

OTTO - VON - GUERICKE - UNIVERSITÄT - MAGDEBURG



Lösungen zur Aufgabensammlung
Elektrotechnik/Elektronik

Prof. Dr.-Ing. habil. F. Palis
Dr.-Ing. E. Weise
Dipl. Ing. M. Maiwald

Fakultät Elektrotechnik
Institut Elektroantriebstechnik



D-BIATTL.doc

Inhaltsverzeichnis

Berechnung von Gleichstromkreisen	2
Elektrisches Feld	15
Magnetisches Feld	18
Wechselstromkreis	20
Drehstromtechnik	23
Elektronik/Leistungselektronik	24
Elektrische Antriebe	26
Transformator	28
Asynchronmaschine	28

Berechnung von Gleichstromkreisen

1. a) $q(t) = 10 \text{ A/s} \cdot t^2$ $i(t) = 2 \cdot 10 \text{ As} \cdot t$
 b) $q(t) = 1/\pi \{ \sin(\omega t + 45^\circ) \} \text{ As}$ $i(t) = 100 \cdot \text{As} \cdot \cos(\omega t + 45^\circ)$
 $\omega = 314 \text{ s}^{-1} = 2 \cdot \pi \cdot f$
 c) $i(t) = 0$ für $t < 0$ $q(t) = 0 \text{ As}$

wenn kein Strom fließt, wurden keine Ladungsträger bewegt!

$$i(t) = 1 \text{ A/s} \cdot t \quad \text{für } 0 < t < 2\text{s} \qquad q(t) = 2 \text{ As}$$

mit $q(t)_{t=0} = 0$ folgt, daß $C = 0$!

2 As ist die Ladungsmenge, die in der Zeit von 0 bis 2s bewegt wurde !

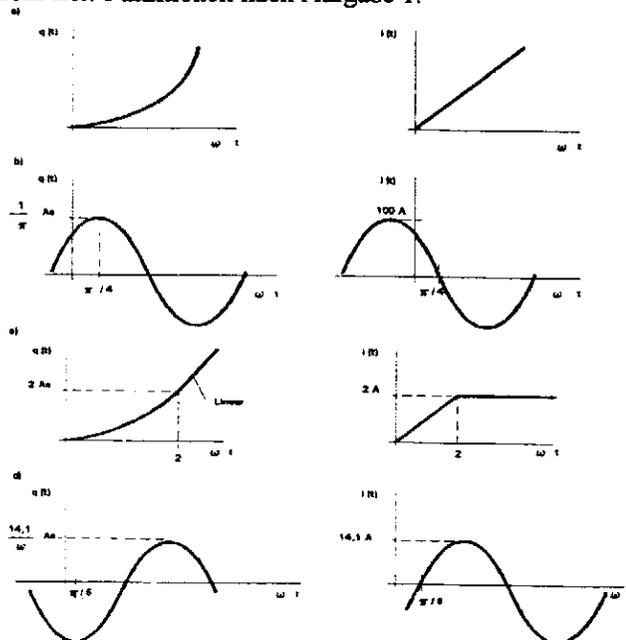
$$i(t) = 2 \text{ A} \quad \text{für } t > 2\text{s} \qquad q(t) = 2 \cdot t \text{ A} + C$$

Aus vorhergehendem Intervall ergibt sich bei $t=2\text{s}$ der Wert $q=2 \text{ As}$.

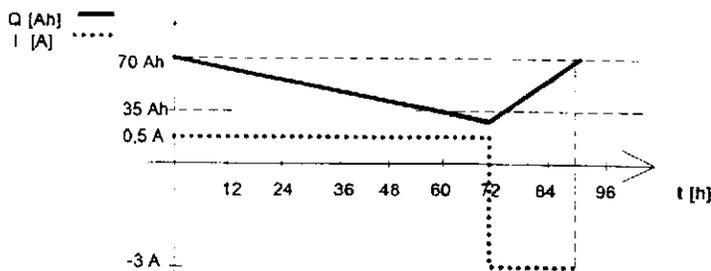
Damit ist $C = -2 \text{ As}$

d) $i(t) = \sqrt{2} \cdot 10 \{ \sin(\omega t - 30^\circ) \} \text{ A}$ $q(t) = -14,14 \cdot 1/\omega \cdot \cos(\omega t - 30^\circ) \text{ A}$

Ladungs- und Strom-Zeit-Funktionen nach Aufgabe 1:



2. $Q_{\text{Anfang}} = 70 \text{ Ah}$ $I = - \frac{dQ}{dt}$, d.h. wenn $\frac{dQ}{dt} < 0$, dann wird $I > 0$
 a) $Q_{\text{Ende}} = 34 \text{ Ah}$
 b) $Q_{\text{Lade}} = 40 \text{ Ah}$ $t_{\text{Lade}} = 13,33 \text{ h}$
 c) Entlade-Lade-Zyklus



3. $t = 10 \text{ min} = 600 \text{ s}$ $Q = 18 \text{ As}$ $I = \underline{0,03 \text{ A}}$
 wenn $I = 1 \text{ mA}$: $Q = \underline{10^{-3} \text{ As}}$

a) $n = \underline{6,2 \cdot 10^{15}}$

n - Anzahl Ladungsträger
 q_- - Elementarladung des Elektrons $1,602 \cdot 10^{-19} \text{ As}$
 q_+ - Elementarladung des Protons

b) $n = \underline{3,1 \cdot 10^{15}}$

c) $v = 0,095238 \frac{\text{m}}{\text{s}} = \underline{9,5238 \text{ cm/s}}$

4. $\Delta\theta = \underline{2080 \text{ K}}$

mit α : $R_\theta = \frac{R_\theta}{1 + \alpha \Delta\theta} = \underline{38,59 \Omega}$ Näherung mit α allein gilt nur bis ca. 200°C !

mit β : $R_\theta = \frac{R_\theta}{1 + \alpha \Delta\theta + \beta (\Delta\theta)^2} = \underline{28,69 \Omega}$

$\frac{R_\theta}{R_{0\alpha}} = \underline{12,54}$

$\frac{R_\theta}{R_{0\beta}} = \underline{16,866}$

5. $\alpha_{\text{Cu}} = 3,92 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$
 $\alpha_{\text{M}} = 0,02 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$

Drehspulwiderstand Cu: $R_{30} = R_{20} \cdot 1,01$ $\frac{R_{20}}{100\%} = \frac{R_{20} \cdot 1,01}{X}$

$X = \underline{101\%}$ *101%*

Gesamtwiderstand Cu + M : $R_{20} = \underline{100 \Omega}$ $R_{\text{Cu}30} = \underline{20,2 \Omega}$
 $R_{\text{M}30} = \underline{80,016 \Omega}$ $R_{30} = \underline{100,216 \Omega}$
 $\frac{100 \Omega}{100\%} = \frac{100,216 \Omega}{X}$ $X = \underline{0,216\%}$

6. $\Delta\theta = 100 \text{ K}$

$\alpha_{\text{Cu}} = 0,00392 \text{ K}^{-1}$

$\frac{I_{e120^\circ\text{C}}}{I_{e20^\circ\text{C}}} = \frac{R_{20^\circ\text{C}}}{R_{120^\circ\text{C}}} = \frac{1}{1,43} = \underline{0,718}$ (71,8 %)

7. $\kappa_{\text{Cu}} = 57,1 \text{ S m mm}^{-2}$

$\rho_{\text{Cu}} = 0,0175 \Omega \text{ mm}^2 \text{ m}^{-1}$

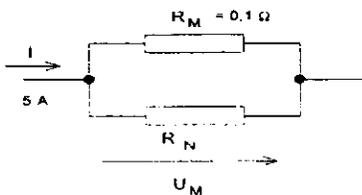
$A = \frac{\pi d^2}{4} = 3,14 \text{ mm}^2$

$l = \frac{R A}{\rho} = 23480,4 \text{ m}$

=====

Fehlerstelle bei $\frac{l}{2}$!

8.



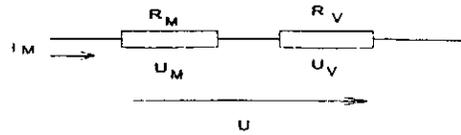
R_N ist der Parallelwiderstand, R_M der Widerstand des Strommessers.

$I_N = 4,9 \text{ A}$ $U_M = 0,01 \text{ V}$ oder : $\frac{I_M}{I_N} = \frac{R_N}{R_M}$ $R_N = \underline{0,002041 \Omega}$

$R_N = \frac{I_M R_M}{I_N} = \underline{0,002041 \Omega}$

Korrekturfaktor : $K = 50$ Gesamtwiderstand : $R_i = 0,02 \Omega$

9.



$$U_V = \underline{245 \text{ V}}$$

Lösung mit ohmschem Gesetz:

$$I_M = \underline{0,5 \text{ mA}}$$

$$R_V = \underline{490000 \Omega}$$

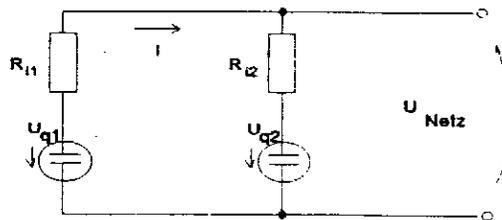
Der Vorwiderstand beträgt 490 k Ω .

Lösung mit Spannungsteiler: $\frac{U_V}{U_M} = \frac{R_V}{R_M}$

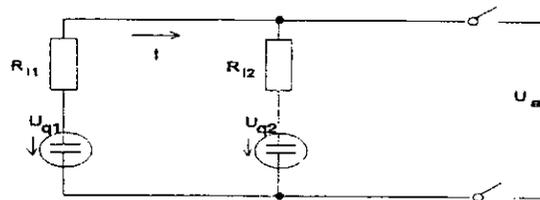
$$R_V = \underline{490000 \Omega}$$

Korrekturwert der Skala: $K = 50$ $R_{\text{Voltmeter}} = R_M + R_V = \underline{500000 \Omega}$

10.a) Ersatzschaltbild:



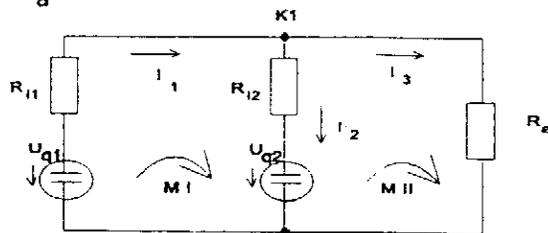
b) Abgeschaltetes Netz:



Maschengleichung ohne Außenwiderstand:

$$I = \underline{83,33 \text{ A}}$$

c) Netzbetrieb mit $R_a = 20 \Omega$:



$$I_1 = \frac{+U_{q1} - U_{q2} + \frac{U_{q2} R_{i2}}{R_{i2} + R_a}}{R_{i1} + R_{i2} - \frac{R_{i2}^2}{R_{i2} + R_a}} = \frac{5,33 \text{ V}}{0,059955 \text{ W}} = \underline{88,89 \text{ A}}$$

Bei zugeschaltetem

Netz mit dem gegebenen R_a ergibt sich ein Strom I_1 von 88,89 A.

$$I_2 = \underline{77,77 \text{ A}}$$

$$I_3 = \underline{11,11 \text{ A}}$$

$$\text{Netzspannung: } U_a = I_3 \cdot R_a = \underline{222,26 \text{ V}}$$

d) Interpretation der erhaltenen Ergebnisse:

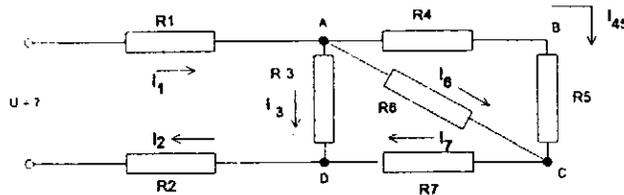
Bei nur 5 V Spannungsdifferenz und 11 A Laststrom werden die Generatoren mit 89 A und 78 A belastet !

