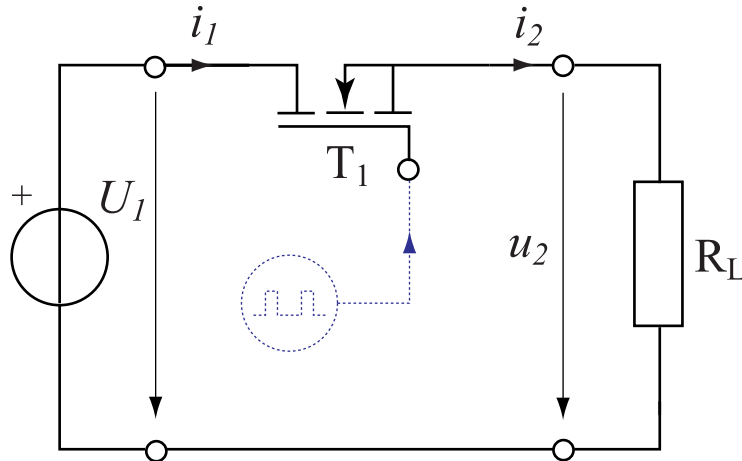


## Aufgabe 1: Schaltender Transistor

Zur verlustarmen und stufenlosen Steuerung der Heckscheibenheizung eines Autos wird ein schaltender Transistor eingesetzt. Durch die Variation der Einschaltdauer des Transistors kann der Mittelwert der Heizleistung eingestellt werden. Die Spannung im Bordnetz des Autos sei konstant und kann mit einer Spannungsquelle  $U_1 = 14\text{ V}$  nachgebildet werden. Die Heizung sei so bemessen, dass sie bei ihrer nominalen Spannung  $U_{2N} = 14\text{ V}$  eine Leistung von  $P_{LN} = 500\text{ W}$  aufnimmt und mit einem ohmschen Widerstand nachgebildet werden kann.



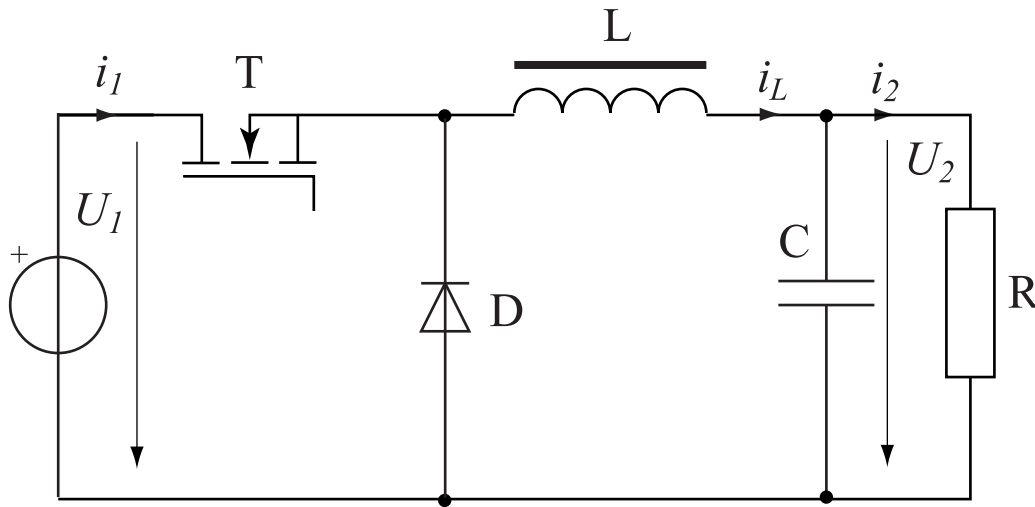
1. Zeichnen Sie qualitativ Strom- und Spannungsverläufe am Lastwiderstand.
2. Zeichnen Sie den zeitlichen Verlauf der Momentanleistung am Lastwiderstand.
3. Leiten Sie die Beziehungen für die mittlere Spannung  $\bar{u}_2$ , den mittleren Strom  $\bar{i}_2$  und die mittlere Leistung  $P_2$  in Abhängigkeit vom Tastverhältnis  $D$ .
4. Wie groß ist das Tastverhältnis  $D$  zu wählen, damit an der Heizung eine mittlere Spannung von  $\bar{u}_2 = 8\text{ V}$  anliegt? Wie groß ist der Mittelwert des Stromes  $\bar{i}_2$ ? Welche Leistung  $P_2$  wird in Wärme umgesetzt?
5. Beim Anlassen des Motors darf die Heizung maximal einen mittleren Strom  $\bar{i}_{an} = 10\text{ A}$  vom Bordnetz entziehen. Mit welchem Tastverhältnis  $D$  soll der Transistor in diesem Fall geschaltet werden? Welche mittlere Spannung  $\bar{u}_2$  liegt dabei an der Heizung? Welche Leistung  $P_2$  wird in Wärme umgesetzt?
6. Während der Fahrt soll die Heizleistung  $P_{2f} = 200\text{ W}$  betragen. Wie stellt sich das Tastverhältnis  $D$  ein? Wie groß sind die Mittelwerte des Stromes  $\bar{i}_2$  und der Spannung  $\bar{u}_2$ ?

