
Online-Leistungsnachweis 2/2

Start: am 27.01.2021, 10:00 Uhr

Ende: am 27.01.2021, 11:00 Uhr

Bearbeitungszeit: 60 Minuten

Gesamtpunktzahl: 45 Punkte

Abgabe: bis spätestens 11:15!

eine PDF-Datei mit handschriftlichen Lösungen

in MOODLE Datenbank

1. Bearbeiten Sie die Aufgaben **handschriftlich** auf dem Aufgabenblatt!
2. Falls Sie keine Möglichkeit haben die Klausur auszudrucken, dann lösen Sie die Aufgaben in digitaler Form direkt im PDF, z.B. mit FoxiReader.
3. Exportieren Sie das Ergebnis in eine (!) PDF-Datei mit maximaler Größe 10MB. Falls mehrere Dateien abgegeben werden, wird nur die zuerst abgegebene Datei gewertet!
4. Lösungen zu einer Aufgabe werden nur innerhalb des zugehörigen Lösungsfeldes gewertet. Falls der Platz nicht ausreicht, so verwenden Sie das Lösungsfeld der englischen Version und machen dies entsprechend kenntlich. Angaben außerhalb der Lösungsfelder werden nicht gewertet!
5. Geben Sie in jeder Rechnung und zu jedem (Teil-)Ergebnis die Einheiten an!
6. Geben Sie den Rechenweg klar strukturiert und leserlich an!
7. Als Hilfsmittel sind sämtliche Vorlesungsunterlagen sowie die darin angegebene Literatur zugelassen.

Eidesstattliche Versicherung

Persönliche Angaben

Name: _____
(Last name)

Vorname: _____
(First name)

Matrikelnummer: _____
(Student-ID)

Studiengang: _____
(Program)

Angaben zur Prüfung

Name der Prüfung: _____
(Title of the exam)

Prüfer: _____
(Examiner)

Prüfungsdatum: _____
(Exam date)

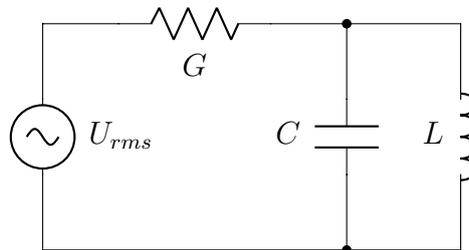
Sehr geehrte Damen und Herren,
hiermit versichere ich an Eides statt,
dass ich die oben bezeichnete Leistung
selbstständig und ohne unzulässige
fremde Hilfe sowie ohne Heranziehung
nicht zugelassener Hilfsmittel bearbei-
tet habe. Mir ist bewusst, dass der Ver-
stoß gegen prüfungsrechtliche Regel-
ungen über die Täuschung bei der Er-
bringung von Prüfungsleistungen eine
Ordnungswidrigkeit darstellt und die
Abgabe einer unrichtigen Versicherung
an Eides statt als Straftat geahndet
wird.

To whom it may concern,
I declare in lieu of an oath that I have
worked on the above-mentioned assess-
ment independently and without un-
authorized assistance. I also confirm
that I have not used any non-permiss-
ible resources. I am aware that the
violation of examination regulations on
cheating during examinations consti-
tutes an administrative offense. I am
also aware that making a false
declaration in lieu of an oath is
punished as a criminal offense.

Ort, Datum: _____
(Place, date)

Unterschrift: _____
(Signature)

Aufgabe 1: Impedanz und Übertragungsfunktion (15 Punkte)



$$\begin{aligned}
 U_{rms} &= 6 \text{ V} \\
 f &= 1 \text{ kHz} \\
 G &= 0.1 \text{ S} \\
 C &= 100 \text{ } \mu\text{F} \\
 L &= 20 \text{ mH}
 \end{aligned}$$

1. Geben Sie die Ersatzimpedanz der gezeigten Schaltung in komplexer (5 Punkte) kartesischer Koordinatendarstellung an.

$$\begin{aligned}
 Z_{ers} &= R + j \cdot \frac{\omega L}{1 - \omega^2 LC} \\
 &= 10 \Omega + j \cdot \frac{2\pi \cdot 1000 \text{ Hz} \cdot 20 \cdot 10^{-3} \text{ H}}{1 - (2\pi \cdot 1000 \text{ Hz})^2 \cdot 20 \cdot 10^{-3} \text{ H} \cdot 100 \cdot 10^{-6} \text{ F}} \\
 &= (10 - j \cdot 1.612) \Omega
 \end{aligned}$$

2. Die Spannung U_R am Widerstand R sei die Ausgangsspannung. **(3 Punkte)**
 Bestimmen Sie die Übertragungsfunktion $H(j\omega)$ in komplexer Euler'scher Darstellung.

