

Definitionen der Basiseinheiten

Meter

Urspr.: 1 m = 40millionster Teil des Erdumfangs

Heute: 1 m = 1650763,73fache der Wellenlänge der von ^{86}Kr beim Übergang vom $5d_5$ - zum $2p_{10}$ -Niveau ausgesandten Strahlung

Sekunde

Urspr.: 1 s = 86400ster Teil eines mittleren Sonnentages

Heute: 1 s = 9192631770fache der Periodendauer der dem Übergang zwischen den Hyperfeinstruktur-niveaus des Grundzustandes von ^{133}Cs entsprechenden Strahlung

Kilogramm

Urspr.: 1 kg = Masse von einem Liter Wasser bei 4°C

Heute: 1 kg = Masse des internationalen Kilogrammprototyps

Ampere

Urspr.: 1 A = 1,118 mg/s Ag elektrochemisch aus AgNO_3 -Lösung abgeschieden

Heute: 1 A = Stärke eines Gleichstroms, der in zwei unendlich langen, in 1 m Abstand parallel zueinander angeordneten Leitern, pro 1 m Leiterlänge die Kraft $2 \cdot 10^{-7}$ N hervorrufen würde

Kelvin

1 K = 273,16ter Teil der thermodynamischen Temperatur des ersten Tripelpunktes von Wasser

Candela

1 cd = Lichtstärke, mit der $1/600000$ m² der Oberfläche eines schwarzen Strahlers bei der Temperatur des erstarrenden Platins (2024 K) bei einem Druck von 101325 Nm⁻² (1 atm) senkrecht zur Oberfläche leuchtet

Mol

1 mol = Stoffmenge eines Systems, die aus ebensovielen Elementareinheiten besteht, wie Atome in 12 g des Nuklids ^{12}C enthalten sind

Zusammenhang zwischen Basisgrößen und Basiseinheiten

Basisgröße	gebräuchliches Formelzeichen	Basiseinheit	Kurzzeichen
Länge	l, s, r	Meter	m
Masse	m	Kilogramm	kg
Zeit	t	Sekunde	s
elektr. Stromstärke	I	Ampere	A
absolute Temperatur	T	Kelvin	K
Lichtstärke	I_v	Candela	cd
Stoffmenge	n	Mol	mol

Abkürzungen abgeleiteter Einheiten

Physikal. Größe mit Formelzeichen	Einheit (SI) und Abkürzung		Definition bzw. Umrechnung
Kraft F	Newton	N	$1 \text{ N} = 1 \text{ kg m/s}^2$
Energie W	Joule	J	$1 \text{ J} = 1 \text{ Nm}$
Leistung P	Watt	W	$1 \text{ W} = 1 \text{ Nm/s} = 1 \text{ J/s}$
Druck p	Pascal	Pa	$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$
Ladung Q	Coulomb	C	$1 \text{ C} = 1 \text{ As}$
Spannung U	Volt	V	$1 \text{ V} = 1 \text{ W/A}$
Widerstand R	Ohm	Ω	$1 \Omega = 1 \text{ V/A}$
Kapazität C	Farad	F	$1 \text{ F} = 1 \text{ As/V} = 1 \text{ C/V}$
Induktivität L	Henry	H	$1 \text{ H} = 1 \text{ Vs/A}$
magnetischer Fluß F	Weber	Wb	$1 \text{ Wb} = 1 \text{ Vs}$
magnet. Induktion B	Tesla	T	$1 \text{ T} = 1 \text{ Vs/m}^2$

Einheitenvorsätze

10¹ ? da = Deka
10² ? h = Hekto
10³ ? k = Kilo
10⁶ ? M = Mega
10⁹ ? G = Giga
10¹² ? T = Tera
10¹⁵ ? P = Peta
10¹⁸ ? E = Exa

10⁻¹ ? d = Dezi
10⁻² ? c = Zenti
10⁻³ ? m = Milli
10⁻⁶ ? μ = Mikro
10⁻⁹ ? n = Nano
10⁻¹² ? p = Piko
10⁻¹⁵ ? f = Femto
10⁻¹⁸ ? a = Atto

Regeln zur Verwendung von Vorsätzen und Einheitenkurzzeichen

- * Gleichzeitige Verwendung mehrerer Vorsätze ist unzulässig.
- * Einheit und Vorsatz gelten als *ein* Symbol.
Dieses kann ohne Verwendung von Klammern zur Potenz erhoben werden.
- * Einheitenkurzzeichen erhalten keine Indizes.
- * Kombinationen von Kurzzeichen und ausgeschriebenen Vorsätzen und umgekehrt sind unzulässig.

Aufgabe 1:

Thema: Einheiten

Die Einheit der Energie W kann durch verschiedene abgeleitete Einheiten oder durch Basiseinheiten dargestellt werden.

- a) Wie gelangt man von der Einheit Nm zur Einheit $\frac{\text{kg m}^2}{\text{s}^2}$?

Eine früher gebräuchliche Einheit für die Leistung war das PS. Es gilt: 1 PS ist diejenige Leistung, die man aufwenden muß, um die Masse von 75 kg in der Zeit 1 s um 1 m anzuheben, wenn gleichzeitig die Normalbeschleunigung wirkt.

- b) Drücken Sie 1 PS durch die Einheit der elektrischen Leistung P ($[P] = 1\text{W}$) aus.

Lösung Aufgabe 1:

a) $1 \text{ Nm} = 1 \frac{\text{kg m}^2}{\text{s}^2}$

b) $1 \text{ PS} = 735,5 \text{ W}$

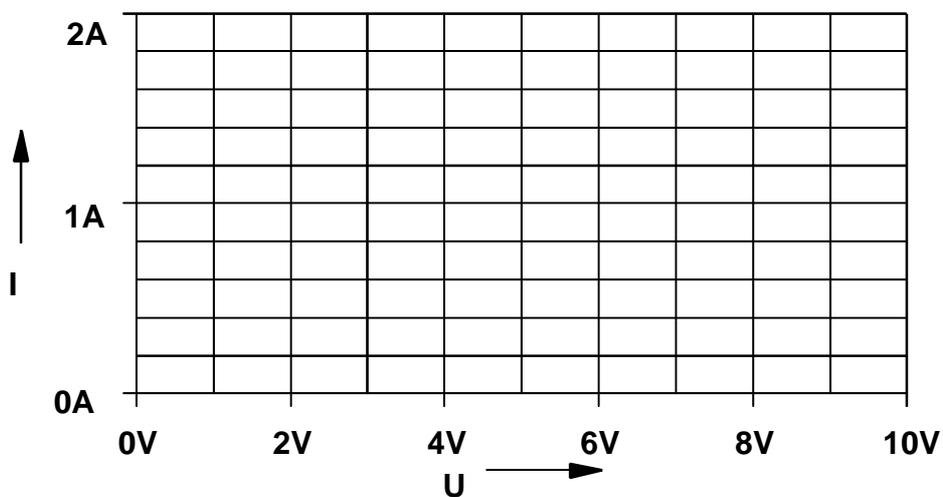
Aufgabe 2:

Thema: Größengleichungen

Gegeben ist die Wertetabelle einer Strom- und Spannungsmessung.

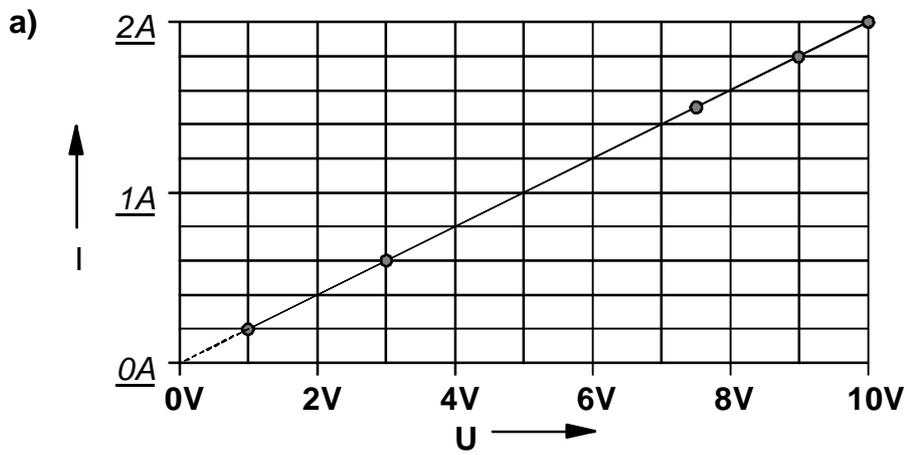
Spannung U	1 V	3 V	7,5 V	9 V	10 V
Strom I	0,2 A	0,6 A	1,5 A	1,8 A	2,0 A

a) Übertragen Sie diese Wertetabelle in eine graphische Darstellung.



b) Geben Sie die Gesetzmäßigkeit $I=f(U)$ in Form einer Größengleichung an.

Lösung Aufgabe 2:



b) $I = \frac{U}{R}$ mit $R=5\Omega$

oder

$I = G \cdot U$ mit $G=0,2S$

Aufgabe 3:

Thema: Größengleichung → zugeschnittene Größengleichung → Zahlenwertgleichung

Für die Wärmeenergie, die ein Körper bei Erwärmung aufnimmt, gilt folgende Größengleichung:

$$W = m \cdot c \cdot \Delta\theta$$

W = aufgenommene Wärmeenergie,
c = spezifische Wärme,

m = Masse des Körpers,
 $\Delta\theta$ = Temperaturdifferenz.

- a) Es soll die zugehörige zugeschnittene Größengleichung bestimmt werden, in der die Größen in folgenden Einheiten angegeben werden:

$$[W] = \text{J} \quad [m] = \text{kg} \quad [c] = \frac{\text{J}}{\text{g} \cdot \text{K}} \quad [\Delta\theta] = \text{K}$$

- b) Wie lautet die entsprechende Zahlenwertgleichung ?

Lösung Aufgabe 3:

$$\text{a) } \frac{W}{\text{J}} = 10^3 \cdot \frac{m}{\text{kg}} \cdot \frac{c}{\frac{\text{J}}{\text{g} \cdot \text{K}}} \cdot \frac{\Delta\theta}{\text{K}}$$

$$\text{b) } W = 10^3 \cdot m \cdot c \cdot \Delta\theta$$

$$[W] = \text{J}$$

$$[m] = \text{kg}$$

$$[c] = \frac{\text{J}}{\text{g} \cdot \text{K}}$$

$$[\Delta\theta] = \text{K}$$

Aufgabe 4:

Thema: Zahlenwertgleichung → zugeschnittene Größengleichung → Größengleichung

Die Zahlenwertgleichung $M = 9,54 \cdot 10^3 \frac{P}{n}$

M in Nm

P in kW

n in min^{-1}

ist in die allgemeine Größengleichung $M = \frac{P}{\omega}$ umzuwandeln.

Es gilt: $\omega = 2\pi f$ und $1\text{Nm} = 1\text{Ws}$.

Lösung Aufgabe 4:

Lösung siehe Übung

Aufgabe 5:

Thema: einfache Vektoroperationen

Gegeben sind die elektrischen Feldstärke-Vektoren \vec{E}_1 und \vec{E}_2 durch folgende Angaben:

$$|\vec{E}_1| = 5,5 \frac{\text{V}}{\text{m}}; \quad \cos(\vec{E}_1, \vec{e}_x) = 0,30; \quad \cos(\vec{E}_1, \vec{e}_y) = 0,37$$

$$|\vec{E}_2| = 8,1 \frac{\text{V}}{\text{m}}; \quad \cos(\vec{E}_2, \vec{e}_x) = 0,82; \quad \cos(\vec{E}_2, \vec{e}_y) = 0,11$$

Sämtliche Komponenten der Vektoren \vec{E}_1 und \vec{E}_2 sind positiv.