### Ergebnisse:

3.  $\bar{u}_2 = U_1 \cdot D$ ,  $\bar{i}_2 = \frac{U_1 \cdot D}{R_L}$ ,  $P_2 = \frac{U_1^2 \cdot D}{R_L}$
4.  $D = 0,57$ ,  $R_L = 392\text{ m}\Omega$ ,  $\bar{i}_2 = 20,36\text{ A}$ ,  $P_2 = 285\text{ W}$
5.  $D = 0,28$ ,  $\bar{u}_2 = 3,92\text{ V}$ ,  $P_2 = 140\text{ W}$
6.  $D = 0,4$ ,  $\bar{i}_2 = 14,29\text{ A}$ ,  $\bar{u}_2 = 5,6\text{ V}$

## Aufgabe 2: Tiefsetzsteller

Zum Aufladen eines Mobiltelefones vom KFZ-Bordnetz mit der Bordnetzspannung  $U_1 = 13,5\text{ V}$  wird ein Tiefsetzsteller eingesetzt. Die Eingangsspannung des Mobiltelefons betrage  $U_2 = 4,5\text{ V}$ .



(beide Spannungen werden als konstant angenommen). Die Induktivität der idealen Spule betrage  $L = 10\text{ }\mu\text{H}$ .

Die Schaltfrequenz betrage  $f_s = 100\text{ kHz}$ . Alle Bauelemente seien ideal.

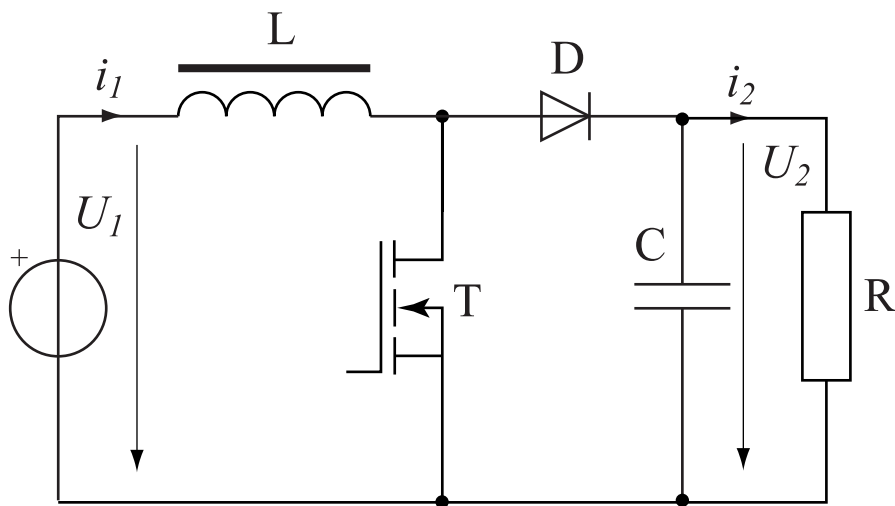
1. Zeichnen Sie die Ersatzschaltbilder für die beiden Schaltzustände
2. Mit welchem Tastverhältnis  $D$  muss der Tiefsetzsteller betrieben werden?
3. Zeichnen Sie qualitativ die Spannungs- und Stromverläufe in den Bauelementen.
4. Wie groß ist die Stromschwankungsbreite  $\Delta i_L$  des Spulenstromes im Normalbetrieb bei einer Schaltfrequenz von  $f_s = 100\text{ kHz}$ .
5. Beim Anlassen des Motors sinke die Eingangsspannung bis auf  $U_{1\min} = 10\text{ V}$ . Der Spannungsregler des Tiefsetzstellers verändert dabei das Tastverhältnis so, dass die Ausgangsspannung  $U_2 = 4,5\text{ V}$  stabil gehalten wird. Welches Tastverhältnis  $D$  stellt sich ein?
6. Wo liegt nun die Lückgrenze?
7. Im Folgenden ist die Eingangsspannung konstant und die Ausgangsspannung soll mit dem Tastverhältnis verändert werden. Bei welchem Tastverhältnis  $D$  wird die Stromschwankungsbreite maximal?
8. Skizzieren Sie den Verlauf der Stromschwankungsbreite  $\Delta i_L$  in Abhängigkeit des Tastverhältnisses  $D$ .

