

1. Kurzfragen zu Elektrotechnik 1 (18 Punkte)

KF1) Sie saugen mit einem kabellosen Staubsauger Ihre Wohnung. Dieser hat eine Leistung von 500 W und der Akku sei voll geladen. 3 P.

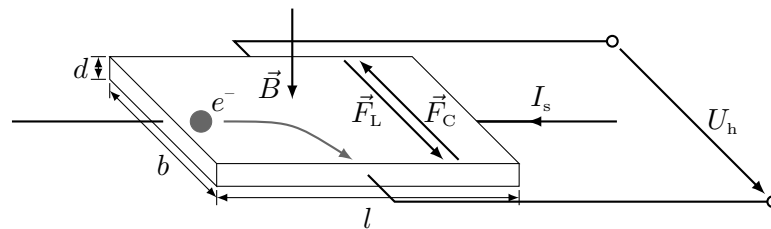
a) Berechnen Sie die Kosten für den Betrieb von 12 min bei einem Preis von 30 ct/kWh.

b) Bestimmen Sie die Ladedauer, wenn der Staubsaugerakku danach mit 50 W wieder voll geladen wird. Es wird angenommen, dass der Ladevorgang einen Wirkungsgrad von 95 % hat.

KF2) Sie möchten mit einem Amperemeter ($I_{\max} = 5 \text{ A}$, $R_m = 3 \text{ m}\Omega$) einen Strom von $I = 35 \text{ A}$ messen. **Leiten** Sie eine Formel zur Bestimmung eines Widerstandes für eine Messbereichserweiterung her **und bestimmen** Sie den benötigten Widerstand R^* . Zeichnen Sie auch für diesen Fall ein vollständig beschriftetes Ersatzschaltbild. 3 P.

KF3) Zwischen den Platten eines als homogen angenommenen Kondensators mit einem Plattenabstand von $d = 10 \text{ mm}$ und einer Plattenfläche von $A = 25 \text{ cm}^2$ wird eine Spannung $U = 10 \text{ V}$ gemessen. Zwischen den Platten befindet sich Porzellan mit einer Dielektrizitätszahl $\epsilon_r = 7$. Bestimmen Sie die Kapazität des Kondensators sowie die elektrische Feldstärke zwischen den beiden Platten. 2 P.

KF4) Für die Messung magnetischer Felder werden üblicherweise Hallsonden verwendet. Das grundlegende Prinzip ist in folgender Abbildung dargestellt. 3 P.



An den Klemmen der Hallsonde lässt sich eine konstante Spannung U_h messen, wenn die Lorentz- und Coulomb-Kraft im Gleichgewicht sind.

Gegeben sind folgende Werte:

$$l = b = 3,5 \text{ cm}$$

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

$$I_s = 5 \text{ A}$$

$$d = 0,05 \text{ mm}$$

$$n = 1,25 \cdot 10^{25} \text{ m}^{-3}$$

$$U_h = 25 \text{ mV}$$

a) Geben Sie eine Formel zur Bestimmung der Lorentzkraft mit den gegebenen Größen an.

b) Die Coulomb-Kraft ist gegeben durch

$$F_C = n \cdot V \cdot e \cdot E_h$$

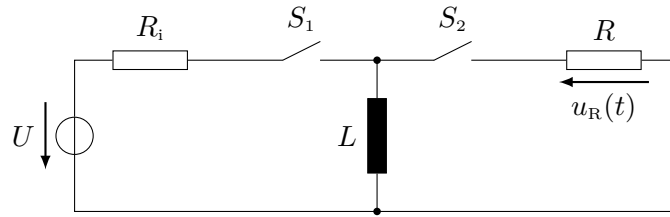
wobei V das Volumen der Hallsonde ist und E_h die elektrische Feldstärke zwischen den beiden Seiten, an denen die Hallspannung gemessen wird.

Bestimmen Sie die magnetische Flussdichte B für die obige Messanordnung.

KF5) Gegeben ist folgende Ersatzschaltung.

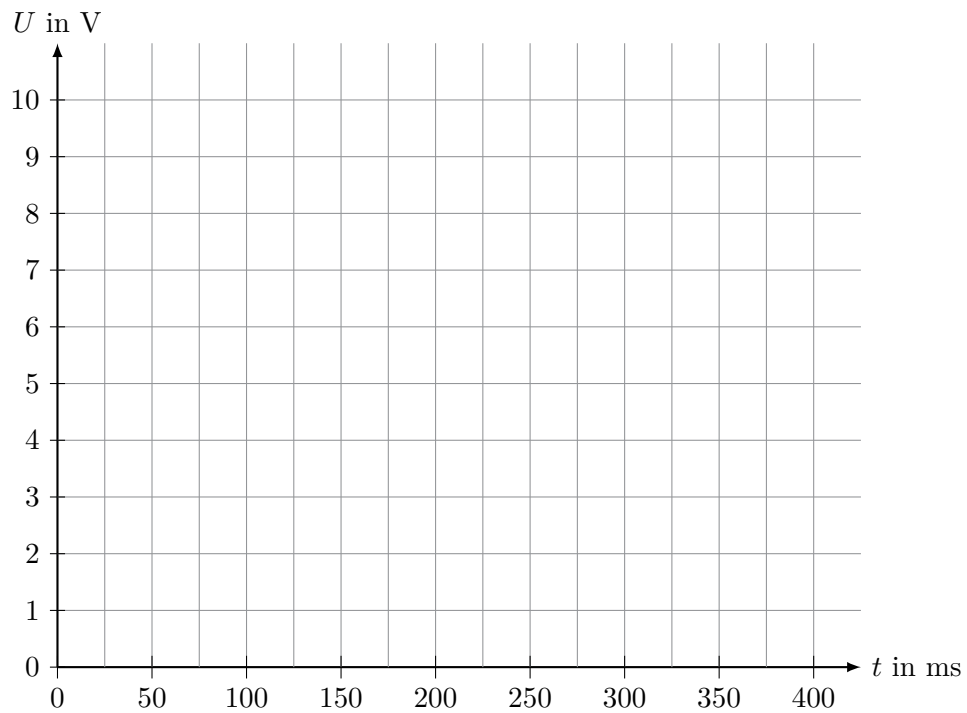
3 P.

