



Hochschule für Technik
und Wirtschaft Berlin

University of Applied Sciences

Laborbericht: Streuinduktivität Pulsumrichter

Praktikumsbericht

zur Erlangung der Prüfungsvorleistung im Fach
Vertiefung Leistungselektronik

an der

Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin

Fachbereich I - Energie und Information

Studiengang Elektrotechnik

1. Prüfer: Prof. Dr.-Ing. J. Ranneberg

Eingereicht von: Milan Daniel Larsen

Matrikelnummer: s0581929

Datum der Abgabe: 19.10.2022

Inhaltsverzeichnis

1	Pulsumrichter (PUR)	1
1.1	Spannungsspitzen der Schalter	1
1.2	Stromverläufe	3
1.3	Reduzierung der Überspannung	6
	Abbildungsverzeichnis	A

1 Pulsumrichter (PUR)

Ein PUR aus drei LHL-Modulen ist im ESB (Kapitel 1) mit ein anfallenden Streuinduktivität dargestellt. Die Halbleiter werden mit 30 nH und die Streuinduktivität zwischen den Modulen mit 50 nH angenommen.

Die Streuinduktivität der Kapazitäten können mithilfe der Thomsonsche Schwingungsgleichung berechnet werden

$$L_{C\sigma} = \frac{1}{\omega^2 C} = \frac{1}{(2\pi f)^2 C} = \frac{1}{(2\pi 30 \text{ kHz})^2 \cdot 2200 \mu\text{F}} \approx 12.8 \text{ nH} \quad (1.1)$$

wobei die Parallelschaltung der Streuinduktivitäten zu einer Gesamtinduktivität von $L_{Cg\sigma} 6.4 \text{ nH}$ führt.

1.1 Spannungsspitzen der Schalter

Durch die Streuinduktivität entstehen bei Schaltungen Spannungsüberhöhungen an den Schaltern. Die Amplitude ist hierbei abhängig von der Höhe der Streuinduktivität und

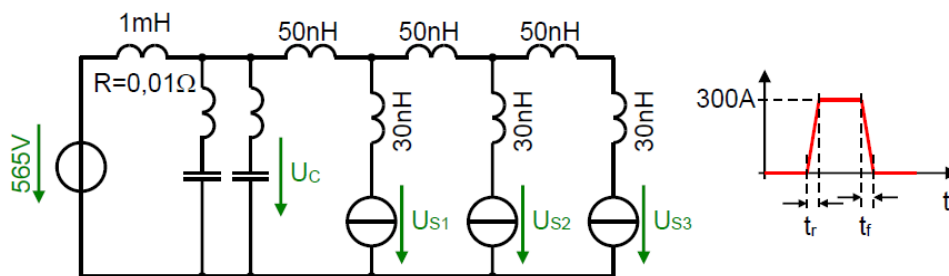


Abbildung 1.1: ESB eines PUR mit Streuinduktivitäten

dem $\frac{\Delta I}{\Delta t}$

$$\Delta U_S = L_\sigma \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t} \quad (1.2)$$

Schalter 1:

$$L_\sigma = 30 \text{ nH} + 50 \text{ nH} + 6.4 \text{ nH} \approx 86.4 \text{ nH} \quad (1.3)$$

$$\Delta U_\sigma = L_\sigma \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t} = 86.4 \text{ nH} \cdot \frac{300 \text{ A}}{500 \text{ ns}} = 51.84 \text{ V} \quad (1.4)$$

Über die Maschengleichung kann die Spannung an den Schaltern berechnet werden.

$$U_\sigma = U + U_\sigma = 565 \text{ V} + 51.84 \text{ V} = 616.84 \text{ V} \quad (1.5)$$

Schalter 2:

$$L_\sigma = 30 \text{ nH} + 50 \text{ nH} + 50 \text{ nH} + 6.4 \text{ nH} \approx 136.4 \text{ nH} \quad (1.6)$$

$$\Delta U_\sigma = L_\sigma \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t} = 136.4 \text{ nH} \cdot \frac{300 \text{ A}}{500 \text{ ns}} = 81.84 \text{ V} \quad (1.7)$$

Über die Maschengleichung kann die Spannung an den Schaltern berechnet werden.

