

Name: Vorname:

Matr.-Nr.: Studiengang:

Bearbeitungszeit:

80 Minuten

Zugelassene Hilfsmittel:

Stifte, Lineal/Geodreieck, Taschenrechner (nicht programmierbar)

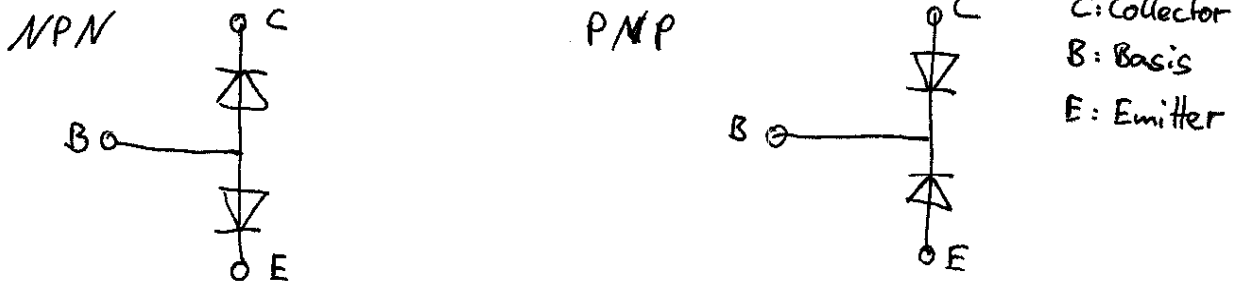
Weitere Hinweise:

- Bitte schalten Sie Ihre Mobiltelefone aus!
- *Der Einsatz von Handys, Smartphones, Tablets o. Ä. gilt als Täuschungsversuch!*
- Bitte legen Sie Ihren Studierendenausweis und Ihren Personalausweis auf den Tisch!
- Bitte schreiben Sie Ihren Namen und Ihre Matrikelnummer *oben rechts* auf jedes verwendete Blatt!
- Bitte schreiben Sie *nicht* mit Bleistift oder Rotstift!
- Bitte verwenden Sie für die Kurzfragen die ausgeteilten Aufgabenblätter!
- Bitte verwenden Sie für die Rechenaufgaben ausschließlich das ausgehändigte Rechenpapier!
- Bitte machen Sie Ihre Aufgaben auf dem Rechenpapier mit Aufgabennummern kenntlich!
- Bitte legen Sie bei Abgabe Ihrer Klausur die Aufgabenblätter in die Doppelbögen ein!

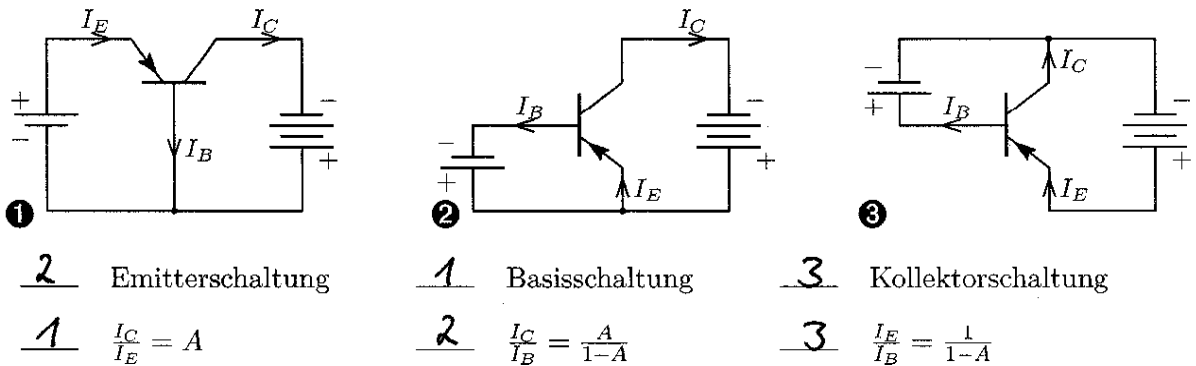
Aufgabe:	KF2	DS	TR	SM	gesamt
Punkte:	18	19	20	18	75
Erreicht:					

