

HOCHSCHULE ESSLINGEN

Wintersemester 2017/18 - Probepfurfung -	Blatt 1 von 6
Fakultät Fahrzeugtechnik	Semester: FSB 1
Prüfungsfach: Elektrotechnik 1	Fachnummer: 2905
Hilfsmittel: alle schriftliche Unterlagen (Literatur, Skript,...), Taschenrechner	Zeit: 90 Minuten

Name:

Matrikel-Nr.:

Hinweis: Die Lösungswege und Lösungen der Aufgaben sind direkt in den Aufgabenblättern an den dafür vorgesehenen freien Stellen einzutragen (evtl. Rückseite verwenden). Auf Zusatzblattern abgegebene Aufgaben bzw. Aufgabenteile werden nicht gewertet.

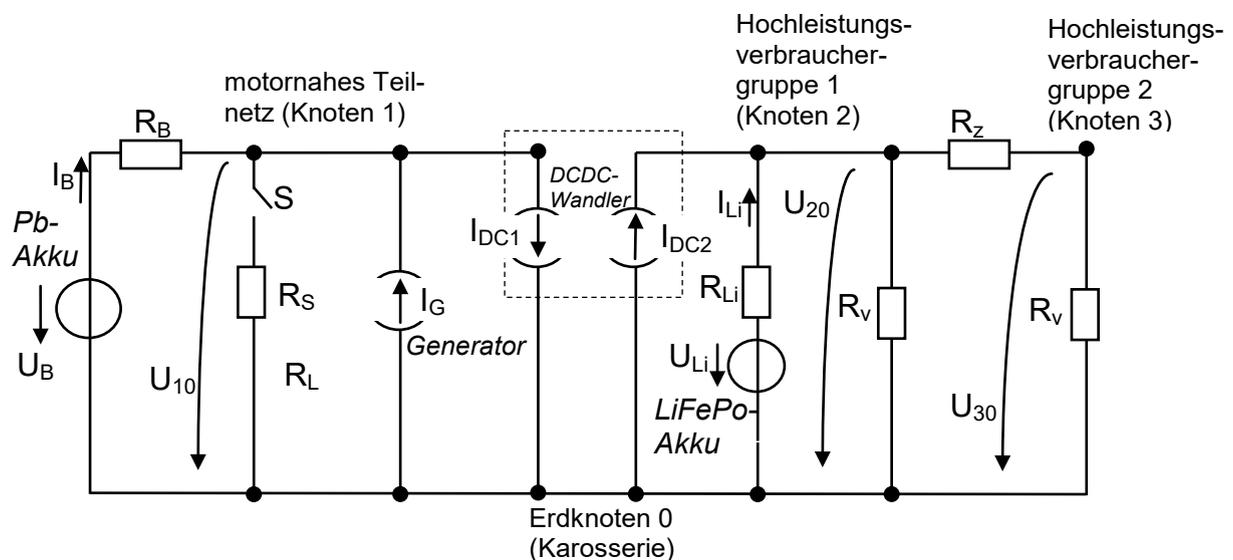
Aufgabe 1: 24/48V-Bordnetz

(14 Punkte)

Das nachfolgende Schaltbild zeigt das Bordnetz eines Nutzfahrzeuges. Das Bordnetz besitzt zwei Energiespeicher, einen Blei-Gel-Akku ($U_B=27\text{ V}$, $Q_{\max\text{Pb}}=100\text{ Ah}$, $R_B=40\text{ m}\Omega$) als Starterbatterie und einen Lithium-Eisen-Phosphat-Akku ($U_{\text{Li}}=52,8\text{ V}$, $Q_{\max\text{Li}}=150\text{ Ah}$, $R_{\text{Li}}=40\text{ m}\Omega$) zur Versorgung elektrischer Hochleistungsverbraucher. Der LiFePO-Akku wird von einem wirkungsgradbehafteten DCDC-Wandler aus dem Blei-Gel-Akku gespeist. Dieser DCDC-Wandler wird durch die Stromquellen $I_{\text{DC}1,2}$ nachgebildet und arbeitet mit 90% Wirkungsgrad ($\eta=P_2/P_1=0,90$).

Die 24V-Lichtmaschine (Generator) wird durch die ideale Stromquelle I_G nachgebildet. Der Starter sei durch den Starterwiderstand $R_S=100\text{ m}\Omega$ nachgebildet, der über das Zundenschlo S betätigt wird. Die Hochleistungsverbraucher sind zu zwei Verbrauchergruppen mit je $R_V=4\ \Omega$ zusammengefasst, die über die Zuleitung $R_Z=0,1\ \Omega$ verbunden sind. Zwischen den Teilnetzen ist zunächst keine direkte Verbindung vorgesehen.

Geben Sie bitte bei allen Antworten zuerst stichwortartig/skizzenartig die Methode, dann die analytische Lösung möglichst weit vereinfacht und schließlich die Zahlenwerte an.



