Fachgebiet Leistungselektronik und Elektrische Antriebstechnik
Prof. Dr.–Ing. Joachim Böcker

Musterlösung
Klausur Grundlagen der Elektrotechnik B
23.09.2005

Name:	**Matrikelnummer:**
Vorname:	
Studiengang:	☐ **Fachprüfung** ☐ **Leistungsnachweis**

Aufgabe:	1	2	3	4	5	Bonus	∑	Note

Zugelassene Hilfsmittel:

- eine selbsterstellte, handgeschriebene Formelsammlung (1 Blatt DIN A4, beidseitig beschrieben, keine Kopien oder Ausdrucke)
- ein nichtprogrammierbarer Taschenrechner ohne grafikfähiges Display
- Zeichenmaterialien (Zirkel, Geodreieck, Lineal, Stifte…)

Bitte Studienausweis mit Lichtbild bereitlegen!

Bitte beschriften Sie jeden Klausurbogen mit Ihrem Namen und Ihrer Matrikelnummer. Benutzen Sie für jede Aufgabe einen neuen Klausurbogen. Bitte verwenden Sie keine roten Stifte.

Alle Lösungswege sind nachvollziehbar zu dokumentieren und zu kommentieren! **Die Angabe einer Zahlenwertlösung ohne erkennbaren Lösungsweg wird nicht gewertet.**

Viel Erfolg!

Aufgabe 1: Komplexe Wechselstromrechnung, Leistung

1.1. $\underline{Y}=\frac{1}{R}+j(\omega C-\frac{1}{\omega L})=\frac{1}{R}-j\frac{1-\omega^2 LC}{\omega L}$

1.2. $\underline{Y}=\frac{1}{100\,\Omega}+j(2\pi\cdot 50\frac{1}{s}\cdot 47\,\mu\mathrm{F}-\frac{1}{2\pi 50\frac{1}{s}\cdot 0{,}1H})=(0{,}01-j\,0{,}0171)\frac{1}{\Omega}$

$=0{,}0198\frac{1}{\Omega}\cdot e^{-j59{,}68°}$

1.3. $\underline{I_0}=U\cdot\underline{Y}=230\,\mathrm{V}\cdot[0{,}01-j\cdot 0{,}0171]\frac{1}{\Omega}$

$=2{,}3\,\mathrm{A}-j3{,}933\,\mathrm{A}=4{,}556\,\mathrm{A}\,e^{-j59{,}68°}$

1.4. $\phi=\phi_U-\phi_I=0°-(-59{,}68°)=59{,}68°$

$\cos(\phi)=0{,}505$ (ind.)

1.5. $S=|U|\cdot|I|=1047{,}88\,\mathrm{VA}$

$P=S\cdot\cos(\phi)=529{,}18\,\mathrm{W}$

$Q=S\cdot\sin(\phi)=904{,}55\,VA$

1.6. $Q_{neu}=0$

$Q_{C,komp}=904{,}55\,\mathrm{VA}=\omega C U^2\Leftrightarrow C_{komp}=\frac{904{,}55\,\mathrm{VA}}{2\pi 50\frac{1}{s}\cdot(230\,\mathrm{V})^2}=54{,}43\,\mu\mathrm{F}$

Aufgabe 2: Schwingkreis

2.1.

a) $u_L(t=0^-)=0\,\mathrm{V}$ (Schwingung ist abgeklungen, daher $\dot{i}_L=0 \rightarrow u_L=L\cdot\dot{i}_L=0$)

b) $u_c(t=0^-)=U_0-u_L(t=0^-)=U_0$ (Maschenregel)

c) $i_L(t=0^-)=i_R=\frac{U_0}{R}$ (da $u_L(t=0^-)=0$ und C sperrt)

d) $i_c(t=0^-)=0\,\mathrm{A}$ (Kapazität sperrt den Strom)

2.2.

a) $u_c(t=0^+)=u_c(t=0^-)=U_0$ (Spannung über Kapazität kann sich nicht sprunghaft ändern)

b) $u_L(t=0^+)=U_0-u_c(t=0^+)=U_0-U_0=0\,\mathrm{V}$ (Maschenregel)

c) $i_L(t=0^+)=i_L(t=0^-)=\frac{U_0}{R}$ (Strom in Induktivität kann sich nicht sprunghaftändern)

d) $i_C(t=0^+)=i_L(t=0^+)=\frac{U_0}{R}$

2.3.