11.

$$\begin{aligned}
 R_{\text{ges}} &= \underline{38 \Omega} \checkmark & R_1 // R_2 &= \underline{18 \Omega} \checkmark & R_4 // R_5 // R_6 &= \underline{15 \Omega} \checkmark \\
 I_{\text{ges}} &= \underline{6,05 A} \\
 U_{12} &= \underline{108,9 V} \checkmark & I_1 &= \underline{2,42 A} \checkmark & I_2 &= \underline{3,63 A} \checkmark \\
 U_3 &= \underline{30,25 V} \checkmark & I_3 &= I_{\text{ges}} \\
 U_{456} &= \underline{90,75 V} \checkmark & I_5 &= \underline{3,02 A} \checkmark & I_4 &= \underline{2,01 A} \checkmark \\
 U_{\text{ges}} &= \underline{229,9 V} & I_6 &= \underline{1,008 A} \checkmark
 \end{aligned}$$

Andere Möglichkeit der Berechnung : Stromteilerregel anwenden !

12.



$$\begin{aligned}
 U_{AC} &= U_6 = \underline{15 V} \\
 I_{45} &= \underline{0,5 A} & I_7 &= \underline{1,5 A} & I_3 &= \underline{0,75 A} \\
 U_{CD} &= U_7 = \underline{15 V} & I_1 &= \underline{2,25 A} \text{ Knoten A} \\
 U_{AD} &= U_3 = \underline{30 V} & I_2 &= \underline{2,25 A} \text{ Knoten D} \\
 U_1 &= \underline{33,75 V} & U_2 &= \underline{56,25 V} & U &= \underline{120 V}
 \end{aligned}$$

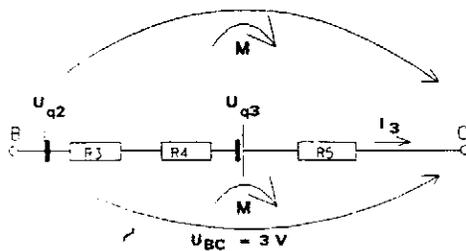
13.a)

$$\begin{aligned}
 \text{M I : } & -I_1(R_{19} + R_{20}) - I_2 R_1 + I_4 R_2 - I_7 (R_{17} + R_{18}) - U_{q5} + U_{q6} - U_{q7} = 0 \\
 \text{M II : } & + I_3(R_3 + R_4 + R_5) - I_4 R_2 + I_6 R_7 + U_{q2} - U_{q3} + U_{q5} = 0 \\
 \text{M III : } & + I_5 R_6 + I_{10} R_8 - I_6 R_7 + U_{q4} = 0 \\
 \text{M IV : } & - I_9 R_{10} - I_{10} R_8 - I_{13} R_{16} - U_{q4} = 0 \\
 \text{M V : } & + I_7 (R_{17} + R_{18}) + I_8 (R_{14} + R_{15}) + I_{13} R_{16} + U_{q7} = 0 \\
 \text{M VI : } & + I_{12} (R_{11} + R_{12} + R_{13}) + I_9 R_{10} - I_{11} R_9 + U_{q9} + U_{q10} - U_{q8} = 0
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{K A : } & I_1 + I_2 = I_3 \\
 \text{K B : } & I_4 + I_2 + I_3 = 0 \\
 \text{K C : } & I_c + I_3 = I_6 + I_5 \\
 \text{K D : } & I_4 + I_6 + I_{10} + I_7 = I_{13} \\
 \text{K E : } & I_5 + I_{11} + I_9 = I_{10} \\
 \text{K F : } & I_f + I_{13} + I_{12} = I_9 + I_8 \\
 \text{K G : } & I_g = I_{11} + I_{12} \\
 \text{K H : } & I_h + I_1 + I_8 = I_7
 \end{aligned}$$

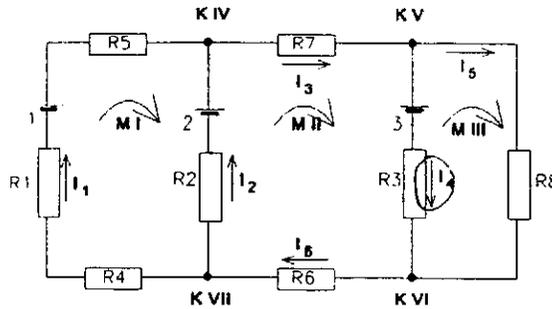
b) Äußeren Knotenpunktsatz (Gesamtknoten) anwenden: $I_c = \underline{-23 A}$

c)



$$\begin{aligned}
 \text{Masche unter den Zweig gelegt: } & + I_3(R_3 + R_4 + R_5) - U_{BC} + U_{q2} - U_{q3} = 0 \\
 & + I_3 = -0,04 A = \underline{-40 mA} \\
 \text{Masche über den Zweig gelegt: } & - I_3(R_3 + R_4 + R_5) + U_{BC} - U_{q2} + U_{q3} = 0 \\
 & - I_3 = -0,04 A = \underline{-40 mA}
 \end{aligned}$$

14.



Aufstellung des Gleichungssystems:

M I : $I_1 (R_1 + R_4 + R_5) - I_2 R_2$
 $I_1 (12\Omega) - I_2 2\Omega$

M II : $+ I_2 R_2 + I_3 R_7 + I_4 R_3$
 $+ I_2 2\Omega + I_3 5\Omega + I_4 2\Omega$

M III : $- I_4 R_3 + I_5 R_8$
 $- I_4 2\Omega + I_5 40\Omega$

$- U_{q1} + U_{q2} = 0$
 $- 50 V + 50 V = 0$
 $+ I_6 R_6 - U_{q2} + U_{q3} = 0$
 $+ I_6 5\Omega - 50 V + 50 V = 0$
 $- U_{q3} = 0$
 $- 50 V = 0$

K IV : $+ I_1 + I_2 - I_3 = 0$

K V : $+ I_3 - I_4 - I_5 = 0$

K VI : $+ I_4 + I_5 - I_6 = 0$

K VII: $- I_1 - I_2 + I_6 = 0$

a) Lösung mit Cramerscher Regel für Strom I_2 (Determinanten hier in runden Klammern)

$$\begin{pmatrix} 12 & -2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 5 & 2 & 0 & 5 \\ 0 & 0 & 0 & -2 & 40 & 0 \\ 1 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \\ I_6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 50 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Koeffizienten-
determinante det
(Widerstandswerte)

Determinante
der Veränder-
lichen (I_j)

Ergebnis-
determinante
(Summe der Quellspannungen)

$\det = -8008$ D.h., es existiert eine eindeutig bestimmte Lösung !! und z.B.

$\det I_2 = -1200$

$I_2 = \frac{\det I_2}{\det} = \frac{-1200}{-8008} = 0,149 \text{ (A)}$

b) Lösung mit Gauß'schem Algorithmus

Die Anzahl der Veränderlichen (I_n) im Gleichungssystem mit n Gleichungen wird reduziert, indem z.B. der Koeffizient (Summe der Widerstände) der Veränderlichen I_1 einer ersten Gleichung mit einem bestimmten Faktor so multipliziert wird, daß durch eine Addition oder Subtraktion dieser ersten Gleichung zu einer zweiten eine Gleichung entsteht, die die Veränderliche I_1 nicht mehr enthält. Dieser Vorgang wird so oft wiederholt, bis alle Glieder in den verschiedenen Gleichungen, die I_1 enthalten, eliminiert sind. Die Multiplikation mit dem Faktor muß dabei mit allen Koeffizienten der Gleichung erfolgen. Als Ergebnis erhält man ein Gleichungssystem, in dem sich die Anzahl der Gleichungen auf (n-1) reduziert hat.

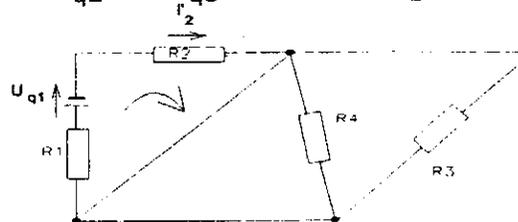
Dieser Vorgang wird für die restlichen Veränderlichen (I_2, I_3, \dots, I_n) wiederholt, bis ein gestaffeltes Gleichungssystem entstanden ist, aus dem sich der Reihe nach, beginnend mit I_n aus der letzten Gleichung, die Veränderlichen berechnen lassen.

Nach Weg a) oder b) ergeben sich folgende Ströme:

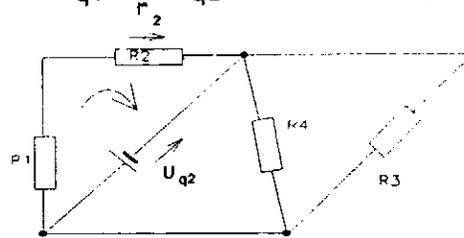
$I_1 = 0,025 \text{ A} \quad I_2 = 0,15 \text{ A} \quad I_3 = 0,17 \text{ A} \quad I_4 = -1,025 \text{ A} \quad I_5 = 1,2 \text{ A} \quad I_6 = 0,17 \text{ A}$

15. Superpositionsprinzip:

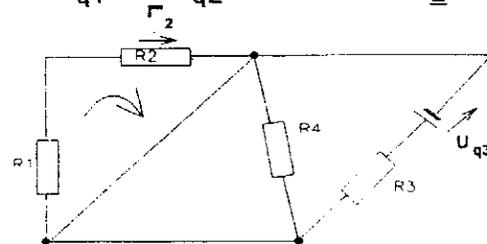
a) Kurzschluß von U_{q2} und U_{q3} $I'_2 = -0,66 \text{ A}$



b) Kurzschluß von U_{q1} und U_{q3} $I''_2 = 1,33 \text{ A}$



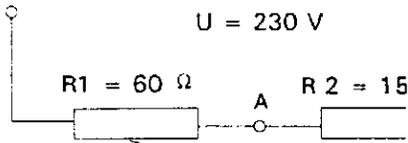
c) Kurzschluß von U_{q1} und U_{q2} $I'''_2 = 0$



d) Berechnung von I_2

$$I_2 = -I'_2 + I''_2 + I'''_2 = -0,66 \text{ A} + 1,33 \text{ A} + 0 = \underline{0,67 \text{ A}}$$

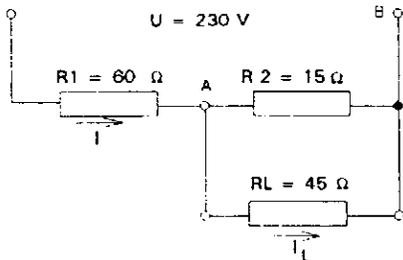
16. a)



$$U_{AB} = \underline{46 \text{ V}}$$

$$I = \underline{0,61 \text{ A}}$$

b)

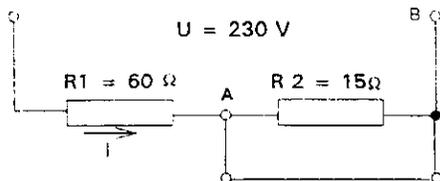


$$U_{AB} = \underline{36,31 \text{ V}}$$

$$I = \underline{3,22 \text{ A}}$$

$$I_L = \underline{0,8 \text{ A}}$$

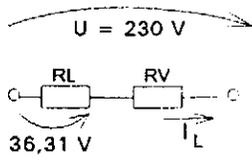
c)



$$I = \underline{3,83 \text{ A}}$$

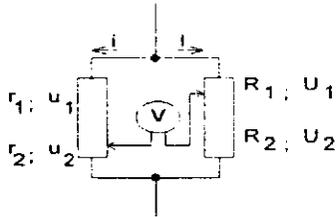
d) $\eta = 0,039 = \underline{3,9\%}$

e)



$\eta = 0,158 = \underline{15,8\%}$ $I_L = \underline{0,8\text{ A}}$ $R_V = \underline{242\ \Omega}$

17.



