

# Technische Universität Clausthal

## Klausur im Wintersemester 2021/22 Grundlagen der Elektrotechnik I & II

**Datum:** 9. April 2022, xx:00 Uhr bis xx:00 Uhr  
**Prüfer:** Prof. Dr.-Ing. H.-P. Beck



Name, Vorname

Matrikelnummer

Studiengang

Geburtsdatum

Unterschrift

Hörsaal

**Bearbeitungszeit:** 120 Minuten

### Zugelassene Hilfsmittel:

Stifte; Lineal/Geodreieck; Zirkel; nicht-programmierbarer Taschenrechner

### Wichtiger Hinweis:

⚠ Geben Sie bei allen Berechnungen stets einen **vollständig nachvollziehbaren und formal richtigen Rechenweg** an!

### Weitere Hinweise:

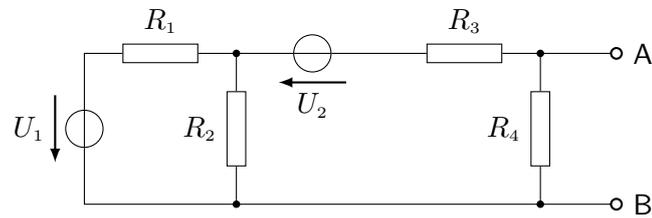
- ➡ **Der Einsatz von Smartphones, Smartwatches, Tablets o. Ä. gilt als Täuschungsversuch!**
- ➡ Es darf nur die der Klausur beigelegte Formelsammlung verwendet werden. **Die Verwendung einer eigenen Formelsammlung gilt als Täuschungsversuch!**
- ➡ Bitte legen Sie Ihren Studierendenausweis und Ihren Personalausweis auf den Tisch!
- ➡ Bitte schreiben Sie Ihren Namen und Ihre Matrikelnummer auf dieses Deckblatt und die erste Seite des Rechenpapiers in die dafür vorgesehenen Felder!
- ➡ Bitte schreiben Sie **nicht** mit Bleistift oder Rotstift!
- ➡ Bitte verwenden Sie für die Kurzfragen die ausgeteilten Aufgabenblätter!
- ➡ Bitte verwenden Sie für die Rechenaufgaben das **zur Aufgabe gehörende** Rechenpapier (kann nachgefordert werden)!
- ➡ **Aufgaben, die nicht auf den zugehörigen Seiten gelöst wurden, werden nicht gewertet!**
- ➡ Angegebene neue Zahlenwerte für Folgeaufgaben stehen in keinem Zusammenhang mit vorher zu ermittelnden Werten, d.h. die Aufgaben sind unabhängig voneinander lösbar!
- ➡ Bitte sortieren Sie bei der Abgabe Ihre Klausur in die richtige Reihenfolge: Aufgabenblätter, Rechenpapier, Formelzettel!

<b>Aufgabe:</b>	GS	EM	WS	DS	SM	TR	gesamt
<b>Punkte:</b>	15	15	15	15	15	15	90
<b>Erreicht:</b>							

# 1. Gleichstrom (15 Punkte)

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.* 3 P.

GS2) Gegeben ist das folgende Netzwerk: 7 P.



$$U_1 = 26 \text{ V}$$

$$R_1 = 2 \Omega$$

$$R_3 = 3 \Omega$$

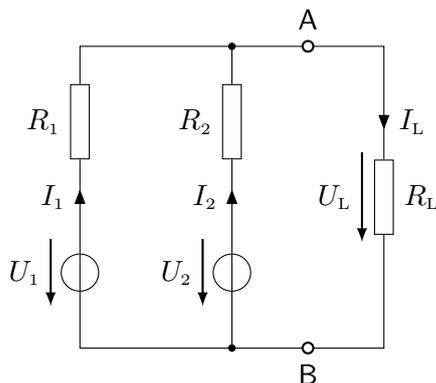
$$U_2 = 11 \text{ V}$$

$$R_2 = 2 \Omega$$

$$R_4 = 4 \Omega$$

Bestimmen Sie die äquivalente Ersatzspannungsquelle bezüglich der Klemmen A und B. Geben Sie auch das Ersatzschaltbild an.

