

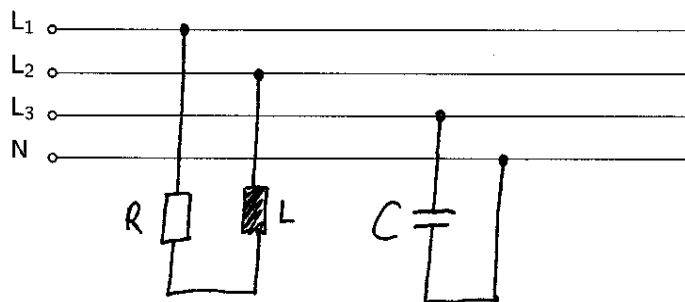
## 5. Kurzfragen zu Elektrotechnik 2 (17 Punkte)

KF1) Ein symmetrischer, ohmscher Verbraucher mit dem Widerstand  $R_{\Delta}$  wird in Dreieckschaltung an ein Drehstromnetz angeschlossen. Wie groß muss der Widerstand  $R_{\lambda}$  in Sternschaltung gewählt werden, damit die Leistung in beiden Schaltungen gleich ist ( $P_{\lambda} = P_{\Delta}$ )? 3 P

$$P_{\Delta} = \frac{U_{\Delta}^2}{R_{\Delta}} = \frac{(\sqrt{3} U_{\lambda})^2}{R_{\Delta}} \stackrel{!}{=} P_{\lambda} = \frac{U_{\lambda}^2}{R_{\lambda}}$$

$$\Rightarrow R_{\lambda} = \frac{U_{\lambda}^2}{(\sqrt{3} U_{\lambda})^2} \cdot R_{\Delta} = \frac{1}{3} R_{\Delta}$$

KF2) Schalten Sie in dem gegebenen 400 V Vierleitersystem eine ohmsch-induktive Last an 400 V und eine kapazitive Last an 230 V! 2 P



KF3) Nennen Sie die fünf Sicherheitsregeln, die beim Freischalten von elektrischen Anlagen beachtet werden müssen (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 abschränken

KF4) Nennen Sie je zwei Isolatoren, Halbleiter und Leiter (Materialien)!

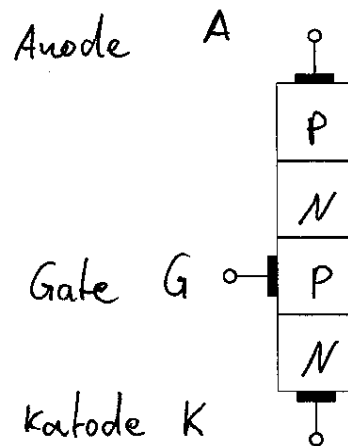
3 P

Isolatoren: Glas, Keramik, Kunststoffe ...