HOCHSCHULE ESSLINGEN

Wintersemester 2017/18 - Probepfprüfung -	Blatt 2 von 6
Fakultät Fahrzeugtechnik	Semester: FSB 1
Prüfungsfach: Elektrotechnik 1	Fachnummer: 2905
Hilfsmittel: alle schriftliche Unterlagen (Literatur, Skript,...), Taschenrechner	Zeit: 90 Minuten

a) Der Ausgangsstrom I_{DC2} am DCDC-Wandler soll so eingestellt werden, dass die Verbraucher im Aufbau den LiFePO-Akku nicht laden oder entladen (d.h. $I_{Li}=0$). Skizzieren Sie ein vereinfachtes Schaltbild des Teilnetzes und bestimmen Sie den erforderlichen Ausgangsstrom I_{DC2} . Welche Ausgangsleistung $P_2 = I_{DC2} \cdot U_{20}$ hat der DCDC-Wandler?

b) Ermitteln Sie die Leistungen $P_{V1,2}$ an den beiden Hochlastverbrauchern.

c) Ermitteln Sie den eingangsseitig aus dem motornahen Teilnetz entnommenen DCDC-Strom I_{DC1} sowie den vom Generator (bei laufendem Verbrennungsmotor) zu liefernden Strom I_G , wenn in diesem Betriebszustand der Blei-Gel-Akku nicht geladen oder entladen werden soll (d.h. $I_{Li}=0$).

HOCHSCHULE ESSLINGEN

Wintersemester 2017/18 - Probepfprüfung -	Blatt 3 von 6
Fakultät Fahrzeugtechnik	Semester: FSB 1
Prüfungsfach: Elektrotechnik 1	Fachnummer: 2905
Hilfsmittel: alle schriftliche Unterlagen (Literatur, Skript,...), Taschenrechner	Zeit: 90 Minuten

d) Das Fahrzeug steht und der Verbrennungsmotor ist aus. Der Aufbau nicht vom DCDC-Wandler versorgt ($I_{DC1,2}=0$). Welche Spannung U_{10} stellt sich während des Startvorgangs (S geschlossen) ein?

e) Ein Bastler verbindet die beiden Teilnetze zwischen den Knoten 1 und 3 mit einem dünnen Kabel ($1,5\text{mm}^2$ Kupferquerschnitt, 6 m lang). Dieser Fall kann durch einen Widerstand R_1 im Schaltbild beschrieben werden. Der Verbrennungsmotor sei dabei aus (d.h. $I_G=0$), und der DCDC-Wandler ist abgeschaltet (d.h. $I_{DC1}=I_{DC2}=0$). Zeichnen Sie R_1 in das Schaltbild ein (*bitte mit grüner Farbe*). Ermitteln Sie für diesen Fall die Bordspannungen U_{10} , U_{20} und U_{30} . Hält das dünne Kabel R_1 dies lange aus?

Zusatzfrage 1 (+2 Punkte möglich):

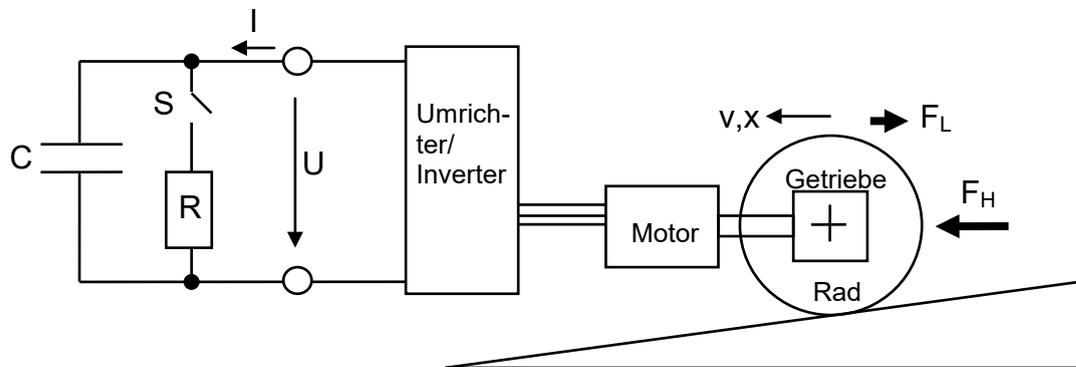
Welche Schäden erwarten Sie mit der „Bastelschaltung“ gemäß Aufgabenteil e)?

Wintersemester 2017/18 - Probepfurfung -	Blatt 4 von 6
Fakultät Fahrzeugtechnik	Semester: FSB 1
Prüfungsfach: Elektrotechnik 1	Fachnummer: 2905
Hilfsmittel: alle schriftliche Unterlagen (Literatur, Skript,...), Taschenrechner	Zeit: 90 Minuten

Aufgabe 2: Kapazität zur Rekuperation

(6 Punkte)

Ein Fahrzeug (Masse $m=1500\text{kg}$) fährt mit hoher Geschwindigkeit $v=20\text{ m/s}$ eine Strasse mit 5% Gefälle hinab. Die Hangabtriebskraft F_H beträgt 750 N. Rollreibung und Luftwiderstand betragen zusammen $F_L=250\text{N}$. Der Rekuperationswirkungsgrad $\eta=P_{el}/P=UI/(F_H - F_L)v$ des Antriebs sei konstant bei 75%. Für kurze Gefallefahrten kann in eine Kapazität $C=2\text{F}$ rekuperiert werden. Allerdings kann bei längeren Gefallefahrten der Bremsstrom I die Kapazität überladen, so dass ab einer Maximalspannung von $U_{max}=600\text{V}$ ein Bremswiderstand R mit dem Schalter S parallel über die Kapazität geschaltet werden muss.



a) Die Kapazität sei zunächst ungeladen. Welche Gefällestrecke kann das Fahrzeug bewältigen bevor der Bremswiderstand R zur Spannungsbegrenzung an der Kapazität zugeschaltet werden muss?