$$U = 10 \text{ V} \quad , \quad R_i = 4 \Omega \quad , \quad R = 2 \Omega \quad , \quad L = 150 \text{ mH}$$



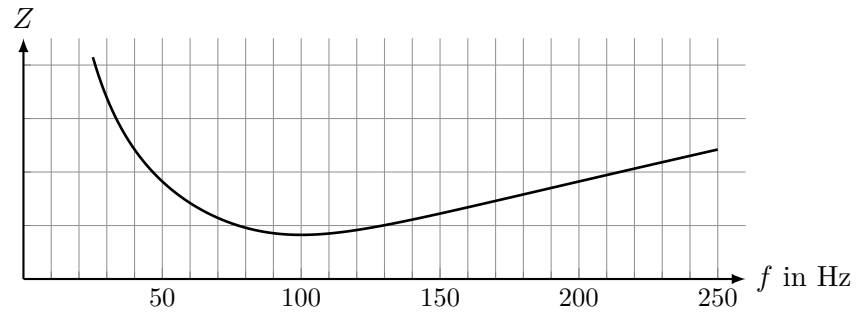
Zunächst ist der Schalter S_1 geschlossen und die Induktivität mit der Spannungsquelle U verbunden (Schalter S_2 ist geöffnet). Nachdem diese vollständig aufgeladen wurde, wird der Schalter S_1 geöffnet und der Schalter S_2 geschlossen, sodass sich die Induktivität entladen kann.

- a) Berechnen Sie die Zeitkonstante τ für den Entladevorgang.
- b) Zeichnen Sie in das vorgegebene Diagramm den Spannungsverlauf am Widerstand $u_R(t)$ des Entladevorgangs. Tragen Sie **auch** die Zeitkonstante in das Diagramm ein!



KF6) Gegeben ist folgendes Impedanz-Frequenz-Diagramm.

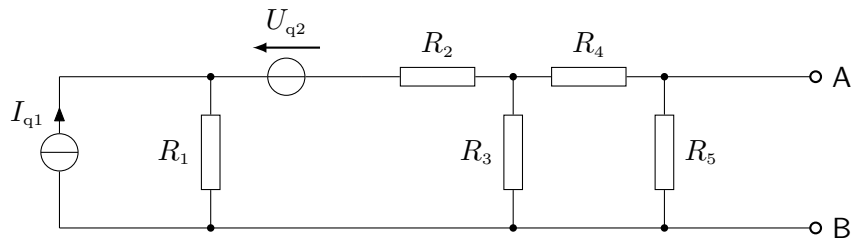
4 P.



- Tragen Sie die Resonanzfrequenz in den Verlauf der Impedanz ein **und** geben Sie diese an.
- Tragen Sie qualitativ den Verlauf des Strombetrags bei konstantem Spannungsbetrag in obige Abbildung ein.
- Welche Schaltung wird durch den dargestellten Verlauf abgebildet? Begründen Sie Ihre Antwort!

2. Gleichstrom (22 Punkte)

Gegeben ist das folgende Netzwerk:



Folgende Werte sind gegeben:

$$I_{q1} = 4 \text{ A} \quad U_{q2} = 10 \text{ V} \\ R_1 = 1 \Omega \quad R_2 = 3 \Omega \quad R_3 = 4 \Omega \quad R_4 = 5 \Omega \quad R_5 = 7 \Omega$$

Aufgaben:

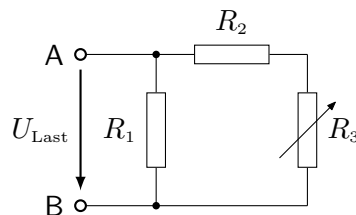
GS1) Geben Sie bei allen Teilaufgaben einen Ansatz mit entsprechenden Indizes an, setzen Sie auch in Zwischenschritten Zahlenwerte ein und verwenden Sie die richtigen Einheiten und gegebenenfalls Unterstriche. *Diese Teilaufgabe erfordert keine Bearbeitung.* 4 P.

GS2) Wandeln Sie das gegebene Netzwerk in eine Ersatzstromquelle bezüglich der Klemmen A und B um. Geben Sie das Ersatzschaltbild und die charakteristischen Größen (R_i , U_0 und I_K) an. 6 P.

An eine Ersatzspannungsquelle mit einer Leerlaufspannung von $U_0 = 23 \text{ V}$ und einem Innenwiderstand von $R_i = 2 \Omega$ wird ein Lastwiderstand R_{Last} angeschlossen.

GS3) Bestimmen Sie R_{Last} , sodass ein Strom fließt, der dem halben Kurzschlussstrom entspricht. 2 P.

An die Ersatzspannungsquelle ($U_0 = 23 \text{ V}$, $R_i = 2 \Omega$) wird folgendes Netzwerk als Last angeschlossen:



Gegeben sind die nicht-variablen Widerstände $R_1 = 3 \Omega$ und $R_2 = 1 \Omega$.

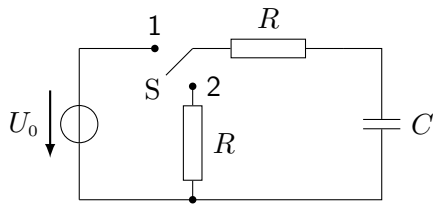
GS4) Bestimmen Sie R_3 , sodass an der gesamten Last die halbe Leerlaufspannung abfällt. Wie heißt dieser Betriebsfall? Wie ändert sich die Leistung an der Last, wenn der Gesamtwiderstand größer bzw. kleiner wird? 6 P.

Die oben gegebene Ersatzspannungsquelle ($U_0 = 23 \text{ V}$, $R_i = 2 \Omega$) bildet ein Ladegerät für einen akkubetriebenen Staubsauger ab. Der Staubsauger kann beim Laden durch einen Widerstand von $R_S = 3 \Omega$ abgebildet werden.

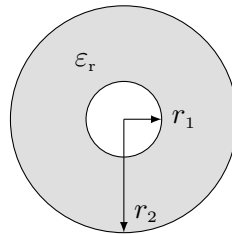
GS5) Legen Sie einen Vorwiderstand so aus, sodass die Leistung an R_S auf die Ladeleistung von $P_{\text{Lade}} = 48 \text{ W}$ beschränkt wird und zeichnen Sie das zugehörige Ersatzschaltbild. 4 P.

