



ASSIGNMENT 2

Onboard-Charger

Leistungselektronik

Vortragender: Matthias Neuner

SOMMERSEMESTER 2025

Studiengang

BACHELOR MECHATRONIK, DESIGN UND INNOVATION

Verfasser:

Lennart Götz, Matteo Sedlaczek

letzte Aktualisierung: 8. Juni 2025

Inhaltsverzeichnis

1	Boost Converter	1
1.1	Auslegung der Schaltung	1
1.2	Auswahl der Komponenten	1
1.3	Verlustleistungs Analyse	2
2	Buck Converter	4
2.1	Auslegung der Schaltung	4
2.2	Auslegung der Komponenten	4
2.3	Verlustleistungs Analyse	5
3	Fragestellungen	7
3.1	Einfluss der Schaltelemente	7
3.2	DCM Buck Converter	7
3.3	DCM Boost Converter	7
3.4	Effizienzoptimierung Buck Converter	7
	Literatur	III
	Abbildungsverzeichnis	IV
	Tabellenverzeichnis	V

1 Boost Converter

1.1 Auslegung der Schaltung

Aus dem Kontext ergeben sich folgende Anforderungen an den Boost-Converter:

Eingangsspannung $\approx 530V$

Eingangsstrom $\approx 7.5A$

Ausgangsspannung $:= 800V$

Ausgangsstrom $:= 5A$

Die Formel 4.32 aus dem Forlesungsskript kann mit weiteren Annahmen verwendet werden, um die Induktivität der Spule zu bestimmen:

$$1. f = 20kHz$$

$$2. D = 0.3$$

$$3. \Delta I_L = 0.3 * 7.5A$$

$$L = \frac{V_{in} * D}{f * \Delta I} = \frac{530V * 0.3}{20kHz * 2.25A} \approx 3.5mH$$

Mit diesen Werten konnte die Schaltung in Simulink aufgebaut und in Betrieb genommen werden. Dabei wurde deutlich, dass der Ripple der Eingangsspannung signifikant zum Ripple am Ausgang des Boost-Converters beiträgt. Um diesen Einfluss zu minimieren, und die Anforderung an den Spannungsripple zu erfüllen, wurde eine Regelung des Duty-Cycle implementiert.

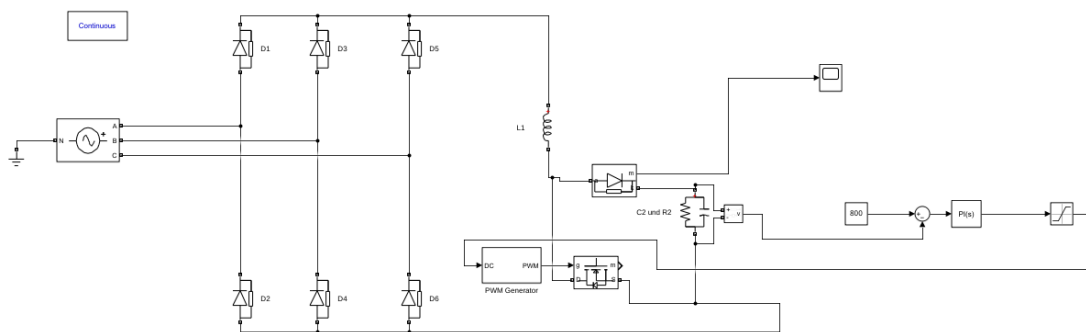


Abbildung 1: Boost-Converter Schaltung

1.2 Auswahl der Komponenten

Um Komponenten für die Schaltung auszuwählen, wurden die relevanten Werte aus der Simulation gemessen:

Mosfet:

$$U_{peak} = 830V$$

$$I_{peak} = 20A$$

$$I_{RMS} = 5.5A$$

Diode:

$$U_{peak} = 830V$$

$$I_{peak} = 20A$$

$$I_{RMS} = 7.4A$$

Mosfet: Infineon IMW120R045M1

$$V_{DSS} = 1200V$$

$$I_D = 52A(\text{bei } 25C)$$

$$I_{pulse} = 130A$$

Diode: Infineon IDWD20G120C5

$$V_{RRM} = 1200V$$

$$I_F = 62A(\text{bei } 25C)$$

$$I_{pulse} = 80A$$

Die Werte liegen mit ausreichendem Sicherheitsfaktor über den Anforderungen, und können somit auch bei nicht idealer Kühlung betrieben werden.

1.3 Verlustleistungs Analyse

Um die Verlustleistung zu analysieren, wurde zunächst der Arbeitspunkt des Mosfets in Simulink untersucht.