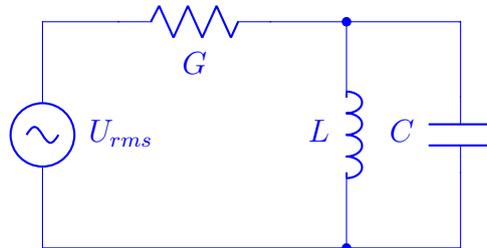
$$\begin{aligned}
 H(j\omega) &= \frac{R}{Z_{ers}} \\
 &= \frac{R}{R + j \cdot \frac{\omega L}{1 - \omega^2 LC}} \\
 &= \frac{10\Omega}{(10 - j1.612)\Omega} \\
 &= \frac{100 + j16,12}{10,129} \\
 &\approx (9.872 - j1.591) \\
 &\approx 10 \cdot e^{-j \cdot 0.159 \text{ rad}} = 10 \cdot e^{-j \cdot 9.16^\circ}
 \end{aligned}$$

3. Bestimmen Sie die Phasenverschiebung ϕ an den Bauelementen, **(7 Punkte)**
 ϕ_R , ϕ_C und ϕ_L sowie den Wirkleistungsfaktor der Schaltung.

$$\begin{aligned}
 I_{R,rms} &= \frac{U_{rms}}{Z_{ers}} = 6V_{rms} \cdot 0.1 \cdot e^{+j \cdot 0.16 \text{ rad}} = 0.6A \cdot e^{+j \cdot 0.16 \text{ rad}} \\
 Y_C &= j\omega C = j \cdot 0.628S \quad Y_L = -j \frac{1}{\omega L} = -j \cdot 0.008S \\
 I_{L,rms} &= \frac{Y_L}{Y_L + Y_C} \cdot I_{R,rms} = \frac{0.008S}{0.008S - 0.628S} \cdot 0.6A \cdot e^{+j \cdot 0.16 \text{ rad}} = -0.008A \cdot e^{+j \cdot 0.16 \text{ rad}} \\
 I_{C,rms} &= \frac{Y_C}{Y_L + Y_C} \cdot I_{R,rms} = -\frac{0.628S}{0.008S - 0.628S} \cdot 0.6A \cdot e^{+j \cdot 0.16 \text{ rad}} = 0.608A \cdot e^{+j \cdot 0.16 \text{ rad}} \\
 U_R &= R \cdot I_{R,rms} = 10\Omega \cdot 0.6A \cdot e^{+j \cdot 0.16 \text{ rad}} = 6V_{rms} \cdot e^{+j \cdot 0.16 \text{ rad}} \rightarrow \boxed{\phi_R \approx 9.16^\circ} \\
 U_L &= 125\Omega \cdot e^{j \cdot 1.57 \text{ rad}} \cdot -0.008A \cdot e^{+j \cdot 0.16 \text{ rad}} \approx -1V \cdot e^{j \cdot 1.73 \text{ rad}} \rightarrow \boxed{\phi_L \approx 99^\circ} \\
 U_C &= 1.592\Omega \cdot e^{-j \cdot 1.57 \text{ rad}} \cdot 0.608A \cdot e^{+j \cdot 0.16 \text{ rad}} \approx 1V \cdot e^{-j \cdot 1.41 \text{ rad}} \rightarrow \boxed{\phi_C \approx -81^\circ} \\
 \cos 0.16 \text{ rad} &= \cos 9.16^\circ = 0.987
 \end{aligned}$$

Impedance and Transfer Function

(15 Points)