GS3) Zwei Spannungsquellen arbeiten parallel auf ein Netz, welches durch einen Lastwiderstand  $R_L$  abgebildet wird. Es gilt: 5 P.



$$U_1 = 150 \text{ V}$$

$$U_2 = 148 \text{ V}$$

$$R_1 = 0,15 \Omega$$

$$R_2 = 0,1 \Omega$$

Berechnen Sie die Teilströme  $I_1$  und  $I_2$  der beiden Spannungsquellen, sowie die Spannung  $U_L$  am Lastwiderstand, wenn der Strom  $I_L = 90 \text{ A}$  fließt. Welche Leistung wird am Widerstand  $R_L$  umgesetzt? (*Empfehlung: Nutzen Sie die Maschen- und Knotengleichungen.*)

## Endergebnisse und Kommentare

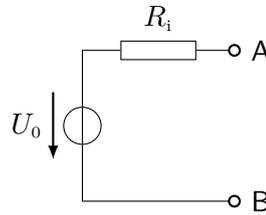
GS2) • charakteristische Größen:

$$R_i = 2 \Omega$$

$$U_0 = 12 \text{ V}$$

$$I_k = 6 \text{ A}$$

• Ersatzschaltbild:



GS3) • Teilströme  $I_1$  und  $I_2$ :

$$I_1 = 44 \text{ A}$$

$$I_2 = 46 \text{ A}$$

• Klemmenspannung:

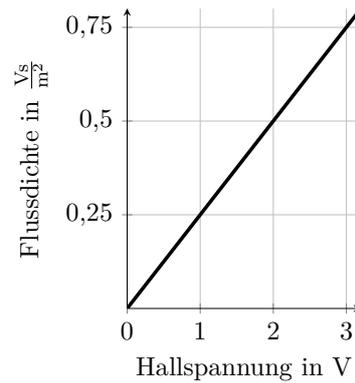
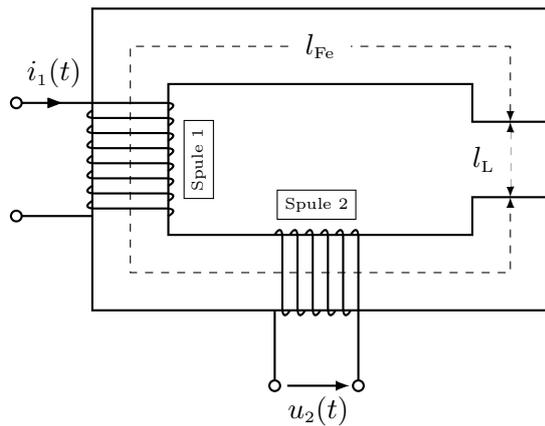
$$U_L = 143,4 \text{ V}$$

• Leistung am Lastwiderstand:

$$P_L = 12\,906 \text{ W}$$

## 2. Elektrisches und magnetisches Feld (15 Punkte)

Gegeben ist folgender magnetischer Kreis sowie die Kennlinie einer Hall-Sonde:



$$A_{\text{Fe}} = 0,1 \text{ m}^2$$

$$\mu_r = 3000$$

$$N_1 = 10000$$

$$N_2 = 250$$

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

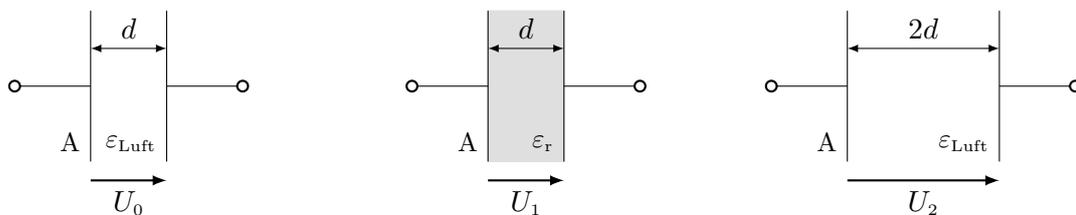
EM1) Geben Sie bei allen Teilaufgaben einen Ansatz mit entsprechenden Indizes an, setzen Sie auch in Zwischenschritten Zahlenwerte ein und verwenden Sie die richtigen Einheiten und gegebenenfalls Unterstriche. *Diese Teilaufgabe erfordert keine Bearbeitung.* 3 P.

