

Name: **MAX MUSTERMANN**

Kennnummer: **01012020**

Punktetabelle

Aufgabe	1	2	3	4	5	6	SUM
maximale Punktezahl	7	7	9	7	7	8	45
Punktezahl erreicht							

Hinweis:

Berechnungen, Herleitungen etc. sind nachvollziehbar zu gestalten. Falls nicht nachvollziehbar ist, wie das Ergebnis bzw. die Lösung erreicht wurde, können dafür keine Punkte vergeben werden.

Lösen Sie die Aufgaben (möglichst) vollständig, notieren Sie aber nur zugehörige Antworten: Richtige, aber nicht zur Frage/Aufgabenstellung gehörige Aussagen bringen keine Punkte bzw. können unter Umständen zu Punkteabzug führen.

Beantworten Sie die Fragen direkt nach/neben der Frage. Bei Bedarf kann auch zusätzliches, gestempeltes Papier als Ergänzung verwendet werden -> bitte um Verweis!

Bestätigung:

Hiermit bestätige ich, die Prüfungsergebnisse eigenständig ohne Zuhilfenahme von fremder Hilfe oder unerlaubter Hilfsmittel bzw. Unterlagen generiert zu haben. Es ist mir bewusst, dass in einem solchen Fall lt. aktuelle Studien- und Prüfungsordnung §11 Abs. (1) oder (2) die Prüfungsarbeit nicht beurteilt wird, der Prüfungsantritt aber zur Gesamtzahl der möglichen Wiederholungen angerechnet wird.

Unterschrift

Viel Erfolg!

Aufgabe 1: Grundgrößen

- a) (2 Pkte): Geben Sie zwei Wege an, wie die „elektrische Feldstärke“ mit anderen Größen zusammenhänge bzw. definiert ist! Wie hängen diese zusammen (Hinweis: Arbeit/Energie = Kraft * Weg)?

$$E = F/Q \text{ ... el. Feldstärke} = \text{Kraft, die auf eine Ladung wirkt (Bezug = Ladung)}$$

$$E = U/x \text{ ... el. Feldstärke} = \text{Spannung pro Länge}$$

Zusammenhang durch = Spannung = Potentialdifferenz sowie Potential = Arbeit pro Ladung W/Q

$$E = U/x = W/Q \cdot x = F \cdot x / Q \cdot x = F/Q \text{ da Arbeit} = \text{Kraft} \cdot \text{Weg} (W = F \cdot x)!$$

- b) (3 Pkte): Ein überfluteter Keller wird mit einer elektrischen Pumpe ausgepumpt. Die Pumpe braucht für 18000 kg Wasser (18m², 1m Höhe) 4 Stunden und 15 Minuten (Pump-Höhe = 3m). Der elektrische Wirkungsgrad ist 87%, der restliche Wirkungsgrad (Hydraulik, Mechanik) beträgt 61,5%. (Anm.: Erdbeschleunigung ca. $g = 9,81 \text{ m/s}^2$)
* Welche elektrische Anschlussleistung hat die Pumpe?
* Wie hoch sind die Kosten für den verbrauchten Strom wenn gilt: Kosten = 15ct/kWh

$$\text{Mechanische Arbeit gesamt: } W_m = m \cdot g \cdot h = 18000 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 3 \text{ m} = 529,74 \text{ kJ}$$

Elektrische Arbeit gesamt = mechanische Arbeit / Gesamtwirkungsgrad:

$$W_{el} = W_m / (\eta_1 \cdot \eta_2) = 529,74 \text{ kJ} / (0,87 \cdot 0,615) = 990,0757 \text{ kJ}$$

$$P_{el} = W_{el} / t = 990,0757 \text{ kWs} / (4 \cdot 3600 \text{ s} + 15 \cdot 60 \text{ s}) = 64,7108 \text{ W}$$

$$\text{Kosten: } 15 \text{ ct/kWh} \cdot 990 \text{ kJ} = 15 \text{ ct/Wh} \cdot 990 \text{ Ws} = 15 \text{ ct} \cdot 990 \text{ s/h} \cdot 1 \text{ h} / 3600 \text{ s} = 4,125 \text{ ct}$$