5. Kurzfragen zu Elektrotechnik 2 (18 Punkte)

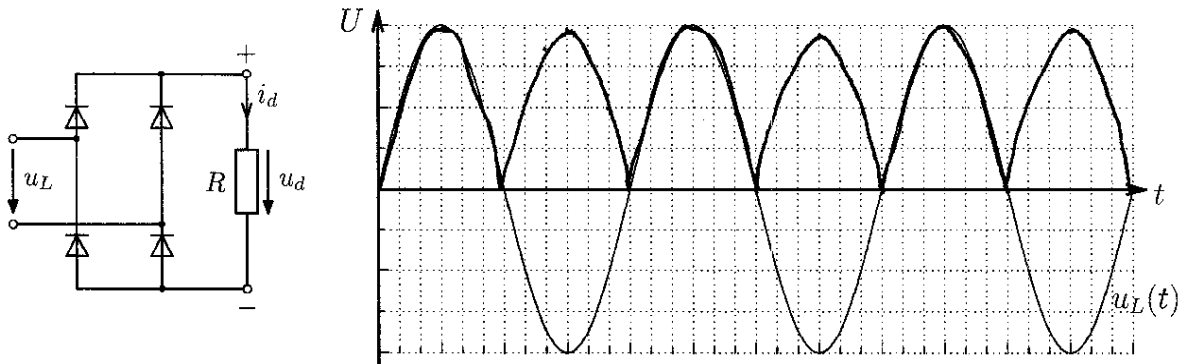
KF1) Zeichnen Sie die Dioden-Ersatzschaltbilder von einem PNP- und einem NPN-Transistor und 3 P
bezeichnen Sie jeweils die Anschlüsse!



KF2) Ordnen Sie die Nummern der 3 Verstärkerschaltungen des Bipolartransistors den Schaltungs- 3 P
bezeichnungen und den Stromverstärkungen zu! Es gilt $I_C = A \cdot I_E$.



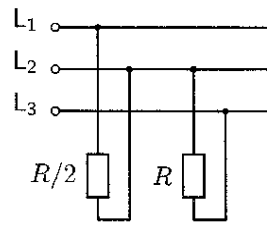
KF3) Gegeben ist das Schaltbild einer B2-Brückenschaltung mit ohmscher Belastung und der Ein- 2 P
gangswechselspannung u_L . Zeichnen Sie den aus dem Verlauf der Eingangswechselspannung
resultierenden zeitlichen Spannungsverlauf $u_d(t)$ in das Diagramm ein!



KF4) Die für einen Transformator spezifischen Größen können mit verschiedenen Versuchen ermit- 2 P
telt werden. Welche relevanten Größen des vollständigen Ersatzschaltbildes des verlustbehafteten
Transformators können durch den Kurzschlussversuch bestimmt werden?

- Kupferverluste (Kupfer- bzw. Wicklungswiderstände) $R_K = R_1 + R_2'$
- Streuverluste (Streuinduktivitäten) $X_{K2} = X_{12} + X_{22}'$

KF5) Gegeben ist die folgende unsymmetrische Dreieckschaltung. Zeichnen Sie die leistungsgleiche symmetrische Schaltung! 2 P



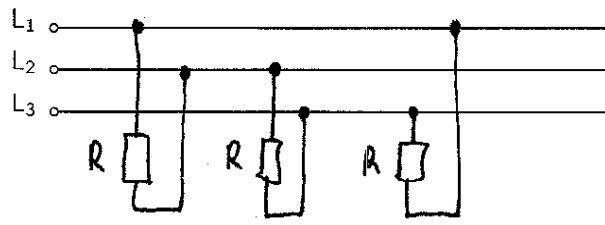
$$P_1 = \frac{U_{12}^2}{R/2} = \frac{2U^2}{R}$$

$$P_2 = \frac{U_{23}^2}{R} = \frac{U^2}{R}$$

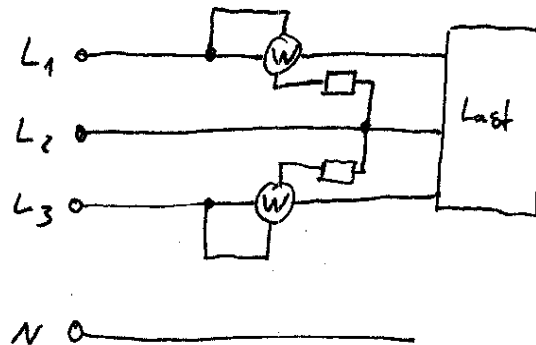
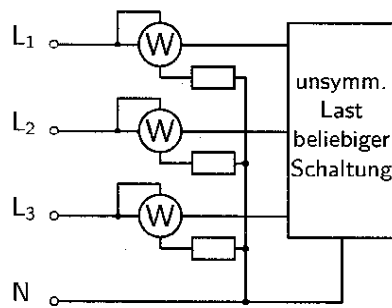
$$\Rightarrow P_{\text{ges}} = P_1 + P_2 = 3 \frac{U^2}{R}$$

