**Pflichtenheft**

**Fachlicher Teil**

**BILD**

**«DJ» EMI Filter für Netzteil**

Pro2E - Team 5

**Auftraggeber:** Dr. Luca Dalessandro

**Dozierende:** Anita Gertiser

Pascal Buchschacher

Peter Niklaus

Sebastian Gaulocher

Richard Gut

**Projektteam:** Marina Taborda, Projektleiterin

Michel Alt, Stv. Projektleiter

Frank Imhof

Luca Krummenacher

Richard Britt

Fady Hanna

Windisch, 20.03.2019

Inhaltsverzeichnis

[1. Übersicht 3](#_Toc3931560)

[1.1 Ausgangslage 3](#_Toc3931561)

[1.1. Projektziele 4](#_Toc3931562)

[1.2. Wunschziele 4](#_Toc3931563)

[1.3. Nicht-Ziele 5](#_Toc3931564)

[1.2 Lieferobjekte 5](#_Toc3931565)

[2 Theoretische Grundlagen 6](#_Toc3931566)

[2.1 Einleitung EMI Filter 6](#_Toc3931567)

[2.2 Aufbau EMI Filter 6](#_Toc3931568)

[2.3 Störungsarten 6](#_Toc3931569)

[2.4 Definition Einfügungsverluste «Insertion loss» 7](#_Toc3931570)

[2.5 Parasitäre Parameter 7](#_Toc3931571)

[3 Vorgehensweise Berechnung Einfügungsverluste 8](#_Toc3931572)

[4 Softwarekonzept 9](#_Toc3931573)

[4.1 GUI 9](#_Toc3931574)

[4.2 Softwarestruktur 9](#_Toc3931575)

[4.3 Beschreibung Programablauf 9](#_Toc3931576)

[5 Testkonzept 10](#_Toc3931577)

[5.1 Kontrolle bei der Entwicklung 10](#_Toc3931578)

[5.2 Überprüfung mit Matlab 10](#_Toc3931579)

[5.3 Integrationstest 10](#_Toc3931580)

[5.4 Softwaretest 10](#_Toc3931581)

[6 Schlussfolgerung 11](#_Toc3931582)

[1. Abbildungsverzeichnis 12](#_Toc3931583)

[2. Literaturverzeichnis 12](#_Toc3931584)

# Übersicht

## Ausgangslage

Um Heutzutage ein elektrisches Gerät benützen zu können, brauchte es nahezu in allen Geräten ein Schaltnetzteil. So z.B. wird jeder Fernseher und jeder Computer mit einem Schaltnetzteil versorgt. In Industriegeräten und -anlagen sind sie ebenfalls Stand der Technik.

Die Schaltnetzteile sind zuständig für die Anpassung der Netzspannung (auch Transformation) auf die gewünschte Spannung, dass das elektronische Gerät benötigt. Bei dieser Transformation kommt es zu leitungsgebundenen Störungen. Diese Störungen sind durch Normen festgelegt.

In dieser Arbeit werden diese Störungen mit einem Tool/ Programm/ GUI berechnet und dargestellt. Dabei kann man das Verhalten der Störung bei selbsteingegebenen Werten beobachten.

## Projektziele

Folgende Anforderungen wurden als Pflichtziele definiert. Diese sind notwendig und müssen beim Endprodukt komplett erfüllt werden.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Nr. | Bereich | Beschreibung |
| 1 | GUI-Struktur | - Das GUI ist schlicht und logisch  - Programm als MVC Framework  - GUI soll selbsterklärend sein |
| 2 | Art der Daten-eingabe der Messdaten | Messwerteingabe über Textfelder und einstellbar über Slider |
| 3 | Berechnungen | Berechnungen müssen korrekte Ergebnisse liefern |
| 4 | Ausgabe der Messwerte | - Ausgabe der Resultate mit Graphen  - 2-dimensionale Darstellung |
| 5 | Bedienbarkeit | Soll einfach zu bedienen sein |
| 6 | Design | Soll übersichtlich dargestellt werden |

## Wunschziele

Je nach zeitlichem Verlauf des Projektes können (müssen aber nicht) Zusatzfunktionen implementiert werden. Voraussetzung ist, dass das Projekt keine Verzögerungen erfährt.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Nr. | Bereich | Beschreibung |
| 1 | Ausgabedatei | Speichert die Graphen und Parameter in eine Pdf Datei ab. |
| 2 | Eingabedatei | Gespeicherte Datei kann wieder mit den eingegebenen Daten wiederhergestellt werden. (Save-Load-Option) |
| 3 | Programm | Animierte Funktionen (z.B. vibrierende Taster bei falscher Eingabe, etc.)  Eine Funktion, bei der sich der Wert beim Slider selbst immer wieder verändert (Sweeping) und man die Veränderung graphisch sieht. |