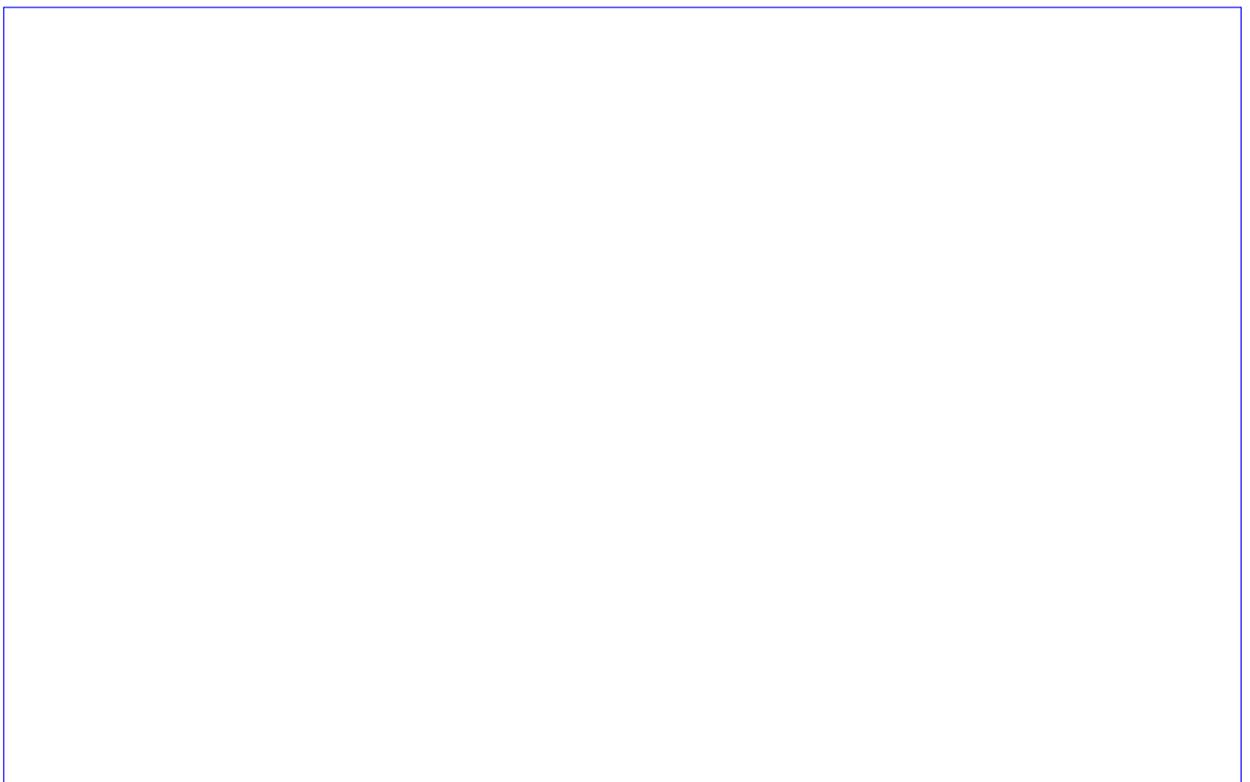
$$\begin{aligned}U_{rms} &= 6 \text{ V} \\f &= 1 \text{ kHz} \\G &= 0.1 \text{ S} \\C &= 100 \text{ } \mu\text{F} \\L &= 20 \text{ mH}\end{aligned}$$

1. Give the total impedance of the shown circuit in complex cartesian format. (5 Points)

2. Let voltage U_R at the resistance R be the output voltage. Give the transfer function $H(j\omega)$ in complex Euler notation. **(3 Points)**

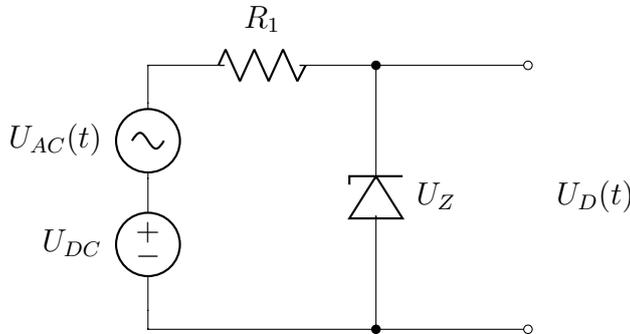


3. Calculate the phase shift ϕ for each of the components ϕ_R , ϕ_C und ϕ_L and the power factor of the circuit. **(7 Points)**



