



Name: Vorname:

Matr.-Nr.: Studiengang:

Falls zutreffend, bitte unterschreiben!

Ich bin damit einverstanden, dass mein Prüfungsergebnis in Kombination mit meiner Matrikelnummer veröffentlicht wird.

.....
Unterschrift

Bearbeitungszeit:

80 Minuten

Zugelassene Hilfsmittel:

Stifte, Lineal/Geodreieck, Taschenrechner (nicht programmierbar)

Weitere Hinweise:

- Schalten Sie bitte Ihre Mobiltelefone aus!
Der Einsatz von Handys, Smartphones o.ä. gilt als Täuschungsversuch.
- Legen Sie bitte Ihren Studierendenausweis und Ihren Personalausweis auf den Tisch.
- Schreiben Sie bitte Ihren Namen und Ihre Matrikelnummer oben rechts auf jedes verwendete Blatt.
- Schreiben Sie bitte *nicht* mit Bleistift oder Rotstift!
- Verwenden Sie für die Rechenaufgaben bitte ausschließlich das ausgehändigte Papier.
- Machen Sie bitte Ihre Aufgaben auf dem Rechenpapier mit Aufgabennummern kenntlich.
- Legen Sie bei Abgabe Ihrer Klausur die Aufgabenblätter bitte in die Doppelbögen ein!

Aufgabe:	KF2	DS	SM	TR	gesamt
Punkte:	19	15	17	19	70
Erreicht:					

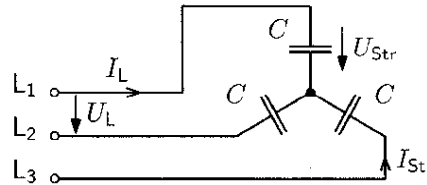
5. Kurzfragen zu Elektrotechnik 2 (19 Punkte)

Hinweise zu Fragen mit Antwortauswahl (Ankreuzaufgaben):

- Es *kann* auch *mehrere* richtige Antworten geben.
- Für falsch gesetzte Kreuze gibt es Punktabzug.
- Für korrekt nicht gesetzte Kreuze gibt es keine Punkte.
- Die erreichte Punktzahl für eine Frage kann nicht negativ werden (Mindestpunktzahl = 0).

KF1) Wie wird die insgesamt aufgenommene Blindleistung des skizzierten symmetrischen Drehstromverbrauchers berechnet? 1 P

- $S = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L$
- $Q = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_{Str} \cdot \sin \varphi$
- $Q = U_L \cdot I_L \cdot \sin \varphi$
- $S = 3 \cdot U_{Str} \cdot I_{Str}$



KF2) Nummerieren Sie die *richtigen* fünf Sicherheitsregeln, die beim Freischalten von elektrischen Anlagen beachtet werden müssen, in der *richtigen Reihenfolge*! 3 P

- ___ Sicherung überprüfen
4. Erden und Kurzschließen
- ___ Einschalten
- ___ Strom messen
2. Gegen Wiedereinschalten sichern
- ___ Kurzschließen und Erden
3. Spannungsfreiheit feststellen
- ___ Unter Strom stehende Teile kenntlich machen
1. Freischalten
5. Benachbarte unter Spannung stehenden Teile abdecken oder abschränken

KF3) Nennen Sie zwei Sicherungsarten und deren Auslösemechanismen!

