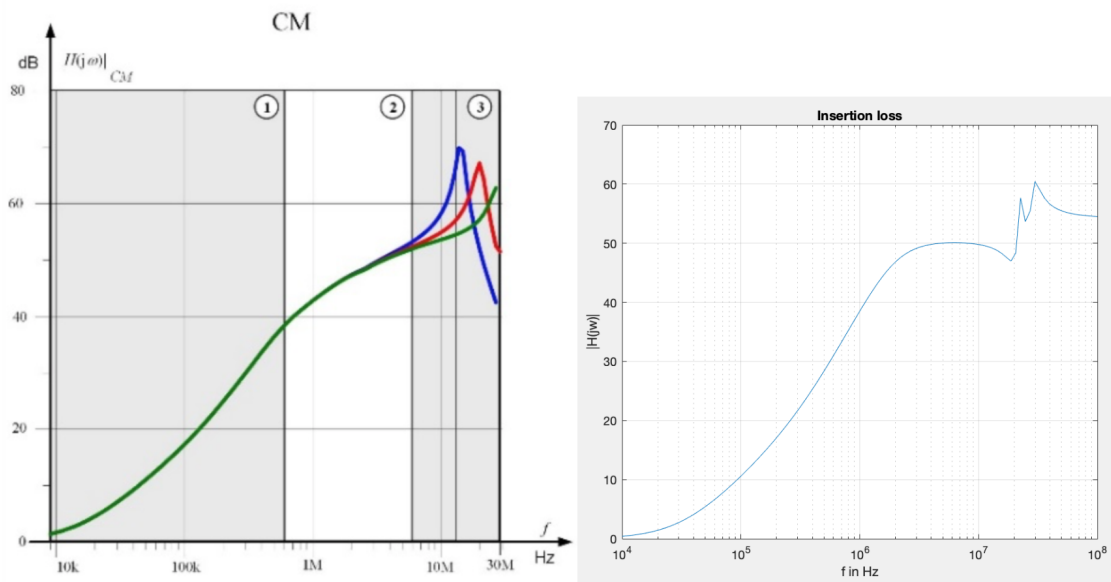


Abbildung 2.6: Vergleich

## 3 Softwarekonzept

### 3.1 Anforderung Software

Die Software soll das Frequenzverhalten und die Einfügungsverluste von CM und DM des EMI-Filters simulieren können. Das Werkzeug soll insbesondere mit einer Empfindlichkeitsanalyse die Auswirkungen der parasitären Parameter auf die Einfügungsverluste des Filters darstellen. Die parasitären Filterparameter können in einem Bereich von  $\pm 30\%$  variiert werden. Der Filter wird mit Hilfe von CM- und DM äquivalenten Schaltungsmodelle berechnet. Um die Auswirkungen der Parametervariation besser sichtbar zu machen, wird der Frequenzbereich des Filters in 3 Sektoren aufgeteilt: 0 kHz bis 500 kHz, 500 kHz bis 5 MHz und 5 MHz bis 30 MHz.

Die folgende Konzeptbeschreibung der Software bezieht sich auf die maximal anzustrebende Lösung, dass heisst mit allen Wunschzielen inkludiert. Die Software wird so strukturiert, dass wenn diese Lösung nicht erreicht wird, die Software gut zur maximal anzustrebende Lösung erweiterbar ist.

### 3.2 GUI

Die GUI wird in 6 Teilbereiche aufgeteilt: Menu, Filtertabelle, CM/DM Plot, Buttonfenster, Eingabefenster und Statusleiste. In der Abbildung 3.1 GUI ist die Benutzerfläche des Programms dargestellt.

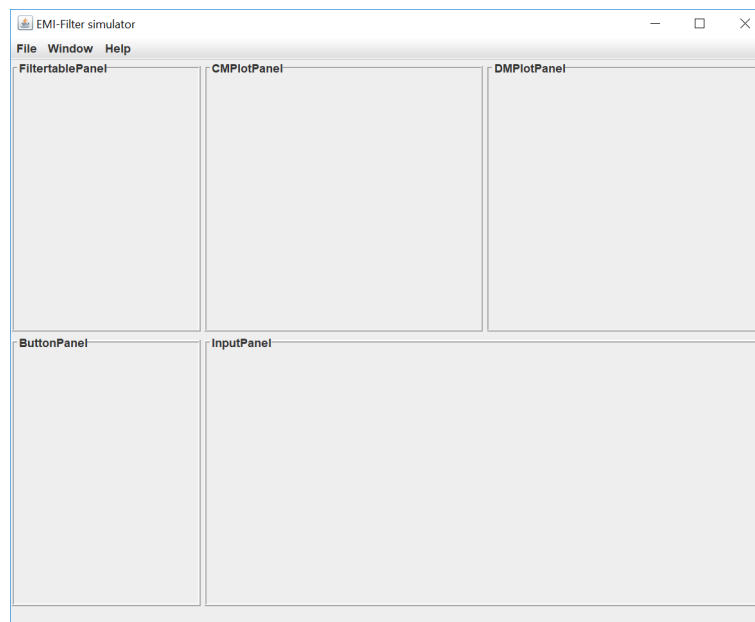


Abbildung 3.1: GUI



### 3.2.1 Menu

Im Menu können verschiedene Optionen ausgewählt werden.