a) $\bar{u}_L=0\,\mathrm{V}$ (über Induktivität darf im Mittel keine Spannung anliegen, sonst: $i_L=\frac{1}{L}\int u_L\,dt \rightarrow \pm\infty$)

b) $\bar{u}_C=U_0-\bar{u}_L=U_0$

c) $\bar{i}_C=0$ (durch Kapazität darf im Mittel kein Strom fließen, sonst: $u_C=\frac{i}{C}\int i_C\,dt \rightarrow \pm\infty$)

d) $\bar{i}_L=\bar{i}_C=0$

2.4. siehe Skizze

2.5. $i_L(t)=\frac{U_0}{R}\cdot\cos(\omega_0 t)$ mit $\omega_0=\frac{2\pi}{T}$

$$u_L(t)=\frac{L\cdot d\,i_L(t)}{dt}=\frac{-L\cdot U_0}{R}\cdot\omega_0\sin(\omega_0 t)$$

2.6. siehe Skizze

2.7. $\left.\begin{array}{l} u_L=L\cdot\dot{i}_L \\ i_C=C\cdot\dot{u}_C \\ u_R=R\cdot i_R \end{array}\right\}$ Bauteilgleichungen

$$i_L = i_R + i_C = \frac{u_R}{R} + C \cdot \dot{u}_C \quad \text{Knotenregeln}$$

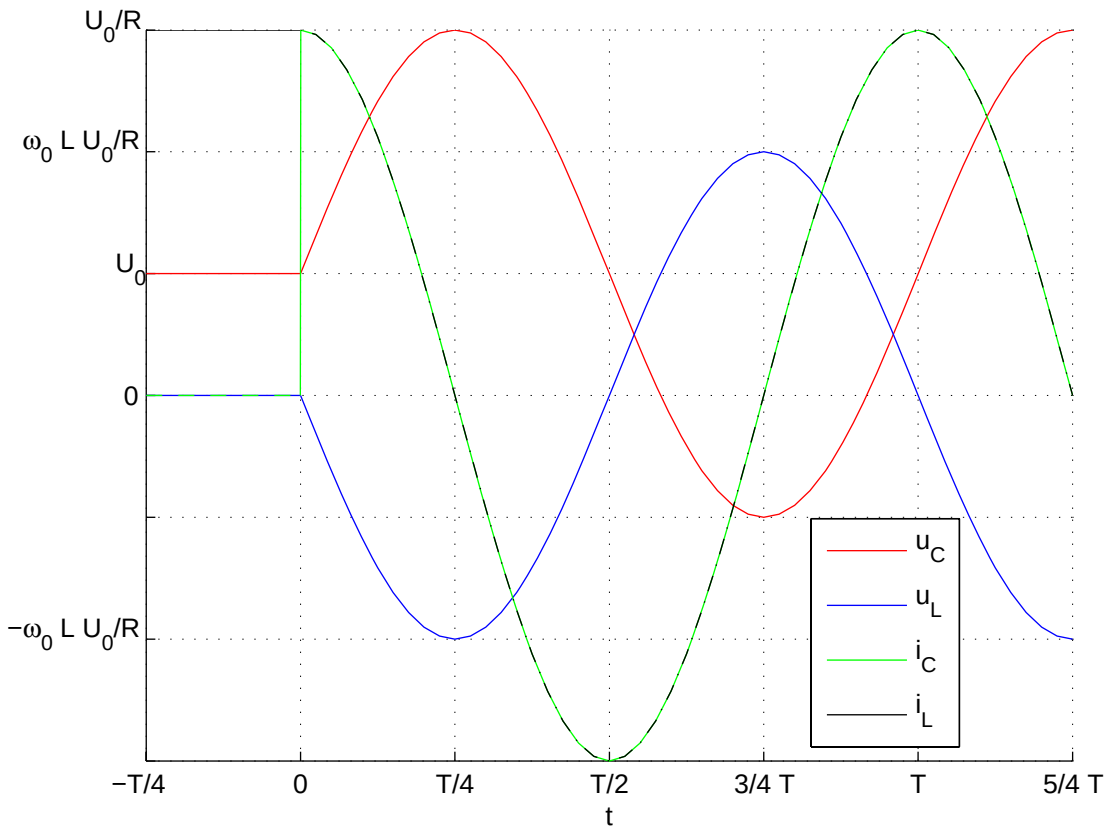
$$u_L = U_0 - u_C \quad , \quad u_R = u_C \quad \text{Maschenregeln}$$