$$\text{jetzt } P_1' = P_2' = P_3' = \frac{P_{\text{ges}}}{3} = \frac{U^2}{R}$$

$$\Rightarrow R_1' = R_2' = R_3' = R$$



KF6) Die Wirkleistungsmessung einer beliebigen unsymmetrischen Last kann durch 3 Einphasenmessungen (drei Wattmeter) durchgeführt werden (siehe Bild). Durch die sogenannte Aron-Schaltung kann ein Messgerät (Wattmeter) gespart werden. Zeichnen Sie das Schaltbild dieser Messschaltung und beachten Sie die Verschaltung des N-Leiters. 3 P

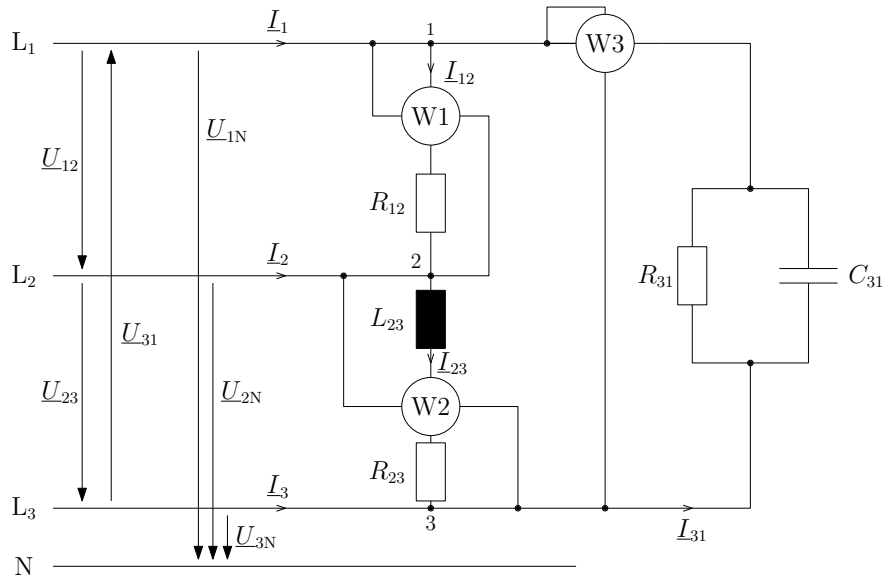


KF7) Nennen Sie die 5 Sicherheitsregeln zum Freischalten von elektrischen Anlagen in der richtigen Reihenfolge! 3 P

1. Freischalten
2. Gegen Wiedereinschalten sichern
3. Spannungsfreiheit feststellen
4. Erden und Kurzschließen
5. Benachbarte, unter Spannung stehende Teile abdecken oder abschranken

2. Drehstrom (19 Punkte)

Gegeben ist die nachfolgende Schaltung, in der der Nulleiter N den Sternpunkt des symmetrischen Dreileiter-Systems L_1 - L_2 - L_3 darstellt.



Folgende Werte sind bekannt:

$$\underline{U}_{12} = 100 \text{ V}$$

$$\underline{U}_{23} = 100 \text{ V} \cdot e^{-j120^\circ}$$

$$\underline{U}_{31} = 100 \text{ V} \cdot e^{j120^\circ}$$

$$R_{12} = 100 \Omega$$

$$R_{23} = 150 \Omega$$

$$R_{31} = 200 \Omega$$

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

$$X_L = 50 \Omega$$

$$X_C = -200 \Omega$$

Aufgaben:

Geben Sie bei allen Berechnungen stets den **vollständigen Rechenweg** inklusive **Formeln mit eingesetzten Zahlenwerten** an! Runden Sie auf zwei Nachkommastellen.

