

Leistungselektronik-Entwickeln für einen 1kW Windinverter Prototyp

Semesterarbeit HS 2018

Autoren

Kris Wyss, Stefan Bähler

Dozent

Prof. Dr. Jasmin Samjic

Betreuer

Dr. Matthias Bucher, Thomas Franz


Modul

Leistungselektronik

HSR Hochschule für Technik Rapperswil

29. Oktober 2019

Todo list

 Abstract muss geschrieben werden	1
--	---

Abstract

Abstract muss geschrieben werden

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	Pflichtenheft	4
3	Projektplan	5
4	Entwicklung	6
5	Redesign EMV-Filter	7
5.1	Common Mode Ströme	7
5.2	Differential Mode Ströme	8
5.3	Auslegung	8
5.3.1	Common Mode Filter	8
5.3.2	Differential Mode Filter	8
5.3.2.1	Auslegung LC-Filter	9
5.3.2.2	Auslegung LCL-Filter	10
5.4	Simulationsresultate	11
6	Hardware	12
7	Schutzkonzept	13
8	Resultat	14
9	Zusammenfassung und Schlusswort	15
10	Erklärung zur Urheberschaft	16
11	Verzeichnisse	17
11.1	Abkürzungen	17
11.2	Abbildungsverzeichnis	18
11.3	Tabellenverzeichnis	19
11.4	Quellenverzeichnis	20
Anhang		21

1 Einleitung

2 Pflichtenheft

3 Projektplan

4 Entwicklung

5 Redesign EMV-Filter

Das Energieübertragungsnetz verträgt nur einen gewissen Prozentsatz an Strömen die einem ganzzahligen vielfachen des 50Hz Netzstromes entsprechen bevor es instabil wird. Deshalb wird in der Norm ??? der Grenzwert für den THDi (Total Harmonic Distortion) (Total Harmonic Distortion)

$$\text{THDi} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{50} I_n^2}}{I_1} \quad \text{mit} \quad \text{THDi} \leq 8\% \quad (\text{Eq. 1})$$

aufgeführt. Zu beachten ist das die Zählvariable n nur bis 50 geht. Dies ist erstaunlich da höhere Harmonische noch einen beträchtlichen Einfluss auf den THDi haben bei einem PWM Signal das mit einer Frequenz von 10kHz generiert wird. Diese Taktfrequenz erzeugt um 20kHz noch einige Harmonische, die beeinflussen den THDi. Dies ist in Abb. 1, wo der THDi für $n = 50$ und $n = 300$ berechnet wurde, gut ersichtlich. Wobei bei Zählvariable von 50 Harmonische bis 2kHz mit berücksichtigt werden und bei 600 bis 30kHz.

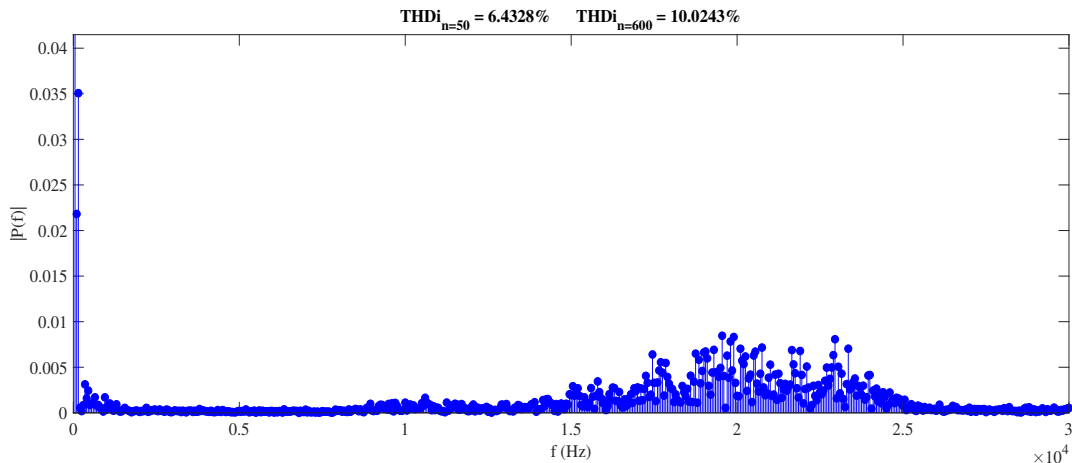


Abb. 1: THDi Vergleich unterschiedliche Laufvariablen

Der EMV-Filter (Elektromagnetische Verträglichkeit) hat primär zwei Ziele.