### Ergebnisse:

2.  $D = \frac{1}{3}$
3.  $\Delta i_L = 3\text{A}, I_{2\min} = 1,5\text{A}$
4.  $D = 0,45$
5.  $\Delta i_L = 2,475\text{A}, I_{2\min} = 1,24\text{A}$
6.  $D = \frac{1}{2}$

### Aufgabe 3: Hochsetzsteller

Um ein Notebook vom KFZ-Bordnetz mit der Bordnetzspannung  $U_1 = 14\text{V}$  zu betreiben, soll ein Hochsetzsteller eingesetzt werden. Die benötigte Spannung betrage  $U_{2N} = 19\text{V}$ , der nominale Stromverbrauch des Notebooks liege bei  $I_{2N} = 3,5\text{A}$ . Die Eingangsspannung kann als Spannungsquelle dargestellt werden.



Der Verbraucher soll als ohmsch angesehen werden. Die Ausgangsspannung wird von einem Spannungsregler durch die Veränderung des Tastverhältnisses konstant gehalten. Die Bauelemente seien ideal.

1. Zeichnen Sie die Ersatzschaltbilder für die beiden Schaltzustände.
2. Zeichnen Sie qualitativ die Spannungs- und Stromverläufe in den Bauelementen.
3. Mit welchem Tastverhältnis  $D$  muss der Hochsetzsteller betrieben werden?
4. Bestimmen Sie die Induktivität der Spule  $L$ , so dass bei einer Schaltfrequenz von  $f_s = 100\text{kHz}$  und einem Minimalstrom  $I_{2\min} = 500\text{mA}$  der Betrieb an der Lückgrenze gewährleistet wird.

Für die weiteren Aufgabenpunkte soll die Stromschwankung in der Spule vernachlässigbar klein angenommen werden. Das kann z. B. gewährleistet werden, wenn die Spule eine ausreichend große Induktivität besitzt. Der Hochsetzsteller arbeite im Nominalbetrieb (Bedingungen s.o.).

5. Welcher Strom  $\bar{i}_1$  wird dem Bordnetz entnommen?
6. Wie groß ist der Effektivwert des Transistorstromes?
7. Wie groß ist der Mittelwert des Diodenstromes?
8. Wie groß ist der Effektivwert des Kondensatorstromes?

Nun enthalte die Schaltung reale Bauelemente. Alle Schaltverluste werden vernachlässigt, nur die Durchlassverluste sollen berücksichtigt werden. Die Durchlassverluste in der Spule und im Kondensator werden mit Ersatzreihenwiderständen jeweils  $R_{LESR} = 10\text{ m}\Omega$  und  $R_{CESR} = 20\text{ m}\Omega$  nachgebildet. Der Transistor produziere die Durchlassverluste nur im eingeschalteten Zustand. Sie werden mit dem Widerstand  $R_{\text{dson}} = 10\text{ m}\Omega$  nachgebildet. Die Diode  $D$  kann im leitenden Zustand durch eine Ersatzspannungsquelle  $V_D = 0,5\text{ V}$  nachgebildet werden.