DS1) Die Konsequent richtige Schreibweise von komplexen Größen und Einheiten in allen Aufgabenteilen gibt zwei Zusatzpunkte. 2 P

DS2) Berechnen Sie die Strangimpedanzen \underline{Z}_{12} , \underline{Z}_{23} und \underline{Z}_{31} nach Betrag und Phase! 4 P

DS3) Nun gilt: $\underline{Z}_{12} = 100 \Omega$, $\underline{Z}_{23} = 158,11 \Omega \cdot e^{j18,43^\circ}$, $\underline{Z}_{31} = 141,42 \Omega \cdot e^{-j45^\circ}$ 5 P
Berechnen Sie den Strom \underline{I}_3 nach Betrag und Phase!

DS4) Wattmeter 1 (W1) zeigt einen Wert von 100 W an, Wattmeter 2 (W2) 60 W und Wattmeter 3 (W3) 50 W. 5 P

Für die Ströme gilt nun:

$$\underline{I}_1 = 1,69 \text{ A} \cdot e^{-j6,21^\circ}$$

$$\underline{I}_2 = 1,53 \text{ A} \cdot e^{-j164,1^\circ}$$

$$\underline{I}_3 = 0,64 \text{ A} \cdot e^{j110,14^\circ}$$

$$\underline{I}_{12} = 1 \text{ A}$$

$$\underline{I}_{23} = 0,63 \text{ A} \cdot e^{-j138,43^\circ}$$

$$\underline{I}_{31} = 0,71 \text{ A} \cdot e^{j165^\circ}$$

Berechnen Sie die Wirk-, Blind- und Scheinleistung der Stränge 1-2 und 2-3!

DS5) Mit Hilfe einer Kompensationseinrichtung soll nun erreicht werden, dass der Strom \underline{I}_{23} in Phase mit der Spannung \underline{U}_{23} liegt. Welche Bauteile mit welchen Kenngrößen müssen hierfür zwischen den Punkten 2 und 3 eingebaut werden? 3 P

DS1)

Keine Bearbeitung nötig!

DS2)

$$\underline{Z}_{12} = R_{12} = 100 \Omega$$

$$\underline{Z}_{23} = R_{23} + jX_L = 150 \Omega + j50 \Omega = 158,11 \Omega \cdot e^{j18,43^\circ}$$

$$\underline{Z}_{31} = \frac{R_{31} \cdot (-jX_C)}{R_{31} \cdot (-jX_C)} = \frac{200 \Omega \cdot (-j200 \Omega)}{200 \Omega - j200 \Omega} = \frac{40\,000 \Omega^2 \cdot e^{-j90^\circ}}{282,84 \Omega \cdot e^{-j45^\circ}} = 141,42 \Omega \cdot e^{-j45^\circ}$$

DS3)

$$\underline{I}_{31} = \frac{U_{31}}{\underline{Z}_{31}} = \frac{100 \text{ V} \cdot e^{j120^\circ}}{141,42 \Omega \cdot e^{-j45^\circ}} = 0,71 \text{ A} \cdot e^{j165^\circ} = -0,68 \text{ A} + j0,18 \text{ A}$$

$$\underline{I}_{23} = \frac{U_{23}}{\underline{Z}_{23}} = \frac{100 \text{ V} \cdot e^{-j120^\circ}}{158,11 \Omega \cdot e^{j18,43^\circ}} = 0,63 \text{ A} \cdot e^{-j138,43^\circ} = -0,47 \text{ A} - j0,42 \text{ A}$$

$$\begin{aligned} \underline{I}_3 &= \underline{I}_{31} - \underline{I}_{23} = -0,68 \text{ A} + j0,18 \text{ A} - (-0,47 \text{ A} - j0,42 \text{ A}) \\ &= -0,21 \text{ A} + j0,6 \text{ A} = 0,64 \text{ A} \cdot e^{j109,2^\circ} \end{aligned}$$

DS4)

$$P_{12} = 100 \text{ W} \quad Q_{12} = 0 \text{ var} \quad S_{12} = 100 \text{ VA}$$

$$P_{23} = 60 \text{ W}$$

$$Q_{23} = I_{23} \cdot U_{23} \cdot \sin \varphi_{23} = 0,63 \text{ A} \cdot 100 \text{ V} \cdot \sin(-120^\circ - (-138,43^\circ)) = 20 \text{ var}$$

$$S_{23} = \sqrt{P_{23}^2 + Q_{23}^2} = \sqrt{(60 \text{ W})^2 + (20 \text{ var})^2} = 63,25 \text{ VA}$$

DS5)