- c) (2 Pkte): Die „Kapazität“ der Batterie eines Elektroautos betrage 22kWh bei einer Spannung von ca. 400V. Wie viele Elektronen ($e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$) fließen durch die Batterie, bis die Kapazität erschöpft ist?

$$W_{ges} = 22 \text{ kWh} = 22 \text{ kW} \cdot 1 \text{ h} \cdot 3600 \text{ s} / 1 \text{ h} = 79200 \text{ kWs} = 79,2 \text{ MJ} = U \cdot Q_{ges}$$

$$Q_{ges} = W_{ges} / U = 79,2 \text{ MJ} / 400 \text{ V} = 198 \text{ kC} = N \cdot e$$

$$N = 198000 \text{ C} / e = 198000 \text{ C} / (1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}) = 1,2375 \cdot 10^{24} \text{ Elektronen!}$$

Aufgabe 2: Schaltungsanalyse 1

- a) (2 Pkte): Bewerten Sie folgende Aussagen zum Thema Schaltungsanalyse! Begründen Sie Ihre Entscheidung in einem kurzen Satz!

Beim Ersatzquellenverfahren wird immer genau eine Quelle mit beliebig vielen Widerständen durch eine andere Quelle mit einem einzelnen Widerstand ersetzt.

- Wahr, weil:
 Falsch, weil: *es können leicht auch mehrere Quellen ersetzt werden, nicht nur eine!*

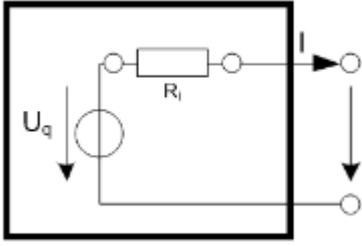
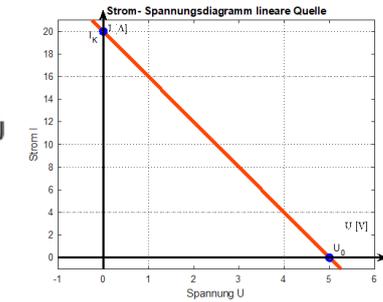
Eine ideale Stromquelle kann sowohl im Kurzschluss als auch im Leerlauf betreiben werden.

- Wahr, weil:
 Falsch, weil: *Eine ideale Stromquelle kann NIE im Leerlauf betrieben werden (I=0)?*

Eine Strom-/Spannungsmessung liefert: -5A und 17V. Der Zweipol ist somit ein Erzeuger.

- Wahr, weil: *Aussage nicht eindeutig, da Zählpeilsystem fehlt!*
 Falsch, weil: *bei Verbraucher - Zählpeilsystem: richtig, bei Erzeuger...ZS: falsch*

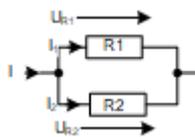
- b) (3 Pkte): Skizzieren Sie eine lineare Spannungsquelle (Schaltung, Kennlinie) und geben Sie die Zweipolgleichung dazu an. Wie groß sind Kurzschlussstrom und Leerlaufspannung, wenn gilt: $U_q = 5V$, $R_q = 250m\Omega$?

Schaltung	Kennlinie	Mathematisch (Zweipolgleichung)
		$U = U_q - R_i \cdot I$

$U_0 = \underline{5} \underline{V}$

$I_K = \underline{20} \underline{A} = U_q/R_i$

- c) (2 Pkte): Leiten Sie die Stromteilerregel für 2 Widerstände unter Verwendung des ohmschen Gesetzes („O“) und der Kirchhoffschen Gesetze („K1“, „K2“) her. Geben Sie bei jedem Schritt an, welches Gesetz Sie nutzen! Starten Sie mit einer Schaltungsskizze mit R1 (U1, I1) und R2 mit (U2, I2)



Schaltungsskizze: *gesucht sind: U1 und I2, abhängig von I, R1 und R2 Es gilt:*

- (Ohmsches Gesetz) $U_{R1} = I_1 \cdot R_1$ sowie $U_{R2} = I_2 \cdot R_2$
- (Kirchhoff 2) Eine Masche im inneren liefert: $U_{R1} - U_{R2} = 0$, daher: $U_{R1} = U_{R2}$
- (Kirchhoff 1) Am Knotenpunkt gilt: $I_{R1} + I_{R2} - I = 0$! $I = I_{R1} + I_{R2}$ und daher: $I = U / (1/R_1 + 1/R_2)$
 bzw. $U = I \cdot (1/R_1 + 1/R_2) = I \cdot (R_1 R_2) / (R_1 + R_2)$
- (Einsetzen) Daher gilt $I_1 = U / R_1 = I \cdot R_2 / (R_1 + R_2)$ und somit: $I_1 = I \cdot R_2 / (R_1 + R_2)$ (q.e.d.)