- | | | | |
|----------------|----|---------------------|------------------------------|
| Berechnen Sie: | a) | die Vektorsumme | $\vec{E}_1 + \vec{E}_2,$ |
| | b) | das skalare Produkt | $\vec{E}_1 \cdot \vec{E}_2,$ |
| | c) | den Winkel zwischen | \vec{E}_1 und $\vec{E}_2.$ |

Lösung Aufgabe 5:

$$\text{a) } \vec{E}_1 + \vec{E}_2 = (8,29 \cdot \vec{e}_x + 2,93 \cdot \vec{e}_y + 9,38 \cdot \vec{e}_z) \frac{\text{V}}{\text{m}}$$

$$\text{b) } \vec{E}_1 \cdot \vec{E}_2 = 34,75 \frac{\text{V}^2}{\text{m}^2}$$

$$\text{c) } ? (\vec{E}_1, \vec{E}_2) = 38,74^\circ$$

Aufgabe 6:

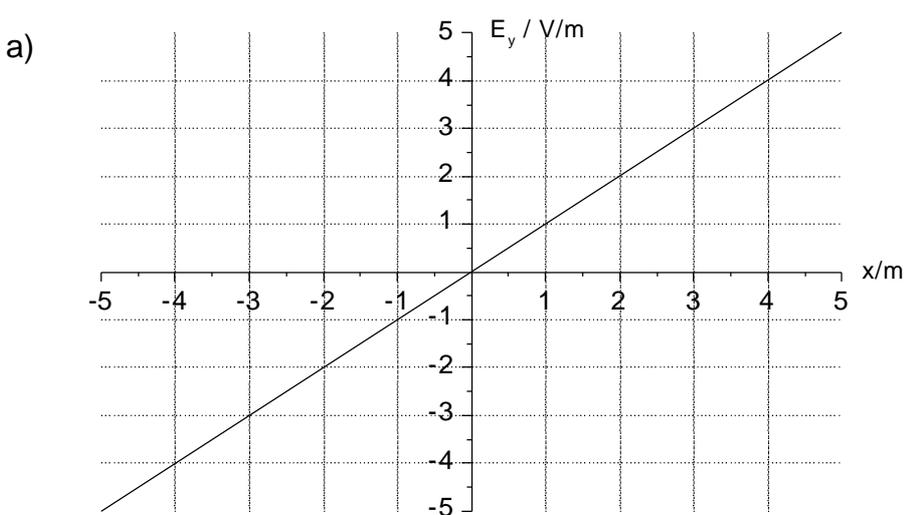
Thema: Umlaufspannung, Elektronenbewegung im elektrischen Feld

Gegeben sei das folgende zweidimensionale Vektorfeld der elektrischen Feldstärke:

$$\vec{E} = \begin{pmatrix} 0 \\ kx \end{pmatrix} \text{ mit } k = 1 \frac{\text{V}}{\text{m}^2}$$

- a) Skizzieren Sie den Verlauf der Komponenten der Feldstärke entlang der x-Achse für $|x| \leq 5 \text{ m}$
- b) Bestimmen Sie die Umlaufspannung längs eines zum Koordinatenursprung zentrierten, die Achsen senkrecht schneidenden Quadrates mit der Kantenlänge a.
- c) Zum Zeitpunkt $t_1 = 0 \text{ s}$ bewegt sich vom Punkt $P_1 (x_1=2\text{m} ; y_1=2\text{m})$ ein Elektron mit der Geschwindigkeit $v_1 = 5 \cdot 10^5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ in positive y-Richtung.
 - a) Welche Entfernung von der x-Achse hat das Elektron zu einem Zeitpunkt $t_2 > t_1$, wenn seine Geschwindigkeit Null beträgt ?
 - β) Bestimmen Sie den Zeitpunkt $t_3 > t_2$, zu dem das Elektron die x-Achse schneidet.

Lösung Aufgabe 6:



b) $U = 1\text{V} \cdot \left(\frac{a}{\text{m}}\right)^2$

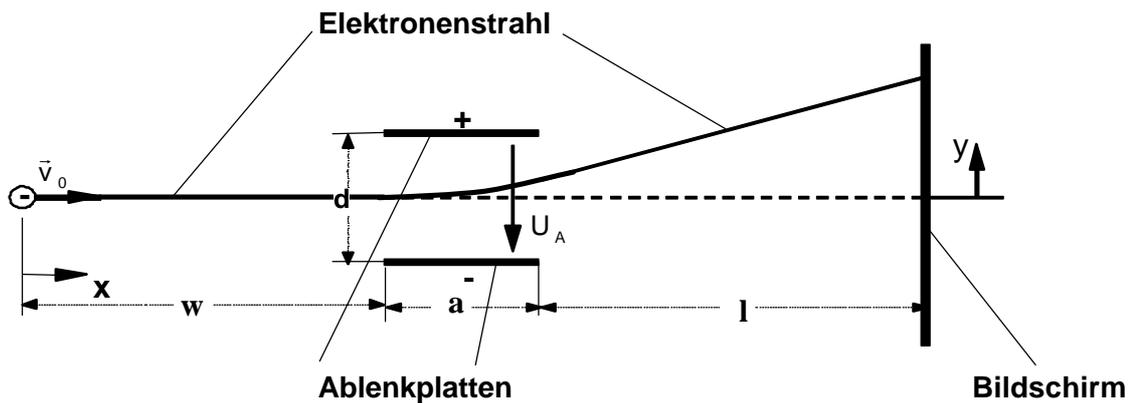
c) α) $y_U = 2,356 \text{ m}$

β) $t_3 = 5,08 \mu\text{s}$

Aufgabe 7:

Thema: Ablenkung eines Elektrons im elektrischen Feld

In einem Oszilloskop wird zur Ablenkung des Elektronenstrahls die Kraftwirkung eines elektrischen Feldes auf ein Elektron (Masse m_0 , Elementarladung e) ausgenutzt. Das Prinzip einer solchen Anordnung zeigt die nachfolgende Abbildung:



Bei $x = 0$ hat der Geschwindigkeitsvektor den Betrag v_0 und seine y -Komponente ist dort gleich Null.

Zwischen den beiden Ablenplatten mit dem Abstand d liegt die Gleichspannung U_A an.

Zahlenwerte: $w = 2 \text{ cm}$ $d = 2 \text{ cm}$ $a = 2 \text{ cm}$ $l = 10 \text{ cm}$

$U_A = 500 \text{ V}$ $e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ As}$

$v_0 = 0,5 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ $m_0 = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$

- a) Beschreiben und erklären Sie den Bahnverlauf des Elektrons für $0 \leq x \leq w+a+l$.
- b) Bestimmen Sie die Größe der Ablenkung auf dem Bildschirm in Abhängigkeit von der Ablenkspannung U_A .

Lösung Aufgabe 7:

- a) I) $0 \leq x \leq w$: keine Kraftwirkung auf Elektron, $\vec{v} = \vec{v}_0 = \text{const.}$
- II) $w \leq x \leq w+a$: elektrische Feldstärke zwischen den Ablenplatten bewirkt Ablenkung des Elektrons in y -Richtung
- III) $w+a \leq x \leq w+a+l$: keine Kraftwirkung auf Elektron, $\vec{v} = \text{const.}$

b)
$$y_{\text{Schirm}} = \frac{e \cdot U_A \cdot a}{m_0 \cdot d \cdot v_0^2} \cdot \left(\frac{a}{2} + l \right) = 3,87 \text{ mm}$$

Aufgabe 8:

Thema: Driftgeschwindigkeit

Ein in Haushalten oft verwendeter Querschnitt von elektrischen Leitungen ist $A=1,5 \text{ mm}^2$. Eine solche Leitung darf nach der VDE-Vorschrift "VDE 0100" mit maximal 10 A abgesichert werden.

- a) Bestimmen Sie die maximal zulässige Stromdichte S in einer solchen Leitung.
- b) Berechnen Sie unter der Annahme, daß die Dichte der frei beweglichen Leitungselektronen $n = 10^{23} \text{ cm}^{-3}$ beträgt, die Driftgeschwindigkeit v_D der Elektronen bei maximaler Stromdichte.

Die Ladung eines einzelnen Elektrons beträgt $e_- = -1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

Lösung Aufgabe 8:

a)
$$S_{\max} = 6 \frac{2}{3} \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$$

Aufgabe 9:

Thema: Kohleschichtwiderstand

Durch Auftragen einer dünnen Kohleschicht der Stärke s auf einen zylindrischen, isolierenden Keramikkörper mit dem Durchmesser d ($s \ll d$) sollen Widerstände mit unterschiedlichem Widerstandswert R hergestellt werden.

- a) Man bestimme die zugeschnittene Größengleichung zur Berechnung des Widerstandes R mit folgenden Einheiten:

Widerstand R in Ω ; Zylinderlänge l in cm; Zylinderdurchmesser d in mm;

Schichtdicke s in μm ; spezifischer Widerstand ρ der Kohleschicht in $\Omega \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$.

- b) Wie groß muß die Länge des Keramikkörpers sein, wenn ein Widerstand von 10Ω hergestellt werden soll und folgende Werte vorliegen:

$$\rho = 10 \Omega \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}; \quad d = 4 \text{ mm}; \quad s = 1,5 \mu\text{m}$$

Lösung Aufgabe 9:

- a) Querschnittsfläche der Kohleschicht:

$$A \approx \pi \cdot d \cdot s$$

$$\frac{R}{\Omega} = \frac{10}{\pi} \cdot \frac{\rho}{\Omega \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}} \cdot \frac{l}{\text{cm}} \cdot \frac{1}{\frac{d}{\text{mm}}} \cdot \frac{1}{\frac{s}{\mu\text{m}}}$$

- b) $l = 1,88 \text{ cm}$

b) $v_D = -4,16 \cdot 10^{-2} \frac{\text{cm}}{\text{s}}$

Aufgabe 10:

Thema: Temperaturbeiwerte

An einem ohmschen Widerstand werden bei zwei Temperaturen θ_1 und θ_2 folgende Messungen durchgeführt:

$$1.) \theta_1 = 220^\circ\text{C} : \frac{R_{\theta_1}}{R_{20}} = 1,1$$

$$2.) \theta_2 = 2020^\circ\text{C} : \frac{R_{\theta_2}}{R_{20}} = 1,3$$

R_{20} : Widerstandswert bei $\theta = 20^\circ\text{C}$

Es sollen die Temperaturbeiwerte α_{20} und β_{20} des Widerstandsmaterials bestimmt werden.

Lösung Aufgabe 10:

$$\alpha_{20} = 0,539 \cdot 10^{-3} \text{K}^{-1}$$

$$\beta_{20} = -1,94 \cdot 10^{-7} \text{K}^{-2}$$

Aufgabe 11:

Thema: Temperaturabhängigkeit des ohmschen Widerstandes, Fehlerrechnung

Gegeben sind die Temperaturbeiwerte von Wolfram:

$$\alpha_{20} = 4,1 \cdot 10^{-3} \text{K}^{-1}$$

$$\beta_{20} = 1 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-2}$$

Der Zusammenhang zwischen dem temperaturabhängigen Widerstand $R(\theta)$ und der Temperaturdifferenz $\Delta\theta = \theta - 20^\circ\text{C}$ wird durch die folgende Gleichung beschrieben:

$$R(\Delta\theta) = R_{20} \cdot \left[1 + \alpha_{20} \cdot \Delta\theta + \beta_{20} \cdot (\Delta\theta)^2 \right]$$

a) Berechnen Sie $R(\theta)$ für $\alpha)$ $\theta_1 = 220^\circ\text{C}$;

$\beta)$ $\theta_2 = 2020^\circ\text{C}$.

b) Bestimmen Sie für die beiden Temperaturdifferenzen $\Delta\theta_1$ und $\Delta\theta_2$ den relativen Fehler bei Weglassen des quadratischen Gliedes in der Gleichung für $R(\theta)$ unter der Annahme, daß der Wert für $R(\theta)$ gemäß der oben angeführten Gleichung der richtige Wert und der Wert für $R(\theta)$ bei Weglassen des quadratischen Gliedes der falsche Wert ist.

Hinweis: Definition des absoluten Fehlers F : $F = \text{falscher Wert} - \text{richtiger Wert}$

Definition des relativen Fehlers f : $f = \frac{\text{falscher Wert} - \text{richtiger Wert}}{\text{richtiger Wert}}$

Lösung Aufgabe 11:

a) $\alpha)$ $R_{\theta_1} = 1,86 \cdot R_{20}$

$\beta)$ $R_{\theta_2} = 13,2 \cdot R_{20}$

b) $f(\theta = \theta_1) = -0,0215$ ($\hat{=} -2,15\%$)

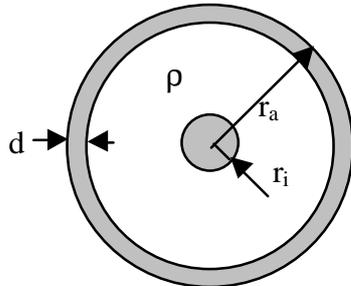
$f(\theta = \theta_2) = -0,303$ ($\hat{=} -30,3\%$)

Aufgabe 12:

Thema: Koaxialkabel, Widerstandsberechnung

Gegeben sei ein Koaxialkabel der Länge l mit dem Innenradius r_i und dem Außenradius r_a .

Die Wandstärke des Außenleiters sei d .



Das Leitungsmaterial (Kupfer) hat die spezifische Leitfähigkeit σ . Das Isolationsmaterial hat den spezifischen Widerstand ρ .

Zahlenwerte:

r_i	=	0,3 mm	ρ	=	$10^{10} \Omega \text{ m}$
r_a	=	2,8 mm	σ	=	$6,4 \cdot 10^5 \text{ S / cm}$
d	=	0,3 mm	l	=	10 m

- Bestimmen Sie den Leitwert zwischen Innen- und Außenleiter.
- Wie groß ist der Widerstand des Innenleiters bzw. des Außenleiters?

An einem Ende des Kabels wird nun eine Spannung von 1 V angelegt.

- Welche Leistung wird im Kabel umgesetzt, wenn das andere Ende des Kabels offen bleibt?
- Welche Leistung wird im Kabel umgesetzt, wenn das andere Ende des Kabels kurzgeschlossen wird?