- Filterung von Differential Mode Strömen
- Filterung von Common Mode Strömen

Die Filterwirkung ist bidirektional und schützt das Netz wie auch den Inverter vor denn hochfrequenten Strömen. Schnelle Schaltvorgänge wie die PWM (Pulsweitenmodulation) begünstigen das entstehen von diesen.

5.1 Common Mode Ströme

Wie die Namensgebung schon aussagt handelt es sich bei Common Mode Strömen um solche die auf

5.2 Differential Mode Ströme

5.3 Auslegung

In diesem Kapitel ist beschrieben auf welchen technischen Grundlagen die im Inverter verbauten EMV-Filterkomponenten ausgelegt sind. Die klassischen Auslegungsmethoden (Bessel, Tschebyscheff, etc.) wie sie für Signalpfade gelehrt werden versagen leider bei einem EMV-Filter. Ein Grund dafür ist die Unbekannte Lastimpedanz vom Netz so wie die über die Last wechselnde Quellenimpedanz Z_0 . So wie auch die Idee der Filterauslegung, die darauf ab zielt die schlecht möglichste Impedanzanpassung, zwischen dem Inverter und Netz zu erzielen und gleichzeitig das System stabil so wie die Filterverluste möglichst gering zu halten. Der Mismatch der Impedanzen sollte bei doppelter Schaltfrequenz maximal sein.

5.3.1 Common Mode Filter

Auf die Auslegung des Common Mode Filter wurde kein grosses Augenmerk gelegt, weil die parasitäre Kapazität

$$C_p = \frac{\epsilon \cdot A}{d} \quad (\text{Eq. 2})$$

gegen Erde sehr gering ist. Dies weil kein elektrisch leitendes Gehäuse Vorhanden ist. Der approximativ berechnete Widerstandswertwert

$$X_c = \frac{1}{\omega \cdot C_p} \quad \text{mit} \quad \omega = 2 \cdot \pi \cdot f, \quad (\text{Eq. 3})$$

bei Frequenzen um 20 kHz, liegt im einstelligen Mega Ω Bereich. Somit wird der Common Mode Strom vernachlässig bar klein sein.

Um jedoch vorbereitet zu sein für ein späteres anbringen eines Gehäuses ist ein Common mode choke im EMV-Filter verbaut. Es wurde die selbe gegen gewickelte Spule verwendet wie im Referenzmodel von TI ????

5.3.2 Differential Mode Filter

Wie in 5.2 beschrieben wird eine sehr starke Verzerrung des Stromes auf der Netzseite erwartet. Diese Stromverzerrung weg vom Sinus generiert einen sehr hohen THDi. Dieser gilt es zu minimieren bis die Normwerte eingehalten werden. Es gibt zwei Möglichkeiten einen EMV Filter auszulegen. Erstere beruht auf Try&error. Mit Hilfe einer Simulation und dem Austausch von den Filterkomponenten wird versucht eine günstige Komponenten Wahl zu finden. Dies kann erfolgreich sein aber bei falscher Komponenten Wahl auch zu einem instabilen Gesamtsystem führen. Um dies zu umgehen gibt es diverse Step by Step Anleitung. Mit solchen ist der EMV-Filter ausgelegt worden.

5.3.2.1 Auslegung LC-Filter

Als erstes wurde mit Hilfe von [1] ein LC-Filter ausgelegt. Für die Auslegung von einem EMV-Filter bei Invertern ist es Wichtig den Gesamtwiderstand (Quellenwiderstand)

$$Z_0 = \frac{U_g^2}{P} \quad (\text{Eq. 4})$$

des Inverters zu kennen, wobei die Netzspannung U_g und die abgegebene Wirkleistung P diesen beeinflussen.

Gemäss dem Middlebrook Stabilitätskriterium muss für die Filterimpedanz Z_f und den Quellenwiderstand Z_0 die Beziehung

$$Z_f \ll Z_0$$

gültig sein. Wenn dies nicht gewährleistet ist kann das Gesamtsystem instabil werden. Mit dieser Bedingung wird der Maximalwert

$$Z_{fmax} = \frac{1}{10} \cdot Z_0 \approx 5\Omega \quad (\text{Eq. 5})$$

festgelegt.

Eine weitere Wichtige Eigenschaft ist die Eckfrequenz f_c des EMV-Filters. Liegt sie zu nahe bei der Netzfrequenz ω_g oder ist sie zu hoch und liegt in der Nähe von der PWM Schaltfrequenz ω_s könnten sich Resonanzeffekte negativ auswirken.