Aufgabe 2: Stabilisierung mit Z-Diode

(15 Punkte)



$$U_{AC,0} = 5 V_{peak}$$

$$U_{DC} = 3 V$$

$$f = 1 kHz$$

$$R_1 = 50 \Omega$$

$$U_Z = ?$$

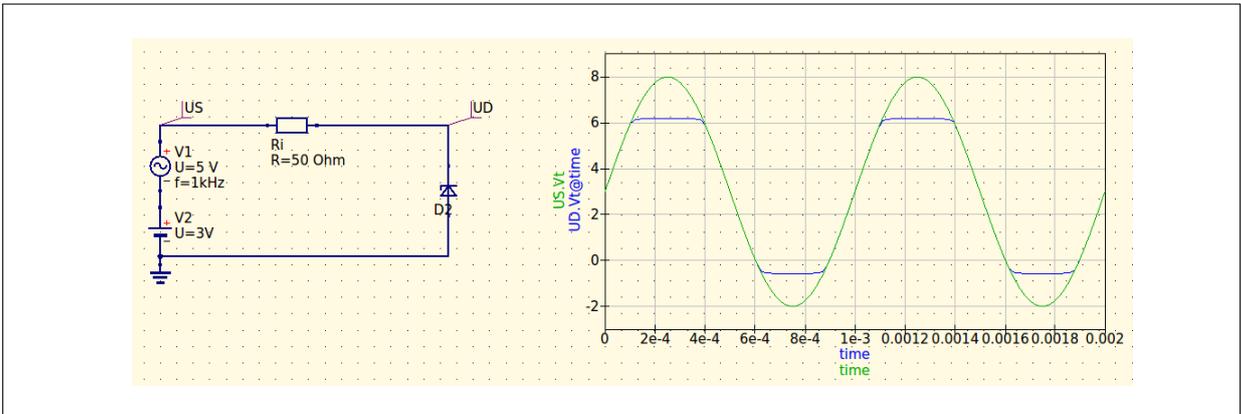
$$U_{diff} = 0.7 V$$

$$r_Z = 5 \Omega$$

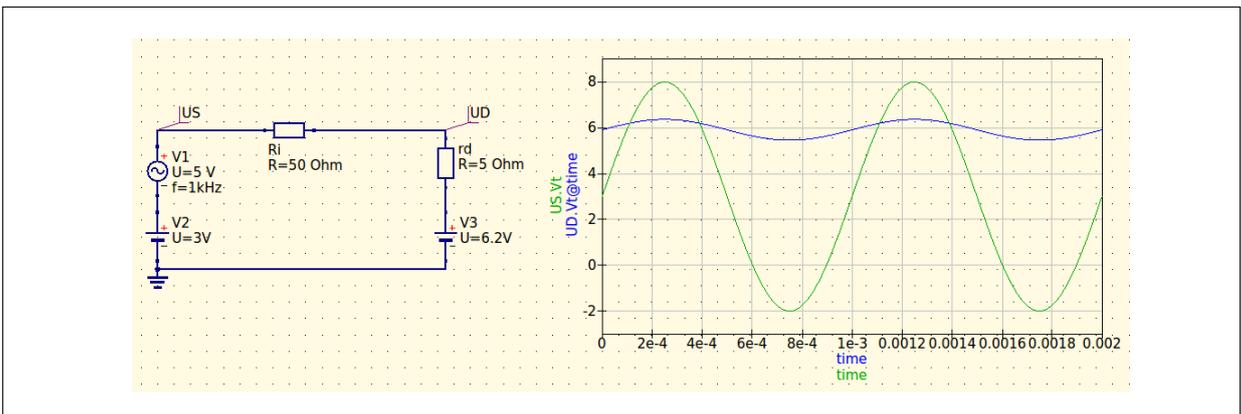
1. Bestimmen Sie die Zener-Spannung U_Z , sodaß die Spannung $U(t)$ **(1 Punkt)**
6.2 V nicht übersteigt.

Die Zener-Spannung muss $U_Z = 6.2V$ betragen.