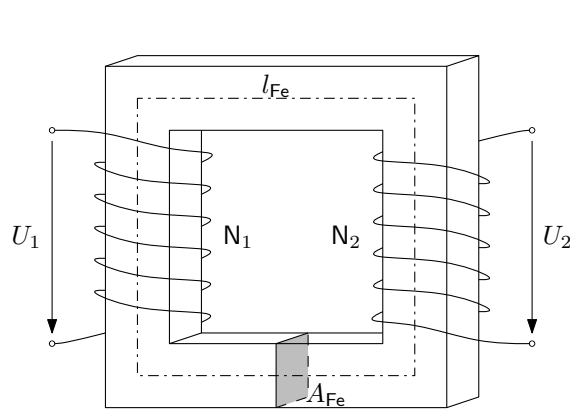
$$Q_C = -Q_{23} = -20 \text{ var}$$

$$Q_C = \frac{U_{23}^2}{X_C} \quad \Rightarrow \quad X_C = \frac{U_{23}^2}{Q_C} = \frac{(100 \text{ V})^2}{-20 \text{ var}} = -500 \Omega$$

$$X_C = -\frac{1}{\omega C} \quad \Rightarrow \quad C = -\frac{1}{2\pi \cdot f \cdot X_C} = -\frac{1}{2\pi \cdot 50 \text{ Hz} \cdot -500 \Omega} = 6,37 \mu\text{F}$$

3. Transformator (20 Punkte)

Gegeben ist folgender Wechselstrom-Transformator:



Daten:

$$U_1 = 20 \text{ kV}$$

$$S_n = 140 \text{ kVA}$$

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

$$\ddot{u} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{6500}{130}$$

$$\hat{B} = 1 \text{ T}$$

$$l_{Fe} = 3 \text{ m}$$

(mittlere Eisenlänge)

$$d_w = 0,4 \text{ m}$$

(mittlerer Windungsdurchmesser)

$$S_{\text{nenn}} = 2 \text{ A/mm}^2$$

(Nennstromdichte der Wicklungen)

$$\rho_{20, \text{Cu}} = 0,0172 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$$

(spezifische Widerstände von

$$\rho_{20, \text{Al}} = 0,0265 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$$

Kupfer und Aluminium bei 20 °C)

Hinweis: Die Transformatorentwurfsgleichung lautet $U_1 = \frac{\hat{U}_1}{\sqrt{2}} = N_1 \cdot \frac{\hat{\Phi}_1}{\sqrt{2}} \cdot 2\pi \cdot f = \sqrt{2}\pi \cdot f \cdot N_1 \cdot \hat{\Phi}_1$.

Aufgaben:

TR1) Berechnen Sie folgende Größen: U_2 , I_{1n} und I_{2n} ! *Annahme: idealer Transformator!* 3 P

TR2) Wie groß muss der Eisenquerschnitt A_{Fe} sein, damit die zulässige magnetische Induktion \hat{B} nicht überschritten wird? *Annahme: idealer Transformator!* 2 P

TR3) Berechnen Sie den Wicklungswiderstand $R = R_1 + R'_2$ bei einer Betriebstemperatur von 20 °C, unter der Annahme, dass die *Primärwicklung aus Aluminium* und die *Sekundärwicklung aus Kupfer* gefertigt ist und es sich um *kreisförmige* Windungen handelt. (Sollten Sie in TR1 keine Ergebnisse erzielt haben, rechnen Sie mit $I_{1n} = 7 \text{ A}$, $I_{2n} = 350 \text{ A}$, $U_2 = 400 \text{ V}$) 7 P

TR4) An die Sekundärseite wird ein Voltmeter angeschlossen. 8 P

- Zeichnen Sie für diesen Versuch das *vereinfachte* Ersatzschaltbild des verlustbehafteten Transformators und erläutern Sie *kurz*, welche Vereinfachungen Sie annehmen dürfen und warum!
- Skizzieren Sie qualitativ das zugehörige Zeigerdiagramm.
- Bei dem Versuch werden folgende Werte gemessen: $U_{1, \text{Vers}} = 20 \text{ kV}$, $I_{\text{Vers}} = 0,559 \text{ A}$ und $P_{\text{Vers}} = 5 \text{ kW}$. Berechnen Sie für diesen Versuch die Ersatzschaltbilddaten (R_{Vers} und X_{Vers}) und benennen Sie diese.