$$i_L = \frac{u_C}{R} + C \cdot \dot{u}_C \quad \Big| \frac{d}{dt} \quad \Rightarrow \dot{i}_L = \frac{\dot{u}_C}{R} + C \cdot \ddot{u}_C \quad \Rightarrow \frac{u_L}{L} = \frac{\dot{u}_C}{R} + C \cdot \ddot{u}_C \quad \Rightarrow u_L = U_0 - u_C$$

$$\frac{1}{L}(U_0 - u_C) = \frac{\dot{u}_C}{R} + C \cdot \ddot{u}_C \quad \Big| \cdot L; + u_C$$

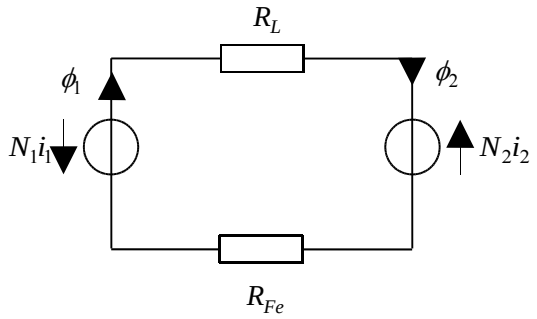
$$U_0 = LC\ddot{u}_C + \frac{L}{R}\dot{u}_C + u_C \quad \Leftrightarrow \quad \ddot{u}_C + \frac{1}{RC}\dot{u}_C + \frac{u_C}{LC} = \frac{U_0}{LC}$$

2.8. $t = T$



Aufgabe 3: Magnetischer Kreis, Transformator

3.1.



3.2. $$R_{Fe}=\frac{l_{Fe}}{A_{Fe}\mu_0\mu_r}=\frac{50\cdot 10^{-2}\,\mathrm{m\,A\,m}}{4\cdot 10^{-4}\,\mathrm{m}^2\cdot 4\pi\cdot 10^{-7}\,\mathrm{Vs}\cdot 4000}=248{,}68\cdot 10^3\,\frac{\mathrm{A}}{\mathrm{Vs}}$$

$$R_L=\frac{l_L}{A_{Fe}\cdot\mu_0}=\frac{1\cdot 10^{-2}\,\mathrm{m\,Am}}{4\cdot 10^{-4}\,\mathrm{m}^2\cdot 4\pi\cdot 10^{-7}\,\mathrm{Vs}}=19{,}89\cdot 10^6\,\frac{\mathrm{A}}{\mathrm{Vs}}$$

3.3. $$\Phi_m=\frac{N_1 i_1+N_2 i_2}{R_l+R_{Fe}}=\frac{1000\cdot 1\,\mathrm{A}+50(-15\,A)}{19{,}89\cdot 10^6\,\frac{\mathrm{A}}{\mathrm{Vs}}+248{,}68\cdot 10^3\,\frac{\mathrm{A}}{\mathrm{Vs}}}=12{,}414\cdot 10^{-6}\,\mathrm{Vs}$$

$$b_{Fe}=b_L=\frac{12{,}414\cdot 10^{-6}\,\mathrm{Vs}}{4\cdot 10^{-4}\,\mathrm{m}^2}=31{,}035\cdot 10^{-3}\,\frac{\mathrm{Vs}}{\mathrm{m}^2}$$

