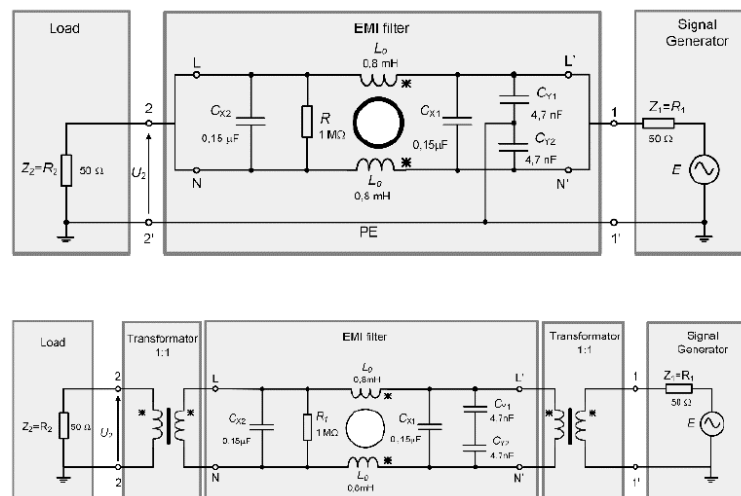


# «DJ» EMI Filter für Schaltnetzteil

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  
Claudio Alfare  
Simon Rohrer  
Marco Binder

**Version** 1.0

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Übersicht</b>	<b>1</b>
1.1	Ausgangslage . . . . .	1
1.2	Projektziele . . . . .	2
1.3	Nicht-Ziele . . . . .	3
1.4	Lieferobjekt . . . . .	3
1.5	Rahmenbedingungen . . . . .	3
<b>2</b>	<b>Theoretische Grundlagen</b>	<b>4</b>
2.1	EMI-Filter . . . . .	4
2.2	Schaltungen . . . . .	4
2.3	Vorgehen . . . . .	5
2.4	Berechnungsbeispiel . . . . .	6
<b>3</b>	<b>Softwarekonzept</b>	<b>8</b>
3.1	Anforderung Software . . . . .	8
3.2	GUI . . . . .	8
3.2.1	Menu . . . . .	9
3.2.2	Filtertabelle . . . . .	10
3.2.3	CM/DM Plot . . . . .	10
3.2.4	Buttonfenster . . . . .	10
3.2.5	Eingabefenster . . . . .	10
3.3	Softwarestruktur . . . . .	11
3.3.1	Model . . . . .	11
3.3.2	View . . . . .	11
3.3.3	Controller . . . . .	11
3.3.4	Klassendiagramm . . . . .	12
3.4	Programmablauf . . . . .	13
3.5	Libraries . . . . .	13
<b>4</b>	<b>Testkonzept</b>	<b>14</b>
<b>5</b>	<b>Projektvereinbarung</b>	<b>15</b>
<b>6</b>	<b>Anhang</b>	<b>16</b>

# 1 Übersicht

## 1.1 Ausgangslage

Schaltnetzteile von elektrischen Geräten verursachen Leitungsgebundene Störungen. Deshalb schreiben Normen, wie beispielsweise die EN 55022 für IT-Ausrüstung, Grenzen für solche Störungen vor. Diese müssen deshalb mit einem Filter gedämpft werden. Sie werden unterteilt in Schaltfrequenzen, Oberschwingungen, und EMC / EMI Emissionen. EMC / EMI Emissionen sind in einem Frequenzbereich von 150 kHz – 30 MHz. Es gibt zwei Arten von Störungen oder Rauschen. Das Gleichtaktrauschen, oder common mode und das Gegentaktrauschen, differential mode. Beim common mode treten die Störspannungen zwischen Netzwerkleitern und Bezugsmasse auf und die Störströme fließen in Richtung der Netzwerksleiter. Beim differential mode tritt die Störspannung zwischen den Versorgungsleitungen auf und die Störströme fließen in Richtung der Netzwerkströme. Schaffner hat uns nun den Auftrag erteilt ein Simulationsprogramm für Netzwerkfilter zu entwickeln. Die Anforderungen an das Programm sind, dass die Dämpfungseigenschaften des Filters und die Einfügungsverluste ermittelt werden können, sowohl für common mode als auch für differential mode. Die Parameter der parasitären Einflüsse können um  $\pm 30\%$  verändert werden. Das Programm soll einen analytischen Ansatz verfolgen oder mit einer Simulation gelöst werden.