Für die folgenden Aufgabenteile sind der magnetische Widerstand des Eisens  $R_{m,\text{Fe}} = 1 \cdot 10^3 \frac{\text{A}}{\text{Vs}}$  und der des Luftspalts  $R_{m,\text{L}} = 99 \cdot 10^3 \frac{\text{A}}{\text{Vs}}$ .

EM2) Durch die Spule 1 fließt ein unbekannter konstanter Strom  $I_1$ . An einer Hall-Sonde im Luftspalt wird eine Spannung von  $U_{\text{H}} = 2 \text{ V}$  gemessen. Berechnen Sie den unbekannten Strom  $I_1$ , wenn für die Querschnittsfläche weiterhin  $A_{\text{Fe}} = 0,1 \text{ m}^2$  gilt. 4 P.

EM3) Durch die Spule 1 fließt nun ein Strom von  $i_1(t) = 0,25 \text{ mA} \cdot \sin(\omega t)$ . Der Luftspalt wird mit einer Platte aus Kunststoff mit  $\mu_{r,\text{Kunststoff}} = 396$  aufgefüllt, sodass sich der magnetische Widerstand ändert. Berechnen Sie die induzierte Spannung  $u_2(t)$  in Spule 2. 4 P.

Ein Kondensator mit dem Plattenabstand  $d$  und Luft als Dielektrikum ( $\epsilon_{\text{Luft}} = 1$ ) wird mit einer Spannungsquelle verbunden und dadurch auf  $U_0$  aufgeladen. Anschließend wird er wieder abgeklemmt.



EM4) Leiten Sie die Spannung  $U_1$  in Abhängigkeit der Spannung  $U_0$  her, die am Kondensator anliegt, wenn der gesamte Raum zwischen den Platten mit einer Isolierstoffplatte ( $\epsilon_r = 2$ ) gefüllt wird. Leiten Sie auch die Spannung  $U_2$  in Abhängigkeit der Spannung  $U_0$  her, die am Kondensator anliegt, wenn der Plattenabstand auf  $2d$  vergrößert wird? 4 P.

## Endergebnisse und Kommentare

EM2) • Stroms in Spule 1:

$$I_1 = 0,5 \text{ A}$$

EM3) • induzierte Spannung:

$$u_2(t) = 157,08 \text{ V} \cdot \cos(\omega t)$$

EM4) • Isolierstoffplatt mit  $\varepsilon_r = 2$ :

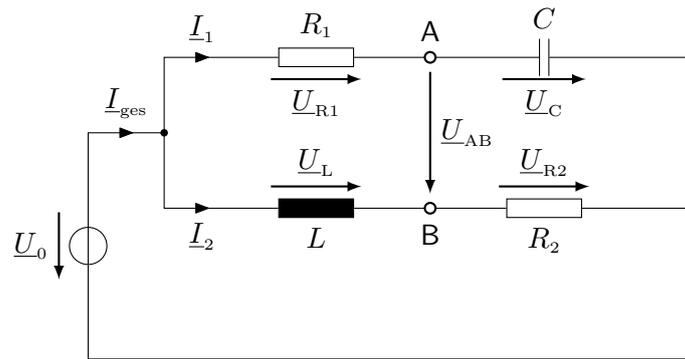
$$U_1 = \frac{U_0}{2}$$

• Verdoppelung Plattenabstand:

$$U_2 = 2 U_0$$

### 3. Wechselstrom (15 Punkte)

Gegeben ist folgende Wheatstone'sche Brücke mit  $U_0 = 50 \text{ V}$  und  $f = 50 \text{ Hz}$ :



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.* 3 P.