$r = \frac{\rho \cdot l}{A}$ $r_1 = f(I_1)$ $r_2 = f(I_2)$ $R_x \cdot r_2 = R \cdot r_1$

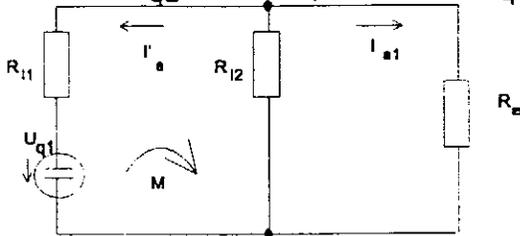
$R_x = \underline{6\ \Omega}$

18.

Aufgabe 10 (Netzbetrieb)

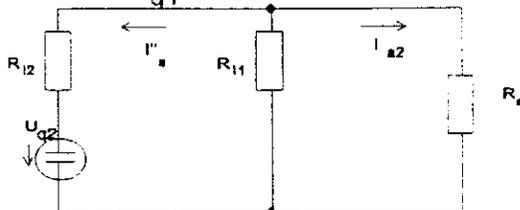
a) Lösung mit Überlagerungssatz

- Kurzschluß von U_{q2} : $R_i = 0,035\ \Omega$; $U_{q1} = 230\text{ V}$; $U_{q2} = 225\text{ V}$



$I_{a1} = \underline{5,7449\text{ A}}$

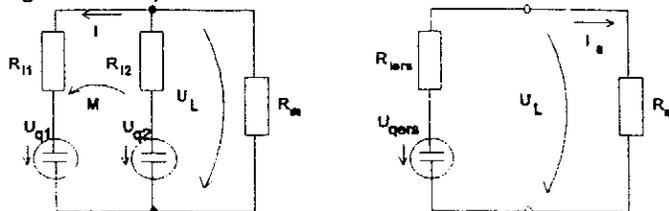
- Kurzschluß von U_{q1} :



$I_{a2} = \underline{5,623\text{ A}}$

$I_a = I_{a1} + I_{a2} = \underline{11,368\text{ A}}$ (Aufgabe 10: $I_3 = 11,11\text{ A}$)

b) Lösung mit Zweipoltheorie



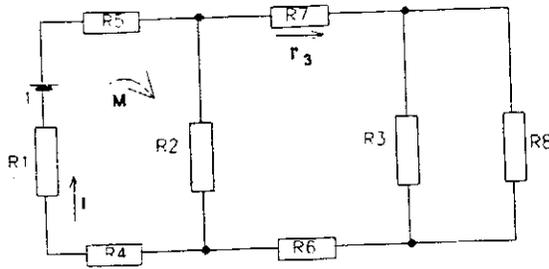
$R_{i\text{ers}} = R_{11} // R_{12} = \underline{0,0175\ \Omega}$ $U_{q\text{ers}} = U_L$ $I = \underline{71,42\text{ A}}$

$U_L = \underline{227,5\text{ V}}$ $I_a = \frac{U_{q\text{ers}}}{R_{i\text{ers}} + R_a} = \underline{11,36\text{ A}}$

Aufgabe 14

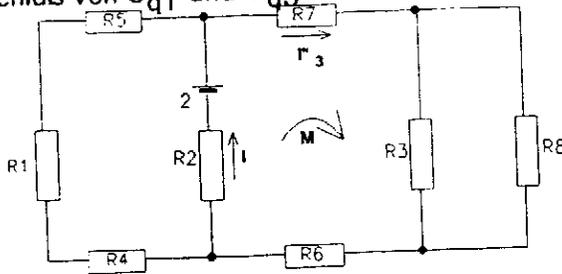
a) Lösung mit Überlagerungssatz für den Strom I_3

- Kurzschluß von U_{q2} und U_{q3} :



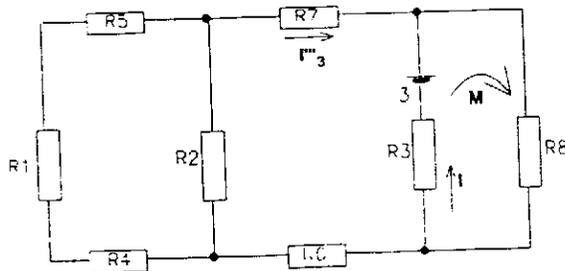
$$I'_3 = \underline{0,52 \text{ A}}$$

- Kurzschluß von U_{q1} und U_{q3} :



$$I''_3 = \underline{3,144 \text{ A}}$$

- Kurzschluß von U_{q1} und U_{q2} :

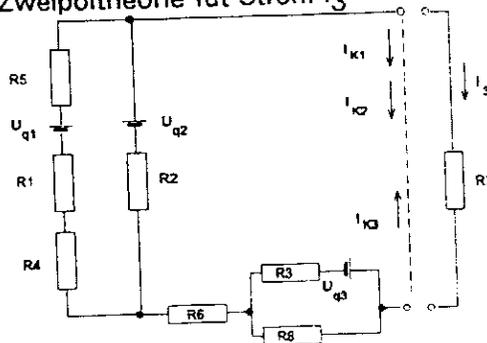


$$I'''_3 = \underline{3,4965 \text{ A}}$$

Berechnung von I_3 :

$$I_3 = I'_3 + I''_3 - I'''_3 = \underline{0,17 \text{ A}}$$

b) Lösung mit Zweipoltheorie für Strom I_3



- Kurzschluß von U_{q2} und U_{q3} :

$$R_{ges1} = 13,55 \Omega \quad I_{ges} = \underline{3,689 \text{ A}} \quad I_{k1} = \underline{0,8287 \text{ A}}$$

- Kurzschluß von U_{q1} und U_{q3} :

$$R_{ges2} = 6,3828 \Omega \quad I_{ges} = \underline{7,833 \text{ A}} \quad I_{k2} = \underline{4,9723 \text{ A}}$$

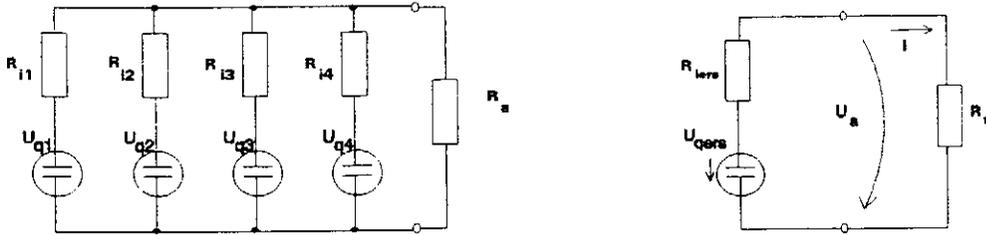
- Kurzschluß von U_{q1} und U_{q2} :

$$R_{ges3} = 7,749 \Omega \quad I_{ges} = \underline{6,4522 \text{ A}} \quad I_{k3} = \underline{5,5248 \text{ A}}$$

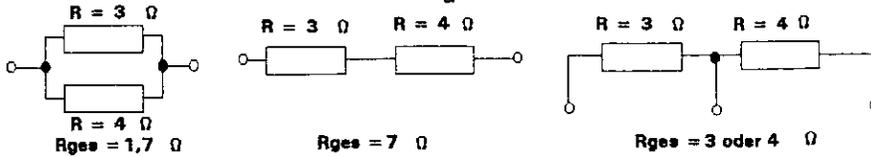
- I_3 berechnen:

$$I_k = I_{k1} + I_{k2} - I_{k3} = \underline{0,27624 \text{ A}} \quad I_3 = I_k \frac{R_{iers}}{R_{iers} + R_{aers}} = \frac{8,619 \Omega}{8,619 \Omega + 5 \Omega} = \underline{0,1748 \text{ A}}$$

19. Schaltskizze und Ersatzschaltbild:



Mögliche Widerstandskombinationen für R_a :



9 ⁰⁰ :	$I_1 = 2,64 \text{ A}$	$I_2 = 4,117 \text{ A}$	$R_{iers} = 7,78 \Omega$
	$U_{qers} = 39,0 \text{ V}$	$P_1 = 48 \text{ W}$	$P_2 = 28 \text{ W}$
11 ⁰⁰ :	$I_1 = 4,33 \text{ A}$	$I_2 = 4,588 \text{ A}$	$R_{iers} = 20,39 \Omega$
	$U_{qers} = 101,28 \text{ V}$	$P_1 = 35 \text{ W}$	$P_2 = 56 \text{ W}$
12 ³⁰ :	$I_1 = 6 \text{ A}$	$I_2 = 4,588 \text{ A}$	$R_{iers} = 7,23 \Omega$
	$U_{qers} = 61,38 \text{ V}$	$P_1 = 108 \text{ W}$	$P_2 = 35 \text{ W}$

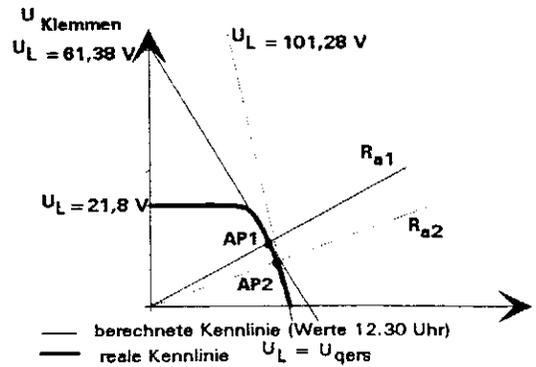
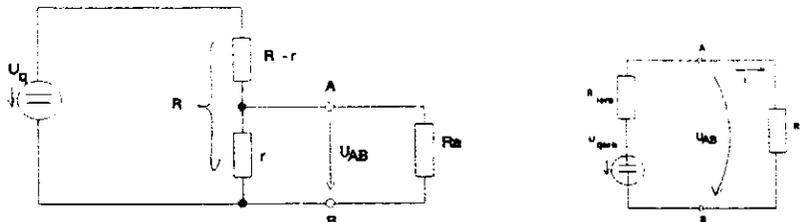


Bild Aufgabe 19: Nichtlineare Kennlinie Solarpanel

20. $I_o = 0,143 \text{ A}$ $U_L = 71,5 \text{ V}$ $R_i = 943 \Omega$ $I_k = 0,0785 \text{ A}$
 $= 36,8 \text{ mA}$ $U = 36,8 \text{ V}$

21. Spannungsteiler ansetzen! Bezogen auf U_{AB} gilt mit Spannungsteiler:

$$\frac{U_{qers}}{U_q} = \frac{r}{R} \quad \text{bzw.} \quad U_{qers} = U_q \cdot \frac{r}{R}$$



$$R_{iers} = r // (R - r) = \frac{r \cdot R - r^2}{R} = R \left(\frac{r}{R} - \left(\frac{r}{R}\right)^2 \right)$$

$$\frac{r}{R} = x$$

$$\frac{U_{AB}}{U_{qers}} = \frac{R_a}{R_{iers} + R_a} = \frac{R_a}{R(x - x^2) + R_a} \quad \text{und} \quad U_{qers} = U_q \cdot x :$$

$$\frac{U_{AB}}{U_q} = \frac{R_a \cdot x}{R(x - x^2) + R_a} = \frac{\frac{R_a}{R} \cdot x}{\frac{R_a}{R} + (x - x^2)}$$

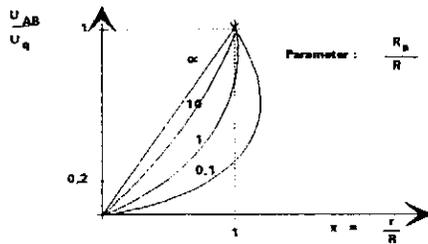
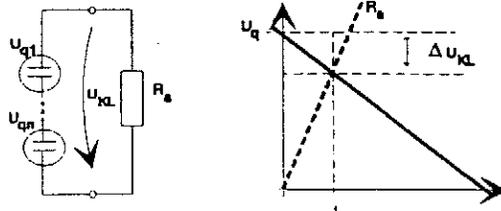


Bild Aufgabe 21: Funktion $U_{AB}/U_q = f(r/R)$

22. $R_i = \underline{0,023 \Omega}$ $U_q = \underline{24,88 V}$ $I_K = \underline{1082 A}$

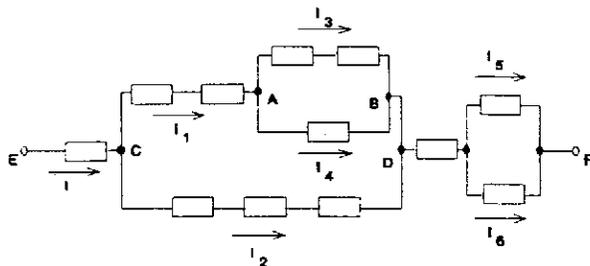
23. a)



b) $P_{ges} = \underline{1800 W}$ $P_{Klemmen} = \underline{1665 W}$
c) $R_i = \underline{0,006 \Omega}$ $R_{Kabel} = \underline{0,0133 \Omega}$
d) $R_{Kabel} = \underline{0,01933 \Omega}$ $U_{Anlasser} = \underline{6,17 V}$

24. $R_i = \underline{0,25 \Omega}$ $U_q = \underline{1,4 V}$ $I_K = \underline{5,6 A}$

25.