TR1)

$$\ddot{u} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2} \Rightarrow U_2 = \frac{N_2}{N_1} \cdot U_1 = \frac{130}{6500} \cdot 20\,000\text{ V} = 400\text{ V} = 0,4\text{ kV}$$

$$S_n = S_{1n} = S_{2n} \text{ (idealer Transformator, keine Verluste!)}$$

$$S_{1n} = U_{1n} \cdot I_{1n} \Rightarrow I_{1n} = \frac{S_{1n}}{U_{1n}} = \frac{140\text{ kVA}}{20\text{ kV}} = 7\text{ A}$$

$$S_{2n} = U_{2n} \cdot I_{2n} \Rightarrow I_{2n} = \frac{S_{2n}}{U_{2n}} = \frac{140\text{ kVA}}{0,4\text{ kV}} = 350\text{ A}$$

TR2)

$$U_1 = \frac{\hat{U}_1}{\sqrt{2}} = N_1 \cdot \frac{\hat{\Phi}_1}{\sqrt{2}} \cdot 2 \cdot \pi \cdot f = \sqrt{2} \cdot \pi \cdot f \cdot N_1 \cdot \hat{\Phi}_1 = 4,44 \cdot f \cdot N_1 \cdot \hat{\Phi}_1$$

mit

$$\Phi = \int B \, dA \Rightarrow \hat{\Phi} = \hat{B} \cdot A$$

$$U_1 = \frac{\hat{U}_1}{\sqrt{2}} = N_1 \cdot \frac{\hat{\Phi}_1}{\sqrt{2}} \cdot 2 \cdot \pi \cdot f = \sqrt{2} \cdot \pi \cdot f \cdot N_1 \cdot \hat{\Phi}_1 = 4,44 \cdot f \cdot N_1 \cdot \hat{B} \cdot A_{Fe}$$

$$A_{Fe} = \frac{U_1}{4,44 \cdot f \cdot N_1 \cdot \hat{B}} = \frac{20\,000\text{ V}}{4,44 \cdot 50\text{ Hz} \cdot 6\,500 \cdot 1 \frac{\text{Vs}}{\text{m}^2}} = 0,01386\text{ m}^2 = 138,6\text{ cm}^2$$

TR3)

$$R_{1,20} = \rho_{20,Al} \cdot \frac{l_1}{A_1}$$

$$A_1 = \frac{I_1}{s_{max}} = \frac{7\text{ A}}{2 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}} = 3,5\text{ mm}^2$$

$$l_1 = 2 \cdot \pi \cdot r_1 \cdot N_1 = \pi \cdot d_w \cdot N_1 = \pi \cdot 0,4\text{ m} \cdot 6500 = 8168,14\text{ m}$$

$$R_{1,20} = \rho_{20,Al} \cdot \frac{l_1}{A_1} = 0,0265 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}} \cdot \frac{8168,14\text{ m}}{3,5\text{ mm}^2} = 61,84\ \Omega$$

$$R_{2,20} = \rho_{20,Cu} \cdot \frac{l_2}{A_2}$$

$$A_2 = \frac{I_2}{s_{max}} = \frac{350\text{ A}}{2 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}} = 175\text{ mm}^2$$

$$l_2 = 2 \cdot \pi \cdot r_2 \cdot N_2 = \pi \cdot d_w \cdot N_2 = \pi \cdot 0,4\text{ m} \cdot 130 = 163,36\text{ m}$$

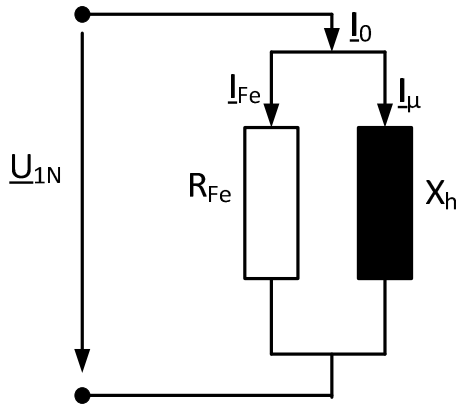
$$R_{2,20} = \rho_{20,Cu} \cdot \frac{l_2}{A_2} = 0,0172 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}} \cdot \frac{163,36\text{ m}}{175\text{ mm}^2} = 0,0161\ \Omega$$

$$R'_{2,20} = R_{2,20} \cdot \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 = 0,0161\ \Omega \cdot \left(\frac{6500}{130}\right)^2 = 40,25\ \Omega$$