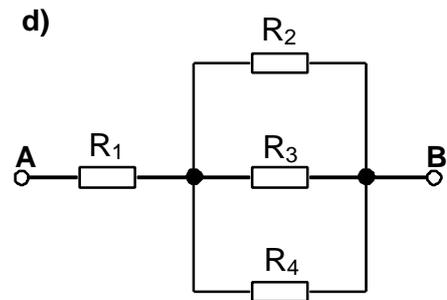
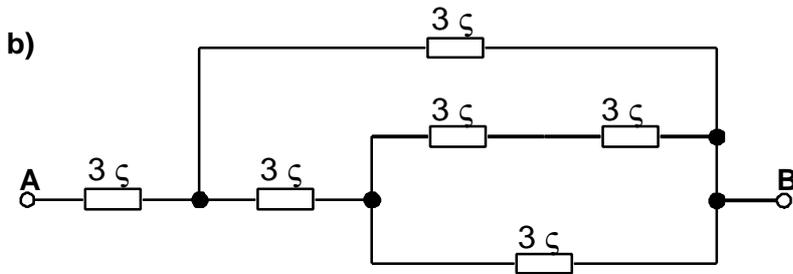
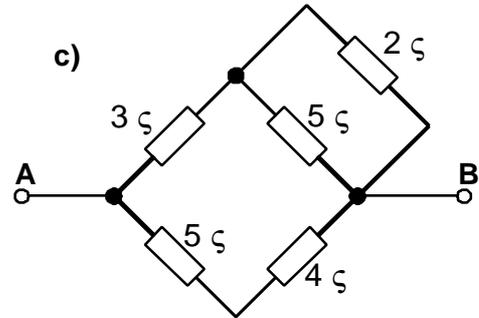
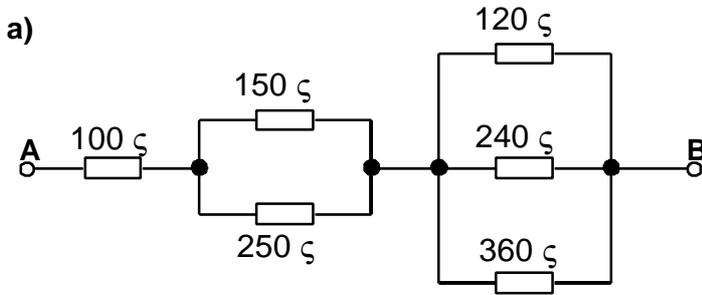
Lösung Aufgabe 12:

- $G = 2,96 \text{ nS}$
- $R_I = 553 \text{ m}\Omega$ $R_A = 31,3 \text{ m}\Omega$
- $P_{\text{offen}} = 2,96 \text{ nW}$
- $P_{\text{geschlossen}} = 1,71 \text{ W}$

Aufgabe 13:

Thema: Berechnung von Widerstandsnetzwerken

Man berechne den Widerstand folgender Schaltungen jeweils bezüglich des Klemmenpaares A-B



Lösung Aufgabe 13:

a) $R_{AB} = 259,2 \Omega$

b) $R_{AB} = \frac{39}{8} \Omega$

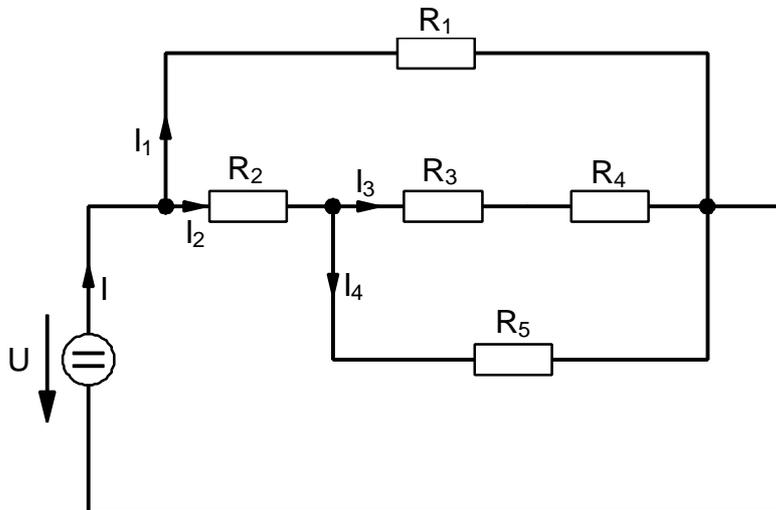
c) $R_{AB} = 2,97 \Omega$

d) $R_{AB} = R_1 + \frac{R_2 \cdot R_3 \cdot R_4}{R_2 R_3 + R_3 R_4 + R_2 R_4}$

Aufgabe 14:

Thema: Stromteilerregel

Gegeben ist das skizzierte Netzwerk:



Zahlenwerte:

$$U = 25 \text{ V}$$

$$R_1 = R_5 = 10 \text{ } \Omega$$

$$R_2 = 5 \text{ } \Omega$$

$$R_3 = 4 \text{ } \Omega$$

$$R_4 = 6 \text{ } \Omega$$

Berechnen Sie die gesamte Stromverteilung im Netzwerk.

Lösung Aufgabe 14:

$$I = 5 \text{ A}$$

$$I_1 = 2,5 \text{ A}$$

$$I_2 = 2,5 \text{ A}$$

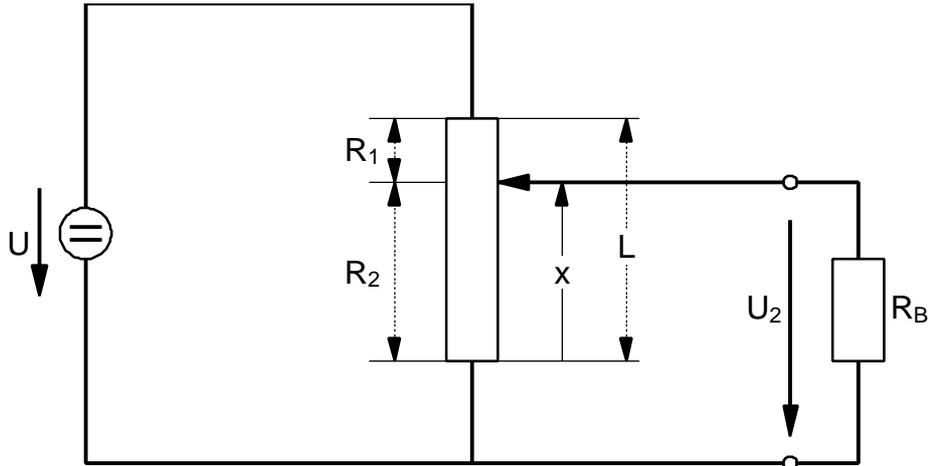
$$I_3 = 1,25 \text{ A}$$

$$I_4 = 1,25 \text{ A}$$

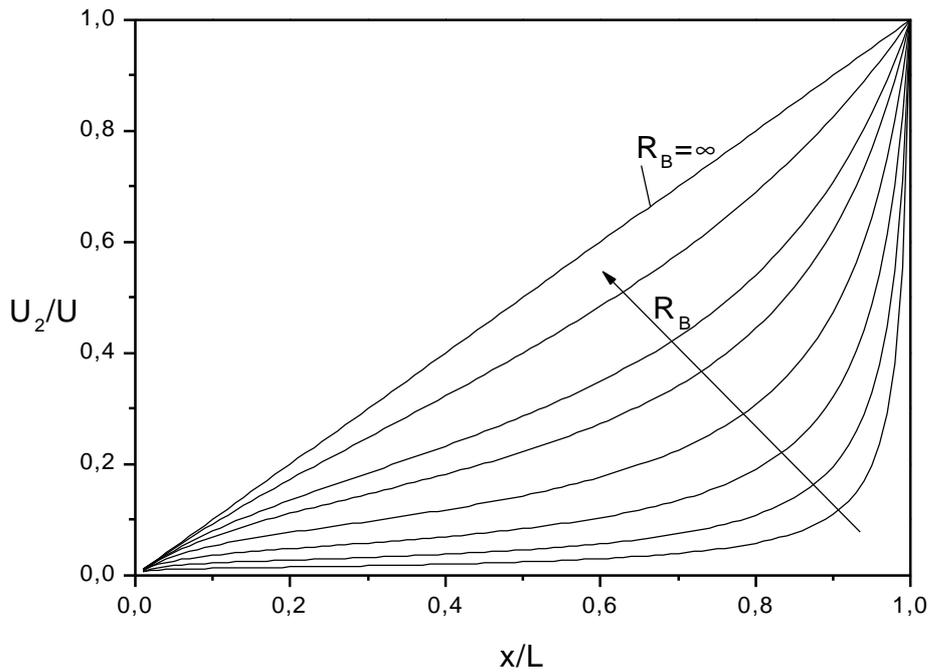
Aufgabe 15:

Thema: Spannungsteilerregel

Gegeben ist der skizzierte Spannungsteiler (Potentiometer). Diskutieren Sie den Verlauf der Spannung U_2 in Abhängigkeit von der Schleiferstellung $\frac{x}{L}$ mit dem Lastwiderstand R_B als Parameter.



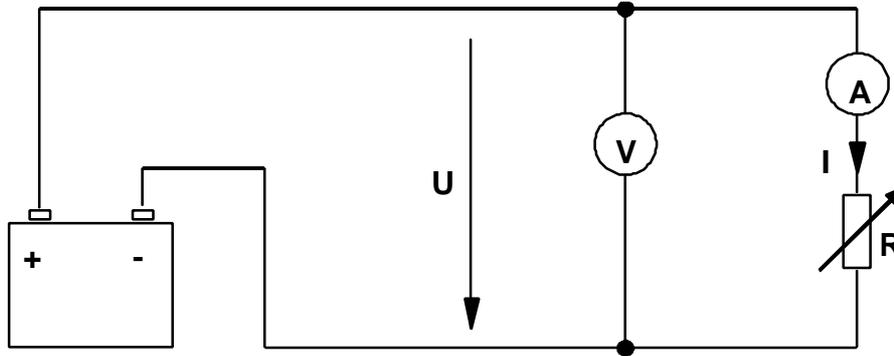
Lösung Aufgabe 15:



Aufgabe 16:

Thema: Reale Spannungsquelle

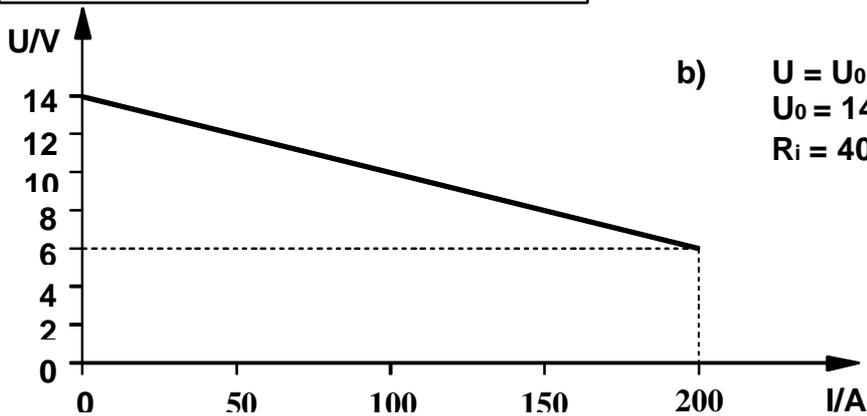
An einer Batterie wird gemäß der dargestellten Schaltung durch Änderung des Belastungswiderstandes R eine Strom-Spannung-Messreihe aufgenommen (s. Tabelle). Die Meßgeräte seien als ideal anzunehmen, das heißt, der Innenwiderstand des Amperemeters ist gleich Null, und der Innenwiderstand des Voltmeters ist unendlich groß.



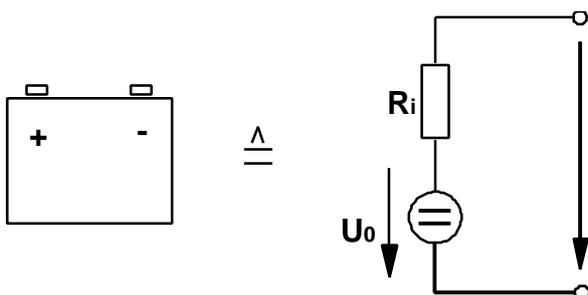
U / V	14	12	10	8	6
I / A	0	50	100	150	200

- Skizzieren Sie die Abhängigkeit der Spannung U vom Strom I.
- Beschreiben Sie den Verlauf $U=f(I)$ durch eine Gleichung.
- Überlegen Sie sich eine elektrische Ersatzschaltung für die Batterie, die der Strom-Spannung-Messreihe und der in b) aufgestellten Gleichung genügt.

Lösung Aufgabe 16:

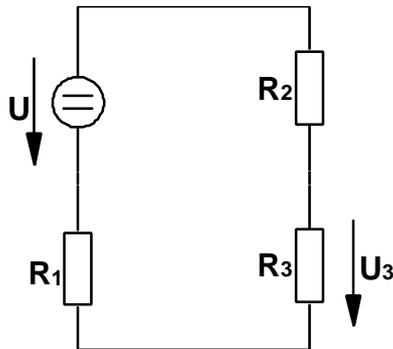


b) $U = U_0 - R_i \cdot I$
 $U_0 = 14 \text{ V}$
 $R_i = 40 \text{ m}\Omega$



Aufgabe 17:

Thema: Spannungsmessung



Gegeben sei die nebenstehende Schaltung mit folgenden Zahlenwerten:

$$\begin{aligned} U &= 100\text{V} \\ R_1 &= 100\ \Omega \\ R_2 &= 3,9\ \text{k}\Omega \\ R_3 &= 6\ \text{k}\Omega \end{aligned}$$

- Berechnen Sie die Spannung U_3 .
- Eine Messung der Spannung am Widerstand R_3 mit einem Spannungsmesser (Meßbereich 100 V, Innenwiderstand 30 k Ω , Genauigkeitsklasse 1,5) ergibt einen Wert von $U_{3\text{ Meß}} = 56\text{ V}$.
Wie läßt sich die Differenz zu dem unter a) berechneten Wert erklären ?