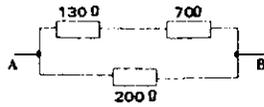
a) $R_{AB} = \underline{4 \Omega}$ $R_{CD} = \underline{6 \Omega}$ $R_{EF} = \underline{23,5 \Omega}$
b) $I_{EF} = \underline{1,28 A}$ $I_1 = \underline{0,68 A}$ $I_2 = \underline{0,6 A}$
 $I_3 = \underline{0,23 A}$ $I_4 = \underline{0,45 A}$ $I_5 = \underline{0,64 A}$ $I_6 = \underline{0,64 A}$
c) $U_{CD} = \underline{10,85 V}$
d) $R_{CD} = \underline{16 \Omega}$ $U_{AB} = \underline{2,71 V}$
Kontrollrechnung: $U_{AB} = I_3 \cdot 2R = \underline{2,76 V}$ $U_{AB} = I_4 \cdot R = \underline{2,7 V}$

26. a) $R_{ges} = \underline{6 \Omega}$ $U_q = \underline{6 V}$
b) $I = \underline{1 A}$ $I_1 = \underline{0,25 A}$

27. a) $R_{ges} = \underline{5 \Omega}$
b) $I = \underline{2 A}$ $I_{AB} = \underline{1 A}$
c) $U_{AB} = \underline{4 V}$
Kontrollrechnung: $U_{AB} = I_{AB} \cdot (R_4 + R_5) = 1 A \cdot 4 \Omega = \underline{4 V}$

28. $I_1 = 2,5 + \sqrt{2,25} = \underline{4 \text{ A}}$ $R_{a1} = \frac{8 \text{ W}}{16 \text{ A}^2} = \underline{0,5 \Omega}$
 $I_2 = 2,5 - \sqrt{2,25} = \underline{1 \text{ A}}$ $R_{a2} = \frac{8 \text{ W}}{1 \text{ A}^2} = \underline{8 \Omega}$

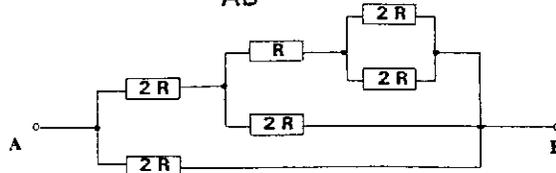
29.



$R_{AB} = \underline{100 \Omega}$

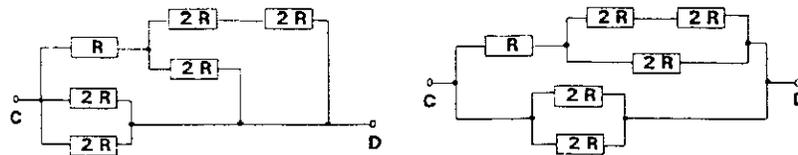
- a) Widerstand 5% vergrößern, heißt Widerstand in Reihe zu R_{AB} einfügen: $R_r = \underline{5 \Omega}$
b) Widerstand 5% verkleinern, heißt Widerstand parallel zu R_{AB} einfügen: $R_p = \underline{1,9 \text{ k}\Omega}$

30. Hinsichtlich des Widerstandes R_{AB} ist ein Umzeichnen der Schaltung notwendig:



$R_{AB} = \underline{1,2 R}$

Hinsichtlich des Widerstandes R_{CD} ist ein Umzeichnen der Schaltung notwendig:



$R_{CD} = \underline{0,7 R}$

31. a) Dreieck-Stern-Transformation:
Bildungsgesetz:

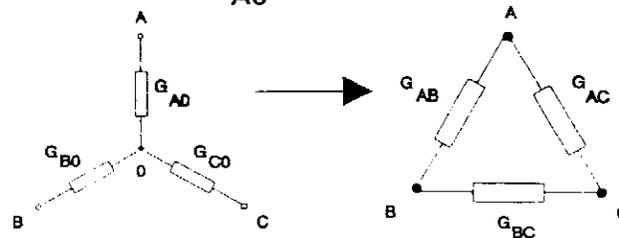
$R_{A0} = \frac{R_{AC} \cdot R_{AB}}{R_{AB} + R_{BC} + R_{AC}}$ $R_{B0} = \frac{R_{AB} \cdot R_{BC}}{R_{AB} + R_{BC} + R_{AC}}$

$R_{C0} = \frac{R_{BC} \cdot R_{AC}}{R_{AB} + R_{BC} + R_{AC}}$

b) Stern-Dreieck-Transformation:
Bildungsgesetz:

$R_{AC} = R_{A0} + R_{C0} + \frac{R_{A0} \cdot R_{C0}}{R_{B0}}$ $R_{AB} = R_{A0} + R_{B0} + \frac{R_{A0} \cdot R_{B0}}{R_{C0}}$

$R_{BC} = R_{B0} + R_{C0} + \frac{R_{B0} \cdot R_{C0}}{R_{A0}}$



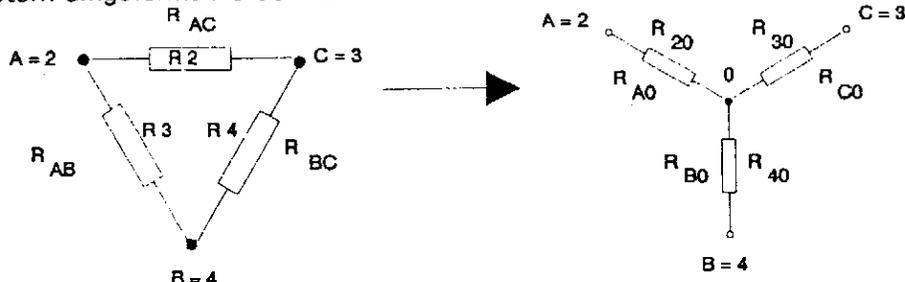
$G_{A0} = G_{AC} \cdot \frac{G_{A0} + G_{B0} + G_{C0}}{G_{C0}}$

Damit ergibt sich das Bildungsgesetz: $G_{AC} = \frac{G_{A0} \cdot G_{C0}}{G_{A0} + G_{B0} + G_{C0}} = \frac{G_{A0} \cdot G_{C0}}{\Sigma G_{\text{Stern}}}$

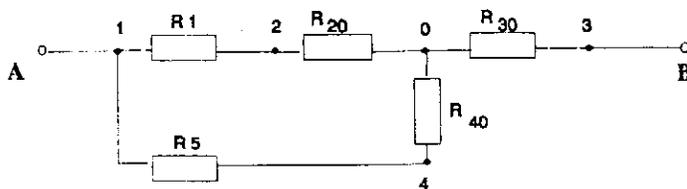
$$G_{BC} = \frac{G_{B0} \cdot G_{C0}}{G_{A0} + G_{B0} + G_{C0}} = \frac{G_{B0} \cdot G_{C0}}{\Sigma G_{\text{Stern}}}$$

$$G_{AB} = \frac{G_{A0} \cdot G_{B0}}{G_{A0} + G_{B0} + G_{C0}} = \frac{G_{A0} \cdot G_{B0}}{\Sigma G_{\text{Stern}}}$$

32. Anwendung der Stern-Dreieck-Umformung, da Lösung der Aufgabe mit Widerstands-berechnung nach Reihen- bzw. Parallelschaltung nicht unmittelbar möglich.
Erste Variante : Zwischen den Punkten 2, 3 und 4 existiert ein Widerstands-dreieck, das in einen Stern umgeformt werden kann.



Durch die Umwandlung ergibt sich als Schaltung:



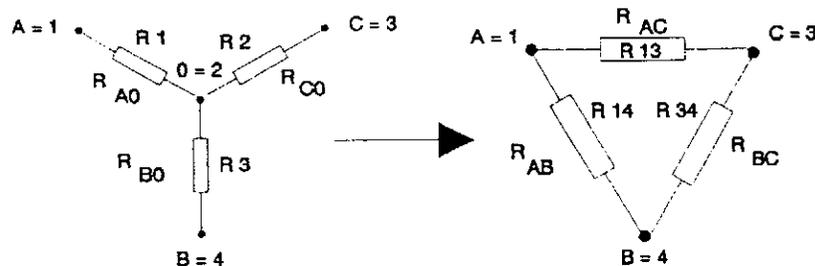
$$R_{20} = R_{A0} = 0,33 R$$

$$R_{40} = R_{B0} = 0,33 R$$

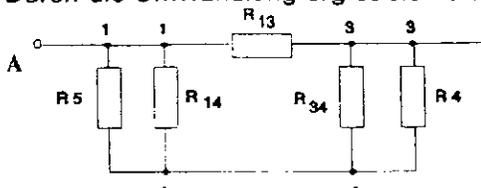
$$R_{30} = R_{C0} = 0,33 R$$

$$R_{AB} = \underline{R}$$

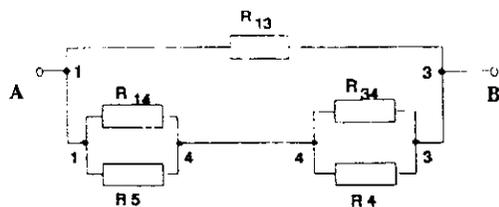
Zweite Variante : Die Widerstände R_1 , R_2 und R_3 bilden einen Stern, der in eine Dreieck-schaltung umgewandelt werden kann.



Durch die Umwandlung ergibt sich als Schaltung:

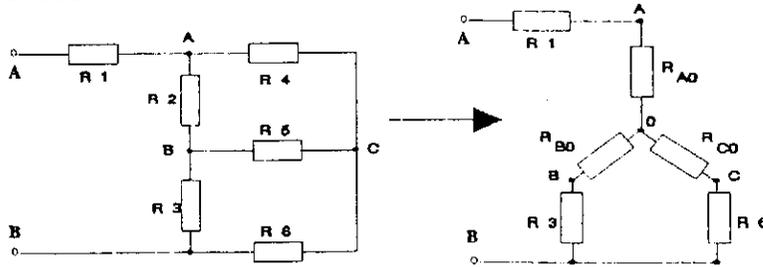


$$R_{13} = R_{14} = R_{34} = \underline{3R}$$



$$R_{AB} = \underline{R}$$

33. a) Dreieck-Stern-Transformation:



Sternwiderstände:

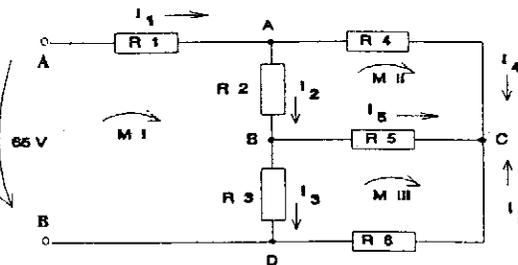
$$R_{A0} = \underline{5,71 \Omega} \quad R_{B0} = \underline{8,75 \Omega}$$

$$R_{C0} = \underline{8,75 \Omega} \quad R_{AB} = \underline{65 \Omega}$$

b) Berechnung von I_5 :