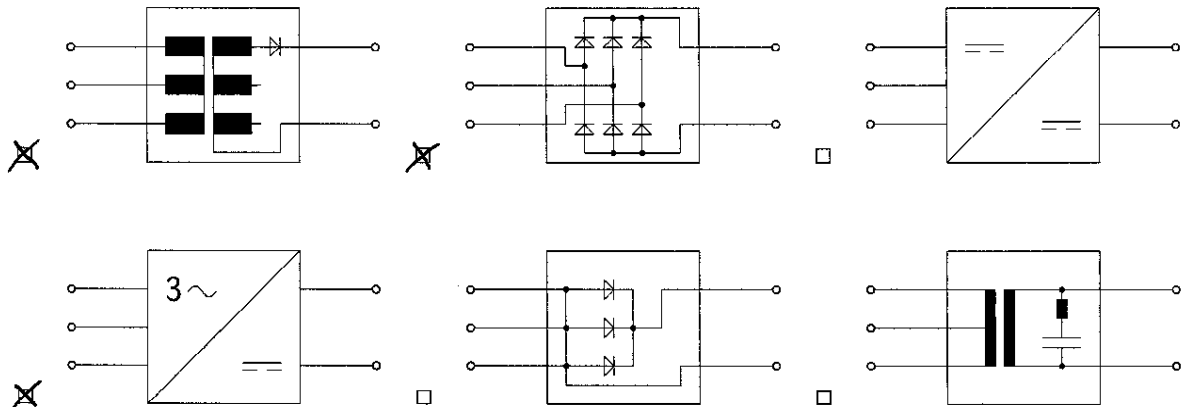
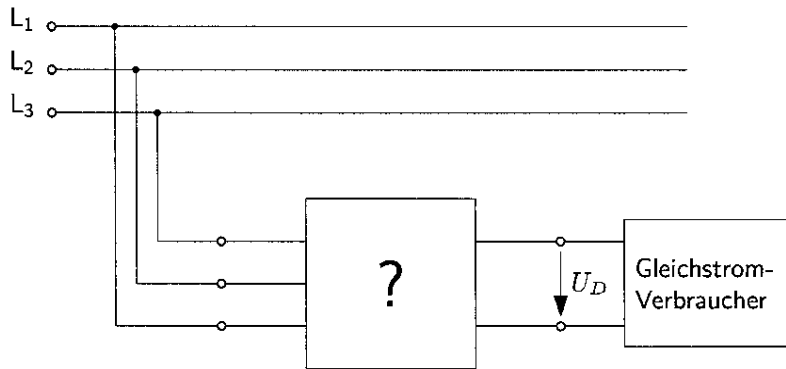
Halbleiter: Germanium, Silizium ...

Leiter: Aluminium, Kupfer, Silber ...

KF5) Erweitern Sie die Skizze des Thyristors um die PN-Schichtenfolge und bezeichnen Sie die Anschlüsse! 2 P



KF6) Ein Gleichstromverbraucher soll an ein Drehstromnetz angeschlossen werden. Wählen Sie *alle* geeigneten Schaltungen aus! 2 P



KF7) Welche Größen des Transformatorersatzschaltbildes werden mit dem Leerlaufversuch ermittelt? Welche Größen muss man dazu messen? 2 P

Ermittelt werden:  $R_{Fe}$ ,  $X_h$

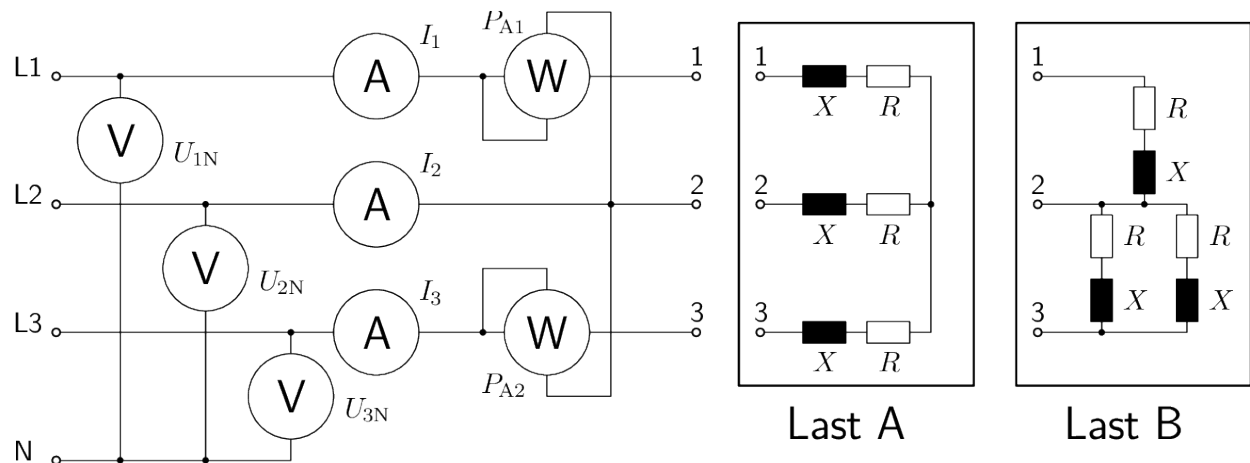
Gemessen werden:  $|\underline{U}_1|$  (Nennspannung)

$|\underline{I}_1|$  (Leerlaufstrom)

$P_1$  (Leerlaufverlustleistung)

## 6. Drehstrom (16 Punkte)

Mit der folgenden Messschaltung sollen zwei unterschiedliche Lasten (Last A und Last B) vermessen werden.