$$U_\sigma = U + U_\sigma = 565 \text{ V} + 81.84 \text{ V} = 646.84 \text{ V} \quad (1.8)$$

Schalter 3:

$$L_\sigma = 30 \text{ nH} + 50 \text{ nH} + 50 \text{ nH} + 50 \text{ nH} + 6.4 \text{ nH} \approx 186.4 \text{ nH} \quad (1.9)$$

$$\Delta U_\sigma = L_\sigma \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t} = 186.4 \text{ nH} \cdot \frac{300 \text{ A}}{500 \text{ ns}} = 111.84 \text{ V} \quad (1.10)$$

Über die Maschengleichung kann die Spannung an den Schaltern berechnet werden.

$$U_\sigma = U + U_\sigma = 565 \text{ V} + 111.84 \text{ V} = 676.84 \text{ V} \quad (1.11)$$

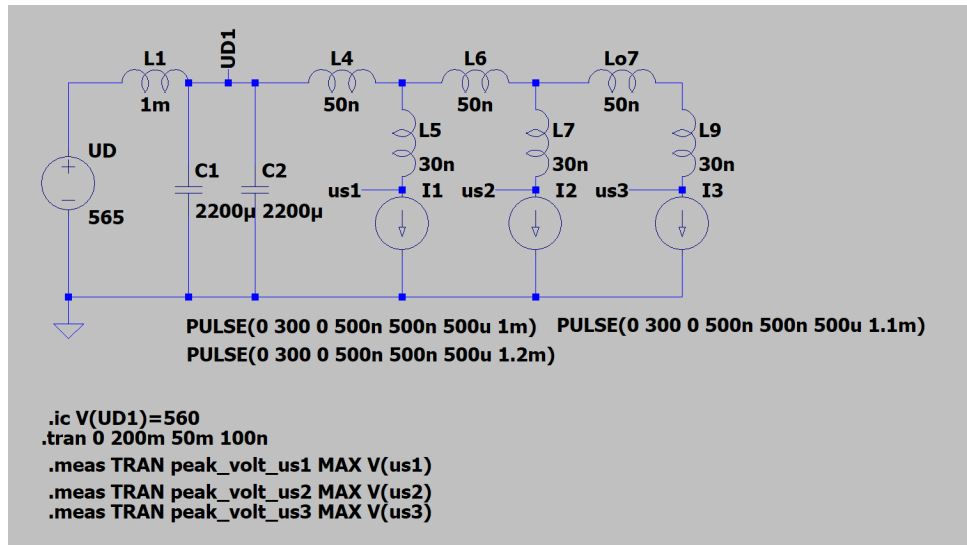


Abbildung 1.2: Simulation der Spannungsspitzen an den Schaltern

Simulation:

Zum Vergleich wird eine Simulation in LT-Spice durchgeführt (Abb. 1.2).

Aus der Simulation sind folgende Spannungsspitzen zu erkennen:

$$\Delta U_{S1} = 671.743 \text{ V} \quad (1.12)$$

$$\Delta U_{S2} = 731.749 \text{ V} \quad (1.13)$$

$$\Delta U_{S3} = 761.752 \text{ V} \quad (1.14)$$

Die Spannungsspitzen der Simulation (Abb. 1.3) stimmen nicht mit den berechneten überein. Das liegt höchstwahrscheinlich daran, dass in der Simulation auch zwei Schalter gleichzeitig schalten können und somit die Spannungsspitzen noch höher werden.

1.2 Stromverläufe

Der Stromverlauf in den Stromquellen (Abb. 1.4) entspricht den zu erwartenden Pulsmuster mit einem hohen $\frac{\Delta I}{\Delta t}$. Der Verlauf des Stromes der Quelle, über die 1 mH Induktivität hänge-