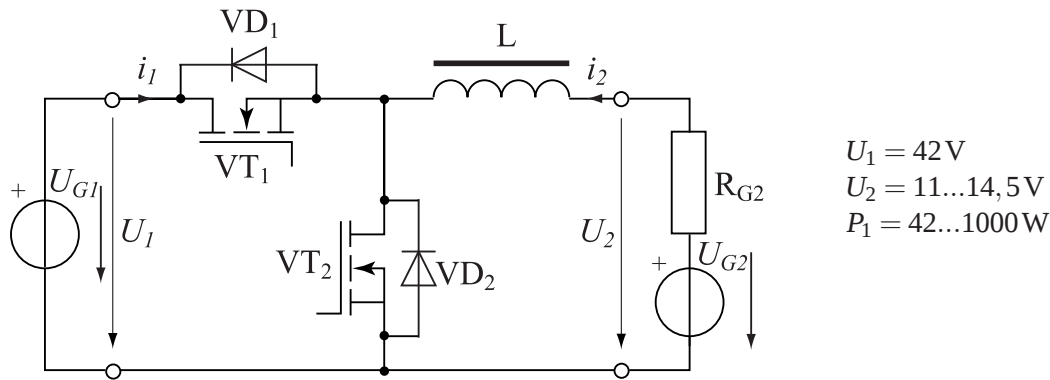
9. Berechnen Sie die Durchlassverluste in der Spule, im Kondensator, im Transistor und in der Diode. Berechnen Sie die Gesamtverluste im Hochsetzsteller und den Wirkungsgrad. Benutzen Sie dafür die zuvor berechneten Effektiv- und Mittelwerte der Ströme.

### Ergebnisse:

2. Transistor leitet:  $u_L = U_1$ ,  $u_T = 0$ ,  $i_2 = i_D = 0$ ,  $u_D = U_2$   
Transistor sperrt:  $i_L = U_1 - U_2$ ,  $u_T = U_2$ ,  $i_2 = i_d = i_1 u_D = 0$
3.  $D = 0,263$
4.  $L = 27,16\mu\text{H}$
5.  $\bar{i}_1 = 4,75\text{ A}$
6.  $i_T = 2,44\text{ A}$
7.  $\bar{i}_D = 3,5\text{ A}$
8.  $I_C = 2,09\text{ A}$
9.  $P_L = 225,6\text{ mW}$ ,  $P_C = 87,4\text{ mW}$ ,  $P_T = 59\text{ mW}$ ,  $P_D = 1,75\text{ W}$ ,  $\eta = 96,9$

### Aufgabe 4: Bidirektionaler Stromrichter

In einem modernen KFZ wird für den Energieaustausch zwischen herkömmlichem 14V-Bordnetz und einem neuen 42V-Bordnetz ein bidirektionaler Stromumrichter eingesetzt. Das 42V-Netz ist als ideale Spannungsquelle, alle Halbleiter und Spule sind als verlustfrei anzunehmen.



Das 14 V-Netz wird zunächst mit einer idealen Spannungsquelle  $U_{G2} = 14\text{ V}$ ,  $R_{G2} = 0\Omega$  nachgebildet. Die Schaltung kann als Tief- oder als Hochsetzsteller betrieben werden, indem man einen von beiden Transistoren schaltet und den anderen nicht. Der nichtschaltende Transistor kann als unendlicher Widerstand mit  $R_{DS} = \infty$  angenommen werden.

1. Zeichnen Sie die Schaltbilder für beide Betriebsarten:

- a) Tiefsetzsteller
- b) Hochsetzsteller

und zeigen Sie dabei die Leistungsflussrichtung.

2. Zeichnen Sie die Ersatzschaltbilder für alle Schaltzustände, die bei nichtlückendem Strom von  $i_2(t)$  auftreten. Bestimmen Sie das Gleichspannungsübersetzungsverhältnis der Schaltung in Allgemeinform und die Tastverhältnisse  $D_1$  und  $D_2$  für den oben spezifizierten Fall.

**Hinweis:** Eine allgemeine Betrachtung beider Fälle erspart Ihnen Zeit.

3. Kann die Schaltung bei  $U_1 = 14\text{ V}$  und  $U_2 = 42\text{ V}$  betrieben werden? Warum?

- a) Falls ja, ermitteln Sie die Tastverhältnisse  $D_1$  und  $D_2$ .
- b) Falls nein, was passiert dann mit der Schaltung?

4. Wie gross ist die Induktivität  $L$  der Spule zu wählen, damit der Stromrichter mit einer Schaltfrequenz  $f_s = 200\text{ kHz}$  im gesamten Leistungsbereich lückfrei arbeitet.

5. Aus Platzgründen sind Sie gezwungen, die zuvor ermittelte Induktivität  $L$  der Spule zu halbieren. Der Umrichter soll dennoch weiterhin im gesamten Leistungsbereich lückfrei arbeiten. Was werden Sie tun?