### Aufgaben:

- DS1) Sind die Lasten A und B symmetrisch oder unsymmetrisch? 1 P
- DS2) Geben Sie eine allgemeine Berechnungsvorschrift an, wie aus den Messwerten der oben angegebenen Messschaltung der Leistungsfaktor der beiden Lasten bestimmt werden kann! 2 P

Für das Drehstromsystem und die Lasten sind nun die folgenden Werte gegeben:

$$\underline{U}_{1N} = 100 \text{ V} \cdot e^{-j \cdot 0}, \quad \underline{U}_{2N} = 100 \text{ V} \cdot e^{-j \cdot \frac{2}{3}\pi}, \quad \underline{U}_{3N} = 100 \text{ V} \cdot e^{j \cdot \frac{2}{3}\pi}, \quad R = 6 \Omega, \quad X = 8 \Omega$$

- DS3) Skizzieren Sie zu den beiden Lasten jeweils ein Zeigerbild der Spannungen, und in dieses ein qualitativ richtiges Zeigerbild der Leiterströme! 4 P
- DS4) Berechnen Sie für Last A die Werte, die die Wattmeter und Amperemeter anzeigen! 5 P
- DS5) Berechnen Sie für Last B die Werte, die die Amperemeter anzeigen! 4 P

DS 1)

a: Symmetrisch      b: Unsymmetrisch

DS 2)