2 P

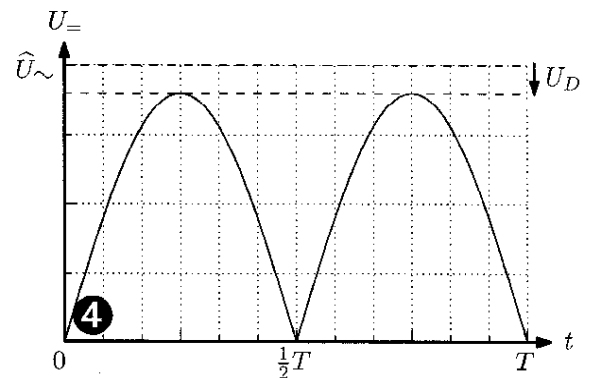
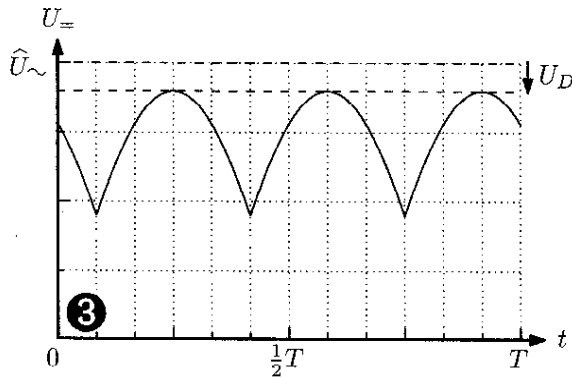
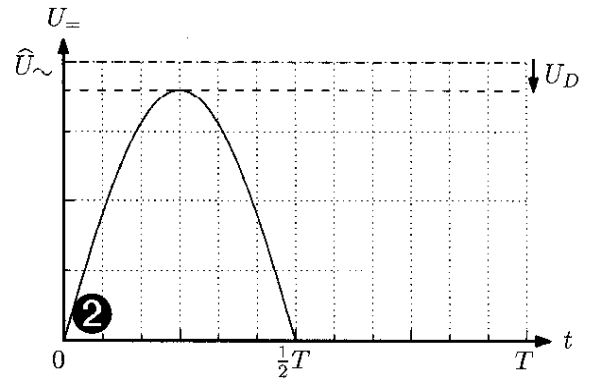
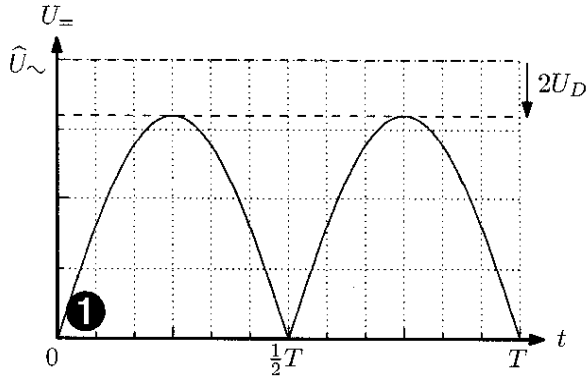
1. Schmelzsicherung → thermische Auslösung durch Schmelzen eines Leiters / Drahtes

2. Sicherungsautomat → elektromagnetische Auslösung und thermische Auslösung (Bimetall) möglich

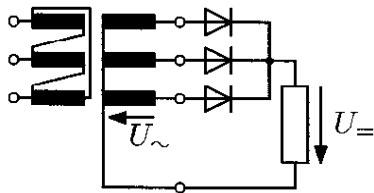
KF4) Ordnen Sie die Bezeichnungen (Kurzzeichen) und die ausgangsseitigen Gleichspannungsverläufe (Nummer) den vier unten skizzierten Gleichrichterschaltungen zu! 6 P

Bezeichnungen: Einzeigschaltung **E**, Mittelpunktschaltung **M2**, Brückenschaltung **B2**, Mittelpunktschaltung **M3**

Ausgangsspannungsverläufe:

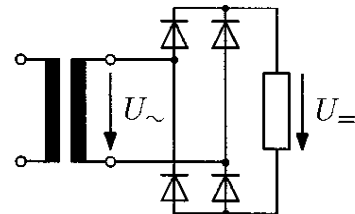


Schaltungen:



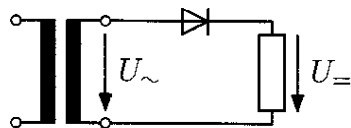
Kurzbezeichnung: M3

Spannungsverlauf: 3



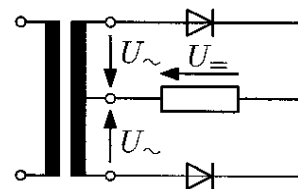
Kurzbezeichnung: B2

Spannungsverlauf: 1



Kurzbezeichnung: E

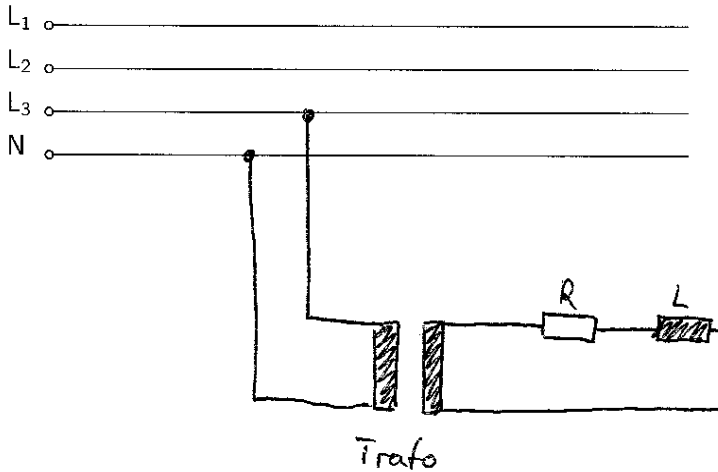
Spannungsverlauf: 2



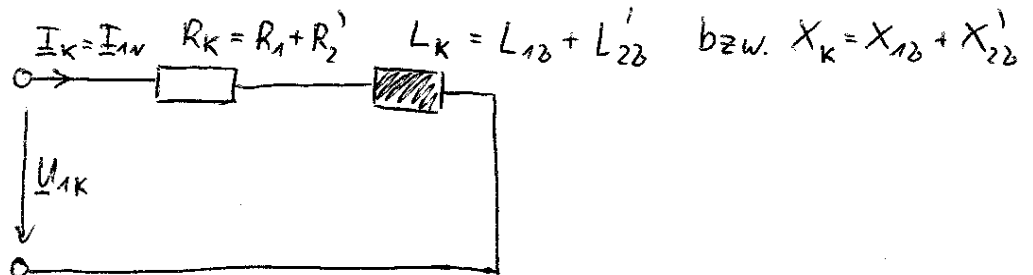
Kurzbezeichnung: M2

Spannungsverlauf: 4

KF5) Schalten Sie in dem gegebenen Vierleiter-Drehstromsystem (400 V/50 Hz) eine ohmsch- 2 P
induktive Last an 12 V/50 Hz! Bezeichnen Sie die verwendeten Elemente!



KF6) Skizzieren Sie das vereinfachte Ersatzschaltbild eines Transformators für den Kurzschlussver- 3 P
such! Tragen Sie nur die Elemente ein, die in diesem Versuch ermittelt werden und bezeichnen
Sie alle verwendeten Schaltelemente und elektrischen Größen!



KF7) Welcher Strom wird für den Kurzschlussversuch beim Transformator primärseitig einge- 1 P
stellt?

Der Nennstrom I_{1N}

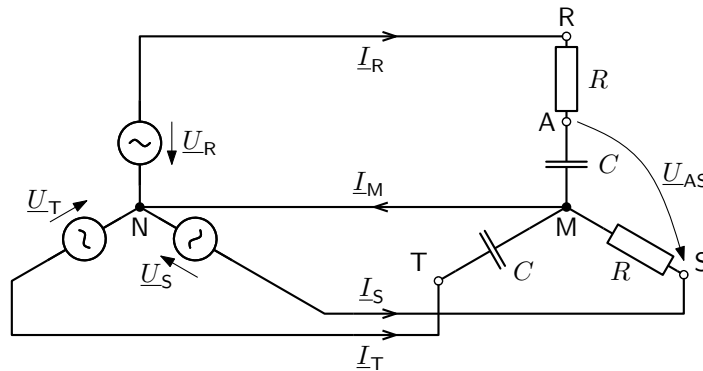
KF8) Nennen Sie zwei Halbleitermaterialien!

1 P

- Silizium
- Germanium
- Titan-Oxid

2. Drehstrom (15 Punkte)

Die dargestellte Sternschaltung mit Mittelpunktleiter liegt an einem symmetrischen Drehstromnetz mit der Strangspannung $\underline{U}_R = U = 1 \text{ V}$.



Es gilt:

$$\frac{1}{\omega C} = R = 1 \Omega$$

Geben Sie bei allen Berechnungen stets den *vollständigen Rechenweg* inklusive *Formeln mit eingesetzten Zahlenwerten* an!