Aufgabe 3: Schaltungsanalyse 2

(9 Pkte): Ein neuer und ein etwas älterer Li-Ion Akku werden zur Versorgung einer Last (modelliert mit R_L) parallelgeschaltet („2P“ - Konfiguration). Sie werden in erster Näherung als lineare Quellen modelliert (Akku neu: $U_{q1}=3,75V$, $R_{i1}=30m\Omega$ und Akku alt: $U_{q2}=3,66V$, $R_{i2}=\text{unbekannt}$).

- a) (1 Pkt) Zeichnen Sie das Schaltbild mit allen notwendigen Strömen und Spannungen! Benennen Sie alles und verwenden Sie die gegebenen Bezeichnungen, wo vorhanden!
- b) (1 Pkt) Nach dem Zusammenschalten der Akkus (ohne Anschluss der Last R_L) stellt sich an den Klemmen eine Spannung von $3,71V$ ein. Wie groß ist dabei der Strom, der von Akku1 in Akku2 fließt?
- c) Wie groß ist dabei die abgegebene Leistung von Akku1? (1 Pkt)
- d) Ist der Akku2 noch in Ordnung, wenn gilt: Der Innenwiderstand des Akkus sollte kleiner als $100m\Omega$ sein? (2 Pkte)

$I_{12} = \underline{\hspace{2cm}}$

$P_{A1} = \underline{\hspace{2cm}}$

$R_{i2} = \underline{\hspace{2cm}}$
 OK / DEFEKT

An die beiden Akkus wird nun die Last mit folgenden Kenndaten angeschlossen: $P=4W$ bei $3,6V$. Analysieren Sie diesen Zustand und ermitteln Sie:

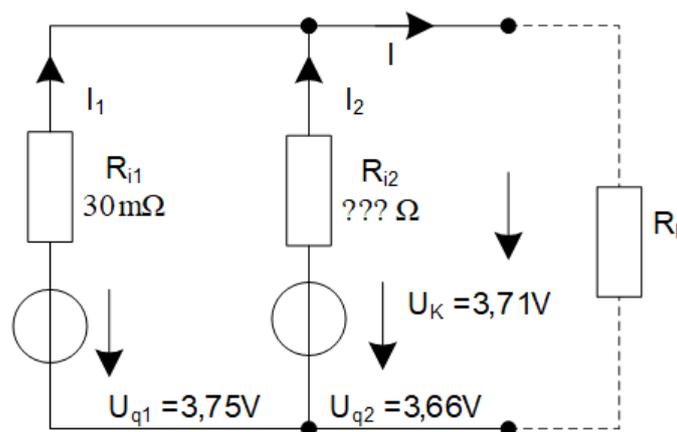
- e) Die resultierende Spannung an den Klemmen/an der Last? (2 Pkte)
- f) Die tatsächliche Leistung an der Last: (1 Pkte)
- g) Die abgegebenen Leistungen von Akku 1 und Akku 2 (1 Pkte)

$U_L = \underline{\hspace{2cm}}$

$P_L = \underline{\hspace{2cm}}$

$P_{A1} = \underline{\hspace{2cm}}$

$P_{A2} = \underline{\hspace{2cm}}$



a): Schaltungsskizze

strichliert: Punkt e.

ACHTUNG: Bei e), f) und g): da stimmt $U_K = 3,71V$ nicht mehr, das gilt nur ohne R_L !