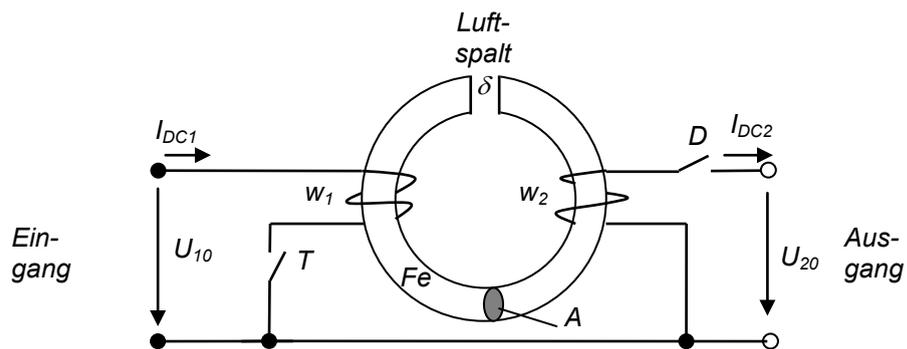
b) Welchen Bremswiderstand R (in Ohm) muss man dazu vorsehen?

c) Die Kapazität C soll aus 1F-Powercaps mit 300V Maximalspannung zusammengestellt werden. Wieviele Powercaps braucht man dafür? Zeichnen Sie ein Schaltbild der Powercaps.

Wintersemester 2017/18 - Probepfurfung -	Blatt 5 von 6
Fakultät Fahrzeugtechnik	Semester: FSB 1
Prüfungsfach: Elektrotechnik 1	Fachnummer: 2905
Hilfsmittel: alle schriftliche Unterlagen (Literatur, Skript,...), Taschenrechner	Zeit: 90 Minuten

Aufgabe 3: DC/DC-Wandler mit geschlitzter Ringkernspule (10 Punkte)

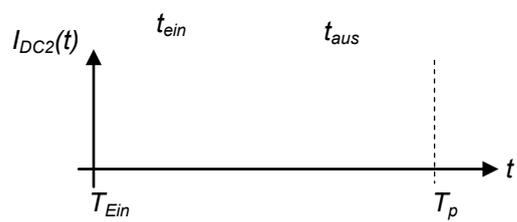
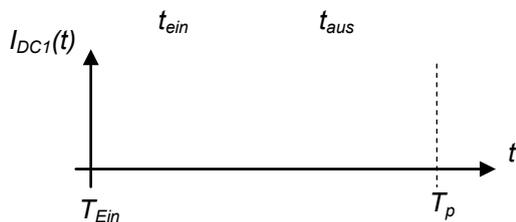
Der DC/DC-Wandler zwischen dem motornahen Teilnetz ($U_{10} \approx 26V$) und dem aufbauseitigen Teilnetz ($U_{20} \approx 52V$) des NFZ aus Aufgabe 1 wird mit Hilfe einer zweifach bewickelten Ringkernspule ($w_1=100$ und $w_2=200$ Windungen, Luftspalt = 5 mm, Querschnittsfläche $A=20 \text{ cm}^2$), einem Feldeffekttransistor (FET) T und einer Diode D realisiert. Die zugehörige Schaltung ist nachfolgend skizziert:



Dabei seien der FET und die Diode als ideale Schalter betrachtet. Der Wandler soll so betrieben werden, dass der Strom $I_{DC2}(t)$ am Ende einer Schaltperiode $T_p = t_{ein} + t_{aus}$ vollständig abgebaut ist ($I_{DC2}(t=0) = I_{DC2}(t=T_p) = 0$).

Der Fe-Kern der Ringkernspule sollte nur bis zu einer Induktion von maximal 1,4 T betrieben werden, dann kann von vernachlässigbaren Ummagnetisierungs-/Streuverlusten und unendlich hoher relativer Permeabilität ($\mu_{rFe} \rightarrow \infty$) ausgegangen werden.

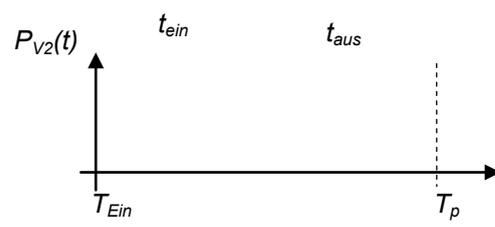
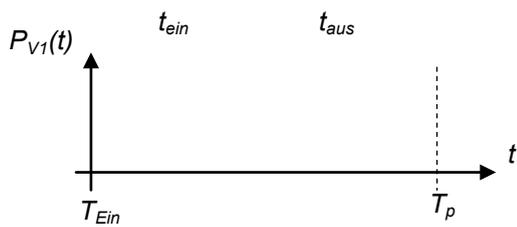
a) Zunächst soll T für $t_{ein} = 5ms$ eingeschaltet werden (T geschlossen, D offen) um dann für die Zeitspanne t_{aus} (T offen, D geschlossen) das vom Strom I_{DC1} aufgebaute magnetische Feld durch den Strom I_{DC2} wieder abzubauen. Skizzieren Sie den Verlauf von I_{DC1} und I_{DC2} qualitativ in die nachfolgenden Diagramme und geben Sie für beide Schaltzustände den Stromverlauf analytisch an. Welcher Maximalstrom I_{max} ergibt sich dabei? Wie groß ist maximale Flussdichte B und die gespeicherte Energie W im Luftspalt bei Maximalstrom?