Hinweis: Die Genauigkeitsklasse eines Meßgerätes gibt den Betrag des absoluten Fehlers bezogen auf den Endwert des Meßbereiches in Prozent an.

Lösung Aufgabe 17:

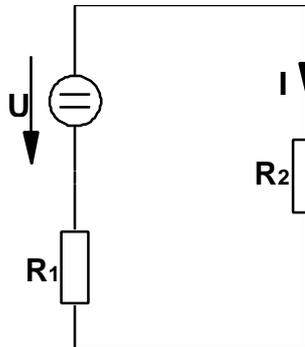
- $U_3 = 60\text{ V}$
- Ursachen der Differenz:
 - Systematischer Fehler durch den Innenwiderstand des Spannungsmessers
 - durch die Ungenauigkeit der Meßapparatur bedingter Fehler (spezifiziert durch die Genauigkeitsklasse)

Bei einwandfreier Funktion des Meßgerätes muß der angezeigte Spannungswert im folgenden Bereich liegen:

$$54,1\text{ V} [U_{3\text{ Anz}} [57,1\text{ V}$$

Aufgabe 18:

Thema: Strommessung



Gegeben sei die nebenstehende Schaltung mit folgenden Zahlenwerten:

$$U = 100 \text{ V}$$

$$R_1 = 2 \text{ } \Omega$$

$$R_2 = 8 \text{ } \Omega$$

- Berechnen Sie den Strom I .
- In welchem Bereich wird die Anzeige eines Strommessers mit den nachfolgend angegebenen Kennwerten liegen?

Kennwerte des Strommessers:

- Innenwiderstand $1,1 \text{ } \Omega$
- Messbereichsendwert 10 A
- Genauigkeitsklasse $0,5$

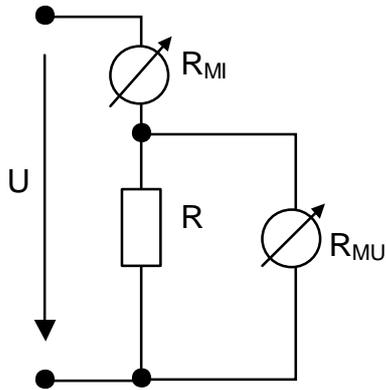
Lösung Aufgabe 18:

- $I = 10 \text{ A}$
- $8,95 \text{ A} [I_{\text{Anz}} [9,05 \text{ A}$

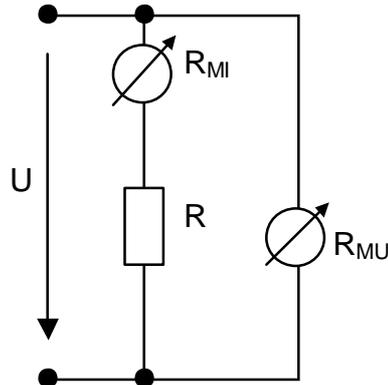
Aufgabe 19:

Thema: Widerstandsbestimmung durch simultane Strom- und Spannungsmessung

Die Bestimmung eines Widerstandes R kann durch gleichzeitige Spannungs- und Strommessung nach einer der beiden skizzierten Schaltungen (A oder B) erfolgen.



Schaltung A



Schaltung B

R_{MI} : Innenwiderstand des Strommessers

R_{MU} : Innenwiderstand des Spannungsmessers

- a) Wie groß sind die mit den beiden verschiedenen Schaltungen A und B gemessenen Widerstände $R_{Mess A}$ und $R_{Mess B}$ in Abhängigkeit von R_{MU} und R_{MI} ?
- b) Ermitteln Sie die Beträge der systematischen relativen Messfehler

$$|f| = \left| \frac{R_{Mess} - R}{R} \right| \quad \text{für beide Schaltungen.}$$

Lösung Aufgabe 19:

a) $R_{MessA} = \frac{R \cdot R_{MU}}{R + R_{MU}}$

$R_{MessB} = R + R_{MI}$

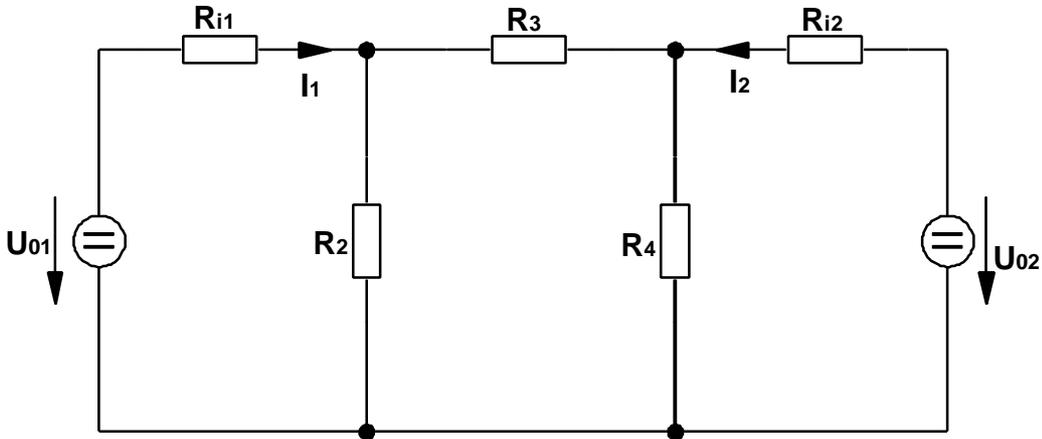
b) $|f_A| = \frac{1}{1 + \frac{R_{MU}}{R}}$

$|f_B| = \frac{R_{MI}}{R}$

Aufgabe 20:

Thema: Dreieck-Stern-Umwandlung

Gegeben ist folgendes Netzwerk mit den angegebenen Werten:



- | | | |
|-------------------------|---------------------|-------------------|
| $U_{01} = 10 \text{ V}$ | $R_{i1} = 2 \Omega$ | $R_2 = 7 \Omega$ |
| $U_{02} = 20 \text{ V}$ | $R_{i2} = 4 \Omega$ | $R_3 = 28 \Omega$ |
| | | $R_4 = 14 \Omega$ |

Bestimmen Sie die Ströme I_1 und I_2 .

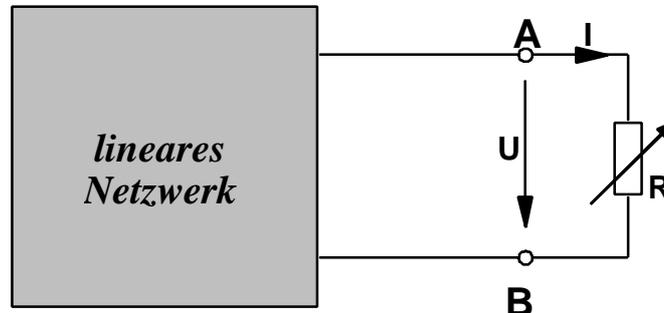
Überlegen Sie, ob die Umwandlung des Dreiecks aus R_2 , R_3 und R_4 in einen äquivalenten Stern zweckmäßig ist.

Lösung Aufgabe 20:

$I_1 = 0,93 \text{ A}; \quad I_2 = 1,3 \text{ A}$

Aufgabe 21:

Thema: Ersatzschaltungen für ein lineares Netzwerk



Gegeben ist ein lineares Netzwerk, dessen Struktur unbekannt ist und das deshalb durch eine sogenannte "Black-Box" symbolisiert wird. Dieses Netzwerk, welches beliebig viele aktive (Strom- oder Spannungsquellen) und passive (hier nur ohmsche Widerstände) Bauelemente enthält, wird an den Klemmen A-B durch einen variablen Widerstand R belastet. Zwei Messungen des Stromes I und der Spannung U an den Klemmen A-B bei jeweils unterschiedlichem Lastwiderstand R ergeben folgende Werte:

Messung 1: $I_1 = 10\text{A}$ $U_1 = 90\text{V}$

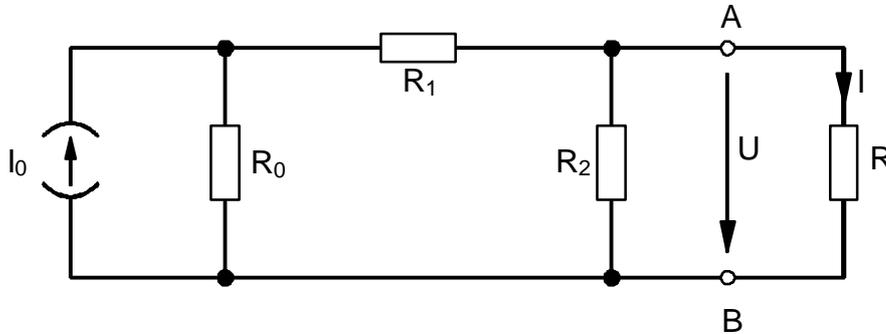
Messung 2: $I_2 = 20\text{A}$ $U_2 = 80\text{V}$

- a) Ermitteln Sie die Gleichung $U = f(I)$ der Spannungs-Strom-Kennlinie bezüglich der Klemmen A-B. Skizzieren Sie die Kennlinie und ermitteln Sie die Leerlaufspannung U_L sowie den Innenwiderstand R_i .
- b) Man ersetze das Netzwerk bezüglich der Klemmen A-B durch eine Ersatzspannungsquelle mit der Quellenspannung U_0 und dem Innenwiderstand R_i .
- c) Ermitteln Sie die Gleichung $I = f(U)$ der Strom-Spannungs-Kennlinie bezüglich der Klemmen A-B. Skizzieren Sie die Kennlinie und ermitteln Sie den Kurzschlußstrom I_K sowie den Innenleitwert G_i .
- d) Man ersetze das Netzwerk durch eine Ersatzstromquelle mit dem Quellenstrom I_0 und dem Innenleitwert G_i .
- e) Zeigen Sie für beide Schaltungen, daß an den Klemmen A-B zwischen der Leerlaufspannung U_L und dem Kurzschlußstrom I_K die Beziehung $U_L = R_i \cdot I_K$ gilt.

Aufgabe 22:

Thema: Methode der Ersatzspannungsquelle bzw. der Ersatzstromquelle

Gegeben ist folgende Schaltung:



- a) Berechnen Sie den Strom I durch Umwandlung der Schaltung in eine Ersatzspannungsquelle bezüglich der Klemmen A - B.
- b) Berechnen Sie den Strom I durch Umwandlung der Schaltung in eine Ersatzstromquelle bezüglich der Klemmen A - B.

Lösung Aufgabe 22:

$$\text{a) } U_L = R_2 \cdot I_0 \cdot \frac{R_0}{R_0 + R_1 + R_2}$$

$$R_i = R_2 // (R_0 + R_1) = \frac{R_2 \cdot (R_0 + R_1)}{R_0 + R_1 + R_2}$$

$$I = I_0 \cdot \frac{R_0 \cdot R_2}{R_2 \cdot (R_0 + R_1) + R \cdot (R_0 + R_1 + R_2)}$$

$$\text{b) } I_k = \frac{R_0}{R_0 + R_1} \cdot I_0$$

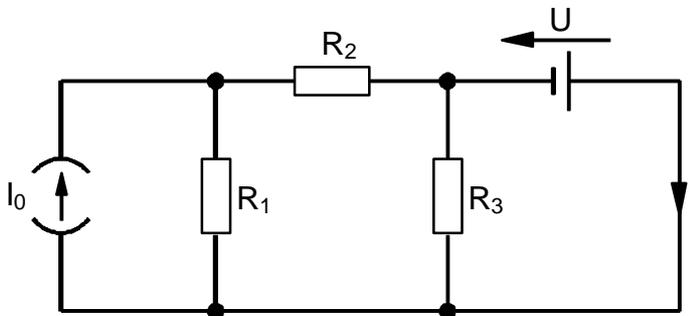
$$G_i = \frac{1}{R_i}$$

$$I = I_k \cdot \frac{R_i}{R + R_i} = I_0 \cdot \frac{R_0 \cdot R_2}{R_2 \cdot (R_0 + R_1) + R \cdot (R_0 + R_1 + R_2)}$$

Aufgabe 23:

Thema: Überlagerungsverfahren

Gegeben ist die nachfolgend skizzierte Schaltung:



Zahlenwerte:

$$R_1 = R_2 = 5 \, \Omega$$

$$R_3 = 2 \, \Omega$$

ideale Stromquelle mit $I_0 = 2 \, \text{A}$

technische Spannungsquelle U

mit $U_L = 10 \, \text{V}$ und $R_i = 5 \, \Omega$

Berechnen Sie den Strom I mit Hilfe des Überlagerungsverfahrens.