Aufgaben:

- DS1) Bestimmen Sie den Strom \underline{I}_M nach Betrag und Phase! 5 P
- DS2) Wie groß ist die Spannung \underline{U}_{AS} in Betrag und Phase? 5 P
- DS3) Zeichnen Sie das qualitative, potentialrichtige Zeigerdiagramm für alle in der Abbildung gegebenen Spannungen und ermitteln Sie \underline{U}_{AS} grafisch! 5 P

DS1) Bei geschlossenem Mittelpunktleiter können die 3 Stränge des Verbrauchers getrennt betrachtet werden. Die gesuchten Größen lassen sich mithilfe der Kirchhoffschen Sätze berechnen.

$$\underline{I}_M = \underline{I}_R + \underline{I}_S + \underline{I}_T$$

$$\underline{I}_R = \frac{\underline{U}_R}{\left(R + \frac{1}{j\omega C}\right)}$$

$$\underline{I}_S = \frac{\underline{U}_S}{R}$$

$$\underline{I}_T = j\omega C \cdot \underline{U}_T$$

$$\underline{U}_R = Ue^{j0^\circ} = U$$

$$\underline{U}_S = Ue^{-j120^\circ} = U\left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\right)$$

$$\underline{U}_T = Ue^{+j120^\circ} = U\left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\right)$$

$$\underline{I}_M = \frac{U}{\left(R + \frac{1}{j\omega C}\right)} + \frac{U\left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\right)}{R} + \frac{U\left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\right)}{\frac{1}{j\omega C}}$$

Mit $R = \frac{1}{\omega C}$ ergibt sich:

$$\underline{I}_M = \frac{U\sqrt{3}}{2R}(-1 - j)$$

$$\underline{I}_M = \frac{U}{R}\sqrt{\frac{3}{2}}e^{-j135^\circ}$$

DS2)

$$\underline{U}_{AS} = \underline{U}_{AM} - \underline{U}_S$$

\underline{U}_{AM} wird durch die Spannungsteilerregel aus \underline{U}_{RM} ermittelt:

$$\frac{\underline{U}_{AM}}{U} = \frac{\frac{1}{j\omega C}}{R + \frac{1}{j\omega C}}$$

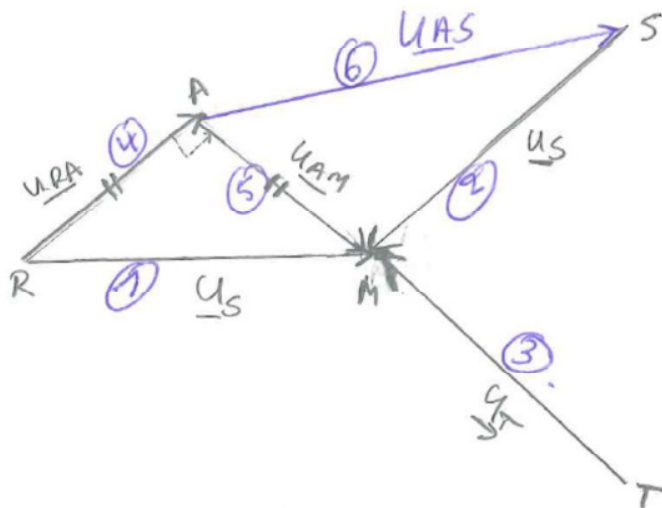
$$\underline{U}_{AM} = U \left(\frac{1}{2} - \frac{j}{2} \right)$$

$$\underline{U}_{AS} = U \left(\frac{1}{2} - \frac{j}{2} \right) - U \left(-\frac{1}{2} - j \frac{\sqrt{3}}{2} \right)$$

$$\underline{U}_{AS} = U \left(1 + j \left(\frac{\sqrt{3}-1}{2} \right) \right)$$

$$\underline{U}_{AS} = 1,06U \cdot e^{j20,1^\circ}$$

DS3) Zeigerdiagramm

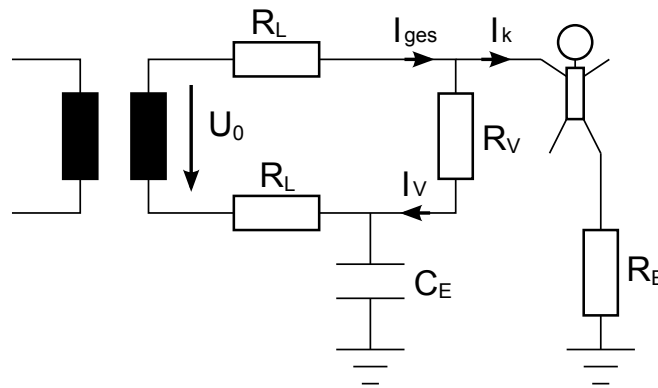


Die Zahlen geben die Rekonstruktionsreihenfolge an.