Berechnungen:

b) $I_{12}=I_1$! Eine Masche über die Quelle 1, R_{i1} und U_K liefert: $-U_{q1} + I_{12} \cdot R_{i1} + U_K = 0$, daher:

$$I_{12} = (U_{q1} - U_K) / R_{i1} = (3,75V - 3,71V) / 30m\Omega = 1,33333333A = 4/3 A$$

c) Die vom Akku abgegebene Leistung ist jene an den KLEMMEN des Akkus (d.h. bei U_K), daher $P_{A1} = U_K \cdot I_{12} = 3,71V \cdot 4/3A = 4,94666666W$

d) Der Innenwiderstand R_{i2} kann mit der Masche über den zweiten Akku und die Klemmspannung berechnet werden (s. vor): $-U_{q2} - I_{12} \cdot R_{i2} + U_K = 0$ (Der Strom I_{12} zeigt gegen die Maschenrichtung!), daher: $R_{i2} = (U_K - U_{q2}) / I_{12} = (3,71V - 3,66V) / (4/3)A = 37,5m\Omega \rightarrow$ der Akku ist OK!

e) Zuerst muss der Widerstand berechnet werden, welche bei einer Spannung von 3,6V 4W leistet: Da gilt $P = U^2 / R$ ist $R_L = 3,6^2V^2 / 4W = 3,24\Omega$

Für die restliche Berechnung gibt es verschiedene Verfahren. Hier verwendet wird das Ersatzquellenverfahren. Dabei werden beide Akkus zu einer linearen Quelle zusammengefasst. Die Quell – Ersatzspannung ist dabei die „Leerlaufspannung“, d.h. die Spannung ohne R_L . Diese ist bereits bekannt mit $U_{q,ers} = 3,71V$. Der Ersatz – Innenwiderstand wird aus der Parallelschaltung der beiden Innenwiderstände berechnet: $R_{q,ers} = R_{i1} \parallel R_{i2} = R_{i1} \cdot R_{i2} / (R_{i1} + R_{i2}) = \dots (TR) = 16 \frac{2}{3} m\Omega$.

Nun ist die Schaltung wieder ein reiner Spannungsteiler der linearen Ersatzquelle mit R_L , daher:

$$U_L = U_{q,ers} \cdot R_L / (R_{q,ers} + R_L) = 3,71V \cdot 3,24 \Omega / (3,24 \Omega + 0,01666666\Omega) = 3,691V$$

f) Die Leistung an der Last ist somit: $P_L = U_L^2 / R_L = 3,691^2V^2 / 3,24 \Omega = 4,2048W$

g) Die von den Quellen abgegebenen Leistungen müssen über die Ströme berechnet werden. Wie vorher gilt: $I_1 = (U_{q1} - U_K) / R_{i1} = (TR) = 1,966666A$, $I_2 = (U_{q2} - U_K) / R_{i2} = (TR) = -826,66666mA$

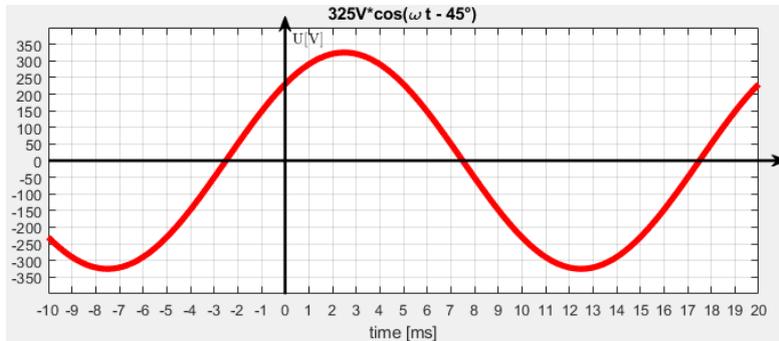
Die abgegebenen Leistungen sind daher (Klemmleistung!):

$$P_{A1} = U_K \cdot I_1 = 3,691V \cdot 1,966666 A = 7,26W \rightarrow \text{Akku gibt mehr Leistung ab als die Last bezieht!}$$

$$P_{A2} = U_K \cdot I_2 = 3,691V \cdot (-0,826666 A) = -3,05W \rightarrow \text{Akku wird nach wie vor über A1 geladen!}$$