2. Zeichnen Sie die Spannung an $U_{DC}(t) + U_{AC}(t)$ und $U_D(t)$ über die **(3 Punkte)**
Zeit. Erläutern Sie das Funktionsprinzip der Zener-Diode.



3. Zeichnen Sie die linearisierte Ersatzschaltung für $U_L > U_Z$ und die **(3 Punkte)**
Spannungen $U_{DC}(t) + U_{AC}(t)$ und $U_D(t)$ wie in Teil 2 dieser Aufgabe.



4. Berechnen Sie die Spannung $U_D(t)$ für das linearisierte Modell aus (4 Punkte)
 Aufgabenteil 3 dieser Aufgabe.

(siehe Skript Modul 4 Seite 51)

$$\begin{aligned}
 U_D &= (1 - a) \cdot U_Z + a \cdot U_q, \text{ mit } a = \frac{r_Z}{R_1 + r_Z} = \frac{5\Omega}{50\Omega + 5\Omega} = \frac{5}{55} \approx 0.09 \\
 &= 0.91 \cdot 6.2V + 0.09 \cdot U_q \\
 &= 0.91 \cdot 6.2V + 0.09 \cdot (U_{AC} + U_{DC}) \\
 &= 0.91 \cdot 6.2V + 0.09 \cdot (5V \cdot \sin(2\pi \cdot 1000Hz \cdot t) + 3V) \\
 U_D &= 0.45V \cdot \sin\left(6283 \frac{rad}{s} \cdot t\right) + 5.912V
 \end{aligned}$$

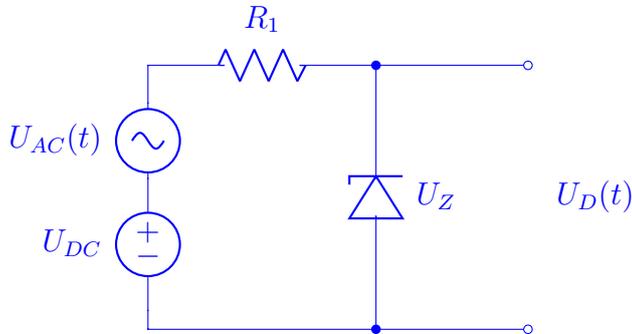
5. Berechnen Sie den Glättungsfaktor G und die Stabilisierung S für die (4 Punkte)
 gezeigte Schaltung mit den gegebenen Werten und für $\Delta U_{DC}/U_{DC} = 0.1$.

(siehe Skript Modul 4 Seite 51)

$$\begin{aligned}
 G &= \frac{\Delta(U_{AC} + U_{DC})}{\Delta U_D} = \frac{\Delta U_{DC}}{\Delta U_D} = \frac{0.1 \cdot 3V}{0.09 \cdot 0.1 \cdot 3V} = 11.11 \\
 S &= G \cdot \frac{U_D}{U_{AC} + U_{DC}} \approx 11 \cdot \frac{6.4V}{8.3V} = 8.48
 \end{aligned}$$

Stabilization with Z-diode

(15 Points)



$$U_{AC,0} = 5 V_{peak}$$

$$U_{DC} = 3 V$$

$$f = 1 kHz$$

$$R_1 = 50 \Omega$$

$$U_Z = ?$$

$$U_{diff} = 0.7V$$

$$r_Z = 5 \Omega$$

1. Determine the Zener voltage U_Z , so that $U_D(t)$ does not exceed 6.2 V.

(1 Points)