HOCHSCHULE ESSLINGEN

Wintersemester 2017/18 - Probepfprüfung -	Blatt 6 von 6
Fakultät Fahrzeugtechnik	Semester: FSB 1
Prüfungsfach: Elektrotechnik 1	Fachnummer: 2905
Hilfsmittel: alle schriftliche Unterlagen (Literatur, Skript,...), Taschenrechner	Zeit: 90 Minuten

b) Welche mittlere Leistung P wird während einer Taktperiode von der Eingangs- zur Ausgangsseite übertragen? Welche mittlere Verlustleistung P_V wird im DCDC-Wandler zu erwarten sein, wenn die beiden Wicklungen einen Widerstand von jeweils $R=50\text{m}\Omega$ aufweisen? Zeichnen Sie den Verlauf von P_{V1} und P_{V2} qualitativ in die nachfolgenden Diagramme:

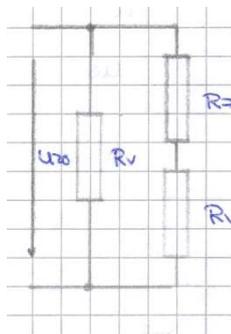


c) Schätzen Sie mit den Angaben aus den Aufgabenteilen a) und b) die Taktfrequenz und den Wirkungsgrad des DCDC-Wandlers ab.

Wintersemester 2017/18 – Probepfprüfung

Aufgabe 1a – Der Ausgangsstrom I_{DC2} am DCDC-Wandler soll so eingestellt werden, dass die Verbraucher im Aufbau den LiFePO-Akku nicht laden oder entladen (d.h. $I_{Li} = 0$). Skizzieren Sie ein vereinfachtes Schaltbild des Teilnetzes und bestimmen Sie den erforderlichen Ausgangsstrom I_{DC2} . Welche Ausgangsleistung $P_2 = I_{DC2} \cdot U_{20}$ hat der DCDC-Wandler?

- I_{DC2} muss genauso groß wie der Strom sein, der sich im Teilnetz ergeben würde aufgrund von U_{Li} / R_{ges} . Ist I_{DC2} kleiner als der Strom, so muss der Akku das Teilnetz unterstützen (Entladung). Ist I_{DC2} größer als der Strom, so wird er geladen.
- $U_{20} = U_{Li}$ weil $I_{Li} = 0$



$$R_{ges} = \frac{R_v \cdot (R_2 + R_v)}{R_v + R_2 + R_v} = \frac{4\Omega \cdot (0,1\Omega + 4\Omega)}{4\Omega + 0,1\Omega + 4\Omega}$$

$$R_{ges} = 2,02\Omega$$

$$I_{DC2} = \frac{U_{20}}{R_{ges}} = \frac{52,8V}{2,02\Omega} = \underline{26,14A}$$

$$P_2 = U_{20} \cdot I_{DC2} = 52,8V \cdot 26,14A = \underline{1384W}$$

Aufgabe 1b – Ermitteln sie die Leistungen $P_{V1,2}$ an den beiden Hochlastverbrauchern.

- Das Schaltbild aus Aufgabe 1a kann weiterverwendet werden
- $P_{V1} \rightarrow$ kann ohne weiteres berechnet werden
- $P_{V2} \rightarrow$ Es muss erst die Spannung an R_{V2} mittels Spannungsteiler berechnet werden

$$U_{RV} = U_{20} = 52,8V \quad I_{RV} = \frac{U_{RV}}{R_{RV}} = \frac{52,8V}{4\Omega} = 13,2A$$

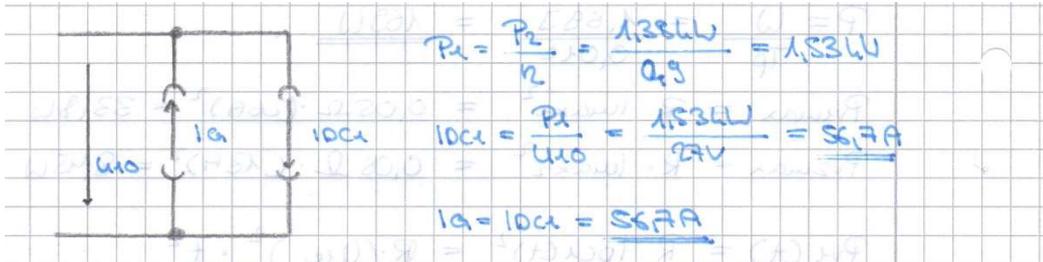
$$P_{RV} = U_{RV} \cdot I_{RV} = 52,8V \cdot 13,2A = \underline{697W}$$

$$U_{RV} = U_{20} \cdot \frac{R_v}{R_2 + R_v} = 52,8V \cdot \frac{4\Omega}{4\Omega + 0,1\Omega} = 51,5V$$