$$R_{20} = R_{1,20} + R'_{2,20} = 61,84 \Omega + 40,25 \Omega = 102,09 \Omega$$

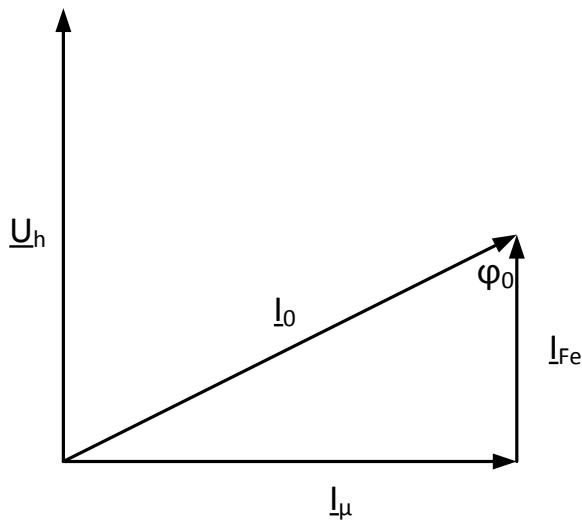
TR4) Innenwiderstand des Voltmeters strebt gegen ∞ , daher Leerlaufversuch.

a)



Vereinfachungen: $I_0 \ll I_N$, daher Spannungsabfälle an R_1 und X_{10} vernachlässigbar.

b)



c)

$$P_0 = \frac{U_N^2}{R_{Fe}} \Rightarrow R_{Fe} = \frac{U_N^2}{P_0} = \frac{(20\,000\text{ V})^2}{5\,000\text{ W}} = 80\,000 \Omega$$

$$I_{Fe} = \frac{U_0}{R_{Fe}} = \frac{20\,000\text{ V}}{80\,000 \Omega} = 0,25\text{ A}$$

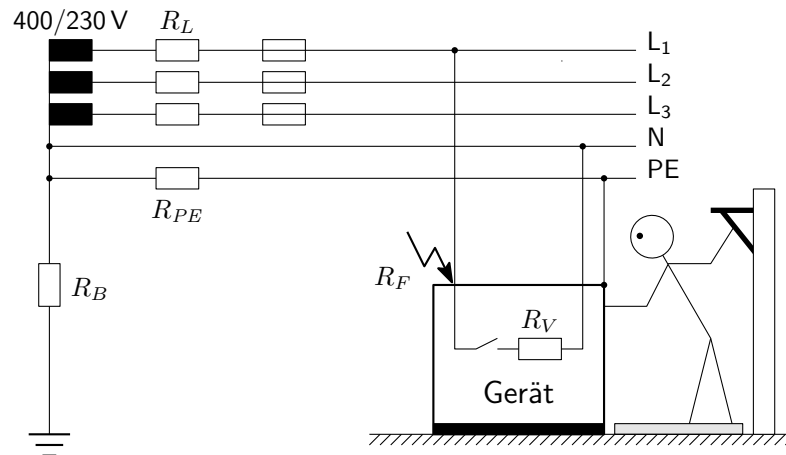
$$I_{\mu} = \sqrt{I_0^2 - I_{Fe}^2} = \sqrt{(0,559\text{ A})^2 - (0,25\text{ A})^2} = 0,5\text{ A}$$

$$X_h = \frac{U_0}{I_{\mu}} = \frac{20\,000\text{ V}}{0,5\text{ A}} = 40\,000 \Omega$$

4. Schutzmaßnahmen (18 Punkte)

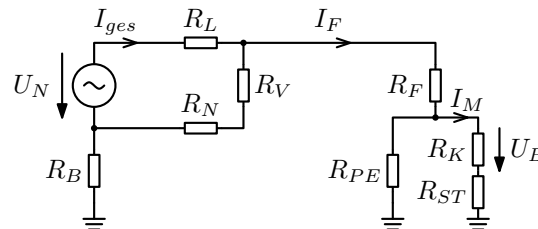
Aufgaben:

- SM1) An dem dargestellten Drehstromnetz für 400/230 V habe ein elektrischer Verbraucher einen vollständigen Gehäuseschluss. Die Grundplatte des Gerätes sei leitend über einen Widerstand R_I mit der Bezugserde verbunden; das Gehäuse sei an den Schutzleiter angeschlossen! Der Mensch steht auf isoliertem Untergrund (grauer Balken), berührt aber mit einer Hand das Gehäuse des Verbrauchers und mit der anderen einen Metallhaken mit einem Widerstand von R_E zur Bezugserde. 7 P



Zeichnen Sie das zugehörige einphasige Ersatzschaltbild mit allen vorkommenden Widerständen und tragen Sie auch den Fehlerstrom I_F , den Strom durch den Menschen I_M und die Berührungsspannung U_B ein!