WS2) Bestimmen Sie die Induktivität  $L$  so, dass die Brücke abgeglichen ist ( $U_{AB} = 0$ ). Folgende Werte sind gegeben: 6 P.

$$R_1 = 10 \Omega$$

$$C = 100 \mu\text{F}$$

$$I_2 = 23,9 \text{ A} \cdot e^{-j17,4^\circ}$$

Es sei nun  $R_1 = 0 \Omega$  und die Schaltung wird bei **Phasenresonanz** ( $\text{Im}\{I_{\text{ges}}\} = 0$ ) betrieben.

WS3) Zeichnen Sie qualitativ das Zeigerbild der Ströme, zeichnen Sie auch den verwendeten Bezugszeiger ein. Achten Sie auf eine vollständige Beschriftung. 4 P.

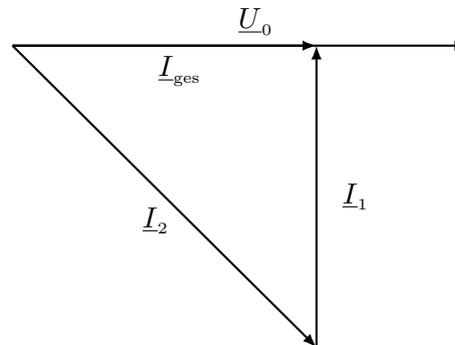
WS4) Um welche Art von Schwingkreis handelt es sich und welchen Einfluss hat dieser auf den Gesamtstrom  $I_{\text{ges}}$  bei Resonanzfrequenz? Begründen Sie Ihre Aussage kurz. 2 P.

## Endergebnisse und Kommentare

WS2) • Induktivität  $L$ :

$$L = 2 \text{ mH}$$

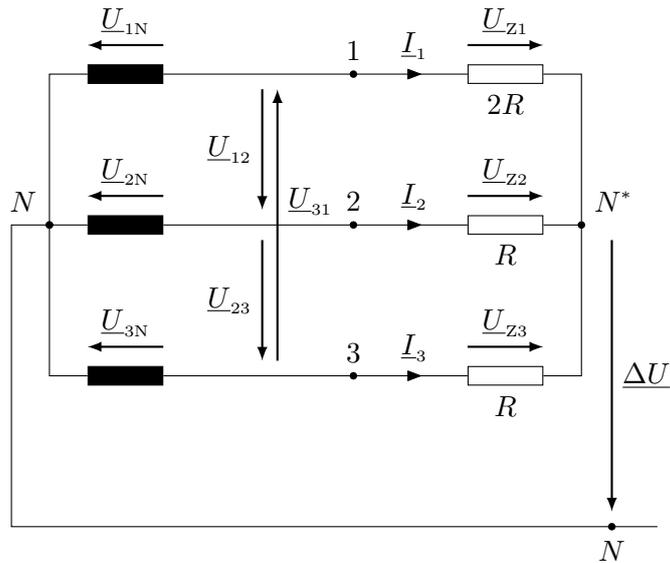
WS3) Zeigerbild der Ströme bei Phasenresonanz und  $R_1 = 0 \Omega$



WS4) Es handelt sich um einen Sperrkreis (Parallelschwingkreis), da durch die Parallelschaltung von  $L$  und  $C$  die Gesamtimpedanz  $Z_{\text{ges}}$  im Resonanzfall maximal wird. Dadurch wird der Gesamtstrom  $I_{\text{ges}}$  im Resonanzfall minimal.

## 4. Drehstrom (15 Punkte)

Gegeben ist die nachfolgend dargestellte Last in Sternschaltung ( $R = 230 \Omega$ ), die an einem symmetrischen Drehspannungssystem ( $400 \text{ V}/230 \text{ V}$ ) betrieben wird.