$$P_{RV} = \frac{U_{RV}^2}{R_v} = \frac{(51,5V)^2}{4\Omega} = \underline{663W}$$

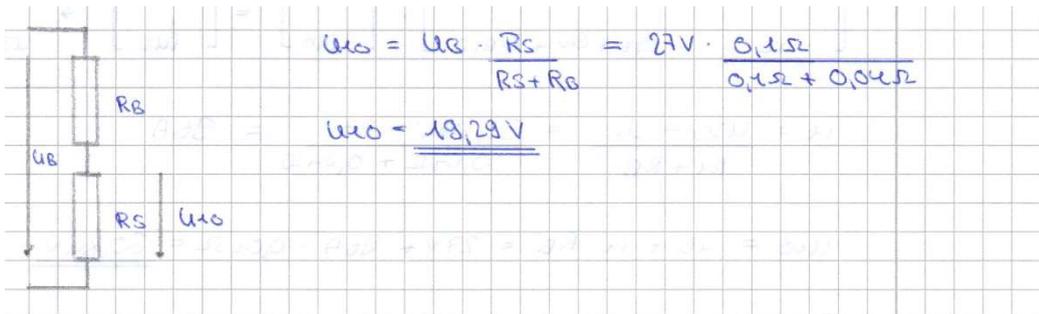
Aufgabe 1c – Ermitteln Sie den eingangsseitig aus dem motornahen Teilnetz entnommenen DCDC-Strom I_{DC1} sowie den vom Generator (bei laufendem Verbrennungsmotor) zu liefernden Strom I_G , wenn in diesem Betriebszustand der Blei-Gel-Akku nicht geladen oder entladen werden soll (d.h. $I_{Li} = 0$).

- $U_{10} = U_B$ weil $I_B = 0$
- Der Generator muss nur den Strom für den DCDC-Wandler liefern, da der Verbrennungsmotor läuft.



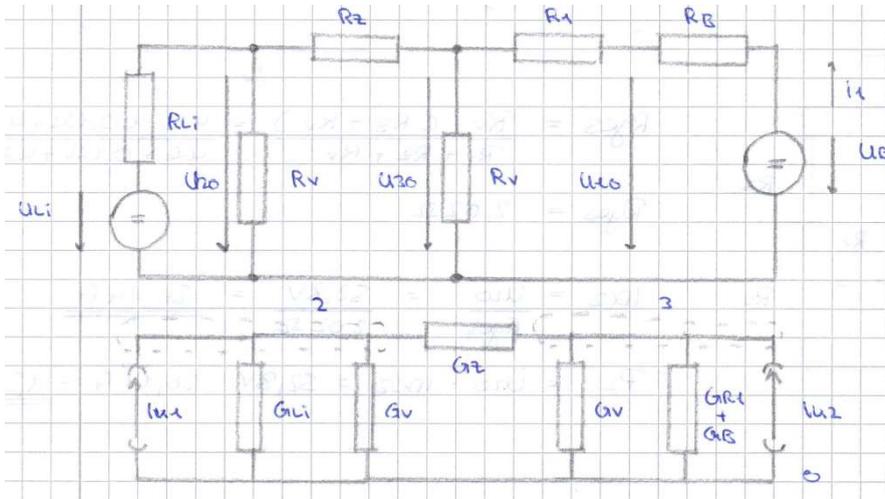
Aufgabe 1d – Das Fahrzeug steht und der Verbrennungsmotor ist aus. Der Aufbau wird nicht vom DCDC-Wandler versorgt ($I_{DC1,2} = 0$). Welche Spannung U_{10} stellt sich während des Startvorgangs (S geschlossen) ein?

- Mithilfe des Spannungsteilers kann die Spannung U_{10} berechnet werden



Aufgabe 1e – Ein Bastler verbindet die beiden Teilnetze zwischen den Knoten 1 und 3 mit einem dünnen Kabel ($1,5\text{mm}^2$ Kupferquerschnitt, 6m lang). Dieser Fall kann durch einen Widerstand R_1 im Schaltbild beschrieben werden. Der Verbrennungsmotor sei dabei aus (d.h. $I_G = 0$), und der DCDC-Wandler ist abgeschaltet (d.h. $I_{DC1} = I_{DC2} = 0$). Zeichnen sie R_1 in das Schaltbild ein (bitte mit grüner Farbe). Ermitteln Sie für diesen Fall die Bordspannungen U_{10} , U_{20} und U_{30} . Hält das dünne Kabel R_1 dies lange aus?

- Schaltung umzeichnen
- Berechnung von U_{20} und U_{30} = Knotenpotentialverfahren anwenden und Spannungen mithilfe von Cramerschen-Regel bestimmen
- I_1 und U_{10} mithilfe der Maschenregel berechnen



$$I_{k1} = \frac{U_{k1}}{R_{L1}} = \frac{52,8V}{0,04\Omega} = 1320A \quad \text{KR für } U_{k1}$$

$$I_{k2} = \frac{U_B}{R_1 + R_B} = \frac{27V}{0,07\Omega + 0,04\Omega} = 245,5A \quad \text{KR und } U_{k2}$$

$$R_L = \rho_{Cu} \cdot \frac{L}{A} = \frac{0,0175 \text{ mm}^2}{1,5 \text{ mm}^2} \cdot \frac{64}{1,5 \text{ mm}^2} = 0,07\Omega$$
~~$$G_B = \frac{1}{R_1} = \frac{1}{0,07\Omega}$$~~