Somit gelten die Grenzbedingungen

$$Z_f < 5\Omega \quad \text{und} \quad 500\text{Hz} < f_c < 5\text{kHz}$$

für die Auslegung.

Mit einem Impedanzdiagramm, welches als graphische Unterstützung dient, wird der Filter ausgelegt. Ein solches ist in Abb. 2 dargestellt.

Zuerst wird Z_{fmax} eingezeichnet (grün). Der ganze Bereich oberhalb von Z_{fmax} (grau Hinterlegt) ist Sperrgebiet da eine Filterauslegung in diesem zu instabilem Gesamtsystem führen könnte. In einem zweiten Schritt wird die Grenzfrequenz f_{Cmin} eingetragen. Vom Schnittpunkt der zwei Geraden Z_{fmax} und f_{Cmin} werden zwei Linien im 45 Winkel gezeichnet. An diesen werden die Werte für C_{fmin} und L_{fmax} des LC-Filters abgelesen. Die Werte können im Erlaubten Bereich verändert werden dürfen aber die Grenzbedingungen nie verletzen. Die grau gestrichelten Linien zeigen die Grenzen für die obere Grenzbedingung f_{Cmax} .

Weil an Induktivitäten Ströme nicht springen können muss nun die grösstmögliche Induktivität aus dem Diagramm herausgelesen werden. Dann ist sicher das unter den gegebenen Grenzbedingungen die best mögliche Stromglättung realisiert wird. Wie in Abb. 2 ersichtlich sind dies einer Induktivität $L_{fmax} = 1.8\text{mH}$. Daraus resultiert $C_{fmin} = 70\mu\text{F}$.

Die Simulation hat gezeigt das eine L-Topologie nicht ausreicht um den THDi unter den geforderten Normwert zu bringen. In 5.4 wird näher auf die Resultate eingegangen.