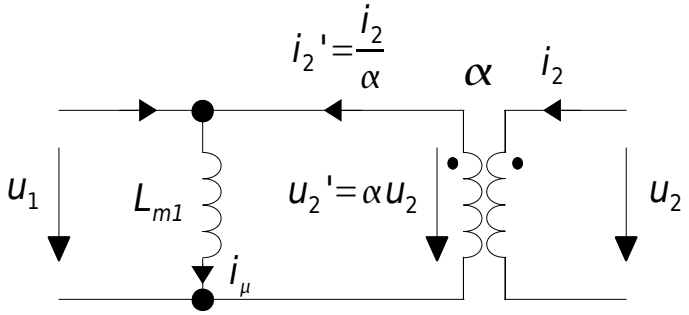
$$h_{Fe}=\frac{b_{Fe}}{\mu_{Fe}\cdot\mu_0}=\frac{31{,}035\cdot 10^{-3}\,\mathrm{Vs\,Am}}{4000\cdot 4\pi\,10^{-7}\,\mathrm{m}^2\,\mathrm{Vs}}=6{,}174\,\frac{\mathrm{A}}{\mathrm{m}}$$

$$h_L=\frac{b_L}{\mu_0}=24{,}697\cdot 10^3\,\frac{\mathrm{A}}{\mathrm{m}}$$

3.4. $$W_L=\frac{1}{2}\Phi_m^2\cdot R_L=\frac{1}{2}(12{,}414\cdot 10^{-6}\,\mathrm{Vs})^2\cdot 19{,}89\cdot 10^6\,\frac{\mathrm{A}}{\mathrm{Vs}}=1{,}53\cdot 10^{-3}\,\mathrm{VAs}$$

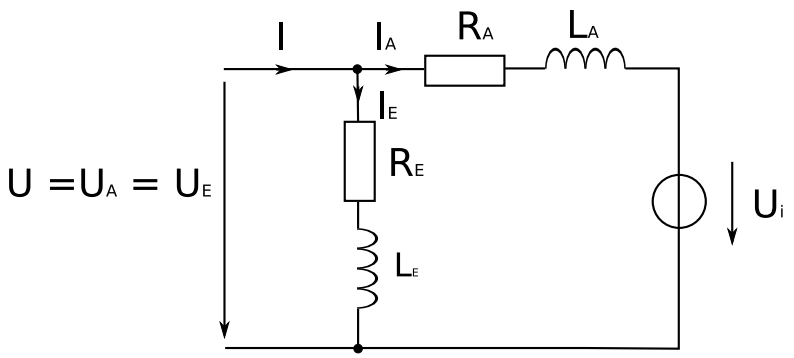
$$W_{Fe}=\frac{1}{2}\Phi_m^2\cdot R_{Fe}=\frac{1}{2}(12{,}414\cdot 10^{-6}\,\mathrm{Vs})^2\cdot 248{,}68\cdot 10^3\,\frac{\mathrm{A}}{\mathrm{Vs}}=19{,}16\cdot 10^{-6}\,\mathrm{VAs}$$

3.5.



Aufgabe 4: Gleichstrommaschine

4.1.Ersatzschaltbild Gleichstrom-Nebenschlussmaschine



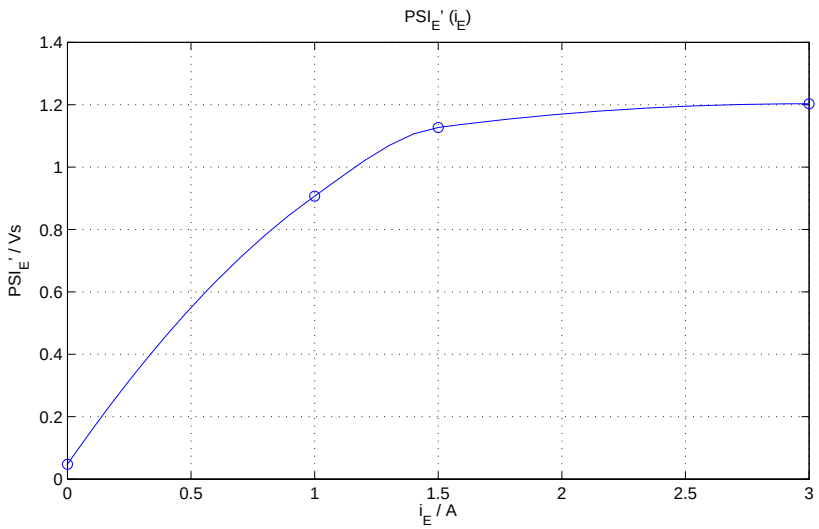
4.2.Berechnung der Motorkonstante Ψ_E' für verschiedene Erregerströme