Lösung Aufgabe 23:

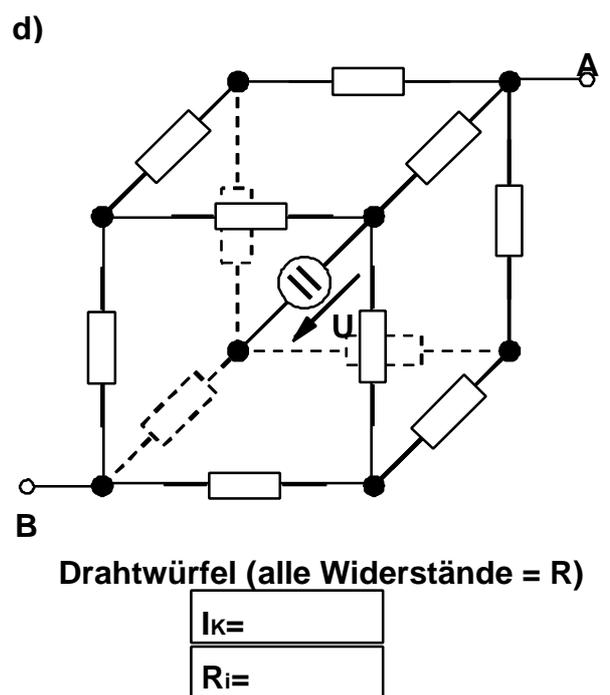
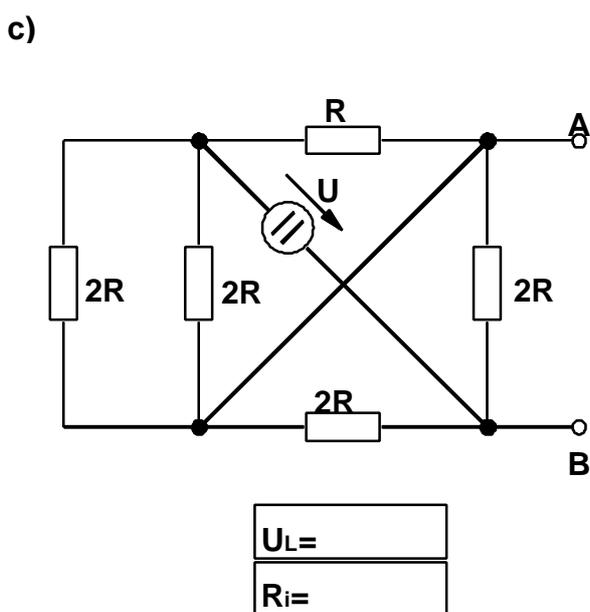
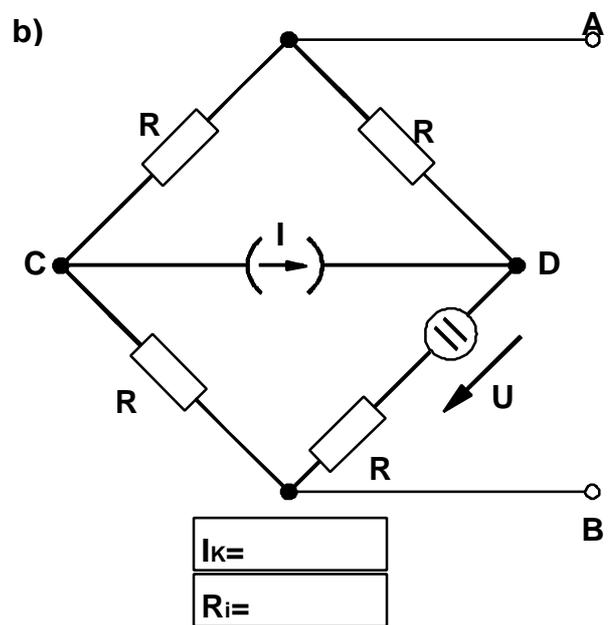
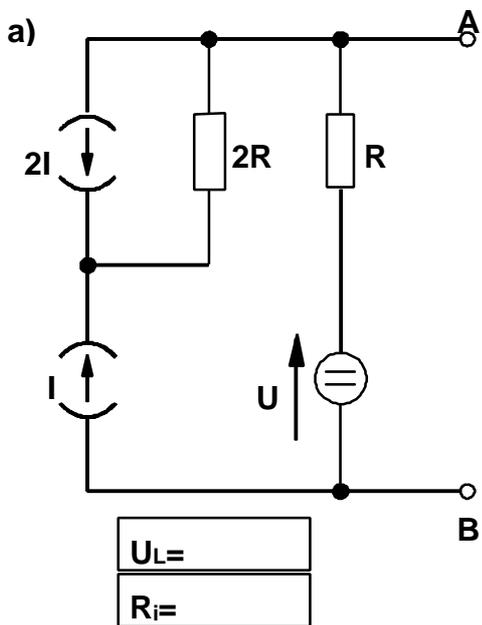
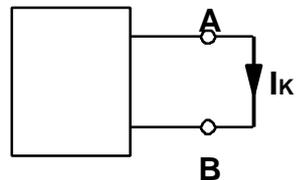
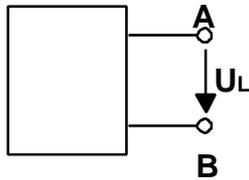
nur U_L wirksam: $I' = 1,5 \, \text{A}$

nur I_0 wirksam: $I'' = 0,25 \, \text{A}$

$$I = I' + I'' = 1,75 \, \text{A}$$

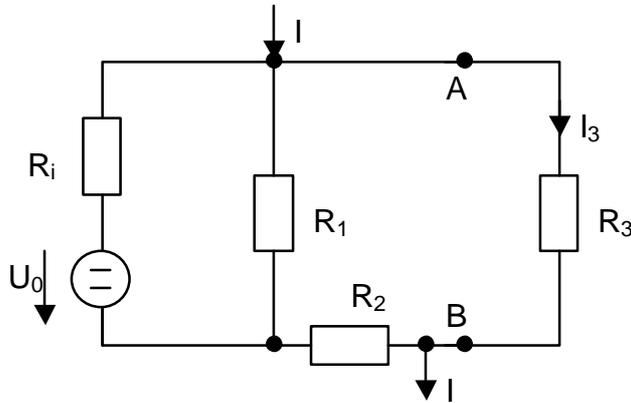
Aufgabe 24:

Bestimmen Sie für die gegebenen Netzwerke die jeweils geforderten Kenngrößen der Ersatzzweipolquellen bezüglich der Klemmen A und B. Für die Vorzeichen der Ersatzgrößen beachten Sie bitte folgende Konvention:



Aufgabe 25:

Thema: Methode der Ersatzspannungsquelle bzw. Ersatzstromquelle, Überlagerungsverfahren (Superposition)



Zahlenwerte:

$$I = 2 \text{ A}$$

$$U_0 = 10 \text{ V}$$

$$R_i = 1 \ \Omega$$

$$R_1 = R_2 = 4 \ \Omega$$

$$R_3 = 5 \ \Omega$$

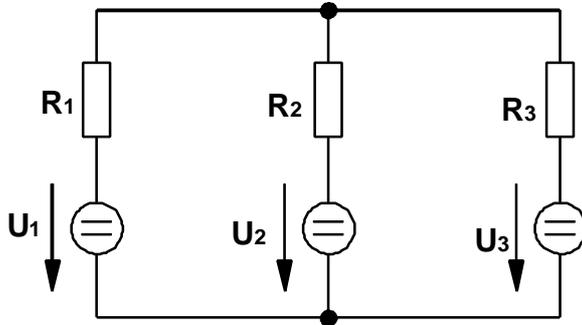
- Bestimmen Sie den Strom I_3 mit Hilfe der Methode der Ersatzspannungsquelle.
- Bestimmen Sie den Strom I_3 mit Hilfe der Methode der Ersatzstromquelle.

Lösung Aufgabe 25:

- $I_3 = 1,796 \text{ A}$
- $I_3 = 1,796 \text{ A}$

Aufgabe 26:

Thema: Zählfeilsysteme, Leistungsbilanz



Zahlenwerte:

$U_1 = 2V$	$R_1 = 1W$
$U_2 = 4V$	$R_2 = 2W$
$U_3 = 6V$	$R_3 = 2W$

- a) Welche Ströme fließen in den Zweigen der oben skizzierten Schaltung ?
- b) Berechnen Sie die Leistungen der einzelnen Spannungsquellen und die in Wärme umgesetzten Leistungen der Widerstände. Stellen Sie anschließend eine Leistungsbilanz für die gesamte Schaltung auf.

Lösung Aufgabe 26:

- a) Stromzählpfeile gegensinnig zu den Spannungszählpfeilen angesetzt:

$$I_1 = -\frac{3}{2} A; \quad I_2 = \frac{1}{4} A; \quad I_3 = \frac{5}{4} A;$$

- b) Wähle Erzeugerzählfeilsystem (d.h. erzeugte Leistung wird positiv gezählt):

$$P_{Q1} = -3W; \quad P_{Q2} = 1W; \quad P_{Q3} = 7,5W;$$

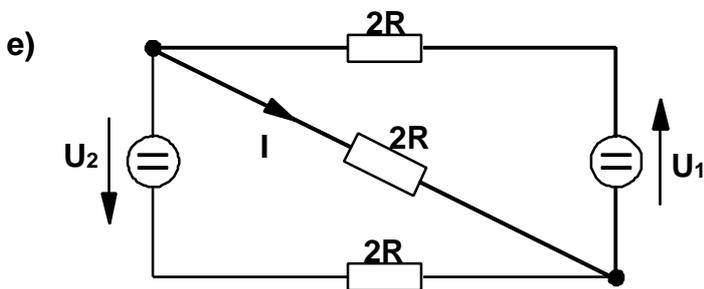
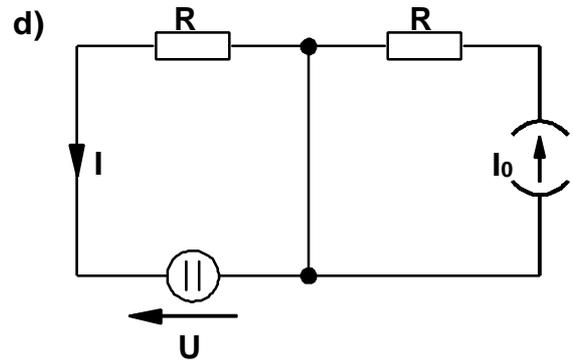
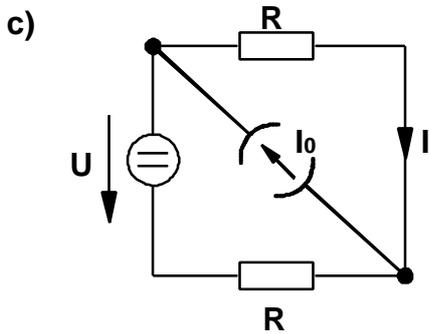
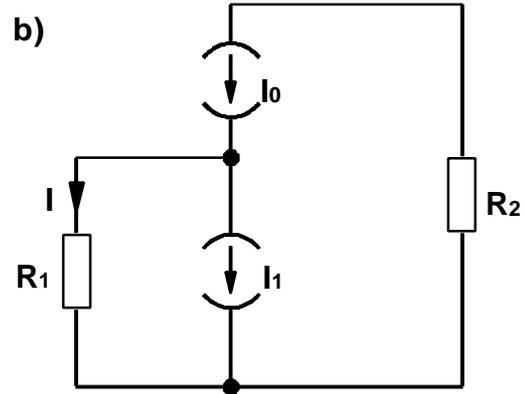
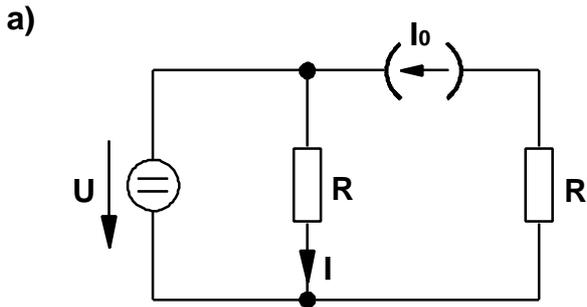
$$P_{R1} = -2,25W; \quad P_{R2} = -0,125W; \quad P_{R3} = -3,125W;$$

Leistungsbilanz: $P_{Q1} + P_{Q2} + P_{Q3} + P_{R1} + P_{R2} + P_{R3} = 0$

Aufgabe 27:

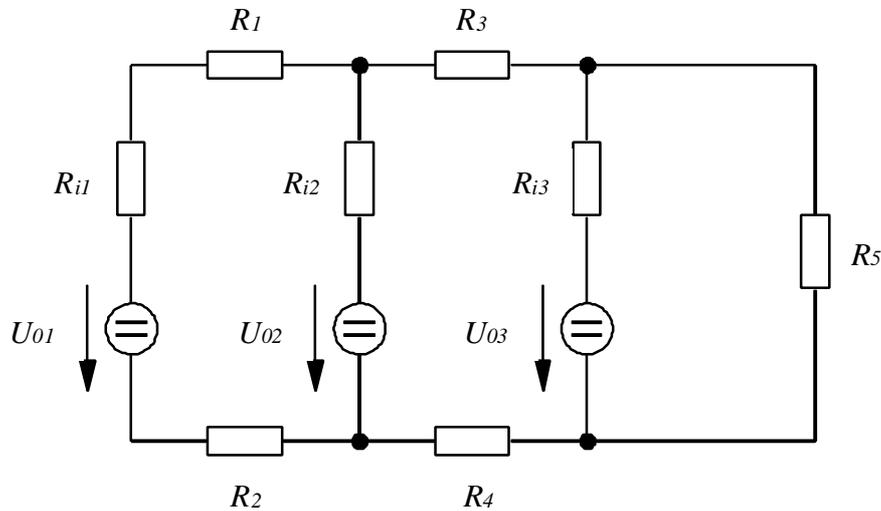
Thema: Überlagerungsverfahren

Gegeben sind die folgenden fünf Netzwerke, in denen jeweils der Strom I gesucht ist. Bestimmen Sie mit Hilfe des Überlagerungsverfahrens die Anteile der Strom- und Spannungsquellen am gesuchten Strom I .