## 1.2 Projektziele

Folgende Ziele wurden festgelegt:

Zielkriterium	Zielvariable	Randbedingung
<b>1. Elektrotechnik</b>		
- Frequenzverhalten von DM und CM des EMI-Filters	x	x
- Einfügungsverluste von DM und CM (Insertion loss)		
- Auswirkung parasitärer Parameter (Empfindlichkeitsanalyse)		
- Variieren der Parasitäre Parameter im Bereich $\pm 30\%$ Direkter Vergleich von 2 Filterdesigns bezüglich Leistung		
3 Frequenzbereiche		
1.2. dummy		
<b>2. Software</b>		
Plattformunabhängige Software		
-> Java		
Gute Softwarestrukturierung		
Benutzerfreundlich		
Einfache Bedienung		
Geschützt vor Fehleingaben		
CM/DM Plot in einem eigenen Fenster gross darstellen		
<b>3. Wunschziele</b>		
Mehrere Filter gleichzeitig berechnen und anzeigen lassen		
In einer Tabelle können einzelne Filterprofile verwaltet werden		
Die Filterprofile können benannt werden		
Die Farbe der Kurve kann verändert werden		
Filterprofile speichern und laden		
Monte Carlo		

### 1.3 Nicht-Ziele

dummytext

Folgende Nicht-Ziele wurden definiert:

Nicht-Zielkriterium	Nicht-Zielvariable
1. Planung	dummy
	dummy
	dummy
2. Realisierung	
	dummy

### 1.4 Lieferobjekt

### 1.5 Rahmenbedingungen

## 2 Theoretische Grundlagen

### 2.1 EMI-Filter

Das vorgegebene EMI-Filter 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:

$$|IL| = |H(j\omega)| = 20 * \log\left(\frac{|U_{20}|}{|U_2|}\right) \quad (2.1)$$

In der Definition kann das Spannungsverhältnis durch den Streuparameter (S-Parameter)  $S_{21}$  ersetzt werden. Dieser Parameter beschreibt den Transmissionsgrad des Filters. Die Einfügungsverluste wären auch mit dem Verhältnis von eingehende zu abgegebene Leistung zu berechnen, jedoch eignet sich diese Methode mehr beim messtechnischen bestimmen der Einfügungsverluste.

$$|IL| = 20 * \log(|S_{21}|) \quad (2.2)$$

Folgende Schaltungen stellen die CM- und DM-Äquivalenten Schaltungen. Da die Berechnungen in einem Bereich von bis zu 30 MHz gemacht werden, ist es notwendig die parasitären Parameter von Spule und Kondensator miteinzubeziehen.

### 2.2 Schaltungen

CM:

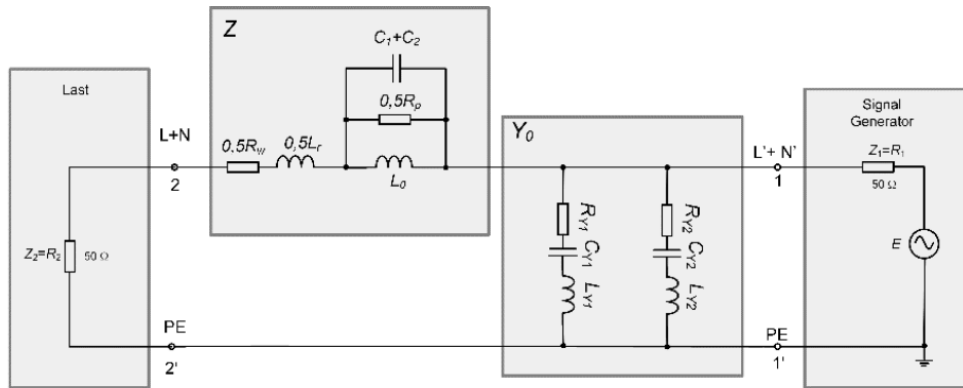


Abbildung 2.1: CM-Schaltungäquivalent

DM:

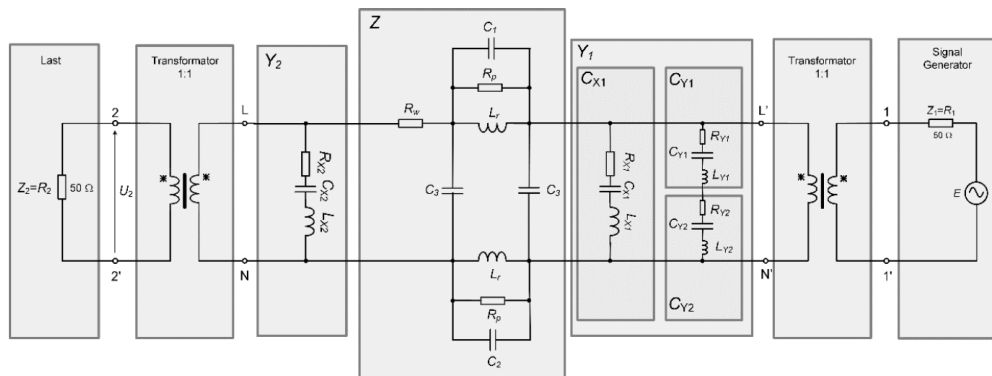


Abbildung 2.2: DM-Schaltungsäquivalent

## 2.3 Vorgehen

Die Einfügungsverluste werden analytisch ermittelt. Im ersten Schritt werden die Berechnungen in MATLAB gemacht. Somit können die Funktionen 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 aus den S-Parameter abgeleitet, welche direkt aus der ABCD-Matrix berechnet werden. Der S-Parameter  $S_{21}$  gibt den Transmissionsgrad 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 Berechnungsbeispiel

Folgender Abschnitt zeigt auf, wie die Einfügungsverluste ermittelt werden. Als Beispielschaltung wird das CM-Schaltungsäquivalent verwendet. Die Schaltung beinhaltet eine Queradmittanz und eine Längsimpedanz, welche in Schritt 1 zusammengefasst werden. Im Schritt 2 werden diese dann in die ABCD-Matrixen (Kettenmatrixen) eingesetzt. Durch kaskadieren der einzelnen Kettenmatrixen wird in Schritt 3 die Kettenmatrix der kompletten Schaltung erstellt. Diese Kettenmatrix kann nun zusammen mit dem Bezugswiderstand in die Definition des Streuparameters S21 eingesetzt werden (Schritt 4).

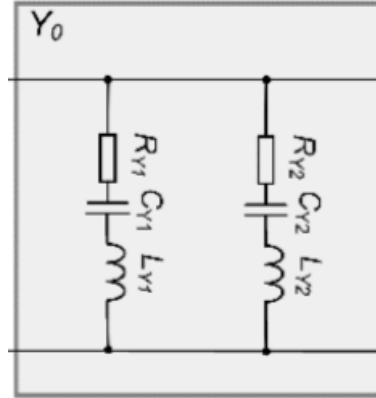


Abbildung 2.3: CM-Admittanz

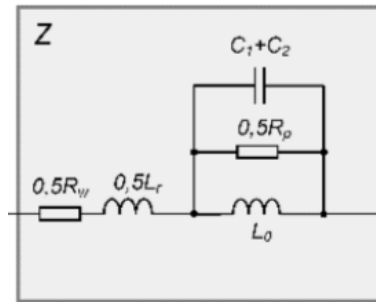


Abbildung 2.4: CM-Impedanz

Schritt 1: Berechnen der Längsimpedanz Z und der Queradmittanz Y0. Für die Querimpedanz Y0 ergibt sich die Formel

$$Y_0 = \frac{1}{R_{y1} + \frac{1}{j\omega C_{y1}} + j\omega L_{y1}} + \frac{1}{R_{y2} + \frac{1}{j\omega C_{y2}} + j\omega L_{y2}} \quad (2.3)$$