## Nicht-Ziele

Es gibt auch einige Ziele, welche bewusst nicht zu erreichen sind. Diese würden den Rahmen des Projektes sprengen, da sie zu zeitintensiv sind.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Nr. | Bereich | Beschreibung |
| 1 | Darstellung | 3-dimensionale Darstellung |
| 2 | Eingabefelder | Zusätzliche Eingabefelder für gewünschte Kurve. Dabei werden die optimalen Bauteile dazu berechnet |
| 3 | Webapplikation | Tablet-Version und Smartphone Version |

## Lieferobjekte

Die Lieferobjekte sind festgelegt in der unten aufgeführten Tabelle. Die Berichte werden per Mail an die Herren Dalessandro, Niklaus, Gaulocher und Buchschacher geschickt.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Datum: | Lieferobjekte |  |  |
| 28.02.2019 | KIS | | |
| 21.03.2019 | Pflichtenheft Version 1 | | |
| 28.03.2019 | Statusbericht 1 | | |
| 04.04.2019 | Pflichtenheft Endversion | | |
| 11.04.2019 | Zwischenpräsentation | | |
| 02.05.2019 | Disposition, Einleitung und Statusbericht 2 | | |
| 16.05.2019 | Statusbericht 3 | | |
| 13.06.2019 | Fachbericht und Präsentation | | |

# Theoretische Grundlagen

## Einleitung EMI Filter

Nahezu jedes elektrische Gerät besitzt ein Schaltnetzteil um die Netzspannung auf die benötigte Spannung zu regeln. Betrachtet man die Eingangsspannung ohne Netzfilter, wird man auf dem ganzen Frequenzspektrum, d.h. von Netzfrequenz bis zu mehreren MHz Störungen feststellen. Die Aufgabe vom EMI (elektromagnetische Interferenzen) Filter ist es, diese Störungen zu filtern, so dass keine anderen Geräte, gestört werden. Dabei muss jedes Schaltnetzteil sich an bestimmte Normen im Bereich EMV halten. Damit dieses eingesetzt werden darf.

## Aufbau EMI Filter

Ein EMI Filter für einphasige Geräte besteht nur aus wenigen Bauteilen. Zwei X-Kondensatoren, zwei Y-Kondensatoren, einer Drossel mit zwei Windungen, welche um einen Ferit Ring gewickelt sind und einem Widerstand. Diese Schaltung kann sehr kompakt verbaut werden, was in folgendem Filter von Schaffner sichtbar wird.

 

Abbildung: 1 Schaltung des FN 2020 Filters (Schaffner), sowie der Filter selbst

Die stromkompensierte Drossel (L), ist in der Lage, Gleichtaktstörungen (CM) zu filtern. Diese Störungen treten gleichzeitig auf beiden Leitungen auf.

Die Y-Kondensatoren, welche gegen Erde geschaltet sind, ebenfalls dazu da um CM-Störungen zu filtern. Diese müssen jedoch eine sehr hohe Überspannungsfestigkeit besitzen, um beispielsweise bei einem Blitzschlag, keinen Kurzschluss im Gehäuse zu verursachen.

Störungen zwischen den Zuleitungen, so genannte Gegentaktstörungen (DM) werden mit den X-Kondensatoren gedämpft. [1]

## Störungsarten

Die existierenden EMV Normen gelten für das Gesamtrauschen. Doch in der Praxis wird einfachheitshalber die Gesamtstörung in Gleichtaktrauschen, Comon Mode (CM) und Gegentaktrauschen, Direct Mode (DM) gesprochen.

 

Abbildung: 2 Stromzirkulation der Störungen im DM- und CM-Mode

## Definition Einfügungsverluste «Insertion loss»

Die Leistung eines EMI Filters wird mit den Einfügungsverluste in Abhängigkeit der Frequenz bestimmt. Diese Funktion lautet:

: Lastspannung gemessen ohne Filter mit einer Last von 50 Ω

: Lastspannung gemessen mit EMI Filter

 

Abbildung: 3 Lastspannung ohne Filter und Last mit EMI Filter

## Parasitäre Parameter

In der Realität verhalten sich die Bauteile eines EMI-Filters leider nicht genau so, wie wir es idealerweise annehmen. Jedes Bauteil hat aufgrund der physikalischen Gegebenheiten eine Ersatzschaltung mit den parasitären Parametern. Diese haben vor allem in den höheren Frequenzbereichen einen grossen Einfluss. Deshalb hat man für das Grundschema diese Parameter ergänzt.