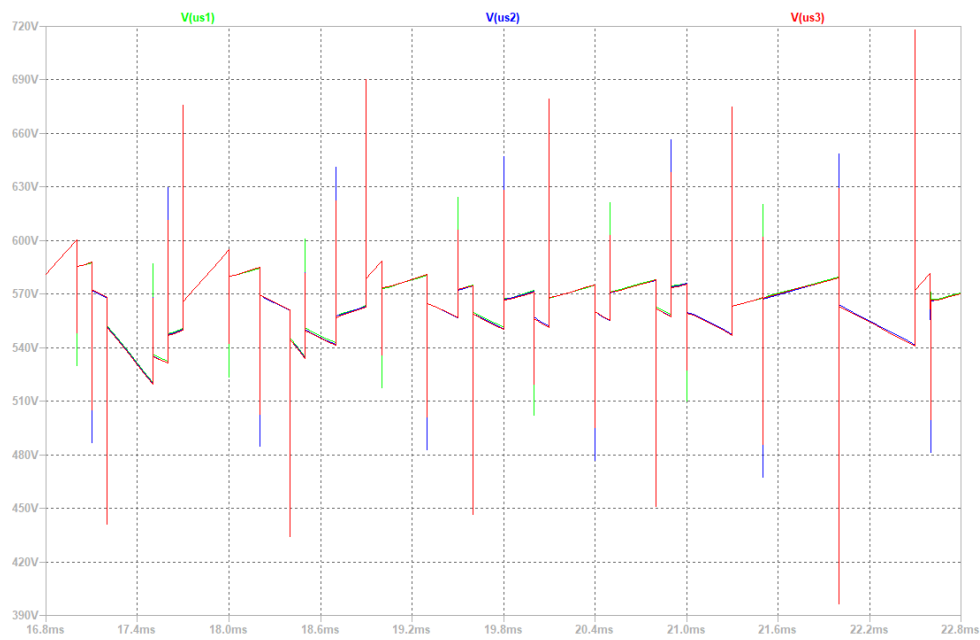


Abbildung 1.3: Spannungsspitzen an den Schaltern

gen (Abb. 1.5) entspricht einem relativ konstanten Strom. Der Strom aus den Kapazitäten hingegen lässt ein Pulsmuster erkennen (Abb. 1.5).

Damit wird deutlich, dass die Kondensatoren den wesentlichen Anteil des Wechselstromes bereitstellen. Dadurch ist der Beitrag der Streuinduktivität der Quelle zu vernachlässigen.