Für die Längsimpedanz ergibt sich folgende Formel

$$Z = 0.5 * R_w + j\omega L_r + \frac{1}{\frac{1}{0.5R_p} + j\omega L_r * (C_1 + C_2) + \frac{1}{j\omega L_0}} \quad (2.4)$$

Schritt 2: Erstellen der ABCD-Matrixen.

Somit ergeben sich die ABCD-Matrixen wie folgt

$$A_1 = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ Y & 1 \end{pmatrix} \quad (2.5)$$



$$A_2 = \begin{pmatrix} 1 & Z \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2.6)$$

Schritt 3: Gesamt-Kettenmatrix bilden Die ABCD-Matrixen haben den Vorteil, dass man sie sehr unkompliziert kaskadieren kann indem man das Produkt bildet.

$$A = A_1 * A_2 = A_2 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & Z \\ Y & 1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2.7)$$

Schritt 4: S21 Parameter bilden.

Der S21 Parameter ist wie folgt definiert.

$$S_{21} = \frac{2}{A_{11} + \frac{A_{12}}{R_w} + A_{21} * R_w + A_{22}} \quad (2.8)$$

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

Schritt 5: Einfügungsverluste bilden

Durch einsetzen des Streuparameters S21 in die Definition der Einfügungsverluste lassen sich diese darstellen. Folgende Grafik zeigt die Berechnungen in MATLAB (Mitte) im Direktvergleich mit der Grafik aus der Aufgabenstellung (Links) sowie die Simulation in MPLAB Mindi (Rechts). Die Differenzen lassen sich dadurch erklären, dass in der Aufgabenstellung die Werte der Bauelemente nicht gegeben sind.

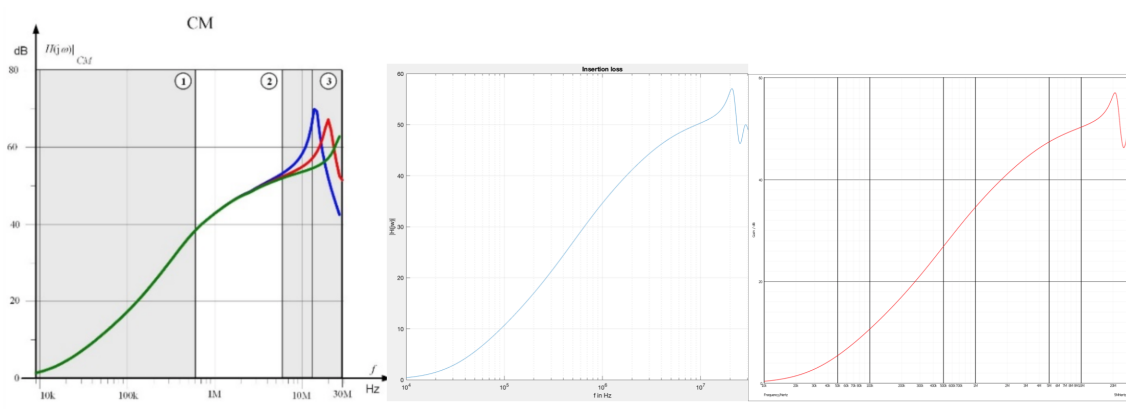


Abbildung 2.5: Vergleich

## 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. Das Klassendiagramm ist in der Abbildung 3.6 Klassendiagramm ersichtlich.

### 3.2 GUI

Die GUI wird in 5 Teilbereiche aufgeteilt: Menu, Filtertabelle, CM/DM Plot, Buttonfenster und Eingabefenster. In der Abbildung 3.1 GUI ist die Benutzerfläche des Programms dargestellt.