3. Elektrisches Feld (22 Punkte)

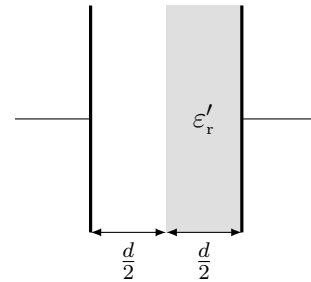
Gegeben ist folgende Schaltung aus einem **Kugelkondensator** und ohmschen Widerständen.



a) Schaltbild



b) Kugelkondensator



c) Plattenkondensator mit halbseitigem Dielektrikum

Auf Schalterstellung 1 wird der Kondensator über die Spannungsquelle geladen, auf Schalterstellung 2 wird dieser entladen. Folgende Werte sind gegeben:

$$U_0 = 20 \text{ V}$$

$$R = 5 \Omega$$

$$r_1 = 1 \text{ cm}$$

$$r_2 = 4 \text{ cm}$$

$$\epsilon_r = 10$$

Aufgaben:

Hinweis: $A_{\text{Kugel}} = 4\pi r^2$

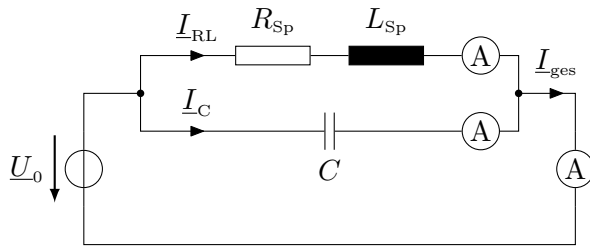
- EF1) Geben Sie bei allen Teilaufgaben einen Ansatz mit entsprechenden Indizes an, setzen Sie auch in Zwischenschritten Zahlenwerte ein und verwenden Sie die richtigen Einheiten und gegebenenfalls Unterstriche. *Diese Teilaufgabe erfordert keine Bearbeitung.* 4 P.
- EF2) Leiten Sie die Gleichung für die Kapazität des **Kugelkondensators** (Abb. b) her und berechnen Sie diese! 5 P.
- EF3) Skizzieren Sie den qualitativen Verlauf der elektrischen Feldstärke im Kondensator zwischen r_1 und r_2 in ein geeignetes Diagramm. 2 P.
- EF4) Stellen Sie jeweils die Maschengleichung für den Einschalt- und Ausschaltvorgang auf (Abb. a) und bilden Sie daraus jeweils die Differenzialgleichung der Kondensatorspannung. 2 P.

Nun wird ein Plattenkondensator mit einer Kapazität ohne Dielektrikum von $C = 1 \text{ mF}$ verwendet.

- EF5) Durch ein in die rechte Hälfte des Kondensators eingeschobenes Dielektrikum (Abb. c) wird die Kapazität auf $C' = 1,5 \text{ mF}$ erhöht. Bestimmen Sie die Permittivität ϵ'_r des Dielektrikums. 4 P.
- EF6) Zeichnen Sie den Verlauf der Kondensatorspannung bei $C = 1 \text{ mF}$ beim Ein- und Ausschaltvorgang (Abb. a) in ein Diagramm. Verwenden Sie folgende Maßstäbe: $4 \text{ V} \hat{=} 1 \text{ cm}$ & $10 \text{ ms} \hat{=} 1 \text{ cm}$. Das Diagramm soll auch den Zeitpunkt zeigen, bei dem alle Ausgleichsvorgänge abgeschlossen sind. 5 P.

4. Wechselstrom (22 Punkte)

Gegeben ist die folgende Parallelschaltung aus einer Kapazität und einer technischen Induktivität.



Folgende Werte sind gegeben:

$$L_{Sp} = 1200 \text{ mH}$$

$$C = 680 \text{ nF}$$

Aufgaben:

WS1) Geben Sie bei allen Teilaufgaben einen Ansatz mit entsprechenden Indizes an, setzen Sie auch in Zwischenschritten Zahlenwerte ein und verwenden Sie die richtigen Einheiten und gegebenenfalls Unterstriche. *Diese Teilaufgabe erfordert keine Bearbeitung.* 4 P.

Die Schaltung wird bei Betragresonanzfrequenz $f_{res} = 162,75 \text{ Hz}$ betrieben, sodass $I_{RL} = I_C$ gilt. Die angeschlossenen Amperemeter zeigen bei einer Spannung von $\underline{U}_0 = 10 \text{ V} \cdot e^{j30^\circ}$ folgende Werte:

$$I_{RL} = 6,95 \text{ mA}$$

$$I_C = 6,95 \text{ mA}$$

$$I_{ges} = 3,77 \text{ mA}$$

WS2) Zeichnen Sie in das **vorgegebene Zeigerdiagramm** auf der **nächsten Seite** die Ströme \underline{I}_{RL} und \underline{I}_C ein. Bestimmen Sie auch den Phasenwinkel der Schaltung und geben Sie an, wie sich die Schaltung verhält. 4 P.

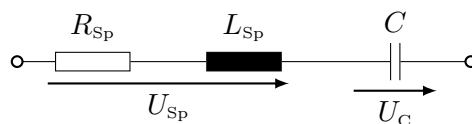
WS3) Bestimmen Sie den ohmschen Widerstand der Spule. 2 P.

Die Frequenz der Eingangsspannung wird nun geändert, sodass sich für die Schaltung ein Phasenwinkel $\varphi = 0^\circ$ ergibt und diese somit bei Phasenresonanzfrequenz betrieben wird.

WS4) Bestimmen Sie für die Parallelschaltung mit den gegebenen Bauteilwerten die Phasenresonanzfrequenz f_{res} **und** den Phasenwinkel φ_{Sp} des Spulenstromes, der sich zwischen \underline{U}_0 und \underline{I}_L für diesen Betriebsfall einstellt. Für den Spulenwiderstand gilt: $R_{Sp} = 750 \Omega$. 6 P.

Hinweis: $\text{Im}\{\underline{Y}\} = 0$.

Für die folgende Teilaufgabe wird nun eine **Reihenschaltung** aus einer technischen Induktivität und einer Kapazität mit unbekanntem Bauteilgrößen betrachtet. Die Schaltung wird bei Phasenresonanzfrequenz betrieben.