$$U_i = \Psi_E' \cdot \omega$$

$$\Rightarrow \Psi_E' = \frac{U_i}{\omega}$$

$$n_0 = 1000\,\mathrm{min}^{-1} \Rightarrow \omega = \frac{2\cdot\pi}{60\frac{s}{\mathrm{min}}}\cdot 1000\,\mathrm{min}^{-1} = 104{,}72\frac{\mathrm{rad}}{\mathrm{s}}$$

i_E/A	0	1	1,5	3
Ψ_E'/Vs	0,0478	0,907	1,127	1,203



4.3.Drehzahl $n_0, n_{0,th}$

$$U = 120\mathrm{V}, R_E = 120\,\Omega$$

$$I_E = \frac{U}{R_E} = 1\mathrm{A} \Rightarrow \Psi_E'(I_E = 1\mathrm{A}) = 0{,}907\,\mathrm{Vs}$$

Unbelasteter Motor: $I_A = 0\,\mathrm{A}$

$$U = \underbrace{R_A \cdot I_A}_{=0} + \omega \Psi_E'$$

$$\omega = \frac{U}{\Psi_E'}$$

$$\omega_0 = \frac{U}{\Psi_E'(i_E = 1\,\mathrm{A})} = \frac{120\,\mathrm{V}}{0{,}907\,\mathrm{Vs}} = 132{,}3\,\frac{\mathrm{rad}}{s} \Rightarrow n_0 = 1263\,\mathrm{min}^{-1}$$

Erregerkreis geöffnet: $\Rightarrow I_E = 0\,\mathrm{A} \quad \Psi_E'(I_E = 0\mathrm{A}) = 0{,}0478\,\mathrm{Vs}$

$$\omega_{0,th} = \frac{120\,\mathrm{V}}{0{,}0478\,\mathrm{Vs}} = 2510\,\frac{\mathrm{rad}}{s} \Rightarrow n_{0,th} = 23969\,\mathrm{min}^{-1}$$

4.4.Berechnung des Ankerwiderstandes

$$U = R_A \cdot I_A + \omega \Psi_E'$$

$$\Rightarrow R_A = \frac{U - \omega \Psi_E'}{I_A}$$

Mit $I_A = \frac{T}{\Psi_E'} = \frac{50\,\mathrm{Nm}}{0{,}907\,\mathrm{Vs}} = 55{,}13\,\mathrm{A}$

$$n = 1191\,\mathrm{min}^{-1} \;\Rightarrow\; \omega = 124{,}72\,\frac{\mathrm{rad}}{\mathrm{s}}$$

$$R_A = \frac{120\,\mathrm{V} - 124{,}72\,\mathrm{s}^{-1} \cdot 0{,}907\,\mathrm{Vs}}{55{,}13\,\mathrm{A}} = 0{,}125\,\Omega$$

4.5.Sich einstellender Wirkungsgrad bei einem Lastmoment von 30 Nm

Drehfrequenz bei Lastmoment 30 Nm:

$$\omega = \frac{U - R_A \cdot I_A}{\Psi_E'} \quad mit\, I_A = \frac{T}{\Psi_E'} = \frac{30\,\mathrm{Nm}}{0{,}907\,\mathrm{Vs}} = 33{,}1\,\mathrm{A}$$

$$\omega = \frac{120\,\mathrm{V} - 0{,}125\,\Omega \cdot 33{,}1\,\mathrm{A}}{0{,}907\,\mathrm{Vs}} = 127{,}74\,\frac{\mathrm{rad}}{\mathrm{s}}$$

Mechanisch abgegebene Leistung:

$$P_{out} = \omega \cdot T = 127{,}74\,\frac{\mathrm{rad}}{\mathrm{s}} \cdot 30\,\mathrm{Nm} = 3832\,\mathrm{W}$$

Elektrisch aufgenommene Leistung:

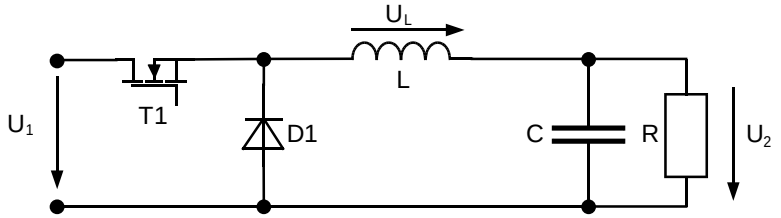
$$P_{in} = U \cdot I = U \cdot (I_E + I_A) = 120\,\mathrm{V}(1\,\mathrm{A} + 33{,}1\,\mathrm{A}) = 4092\,\mathrm{W}$$