- SM2) Gegeben sei das nachfolgende einphasige Ersatzschaltbild. 6 P



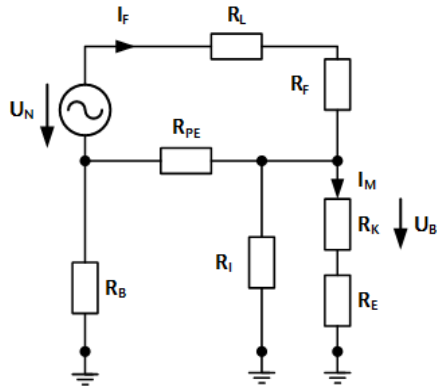
Es werden folgende Werte vorausgesetzt:

$$\begin{aligned}
 U_N &= 230 \text{ V}, & R_L &= 5 \Omega, & R_V &= 550 \Omega, & R_N &= 3 \Omega, & R_F &= 600 \Omega, \\
 R_K &= 3000 \Omega, & R_{ST} &= 700 \Omega, & R_{PE} &= 10 \Omega, & R_B &= 2 \Omega
 \end{aligned}$$

Berechnen Sie den Strom I_M , der durch den Menschen fließt, und die Berührungsspannung U_B ! Bilden Sie dazu zunächst den Ersatzwiderstand der gesamten Schaltung, um I_{ges} zu ermitteln.

- SM3) Ist ein Mensch für die unter Aufgabenpunkt SM2) berechneten Werte gefährdet? Begründen Sie Ihre Aussage! 3 P
- SM4) Wie nennt man die Form des Netzes aus Aufgabenpunkt SM2) und welche Schutzmaßnahme ist in dem Ersatzschaltbild enthalten? Begründen Sie ihre Antwort! 2 P

SM1)



SM2)

Widerstände:

$$R_{E1} = \frac{(R_K + R_{ST}) \cdot R_{PE}}{(R_K + R_{ST} + R_{PE})} = 9,973 \Omega$$

$$R_{E2} = R_F + R_{E1} + R_B = 611,973 \Omega$$

$$R_{E3} = \frac{(R_V + R_N) \cdot R_{E2}}{(R_V + R_N + R_{E2})} = 290,4969 \Omega$$

$$R_{GES} = R_L + R_{E3} = 295,4969 \Omega$$

Strom:

$$I_{GES} = \frac{U_N}{R_{GES}} = 0,7783 A$$

$$I_F = \frac{(R_V + R_N)}{(R_F + \frac{(R_K + R_{ST}) \cdot R_{PE}}{R_K + R_{ST} + R_{PE}} + R_B + R_V + R_N)} \cdot I_{GES} = 0,3695 A$$

$$I_M = \frac{R_{PE}}{(R_K + R_{ST} + R_{PE})} \cdot I_F = 0,000996 A \approx 1 mA$$

$$U_{Bi} = R_K \cdot I_M = 2,9877 V$$

Spannung:

$$U_1 = U_N - (I_{GES} \cdot R_L) = 226,1083 V$$

$$U_M = \frac{R_{E1}}{R_{E2}} \cdot U_1 = 3,6848 V$$

$$U_B = \frac{R_K}{(R_K + R_{ST})} \cdot U_M = 2,9877 V$$

Alternativ:

$$U_1 = U_N - (I_{GES} \cdot R_L) = 226,1083 V$$

$$I_F = \frac{U_1}{R_{E2}} = 0,3695 \text{ A}$$

$$U_M = U_1 - I_F \cdot (R_F + R_B) = 3,6848 \text{ V}$$

$$I_M = \frac{U_M}{(R_K + R_{ST})} = 0,7783 \text{ A}$$

$$U_B = R_K \cdot I_M = 2,9877 \text{ V}$$

SM3)

- Nein,
- da Strom mit 0,1 mA deutlich unter Gefahrgrenze von 17 mA
- da Spannung mit 2,9877 V deutlich unter Gefahrgrenze von 50 V

SM4)

- TT-Netz
- Schutzerdung des Gehäuses des elektrischen Betriebsmittels durch den kleinen Erdungswiderstand R_{PE}