Aufgabe 4: Zeitabhängigkeit

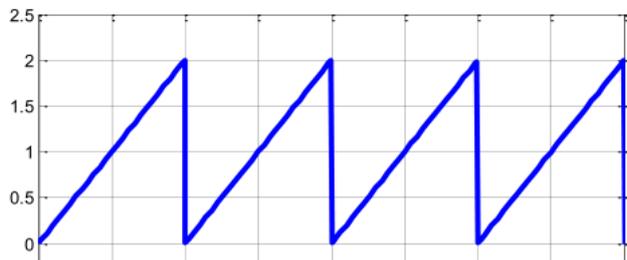
- a) (4 Pkte) Eine Cosinus - förmige Spannung ist definiert durch
 * $\hat{u}=325\text{V}$, $f = 50\text{Hz}$ und $\phi_0 = -45^\circ$.
 * Skizzieren Sie den Verlauf!
 * Zu welcher Zeit $t > 0$ beträgt der Augenblickswert der Spannung erstmals 50 V?



Skizze der Spannung. Peakwerte bei +325 und -325V, Periodendauer = 20ms. ACHTUNG: einen negative Nullphase bewirkt, dass die Kurve etwas nach rechts verschoben wird! Der erste Schnittpunkt mit 50V liegt daher bei ca. 7ms. Genau:

$u(t_{50})=50\text{V} = 325 * \cos(2 \pi 50\text{Hz} * t - 45^\circ)$, daher:
 $50\text{V} / 325 = \cos(2 \pi 50\text{Hz} * t - 45^\circ)$, bzw. $\arccos(50/325) = 360^\circ 50\text{Hz} * t - 45^\circ$
 $81,15^\circ + 45^\circ = 360^\circ 50\text{Hz} * t$ und daher: $t = 126,15^\circ / 360^\circ / 50\text{Hz} = 7,0083\text{ms}$

- b) (3 Pkte) Folgender Stromverlauf sei durch Messung ermittelt worden (Zeitachse: 1 Kästchen = 1 ms; Werteachse: in A)



- * Berechnen Sie den Gleichwert I_{DC} sowie den Effektivwert I des Stromes.
 * Welchen Fehler würde man machen, wenn man zur Berechnung der Leistung dieses Stromes an einem Widerstand R mit dem Mittelwert statt mit Effektivwert rechnen würde?

$I_{DC} = \underline{1} \underline{A}$

$I_{RMS} = \underline{2/\sqrt{3}} \underline{A}$

Fehler = $\underline{-25\%}$ %

Berechnung der Kennwerte:

$I_{DC} = \text{Durchschnittswert über Dreiecksfläche: } I_{DC} = 1/2\text{ms} * (2\text{A} * 2\text{ms}) / 2 = 2\text{A}$

Der RMS – Wert ist nicht so trivial, der muss integriert werden (über eine Periode). Dazu muss die Stromfunktion gebildet werden: $i(t) = 2\text{A}/2\text{ms} * t [\text{ms}]$, daher: $i(t) = 1\text{A}/\text{ms} * t [\text{ms}]$.

Die Integration liefert (von 0 ... 2ms): $I_{RMS}^2 = 1/T * \int i^2(t)dt = 1/2\text{ms} * \int (1\text{A}/\text{ms})^2 t^2 dt = I_{RMS}^2 = 1/2\text{ms} * (1\text{A}/\text{ms})^2 t^3/3 |_{(0...2\text{ms})} = 1/2\text{ms} * (1\text{A}/\text{ms})^2 2^3\text{ms}^3/3$. Kürzen liefert: $I_{RMS}^2 = 4/3\text{A}^2$, daher: $I_{RMS} = 2/\sqrt{3}\text{A} = 1,1547\text{A}$

*Wenn nun eine Verlustleistung an R mit 1A berechnet wird, gilt $P = 1A^2 * R$. Eigentlich muss (!) die Leistung aber mit $I_{RMS}^2 = 2/\sqrt{3} A$ berechnet werden -> $P = 4/3 A^2 * R$. Die falsch berechnete Leistung ist daher nur $\frac{3}{4}$ der richtigen Leistung, es fehlen 25%*

→ FEHLER = -25%

Aufgabe 5: Felder 1

- a) (2 Pkte) Bewerten Sie folgende Aussagen in Bezug auf elektrische bzw. magnetische Felder! Begründen Sie Ihre Entscheidung!