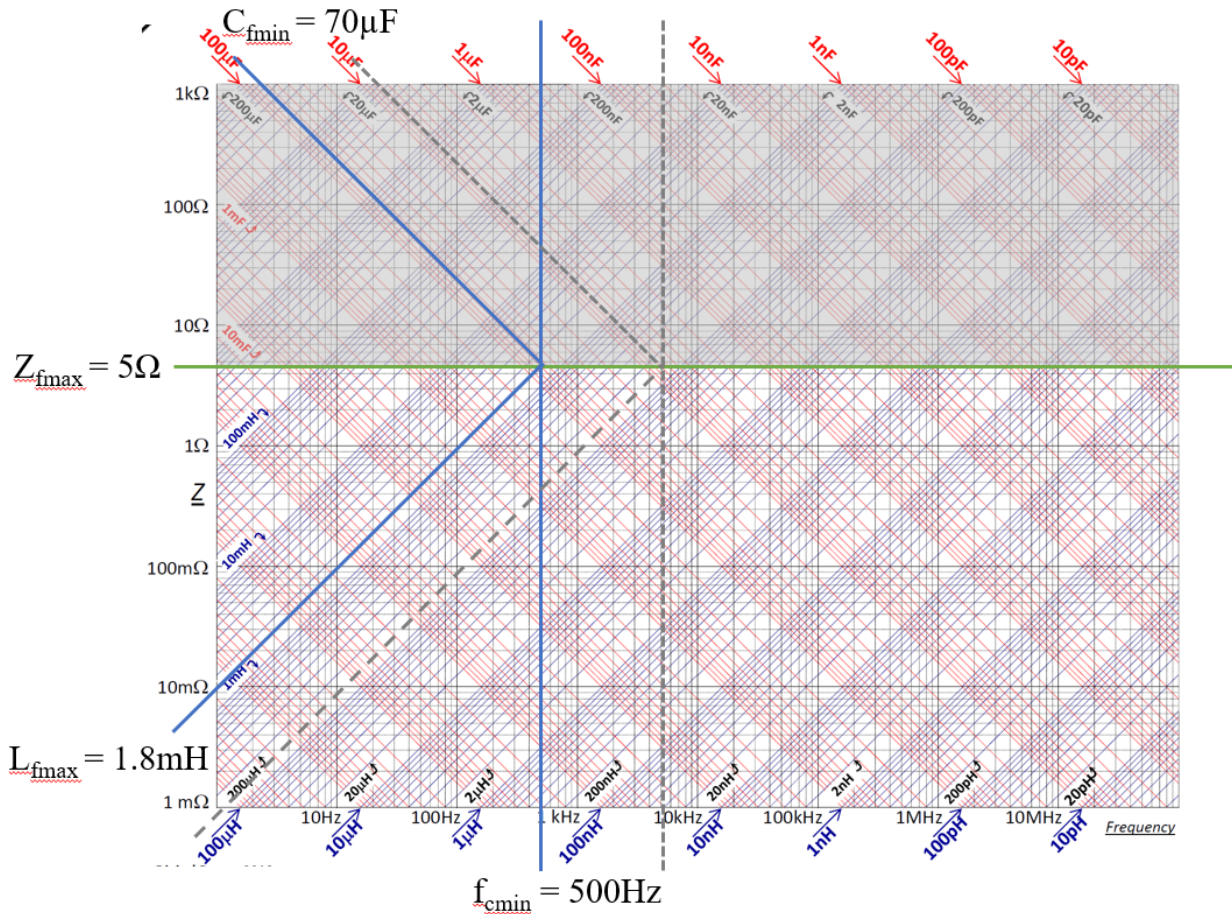


Abb. 2: Impedanzdiagramm zur graphischen LC-Filter Auslegung

5.3.2.2 Auslegung LCL-Filter

In einem zweiten Versuch ist ein Filter in π -Topologie entworfen worden. Die Auslegung des LCL-Filters, welche im folgenden beschrieben wird, beziehen sich auf die IEEE Publikation [2].

Es gelten die selben Grenzbedingungen, für die maximale Filterimpedanz Eq. 5 und für das Frequenzband der Grenzfrequenz, wie bei der Auslegung des LC-Filters um die Stabilität des Gesamtsystem zu gewährleisten.

Bei der Auslegung gibt es drei Freiheitsgrade mit denen das gewünschte Filter designet werden kann. Als erstes wird festgelegt wie gross die inverterseitige Induktivität L ist. Diese Festlegung basiert auf dem Wissen das Eq. 5 gelten muss. Wir wählen

$$L = \frac{1}{\omega_g \cdot X_L} \quad \text{mit} \quad X_L = 0.02 \cdot Z_0 \quad (\text{Eq. 6})$$

In einem zweiten Schritt wird die Grösse der Filterkapazität C_f festgelegt. Diese soll maximal 5% des kapazitiven Quellenwiderstandes

$$C_0 = \frac{1}{\omega_g \cdot Z_0} \quad (\text{Eq. 7})$$

sein.

Als letztes wird noch die Netzseitige Induktivität L_g ausgelegt. Diese wird als Verhältnissfaktor r zwischen L und L_g angegeben. In ??? ist ein Diagramm ersichtlich wo auf der Abszisse r aufgetragen ist. Es sind alle Grenzeinbedingungen ersichtlich welche eingehalten werden müssen. Zusätzlich ist noch die minimale Dämpfung im Plot eingezeichnet. Diese wurde auch 0.2 festgelegt was bedeutet das die Dämpfung der Oberwellen mindestens 80/ ist.

5.4 Simulationsresultate

6 Hardware

7 Schutzkonzept

8 Resultat

9 Zusammenfassung und Schlusswort

10 Erklärung zur Urheberschaft

Erklärung

Wir erklären hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel erstellt habe; die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht.

Ort	Datum
Rapperwswil	29. Oktober 2019

Unterschrift

Kris Wyss	Stefan Bähler
-----------	---------------

11 Verzeichnisse

11.1 Abkürzungen

HSR Hochschule für Technik Rapperswil

THDi Total Harmonic Distortion

PWM Pulsweitenmoduliertes Signal

EMV Elektromagnetische Verträglichkeit

11.2 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1	THDi Vergleich unterschiedliche Laufvariablen	7
Abb. 2	Impedanzdiagramm zur graphischen LC-Filter Auslegung	10

11.3 Tabellenverzeichnis

11.4 Quellenverzeichnis

Literaturquellen

- [2] M. Liserre, F. Blaabjerg und S. Hansen, "Design and control of an LCL-filter-based three-phase active rectifier", *IEEE Transactions on Industry Applications*, 2005.

Onlinequellen

- [1] Biricha Digital Power Ltd, *EMV Filterdesign*, aufgerufen am 09.10.2019. Adresse: biricha.com.

Anhang

A	Anhangbsp mit PDF	22
B	Anhang 2	23

A Anhangbsp mit PDF

Hier kommt der Titel der Arbeit hin

Bachelorarbeit FS 2017

Autoren

Hans Muster

Dozent

Name des Dozenten

Betreuer

Name des Betreuers

Modul

Name des Moduls

HSR Hochschule für Technik Rapperswil

3. Mai 2017

B Anhang 2

