



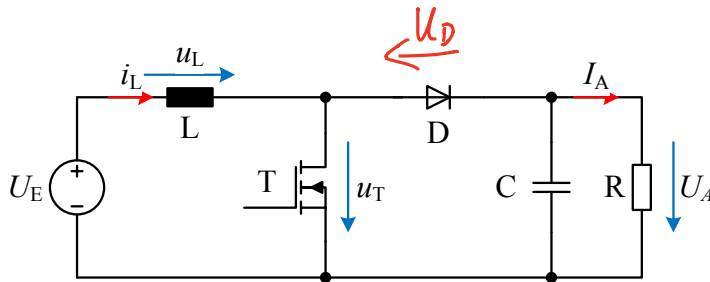
# GRUNDSCHALTUNGEN DER LEISTUNGSELEKTRONIK

## ÜBUNG

### Inhalte:

- Auslegung eines Hochsetzstellers
- Verlustberechnung und Kühlungsdimensionierung

## Aufgabe: Hochsetzsteller und Kühlauslegung

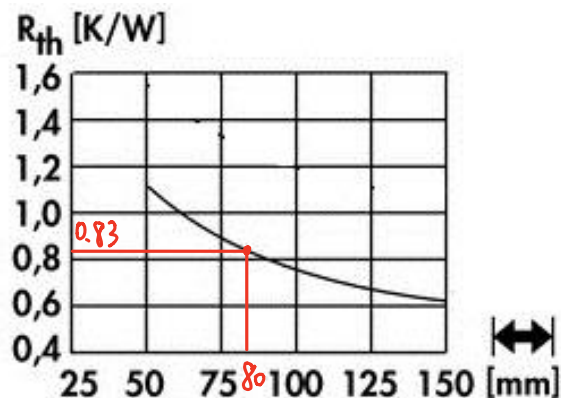
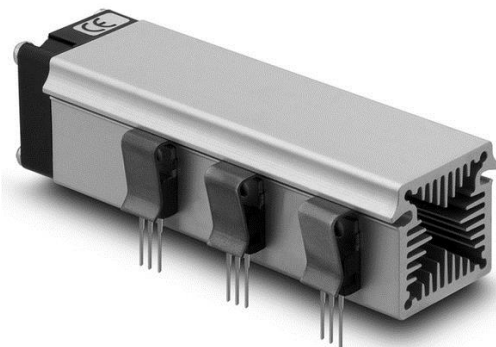


$U_E$ : Eingangsspannung  
 $U_A$ : Ausgangsspannung  
 T: Transistor  
 D: Diode  
 L: Induktivität  
 C: Kondensator  
 R: Lastwiderstand

Der abgebildete Hochsetzsteller wird in einem Solarwechselrichter eingesetzt. Er soll eine Ausgangsspannung von 400 V liefern. Im Auslegungspunkt liegt die Eingangsspannung bei 300 V, die Nennleistung beträgt 4,5 kW. Um die Drosselgröße zu minimieren, soll der Steller mit 200 kHz betrieben werden.

Die Schaltung wird aus diskreten Bauteilen aufgebaut. Im MOSFET treten Durchlass- und Schaltverluste auf, in der Diode nur Durchlassverluste. Beide Halbleiter werden auf einen gemeinsamen Kühlkörper montiert, der durch einen Lüfter permanent angeströmt wird.

### Kühlkörperdaten



### Datenblattparameter für den MOSFET

Durchlasswiderstand	$u_{GS}=15 \text{ V}, T_j=150 \text{ °C}$	$R_{DS,on}$	160 mΩ
Einschaltverlustenergie	$I_D=20 \text{ A}, U_{DS}=300 \text{ V}, T_j=150 \text{ °C}$	$E_{on}$	80 μJ
Ausschaltverlustenergie	$I_D=20 \text{ A}, U_{DS}=300 \text{ V}, T_j=150 \text{ °C}$	$E_{off}$	36 μJ
Wärmewiderstände		$R_{th,jc,MOSFET}$	0,3 K/W
		$R_{th,cs,MOSFET}$	0,2 K/W

