

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!

Aufgabe:	GS	EM	WS	DS	SM	TR	gesamt
Punkte:	15	15	15	15	15	15	90
Erreicht:							

Klausurbedingungen

Die Prüfung wird unter Einhaltung der Allgemeine Prüfungsordnung (APO) der TU Clausthal in ihrer jeweils gültigen Fassung und den aktuell geltenden universitätsinternen infektionspräventiven Schutzmaßnahmen zur Eindämmung des Coronavirus SARS-Cov-2 und dessen Varianten durchgeführt.

Prüfungsfähigkeit

- Mit Ihrer Unterschrift auf dem Deckblatt erklären Sie sich einverstanden und gesundheitlich in der Lage, an der Prüfung teilzunehmen.

Punktevergabe - Allgemein

- Die Bewertung der einzelnen Aufgaben und Teilschritte erfolgt anhand des in der Musterlösung vorgeschlagenen und definierten Punkteschlüssels. Dabei sind neben dem einfachsten und schnellsten Lösungsweg auch Alternativlösungswege aufgeführt, die wiederum einen Punkteschlüssel mit gleicher Punktzahl beinhalten.
- Musterlösung und Punkteschlüssel können während der Klausureinsicht eingesehen werden.
- Die Bewertung Ihres Lösungsweges erfolgt ohne Berücksichtigung der formalen Richtigkeit des Lösungsweges, sodass auch ein formal falscher aber nachvollziehbarer Lösungsweg, mit den in der Musterlösung angegebenen Punkten bewertet wird.
- Nicht nachvollziehbare Ergebnisse werden mit 0 P. bewertet.

Punktevergabe der formalen Bewertung

- Die Anzahl an erreichbaren Punkten zur Bewertung der formalen Richtigkeit einer Aufgabe richtet sich nach den erreichbaren Punkten der bearbeiteten Teilaufgaben. Eine Teilaufgabe gilt als bearbeitet, wenn ein zu der Aufgabenstellung passender Ansatz notiert wurde. Die Punkte zur Bewertung der formalen Richtigkeit sind wie folgt gestaffelt:

$$\leq 4 \text{ P.} \Rightarrow \text{max. } 1 \text{ P.}$$

$$\leq 8 \text{ P.} \Rightarrow \text{max. } 2 \text{ P.}$$

$$\leq 12 \text{ P.} \Rightarrow \text{max. } 3 \text{ P.}$$

Beispiel:

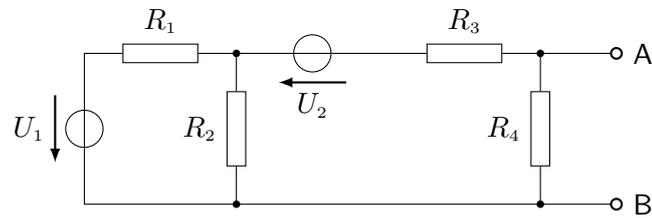
Wurden zwei Teilaufgaben eines Aufgabenblocks mit einer Gesamtpunktzahl von 6 P. angefangen zu bearbeiten, können für diesen Aufgabenblock nach obigem Schlüssel max. 2 P. für die Bewertung der formale Richtigkeit erreicht werden.

- Jeder formale Fehler führt zu einer Nichtvergabe von 1 P. bei der Bewertung. Die minimale Punktzahl ist 0 P. (für die formale Bewertung).
- Für jeden Aufgabenblock gibt es einen Toleranzfehler, sodass erst ab dem zweiten Fehler Punkte bei der Bewertung der formalen Richtigkeit nicht gegeben werden können.

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.



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

$$R_1 = 2 \Omega$$

$$R_3 = 3 \Omega$$

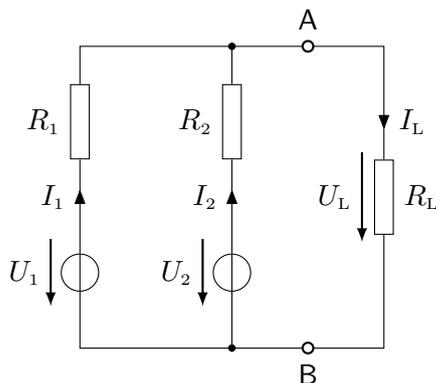
$$U_2 = 11 \text{ V}$$

$$R_2 = 2 \Omega$$

$$R_4 = 4 \Omega$$

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.