#### File

Im Menüpunkt "File" können Filterprofile gespeichert und geladen werden. Bei beiden Optionen wird der Explorer geöffnet um die .txt Datei im gewählten Verzeichnis abzulegen oder zu holen. In der Option Exit kann das Programm geschlossen werden. Dieser Menüpunkt ist in der Abbildung Abbildung 3.2 Menuoption File ersichtlich.



Abbildung 3.2: Menuoption File

#### Window

Im Menüpunkt "Window" können die beiden Plots der CM und DM Berechnungen zur besseren Analyse in einem separaten Fenster geöffnet werden. Dieser Menüpunkt ist in der Abbildung Abbildung 3.3 Menuoption Window ersichtlich.

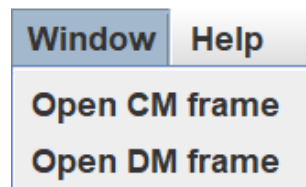


Abbildung 3.3: Menuoption Window

#### Help

Im Menüpunkt "Help" können die beiden CM- und DM äquivalenten Schaltungsmodelle, die zur Berechnung verwendet werden, in einem separaten Fenster dargestellt werden. Dieser Menüpunkt ist in der Abbildung Abbildung 3.4 Menuoption Help ersichtlich.



Abbildung 3.4: Menuoption Help

### 3.2.2 Filtertabelle

In der Filtertabelle werden alle erstellte Filterprofile dargestellt und verwaltet. Mit einer Check-box können einzelne Profile im Plot aus- bzw. eingeblendet werden. Zudem kann bei jedem Filterprofil einen Namen und eine Plotfarbe hinzugefügt werden. Die parasitären Filterparameter des ausgewählten Filterprofils werden in das Eingabefenster geladen und können dort verändert werden. Mit den Shortcuts Backspace und Delete können ausgewählte Profile gelöscht werden.

### 3.2.3 CM/DM Plot

In den CM/DM Plots werden die Berechnungen logarithmisch visualisiert. Die Plots sind für die bessere Darstellung in 3 Frequenzbereiche aufgeteilt: 0 kHz bis 500 kHz, 500 kHz bis 5 MHz und 5 MHz bis 30 MHz.

### 3.2.4 Buttonfenster

Im Buttonfenster können Filterprofile in die Filtertabelle geladen oder entfernt werden. Mit dem Button Add werden die eingegebene parasitären Filterparameter in einem neuen Filterprofil gespeichert. Mit dem Button Remove wird das ausgewählte Filterprofil gelöscht. Der Button dient als alternative zu den Shortcuts.

### 3.2.5 Eingabefenster

Im Eingabebereich befinden sich die einzelnen parasitären Filterparameter. Es können Werte eingegeben und diese mit einer Toleranz von  $\pm 30\%$  mit einem Schieberegler variiert werden. Die Werte werden direkt in die Filterprofile geladen, um eine Neuberechnung durchzuführen.

### 3.2.6 Statusleiste

In der Statusleiste werden Informationen und Fehlermeldungen ausgegeben.

### 3.3 Softwarestruktur

Die Software wird mit dem Model-View-Controller Entwurfsmuster (MVC Design Pattern) **MVCDesignPattern** strukturiert. Durch diese Strukturierung ist es weitgehende möglich die Daten und dessen graphischer Repräsentation zu trennen. Dies vereinfacht Wartungsarbeiten und die Wiederverwendbarkeit von Programmteile. Die Struktur ist in die drei Teilen Modell(engl. model), Präsentation(engl. view) und Steuerung(engl. controller) unterteilt

#### 3.3.1 Model

#### 3.3.2 View

#### 3.3.3 Controller

#### 3.3.4 Klassendiagramm

### 3.4 Programmablauf

## **4 Testkonzept**

**4.1 1**

**4.2 2**

**4.3 3**

## 5 Projektvereinbarung

**Auftraggeber**

Dr. Luca Dalessandro

---

Ort, Datum

---

Unterschrift

**Projektleiter**

Niklaus Schwegler

---

Ort, Datum

---

Unterschrift

## 6 Anhang