### Datenblattparameter für die Diode

Durchlassspannung	$T_j=150 \text{ °C}$	$u_{F,0}$	0,8 V
		$r_F$	0,11 Ω
Wärmewiderstände		$R_{th,jc,Diode}$	0,55 K/W
		$R_{th,cs,Diode}$	0,2 K/W

**Gefragt:**

Nehmen Sie zunächst alle Bauteile als ideal an! Die Schaltung befindet sich bei Nennbetrieb weit entfernt vom lückenden Betrieb.

- 1a) Zeichnen Sie die zeitlichen Verläufe der Ströme durch den MOSFET, durch die Diode und in der Induktivität! Zeichnen Sie weiterhin die Verläufe der Spannungen über dem Schalter, über der Diode und über der Induktivität!
- 1b) Bestimmen Sie das benötigte Tastverhältnis  $T_{\text{on}}/T$  und die Ein- und Ausschaltzeit für den angegebenen Nennbetriebsfall!
- 1c) Berechnen Sie den Wert der Induktivität  $L$  für einen Eingangsstromripple von 0,5 A!
- 1d) Berechnen Sie die Energie, die maximal in der Drossel gespeichert werden muss, und geben Sie das benötigte Luftspaltvolumen für eine maximale Feldstärke von 0,3 T an!

Der MOSFET und die Diode werden nun gemäß ihrer Datenblattangaben als verlustbehaftet betrachtet. Der Stromripple in  $L$  sei vernachlässigbar klein.

- 1e) Bestimmen Sie die Verluste, die in den Halbleitern auftreten! Bedenken Sie dabei das in Aufgabenteil b) berechnete Tastverhältnis. Berücksichtigen Sie für die Bestimmung der Durchlassverluste in der Diode die Abhängigkeit der Durchlassspannung  $u_F = u_{F,0} + r_F \cdot i_F$ .
- 1f) Zeichnen und beschriften Sie das statische thermische Ersatzschaltbild der Anordnung!

Falls Sie Aufgabe e) nicht lösen konnten, rechnen Sie mit folgenden Zahlenwerten weiter:

Schaltverluste MOSFET:  $P_{v,s,MOSFET} = 25\text{W}$

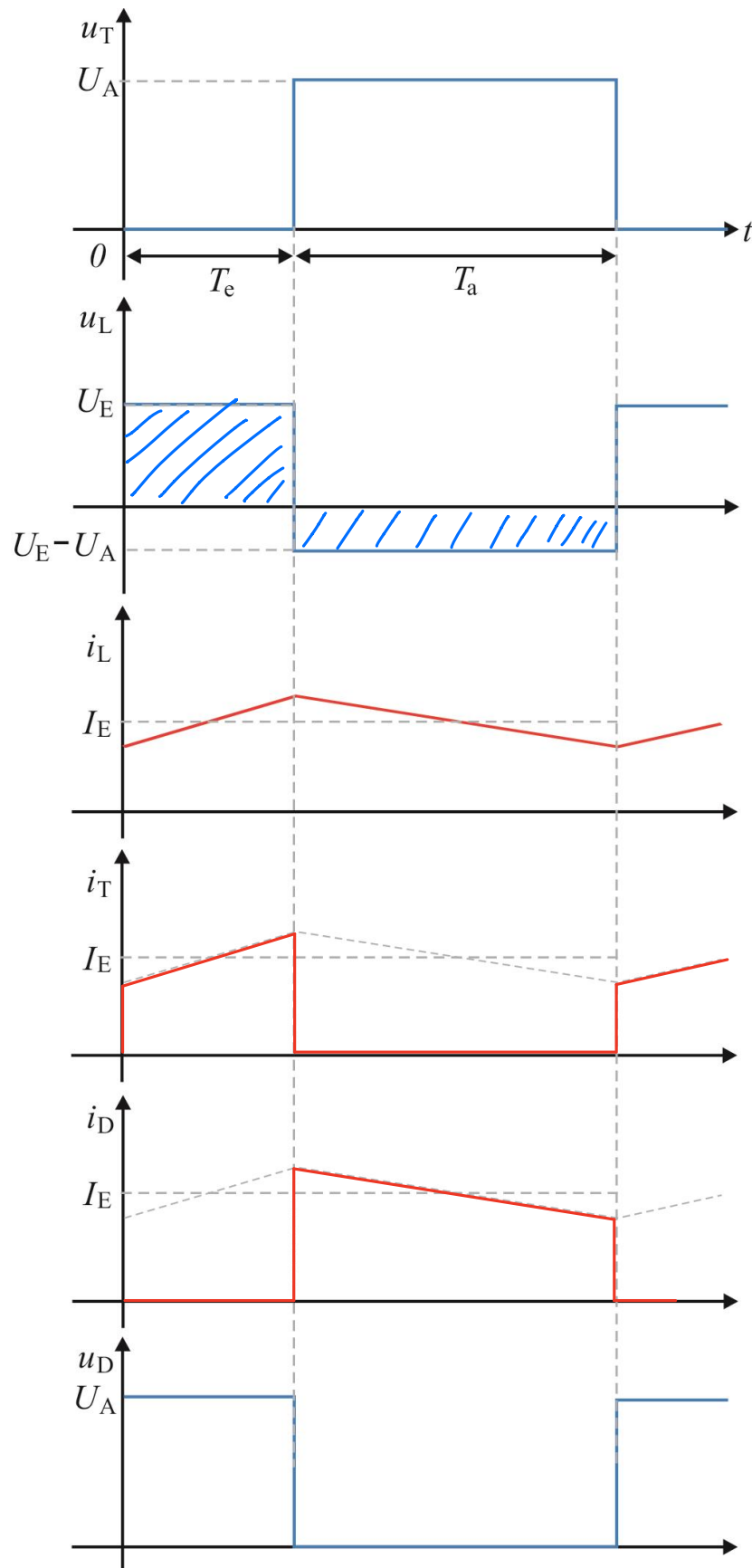
Durchlassverluste MOSFET:  $P_{v,d,MOSFET} = 10\text{W}$

Durchlassverluste Diode:  $P_{v,d,DIODE} = 30\text{W}$

- 1g) Berechnen Sie die Temperaturdifferenzen zwischen den Sperrschichten der Halbleiter und der Kühlkörperoberfläche! Bestimmen Sie die benötigte Kühlkörpertemperatur für eine maximale Sperrschichttemperatur von 150 °C!
- 1h) Bestimmen Sie anhand der Kennlinie die Länge des benötigten Kühlkörpers, sodass dessen Oberflächentemperatur 100°C nicht übersteigt, wenn die Umgebungstemperatur maximal 50 °C beträgt!

**zu 1a)** Zeitlicher Verlauf der Ströme durch den MOSFET, durch die Diode und in der Induktivität!

Zeitlicher Verlauf der Spannungen über dem MOSFET, über der Diode und über der Induktivität!



(b) Tastverhältnis  $\frac{T_e}{T}$ :

spgs, zeitflächen an L für  $T_e$  und  $T_a$  gleich

$$\Rightarrow \underline{T_e \cdot U_E = T_a \cdot (U_A - U_E)} \text{ mit } T_a = T - T_e$$

$$\frac{T_e}{T} = \frac{U_A - U_E}{U_A} = \frac{400V - 300V}{400V} = \underline{0.25} \checkmark$$

$$T = 5 \mu s \Rightarrow T_e = 1.25 \mu s, T_a = \underline{3.75 \mu s} \checkmark$$

(c)  $L = ?$  für Stromripple von  $0.5 A$

$$T_e: U_L = U_E = L \cdot \frac{di_L}{dt} = L \cdot \frac{\Delta i_L}{T_e}$$

$$\Rightarrow L = U_E \cdot \frac{T_e}{\Delta i_L} = 300V \cdot \frac{1.25 \mu s}{0.5 A} = 750 \mu H$$