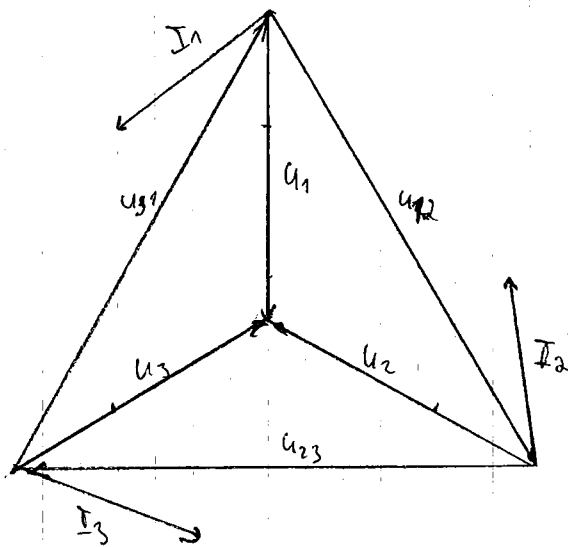
$$P_{ges} = P_{A1} + P_{A2}$$

$$S_{ges} = U_{1N} \cdot I_{1N} + U_{2N} \cdot I_2 + U_{3N} \cdot I_3$$

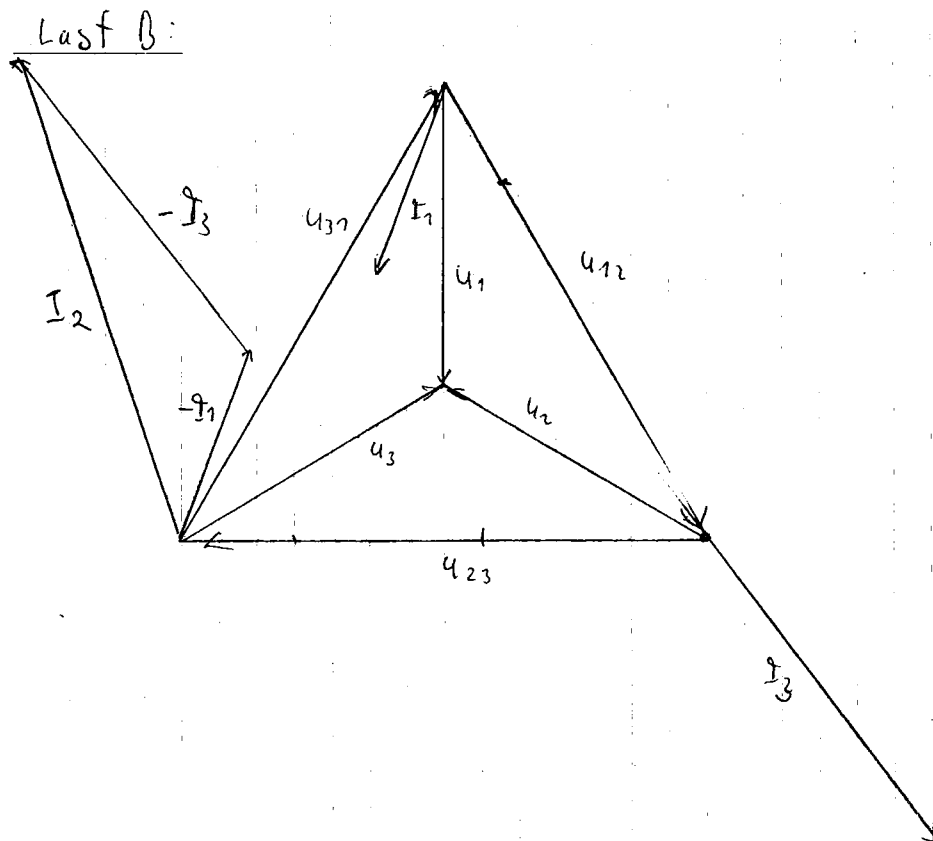
$$\lambda = \frac{P_{ges}}{S_{ges}}$$

DS 3)

a) Last A:



DS3) Fortsetzung



DS4)

$$\underline{u}_{12} = \sqrt{3} \cdot 100 \text{ V} \cdot e^{j30^\circ}$$

$$\underline{u}_{23} = \sqrt{3} \cdot 100 \text{ V} \cdot e^{j-90^\circ}$$

$$\underline{u}_{31} = \sqrt{3} \cdot 100 \cdot e^{j150^\circ}$$

$$\underline{z} = 6 \Omega + j8 \Omega = 10 \Omega \cdot e^{j53,13^\circ}$$

$$\underline{I}_1 = \underline{I}_2 = \underline{I}_3 = \frac{u_{1N}}{\underline{z}} = \underline{10 \text{ A}}$$

$$\underline{I}_1 = \frac{u_{1N}}{\underline{z}} = \frac{100 \text{ V} \cdot e^{j0^\circ}}{10 \Omega \cdot e^{j53,13^\circ}} = 10 \text{ A} \cdot e^{-j53,13^\circ}$$

$$P_{A1} = u_{12} \cdot I_1 \cdot \cos(\varphi_{u_{12}} - \varphi_{I_1})$$

$$P_{A1} = \sqrt{3} \cdot 100 \text{ V} \cdot 10 \text{ A} \cdot \cos(30^\circ + 53,13^\circ)$$

$$\underline{P_{A1} = 207,18 \text{ W}}$$

DS4) Fortsetzung

$$\underline{I_3} = \frac{U_{3N}}{Z} = \frac{100V \cdot e^{j120}}{10\Omega \cdot e^{j53,13^\circ}} = 10A \cdot e^{j66,87^\circ}$$

$$P_{A2} = U_{32} \cdot I_3 \cdot \cos(\varphi_{U32} - \varphi_{I3})$$

$$P_{A2} = \sqrt{3} \cdot 100V \cdot 10A \cdot \cos(90^\circ - 66,87^\circ)$$

$$\underline{P_{A2} = 1,593 \text{ kW}}$$

DS5)

$$\underline{I_1} = \frac{U_{12}}{Z} = \frac{\sqrt{3} \cdot 100V \cdot e^{j30^\circ}}{10\Omega \cdot e^{j53,13^\circ}} = 17,32A \cdot e^{-j23,13^\circ}$$

$$\underline{I_1 = 17,32}$$

$$Z_p = Z // Z = \frac{Z}{2} = 5\Omega \cdot e^{j53,13^\circ}$$

$$\underline{I_3} = \frac{U_{32}}{Z_p} = \frac{\sqrt{3} \cdot 100V \cdot e^{j90^\circ}}{5\Omega \cdot e^{j53,13^\circ}} = 34,64A \cdot e^{j36,87^\circ}$$