Ein stationäres Feld hängt weder von Ort noch Richtung ab, sondern nur von der Zeit.

- Wahr, weil:
- Falsch, weil: *stationär bedeutet nur: zeitunabhängig!*

In einem Hall - Sensor wird die Laufzeit von Schall zur Längenmessung verwendet.

- Wahr, weil:
- Falsch, weil: *Hall – Effekt: magnetische Ablenkung (keine Akustik!)*

Ferroelektrika haben einen viel höheren Leitwert als Dielektrika. Dadurch ist deren Einsatz nur bei sehr geringen Spannungen möglich.

- Wahr, weil:
- Falsch, weil: *Ferroelektrika sind Dielektrika = ISOLATOREN, daher Leitwert = 0!*

In Transformatoren werden hauptsächlich hartmagnetische Materialien verwendet.

- Wahr, weil:
- Falsch, weil: *muss oft umgepolt werden -> weichmagnetisch*

- b) (4 Pkte): Leiten Sie die Gleichung für die Kapazität eines Plattenkondensators aus den entsprechenden Maxwell - Gleichungen her. Kennzeichnen Sie alle Vereinfachungsschritte. Nehmen Sie dabei an, dass Randeffekte vernachlässigt werden können. Die Geometrie sei: Querschnittsfläche der Platten: A, Dielektrikum mit Dicke d und ϵ_r !

$$C = \epsilon * A / d$$

- c) (1 Pkt) Wie groß ist Feldstärke innerhalb eines solchen Plattenkondensators mit $A=1\text{m}^2$ Plattenfläche, $d = 0,2\text{mm}$, $\epsilon_r=2,3$ wenn dieser eine Ladung von $10\mu\text{C}$ beinhaltet ($\epsilon_0=8,8541878128*10^{-12}\text{As/Vm}$)?

$$E = 491\text{kV/m}$$

Berechnungen

Maxwell im elektrostatischen Feld:

$$\oint_{\psi} \vec{D} \cdot d\vec{A} = Q \quad \dots \text{„Der Hüllfluss des Flussdichtefeldes entspricht der Ladung“}$$

$$U_{12} = \int_1^2 \vec{E} \cdot d\vec{s} \quad \dots \text{„Die Spannung zwischen zwei Punkten entspricht dem Linienintegral der Feldstärke“}$$

Es muss nun vereinfacht werden:

- Ladung Q liegt auf Platten, das Feld befindet sich ausschließlich zwischen den Platten (nicht im restlichen Raum), daher vereinfacht sich der Hüllfluss auf den Fluss zwischen den Platten (Rest=0)!
- dA ist eine Fläche parallel zu den Platten, daher sind dA und D parallel -> skalares Integral!
- Die Feldstärke ist zwischen den Platten homogen, daher kann D vorgezogen werden.

Daraus:

$$Q = D \cdot A$$

- Der Integrationsweg zwischen den Platten wird entlang der (homogenen) Feldstärkelinien gewählt -> daher sind E und s parallel, das Integral vereinfacht sich zu:

$$U = E \cdot d$$

Mit Hilfe der dritten Maxwell – Gleichung (Material: $D = \varepsilon E$) folgt für $Q = C \cdot U$

$$C = Q / U = D \cdot A / (E \cdot d) = \varepsilon E \cdot A / (E \cdot d) = \varepsilon A / d$$

Um für c) die Feldstärke zu berechnen, muss zuerst die Spannung aus der Kapazität berechnet werden: (richtiges Einsetzen der Einheiten ist hier die Herausforderung!)

$$C = \varepsilon_r \varepsilon_0 A / d = 2,3 \cdot 8,8541878128 \cdot 10^{-12} \text{As/Vm} \cdot 1 \text{m}^2 / 0,2 \text{mm}$$

$$C = 101,8 \cdot 10^{-12} \text{As/V} \cdot \text{m/mm} \cdot 1000 \text{mm/1m} = 101,8 \cdot 10^{-9} \text{F} = 101,8 \text{nF}$$