Aufstellen der Knotenpunktgleichungen und Maschengleichungen. Gleichungssystem

nach I_5 auflösen. $\underline{I_5 = 0 A}$



34. $L = 145 \text{ km} \quad \rho_{ST} = 0,13 \frac{\Omega \text{ mm}^2}{\text{m}} \quad \rho_{AL} = 0,0282 \frac{\Omega \text{ mm}^2}{\text{m}}$

$$R_{ST} = \underline{342,72 \Omega} \quad R_{AL} = \underline{43,04 \Omega}$$

$$R_{Seil} = \frac{R_{ST} \cdot R_{AL}}{R_{ST} + R_{AL}} = \underline{38,23 \Omega} \quad P_{VALST} = \underline{3,3030 \text{ MW}}$$

35. allg: $P_{\text{üb}} = I_{\text{max}} \cdot U_N \quad \rho_{AL} = 0,0282 \frac{\Omega \text{ mm}^2}{\text{m}}$

a) $P_{\text{übKabel}} = \underline{0,21 \text{ MW}}$ b) $P_{\text{übFreiltg.}} = \underline{2,7 \text{ MW}}$
 Bei gleichem Querschnitt kann eine Freileitung wegen besserer Kühlung mit höherem Strom belastet werden !

c) $P_{\text{übFreiltg.}} = \underline{29,7 \text{ MW}}$

d) $L = \frac{\Delta U}{I} \cdot \frac{A}{\rho}$ Gesamtlänge = Hin- und Rückleiter

$\Delta U_1 = 11 \text{ kV}$ (10 % von 110 kV)

$\Delta U_2 = 55 \text{ kV}$ (50 %)

$\Delta U_3 = 110 \text{ kV}$ (100 %)

$L_1 = \underline{101,129 \text{ km}} \quad L_2 = \underline{505,647 \text{ km}} \quad L_3 = \underline{1011,29 \text{ km}}$

$L_{1,2,3}$ jeweils Gesamtlänge eines Leiters (Hin- und Rückleiter) = Entfernung

ist $\frac{1}{2}$ Gesamtlänge

Schlußfolgerung: Höhere Spannung, um Übertragungsentfernungen zu erweitern!

Elektrisches Feld

1. $E = 6,68 \cdot 10^{-4} \frac{V}{m}$

2. a) $\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r = 8,86 \cdot 10^{-12} \frac{As}{Vm} \cdot \epsilon_r$

Feldstärke	Luft: $E = 4400 \frac{V}{cm}$	Öl: $E = 4400 \frac{V}{cm}$
Kapazität	Luft: $C = 177,2 \text{ pF}$	Öl: $C = 443 \text{ pF}$
Ladung	Luft: $Q = 3,9 \cdot 10^{-8} \text{ As}$	Öl: $Q = 9,75 \cdot 10^{-8} \text{ As}$
Ladungsträg.	Luft: $n = 2,43 \cdot 10^{11}$	Öl: $n = 6,08 \cdot 10^{11}$

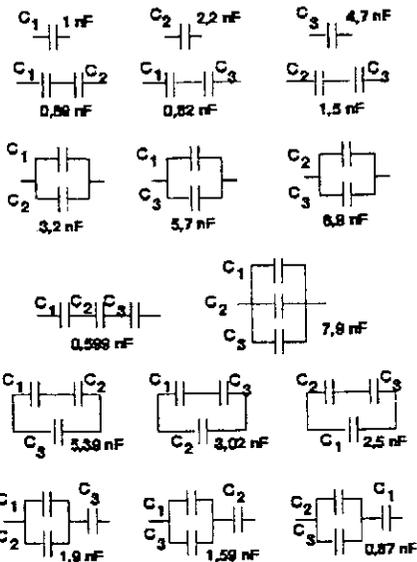
Verschiebungsfluß $\Psi = Q$

Verschiebungsflußdichte Luft: $D = 3,9 \cdot 10^{-6} \frac{As}{m^2}$ Öl: $D = 9,75 \cdot 10^{-6} \frac{As}{m^2}$

b) Energie Luft: $W = 4,29 \cdot 10^{-6} \text{Ws}$ Öl: $W = 10,73 \cdot 10^{-6} \text{Ws}$
 Kraft Luft: $F = 8,57 \cdot 10^{-3} \text{N}$ Öl: $F = 21,43 \cdot 10^{-3} \text{N}$

3. a) Plexiglas $U_p = \underline{200 \text{ kV}}$
 Luft $U_L = \underline{18 \text{ kV}}$ $U_{ges} = U_p + U_L = \underline{218 \text{ kV}}$
 b) $U_d = \underline{588 \text{ kV}}$

4. Mögliche Schaltungskombinationen:

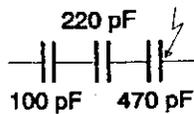


5.



$C_{ges} = \underline{0,7674 \mu F}$ $U_1 = \underline{84,418 \text{ V}}$ $U_2 = \underline{25,58 \text{ V}}$
 $Q_{ges} = 84,414 \cdot 10^{-6} \text{ C} = Q_1 = Q_2$

6. Der Durchschlag eines Kondensators entspricht einem Kurzschluß. Kapazität ohne Durchschlag: $C_{ges} = \underline{59,9 \text{ pF}}$
 Bei Durchschlag des letzten Kondensators:



$$\frac{\Delta C}{C_{\text{ges}}} \cdot 100 \% = \underline{\underline{13,3 \%}} \quad \text{Kapazitätsänderung}$$

7. Spannungsänderung: 52% Kapazitätsänderung: 360%
- a) $C_{550} = \underline{\underline{198,3 \mu\text{F}}}$ b) $C_{290} = \underline{\underline{713,4 \mu\text{F}}}$
 Die geforderte Kapazität kann durch Reihen-/Parallelschaltung geeigneter Kondensatoren hergestellt werden.
- c) $P = \underline{\underline{24 \text{ kW}}}$ d) $W = \underline{\underline{29,34 \text{ Ws}}}$
8. a) $C = \underline{\underline{5,28 \mu\text{F}}}$ b) $X_C = \underline{\underline{-603,16 \Omega}}$
 b) $Q_{\text{max}} = \underline{\underline{1,642 \text{ mAs}}}$ d) $W_{\text{max}} = \underline{\underline{0,255 \text{ Ws}}}$

9. Koaxialleitung

$$S = \kappa \cdot E = \frac{E}{\rho} = \frac{I}{A} = \frac{dl}{dA} \quad dA = A(r) = 2 \pi h r \text{ Zylindermantel}$$

$$S(r) = \frac{I}{2 \pi h r} = \frac{c_1}{r} \quad E(r) = \frac{S(r)}{\kappa} = \frac{I}{2 \pi \kappa h r} = \frac{c_2}{r}$$

$$U(r) = \int_{r_i}^r E(r) dr = \frac{I}{2 \pi \kappa h} \int_{r_i}^r \frac{dr}{r} = \frac{I}{2 \pi \kappa h} \ln \frac{r_a}{r_i}$$

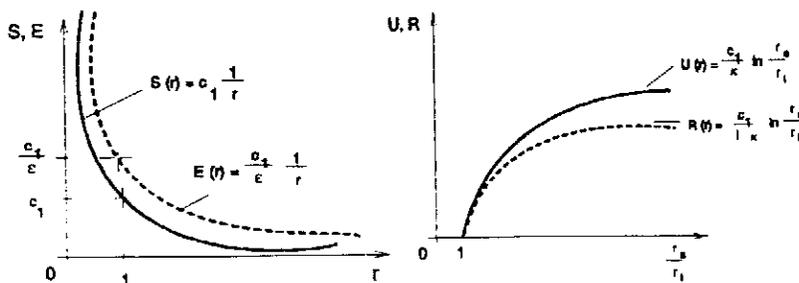
$$R_{AB} = \frac{U_{AB}}{I} = \frac{\int_{(A)}^B E dn}{\int S dA} \quad dR = \frac{dr}{\kappa A(r)} \quad A(r) = \text{Zylindermantelfläche}$$

Gesamtwiderstand durch Integration der Teilwiderstände:

$$R = \int_{r_i}^{r_a} dR = \frac{1}{2 \pi \kappa h} \int_{r_i}^{r_a} \frac{dr}{r} = \frac{1}{2 \pi \kappa h} \ln \frac{r_a}{r_i}$$

Kapazität des Koaxialkabels

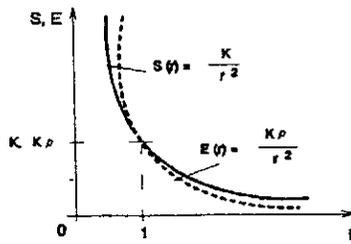
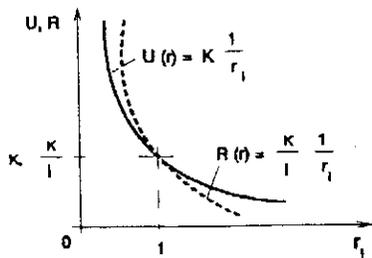
$$C = \frac{2 \pi \epsilon h}{\ln \frac{r_a}{r_i}}$$



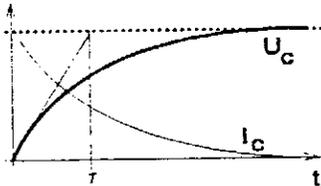
Kugelerder

$$U(r) = \int_{r_i}^{\infty} E(r) dr \quad \text{mit} \quad E(r) = S(r) \cdot \rho \quad \text{und} \quad S(r) = \frac{I}{A_{\text{Halbkugel}}} = \frac{I}{2 \pi r^2} :$$

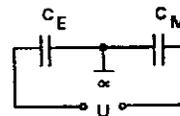
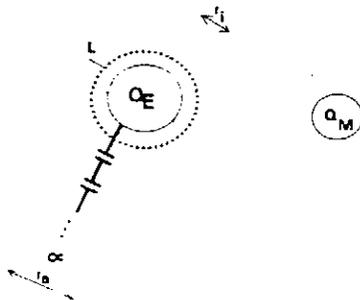
$$E(r) = \frac{\rho l}{2\pi} \frac{1}{r^2} \quad \text{und} \quad U(r) = \frac{\rho l}{2\pi} \int_{r_i}^{\infty} \frac{dr}{r^2} = \frac{\rho l}{2\pi r_i} R = \frac{U}{l} = \frac{\rho}{2\pi r_i}$$



10. a) $-U_q = U_c + R \cdot i = U_c + RC \cdot \frac{dU_c}{dt} = U_c + \tau \cdot \frac{dU_c}{dt}$
 $U_c = K \cdot e^{-t/\tau} - U_q$ Anfangswert: $U_c(t=0) = 0$
 $K - U_q = 0$
 $U_q = K$
- b) $U_c = U_q \cdot e^{-t/\tau} - U_q = U_q (e^{-t/\tau} - 1)$
 $U_c(t=3\tau) = -0.95 U_q$ $U_c(t=5\tau) = -0.99 U_q$
- c) $i(t) = C \frac{dU_c}{dt}$ mit $\tau = RC$
 $i(t) = -\frac{U_q}{R} \cdot (e^{-t/\tau}) = I_0 \cdot e^{-t/\tau}$ da $i(t=0) = -\frac{U_q}{R}$
- e) $f = 3\tau = 300 \text{ ms}$ $f = 5\tau = 500 \text{ ms}$



11. Anordnung und Ersatzschaltbild:



Kugel: $d\left(\frac{1}{C}\right) = \frac{1}{\epsilon} \cdot \frac{dr}{A} = \frac{1}{\epsilon} \cdot \frac{dr}{4\pi r^2}$

$$C = \epsilon \cdot \frac{4\pi}{\frac{1}{r_i} - \frac{1}{r_a}} = \epsilon \frac{4\pi r_i r_a}{r_a - r_i} \quad \text{mit } r_a = \infty :$$

$$C_{\text{Erde}} = \epsilon 4\pi R_E = \underline{708.86 \mu\text{F}}$$

$$C_{\text{ges}} = \underline{151.95 \mu\text{F}}$$

$$C_{\text{Mond}} = 4\epsilon\pi R_M = \underline{193.4 \mu\text{F}}$$

Magnetisches Feld

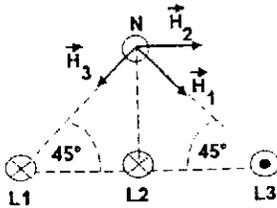
1. a) Transformator

$$W_1 : \theta_1 = \underline{4 \text{ kA}} \quad W_1 + W_2 : \theta_{\text{ges}} = \underline{0,8 \text{ kA}}$$

b) Gleichstrommaschine

$$\text{Reihenschaltung: } \theta_{\text{ges}} = \underline{1000 \text{ A}} \quad \text{Parallelschaltung: } \theta_{\text{ges}} = \underline{2 \text{ kA}}$$