(d) gespeicherte Energie; Luftspaltvolumen

$$\text{mittlerer Eingangstrom: } I_E = \frac{P}{U_E} = \frac{4.5 kW}{300V} = 15 A$$

$$\text{maximaler Eingangstrom: } \hat{I}_E = 15 A + 0.25 A = 15.25 A$$

$$\text{Energie in der Drossel: } \underline{W_{magn} = \frac{1}{2} L \cdot \hat{i}^2 = \frac{1}{2} \cdot 750 \mu H \cdot (15.25 A)^2 = 87.2 mJ}$$

$$\text{Luftspaltvolumen: } W_{magn} = \frac{1}{2 \cdot \mu_0} \cdot B^2 \cdot V$$

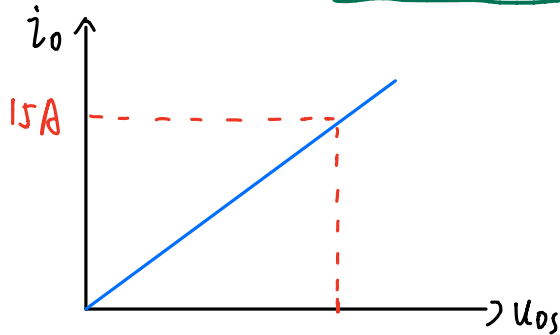
$$\Rightarrow V = W_{magn} \cdot \frac{2 \cdot \mu_0}{B^2} = 87.2 mJ \cdot \frac{2 \cdot \mu_0}{(0.3 T)^2}, \mu_0 = 4 \pi \cdot 10^{-7} \frac{Vs}{Am}$$

$$V = 2435 mm^3$$

(e) Verlustleistung der Halbleiter:

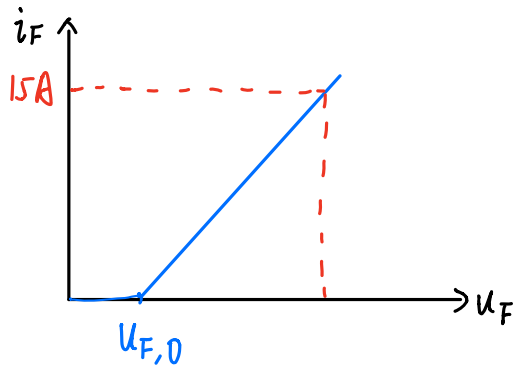
Durchlassverluste:

$$\begin{aligned} \text{Mosfet: } P_{V,d,\text{mosfet}} &= \frac{T_e}{T} \cdot R_{DS, on} \cdot i_D^2 \\ &= 0.25 \cdot 160 \text{ m}\Omega \cdot (15 \text{ A})^2 \\ &= 9 \text{ W} \end{aligned}$$



都要算

$$\begin{aligned} \text{Diode: } P_{V,d,\text{diode}} &= \frac{T_a}{T} \cdot (U_{F,0} \cdot i_D + r_F \cdot i_D^2) \\ &= 0.75 \cdot (0.8 \text{ V} \cdot 15 \text{ A} + 0.11 \text{ }\Omega \cdot (15 \text{ A})^2) \\ &= 27.56 \text{ W} \end{aligned}$$



Schaltverluste:

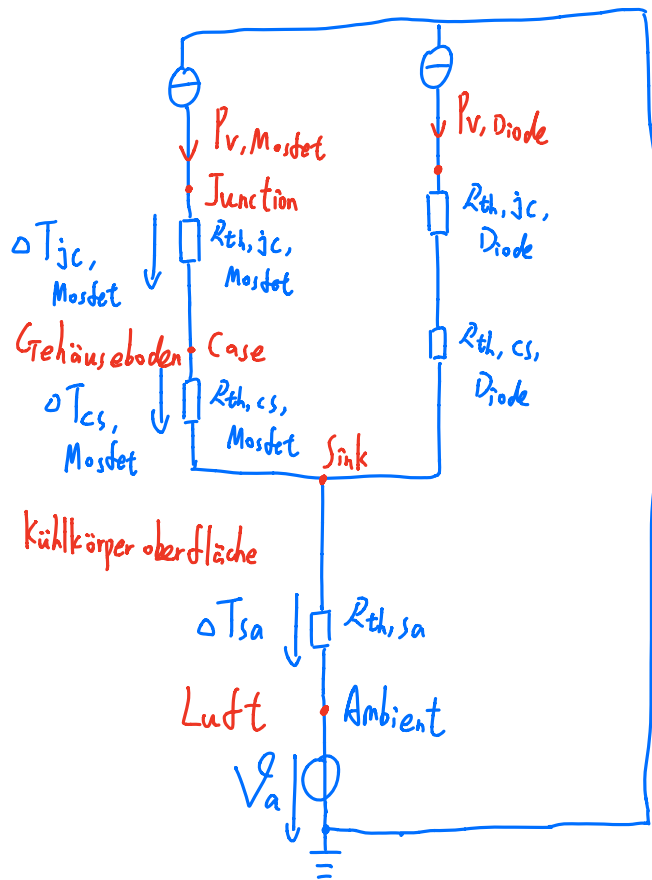
Norminierung auf Datenblatt

$$\begin{aligned} \text{Mosfet: } P_{V,s,\text{mosfet}} &= f_s \cdot (E_{on} + E_{off}) \cdot \frac{i_T}{I_{Nom}} \cdot \frac{U_T}{U_{Nom}} \\ &= 200 \text{ kHz} \cdot (80 \text{ }\mu\text{J} + 36 \text{ }\mu\text{J}) \cdot \frac{15 \text{ A}}{20 \text{ A}} \cdot \frac{420 \text{ V}}{300 \text{ V}} \\ &= 23.2 \text{ W} \end{aligned}$$

$$P_{V,\text{mosfet}} = 9 \text{ W} + 23.2 \text{ W} = 32.2 \text{ W}$$

$\Rightarrow$  Kühlkörperlänge (Datenblatt)  $\approx 80 \text{ mm}$

(f) thermisches Ersatzschaltbild:



max: 150°C

(g) Temperaturdifferenzen:

$$\begin{aligned}\Delta T_{js, \text{Mosfet}} &= P_{v, \text{Mosfet}} \cdot (R_{th, jc} + R_{th, cs})_{\text{Mosfet}} \\ &= 32.2 \text{ W} \cdot \left( 0.3 \frac{\text{K}}{\text{W}} + 0.2 \frac{\text{K}}{\text{W}} \right) \\ &= 16.1 \text{ K}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta T_{js, \text{Diode}} &= P_{v, \text{Diode}} \cdot (R_{th, jc} + R_{th, cs})_{\text{Diode}} \\ &= 27.56 \text{ W} \cdot \left( 0.55 \frac{\text{K}}{\text{W}} + 0.2 \frac{\text{K}}{\text{W}} \right) \\ &= 20.67 \text{ K}\end{aligned}$$

$$\Rightarrow V_{s, \text{max}} = 150^\circ\text{C} - 20.7 \text{ K} = 129.3^\circ\text{C}$$

$$(h) \quad \begin{array}{l} V_a \stackrel{!}{=} 50^\circ\text{C} \\ V_{s, \max} \stackrel{!}{=} 100^\circ\text{C} \end{array} \quad \Rightarrow \quad \Delta T_{sa} = 50^\circ\text{C}$$

$$\Rightarrow \Delta T_{sa} = R_{th, sa} \cdot (P_{v, Mosfet} + P_{v, Diode})$$

$$R_{th, sa} = \frac{\Delta T_{sa}}{(P_{v, Mosfet} + P_{v, Diode})}$$

$$= \frac{50^\circ\text{C}}{32.2\text{W} + 27.56\text{W}}$$

$$= 0.83 \text{ K/W}$$