Folgende Werte wurden mit einem Weicheisenmessgerät ermittelt:

$$U_0 = 10 \text{ V}$$

$$U_C = 12,08 \text{ V}$$

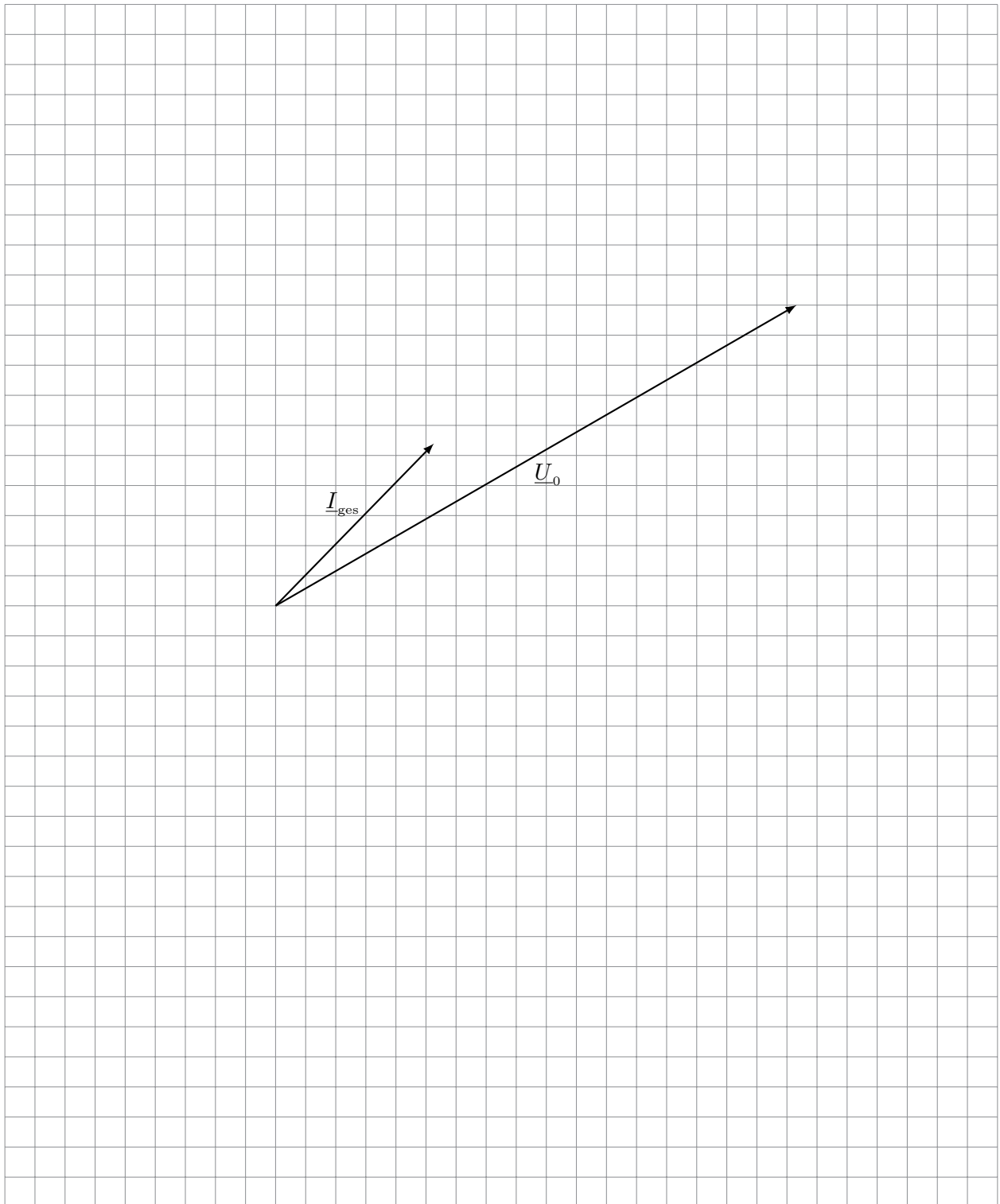
$$I = 18,18 \text{ mA}$$

WS5) Zeichnen Sie ein qualitatives Zeigerbild für den vorliegenden Versuch. 2 P.

WS6) Berechnen Sie die Spannung an der Spule \underline{U}_{Sp} nach Betrag und Phase sowie den ohmschen Widerstand R_{Sp} und die Reaktanz der Induktivität X_{Sp} . 4 P.

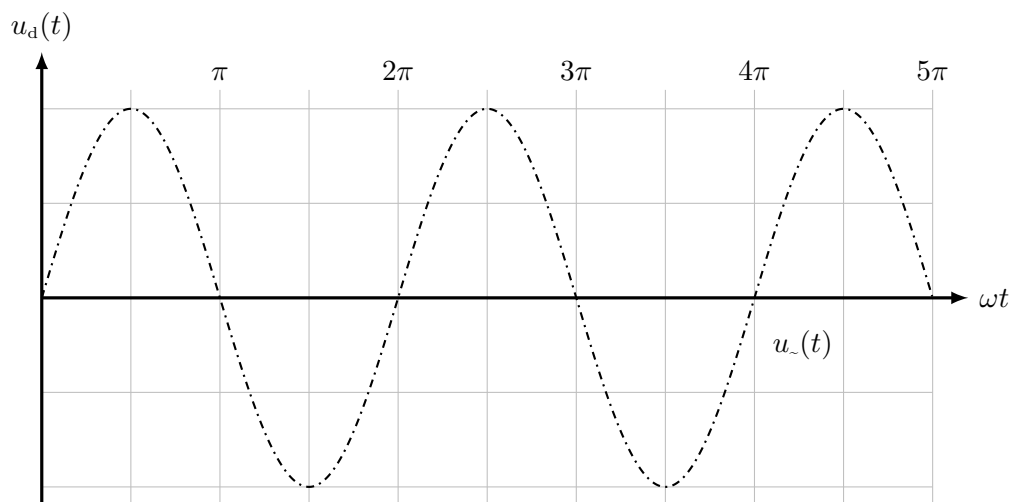
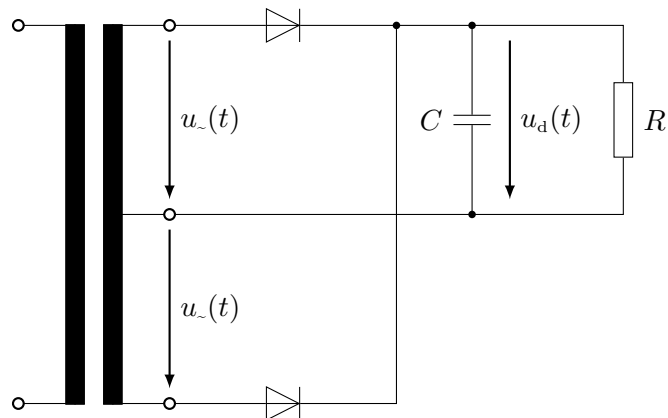
Zeigerbild zu Aufgabenteil WS2:

Verwenden Sie folgenden Maßstab: $1 \text{ V} \hat{=} 1 \text{ cm}$ und $1 \text{ mA} \hat{=} 1 \text{ cm}$



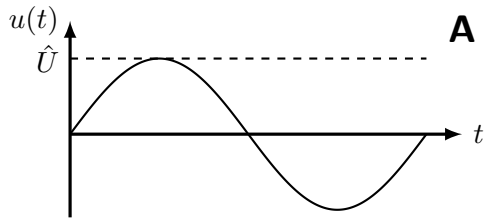
5. Kurzfragen zur Elektrotechnik 2 (18 Punkte)

KF1) Zeichnen Sie qualitativ den Verlauf der gleichgerichteten Spannung $u_d(t)$ der folgenden Schaltung in das gegebene Diagramm ein! 1 P.



KF2) Gegeben sind folgende Spannungsverläufe mit gleichem \hat{U} .

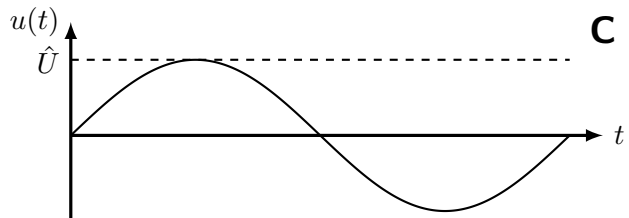
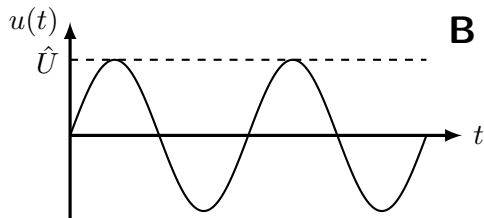
3 P.



a) Vergleichen Sie den Effektivwert des gegebenen Spannungsverlaufs A mit dem Gleichrichtwert und Mittelwert mit =, < und >.

Effektivwert $u_{A,\text{eff}}$ Gleichrichtwert $|\bar{u}_A|$

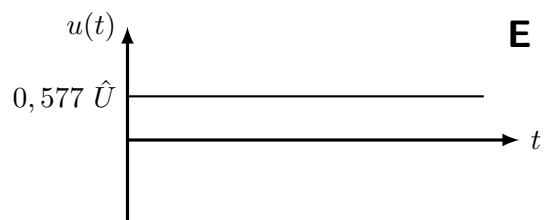
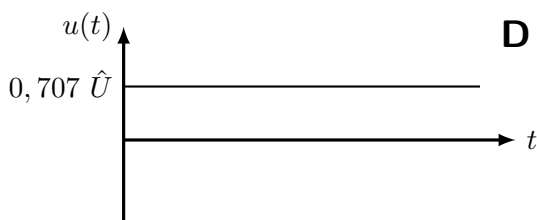
Effektivwert $u_{A,\text{eff}}$ Mittelwert \bar{u}_A



b) Vergleichen Sie den Effektivwert des Spannungsverlaufs A mit dem Effektivwert der Spannungsverläufe B und C mit =, < und >.

Effektivwert $u_{A,\text{eff}}$ Effektivwert $u_{B,\text{eff}}$

Effektivwert $u_{A,\text{eff}}$ Effektivwert $u_{C,\text{eff}}$



c) Vergleichen Sie den Effektivwert des Spannungsverlaufs A mit dem Effektivwert der Spannungsverläufe D und E mit =, < und >.

Effektivwert $u_{A,\text{eff}}$ $0,707 \hat{U}$

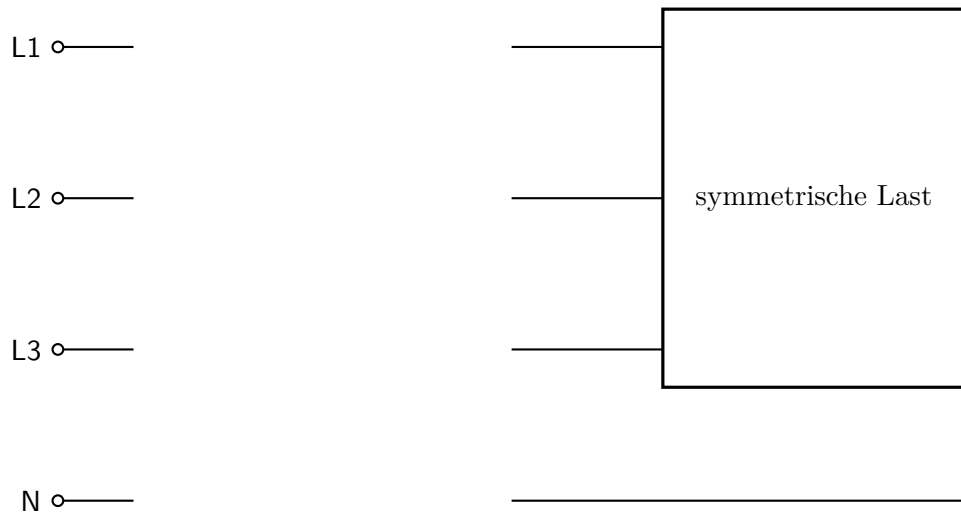
Effektivwert $u_{A,\text{eff}}$ $0,577 \hat{U}$

KF3) An einer unbekanntem symmetrischen Drehstromlast werden mit einer Leistungsmessung per Aron-Schaltung folgende Werte ermittelt: 3 P.