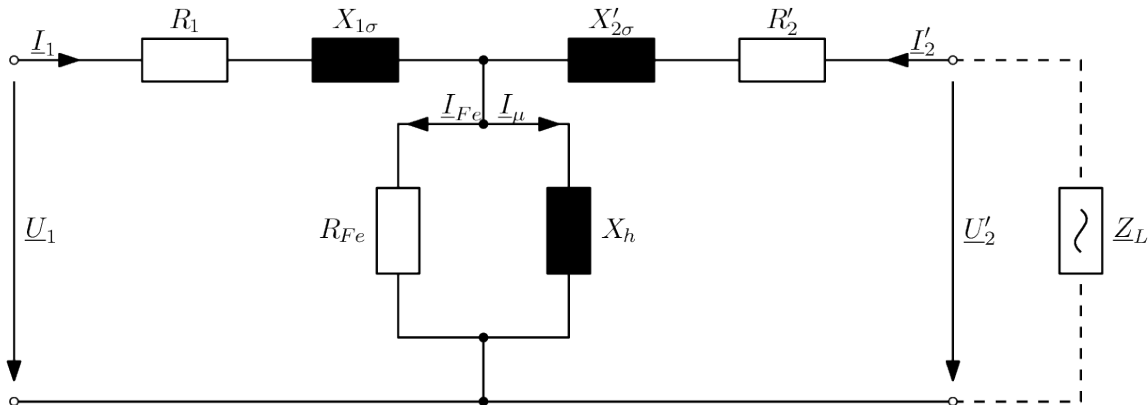
$$\underline{I_3 = 34,64A}$$

$$I_2 = -I_1 - I_3 = -43,64A - j13,98A = 45,83A \cdot e^{-j162,23^\circ}$$

$$\underline{I_2 = 45,83A}$$

## 7. Transformator (19 Punkte)

In der folgenden Abbildung ist das elektrische Ersatzschaltbild eines verlustbehafteten Transformators bei Belastung durch die Lastimpedanz  $Z_L$  dargestellt.



Der Transformator hat folgende technische Daten:

- $S_N = 250 \text{ VA}$  (Nennscheinleistung)
- $U_{1N} = 230 \text{ V}$  (primärseitige Nennspannung)
- $u_k = 29,99 \%$  (relative Kurzschlussspannung)

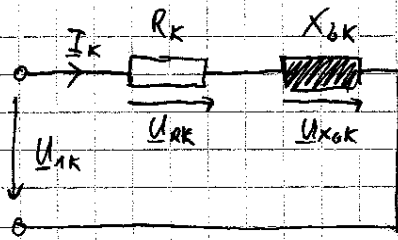
### Aufgaben:

- TR1) Erläutern Sie kurz die dargestellten Größen des Ersatzschaltbildes ( $R_1$  und  $R'_2$ ,  $X_{1\sigma}$  und  $X'_{2\sigma}$  sowie  $R_{Fe}$  und  $X_h$ ). 2 P
- TR2) In einem Versuch wird eine Lastimpedanz  $|Z_L| \rightarrow 0$  an den oben dargestellten Transformator angeschlossen. Die Spannung  $U_1$  wird so eingestellt, dass der Nennstrom  $I_N$  fließt. Zeichnen Sie für diesen Versuch das vereinfachte Ersatzschaltbild unter der Annahme, dass  $R_1 = R'_2$ ,  $X_{1\sigma} = X'_{2\sigma}$  sowie  $R_{Fe} \gg R_1 + R'_2$  und  $X_h \gg X_{1\sigma} + X'_{2\sigma}$  ist, und skizzieren Sie qualitativ das zugehörige Zeigerdiagramm! 4 P
- TR3) Bei dem Versuch aus dem vorherigen Aufgabenteil wurden eine Leistung von  $P_{\text{Versuch}} = 30 \text{ W}$  und ein  $\cos \varphi_{\text{Versuch}} = 0,4$  gemessen. Berechnen Sie die folgenden Größen: 10 P
- den Strom  $I_{\text{Versuch}}$
  - $R_1$  und  $R'_2$
  - die Gesamtimpedanz  $Z_{\text{Versuch}}$
  - die Spannung  $U_{1,\text{Versuch}}$
  - $X_{1\sigma}$  und  $X'_{2\sigma}$
- TR4) Sie haben auf der Primärseite eines idealen Transformators ( $U_{1N} = 230 \text{ V}$ ) eine Spule mit  $N_1 = 100$  Windungen. An einem sekundärseitigen Lastwiderstand von  $R_2 = 2,65 \Omega$  soll eine Leistung von  $P_2 = 200 \text{ W}$  umgesetzt werden. Wie groß ist die sekundäre Windungszahl  $N_2$  zu wählen? 3 P