3. Schutzmaßnahmen (17 Punkte)

Bei einer Industrieanlage wurde als Schutzkonzept die Schutztrennung gewählt. Durch große Leitungslängen und die unbedachte Ausführung der Installation gibt es eine kapazitive Kopplung zwischen dem Rückleiter und der Erde (Kapazität C_E).

Bei einer Umrüstung der Anlage berührt ein Monteur den blanken Kontakt der Zuleitung.



Es sind folgende Werte gegeben:

$$U_0 = 230 \text{ V}/50 \text{ Hz}, \quad R_L = 0,05 \, \Omega, \quad R_V = 30 \, \Omega, \quad C_E = 2 \, \mu\text{F}, \quad R_E = 0,5 \, \text{k}\Omega$$

Der Körperwiderstand (R_k) beträgt $3 \, \text{k}\Omega$.

Hinweis: Zum Lösen der Aufgaben benötigen Sie Wechselstromrechnung.

Geben Sie bei allen Berechnungen stets den *vollständigen Rechenweg* inklusive *Formeln mit eingesetzten Zahlenwerten* an!

Aufgaben:

Vernachlässigen Sie zunächst den Leitungswiderstand R_L

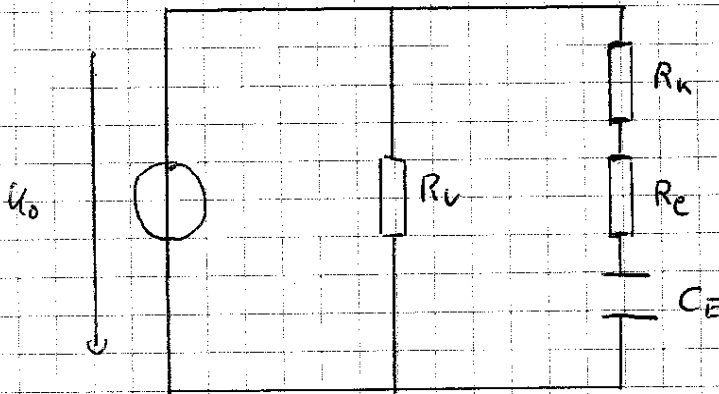
- SM1) Zeichnen Sie die obige Ersatzschaltung mit der obigen Vereinfachung so um, dass der Mensch als Widerstand repräsentiert wird und das Erdungssymbol nicht mehr auftaucht! 2 P
- SM2) Bestimmen Sie die Stromstärke I_k die über den Körper fließt! 6 P
- SM3) Geben Sie an ob der Monteur gefährdet ist! 1 P
- SM4) Begründen Sie warum Sie den Leitungswiderstand R_L vernachlässigen durften! 3 P
Hinweis: Berücksichtigen Sie die Größenordnungen von I_k und I_v .

Der Anlagenbetreiber entschließt sich, sein Anlagenkonzept zu ändern, und auf ein TT-System umzurüsten (Schutzerdung).

- SM5) Skizzieren Sie den grundsätzlichen Aufbau einer Schutzmaßnahme in einem TT-System! 3 P
- SM6) Es wird in dem Netz eine Fehlerstrom-Schutzeinrichtung (RCD) mit einem Bemessungsdifferenzstrom von $500 \, \text{mA}$ eingesetzt. Wird in diesem Fall der Monteur geschützt, falls er die blanke Zuleitung berühren sollte? Begründen Sie Ihre Aussage! 2 P

Musterlösung Schutzmaßnahmen

SM 1)



SM 2)

$$X_C = -\frac{1}{\omega C} = -\frac{1}{314 \frac{1}{s} \cdot 2 \mu F} = -1,59 \text{ k}\Omega$$

$$Z = \sqrt{(R_h + R_e)^2 + X_C^2} = \sqrt{(3,5 \text{ k}\Omega)^2 + (1,59 \text{ k}\Omega)^2}$$

$$Z = 3,85 \text{ k}\Omega$$

$$I_h = \frac{U_0}{Z} = \frac{230 \text{ V}}{3,85 \text{ k}\Omega} = \underline{\underline{59,82 \text{ mA}}}$$