Aufgabe 28:

Thema: Vollständiger Baum



Wie viele unabhängige Gleichungen sind erforderlich, um die gesamte Stromverteilung im gegebenen Netzwerk bestimmen zu können ?

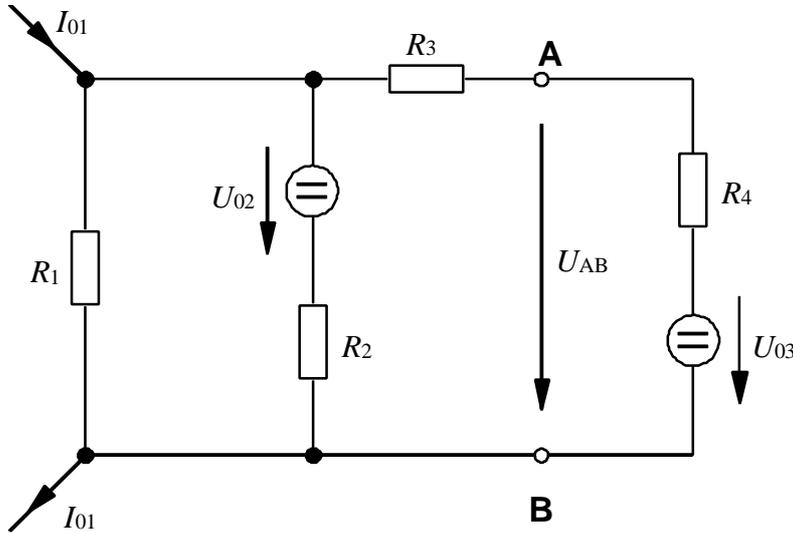
Geben Sie ein System derartiger Gleichungen an.

Lösung Aufgabe 28:

Es sind 6 linear unabhängige Gleichungen erforderlich:
3 Knotengleichungen und 3 Maschengleichungen.

Aufgabe 29:

Thema: Direkte Anwendung der Kirchhoffschen Sätze



Zahlenwerte:

$$I_{01} = 2,4 \text{ A}$$

$$U_{02} = 25 \text{ V}$$

$$U_{03} = 23 \text{ V}$$

$$R_1 = R_2 = 10 \text{ O}$$

$$R_3 = 1 \text{ O}$$

$$R_4 = 2,5 \text{ O}$$

In dem gezeichneten Netzwerk ist die Spannung U_{AB} durch direkte Anwendung der Kirchhoffschen Sätze zu berechnen.

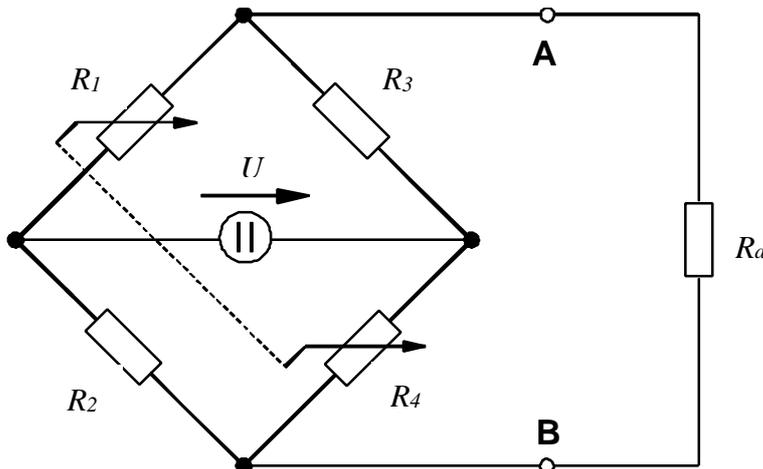
Lösung Aufgabe 29:

$$U_{AB} = 23,44 \text{ V}$$

Aufgabe 30:

Thema: Leistungsanpassung

Ein ohmscher Verbraucher R_a wird über die Klemmen A-B in der nachstehenden Schaltung betrieben:



Zahlenwerte:

- $R_a = 6 \text{ O}$
- $R_2 = R_3 = 6 \text{ O}$
- $R_1 = R_4 = (0 \dots 10) \text{ O}$
- $U = 12 \text{ V}$

- a) Die Widerstände $R_1 = R_4$ sind auf den Wert 3 O eingestellt. Wie groß ist die vom Widerstand R_a aufgenommene Leistung P_a ?
- b) Welchen Wert müsste R_a aufweisen, damit Leistungsanpassung bezüglich der Klemmen A-B vorliegt, wenn $R_1 = R_4 = 3 \text{ O}$ eingestellt ist?
- c) Auf welchen Wert müssen die Widerstände $R_1 = R_4$ eingestellt werden, wenn die Leistung im Verbraucher $R_a = 6 \text{ O}$ minimal sein soll? Wie groß ist diese Leistung?
- d) Wie groß sind die Widerstände $R_1 = R_4$ zu wählen, damit die maximal mögliche Leistung in $R_a = 6 \text{ O}$ umgesetzt wird? Welcher Wirkungsgrad wird dann erreicht?

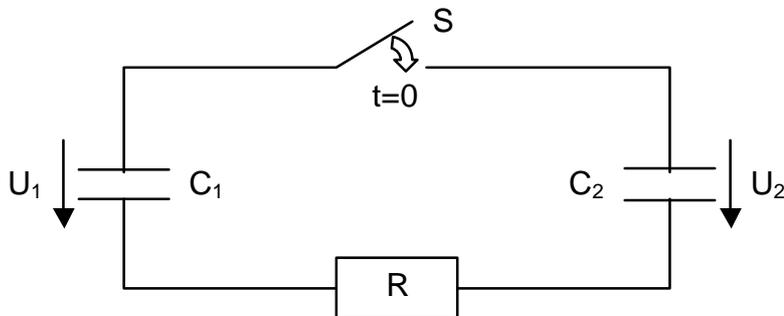
Lösung Aufgabe 30:

- a) $P_a = 0,96 \text{ W}$
- b) $R_a = 4 \text{ O}$
- c) $R_1 = R_4 = 6 \text{ O}$
- d) $R_1 = R_4 = 0$; $h = \frac{1}{3}$

Aufgabe 31:

Thema: Kondensatorschaltung

Gegeben ist die folgende Schaltung:



Zahlenwerte:

$$U_1 = 120 \text{ V}$$

$$U_2 = 60 \text{ V}$$

$$C_1 = 10 \text{ } \mu\text{F}$$

$$C_2 = 5 \text{ } \mu\text{F}$$

Für $t < 0$ ist der Schalter S geöffnet und die Kondensatoren C_1 und C_2 sind auf die Spannung U_1 bzw. U_2 aufgeladen. Der Schalter S wird zum Zeitpunkt $t = 0$ geschlossen.

- a) Wie groß ist die Kapazität der Anordnung?
- b) Auf welchen Wert stellen sich die Spannungen an den beiden Kondensatoren für $t \rightarrow \infty$ ein, wenn der Schalter geschlossen bleibt?
- c) Bestimmen Sie die vor dem Schaltvorgang ($t < 0$) in den Kondensatoren gespeicherte Energie.
- d) Wie groß ist die in den Kondensatoren gespeicherte Energie für $t \rightarrow \infty$?
- e) Diskutieren Sie die Ergebnisse aus c) und d).

Lösung Aufgabe 31:

a) $t \leq 0$: $C_{\text{ges}} = 10/3 \text{ } \mu\text{F}$

$t > 0$: $C_{\text{ges}} = 15 \text{ } \mu\text{F}$

b) $U_1 = U_2 = 100 \text{ V}$

c) $W = \frac{1}{2} C U^2$ $W_1 = 72 \text{ mJ}$ $W_2 = 9 \text{ mJ}$ $W_{\text{ges}} = 81 \text{ mJ}$

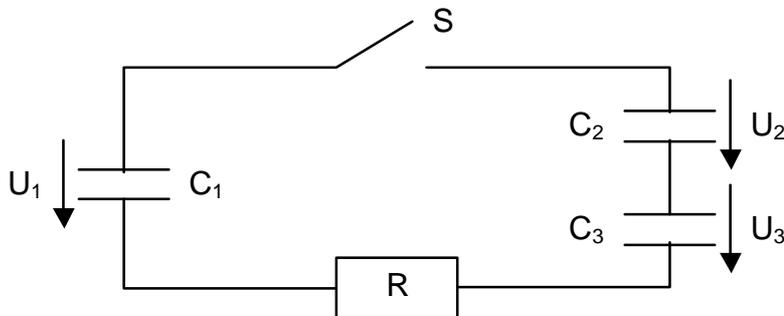
d) $W_1 = 50 \text{ mJ}$ $W_2 = 25 \text{ mJ}$ $W_{\text{ges}} = 75 \text{ mJ}$

e) Die Energiedifferenz wird am Widerstand umgesetzt.

Aufgabe 32:

Thema: Kondensatorschaltung

Gegeben ist die folgende Schaltung:



Zahlenwerte:

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

$$C_1 = 8 \text{ nF}$$

$$C_2 = 3 \text{ nF}$$

$$C_3 = 6 \text{ nF}$$

Der Kondensator C_1 ist auf die Spannung U_1 aufgeladen. Die Kondensatoren C_2 und C_3 sind nicht geladen.

- a) Wie groß ist die im Kondensator C_1 gespeicherte Ladung?
- b) Bestimmen Sie die aus den Teilkapazitäten C_2 und C_3 resultierende Gesamtkapazität.

Der Schalter S werde nun geschlossen und der Ausgleichsvorgang gelte als abgeschlossen.

- c) Bestimmen Sie die resultierende Kapazität der gesamten Anordnung.
- d) Wie groß ist jetzt die Spannung am Kondensator C_1 ?
- e) Berechnen Sie die Ladungen der Kondensatoren C_2 und C_3 .
- f) Bestimmen Sie die Spannungen U_2 und U_3 .

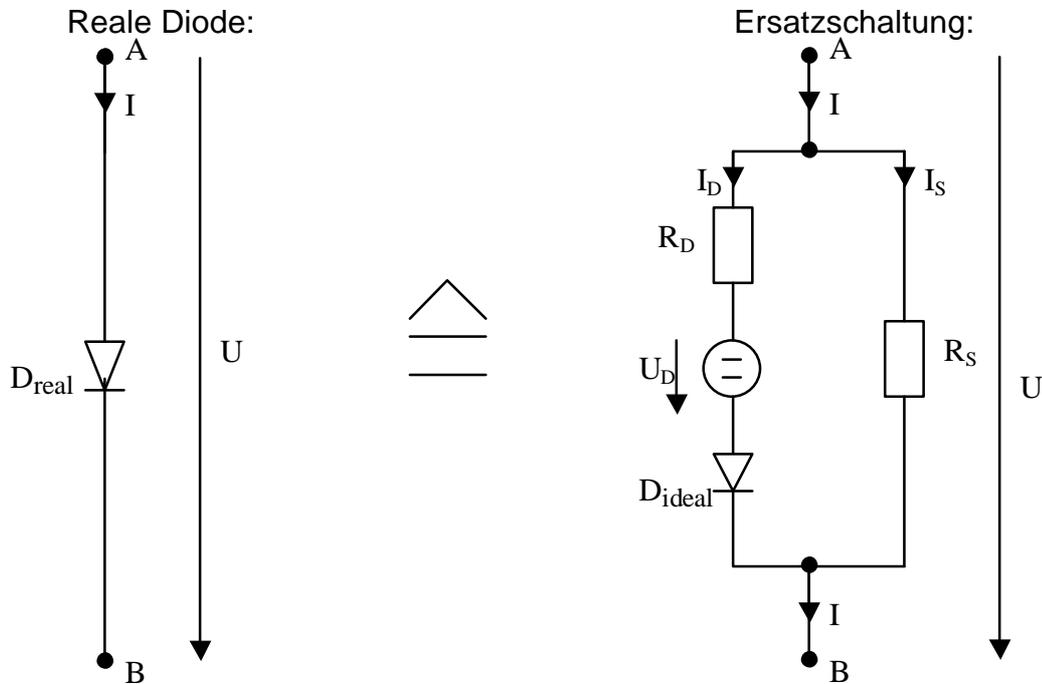
Lösung Aufgabe 32:

- a) $Q_1 = 1,2 \cdot 10^{-6} \text{ As}$
- b) $C_{2,3} = 2 \text{ nF}$
- c) $C_{\text{ges}} = 10 \text{ nF}$
- d) $U_1' = 120 \text{ V}$
- e) $Q_2 = Q_3 = 0,24 \cdot 10^{-6} \text{ As}$
- f) $U_2 = 80 \text{ V} \quad U_3 = 40 \text{ V}$

Aufgabe 33:

Thema: Halbleiterdiode, Ersatzschaltung

Eine reale Halbleiterdiode kann durch folgende Ersatzschaltung beschrieben werden (sämtliche angegebenen Spannungen sind positiv):



Dabei bedeuten: R_D Durchgangswiderstand
 U_D Durchgangsspannung
 D_{ideal} ideale Diode
 R_S Sperrwiderstand

- a) Skizzieren Sie die Kennlinie $I = f(U)$ einer idealen Diode.
- b) Beschreiben Sie den Verlauf der Kennlinie einer realen Diode mit Hilfe der obigen Ersatzschaltung. Stellen Sie dazu die Funktion $I(U)$ auf und skizzieren sie diese.