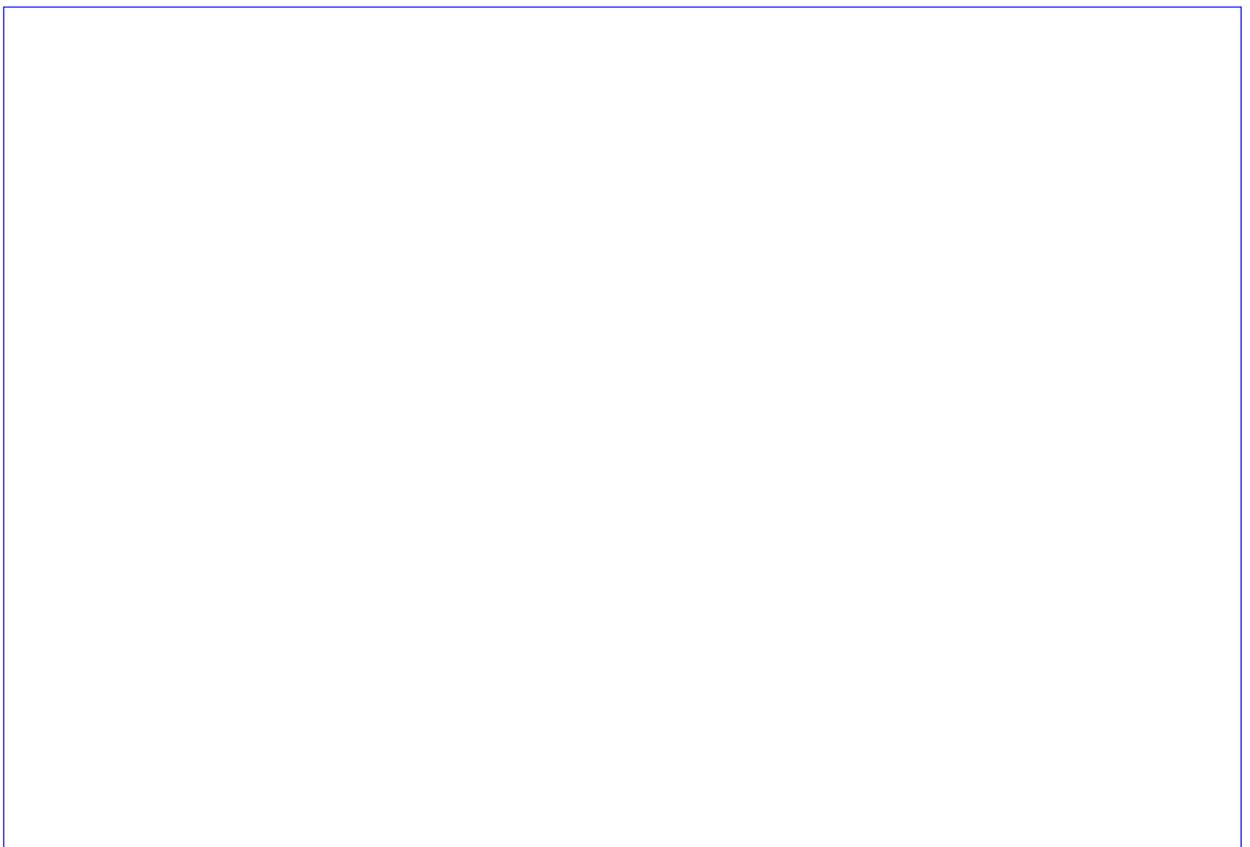
2. Draw the voltages $U_{DC}(t) + U_{AC}(t)$ and $U_D(t)$ over time in a diagram. (3 Points)
Explain the principle of operation of the Zener diode.

3. Draw the linear replacement circuit for $U > U_Z$ and the progress of voltages $U_{DC}(t) + U_{AC}(t)$ and $U_D(t)$ as in part 2 of this exercise. (3 Points)

4. Calculate the voltage $U_D(t)$ for the linear model in part 3 of this exercise. **(4 Points)**



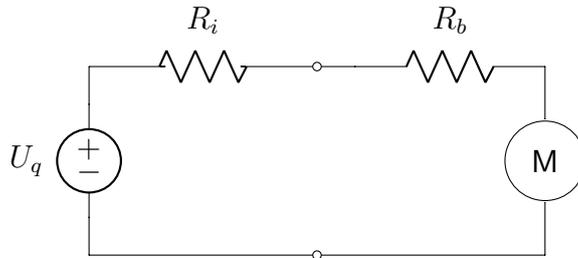
5. Calculate the smoothing factor G and die stabilization factor S for the shown circuit from the given values and for $\Delta U_{DC}/U_{DC} = 0.1$. **(4 Points)**



Aufgabe 3: Energie und Leistung

(15 Punkte)

Sie sind als Teil eines Teams von Entwicklungsingenieuren verantwortlich für die Konzeptionierung des Leistungselektronik eines Elektroautos. Im Fahrzeug soll ein DC-Elektromotor (M) verbaut werden, der eine maximale Leistung von 100kW bei 400V liefert.