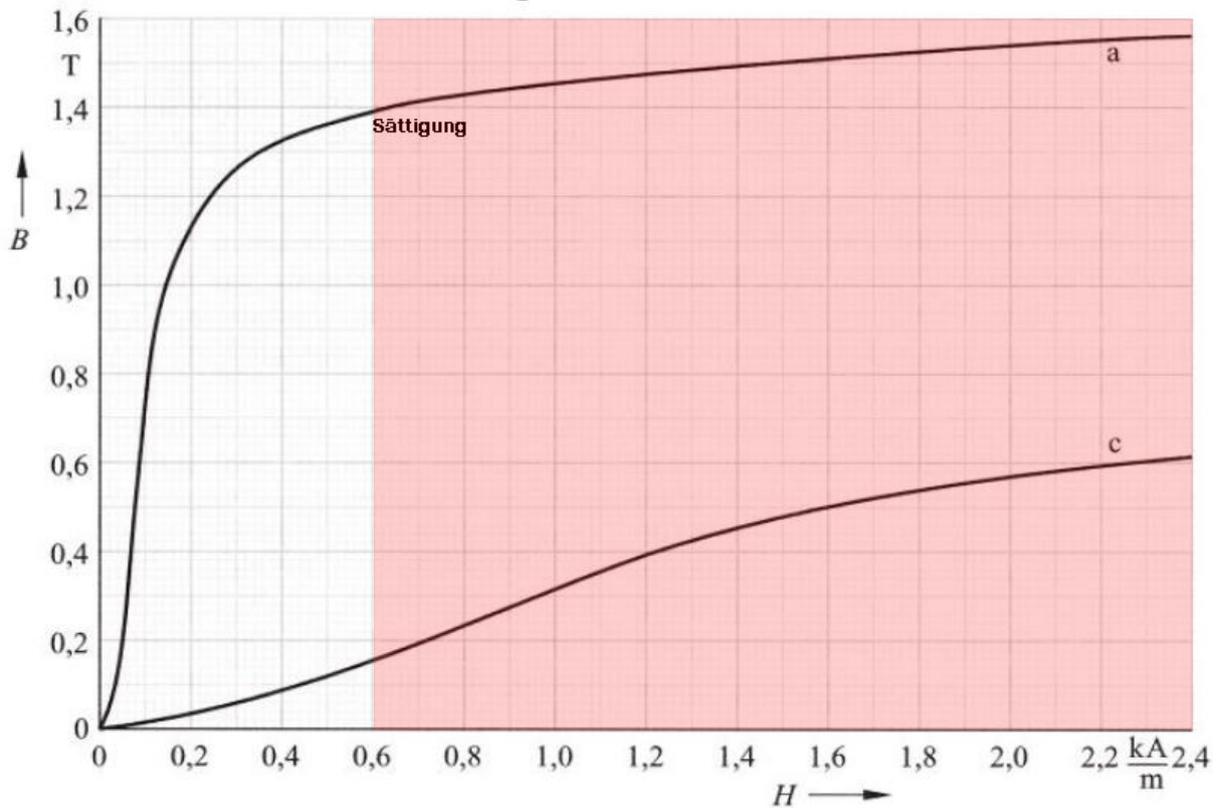
$$U = Q / C, \text{ daher: } U = 10.000 \text{nC} / 101,8 \text{nF} = 98,21 \text{V}$$

$$\text{Die Feldstärke ist daher: } E = U / d = 98,21 \text{V} / 0,2 \text{mm} = 491 \text{V/mm} \cdot 1000 \text{mm/1m} = 491 \text{kV/m}$$

Aufgabe 6: Felder 2

Ein U - förmiger Eisenkern (Querschnittsfläche $A = 400\text{mm}^2$) liegt auf einer Eisenplatte (beide Schenkel liegen auf). Am linken Schenkel ist eine Spule mit $N=200$ Windungen aufgebracht. In diesem Zustand ist die gemessene Induktivität der Anordnung $L = 200\text{mH}$.