Wirkungsgrad:

$$\eta = \frac{P_{\mathrm{out}}}{P_{\mathrm{in}}} = \frac{3832\ \mathrm{W}}{4092\,\mathrm{W}} = 93{,}65\,\%$$

Aufgabe 5: Gleichstromsteller, Kenngrößenberechnung

Gegeben sei der in der untenstehenden Abbildung dargestellte Gleichstromsteller.

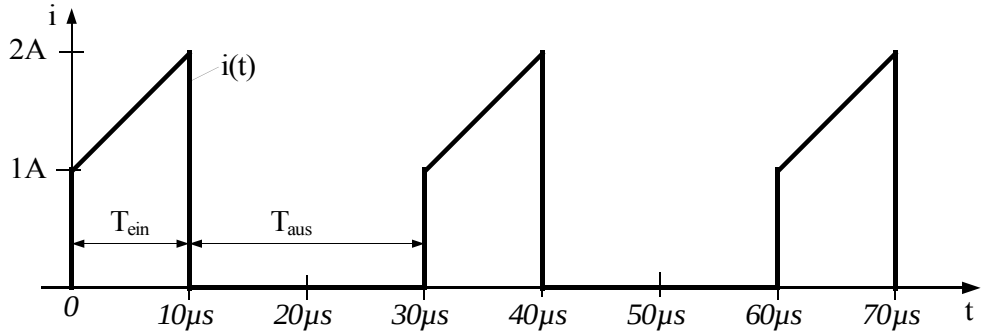


5.1 Um welchen Gleichstromsteller handelt es sich bei dem dargestellten Schaltbild?

(Bewertung: Richtige Antwort: 1 Punkt, falsche Antwort: -1 Punkt)

☒ Tiefsetzsteller
☐ Hochsetzsteller

Die Schaltung befinde sich im eingeschwungenen Zustand. Die Eingangsspannung betrage U_1=12V und die Ausgangsspannung U_2 sei ideal geglättet. In einem Zweig wird der unten dargestellte periodische Strom *i(t)* gemessen.



5.2 Wie groß ist der arithmetische Mittelwert $\bar{i}$ des dargestellten Stroms *i(t)*?

$$\bar{i}=\frac{1}{30\,\mu s}\left(1\text{A}\cdot 10\,\mu s+\frac{1}{2}1\text{A}\cdot 10\,\mu s\right)=\frac{1}{3}\cdot 1{,}5\,A=\underline{0{,}5\,A}$$

5.3 Durch welches Bauelement fließt der dargestellte Strom *i(t)*?

Transistor T1

5.4 Wie groß sind das Tastverhältnis *D* und die Ausgangsspannung U_2?

$D=\underline{1/3}$

$U_2=D*U_1=\underline{4V}$

5.5 Skizzieren Sie maßstäblich den zeitlichen Verlauf der Spannung an der Drossel $u_L(t)$ in das Diagramm auf der folgenden Seite.

5.6 Wie groß ist der Effektivwert der Drosselspannung U_L?

$$U_L=\sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T u_L^2(t)\,dt}=\sqrt{\frac{1}{30\,\mu s}\left(64\,V^2\cdot 10\,\mu s+16\,V^2\cdot 20\,\mu s\right)}$$