Von einer realen Germanium-Diode (Typ AA 143) wurden folgende Messwerte einer Strom-/Spannungskennlinie aufgenommen:

U / V	-20	-10	-5	0	0,4	0,5	0,6
I / A	-3,0 μ	-1,5 μ	-0,75 μ	0	10 m	30 m	50 m

- c) Berechnen Sie anhand der Messwerte die Ersatzschaltungsgrößen (R_S , R_D , U_D).
- d) Welche Leistung wird in der realen Diode umgesetzt, wenn man eine Spannung von $U = 1V$ bzw. $-1V$ anlegt?

Lösung Aufgabe 33:

f) $U \leq 0: I(U) = 0$

$U > 0: I(U) = \infty$

g)

$$U \leq U_D : I(U) = \frac{U}{R_S}$$

$$U \geq U_D : I(U) = U \cdot \left(\frac{1}{R_D} + \frac{1}{R_S} \right) - \frac{U_D}{R_D}$$

h) $R_S = 6,7 \text{ M}\Omega$

$R_D = 5 \text{ }\Omega$

$U_D = 0,35 \text{ V}$

i) $P_{-1V} = 150 \text{ nW}$

$P_{+1V} = 130 \text{ mW}$

Lösung Aufgabe 34:

a) Leitet auch im Sperrbetrieb bei Überschreitung der Zenerspannung U_Z

ESB: ideale Spannungsquelle mit U_Z als Spannung

b) ESB: reale Spannungsquelle mit U_Z als Spannung und der Steigung der Kennlinie als Innenwiderstand

c) Ein kleiner Innenwiderstand

d) $R = 45 \text{ }\Omega$

e) $R_i = 13,8 \text{ }\Omega$ $U_0 = 10,9 \text{ V}$

$U_{\text{Aus}}(R_{\text{Last}} \rightarrow \infty) = 10,9 \text{ V}$

$U_{\text{Aus}}(R_{\text{Last}}=35\Omega) = 7,8 \text{ V}$

Lösung Aufgabe 35:

a) $100\mu\text{A} \leq I_Z \leq 600\mu\text{A}$

$9,6\text{V} \leq U_{\text{aus}} \leq 9,8\text{V}$

b) $I_V = (U_{\text{ein}} - U_{\text{aus}}) / R_V$

c) Siehe Übung

d) $I_C = P / U_{\text{CE}}$

e) $I_C = U_{\text{aus}} / R_C - U_{\text{CE}} / R_C$

$R_C = 22 \text{ }\Omega$

f) I_C ist im Leerlauf maximal!

$R_V = 15 \text{ }\Omega$

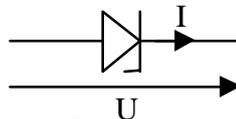
g) $U_{\text{Aus}}(R_{\text{Last}} \rightarrow \infty) = 9,81 \text{ V}$

$U_{\text{Aus}}(R_{\text{Last}}=35\Omega) = 9,60 \text{ V}$

Aufgabe 34:

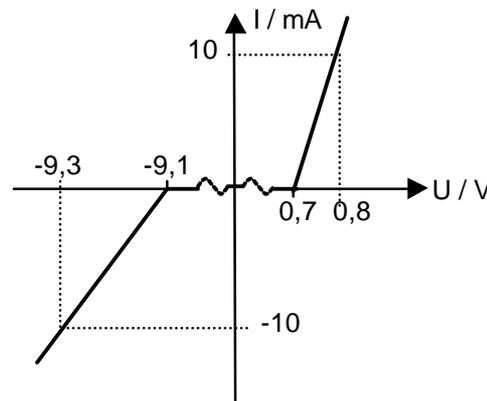
Thema: Zenerdiode, stabilisierte Spannungsquelle

Das Schaltungssymbol einer Zenerdiode, auch Z-Diode genannt, sieht wie folgt aus:



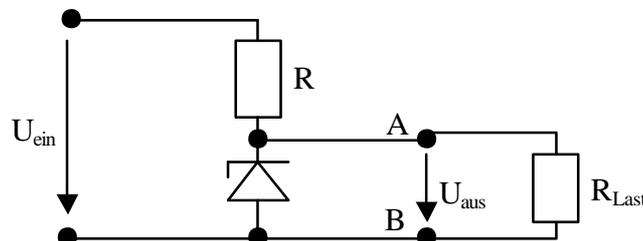
- a) Worin unterscheidet sich eine Zenerdiode von einer „normalen Halbleiterdiode“? Skizzieren Sie dazu die Kennlinie einer idealen Zenerdiode. In welcher Betriebsart wird eine Zenerdiode normalerweise angeschlossen? Skizzieren Sie für diese Betriebsart das Ersatzschaltbild einer idealen Zenerdiode.

Sie haben nun eine reale Zenerdiode mit folgender Kennlinie gegeben:
Anmerkung: Die Diode besitzt den Aufdruck 9V1, womit angezeigt wird, dass sie eine Zenerspannung von 9,1 V besitzt.



- b) Zeichnen Sie ein geeignetes Ersatzschaltbild, das den Sperrbetrieb ($I < 0$) der Diode beschreibt und bestimmen Sie die Elemente.

Mit Hilfe der obigen 9,1 V Zenerdiode soll aus einer gegebenen Spannung von $U_{\text{ein}} = 15\text{V}$ eine stabilisierte Spannungsquelle von 10 V realisiert werden, die eine Last zwischen 35Ω und ∞ versorgen soll. Dazu wird die Diode nun wie folgt verschaltet:

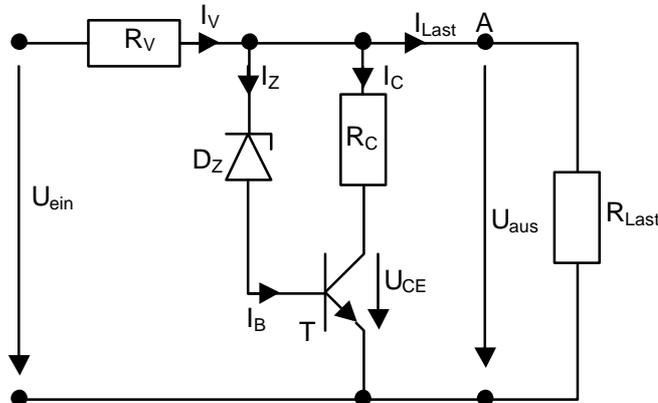


- c) Was zeichnet allgemein die Leistungsfähigkeit einer realen Spannungsquelle aus?
d) Optimieren Sie die obige Schaltung bezüglich dieses Kriteriums durch geeignete Wahl von R. Dabei ist zu beachten, dass die Diode eine maximale Verlustleistung von 1 W besitzt.
e) Bestimmen Sie die Größen der Ersatzspannungsquelle bzgl. der Klemmen A und B. Wie groß ist die Ausgangsspannung der Spannungsquelle für $R_{\text{Last}} = 35\Omega$ bzw. $R_{\text{Last}} \rightarrow \infty$?

Aufgabe 35:

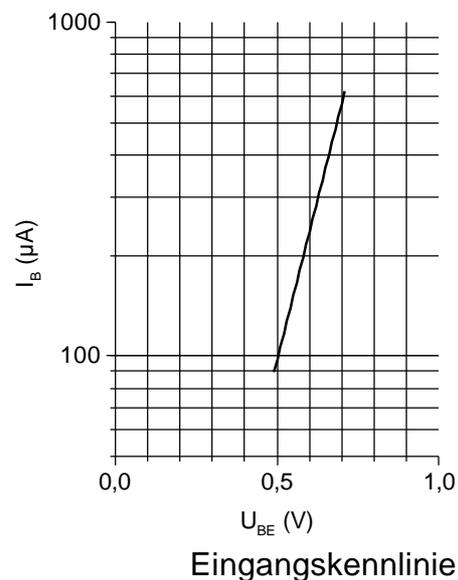
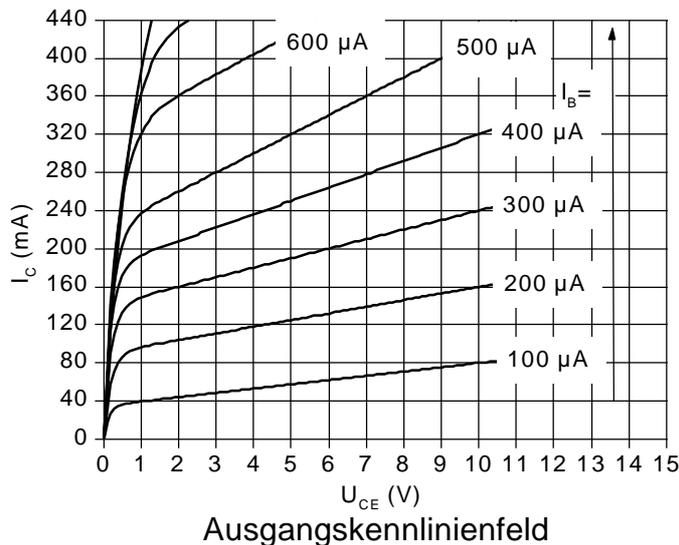
Thema: Transistorschaltung, stabilisierte Spannungsquelle

Die folgende Schaltung stellt eine stabilisierte Spannungsquelle mit Hilfe der Zenerdiode aus Aufgabe 34 und eines npn-Bipolar-Transistors dar:



$U_{\text{ein}} = 15 \text{ V}$
 $R_{\text{Last}} = 35 \Omega \dots \infty \Omega$

Der Transistor besitzt folgende Kennlinien:



Zunächst soll die Funktionsweise der Schaltung untersucht werden. Gehen Sie dabei davon aus, dass der Transistor immer im gegebenen Kennlinienbereich betrieben wird.

- a) In welchem Bereich bewegt sich der Strom durch die Zenerdiode in dieser Schaltung? Schätzen Sie die Ausgangsspannung U_{aus} anhand einer geeigneten Masche ab.
- b) Von welchen Größen hängt I_V bei gegebenen U_{ein} und U_{aus} ab?
- c) Erklären Sie das Funktionsprinzip dieser Parallelstabilisierung.

Nun sollen die fehlenden Größen der Schaltung bestimmt werden.

- d) Der Transistor hat die gleiche maximale Verlustleistung wie die Diode aus Aufgabe 43 ($P_{\text{Max}}=1\text{W}$). Zeichnen Sie die zugehörige Verlusthyperbel in das Ausgangskennlinienfeld.
- e) Bestimmen Sie I_C als Funktion von U_{CE} , R_C und U_{aus} . Wie klein darf R_C minimal sein, so dass die Arbeitsgerade $I_C(U_{\text{CE}})$ noch im erlaubten Bereich liegt? (graphische Lösung)

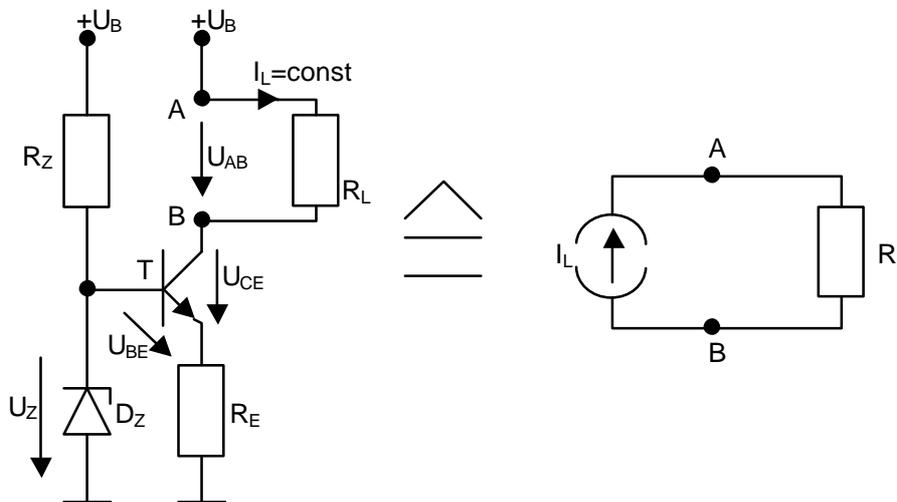
- f) In welchem Lastfall fließt der größte Kollektorstrom I_C ? Berechnen Sie daraus R_V .
- g) Welche Ausgangsspannung stellt sich für $R_{\text{Last}} = 35 \Omega$ bzw. $R_{\text{Last}} \rightarrow \infty$ genau ein?

Aufgabe 36:

Thema: Transistorschaltung, Stromquelle

- a) Durch welche Schaltung kann man am einfachsten eine gegebene Spannungsquelle in eine Stromquelle umwandeln?
 Dimensionieren Sie diese Schaltung mit einer idealen Spannungsquelle von 15 V auf einen Kurzschluss-Strom von 1 mA.
 Welcher Strom fließt bei einer Last von 10 kΩ?
 Wie kann man die Schaltung verbessern?

Die folgende Schaltung stellt eine Stromquelle unter Verwendung des Transistors BC107 dar. Der Transistor habe eine statische Stromverstärkung von $B=300$ und eine Sättigungsspannung $U_{CEsat} = 0,2$ V.