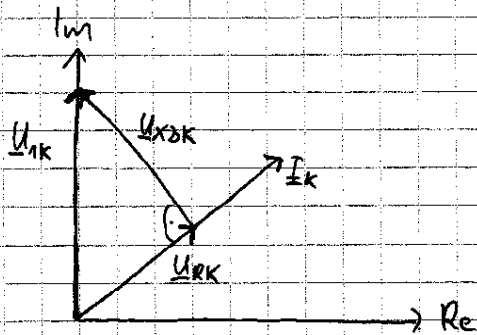
- TR1)  $R_1, R_2'$  : ohmsche Widerstände der Primär- und Sekundärwicklung  
 $X_{12}, X_{23}'$  : Streuinduktivitäten zur Nachbildung der Streuverluste  
 $R_{Fe}$  : Eisenwiderstand zur Nachbildung der Eisenverluste  
 $X_m$  : Hauptinduktivität für die Bildung des Hauptfeldes

TR2) Entspricht Kurzschlussversuch, da  $Z_L \rightarrow 0$



$$R_k = R_1 + R_2'$$

$$X_{kk} = X_{12} + X_{23}'$$



(beispielhaftes Zeigerbild)

TR3)  $I_{\text{versuch}} = I_k = I_N$  (Kurzschlussversuch wird bei Nennstrom durchgeführt)

$$S_N = U_N \cdot I_N \Rightarrow I_N = \frac{S_N}{U_N} = \frac{250 \text{ VA}}{230 \text{ V}} \approx 1,09 \text{ A}$$

$$\Rightarrow I_{\text{versuch}} = 1,09 \text{ A}$$

$$P_{\text{versuch}} = P_k = I_k^2 \cdot R_k \Rightarrow R_k = \frac{P_k}{I_k^2} = \frac{30 \text{ W}}{(1,09 \text{ A})^2} \approx 25,3 \Omega$$

$$R_1 + R_2' = R_k \quad \text{und} \quad R_1 = R_2'$$

$$\Rightarrow R_1 = R_2' = \frac{R_k}{2} = \frac{25,3 \Omega}{2} = 12,65 \Omega$$

$$Z_{\text{versuch}} = Z_k =$$

$$\cos \varphi_{\text{versuch}} = \cos \varphi_k = \frac{P_k}{S_k} \Rightarrow S_k = \frac{P_k}{\cos \varphi_k} = U_k \cdot I_k = I_k^2 \cdot Z_k$$

$$\Rightarrow Z_k = \frac{P_k}{I_k^2 \cdot \cos \varphi_k} = \frac{30 \text{ W}}{(1,09 \text{ A})^2 \cdot 0,4} \approx 63,1 \Omega$$

$$\Rightarrow Z_{\text{Versuch}} = 63,1 \Omega$$

$$U_{\text{Versuch}} = U_{1K} = I_K \cdot Z_K = 1,05A \cdot 63,1 \Omega \approx 68,8V$$

$$X_{2K} = \sqrt{Z_K^2 - R_K^2} = \sqrt{(63,1 \Omega)^2 - (25,3 \Omega)^2} \approx 57,8 \Omega$$

$$X_{12} + X'_{23} = X_{2K} \quad \text{und} \quad X_{12} = X'_{23}$$

$$\Rightarrow X_{12} = X'_{23} = \frac{X_{2K}}{2} = \frac{57,8 \Omega}{2} = 28,9 \Omega$$