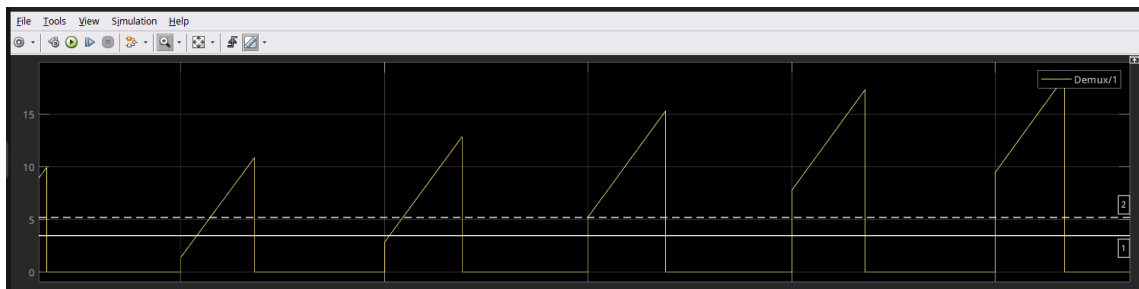


Abbildung 2: Arbeitspunkt Mosfet

Anschließend wurde die LTSpice Simulation so angepasst, dass der Arbeitspunkt erreicht wird.

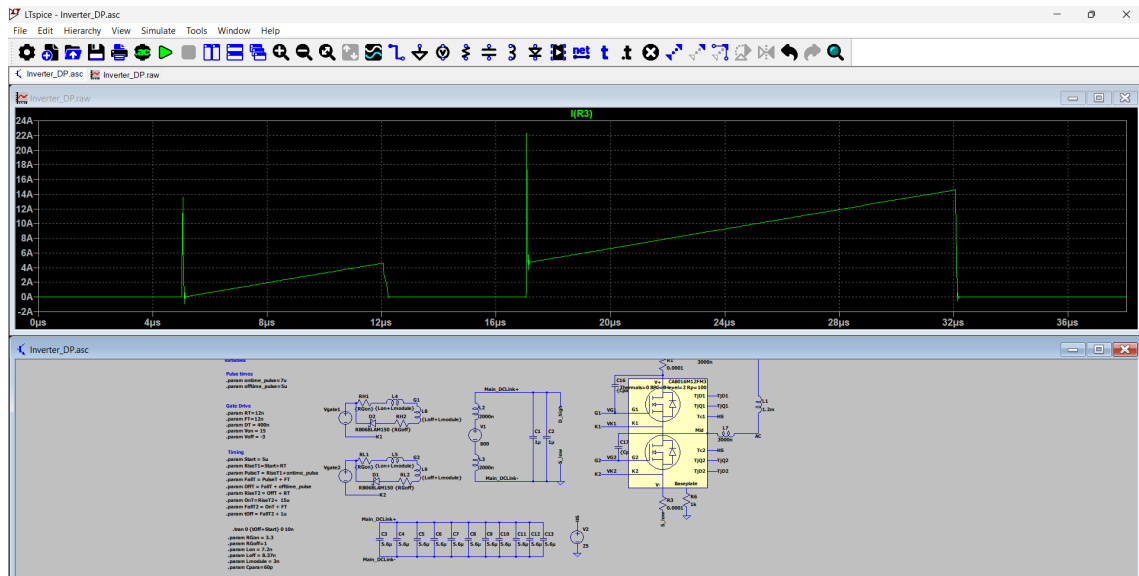


Abbildung 3: DP Test

Anschließend der Strom und die Spannung durch das Mosfet multipliziert werden, und mit geeigneten Integralgrenzen aufintegriert werden. Daraus ergibt sich jeweils eine Energie zum Ein- bzw. Ausschalten des Mosfets.