Gegeben sind folgende Spannungen:

$$\underline{U}_{1N} = 230 \text{ V} \cdot e^{j0^\circ}$$

$$\underline{U}_{12} = 400 \text{ V} \cdot e^{j30^\circ}$$

$$\underline{I}_1 = 0,6 \text{ A} \cdot e^{j0^\circ}$$

$$\underline{U}_{2N} = 230 \text{ V} \cdot e^{-j120^\circ}$$

$$\underline{U}_{23} = 400 \text{ V} \cdot e^{-j90^\circ}$$

$$\underline{U}_{Z2} = 211,6 \text{ V} \cdot e^{-j109^\circ}$$

$$\underline{U}_{3N} = 230 \text{ V} \cdot e^{j120^\circ}$$

$$\underline{U}_{31} = 400 \text{ V} \cdot e^{j150^\circ}$$

- 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.* 3 P.
- DS2) Bestimmen Sie die fehlenden Leiterströme und Spannungen an den Verbrauchern. **Achten Sie darauf, dass es sich um eine unsymmetrische Last ohne angeschlossenen Neutralleiter handelt!** ( $N \neq N^*$ ) 4 P.
- DS3) Zeichnen Sie das Zeigerbild der Leiter-Neutralleiterspannungen des Erzeugers  $\underline{U}_{1N}$  bis  $\underline{U}_{3N}$  und der Spannungen  $\underline{U}_{Z1}$  bis  $\underline{U}_{Z3}$  der Last. Verwenden Sie als Maßstab  $1 \text{ cm} \hat{=} 50 \text{ V}$ . 6 P.
- DS4) Bestimmen Sie den Sternpunktversatz  $\underline{\Delta U}$ . (analytisch *oder* grafisch) 2 P.

## Endergebnisse und Kommentare

DS2) • Leiterströme und Verbraucherspannung:

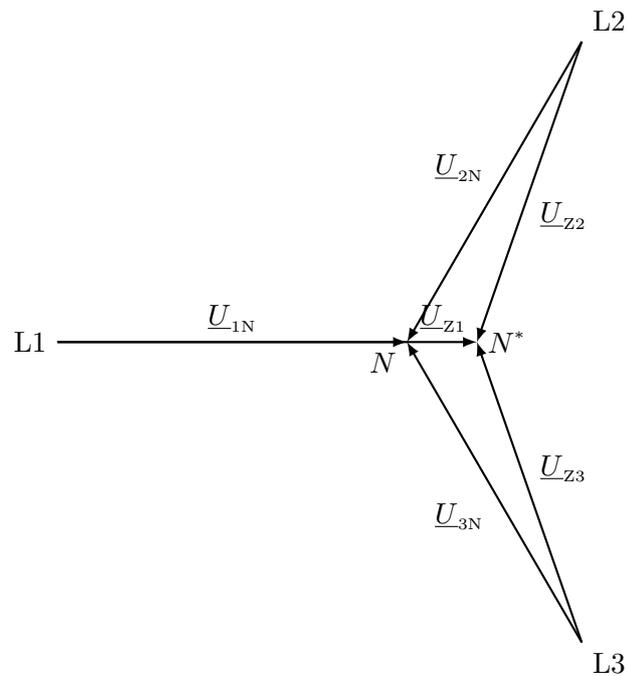
$$\underline{U}_{z1} = 276 \text{ V} \cdot e^{j0^\circ}$$

$$\underline{U}_{z3} = 211,6 \text{ V} \cdot e^{j109^\circ}$$

$$\underline{I}_2 = 0,92 \text{ A} \cdot e^{-j109^\circ}$$

$$\underline{I}_3 = 0,92 \text{ A} \cdot e^{j109^\circ}$$

DS3) Zeigerbild:



DS4) • Sternpunktversatzes  $\underline{\Delta U}$ :