$$P_{A1} = 30 \text{ W}$$

$$P_{A2} = 50 \text{ W}$$

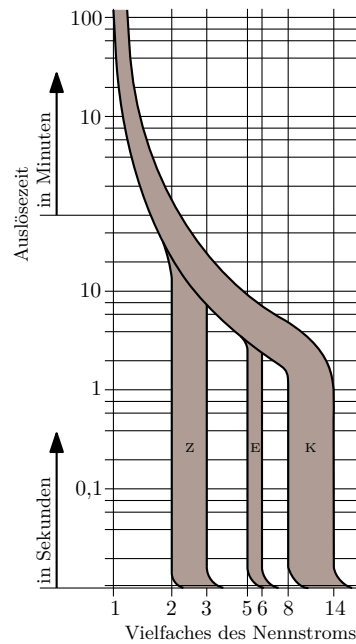
- a) Zeichnen Sie die Messgeräte zur Bestimmung der Leistungen P_{A1} und P_{A2} in das Schaltbild ein. Achten Sie auf vollständige Beschriftung.



- b) Berechnen Sie aus P_{A1} und P_{A2} den Phasenwinkel $\cos \varphi$ der symmetrischen Last!

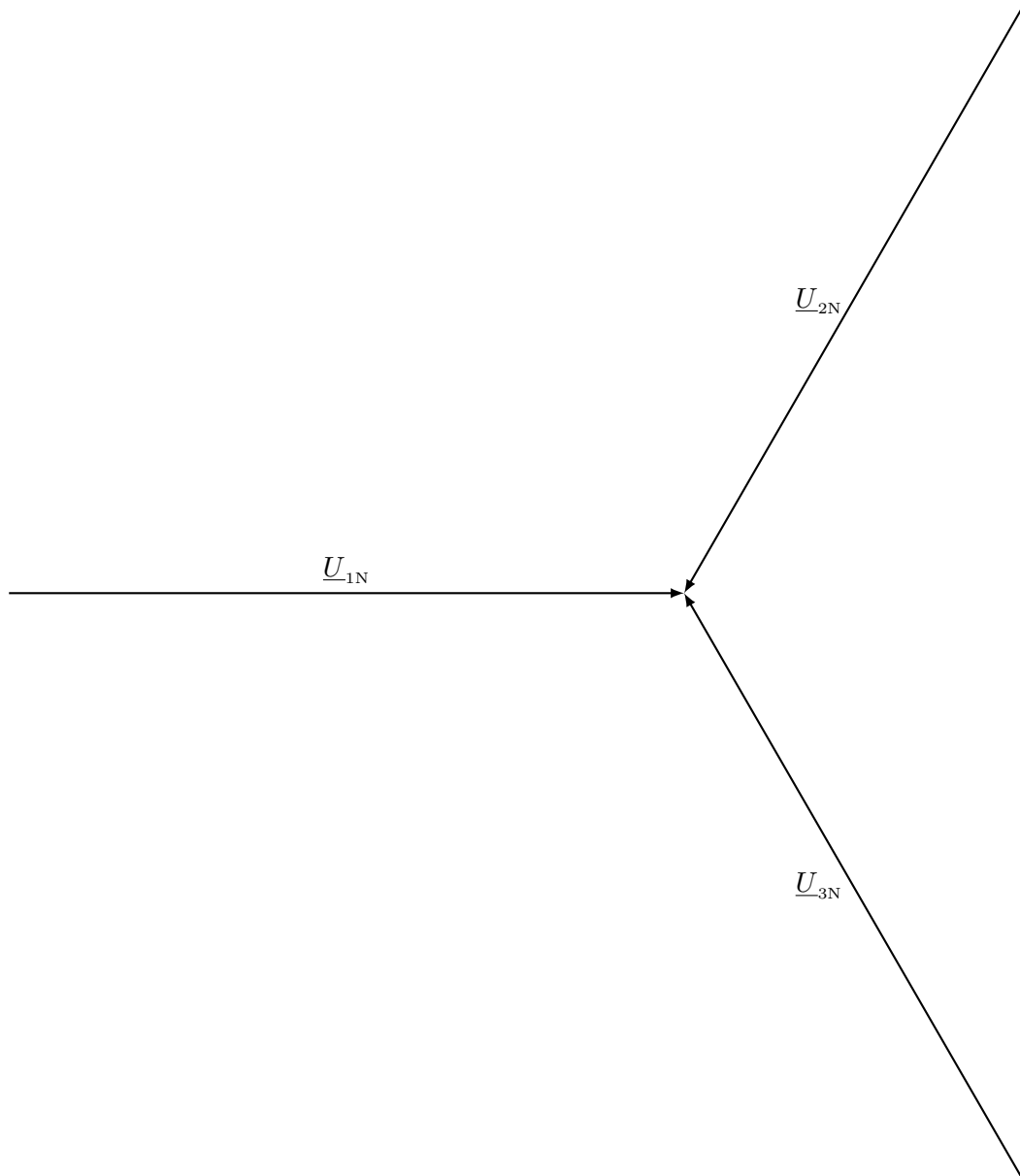
KF4) Gegeben sind die folgenden Sicherungskennlinien.

4 P.



- Kennzeichnen Sie in den Kennlinien die Bereich der beiden Auslösemechanismen und benennen Sie diese!
- In einem TT-Netz sind Sicherungen mit Z-Charakteristik und einem Nennstrom $I_N = 8 \text{ A}$ verbaut. Bei einem Fehler fließt ein Fehlerstrom von $I_F = 12 \text{ A}$. In welchem Zeitbereich löst die Sicherung aus?
- Die Sicherung soll gegen eine Sicherung mit E-Charakteristik und einem Nennstrom von $I_N = 6 \text{ A}$ getauscht werden. Wie groß müsste der Fehlerstrom I_F mindestens sein, damit die Sicherung elektromagnetisch auslöst?

KF5) An einem Drehstromnetz mit unsymmetrischen Verbraucher stellen sich folgende Spannungen ein: $\underline{U}_{1N} = 230 \text{ V} \cdot e^{j0^\circ}$ und $\underline{U}_{2N} = 286 \text{ V} \cdot e^{-j12^\circ}$. Bestimmen Sie **zeichnerisch** die Sternpunktverschiebung $\underline{\Delta U}$ nach Betrag und Phase. Verwenden Sie dazu das abgebildete Zeigerbild (Maßstab: $25 \text{ V} \hat{=} 1 \text{ cm}$) als Hilfestellung. 4 P.