SM 3) Ja, da $I_h > 50 \text{ mA}$ bzw. $R_h \cdot I_h \geq 50 \text{ V}$ ist

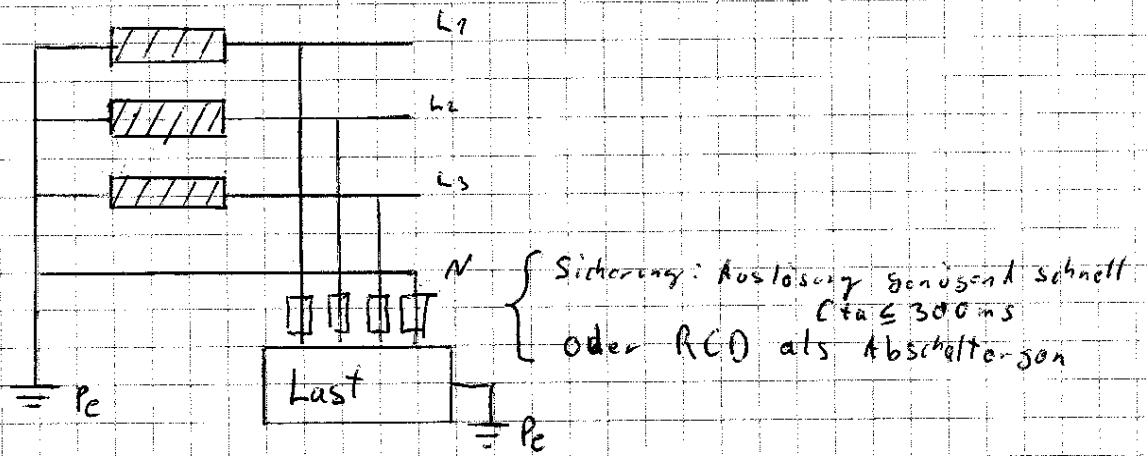
SM 4)

$$\frac{I_k}{I_v} = \frac{R_v}{Z_n} = \frac{1}{100} \Rightarrow I_v \geq 100 \cdot I_h \Rightarrow I_v \approx I_{Bcs}$$

$$\Rightarrow U_L = \frac{2 R_L}{R_v} \cdot U_v = \frac{1}{300} \cdot U_v$$

\Rightarrow die Spannung über Leitungswiderstand um Faktor 300 kleiner als Lastspannung, ist die Spannung vernachlässigbar

SM 5)



SM 6)

Nein! da der Mensch in diesem Fall mit einem Fehlerstrom von max **30mA** geschützt werden muss.

4. Transformator (19 Punkte)

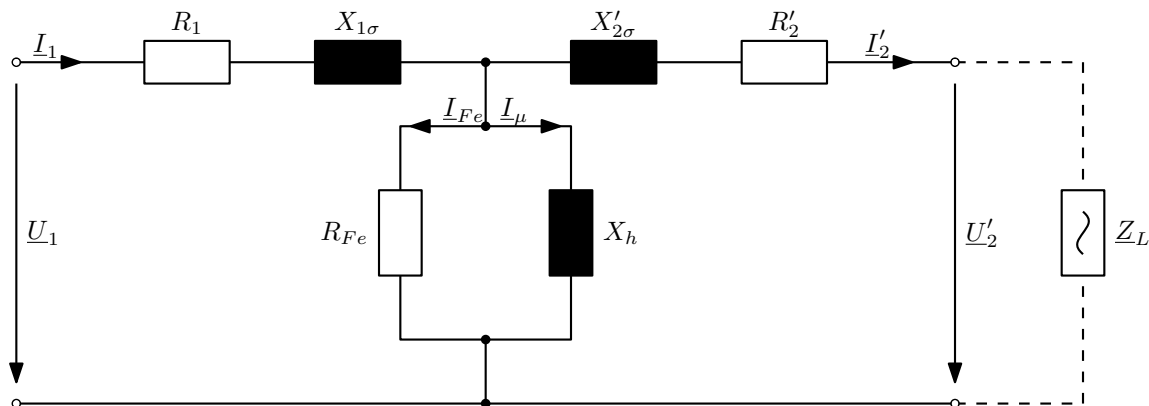
Auf dem Typenschild eines alten Ladegerätes finden Sie folgende Angaben für den darin befindlichen Einphasentransformator:

Scheinleistung S_N	460 VA
Primär-Nennspannung U_{1N}	230 V
Sekundär-Nennspannung U_{2N}	11,5 V
Frequenz	50 Hz
Windungszahl N_1	500
Windungszahl N_2	25

Aus dem Leerlauf- und dem Kurzschlussversuch konnten folgende Daten ermittelt werden:

Relativer Leerlaufstrom $i_0 = \frac{I_0}{I_N}$	4 %
Leerlauf-Verlustleistung P_0	4 W
Kurzschlussleistung P_k	24 W
Kurzschluss-Leistungsfaktor $\cos \varphi_k$	0,6

Das vollständige Ersatzschaltbild eines verlustbehafteten Transformators mit angeschlossener Lastimpedanz Z_L sieht folgendermaßen aus:



Hinweis: Die Transformatorwurfgleichung lautet $U = \frac{\omega}{\sqrt{2}} \cdot N_1 \cdot \hat{\Phi}$.

Geben Sie bei allen Berechnungen stets den *vollständigen Rechenweg* inklusive *Formeln mit eingesetzten Zahlenwerten* an!

Aufgaben:

- TR1) Berechnen Sie den Leerlaufstrom I_0 , den Magnetisierungsstrom I_μ und den Eisenverluststrom I_{Fe} . 6 P
- TR2) Berechnen Sie die Kurzschlussimpedanz Z_K . (Zwischenergebnis: $I_N = 2 \text{ A}$) 3 P
- TR3) Berechnen Sie die folgenden Größen des Ersatzschaltbildes: R_1 , R'_2 , $X_{1\sigma}$, $X'_{2\sigma}$, X_h und R_{Fe} . 8 P
(Zwischenergebnisse: $Z_K = 10 \Omega$; $I_{Fe} = 17 \text{ mA}$, $I_\mu = 78 \text{ mA}$)
- TR4) Für welchen magnetischen Fluss $\hat{\Phi}$ muss der Eisenkern des Transformators dimensioniert werden? 2 P

TR1:

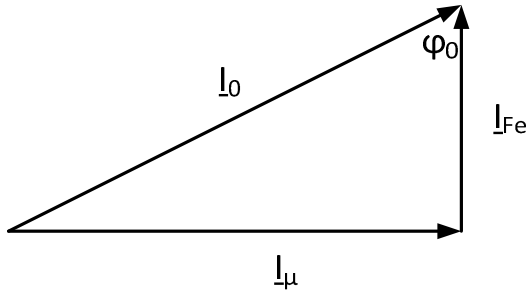
Berechnung des Nennstroms:

$$S_N = U_N \cdot I_N \Rightarrow I_N = \frac{S_N}{U_N} = \frac{460 \text{ VA}}{230 \text{ V}} = 2 \text{ A}$$

Berechnung des Leerlaufstroms:

$$i_0 = \frac{I_0}{I_N} \Rightarrow I_0 = i_0 \cdot I_N = 0,04 \cdot 2 \text{ A} = 0,08 \text{ A}$$

Zeigerbild der Ströme im Leerlaufversuch:



$$\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{S_0} = \frac{P_0}{U_0 \cdot I_0} = \frac{4 \text{ W}}{230 \text{ V} \cdot 0,08 \text{ A}} = 0,217 \Rightarrow \varphi_0 = 77,44^\circ$$

$$\cos \varphi_0 = \frac{I_{Fe}}{I_0} \Rightarrow I_{Fe} = I_0 \cdot \cos \varphi_0 = 0,08 \text{ A} \cdot 0,217 = 0,01736 \text{ A} = 17,36 \text{ mA}$$

$$\sin \varphi_0 = \frac{I_\mu}{I_0} \Rightarrow I_\mu = I_0 \cdot \sin \varphi_0 = 0,08 \text{ A} \cdot \sin(\arccos 0,217) = 0,078 \text{ A} = 78,09 \text{ mA}$$