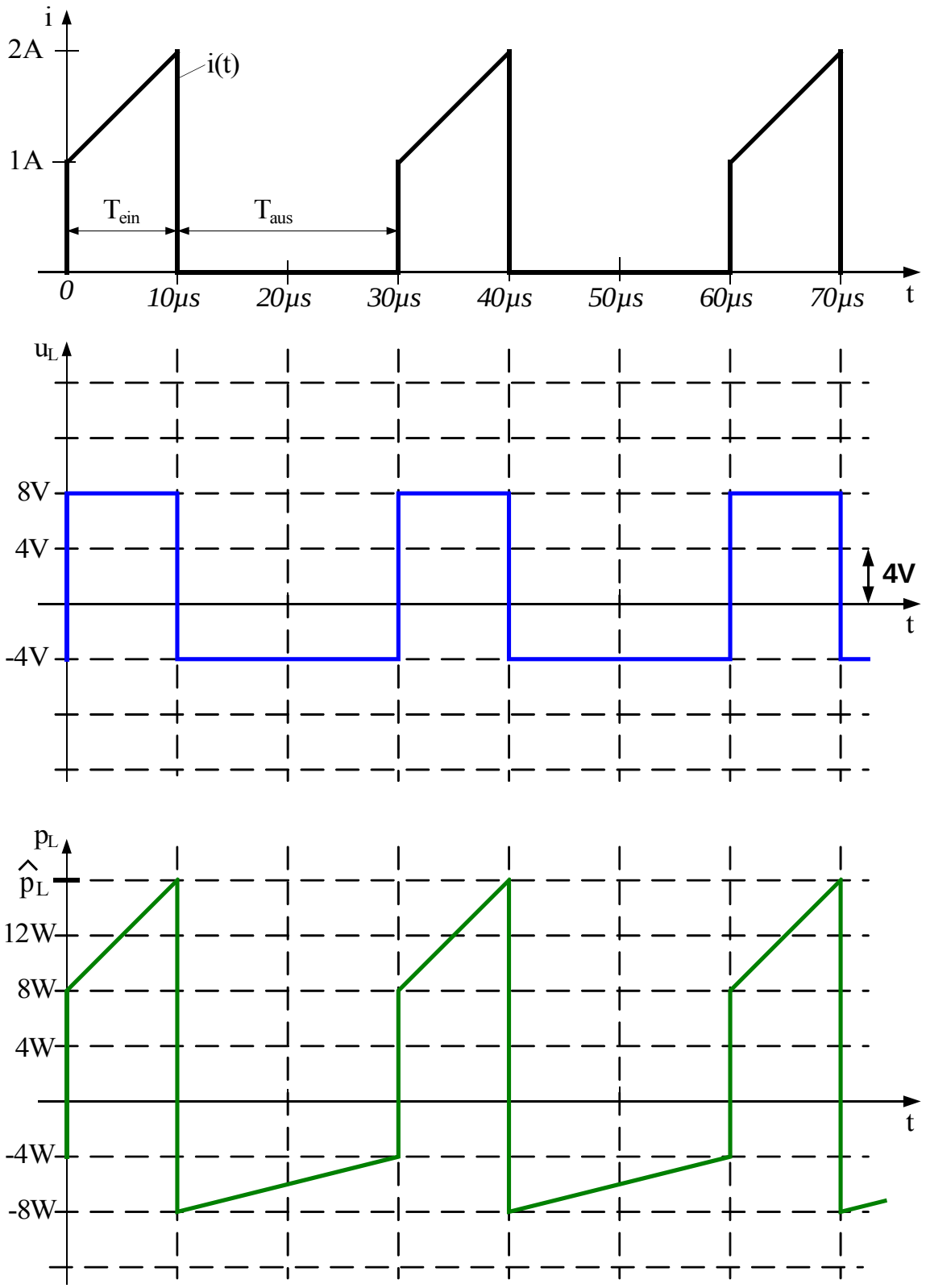
$$=\sqrt{\frac{64}{3}+\frac{32}{3}}\,V=\sqrt{\frac{96}{3}}\,V=\sqrt{32}\,V=\underline{5{,}657\,V}$$

5.7 Wie groß ist die Induktivität L der Drossel?

$u_L = L * di/dt \Rightarrow L = u_L * dt/di = 8V * 10\mu s / 1A = \underline{80\mu H}$

5.8 Skizzieren Sie maßstäblich den zeitlichen Verlauf der Leistung $p_L(t)$ an der Drossel in das Diagramm auf der folgenden Seite und geben Sie den Zahlenwert für den Scheitelwert der Leistung $\hat{p}_L$ an.

$\hat{p}_L = i_L(10\mu s) \cdot u_L(10\mu s) = 2A \cdot 8V = \underline{16W}$


i
2A
1A
i(t)
T_{ein}
T_{aus}
0
10µs
20µs
30µs
40µs
50µs
60µs
70µs
t
u_L
8V
4V
-4V
4V
t
p_L
$\hat{p}_L$
12W
8W
4W
-4W
-8W
t