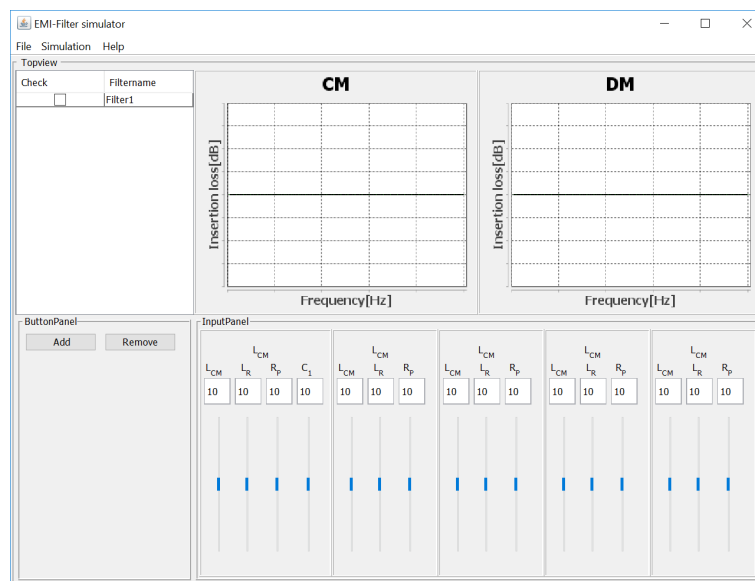


Abbildung 3.1: GUI

### 3.2.1 Menu

Im Menu können verschiedene Optionen ausgewählt werden. Diese sind ebenfalls alle mit einem Shortcut aufrufbar.

#### File

Im Menupunkt "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 Menupunkt ist in der Abbildung 3.2 Menuoption File dargestellt.

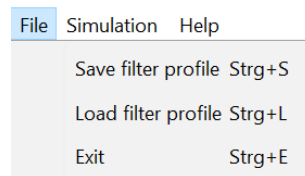


Abbildung 3.2: Menuoption File

#### Simulation

Im Menupunkt "Simulation" kann die Simulationsart Monte Carlo ausgewählt werden. Es öffnet sich ein neues Fenster in dem der Parameter, die Toleranz und die Anzahl Messungen eingestellt werden kann. Dieser Menupunkt ist in der Abbildung 3.3 dargestellt.

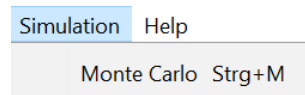


Abbildung 3.3: Menuoption Simulation

#### Help

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

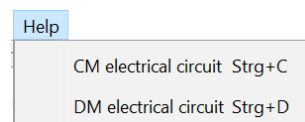


Abbildung 3.4: Menuoption Help

### 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 hinzugefügt werden. Die parasitären Filterparameter des ausgewählten Filterprofils werden in das Eingabefenster geladen und können dort verändert werden. Mit den Shortcuts Backspace and 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. Mit einem Rechtsklick auf den Plot können verschiedene Optionen ausgewählt werden. So können die Eigenschaften (Farbe, Darstellung, Schrift usw.) und der Zoom individuell eingestellt werden. Der Plot kann auch direkt in eine .png Datei abgespeichert oder gedruckt werden. Diese Optionen sind in der Abbildung 3.5 Ploteinstellungen ersichtlich.

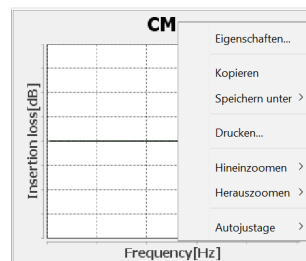


Abbildung 3.5: Ploteinstellungen

### 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.

### 3.3 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

Das Model enthält Arbeitsdaten eines Programmes und ist für die Berechnungen zuständig. Das Model enthält niemals Referenzen auf die view und den controller und ist somit von diesen Teilen abgegrenzt.