2.



$$H_1 = \underline{337,5 \text{ A/m}}$$

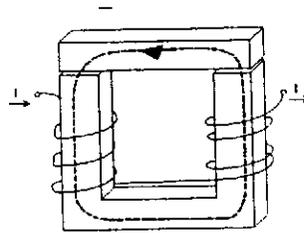
$$H_2 = \underline{478 \text{ A/m}}$$

$$H_3 = \underline{675 \text{ A/m}}$$

$$\text{Gesamt-Horizontalkomponente: } H_H = \underline{233,35 \text{ A/m}}$$

$$\text{Gesamt-Vertikalkomponente: } H_V = \underline{716 \text{ A/m}} \quad \text{Gesamtfeldstärke im Nulleiter: } H = \underline{753 \text{ A/m}}$$

3. a) Verlauf der Flußlinien



b) $\Phi = \underline{0,25 \text{ mVs}}$

$H = 50 \cdot 10^4 \text{ A/m}$

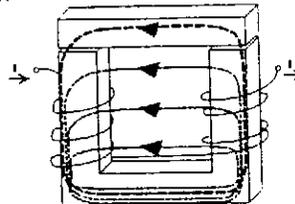
$V_\delta = \underline{1 \text{ kA}}$

$\theta = \underline{1 \text{ kA}}$

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

c) $L = \underline{2 \text{ H}}$

d) Es müssen Streuflüsse berücksichtigt werden.



e) $F = \underline{6280 \text{ N}}$

f) $\theta = \underline{2157,83 \text{ A}}$

4. $t = \underline{2,0 \text{ s}}$

e) $\left(\frac{a}{4} \leq s \leq \frac{3a}{4}\right) + b) = \underline{-15 \text{ mV}}$

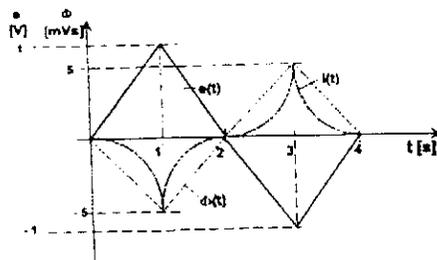
e) $\left(\frac{5a}{4} \leq s \leq \frac{9a}{4}\right) + b) = \underline{+15 \text{ mV}}$

5. $\theta = \underline{1465,6 \text{ A}}$

$N = \underline{1832}$

6. $e_{\text{ges}} = \underline{3,01 \text{ V}}$

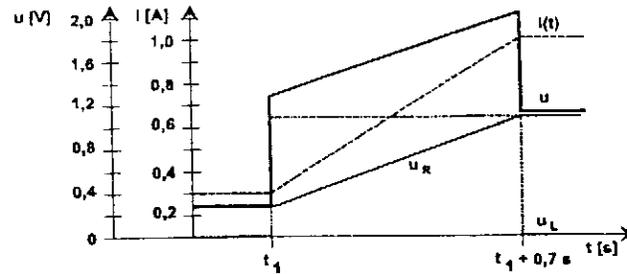
7.



$$\Phi_{\text{max}} = \underline{-5 \text{ mVs}}$$

$$i = K \cdot \Phi(t)$$

8. a) $L_{\text{ges}} = \underline{1.5 \text{ H}}$ b) $L_{\text{ges}} = \underline{0.1777 \text{ H}}$ c) $L_{\text{ges}} = \underline{0.53 \text{ H}}$
 9. a) $L = \underline{0.5 \text{ mH}}$ b) $L = \underline{2 \text{ mH}}$ c) $L_{\text{ges}} = \underline{1 \text{ mH}}$ d) $L = \underline{600 \text{ mH}}$
 10. $u_L = e = \underline{1 \text{ V}}$ $u_L = 0$, wenn $\frac{di}{dt} = \text{konst.}$
 $u_R(t_1) = \underline{0.3 \text{ V}}$ $u_R(t_1 + 0.7 \text{ s}) = \underline{1 \text{ V}}$
 $u(t_1) = \underline{0.3 \text{ V}}$ $u(t_1 + 0.7 \text{ s}) = \underline{2 \text{ V}}$



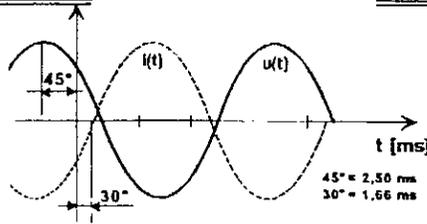
11. a) $t_{\text{Anzug}} = \underline{4.62 \text{ ms}}$ b) $y(t=r) = \underline{1}$ c) $u_{\text{max}} = \underline{-23.98 \text{ V}}$
 d) $R_V = \underline{2150 \Omega}$ $t_A = \underline{1.01 \text{ ms}}$
 12. $I_K = \underline{20.4 \text{ kA}}$
 13. Drehbewegung erfolgt im Uhrzeigersinn

$$M = \underline{6.27 \text{ Nm}} \quad M = 6.27 \text{ Nm} \cdot \cos \alpha \quad \alpha = \text{Drehwinkel}$$

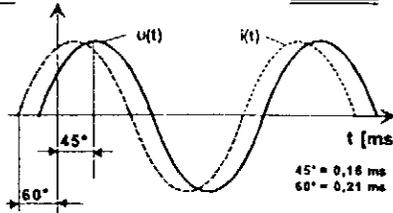
Beim Durchgang der Leiterschleife durch die Horizontale ($\alpha = 90^\circ, 270^\circ$) muß die Stromrichtung umgekehrt werden, um eine kontinuierliche Drehbewegung zu ermöglichen (Kommutierung).

Wechselstrom

1. a) $i(45\text{ms}) = \underline{12,16 \text{ A}}$ $u(45\text{ms}) = \underline{-7,07 \text{ V}}$ $T = \underline{20 \text{ ms}}$



b) $i(45\text{ms}) = \underline{17,32 \text{ A}}$ $u(45\text{ms}) = \underline{4,99 \text{ V}}$ $T = \underline{1,25 \text{ ms}}$



2. arithmetischer Mittelwert

a) $\bar{u} = \underline{0}$

b) $\bar{u} = \frac{U_0}{\pi} = \underline{0,318 U_0}$

c) $\bar{u} = \frac{U_0}{\pi} \frac{1 + \cos\alpha}{2}$

d) $\bar{u} = \underline{0,636 U_0}$

e) $\bar{u} = \frac{2 U_0}{\pi} \frac{1 + \cos\alpha}{2}$

Effektivwert

$U = \frac{1}{2} \sqrt{2} U_0 = \underline{0,707 U_0}$

$U = \frac{1}{2} U_0 = \underline{0,5 U_0}$

$U = U_0 \sqrt{\frac{1}{8\pi} [2(\pi - \alpha) + \sin 2\alpha]}$

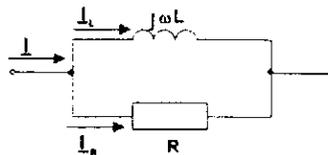
$U = \frac{1}{2} \sqrt{2} U_0 = \underline{0,707 U_0}$

$U = U_0 \sqrt{\frac{1}{4\pi} [2(\pi - \alpha) + \sin 2\alpha]}$

3. $\underline{U = 616,17 \text{ V}}$

4. $\underline{I = 34,15 \text{ A}}$

5. a) Schaltskizze



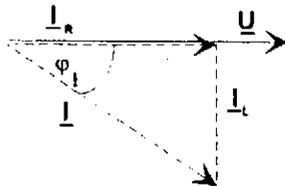
b) $I = U \cdot e^{j\varphi_U} \cdot Y \cdot e^{j\varphi_Y} = U \cdot Y \cdot e^{j(\varphi_U + \varphi_Y)} = I \cdot e^{j\varphi_I}$

mit $Y = \sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{\omega L}\right)^2}$

$\varphi_Y = \arctan \frac{-\omega L}{R}$

c) $Y = \underline{0,208 \text{ S}}$ $Z = \underline{4,8 \Omega}$ $L = \underline{25,47 \text{ mH}}$

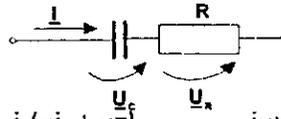
Zeigerbild: $I_R = 1,67 \text{ A}$; $I_L = 1,25 \text{ A}$; $I = 2,08 \text{ A}$; $\varphi_I = 36,86^\circ$



d) $Y^{\perp} = 0,167 \text{ S} - j 0,125 \text{ S}$
 $Y^{\perp} = 0,208 \text{ S} (\cos 36,86^{\circ} - j \sin 36,86^{\circ})$
 $Y^{\perp} = 0,208 \text{ S} \cdot e^{-j 36,86^{\circ}}$

kartesische Form
trigonometrische Form
Exponentialform

6. a) Schaltskizze

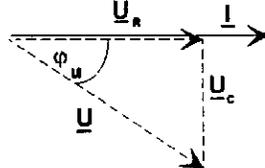


b) $\underline{U} = I \cdot e^{j\varphi_i} \cdot Z \cdot e^{j\varphi_z} = I \cdot Z \cdot e^{j(\varphi_i + \varphi_z)} = U \cdot e^{j\varphi_U}$

mit $Z = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}$ $\varphi_z = \arctan \cdot \frac{1}{\omega CR}$

c) $Z = \underline{20 \Omega}$ $Y = \underline{0,05 \text{ S}}$ $C = \underline{265,4 \mu\text{F}}$

Zeigerbild: $I = 1 \text{ A}$; $U_R = I \cdot R = 16 \text{ V}$; $U_C = 12 \text{ V}$; $U = 20 \text{ V}$; $\varphi_U = -36,86^{\circ}$



d) $Z^{\perp} = 16 \Omega - j 12 \Omega$
 $Z^{\perp} = 20 \Omega (\cos 36,86^{\circ} - j \sin 36,86^{\circ})$
 $Z^{\perp} = 20 \Omega \cdot e^{-j 36,86^{\circ}}$

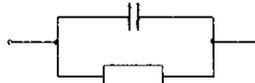
kartesische Form
trigonometrische Form
Exponentialform

7. a)



Variante 1

Variante 1: $R = \underline{30 \Omega}$
Variante 2: $R = \underline{83,33 \Omega}$



Variante 2

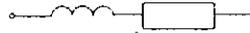
$C = \underline{79,6 \mu\text{F}}$
 $C = \underline{50,95 \mu\text{F}}$

b)



Variante 1

Variante 1: $R = \underline{3,33 \Omega}$
Variante 2: $R = \underline{1,2 \Omega}$



Variante 2

$L = \underline{7,96 \text{ mH}}$
 $L = \underline{5,09 \text{ mH}}$

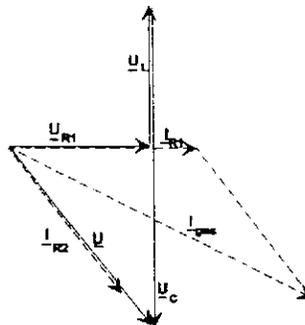
8. a) $|Z^{\perp}| = Z = \underline{50 \Omega}$ $I_{\text{eff}} = I_{R1} = \underline{2 \text{ A}}$ $\varphi = \underline{-53,13^{\circ}}$

Zeigerbild: Maßstab: 1cm = 20 V; 1cm = 0,5 A;

$U_{R1} = I \cdot R_1 = 60 \text{ V}$ (3 cm) $U_{R2} = 100 \text{ V}$ (5 cm)

$U_L = I \cdot X_L = 62,8 \text{ V}$ (3,4 cm) $I_{R2} = \frac{U_{R2}}{R_2} = 2 \text{ A}$ (4 cm)

$U_C = I \cdot X_C = 142,8 \text{ V}$ (7,1 cm) $I_{\text{ges}} = 3,5 \text{ A}$ (7 cm)



b) $f_R = \underline{75,42 \text{ Hz}}$ $I_{\text{Res}} = I_L = I_C = \underline{3,33 \text{ A}}$ $|U_L| = |U_C| = \underline{157,8 \text{ V}}$
 c) $I_{R2} = \underline{2 \text{ A}}$ $I = \underline{3,577 \text{ A}}$ Zeigerbild: 3,5 A

9. a) $P = \underline{24045,45 \text{ W}}$ $Q_L = \underline{24055,13 \text{ VA}_r}$ $S = \underline{34012,25 \text{ VA}}$
 $I_{\text{ges}} = \underline{147,88 \text{ A}}$ $\varphi = \underline{45,01^\circ}$

b) $C = \underline{1,45 \text{ mF}}$
 Der Gesamtstrom ändert sich durch die Kompensation um ca. 30%.