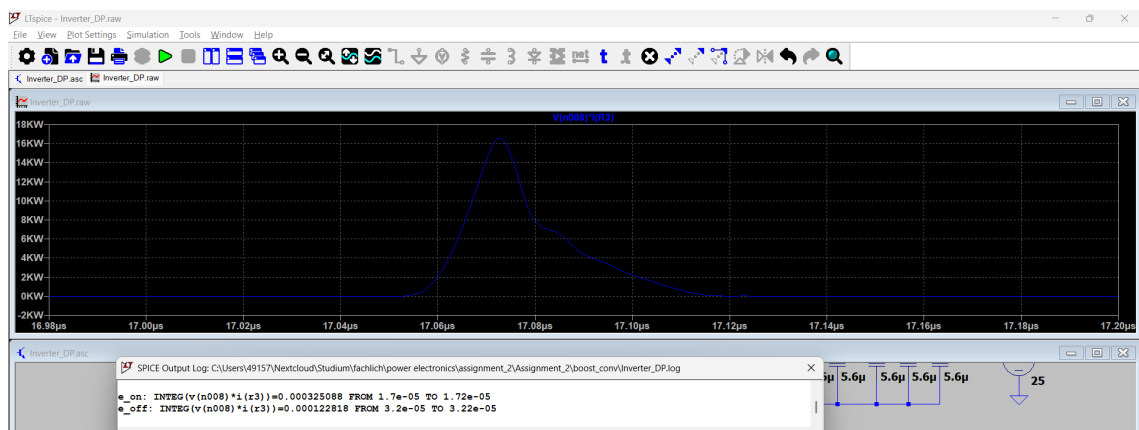


Abbildung 4: Energiemessung

Daraus ergeben sich folgenden Messerte:

$$E_{on} = 0,325mJ$$

$$E_{off} = 0.123mJ$$

Außerdem konnte die Verlustleistung im leitenden Zustand bestimmt werden:

$$P_{conduct} = 0.5W$$

Insgesamt ergibt sich somit die Verlustleistung am Mosfet:

$$P_{loss} = (E_{on} + E_{off}) * f + P_{conduct} = 9.46W$$

2 Buck Converter

2.1 Auslegung der Schaltung

Aus dem Kontext ergeben sich folgende Anforderungen an den Boost-Converter:

Eingangsspannung $\approx 400V$

Eingangsstrom $\approx 7.5A$

Ausgangsspannung $:= 12V$

Ausgangsstrom $:= 83A$

Da der Buck-Converter eine konstante Eingangsspannung benötigt und diese zeitlich mittels Duty Cycle aufteilt, werden die bestehenden Filter weiterhin eingesetzt. Jede nicht-geglättete Spannungspuls-Komponente würde ungefiltert durchgeschaltet werden.

Aus der Leistungsvorgabe geht hervor, dass ein Lastwiderstand von $0,145\Omega$ benötigt wird. Die Induktivität der Spule kann dann wie folgt mit Hilfe der Formel 4.14 aus dem Vorlesungsskript berechnet werden:

$$1. f = 20kHz$$

$$2. D = 0.035$$

$$3. \Delta I_L = 0.035 * 7.5A$$

$$L = \frac{(V_{in} - V_{out}) * D}{f * \Delta I} = \frac{400V * 0.035}{20kHz * 0.263A} \approx 2.6mH$$

Auf Grundlage dieser Werte konnte die Schaltung in Simulink implementiert werden. Wie bereits oben beschrieben wird der Buck-Converter direkt hinter den Filter von verganginem Assignment angehängt.

Anders als beim Boost-Converter, wird hier auf einen einfacheren Puls-Generator gesetzt. Dieser liefert einen Duty-Cycle von 3,5%.

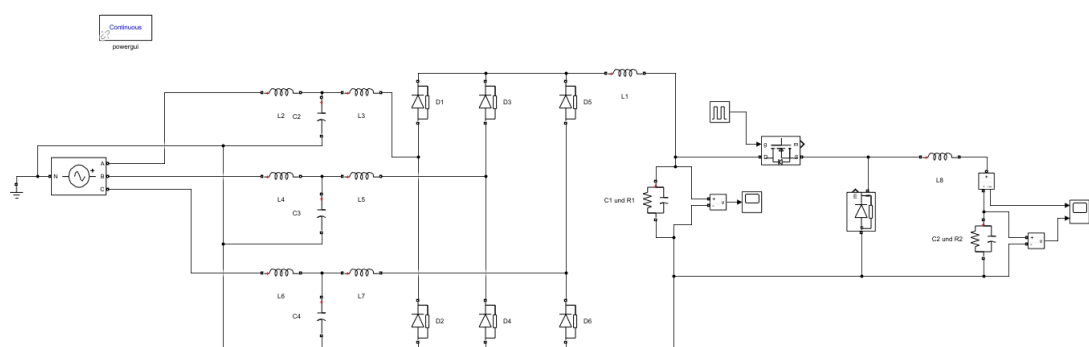


Abbildung 5: Buck-Converter Schaltung

2.2 Auslegung der Komponenten

Laut Vorgabe soll eine geeignete Diode und ein geeigneter MOSFET ausgewählt werden. Hierfür werden die relevanten Werte aus der Schaltung gemessen:

Tabelle 1: Buck MOSFET

Gemessene Werte	CAB003M09DM3
$U_{peak} = 400V$	$V_{DS} = 900V$
$I_{peak} = 85A$	$I_D(\text{bei } 25C) = 518A$
$I_{RMS} = 15A$	$I_{pulse} = 1036A$

[1]

In diesem Fall wird ein CAB003M09DM3 von Wolfspeed verbaut. Dieser MOSFET erfüllt die Anforderungen inklusive Sicherheitsfaktor. Zusätzlich kann dieser MOSFET in LTSpice implementiert werden.