KF6) Gegeben ist ein idealer Transformator mit folgenden Daten:

3 P.

$$U_{1N} = 400 \text{ V}$$

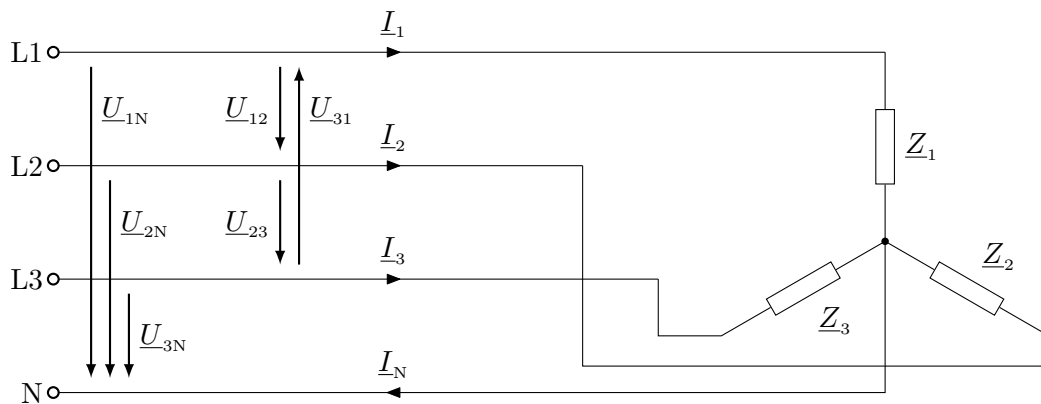
$$N_2 = 60 \text{ Wdg.}$$

$$f_N = 50 \text{ Hz}$$

An einem ohmschen Lastwiderstand $R_L = 20 \Omega$ auf der Sekundärseite soll im Nennbetrieb eine Leistung $P_L = 80 \text{ W}$ umgesetzt werden. Bestimmen Sie die notwendige Windungszahl auf der Primärseite N_1 .

6. Drehstrom (22 Punkte)

An ein Dreiphasen-Vierleiternetz (230 V/400 V, 50 Hz) wird eine unsymmetrische Sternschaltung angeschlossen.



In den drei Phasen werden folgende Leistungen ermittelt:

$$P_1 = 17,5 \text{ kW}$$

$$\cos \varphi_1 = 1$$

$$S_2 = 23 \text{ kVA}$$

$$\cos \varphi_2 = 0,72 \text{ (ind.)}$$

$$P_3 = 10 \text{ kW}$$

$$\cos \varphi_3 = 1$$

Aufgaben:

- DS1) Geben Sie bei allen Teilaufgaben einen Ansatz mit entsprechenden Indizes an, setzen Sie auch in Zwischenschritten Zahlenwerte ein und verwenden Sie die richtigen Einheiten und gegebenenfalls Unterstriche. *Diese Teilaufgabe erfordert keine Bearbeitung.* 4 P.
- DS2) Bestimmen Sie die Impedanzen \underline{Z}_1 , \underline{Z}_2 und \underline{Z}_3 . 4 P.
- DS3) Die Blindleistung in Strang 2 soll vollständig kompensiert werden. Bestimmen Sie das dafür notwendige Bauelement. 2 P.
- DS4) Zeichnen Sie das für die Kompensation benötigte Bauelement in das obige Ersatzschaltbild ein. 1 P.

Der Verbraucher wird durch eine symmetrische, ohmsch-induktive Last (RL-Reihenschaltung) mit folgenden Bauteilen je Strang ersetzt.

$$R = 50 \Omega$$

$$L = 96 \text{ mH}$$

- DS5) Bestimmen Sie die Wirk-, Blind- und Scheinleistung der Schaltung. 5 P.

Es werden nun die Impedanzen der Schaltung getauscht und der **Neutralleiter** vom Sternpunkt **getrennt**. Die Impedanz \underline{Z}_2 sei unbekannt. Für die übrigen Impedanzen gelten folgende Werte:

$$\underline{Z}_1 = 100 \Omega$$

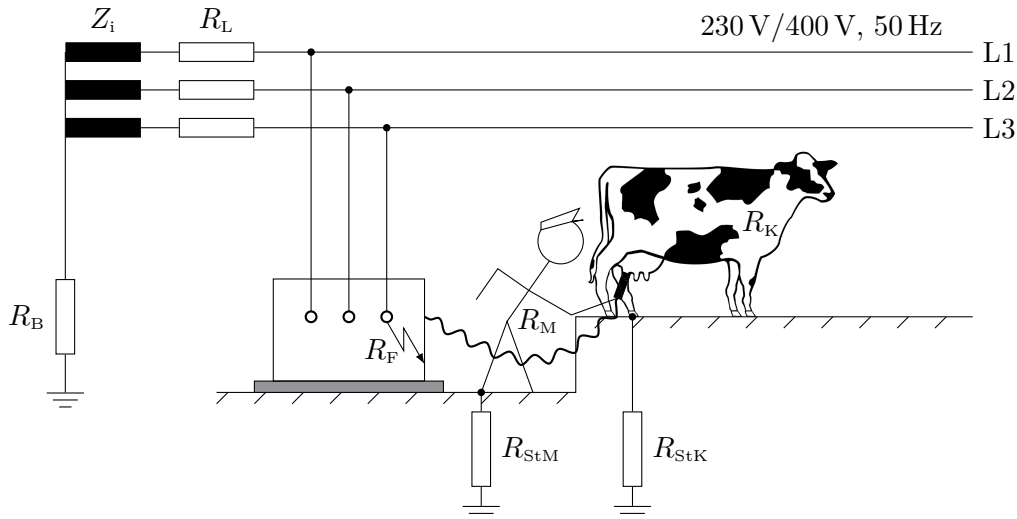
$$\underline{Z}_3 = 150 \Omega - j75 \Omega$$

- DS6) Berechnen Sie den Wert der Impedanz \underline{Z}_2 , wenn eine Spannung von $\underline{U}_{Z2} = 225,41 \text{ V} \cdot e^{-j103,69^\circ}$ über dieser gemessen wird. 6 P.