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

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

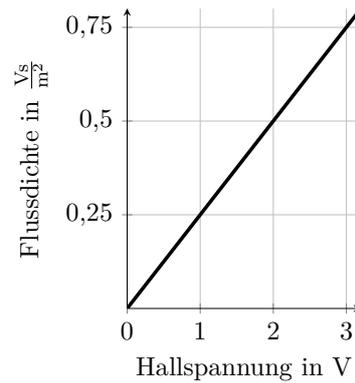
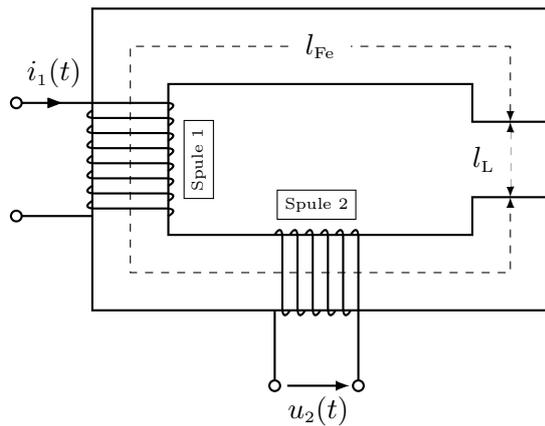
$$R_1 = 0,15 \Omega$$

$$R_2 = 0,1 \Omega$$

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.*)

2. Elektrisches und magnetisches Feld (15 Punkte)

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



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

$$\mu_r = 3000$$

$$N_1 = 10000$$

$$N_2 = 250$$

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

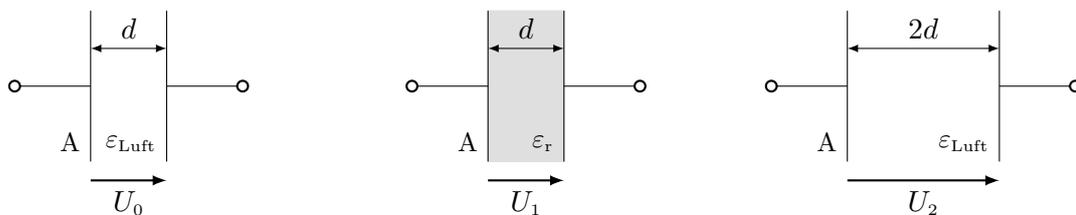
EM1) Geben Sie bei allen Teilaufgaben einen Ansatz mit entsprechenden Indizes an, setzen Sie auch in Zwischenschritten Zahlenwerte ein und verwenden Sie die richtigen Einheiten und gegebenenfalls Unterstriche. *Diese Teilaufgabe erfordert keine Bearbeitung.* 3 P.

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 unbekanntesten 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.

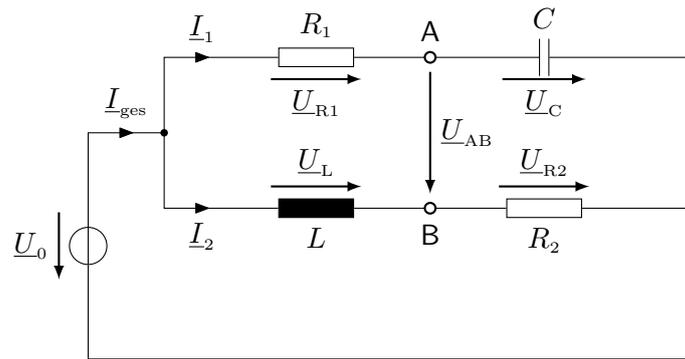
Ein Kondensator mit dem Plattenabstand d und Luft als Dielektrikum ($\epsilon_{\text{Luft}} = 1$) wird mit einer Spannungsquelle verbunden und dadurch auf U_0 aufgeladen. Anschließend wird er wieder abgeklemmt.



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.