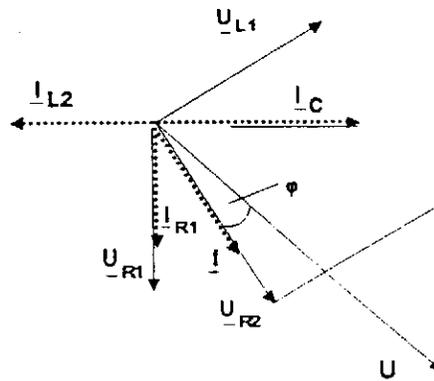
c) Fall a) $U_{\text{Leitg.}} = \underline{16,27 \text{ V}}$ Fall b) $U_{\text{Leitg.}} = \underline{11,5 \text{ V}}$
 nach VDE: 11,5 V ----> max. zulässiger Spannungsabfall

d) Fall a) $P_V = \underline{2405,53 \text{ W}}$ Fall b) $P_V = \underline{1202,15 \text{ W}}$

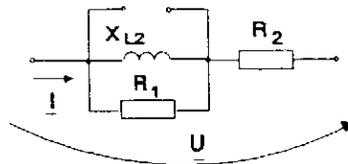
10. a) $I = \underline{1,41 \text{ A}}$ (4,24 cm) $U = \underline{110 \text{ V}}$ (11 cm)
 b) $R_1 = \underline{50 \Omega}$ $R_2 = \underline{50 \Omega}$ $X_L = \underline{200 \Omega}$ $X_C = \underline{12,5 \Omega}$

11. $U = \underline{5,5 \text{ V}}$ (5,5 cm) $\varphi = \underline{12^\circ}$ $I = \underline{2,5 \text{ A}}$ (10 cm) $Q = \underline{2,85 \text{ VA}_r}$

12. a)



b) $f = 3 \text{ Hz}$: $X_C \rightarrow \infty$; $X_{L1} \rightarrow 0$; $X_{L2} = \underline{28,27 \Omega}$



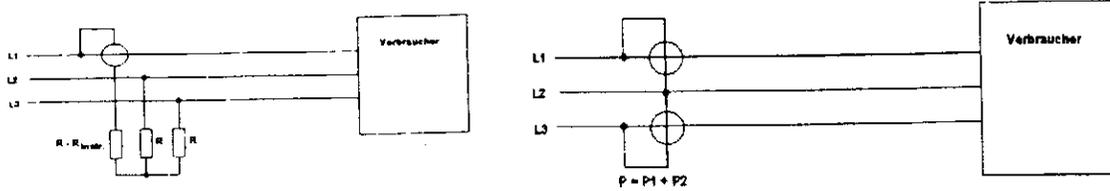
13. a) $U = \underline{27 \text{ V}}$ (13,5 cm) $I = \underline{5 \text{ A}}$ (10 cm) $\varphi = \underline{-16^\circ}$ $40 \text{ V} = I_{\text{ges}} = \underline{20 \text{ A}}$
 b) $f_R = \underline{31,55 \text{ Hz}}$

14. $U = \underline{51,5 \text{ V}}$ (10,5 cm) $I = \underline{1,35 \text{ A}}$ (5,3 cm) $\varphi = \underline{6^\circ}$

Drehstromtechnik

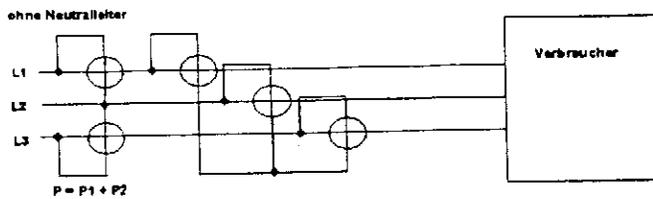
1. $P = 232,787 \text{ kW}$ $S = 290,984 \text{ kVA}$ $Q = 174,590 \text{ kvar}$

2.a);b)

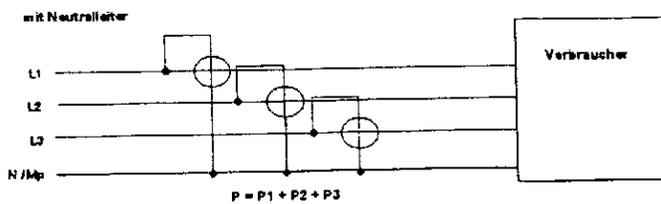


c) $I_1 + I_2 + I_3 = 0$ $P_{\text{ges}} = I_1 U_1 + I_2 U_2 + I_3 U_3$ $\cos \varphi = 1$ z.B.
 $I_2 = -I_1 - I_3$ $P_{\text{ges}} = I_1(U_1 - U_2) + I_3(U_3 - U_2)$ $P1 : I_1(U_1 - U_2) \quad P2 : I_3(U_3 - U_2)$

3.a)



b)



4.a) $I_1 = 15 \text{ A}$ $I_2 = 10 \text{ A}$ $X_C = -20 \Omega$ $I_3 = 7,78 \text{ A}$
 b) $P_1 = 3,3 \text{ kW}$ $Q_1 = 0 \text{ kvar}$ $S_1 = 3,3 \text{ kVA}$
 $P_2 = 1,65 \text{ kW}$ $Q_2 = +1,455 \text{ kvar}$
 $\sin \varphi_2 = 0,6614$ $\cos \varphi_2 = 0,75$ $\varphi_2 = 41,7^\circ$ $S_2 = 2,2 \text{ kVA}$
 $P_3 = 1,21 \text{ kW}$ $|R| = |X_C|$ $|P| = |Q|$ $\varphi_3 = 45^\circ$ $\cos \varphi_3 = 0,707$
 $Q_3 = -1,21 \text{ kvar}$ $S_3 = 1,712 \text{ kVA}$
 $P_{\text{Drehstrom}} = 6,16 \text{ kW}$ $Q_{\text{Drehstrom}} = 0,245 \text{ kvar}$ $S_{\text{Drehstrom}} = 6,16487 \text{ kVA}$

5. $P_{\text{Vwirk}} = I^2 R$ $P_1 = P_2$ $-U I_1 \cos \varphi_1 = U I_2 \cos \varphi_2$
 $\sim I_1 / I_2 = \cos \varphi_2 / \cos \varphi_1 = 1,22666$ $\text{Stromwärmeverlustfaktor} = \underline{1,5047}$

6.a,b)

Abzweig	P kW	cos φ	$S = \frac{P}{\cos \varphi}$ kVA	$I = \frac{S}{\sqrt{3} U_L}$ A	S^2	P^2	$Q = \sqrt{S^2 - P^2}$ kvar
1	5	0,2	25	36	625	25	+24,49
2	45	0,8	56	80,9	3136	2025	+33,33
3	18	1,0	18	26			0
4	56	0,7	80	115,6	6400	3136	+57,13

Kennzeichnung induktiver Blindlasten: "+" oder Zusatz "ind."

$P = 124 \text{ kW}$ $Q = 114,95 \text{ kvar}$ $S = 169,08 \text{ kVA}$ $I = 244,3 \text{ A}$

c) $Q_c = 75 \text{ kvar kap!}$

$Q_{\Sigma 2} \text{ mit C} = 39,95 \text{ kvar}_{\text{ind}}$ $S_{\Sigma 2} = 130,18 \text{ kVA}$ $I_{\Sigma 2} = 188,13 \text{ A}$ $\cos \varphi_{\Sigma 2} = 0,9525$

Elektronik/Leistungselektronik

1.

LED - Durchlaßkennlinie

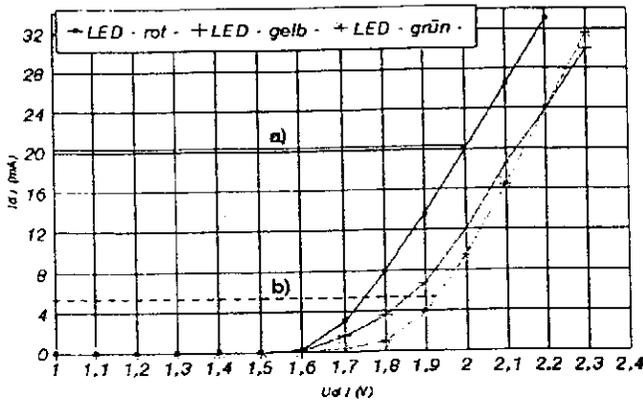


Bild 1: LED Durchlaßkennlinie

a)

$$R_v = \frac{U_B - U_d}{I_d} = \frac{5V - 2V}{20mA} = 150\Omega$$

b)

$$R_v = \frac{9V - 1,93V}{5mA} = 1,41k\Omega$$

2.

Transistor - Ausgangskennlinienfeld - Lösung

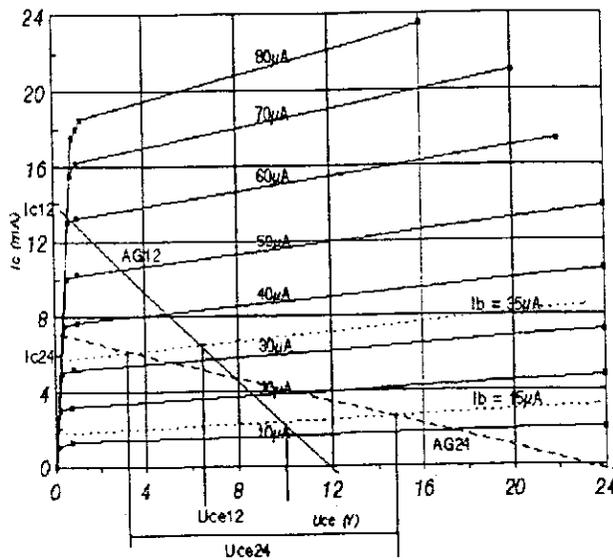


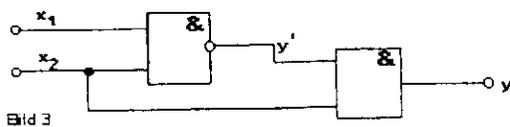
Bild2: Transistorkennlinie

$$a) R_{c12} = \frac{U_B}{I_C} = \frac{12V}{15mA} = 0,8k\Omega$$

$$R_{c24} = \frac{24V}{7,5mA} = 3,2k\Omega$$

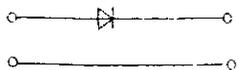
$$b) I_B \approx 25\mu A$$

3.



x1	x2	y'	y
H	H	L	L
L	H	H	H
H	L	H	L
L	L	H	L

4a) Erregerkreis:



(U = cU) c = 0,45 U = 180V zu klein, deshalb Zweipulsschaltung:

Elektrische Maschinen und Antriebe

1. a) Nennwerte, P - bei Motor mechan. Wellenleistung!!