$$P_{M,max} = 100 \text{ kW}$$

$$P_{M,1} = 66 \text{ kW}$$

$$P_{M,2} = 80 \text{ kW}$$

$$U_q = 400 \text{ V}$$

1. Wie groß darf der Innenwiderstand R_i des Akkus und der Widerstand des Bordnetzes R_b sein, damit der DC-Motor mindestens $P_{M,1} = 66\text{kW}$ Leistung liefert? (4 Punkt)

$$R_M = \frac{U_M^2}{P_M} = \frac{400^2 \text{V}^2}{100\text{kW}} \approx 1.6\Omega$$

$$U_{M,66\text{kW}} = \sqrt{\frac{66\text{kW}}{1.6\Omega}} \approx 203\text{V}$$

$$I_{M,66\text{kW}} = \frac{U_{M,66\text{kW}}}{R_M} = \frac{203\text{V}}{1.6\Omega} \approx 127\text{A}$$

$$\begin{aligned}
 R_i + R_b &= \frac{U_q - U_{M,66}}{I_{M,66}} \\
 &= \frac{400\text{V} - 203\text{V}}{127\text{A}} \\
 &= 1.55\Omega
 \end{aligned}$$

Der Widerstand von Bordnetz und Akkupack darf maximal 1.55Ω betragen, damit der Motor eine Leistung von 66kW erbringt.

2. Ihnen stehen Akkuzellen mit je $0,2kWh$ bei $80V$ und einem Innenwi- (3 Punkte)
 derstand $R'_i = 10\Omega$ zur Verfügung. Wieviele Zellen und in welcher An-
 ordnung benötigen Sie für ein Akkupaket mit $400V$ Nennspannung
 und $500m\Omega$ Innenwiderstand? Wieviel Energie hat dieser Akku?

Fünf Akkuzellen in Reihe ergibt Nennspannung $U_q = 400V$.

$$5 \cdot 80V = 400V$$

$$R_{i,r} = 5 \cdot 10\Omega = 50 \Omega / R - Zelle = 0,02 S$$

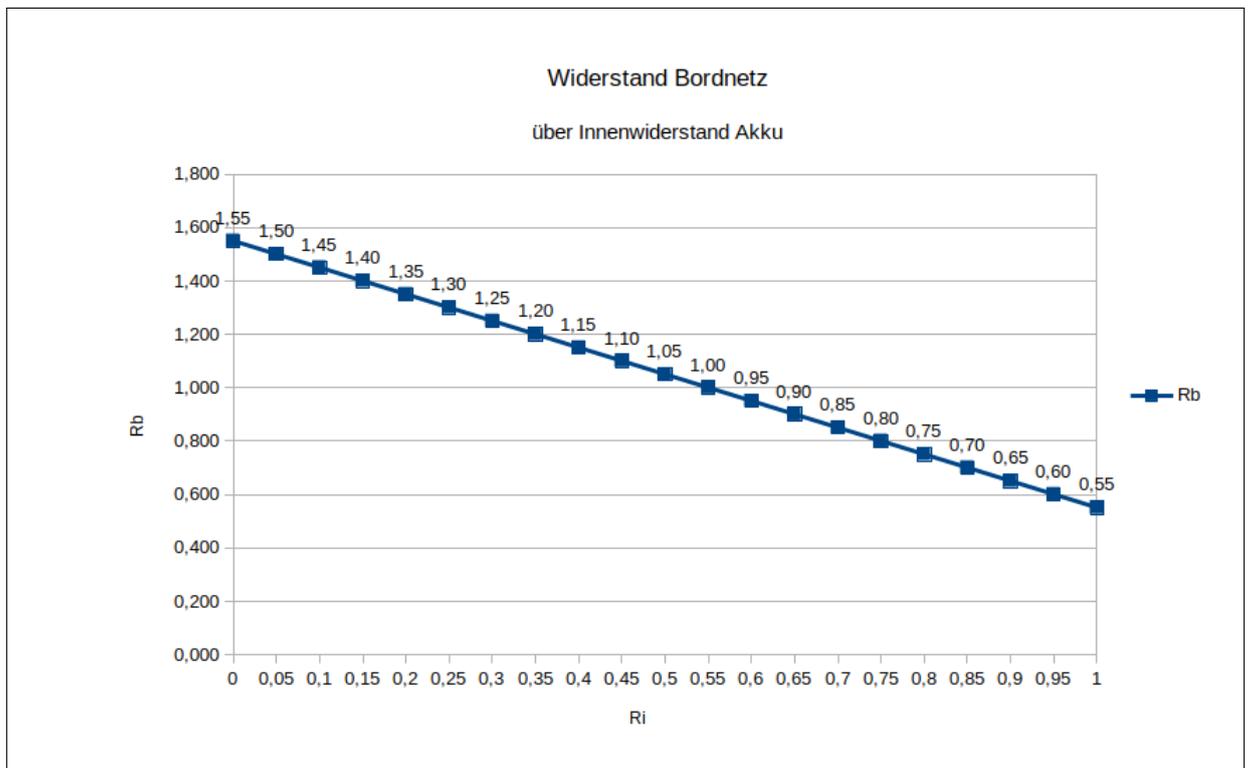
Diese in Reihe geschalteten Zellen sind parallel zu schalten, um den Innenwiderstand zu reduzieren.