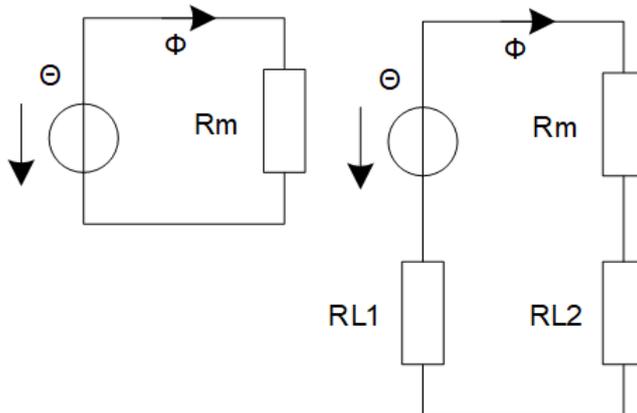
- (3 Pkte) Skizzieren Sie die Ersatzschaltungen der magnetischen Kreise (ohne Luftspalt / mit Luftspalt)!
- (2 Pkte) Wie viel Energie kann in der Spule maximal gespeichert werden, ohne dass diese in Sättigung (markierter Bereich!) gerät?
- (3 Pkte) Bei welchem Abstand zum Eisenkern (=Luftspaltdicke) sinkt die Induktivität auf 50mH ?



b) Die maximale Energie beträgt 784mJ c) der Luftspalt beträgt 0,15mm. Berechnung: s. unten

Schaltungsskizze:

- „Wicklung“ erzeugt eine Durchflutung \rightarrow wird als Spannungsquelle gekennzeichnet!
- Der Fluss muss nun durch das Material \rightarrow wird als magnetischer Widerstand R_m gekennzeichnet! Das ist ein sehr einfacher magnetischer Kreis (linkes Schaltbild)
- Mit Luftspalt: Der Fluss muss – da er durch 2 Schenkel muss – 2x durch den Luftspalt, daher: 2 zusätzliche, gleich große magnetische Widerstände R_L (rechtes Schaltbild)!



b) Aus der Kurve (a) ist erkennbar: $B_{max} = 1,4T$ und $H_{max} = 0,6kA/m$. Da keine Querschnittsveränderungen etc. vorhanden sind, gilt für die Gesamtenergie:

$$W_m = \int_0^{\Phi_1} \Theta \cdot d\Phi \quad \text{da } \Theta \text{ proportional zu } \Phi \text{ ist, gilt } W_{max} = \Theta_{max} \cdot \Phi_{max} / 2$$

Der Fluss kann aus B_{max} leicht berechnet werden:

$$\Phi_{max} = B_{max} \cdot A = 1,4T \cdot 400mm^2 = 560Wb \cdot mm^2/m^2 \cdot 1m^2 / 1000^2m^2 = 560 \mu Wb$$

Die für diesen Fall notwendige Durchflutung kann über den magnetischen Widerstand R_m berechnet werden ($\Theta = \Phi \cdot R_m$). Dieser ist durch die Angabe von L und N bereits bekannt: $L = 200mH = N^2 \cdot \Lambda$, daher: $\Lambda = L/N^2 = 1/200.000H$. Der magnetische Widerstand R_m ist der Kehrwert davon: $R_m = 200.000 1/H$. Daher ist: $\Theta_{max} = \Phi_{max} \cdot R_m = 560 \mu Wb \cdot 200.000 1/H = 112A$, ($I = 560mA$)

Die maximale Energie ist: $112A \cdot 560 \mu Wb / 2 = 31,36 mJ$

(Kontrolle: geht auch über den Strom und L :

$$W = LI_{max}^2 / 2 = 0,2H \cdot (0,56mA)^2 / 2 = 31,36mJ)$$

c) Ein Sinken der Induktivität auf $50mH$ bedeutet $1/4$ der ursprünglichen Induktivität. Bei gleicher Durchflutung ist dann der Fluss nur mehr $1/4$ so groß.

Das heißt, dass die beiden magnetischen Widerstände des Luftspalte in Summe genau $3x$ den magnetischen Widerstand des Eisens haben müssen, daher:

$$RL1 = RL2 = (3 \cdot R_m) / 2 = 300.000 1/H.$$

Im Luftspalt gilt $\mu = \mu_0$, daher: $RL = l / (A \cdot \mu_0)$, daher $\rightarrow l = RL \cdot A \cdot \mu_0$

$$\text{Die Luftspalllänge ist daher: } l = RL \cdot A \cdot \mu_0 = 300.000 A/Vs \cdot 400mm^2 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} As/Vm = 150mm^2/m = 150 \mu m = 0,15mm!$$