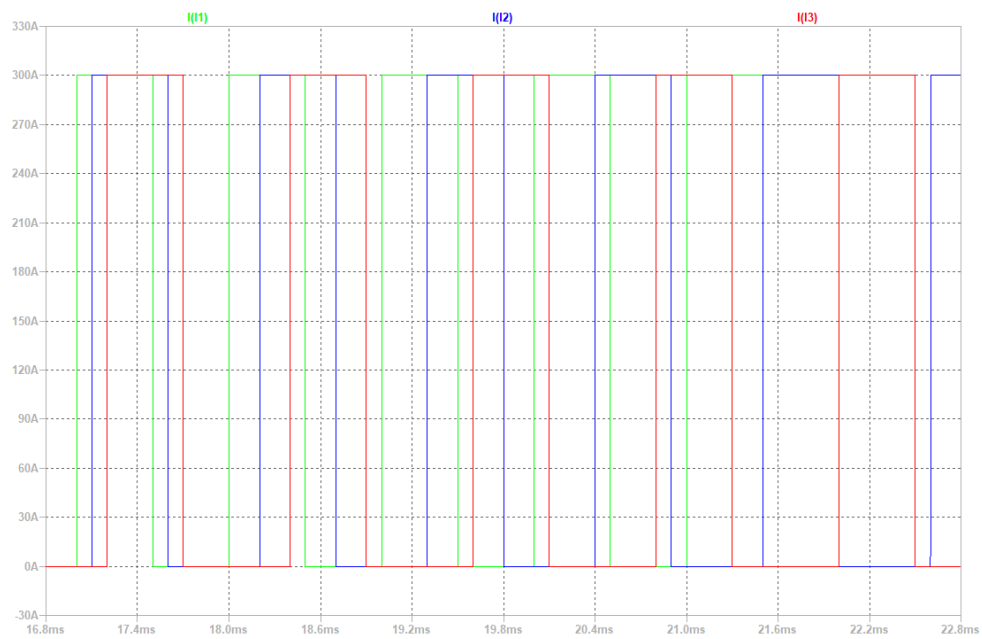


Abbildung 1.4: Stromverläufe der Schalter

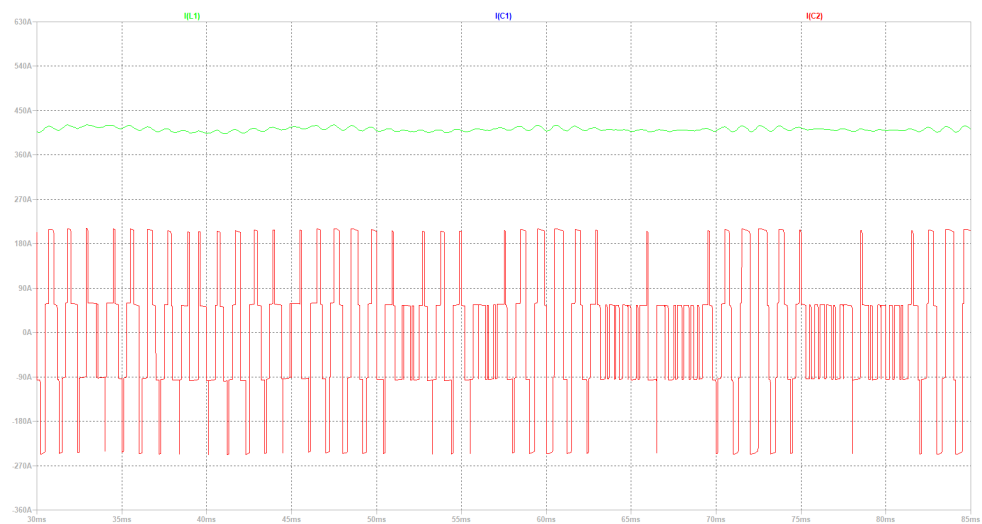


Abbildung 1.5: Stromverläufe der Kondensator und der Spannungsquelle

1.3 Reduzierung der Überspannung

Zur Reduzierung der Überspannung an den Schaltern können zwei Möglichkeiten in Betracht gezogen werden.

- Reduzierung der Streuinduktivität L_σ
 - Dies könnte durch eine Reduzierung der Induktivitäten vom Schalter bis zum Kondensator erreicht werden.
- Reduzierung der Stromsteilheit $\frac{\Delta I}{\Delta t}$
 - Reduzierung der Flankensteilheit würde hohe Schaltverluste im Halbleiter verursachen. Dies ist nicht praktikabel.

Veränderung der Anstiegszeit:

In der Simulation (Abb. 1.6) wurde die Anstiegszeit der Stromquelle von 500 ns auf 300 ns verringert. Es zeigt sich, wie erwartet, eine Erhöhung der Spannungsspitzen an Schaltern.

Veränderung der Kondensatorplatzierung:

In der folgenden Simulation wird der Kondensator auf die andere Seite der Schaltung platziert (Abb. 1.7).

Durch die Veränderung der Kondensatorplatzierung wird die wirksame Streuinduktivität für den dritten Schalter reduziert. Dadurch reduziert sich auch die Spannungsspitze an diesem Schalter. Dies konnte durch die Simulation (Abb. 1.8) bestätigt werden.