Abbildung: 4 CM-Ersatzschaltung



Abbildung: 5 CM-Ersatzschaltung mit parasitären Parametern

# Vorgehensweise Berechnung Einfügungsverluste

Wir befassen uns zunächst mit der CM-Ersatzschaltung, da sich diese leichter vereinfachen lässt. Man nutzt die Symmetrie der Schaltung aus, indem man bei der CM-Schaltung die beiden Leiter mit derselben Störung zusammenfasst. Ausserdem lässt man die CX-Kondensatoren weg, da diese bei dieser Schaltung trivial sind. Die reduzierte Schaltung sieht nun schon wesentlich schlanker aus.



Abbildung: 6 Vereinfachte CM-Schaltung

Nun bestimmen wir die Gesamtimpedanz (Z1), sowie die Gesamtimpedanz (Z2).

Wobei ist und wir später die Impedanzen für ein Frequenzspektrum von 50Hz bis 30MHz berechnen werden.

Wir berechnen nun die Kettenmatrix (A1) für die Längsimpedanz (Z1) sowie (A2) für die Querimpedanz (Z2).

Für den S21-Parameter benötigen wir die Gesamtmatrix, diese berechnet man mit Hilfe der Kettenschaltung, in dem man die beiden Matrizen miteinander multipliziert.

Aus dieser Matrix können wir nun den S21 Parameter bestimmen, da die Bezugswiderstände Rw = R1 = R2 = 50Ω gleich gross sind, ergibt sich folgende Formel.

Nun können wir die Einfügungsdämpfung a in dB berechnen:

Diese Berechnungen haben wir in MATLAB realisiert und für verschiedene Frequenzen die Dämpfungen berechnet, dabei haben wir folgende Kurven bekommen. Der Code für die Berechnungen befindet sich im Anhang. [2] [3] [4]



Abbildung: 7 Insertion Loss Kurve aus MATLAB

# Softwarekonzept

## GUI

## Softwarestruktur

## Beschreibung Programablauf

# Testkonzept

Das Testkonzept beschreibt die Methoden, welche für die Überprüfung des Programms verwendet werden. Das Programm soll am Ende alle Anforderungen des Auftraggebers erfüllen und einwandfrei funktionieren. Ebenfalls sollte das Programm benutzerfreundlich und selbsterklärend sein. Damit alle Forderungen erfüllt werden können, müssen alle Teilbereiche des Produkts fortgehend kontrolliert und getestet werden.

## Kontrolle bei der Entwicklung

Damit keine schwerwiegenden Fehler auftreten, wird das Programm während der Entwicklung schon getestet. Die erkannten Fehler sollen dabei korrigiert und protokoliert werden. Dies hat den Vorteil, dass keine grossen Zeitverluste durch Fehlerbehebungen entstehen.

## Überprüfung mit Matlab

Die Richtigkeit der Berechnungen und der Rückgabewerte der Software werden mit Matlab überprüft. Dabei müssen die Werte in allen Bereichen übereinstimmen. Ausserdem werden die Kurven von Matlab mit Simulationen der Filterhersteller verglichen.

## Integrationstest

Die verschiedenen Klassen und Methoden werden isoliert geprüft. Damit kann sichergestellt werden, dass alle Klassen/Methoden die vorgesehenen Rückgabewerte und Aktionen korrekt ausführen. Soweit die Prüfungen mit den erwarteten Werten übereinstimmen, werden die Klassen/Methoden in das Programm integriert.

## Softwaretest

Die Software wird auf verschiedene Weisen und Ebenen getestet. Das Programm sollte allen Anforderungen des Auftraggebers gerecht werden und die im Auftrag beschriebenen Anforderungen erfüllen. Dafür kontrollieren die Teammitglieder, ob die Benutzeroberfläche komplett ist und das Programm so funktioniert wie erwünscht. Falls auffällt, dass etwas fehlt oder nicht in Ordnung ist, wird dies dann beseitigt.

Durch regelmässige Absprache mit dem Auftraggeber, soll verhindert werden, dass der Auftraggeber mit der Benutzeroberfläche unzufrieden ist. Der regelmässige Austausch soll dafür sorgen, dass das Programm mit den Vorstellungen des Auftraggebers übereinstimmen.

Ebenso soll das Programm reagieren, falls falsche Eingaben gemacht werden. Dafür wird durch absichtliche Falscheingaben von einem Teammitglied überprüft, ob das Programm richtig reagiert. Sollte dies nicht der Fall sein, wird dies an dieser Stelle in Ordnung gebracht.