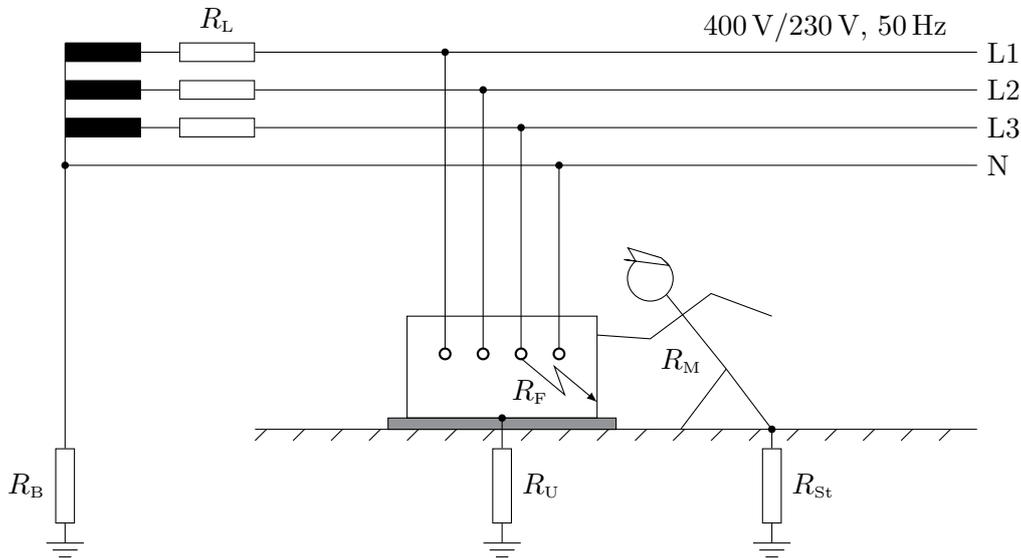
$$\underline{\Delta U} = 46,12 \text{ V} \cdot e^{j180^\circ}$$

## 5. Schutzmaßnahmen (15 Punkte)

Eine Maschine hat einen Gehäuseschluss des Leiters L3. Die Maschine ist nicht eingeschaltet ( $R_V \rightarrow \infty$ ) und steht auf isoliertem Untergrund ( $R_U \rightarrow \infty$ ).

Nehmen Sie an, dass alle berührbaren Teile der Maschine aus einem gut leitenden Material bestehen. Die maximal zulässige Berührungsspannung über den Menschen, modelliert mit  $R_M$ , beträgt  $U_B = 50 \text{ V}$ .

**Hinweis:** Es wird immer empfohlen ein Ersatzschaltbild zugrunde zu legen, auch wenn die Aufgabenstellung dies nicht explizit fordert.



Folgende Werte sind gegeben:

$$\begin{aligned} R_L &= 2 \Omega & R_F &= 10 \Omega & R_M &= 3 \text{ k}\Omega \\ R_{St} &= 500 \Omega & R_B &= 1 \Omega & & \end{aligned}$$

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.* 3 P.

Als Schutzmaßnahme wird nun die „Schutzerdung“ genutzt. Dazu wird die Maschine am Standort mit einem Erdungswiderstand  $R_E$  direkt geerdet. Der Untergrund ist weiterhin isolierend ( $R_U \rightarrow \infty$ ).

SM2) Erläutern Sie die Wirkungsweise der Schutzerdung. In welcher Größenordnung sollte der Erdungswiderstand liegen? 2 P.

SM3) Legen Sie den Erdungswiderstand  $R_E$  so aus, sodass im Fehlerfall der Strom durch den Menschen  $I_{M,max} = 10 \text{ mA}$  nicht überschreitet. 4 P.

Als Schutzmaßnahme wird im Folgenden **nicht** mehr die Schutzerdung betrachtet, sondern die Maschine an den Schutzleiter des Netzes mit dem Widerstand  $R_{PE}$  angeschlossen (TN-S-Netz).

SM4) Durch einen Defekt der Isoliermatte hat die Maschine nun einen Übergangswiderstand zur Erde von  $R_U = 1000 \Omega$ . Legen Sie den Schutzleiterwiderstand  $R_{PE}$  so aus, sodass für den vorliegenden Fehlerfall der Strom durch den Menschen weiterhin  $I_{M,max} = 10 \text{ mA}$  nicht überschreitet. 6 P.