$$G_{R1B} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_B} = \frac{1}{0,07\Omega} + \frac{1}{0,04\Omega} = 9,1S$$

$$G_V = \frac{1}{R_V} = \frac{1}{4S} = 0,25S$$

$$G_Z = \frac{1}{R_Z} = \frac{1}{0,1\Omega} = 10S$$

$$G_{L1} = \frac{1}{G_{L1}} = \frac{1}{0,04\Omega} = 25S$$

$$\begin{bmatrix} G_{L1} + G_V + G_Z & -G_Z \\ -G_Z & G_Z + G_V + G_{R1B} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} U_{20} \\ U_{30} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_{k1} \\ I_{k2} \end{bmatrix} \rightarrow \begin{matrix} U_{20} = 48,1V \\ U_{30} = 37,54V \end{matrix}$$

$$I_1 = \frac{U_{30} - U_B}{R_1 + R_B} = \frac{37,54V - 27V}{0,07\Omega + 0,04\Omega} = 96A$$

$$U_{k2} = U_B + I_1 \cdot R_B = 27V + 96A \cdot 0,04\Omega = 30,84V$$

- Nachtrag zur Berechnung der Spannungen von Hand
- Jeder Wert der Leitwert-Matrix wird mit seiner Position vereinfacht
 $\rightarrow G_{11} = G_{L1} + G_V + G_Z$

$$U_{20} = \frac{I_{k1} \cdot G_{22} - G_{12} \cdot I_{k2}}{G_{11} \cdot G_{22} - G_{12} \cdot G_{21}} = \frac{1320A \cdot 19,35S + 10S \cdot 245,5A}{35,25S \cdot 19,35S - 10S \cdot 10S} = \frac{27997AS}{582,09S^2} = 48,1V$$

$$U_{30} = \frac{G_{11} \cdot I_{k2} - I_{k1} \cdot G_{21}}{G_{11} \cdot G_{22} - G_{12} \cdot G_{21}} = \frac{35,25S \cdot 245,5A + 1320A \cdot 10S}{35,25S \cdot 19,35S - 10S \cdot 10S} = \frac{21853,88AS}{582,09S^2} = 37,54V$$

Zusatzfrage 1 – Welche Schäden erwarten Sie mit der „Bastelschaltung“ gemäß Aufgabenteil e)?

Uabelbrand - laut Strombelastbarkeitstabelle muss dieser Querschnitt mit 16A abgesichert sein

Aufgabe 2a – Die Kapazität sei zunächst ungeladen. Welche Gefällestrecke kann das Fahrzeug bewältigen bevor der Bremswiderstand R zur Spannungsbegrenzung an der Kapazität zugeschaltet werden muss?

- $W_{\text{Reib}} = \text{Kraft} \cdot \text{Weg}$ entspricht ΔW_C , da diese Arbeit in dem Kondensator gespeichert werden soll

$$\Delta W_C = \frac{1}{2} \cdot C \cdot (U_{\text{max}} - U_{\text{aktuell}})^2 = \frac{1}{2} \cdot 2F \cdot (600V - 0)^2$$

$$\Delta W_C = 360000 \text{ J}$$

$$\Delta W_C \stackrel{\wedge}{=} F \cdot s$$

$$\Delta W_C \stackrel{\wedge}{=} W_{\text{Reib}} = \eta \cdot (F_H - F_L) \cdot s$$

$$s = \frac{\Delta W_C}{\eta \cdot (F_H - F_L)} = \frac{360000 \text{ J}}{0,75 \cdot (750N - 250N)} = \underline{\underline{960 \text{ m}}}$$

Aufgabe 2b – Welchen Bremswiderstand R (in Ohm) muss man dazu vorsehen?

- Allgemein $P_{\text{mech}} = \text{Kraft} \cdot \text{Geschwindigkeit}$
- Zur Stromberechnung muss P_{el} mit $P \cdot \eta$ gleichgesetzt werden (gegebene Formel)
- Der Widerstand wird mit dem Ohmschen-Gesetz berechnet

$$U \cdot I = \eta \cdot (F_H - F_L) \cdot v$$

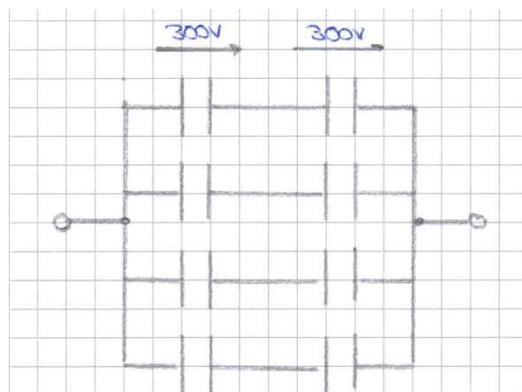
$$I = \frac{\eta \cdot (F_H - F_L) \cdot v}{U} = \frac{0,75 \cdot (750N - 250N) \cdot 20 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{600V}$$

$$I = 12,5 \text{ A}$$

$$R = \frac{U_{\text{max}}}{I} = \frac{600V}{12,5A} = \underline{\underline{48 \Omega}}$$

Aufgabe 2c – Die Kapazität C soll aus 1F-Powercaps mit 300V Maximalspannung zusammengestellt werden. Wie viele Powercaps braucht man dafür? Zeichnen Sie ein Schaltbild der Powercaps.