#### 3.3.2 View

Die view ist für die Darstellung der Programmoberfläche (GUI) und der Berechnungen zuständig. Mit entsprechender Schnittstellen werden die Benutzereingaben weitergeleitet.

#### 3.3.3 Controller

Der Controller ist die vermittelnde Schicht zwischen der Grafischen Darstellung und den Berechnungen. Der controller muss somit Zugriff auf die Programmoberfläche und Daten haben.

## 3.3.4 Klassendiagramm

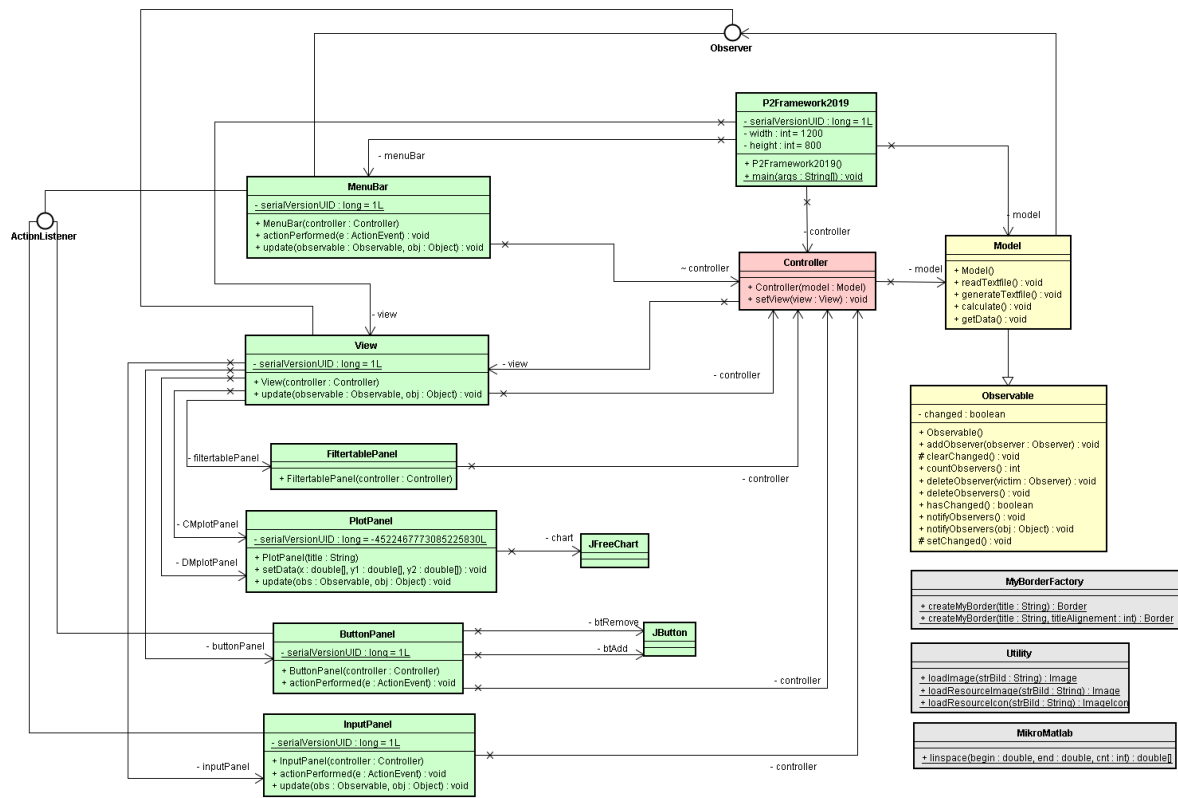


Abbildung 3.6: Klassendiagramm

### 3.4 Programmablauf

Nach dem Aufstarten des Programmes kann der Benutzer über die Programmoberfläche (3.1 GUI) seine Simulationen starten. Am Anfang ist ein default Filter initialisiert. Dieser ist in der Filtertabelle eingetragen, jedoch sind die parasitären Filterparameter im Eingabefenster noch undefiniert. Der Benutzer kann diese nun definieren und die berechneten Einfügungsverluste von CM und DM des EMI-Filters werden im Plot dargestellt. Mit dem Button Add wird der Filter abgespeichert und ein neuer Filter kann definiert werden. Es können somit mehrere Filter gleichzeitig dargestellt werden.