TR2:

$$\cos \varphi_k = \frac{P_k}{S_k} \Rightarrow S_k = \frac{P_k}{\cos \varphi_k} \quad (1)$$

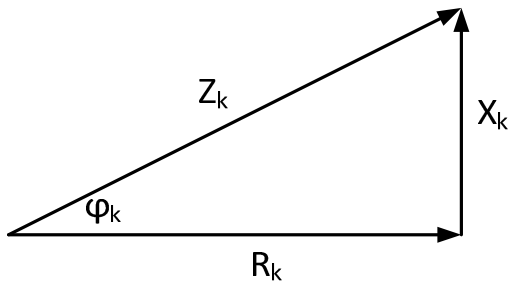
$$S_k = I_k^2 \cdot Z_k \quad (2)$$

gleichsetzen von (1) und (2) liefert mit $I_k = I_N = 2 \text{ A}$

$$\frac{P_k}{\cos \varphi_k} = I_k^2 \cdot Z_k \Rightarrow Z_k = \frac{P_k}{\cos \varphi_k \cdot I_k^2} = \frac{24 \text{ W}}{0,6 \cdot (2 \text{ A})^2} = 10 \Omega$$

TR3:

Kurzschlussversuch:



$$\cos \varphi_k = \frac{R_k}{Z_k} \Rightarrow R_k = Z_k \cdot \cos \varphi_k = 10 \Omega \cdot 0,6 = 6 \Omega$$

alternativ:

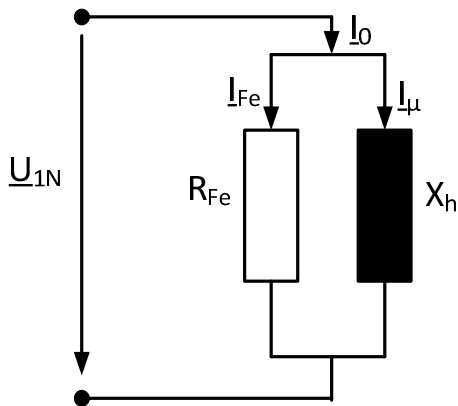
$$P_k = I_k^2 \cdot R_k \Rightarrow R_k = \frac{P_k}{I_k^2} = \frac{24 \text{ W}}{(2 \text{ A})^2} = 6 \Omega$$

$$R_1 = R_2 = \frac{R_k}{2} = 3 \Omega$$

$$\sin\varphi_k = \frac{X_k}{Z_k} \Rightarrow X_k = Z_k \cdot \sin\varphi_k = 10 \Omega \cdot \sin(\arccos 0,6) = 8 \Omega$$

$$X_{\sigma 1} = X_{\sigma 2} = \frac{X_k}{2} = 4 \Omega$$

Leerlaufversuch:



$$U_{1N} = I_{Fe} \cdot R_{Fe} \Rightarrow R_{Fe} = \frac{U_{1N}}{I_{Fe}} = \frac{230 \text{ V}}{17,36 \text{ mA}} = 13248,85 \Omega = 13,24 \text{ k}\Omega$$

alternativ:

$$P_0 = I_{Fe}^2 \cdot R_{Fe} \Rightarrow R_{Fe} = \frac{4 \text{ W}}{(17,36 \text{ mA})^2} = 13,27 \text{ k}\Omega \text{ oder}$$

$$P_0 = \frac{U_{1N}^2}{R_{Fe}} \Rightarrow R_{Fe} = \frac{(230 \text{ V})^2}{4 \text{ W}} = 13,23 \text{ k}\Omega$$

$$U_{1N} = I_{\mu} \cdot X_h \Rightarrow X_h = \frac{U_{1N}}{I_{\mu}} = \frac{230 \text{ V}}{78,09 \text{ mA}} = 2945,32 \Omega = 2,95 \text{ k}\Omega$$

TR4:

Trafoentwurfsgleichung:

$$U_{1N} = \frac{\omega}{\sqrt{2}} \cdot N_1 \cdot \hat{\Phi} \Rightarrow \hat{\Phi} = \frac{U_{1N} \cdot \sqrt{2}}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot N_1} = \frac{230 \text{ V} \cdot \sqrt{2}}{2 \cdot \pi \cdot 50 \text{ Hz} \cdot 500} = 0,00207 \text{ Vs} = 2,07 \text{ mVs}$$