- Bei der Reihenschaltung von gleichen Kapazitäten, halbiert sich die Kapazität
- Bei der Parallelschaltung von Kapazitäten, addieren sich die einzelnen der in Reihe geschalteten Kapazitäten



Aufgabe 3a – Zunächst soll T für $t_{\text{ein}} = 5\text{ms}$ eingeschaltet werden (T geschlossen, D offen) um dann für die Zeitspanne t_{aus} (T offen, D geschlossen) das vom Strom I_{DC1} aufgebaute magnetische Feld durch den Strom I_{DC2} wieder abzubauen. Skizzieren Sie den Verlauf von I_{DC1} und I_{DC2} qualitativ in die nachfolgenden Diagramme und geben Sie für beide Schaltzustände den Stromverlauf analytisch an. Welcher Maximalstrom I_{max} ergibt sich dabei? Wie groß ist die maximale Flussdichte B und die gespeicherte Energie W im Luftspalt bei Maximalstrom?

- Durch Zurückführung der Ringkernspule auf ein elektrisches Schaltbild wird die Schaltung übersichtlicher.
- Da die Spule auf der Eingangs- / Ausgangsseite eine unterschiedliche Windungszahl hat, haben beide Seiten eine unterschiedliche Induktivität.
- Da die Formel für die Berechnung von $i(t)$ nur von t abhängig ist, hat man eine lineare Funktion und somit im Verlaufsdiagramm eine Gerade.

Circuit Diagram: A DC voltage source U_0 is connected in series with a resistor $R_{\text{St}} = 0$ and a coil with N_1 turns. The coil is magnetically coupled to a second coil with N_2 turns, which is connected to a resistor R_0 . The magnetic flux Φ is shown circulating through the core.

Calculations:

$$R_0 = \frac{\sigma}{\mu_0 \cdot A_0} = \frac{0,005\text{m}}{1,26 \cdot 10^{-6} \text{Vs} \cdot 0,002\text{m}^2} = 2 \cdot 10^6 \frac{\text{A}}{\text{Vs}}$$

$$L_1 = \frac{N_1^2}{R_{\text{St}}} = \frac{100^2}{2 \cdot 10^6 \frac{\text{A}}{\text{Vs}}} = 0,005\text{H}$$

$$L_2 = \frac{N_2^2}{R_{\text{St}}} = \frac{200^2}{2 \cdot 10^6 \frac{\text{A}}{\text{Vs}}} = 0,02\text{H}$$

$$I_{\text{max}1} = \frac{U_0}{L_1} \cdot t_{\text{ein}} = \frac{26\text{V}}{0,005\text{H}} \cdot 0,005\text{s} = 26\text{A}$$

$$I_{\text{max}2} = \frac{U_0}{L_2}$$

$$\Phi = \frac{N_1 \cdot I_{\text{max}1}}{R_{\text{St}}} = \frac{100 \cdot 26\text{A}}{2 \cdot 10^6 \frac{\text{A}}{\text{Vs}}} = 1,3\text{mVs}$$

$$B = \frac{\Phi}{A} = \frac{0,0013\text{Vs}}{0,002\text{m}^2} = 0,65 \frac{\text{Vs}}{\text{m}^2} < B_{\text{max}} \checkmark$$

$$W = \frac{1}{2} \cdot L_1 \cdot I_{\text{max}1}^2 = \frac{1}{2} \cdot 0,005\text{H} \cdot (26\text{A})^2 = 1,69\text{J}$$

$$\Phi = \frac{N_1 \cdot I_{\text{max}1}}{R_{\text{St}}} = \frac{N_2 \cdot I_{\text{max}2}}{R_{\text{St}}} \rightarrow I_{\text{max}2} = \frac{I_{\text{max}1} \cdot N_1}{N_2}$$

$$I_{\text{max}2} = 26\text{A} \cdot \frac{100}{200} = 13\text{A}$$

$$t_{\text{aus}} = \frac{I_{\text{max}2} \cdot L_2}{U_0} = \frac{13\text{A} \cdot 0,02\text{H}}{52\text{V}} = 0,005\text{s}$$

Graphs:

- The first graph shows the current $I_{DC1}(t)$ increasing linearly from 0 to $I_{\text{max}1} = 26\text{A}$ over the time interval t_{ein} .
- The second graph shows the current $I_{DC2}(t)$ decreasing linearly from $I_{\text{max}2} = 13\text{A}$ to 0 over the time interval t_{aus} .

Aufgabe 3b – Welche mittlere Leistung P wird während einer Taktperiode von der Eingangs- zur Ausgangsseite übertragen? Welche mittlere Verlustleistung P_v wird im DCDC-Wandler zu erwarten sein, wenn die beiden Wicklungen einen Widerstand von jeweils $R = 50 \text{ m}\Omega$ aufweisen? Zeichnen Sie den Verlauf von P_{V1} und P_{V2} qualitativ in die nachfolgenden Diagramme:

- Allgemeiner Zusammenhang - Leistung = Arbeit / Zeit
- Allgemeiner Zusammenhang – Arbeit = Integration der Leistung nach t

$$\bar{P} = \frac{W}{T_p} = \frac{1,68 \text{ J}}{0,01 \text{ s}} = \underline{\underline{168 \text{ W}}}$$

$$P_{V1 \text{ max}} = R \cdot I_{\text{max}1}^2 =$$

$$P_{V2 \text{ max}} = R \cdot I_{\text{max}2}^2 =$$

$$P_{V1}(t) = R \cdot I_{C1}(t)^2 = R \cdot \left(\frac{U_{C10}}{L_1} \right)^2 \cdot t^2$$

$$W_{V1} = \int_0^{t_{\text{ein}}} P_{V1}(t) dt = R \cdot \left(\frac{U_{C10}}{L_1} \right)^2 \cdot \int_0^{t_{\text{ein}}} t^2 dt$$

$$\begin{aligned} \leftarrow \int &= \frac{R \cdot U_{C10}^2 \cdot t_{\text{ein}}^3}{L_1^2 \cdot 3} = \frac{0,05 \Omega \cdot (26 \text{ V})^2 \cdot (0,005 \text{ s})^3}{(0,005 \text{ H})^2 \cdot 3} \\ &= 0,086 \text{ J} \end{aligned}$$

$$P_{V2}(t) = R \cdot I_{C2}(t)^2 = R \cdot \left(I_{\text{max}2} - \frac{U_{C20}}{L_2} \cdot t \right)^2$$

$$= R \cdot \left(I_{\text{max}2}^2 - \frac{2U_{C20}}{L_2} \cdot t \cdot I_{\text{max}2} + \frac{U_{C20}^2}{L_2^2} \cdot t^2 \right)$$

\Rightarrow Integration von t_{ein} bis T_p oder Analogiebetrachtung

$$\begin{aligned} W_{V2} &= \frac{R \cdot U_{C20}^2 \cdot t_{\text{aus}}^3}{L_2^2 \cdot 3} = \frac{0,05 \Omega \cdot (52 \text{ V})^2 \cdot (0,005 \text{ s})^3}{(0,005 \text{ H})^2 \cdot 3} \\ &= 0,014 \text{ J} \end{aligned}$$

$$W_v = W_{V1} + W_{V2} = 0,086 \text{ J} + 0,014 \text{ J} = 0,1 \text{ J}$$

$$\bar{P}_v = \frac{W_v}{T_p} = \frac{0,1 \text{ J}}{0,01 \text{ s}} = \underline{\underline{10 \text{ W}}}$$

Integration von t_{Ein} bis t_p

$$\begin{aligned}
 W_{\text{Z}}(t) &= \int_a^b R \cdot I_{\text{OZ}}(t)^2 = R \cdot \int_a^b I_{\text{OZ}}(t)^2 = R \cdot \int_a^b (ut+b)^2 \\
 &= R \cdot \int_a^b (cut)^2 + 2ut \cdot b + b^2 \\
 &= R \cdot \left[\frac{1}{3} u^2 \cdot t^3 + ub \cdot t^2 + b^2 \cdot t \right]_{a=0,0055}^{b=0,015} \\
 &= R \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot \left(-\frac{I_{\text{max}2}}{T_{\text{Aus}}} \right)^2 \cdot t^3 + \left(-\frac{I_{\text{max}2}}{T_{\text{Aus}}} \right) \cdot 2(I_{\text{max}2} \cdot t^2 + (2I_{\text{max}2})^2 \cdot t) \right]_a^b \\
 &= R \cdot 0,05 \Omega \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot \left(-\frac{13A}{0,0055} \right)^2 \cdot (0,015)^3 + \left(-\frac{13A}{0,0055} \right) \cdot 2 \cdot 13A \cdot (0,015)^2 + \right. \\
 &\quad \left. (2 \cdot 13A)^2 \cdot 0,015 - \left(\frac{1}{3} \cdot \left(-\frac{13A}{0,0055} \right)^2 \cdot (0,0055)^3 + \right. \right. \\
 &\quad \left. \left. \left(-\frac{13A}{0,0055} \right) \cdot 2 \cdot 13A \cdot (0,0055)^2 + (2 \cdot 13A)^2 \cdot 0,0055 \right) \right] \\
 &= 0,05 \Omega \cdot [(2,25 A^2 s - 6,76 A^2 s + 6,76 A^2 s) - (0,28 A^2 s + 1,69 A^2 s \\
 &\quad + 3,38 A^2 s)] \\
 &= 0,014 \text{ J}
 \end{aligned}$$

Anmerkung: $J = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2} \quad \Omega = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{A}^2 \cdot \text{s}^3}$

$$J = \Omega \cdot \text{A}^2 \cdot \text{s} = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{A}^2 \cdot \text{s}^3} \cdot \text{A}^2 \cdot \text{s} = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2}$$

Aufgabe 3c – Schätzen Sie mit den Angaben aus den Aufgabenteilen a) und b) die Taktfrequenz und den Wirkungsgrad des DCDC-Wandlers ab.

- Das menschliche Gehör hat einen Hörbereich bis zu ca. 20 kHz

$$f_{\text{takt}} = \frac{1}{T_p} = \frac{1}{0,015} = \underline{\underline{100 \text{ Hz}}} \rightarrow \text{Hörbar}$$

$$\eta = \frac{\bar{P} - \bar{P}_V}{\bar{P}} = \frac{169 \text{ W} - 7 \text{ W}}{169 \text{ W}} = \underline{\underline{0,96}} \rightarrow 96\%$$