Um die Filter richtig zu verwalten ist es möglich in der Filtertabelle über die Checkbox einzelne Filter im Plot ein und auszublenden. Ebenfalls können sie spezifisch benannt werden. Der Plot und die einzelnen Kurven können mit einem Rechtsklick auf den CM/DM Plot individuell angepasst und auch exportiert werden. Wird ein Filter nicht mehr benötigt kann er in der Filtertabelle angewählt und mit dem Button Remove entfernt werden. Damit der Benutzer nicht jedesmal die Filterprofile einstellen muss, können diese über File/Save filterprofil in einer .txt Datei abgespeichert werden. Bei einem Neustart des Programmes kann über File/Load filterprofile die Filterprofile wieder geladen werden.

Um die Auswirkungen einzelner parasitären Filterparameter besser zu analysieren, kann unter Simulation/Monte Carlo eine Monte Carlo Simulation gestartet werden. Es wird ein neues Fenster geöffnet in dem der Filterparameter, die Toleranz und die Anzahl Berechnungen eingestellt werden können. Jede Berechnung wird als einzelner Filter in die Filtertabelle geladen. Um nachzuschauen wo welche Filterparameter sich in der Schaltung befindet, können unter Help/CM electrical circuit und CM electrical circuit die Ersatzschaltungen, von der die Berechnungen ausgehen, angeschaut werden. Das Programm wird über File/Exit oder beim Schliessen des Fensters beendet.

### 3.5 Libraries

In der Software werden folgende Libraries verwendet:

**Swing:** Mit dem vorinstallierten Swing Framework von Java wird die GUI aufgebaut.

**JFreeChart:** Die Berechnungen werden mit JFreeChart grafisch also Plot dargestellt. **jfreechart**

**Apache Math Commons** Die Apache Math Commons Library beinhaltet wichtige Mathematikfunktionen, wie rechnen mit Komplexen Zahlen usw. **apache**

**Engineering Text Fields** Die von Prof. Dr. Richard Gut zur Verfügung gestellte Klasse verhindert Fehleingaben und vereinfacht die Eingabe von Zahlen (nano,piko...)

**Minimatlab:** Die von Prof. Dr. Richard Gut zur Verfügung gestellte Klasse beinhaltet bekannte Matlab Befehle und vereinfacht somit die Berechnung s

## 4 Testkonzept

Um das fertige Produkt zu testen werden drei Testläufe unternommen. Zuerst wird das Programm durch das Projektteam getestet. Dabei wird das GUI auf Herz und Nieren geprüft. Die Funktionen werden alle mehrmals ausprobiert und die berechnete Kurve, des eingestellten Filters wird mit einer PSpice Simulation mit gleichen Werten verglichen. Im zweiten Testlauf wird das Programm dem Auftraggeber abgegeben. Er testet das Programm und gibt ein Feedback. Er kann noch kleine Änderungen verlangen aber am Grobkonzept wird nichts mehr geändert. In der dritten Testphase wird das Programm an Mitstudenten oder in Elektrotechnik versierte Kollegen abgegeben. Dabei wird getestet, wie benutzerfreundlich das Projekt ist und wie stabil es auf den Rechnern der Tester läuft. Dabei wird auch versucht das Programm einem Stresstest zu unterziehen um es zum Abstürzen zu bringen.



## 5 Projektvereinbarung

**Auftraggeber**

Dr. Luca Dalessandro

---

Ort, Datum

---

Unterschrift

**Projektleiter**

Niklaus Schwegler

---

Ort, Datum

---

Unterschrift

## 6 Anhang