## Endergebnisse und Kommentare

SM2) Der Erdungswiderstand bildet mit dem Körperwiderstand des Menschen  $R_M$  und dem Standortwiderstand  $R_{St}$  eine Parallelschaltung, sodass sich der Fehlerstrom nach der Stromteilerregel entsprechend der Verhältnisse der Widerstände aufteilt. Je kleiner die Schutzerdung ist, desto kleiner ist der Strom durch den Menschen ( $R_E \ll R_M$ ). Üblicherweise ist  $R_E$  nur wenige Ohm groß.

SM3) • Erdungswiderstand:

$$R_E = 2,33 \Omega$$

SM4) • Schutzleiterwiderstand:

$$R_{PE} = 2,16 \Omega$$

## 6. Transformator (15 Punkte)

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.* 3 P.

Gegeben ist ein einphasiger Transformator mit folgenden Daten:

$$\ddot{u} = \frac{N_1}{N_2} = 4 \qquad U_{1N} = 230 \text{ V} \qquad I_{1N} = 12 \text{ A} \qquad f = 50 \text{ Hz}$$

Folgende Annahmen sind zulässig:  $X_h \gg X_{\sigma 1}$ ,  $R_{Fe} \gg R_1$ ,  $X_{\sigma 1} = X'_{\sigma 2}$  und  $R_1 = R'_2$ .

TR2) Beim Kurzschlussversuch wird die Sekundärseite des Transformators kurzgeschlossen und die primärseitige Spannung so eingestellt, dass der Nennstrom fließt. Folgende Daten sind mit diesem Versuch gemessen worden: 8 P.

$$U_{1K} = 18 \text{ V} \qquad P_K = 75 \text{ W}$$

Bestimmen Sie den ohmschen Widerstand  $R_2$  und den Streublindwiderstand  $X_{\sigma 2}$  der Sekundärwicklung.

Für den folgenden Aufgabenteil wird ein anderer Transformator mit folgenden Daten verwendet:

$$\ddot{u} = \frac{N_1}{N_2} = 1 \qquad S_N = 4000 \text{ VA} \qquad U_{1N} = 230 \text{ V} \qquad f = 50 \text{ Hz}$$

Folgende Annahmen sind zulässig:  $X_h \gg X_{\sigma 1}$ ,  $R_{Fe} \gg R_1$ ,  $X_{\sigma 1} = X'_{\sigma 2}$  und  $R_1 = R'_2$ .

Mit Hilfe des Leerlauf- und Kurzschlussversuchs wurden folgende Daten ermittelt:

$$\begin{aligned} R_K &= 0,866 \Omega & R_{Fe} &= 1769,23 \Omega \\ X_K &= 1,732 \Omega & X_h &= 310,81 \Omega \end{aligned}$$

TR3) An den Transformator wird eine ohmsch-induktive Last  $Z_{Last} = 25 \Omega \cdot e^{j30^\circ}$  angeschlossen. Zeichnen Sie das für diesen Versuch gültige Ersatzschaltbild und berechnen Sie die an der Last anliegende Spannung  $\underline{U}_{Last}$  nach Betrag und Phase. 4 P.

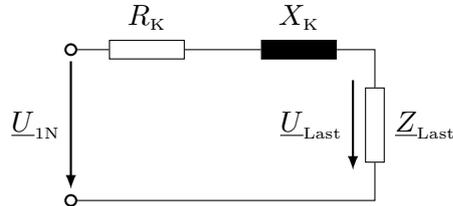
## Endergebnisse und Kommentare

TR2) • Kurzschlussversuch:

$$R_2 = 16,25 \text{ m}\Omega$$

$$X_{\sigma 2} = 44,38 \text{ m}\Omega$$

TR3) • Ersatzschaltbild:



• Spannung an der Last:

$$\underline{U}_{Last} = 215,75 \text{ V} \cdot e^{-j2,3^\circ}$$