7. Schutzmaßnahmen (22 Punkte)

In einem landwirtschaftlichen Betrieb hat die Melkmaschine einen Gehäuseschluss des Leiters L3. Die Maschine ist nicht eingeschaltet ($R_V \rightarrow \infty$) und steht auf isoliertem Untergrund.

Nehmen Sie an, dass die gesamte Maschine (inkl. Melkschlauch und Melkbecher) aus einem leitendem Material besteht.



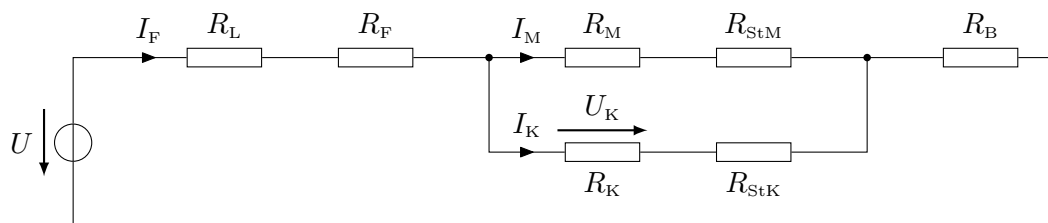
$$\begin{array}{llll}
 R_L = 2 \Omega & R_F = 10 \Omega & R_M = 3 \text{ k}\Omega & R_{StM} = 11 \text{ k}\Omega \\
 R_K = 350 \Omega & R_{StK} = 50 \Omega & R_B = 4 \Omega &
 \end{array}$$

Aufgaben:

Die zulässigen Grenzwerte der Kuh betragen $U_K = 25 \text{ V}$ und $I_K = 71,4 \text{ mA}$.

SM1) Geben Sie bei allen Teilaufgaben einen Ansatz mit entsprechenden Indizes an, setzen Sie auch in Zwischenschritten Zahlenwerte ein und verwenden Sie die richtigen Einheiten und gegebenenfalls Unterstriche. *Diese Teilaufgabe erfordert keine Bearbeitung.* 4 P.

SM2) Bestimmen Sie den Gesamtwiderstand R_{ges} , den Fehlerstrom I_F sowie die Berührungsspannung der Kuh U_K für den dargestellten Fehlerfall. Ist das Tier gefährdet? Begründen Sie Ihre Antwort. 6 P.



Nun soll derselbe Fehlerfall unter Anwendung der Schutzmaßnahme „Schutzerdung“ betrachtet werden. Dazu wird die Maschine am Standort geerdet, wobei der Erdungswiderstand $R_E = 2,5 \Omega$ beträgt.

SM3) Wie groß sind nun der Fehlerstrom I_F und die Berührungsspannung der Kuh U_K ? Ist das Tier weiterhin gefährdet? Begründen Sie Ihre Antwort. 6 P.

Im Folgendem soll eine alternative Schutzmaßnahme untersucht werden. Die Maschine wird nun in einem TN-S-Netz an den Schutzleiter mit dem Widerstand R_{PE} angeschlossen werden.

SM4) Bestimmen Sie den maximal zulässigen Widerstand des Schutzleiters R_{PE} , sodass die Kuh im Fehlerfall geschützt ist. Der maximal zulässige Körperstrom der Kuh beträgt für diesen Fall $I_{K,max} = 70 \text{ mA}$. 6 P.

8. Transformator (22 Punkte)

Für das Netzteil eines Ladegeräts eines akkubetriebenen Staubsaugers soll ein einphasiger Transformator mit einer Primärspannung von $U_{1N} = 230\text{ V}$, einem Übersetzungsverhältnis von $\ddot{u} = 10$ und einem Sekundärstrom von $I_{2N} = 4\text{ A}$ ausgelegt werden. Anschließend wird Sekundärspannung gleichgerichtet.

Aufgaben:

TR1) Geben Sie bei allen Teilaufgaben einen Ansatz mit entsprechenden Indizes an, setzen Sie auch in Zwischenschritten Zahlenwerte ein und verwenden Sie die richtigen Einheiten und gegebenenfalls Unterstriche. *Diese Teilaufgabe erfordert keine Bearbeitung.* 4 P.

Beim Leerlaufversuch des Transformators wurden folgende Daten gemessen:

$$P_0 = 12\text{ W}$$

$$I_0 = 80\text{ mA}$$

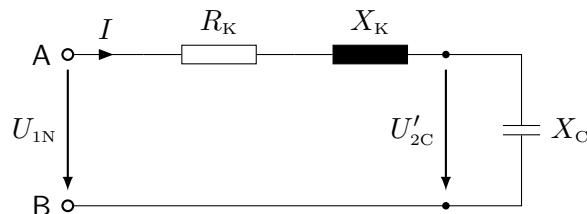
TR2) Berechnen Sie den Eisenverlustwiderstand R_{Fe} und die Hauptfeldinduktivität L_h . 5 P.

Beim Kurzschlussversuch wurde $\cos \varphi_k = 0,25$ gemessen. Auf der Sekundärseite wird eine Spule aus Kupferdraht ($A_{Cu} = 5\text{ mm}^2$ und $\rho_{Cu,20} = 0,0172\text{ }\Omega\text{mm}^2/\text{m}$) mit $N_2 = 50$ Windungen und einem mittleren Windungsdurchmesser von $d_w = 0,6\text{ cm}$ verwendet.

TR3) Berechnen Sie für den Kurzschlussfall bei einer Temperatur von $20\text{ }^\circ\text{C}$ die zusammengefassten Wicklungswiderstände und Streureaktanzen (R_K, X_K) sowie die relative Kurzschlussspannung u_K . 6 P.

TR4) Bestimmen Sie die magnetische Induktion \hat{B} , auf die der Eisenkern ausgelegt werden muss, damit ein Eisenquerschnitt von $A_{Fe} = 10\text{ cm}^2$ realisiert werden kann. 2 P.

An einen Transformator wird eine Kapazität angeschlossen. Vereinfacht kann bei Belastung eines Transformators vom Kurzschluss-Ersatzschaltbild ausgegangen werden:



TR5) Zeigen Sie für diesen Belastungsfall mit Hilfe eines geeigneten qualitativen Zeigerbilds, das gilt: 5 P.

$$|\underline{U}'_{2C}| > |\underline{U}_{1N}|$$