TR4)

$$P_2 = \frac{U_2^2}{R_2} = 200W \quad \Rightarrow \quad U_2 = \sqrt{P_2 \cdot R_2} = \sqrt{200W \cdot 2,65 \Omega} = 23V$$

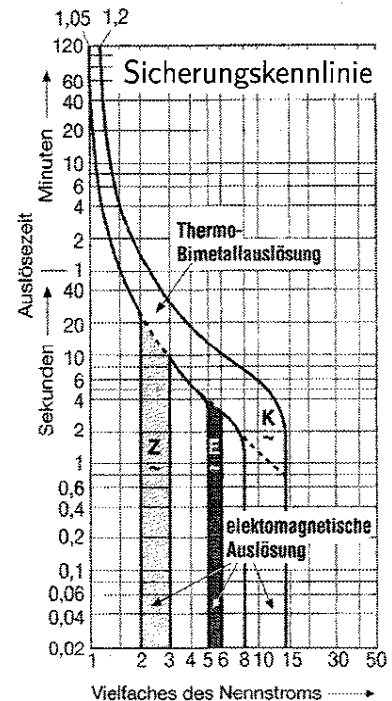
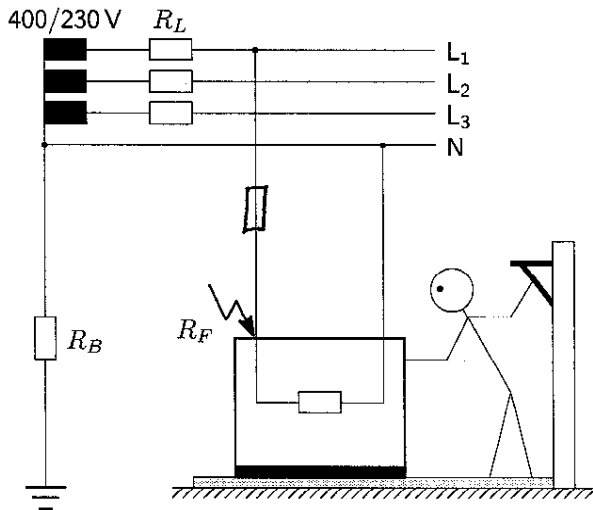
$$\dot{u} = \frac{N_1}{N_2} \propto \frac{U_1}{U_2}$$

$$\Rightarrow N_2 = \frac{N_1 \cdot U_2}{U_1} = \frac{100 \cdot 23V}{230V} = 10 \text{ Windungen}$$

## 8. Schutzmaßnahmen (19 Punkte)

In dem dargestellten Drehstromnetz (400/230 V, 50 Hz) habe ein Verbraucher einen Gehäuseschluss. Der Verbraucher und der Mensch stehen auf isoliertem Untergrund. Der Mensch berührt mit der einen Hand das Gehäuse des Verbrauchers und mit der anderen einen metallischen Hebel mit dem Widerstand  $R_E$  zur Bezugs Erde.

Der Verbraucher ist über einen Sicherungsautomaten mit Z-Charakteristik entsprechend der angegebenen Kennlinie mit einem Nennstrom von  $I_{SiN} = 10 \text{ A}$  abgesichert.



Es werden folgende Widerstandswerte vorausgesetzt:

$$R_F = 20 \Omega, R_K = 3000 \Omega, R_E = 500 \Omega, R_B = 1 \Omega, R_L = 3 \Omega$$

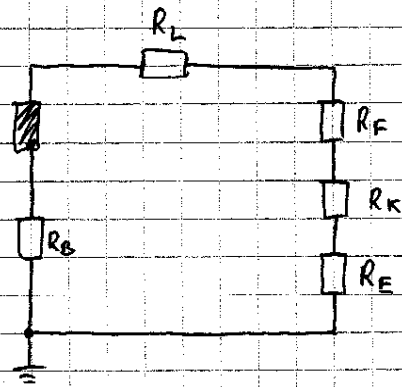
### Aufgaben:

- SM1) Zeichnen Sie in obiges Schaltbild die Sicherung so ein, dass sie den Menschen im Fehlerfall schützen kann! 1 P
- SM2) Zeichnen Sie das einphasige Ersatzschaltbild! (Vorkommende Widerstände im ESB: Leitungswiderstand  $R_L$ , Fehlerwiderstand  $R_F$ , Körperwiderstand  $R_K$ , Widerstand des Hebels zur Bezugs Erde  $R_E$ , Erdungswiderstand  $R_B$ ) 3 P
- SM3) Berechnen Sie den Fehlerstrom  $I_F$  und die Berührungsspannung  $U_B$ ! 4 P
- SM4) Wird die Sicherung zum Schutz des Menschen in genügend kurzer Zeit ausgelöst? Ist der Mensch gefährdet? Begründen Sie Ihre Aussagen! 2 P

Für die folgenden Teilaufgaben ist das Gehäuse des Verbrauchers zusätzlich an einen Schutzleiter mit dem Widerstand  $R_{PE} = 2 \Omega$  angeschlossen. Der Rest der obigen Aufgabe bleibt unverändert.

- SM5) Zeichnen Sie das um den Schutzleiterwiderstand  $R_{PE}$  erweiterte Ersatzschaltbild! 2 P
- SM6) Wie groß sind nun der Fehlerstrom  $I_F$  und die Berührungsspannung  $U_B$ ? 5 P
- SM7) Wird die Sicherung zum Schutz des Menschen in genügend kurzer Zeit ausgelöst? Ist der Mensch gefährdet? Begründen Sie Ihre Aussagen! 2 P

SM 2)



$$SM 3) \quad R_{ges} = R_L + R_F + R_K + R_E + R_B = 3524 \Omega$$

$$I_F = I_{ges} = \frac{U}{R_{ges}} = \frac{230V}{3524 \Omega} = 65,3 \text{ mA}$$

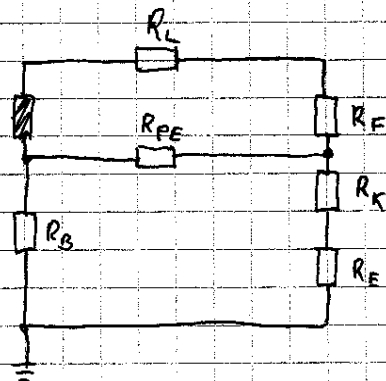
$$U_B = R_K \cdot I_F = 3000 \Omega \cdot 65,3 \text{ mA} = 195,9 \text{ V}$$

SM 4) Nein, die Sicherung löst nicht schnell genug (gar nicht) aus,

$$\text{da } I_F = 0,065 \text{ A} \ll I_{sin} = 10 \text{ A}$$

Ja, der Mensch ist gefährdet, da  $U_B > 50 \text{ V}$ !

SM 5)



$$SM 6) \quad R_{ges} = R_L + R_F + R_{PE} \parallel (R_K + R_E + R_B) = R_L + R_F + \frac{R_{PE} \cdot (R_K + R_E + R_B)}{R_{PE} + R_K + R_E + R_B}$$

$$\approx 25 \Omega$$

$$I_{ges} = \frac{U}{R_{ges}} = \frac{230V}{25 \Omega} = 9,2 \text{ A}$$

$$I_F = I_{ges} \cdot \frac{R_{PE}}{R_{PE} + R_K + R_E + R_B} = 9,2 \text{ A} \cdot \frac{2 \Omega}{2 \Omega + 3000 \Omega + 500 \Omega + 1 \Omega} = 5,25 \text{ mA}$$

$$U_B = R_K \cdot I_F = 3000 \Omega \cdot 5,25 \text{ mA} = 15,75 \text{ V}$$

SM 7) Die Sicherung löst immer noch nicht aus ( $I_{ges} = 9,2 \text{ A} < I_{sin} = 10 \text{ A}$ )

Der Mensch ist nicht gefährdet, da  $U_B < 50 \text{ V}$ !