$$\frac{2S}{0,02S/Zelle} = 100 \text{ Zellen}$$

$$R_{i,rp} = \frac{1}{2S} = 0,5\Omega = 500m\Omega$$

Es sind $5 \cdot 100 = 500$ Zellen nötig. Diese liefern eine Energie von $500 \cdot 0,2kWh = 100kWh$.

3. Zeichnen Sie den maximal zulässigen Widerstand des Bordnetzes R_b (4 Punkte)
 über dem Innenwiderstand des Akkupaketes R_i für $0\Omega \leq R_i \leq 1\Omega$.



4. Wie groß muss der Widerstand des Bordnetzes sein, um bei sonst gleichen Bedingungen eine Leistung von $P_{M,2} = 80kW$ zu erreichen? (4 Punkte)

$$U_{M,80kW} = \sqrt{\frac{80kW}{1,6\Omega}} \approx 224V$$

$$I_{M,80kW} = \frac{223,61V}{1,6\Omega} \approx 140A$$

$$0,5\Omega + R_b = \frac{400V - U_{M,80kW}}{I_{M,80kW}}$$

$$R_b = \frac{400V - U_{M,80kW}}{I_{M,80kW}} - 0,5\Omega$$

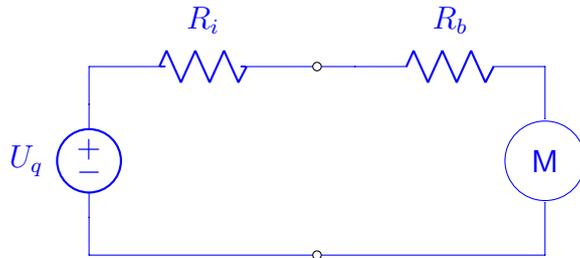
$$= \frac{400V - 224V}{140A} - 0,5\Omega \approx 0,76\Omega$$

Der Widerstand des Bordnetzes darf jetzt nur noch 0,76 Ohm betragen.

Energy and Power

(15 Points)

As a member of a team of development engineers you are responsible for the power electronics concept of an electric car. The vehicle is supposed to be equipped with a dc motor (M) with a maximum power of 100kW at 400V .



$$P_{M,max} = 100 \text{ kW}$$

$$P_{M,1} = 66 \text{ kW}$$

$$P_{M,2} = 80 \text{ kW}$$

$$U_q = 400 \text{ V}$$

1. What is the maximum internal resistance of the battery R_i and on-board power supply network R_b so that the power of the dc-motor is at least $P_{M,1} = 66\text{kW}$?

(4 Points)

2. You have battery cells with each $0,2kWh$ at $80V$ and an internal resistance $R'_i = 10\Omega$ available. How many cells and in what configuration are needed for a battery pack with $400V$ nominal voltage and inner resistance of $500m\Omega$? How much energy has this battery?



3. Draw the maximum eligible resistance of the on board power-supply network R_b over the inner resistance of the battery pack R_i with $0\Omega \leq R_i \leq 1\Omega$. (4 Points)



4. What is the resistance of the on board power-supply network to get a power $P_{M,2} = 80kW$ under equal circumstances. (4 Points)