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.

$$R_1 = 10 \Omega$$

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

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

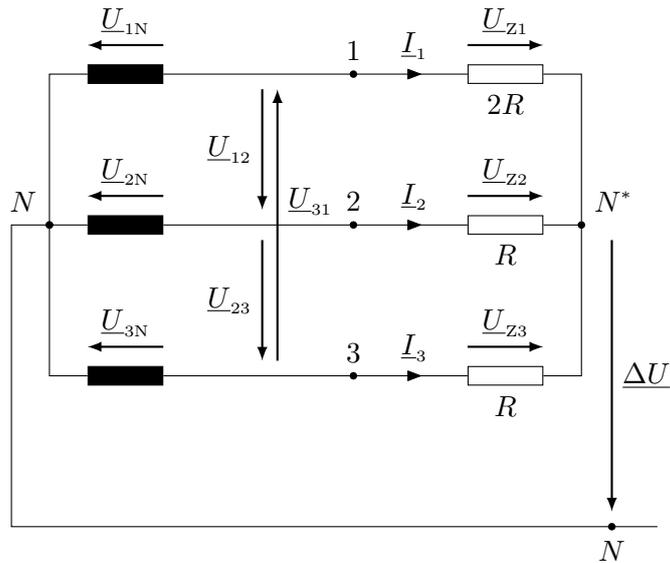
Es sei nun $R_1 = 0 \Omega$ und die Schaltung wird bei **Phasenresonanz** ($\text{Im}\{I_{\text{ges}}\} = 0$) betrieben.

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_{ges} bei Resonanzfrequenz? Begründen Sie Ihre Aussage kurz. 2 P.

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:

$$\begin{aligned} \underline{U}_{1N} &= 230 \text{ V} \cdot e^{j0^\circ} & \underline{U}_{12} &= 400 \text{ V} \cdot e^{j30^\circ} & \underline{I}_1 &= 0,6 \text{ A} \cdot e^{j0^\circ} \\ \underline{U}_{2N} &= 230 \text{ V} \cdot e^{-j120^\circ} & \underline{U}_{23} &= 400 \text{ V} \cdot e^{-j90^\circ} & \underline{U}_{Z2} &= 211,6 \text{ V} \cdot e^{-j109^\circ} \\ \underline{U}_{3N} &= 230 \text{ V} \cdot e^{j120^\circ} & \underline{U}_{31} &= 400 \text{ V} \cdot e^{j150^\circ} & & \end{aligned}$$

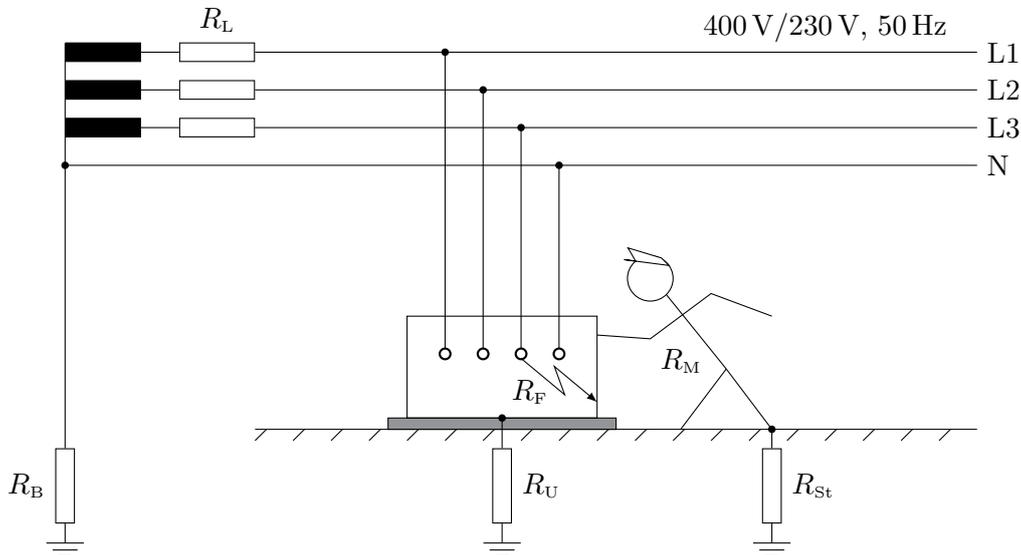
- DS1) Geben Sie bei allen Teilaufgaben einen Ansatz mit entsprechenden Indizes an, setzen Sie auch in Zwischenschritten Zahlenwerte ein und verwenden Sie die richtigen Einheiten und gegebenenfalls Unterstriche. *Diese Teilaufgabe erfordert keine Bearbeitung.* 3 P.
- DS2) Bestimmen Sie die fehlenden 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 ΔU . (analytisch *oder* grafisch) 2 P.

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:

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

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.

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.