$$P_{el} = \underline{\underline{3,3kW}}$$

$$b) M_N = \frac{P_N}{\omega_N} = \underline{\underline{17,7339Nm}} \approx \underline{\underline{17,7339Ws}}$$

$$\eta = \underline{\underline{0,8181}} \approx \underline{\underline{81,8\%}}$$

$$c\phi = \underline{\underline{118226Vs}}$$

2. a) $R_V = \underline{\underline{2,083\Omega}}$

b)

$$c\phi = \underline{\underline{12813Vs}}$$

$$\omega_0 = 171,70s^{-1} \rightarrow \text{mit} \rightarrow \omega = \frac{2\pi \cdot n}{60} \text{ 2}\pi \text{ gilt} \rightarrow :n_0 \underline{\underline{1639,614 \text{ min}^{-1}}}$$

c)

$$n_{NRV} = n_0 - \Delta n_{RV}$$

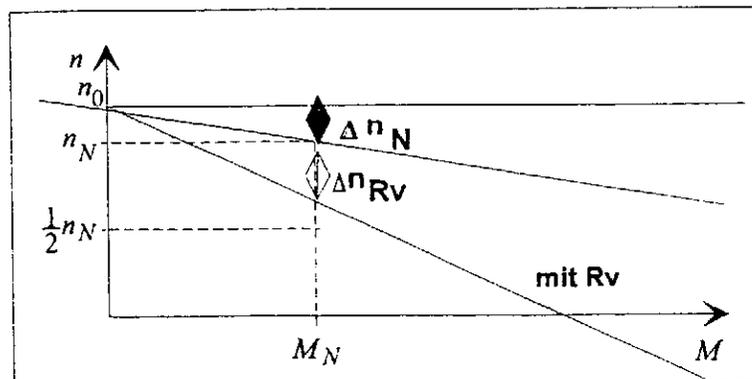
$$n_N = n_0 - \Delta n$$

$$\frac{\Delta n_{RV}}{\Delta n_N} = 3,45$$

$$\Delta n_N = n_0 - n_N = 1639,61 \text{ min}^{-1} - 1460 \text{ min}^{-1} = \underline{\underline{159,61 \text{ min}^{-1}}}$$

$$\Delta n_{RV} = \Delta n \cdot 3,45 = 159,61 \text{ min}^{-1} \cdot 3,45 = \underline{\underline{550,65 \text{ min}^{-1}}}$$

$$n_{NRV} = 1639,61 \text{ min}^{-1} - 550,65 \text{ min}^{-1} = \underline{\underline{1088,95 \text{ min}^{-1}}}$$



- 3.a) 1. Mit Ankervorwiderstand
2. Mit Ankerspannungsverstellung
- b) zu 1. siehe Aufgabe 2:

$$n_N = n_0 - \Delta n_N$$

$$n_{RV} = \frac{n_N}{2} = n_0 - \Delta n_{RV}$$

$$\Delta n_N = \frac{M \cdot R_A}{(c\phi)^2} \text{ und } \Delta n_{RV} = \frac{M \cdot (R_A + R_V)}{(c\phi)^2}$$

$$\frac{\Delta n_N}{\Delta n_{RV}} = \frac{R_A}{(R_A + R_V)} \rightarrow R_V = R_A \left[\frac{\Delta n_{RV}}{\Delta n_N} - 1 \right]$$

zu 2:

$$\omega = \frac{U}{c\phi} - \frac{M \cdot R_A}{c\phi^2} \rightarrow \omega_{ON} = \frac{U}{c\phi}$$

$$n = n_0 - \Delta n$$

$$\omega_{01} = \frac{\omega_N}{2} + \Delta\omega_N = \frac{U_1}{c\phi} \rightarrow \frac{\omega_{01}}{\omega_{ON}} = \frac{U_1}{U} = \frac{n_{01}}{n_{ON}}$$

c) zu1 die Verluste werden größer mit R_V , der Wirkungsgrad schlechter:

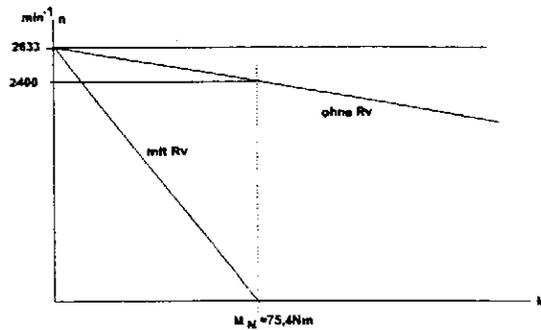
$$\eta = \frac{P_{mech}}{P_{ei}} = \frac{M \cdot \omega}{U \cdot I} = \frac{P_{mech}}{P_{mech} + P_{Vl}} \rightarrow \text{zu1: } P_{Vl} = I^2(R_A + R_V)$$

zu2: die Verluste bleiben ca konstant $\sim I^2 R$ der Wirkungsgrad wird nur geringfügig schlechter

4. a) $M = 75,396 \text{ Nm}$ $c\phi = 0,97918 \text{ Vs}$ $n_0 = 2633 \text{ min}^{-1}$

b) $R_V = 1653 \Omega$

c)



d)

$$M = c\phi \cdot I \rightarrow M_{Anl} = c\phi \cdot I_{Anl} \rightarrow \text{bei } \frac{c\phi}{2} \rightarrow \frac{M_{Anl}}{2} \text{ wenn } I = \text{konst.}$$

5 a) $M_N = 6,99 \text{ Nm} \approx 7 \text{ Nm}$

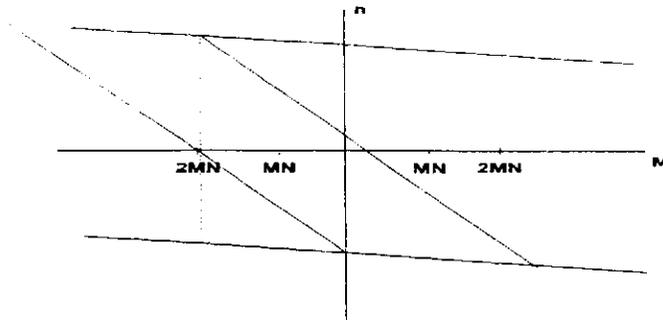
$$\rightarrow \eta = \frac{P_{mech}}{P_{ei}} = \frac{P_{mech}}{U \cdot I} \rightarrow I = \frac{P_{mech}}{\eta \cdot U} = \frac{2100 \text{ W}}{0,86 \cdot 220 \text{ V}} = 11099 \text{ A}$$

$$c\phi = 0,63 \text{ Vs} \rightarrow n_0 = 3334,675 \text{ min}^{-1}$$

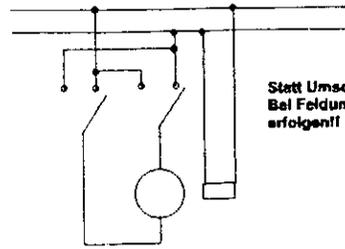
$$\Delta n_1 = \frac{n_0}{2} \rightarrow \text{bei } 2M_N = 1667 \text{ min}^{-1}$$

$$R_V = R_A \left[\frac{\Delta n_1}{\Delta n} - 1 \right] = 2,18 \Omega \left[\frac{1667}{474} - 1 \right] = 7,667 \Omega$$

b)



c)



Statt Umschalter ggf Umkehrstromrichter
Bei Feldumschaltung muß erst Ankerkreisöffnung
erfolgen!!

Transformator

6. a)

$$R_k = \underline{4\Omega}$$

$$X_k = \frac{Q_k}{I_k^2} \rightarrow Q_k = 300 \text{ var} \rightarrow X_k = \underline{3\Omega}$$

b)

7.

$$R_{Fe} = \underline{5k\Omega}$$

$$Q = 6 \text{ VAr} \rightarrow X_{FE} = \underline{6,66\Omega}$$

8.

$$\bar{u} = \frac{N_1}{N_2} \rightarrow$$

$$\rightarrow \frac{Z_1}{Z_2} = \bar{u}^2 = \frac{30\Omega}{8\Omega} = 3,75 \rightarrow \bar{u} = \sqrt{3,75} = \underline{1,93 \approx 2}$$

Asynchronmaschine

9.

$$n_N = \underline{1440 \text{ min}^{-1}}$$

10.a)

$$n_s = 1000 \text{ min}^{-1} \quad \underline{p=6}$$

b)

$$\eta = \underline{0,8}$$

c)

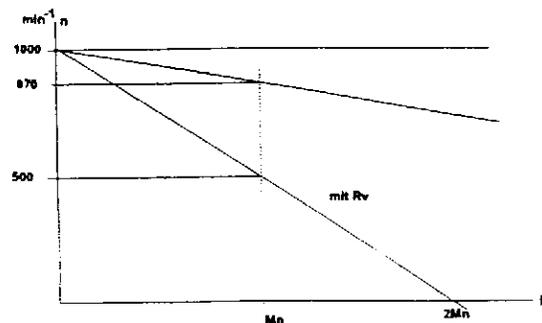
$$I = \underline{35,02 \text{ A}}$$

d)

$$M_N = \underline{137,457 \text{ Nm}}$$

e)

$$R_{ZUS} = \underline{15,66 \cdot R_L}$$



11.a)

$$P = \underline{8,41 \text{ kW}} \quad S = 11,847 \text{ kVA} \quad Q = \underline{8,343 \text{ kVAr}} \quad \eta = \underline{0,832}$$

b)

$$n_s = \underline{1000 \text{ min}^{-1}} \rightarrow n_s = \frac{f}{p} \cdot 60 \text{ min}^{-1} \rightarrow \underline{p=3}$$

$$M_N = \frac{P}{\omega} = \underline{69,44 \text{ Nm}} \dots s_N = \underline{0,04} \rightarrow 4\%$$

c)

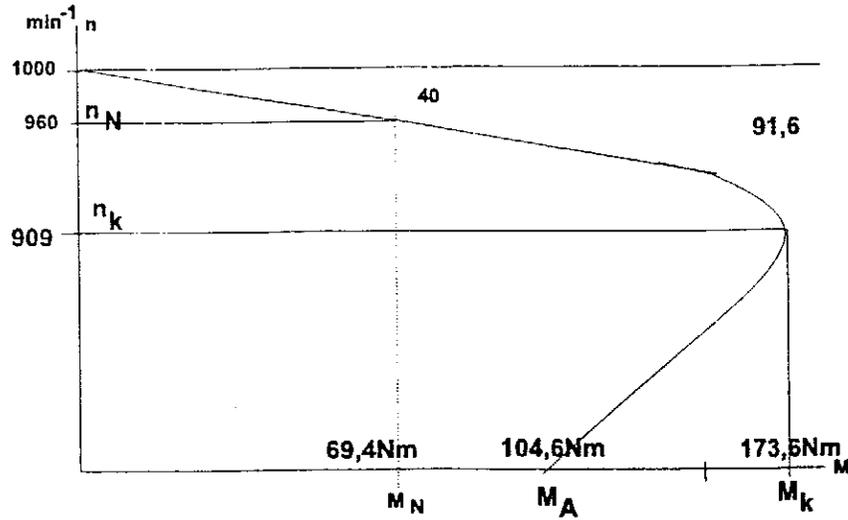
$$\frac{s_k}{s_N} = \underline{0,0916}$$

d)

$$M_A = 1,5M_N = 104,16\text{Nm}$$

$$\frac{M_A}{M_k} = 0,18$$

$$M_A = \underline{315\text{Nm}}$$



12.a)

$$n_{sN} = \frac{f}{p} \cdot 60 \rightarrow n_{s1} = \frac{f_1}{p} \cdot 60$$

$$\frac{n_{s1}}{n_{sN}} = \frac{f_1}{f} \rightarrow n_{s1} = \frac{n_N}{3} + n_s - n_N = \left[\frac{965}{3} + 1000 - 965 \right] \text{min}^{-1} = 356,66 \text{min}^{-1}$$

$$f_1 = \frac{n_{s1}}{n_{sN}} \cdot f = \frac{356,66}{1000} \cdot 50\text{Hz} = \underline{17,83\text{Hz}}$$