Tabelle 2: Diode Buck

Gemessene Werte	MSRT10060D
$U_{peak} = 400V$	$V_{RMM} = 600V$
$I_{peak} = 85A$	$I_F(\text{bei } 25C) = 100A$
$I_{RMS} = 15A$	$I_{pulse} = 2000A$

[2]

2.3 Verlustleistungs Analyse

Der Buck liefert folgende Ergebnisse:

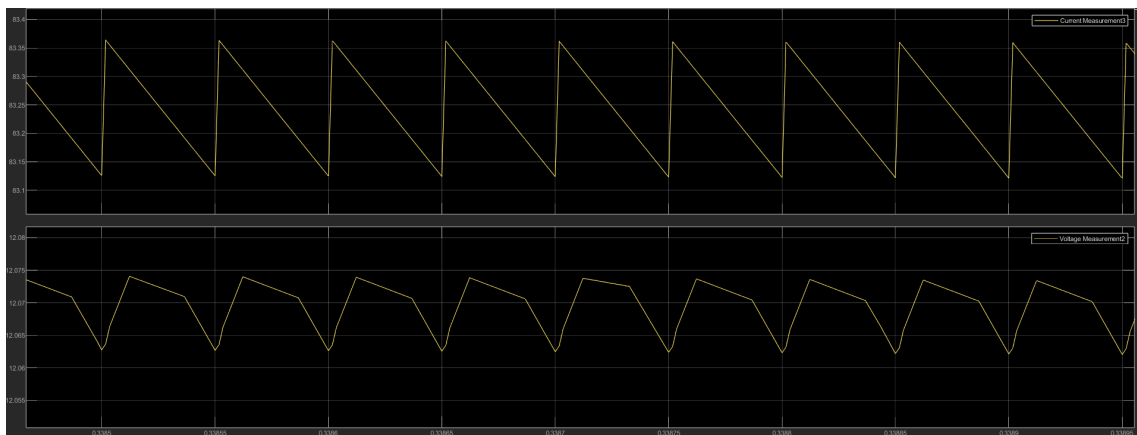


Abbildung 6: Buck-Converter Messungen

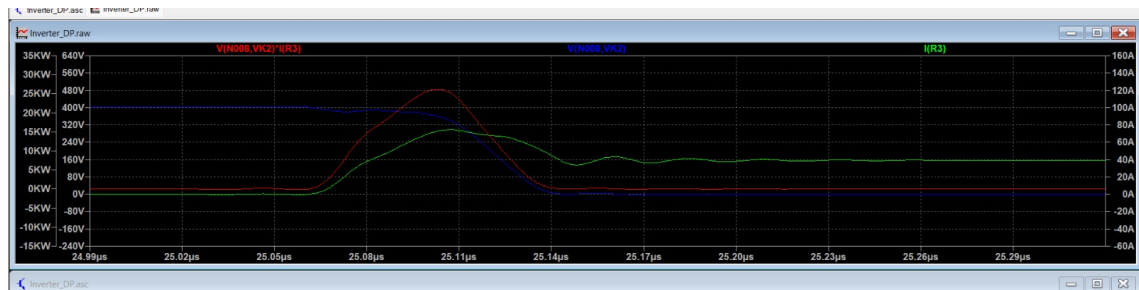


Abbildung 7: Buck-DP Test

```

a_on: INTEG(v(n008,vk2)*i(r3))=0.00108628 FROM 2.5e-05 TO 2.55e-05
a_off: INTEG(v(n008,vk2)*i(r3))=0.000193452 FROM 3e-05 TO 3.05e-05

```

Abbildung 8: Energiemessung Buck

Daraus ergeben sich folgende Messwerte:

$$E_{on} = 1.08mJ$$

$$E_{off} = 0.19mJ$$

Die Verlustleistung im leitenden Zustand beträgt nun:

$$P_{conduct} = 0.6W$$

Somit ist die Verlustleistung am MOSFET:

$$P_{SW} = (E_{on} + E_{off}) * f + P_{conduct} = 26.4W$$

3 Fragestellungen

3.1 Einfluss der Schaltelemente

Sowohl in der Buck als auch in der Boost Schaltung, haben die Wahl der Schaltelemente einen Einfluss auf die Ausgangsspannung.