- a) Tastverhältnis  $D$  auf / um ... ändern.
- b) Schaltfrequenz  $f_s$  auf / um ... ändern.
- c)  $L$  und  $VT_2 + VD_2$  austauschen.

Begründen Sie Ihre Antwort.

Das 14 V-Netz soll im folgenden mit einer Batterie mit  $U_{G2} = 12,6\text{ V}$ ,  $R_{G2} = 32\text{ m}\Omega$  repräsentiert werden. Der Spulenstrom  $i_L$  sei nun ideal geglättet.

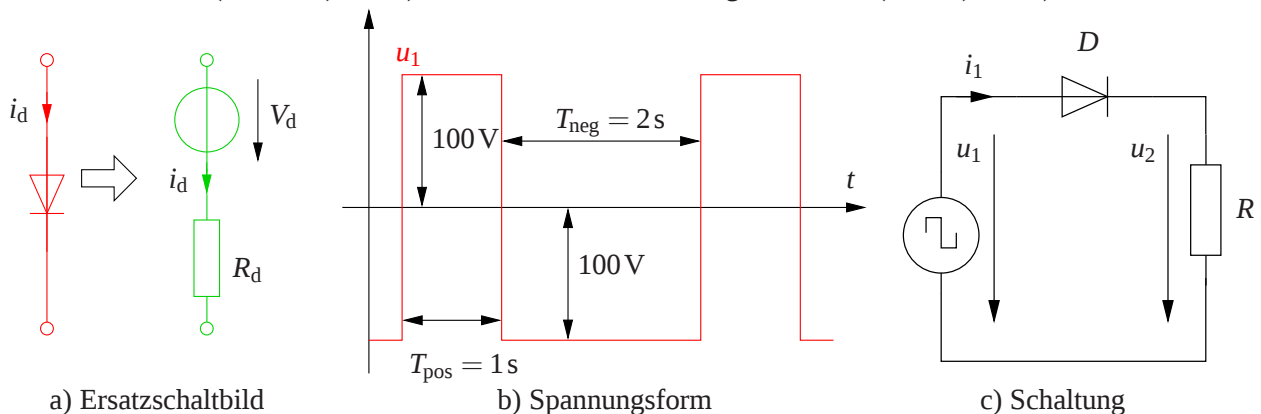
6. Bestimmen Sie die Tastverhältnisse, wenn die Batterie zunächst mit dem Strom  $i_2 = 50\text{ A}$  entladen und anschließend mit dem Strom  $i_2 = -25\text{ A}$  geladen wird.

### Ergebnisse:

2.  $D_1 = 0,333, D_2 = 0,667$
4.  $I_{Lmin} = 3A, L_{min} = 7,781\mu H$
6. Entladen:  $D_1 = 0,338, D_2 = 0,662$   
Laden:  $D_1 = 0,281, D_2 = 0,719$

### Aufgabe 5: Verlustleistung

Zur Bestimmung der Verlustleistung eines Halbleiterbauelementes im eingeschalteten Zustand werde eine Ersatzschaltung bestehend aus einer Spannungsquelle und einem Widerstand benutzt (s. Abb. a) unten links). Je nach Bauelement (Diode, MOSFET, BJT) variieren die Parameter dieser Ersatzschaltung. In dieser Aufgabe sollen die Durchlassverluste in einer Diode mit  $V_d = 0,7V$  und  $R_d = 10m\Omega$  bestimmt werden. Die Diode dient der Gleichrichtung einer rechteckförmigen Spannung mit der Amplitude  $\hat{u}_1 = 100V$  (s. Abb. b) unten). Der Lastwiderstand betrage  $R = 10\Omega$  (Abb. c) unten).



1. Zeichnen Sie die Ersatzschaltbilder für positive und negative Intervalle der Eingangsspannung.
2. Zeichnen Sie den zeitlichen Verlauf der Ausgangsspannung  $u_2$  und des Diodenstromes  $i_1$ .
3. Ermitteln Sie den Mittelwert  $\bar{i}_1$  und den Effektivwert  $I_1$  des Diodenstromes.
4. Bestimmen Sie die vom Lastwiderstand entnommene mittlere Leistung.
5. Bestimmen Sie die momentane und die mittlere Verlustleistung in der Diode (nur Durchlassverluste).

### Ergebnisse:

3.  $\bar{i}_1 = 3,31A, I_1 = 5,73A$
4.  $P = 328,33W$
5.  $P_D = 2,65W, \eta = 0,997$