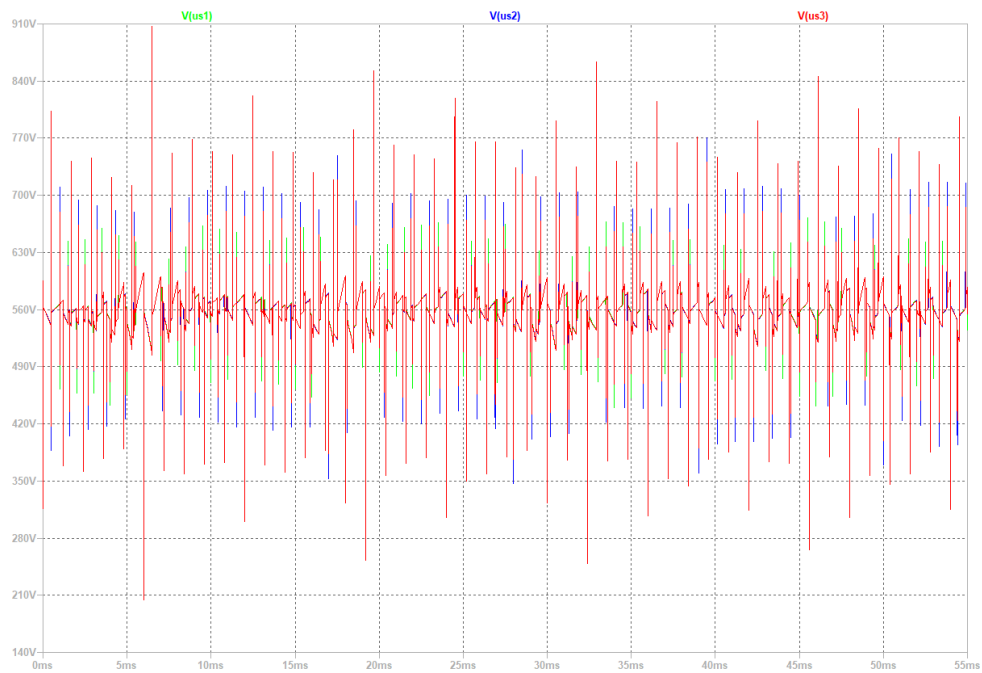


Abbildung 1.6: Veränderung der Anstiegszeit

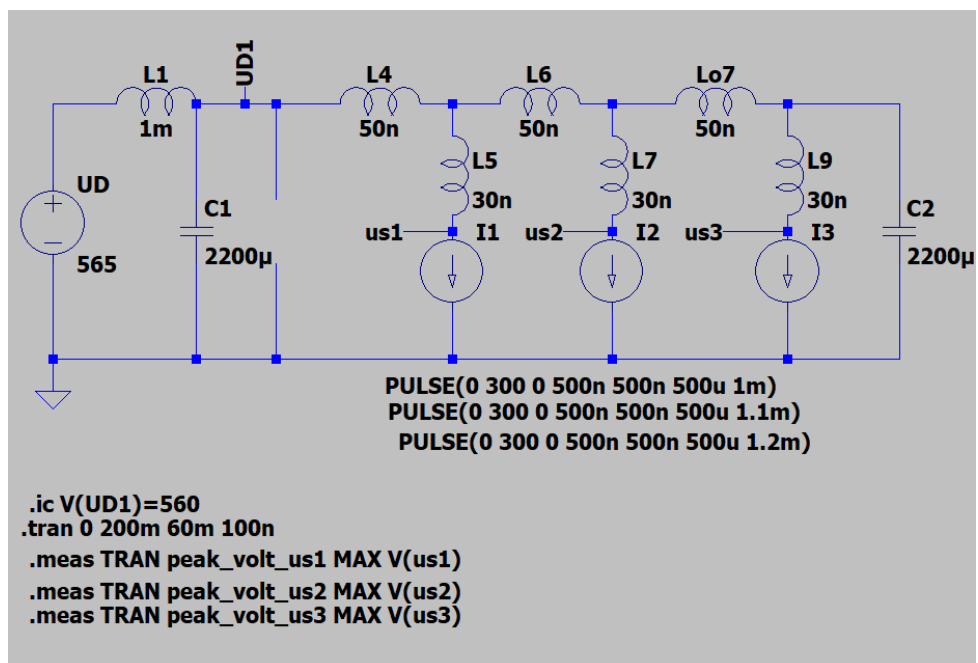


Abbildung 1.7: Schaltplan: Veränderung der Kondensatorplatzierung



Abbildung 1.8: Simulation: Veränderung der Kondensatorplatzierung

Abbildungsverzeichnis

1.1	ESB eines PUR mit Streuinduktivitäten	1
1.2	Simulation der Spannungsspitzen an den Schaltern	3
1.3	Spannungsspitzen an den Schaltern	4
1.4	Stromverläufe der Schalter	5
1.5	Stromverläufe der Kondensator und der Spannungsquelle	5
1.6	Veränderung der Anstiegszeit	7
1.7	Schaltplan: Veränderung der Kondensatorplatzierung	7
1.8	Simulation: Veränderung der Kondensatorplatzierung	8