Die Dioden sind jeweils direkt im Lastpfad. Somit wird die tatsächliche Ausgangsspannung um die Forwardspannung der Diode verringert. Somit ist es sinnvoll eine Diode auszuwählen, die einen möglichst geringe Forwardspannung hat. Schottky Dioden haben üblicherweise eine geringere Forwardspannung als Siliziumdioden. Außerdem schalten diese auch schneller, was zu weniger Verlusten in der Diode führt. Auch dies wirkt sich positiv auf die Ausgangsspannung aus.

Die Auswahl der Mosfets beeinflussen die Ausgangsspannung nicht unmittelbar, aber es dennoch einen Einfluss. Die Verluste innerhalb des Mosfets mindern die Energie, die jeweils in den Spulen gespeichert werden kann. Dies führt ebenfalls zu einer verminderten Ausgangsspannung. Bei der Auswahl sollte also auf einen niedrigen ESR und eine schnelle Schaltzeit geachtet werden.

3.2 DCM Buck Converter

Die Gleichung 4.19 aus dem Vorlesungsskript beschreibt den Zusammenhang, mit der man den Schwellenstrom bestimmen kann.

$$I_{oB} = \frac{V_d * D * (1-D)}{2 * f * L} = \frac{400V * 0.035 * 0.965}{2 * 20kHz * 2.6mH} = 0.13A$$

Ab einem Laststrom von 0.13A geht der Buck-Converter also vom CCM auf den DCM Modus. Für den Übergang von CCM zu DCM ist in erster Linie die Induktivität (bzw. ihre Stromwelligkeit) entscheidend.

3.3 DCM Boost Converter

Die Gleichung 4.38 aus dem Vorlesungsskript beschreibt den Zusammenhang, mit der man den Schwellenstrom bestimmen kann.

$$I_{oB} = \frac{V_0 * D * (1-D)}{2 * f * L} = \frac{530V * 0.3 * 0.7}{2 * 20kHz * 3.5mH} = 0.8A$$

Hierbei ist insbesondere die Last und die Induktivität relevant. Während der Mosfet geschlossen ist, limitiert die Induktivität den Stromfluss. Ist der Mosfet offen, limitiert der Lastwiderstand den Stromfluss. Die Kombination daraus ist somit maßgeblich für den Stromverlauf.

3.4 Effizienzoptimierung Buck Converter

Eine effektive Maßnahme zur Optimierung der Effizienz eines Buck Converters ist die Verwendung eines Mosfets anstelle der Freilaufdiode. Insbesondere bei niedrigen Spannungen ist die Forwardspannung der Diode sehr signifikant, und führt zu großen Verlusten. Verbaut man an der Stelle einen gesteuerten Mosfet, ist der Spannungsabfall an der Stelle deutlich geringer. Der Mosfet weist einen deutlich geringeren Innenwiderstand auf.

Eine weitere Maßnahme ist das "zero current switching" bzw. "low current switching". Dabei wird der Schaltzeitpunkt des Mosfets optimiert, und zu einem Zeitpunkt mit geringem Stromfluss geschaltet. Somit wird weniger Energie pro Umschaltung benötigt, und insgesamt die Effizienz verbessert.

Außerdem kann die Schaltfrequenz des Converters adaptiv an die Leistungsaufnahme angepasst werden. Wird die Schaltung in Teillast betrieben, kann die Schaltfrequenz heruntergefahren werden. Infolgedessen sind weniger Schalvorgänge pro Zeiteinheit nötig, und die Verlustleistung sinkt.

Literatur

- [1] Wolfspeed. (2025) Cab003m09dm3. Zugriff am 06.06.2025. [Online]. Available: https://assets.wolfspeed.com/uploads/2024/05/Wolfspeed_CAB003M09DM3_data_sheet.pdf
- [2] GeneSiC. (2025) Msrt10060(a)d thru msrt100100(a)d. Zugriff am 06.06.2025. [Online]. Available: <https://www.mouser.at/datasheet/2/1451/msrt10060d-3482437.pdf>

Abbildungsverzeichnis

1	Boost-Converter Schaltung	1
2	Arbeitspunkt Mosfet	2
3	DP Test	3
4	Energiemessung	3
5	Buck-Converter Schaltung	4
6	Buck-Converter Messungen	5
7	Buck-DP Test	6
8	Energiemessung Buck	6

Tabellenverzeichnis

1	Buck MOSFET	5
2	Diode Buck	5