Für die Prüfung der Benutzerfreundlichkeit wird eine Prüfung durch Dritte gemacht. Dabei wird eine aussenstehende Person versuchen das Programm zu bedienen. Das Projektteam kann anhand des Feedbacks dieser Person nötige Anpassungen machen. So kann herausgefunden werden, ob das GUI des Programms selbsterklärend ist.

Damit das Programm auf allen Betriebssystemen funktioniert, wird innerhalb des Projektteams das Programm auf Windows und Mac OS getestet. Dies soll verhindern, dass das Programm nur auf einem Betriebssystem laufen kann.

# Schlussfolgerung

# Abbildungsverzeichnis

[Abbildung: 1 Schaltung des FN 2020 Filters (Schaffner), sowie der Filter selbst 6](#_Toc3651351)

[Abbildung: 2 Stromzirkulation der Störungen im DM- und CM-Mode 6](#_Toc3651352)

[Abbildung: 3 Lastspannung ohne Filter und Last mit EMI Filter 7](#_Toc3651353)

[Abbildung: 4 CM-Ersatzschaltung 7](#_Toc3651354)

[Abbildung: 5 CM-Ersatzschaltung mit parasitären Parametern 7](#_Toc3651355)

[Abbildung: 6 Vereinfachte CM-Schaltung 8](#_Toc3651356)

[Abbildung: 7 Insertion Loos Kurve aus MATLAB 9](#_Toc3651357)

# Literaturverzeichnis

|  |  |
| --- | --- |
| [1] | «Schaffner,» [Online]. Available: https://www.schaffner.com/products/emcemi/. [Zugriff am 14 März 2019]. |
| [2] | P. Niklaus, «Zweitore (2-Tore),» FHNW, Windisch, 2018. |
| [3] | A. Maier und S. Rupp, «Hochfrequenztechnik, Teil 2 - Anwendungen,» DHBW, Stuttgart, 2016. |
| [4] | B. Mößlang, «EMC Filter Insertion Loss Simulation,» OMICRON Lab, Reutlingen, 2016. |

# Anhang

%\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

% CM Mode

% Luca Krummenacher

%\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

f = logspace(4,8,100); %Frequenzvektor von 10^4 - 10^8 Hz

for k=1 : length(f)

H(k) = -20 \* log10(abs(get\_s21(f(1,k))));

end

semilogx(f,H) %Logartihmische Skala verwenden

grid on

title('Insertion Loos')

xlabel('Frequency [Hz]')

ylabel('Insertion Loos [db]')

function [result] = get\_s21(frequency)

%\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

% Projekt: s21 Parameter berechnen

% fuer die CM-Schaltung eines EMI-Filters

% Autor: Luca Krummenacher

% Datum: 13. Maerz

% Ort : FHNW Brugg-Windisch

% Version: 1.0

%\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

% Gibt den s21 parameter fuer eine bestimmte Frequenz zurück

% Die Bauteilparameter sind in dieser Funktion bestimmt

%\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Rref = 50; %50 Ohm Eingangs und Lastwiderstand (Bezugswiderstand)

Rw = 11.3e-3;

Lr = 9.2e-6;

C1C2 = 12.93e-12;

Rp = 7.92e3;

L0 = 0.5e-3;

f = frequency;

w = 2\*pi\*f;

ZZtot = 0.5\*Rw + 0.5\*Lr\*w\*j + rpara(L0\*w\*j,rpara(0.5\*Rp,(1/(j\*w\*C1C2))));

%ZY aus vereinfachter Schaltung:

Ry1 = 246e-3;

Cy1 = 3.85e-9;

Ly1 = 8e-9;

Ry2 = 100.1e-3;

Cy2 = 4.67e-9;

Ly2 = 10.1e-9;

ZY1 = Ry1 + Ly1\*w\*j + (1/(j\*w\*Cy1));

ZY2 = Ry2 + Ly2\*w\*j + (1/(j\*w\*Cy2));

ZYtot = rpara(ZY1,ZY2);

%A Matrizen aus Impedanzen berechnen:

%Laengsimpedanz A1:

A1 = [1 ZZtot; 0 1];

%Querimpedanz A2:

A2 = [1 0; (1/ZYtot) 1];

%Gesamtmatrix berechnen

A = A1 \* A2;

%s21 berechnen

result = 2 / ( A(1,1) + (A(1,2)/Rref) + (A(2,1)\*Rref) + A(2,2) );

end