- b) Wie groß ist der Strom I_L in Abhängigkeit von U_Z , U_{BE} und R_E ?
 Wie ist R_E zu wählen, um die Schaltung bzgl. Lastschwankungen zu optimieren?
 c) Sie wollen die Schaltung mit einer Spannungsquelle (U_B) von 15 V auf einen Kurzschluss-Strom von 1 mA bei einer maximalen Last von 10 kΩ dimensionieren. Bestimmen Sie R_E , U_Z und R_Z so, dass die Schaltung in den gegebenen Grenzen optimal funktioniert.
 d) Wie groß sind die Ausgangsstromänderungen, wenn U_{BE} durch Lastwechsel maximal in den Grenzen von 0,5 V bis 0,7 V schwankt?

Lösung Aufgabe 36:

- a) Reihenschaltung eines möglichst hohen Widerstand R_i . $R_i = 15$ kΩ
 $I (R_{Last}=10k\Omega) = 0,6$ mA
 Verbesserung durch Einsatz eines Transistors als Innenwiderstand. (Siehe Ausgangskennlinienfeld)
- b) $I_L = U_Z/R_E - U_{BE}/R_E$ R_E ist möglichst groß zu wählen.
- c) $R_E = 4,8$ kΩ $U_Z = 5,4$ V
 $R_Z = 10$ kΩ (stabiler Sperrbetrieb bei $I_Z \approx 1$ mA)
- d) $0,98$ mA $\leq I_L \leq 1,02$ mA

Aufgabe 37:

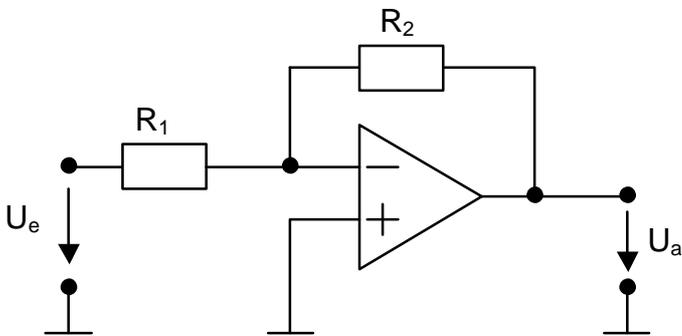
Thema: Operationsverstärker

a) Beschreiben Sie das prinzipielle Verhalten eines Operationsverstärkers:

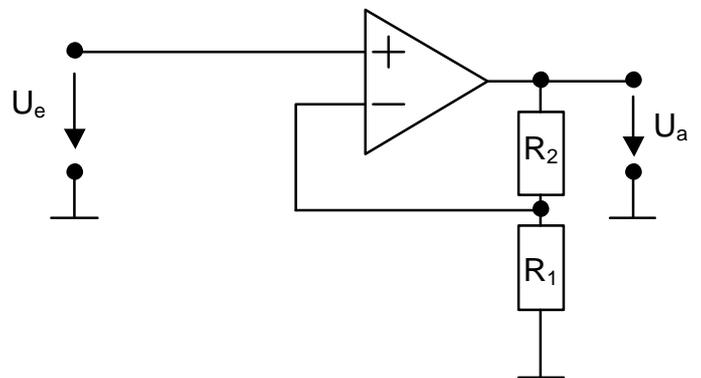
1. unbeschaltet
2. linear mitgekoppelt
3. linear gegengekoppelt

b) Untersuchen und beschreiben Sie das Verhalten der folgenden sechs Grundschaltungen:

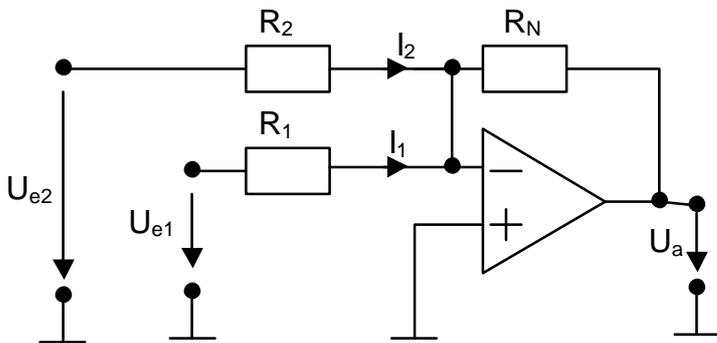
Invertierender Verstärker:



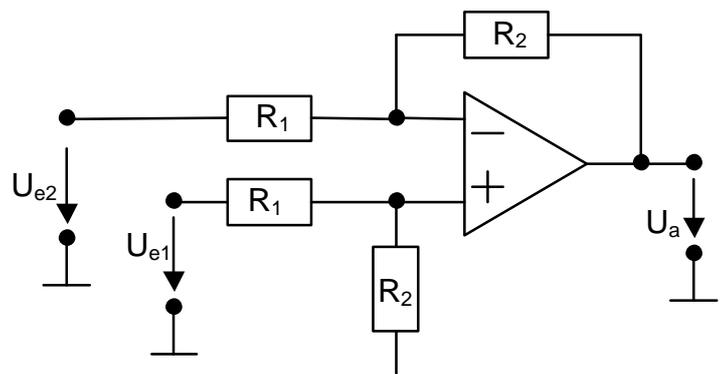
Nicht-invertierender Verstärker:



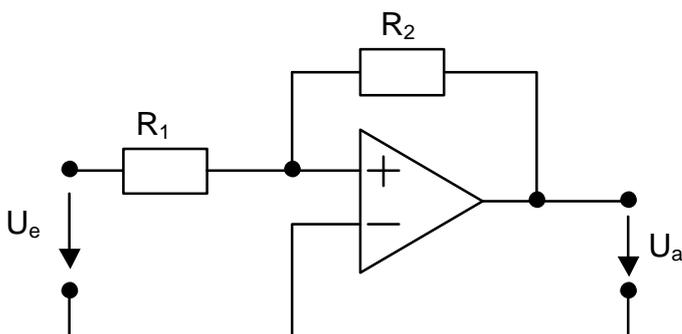
Addierer:



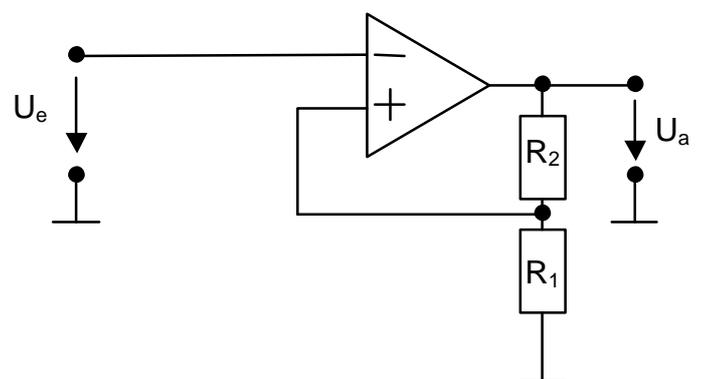
Subtrahierer:



Nicht-invertierender Schmitt-Trigger:



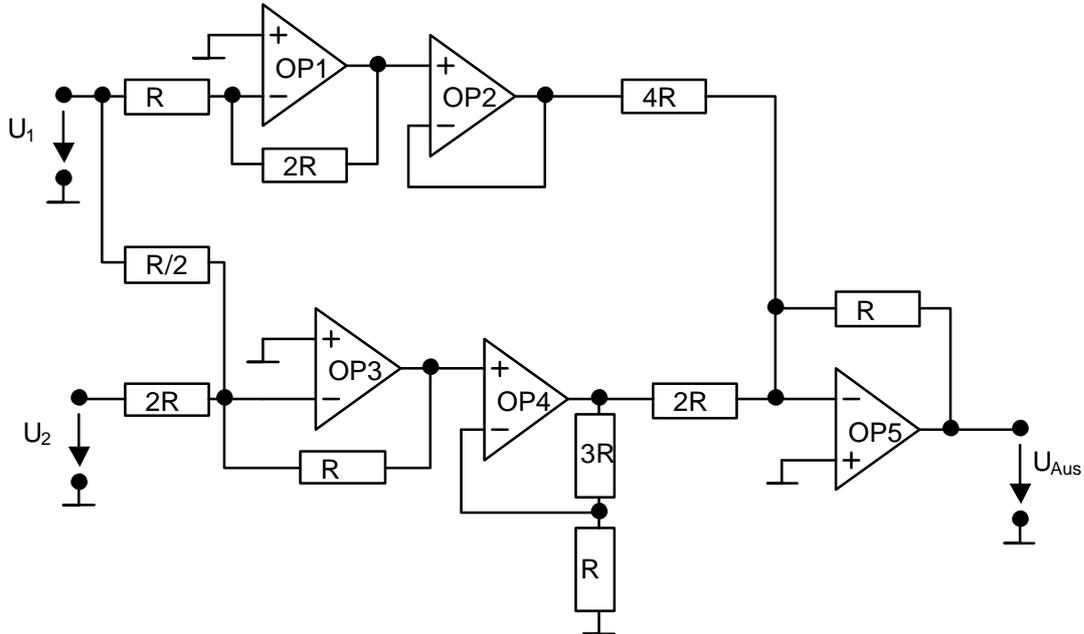
Invertierender Schmitt-Trigger:



Aufgabe 38:

Thema: Operationsverstärkerschaltungen

a) Berechnen Sie U_{aus} in Abhängigkeit von U_1 und U_2 .



b) Zeichnen Sie eine Operationsverstärkerschaltung, die folgende Verknüpfung realisiert: $U_{\text{aus}} = 0,5 \cdot U_1 - 4 \cdot U_2$

Aufgabe 39:

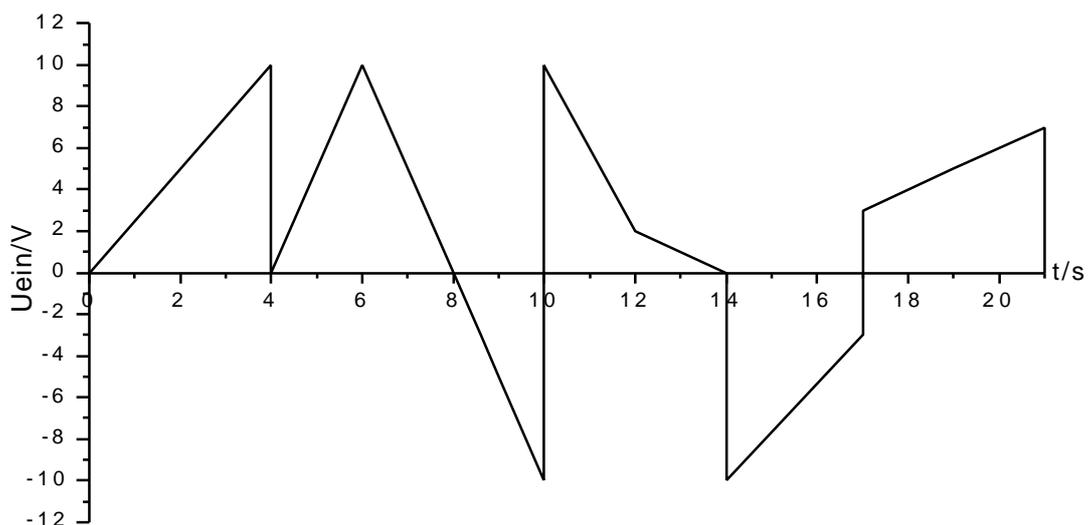
Thema: Schmitt-Trigger

a) Gegeben ist ein invertierender Schmitt-Trigger nach Aufgabe 37 mit den Werten $R_1 = 5\text{k}\Omega$ und $R_2 = 7\text{k}\Omega$. Der Operationsverstärker wird mit einer Betriebsspannung von $\pm U_B = \pm 12\text{V}$ betrieben.

Die Eingangsspannung U_e habe nun den untenstehenden Verlauf.

Bestimmen Sie den Verlauf der Ausgangsspannung U_a , wenn $U_a(t=0) = +U_b$ ist (positive Sättigung).

b) Lösen Sie den Aufgabenpunkt a) für den nichtinvertierenden Schmitt-Trigger aus



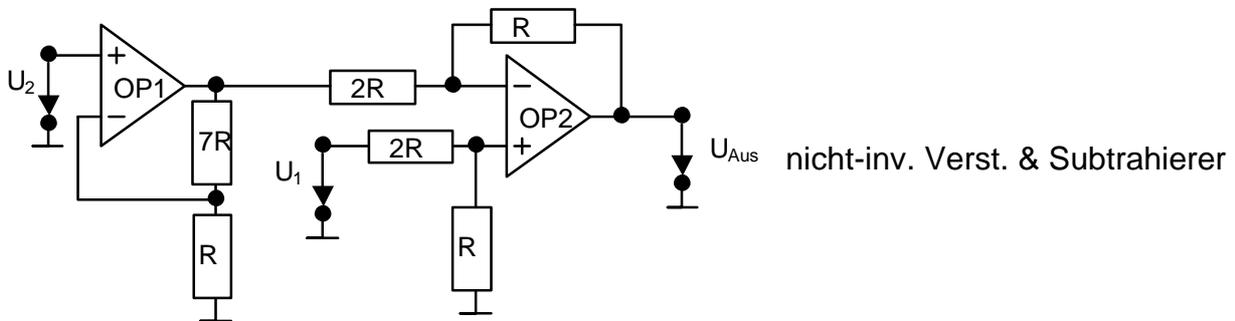
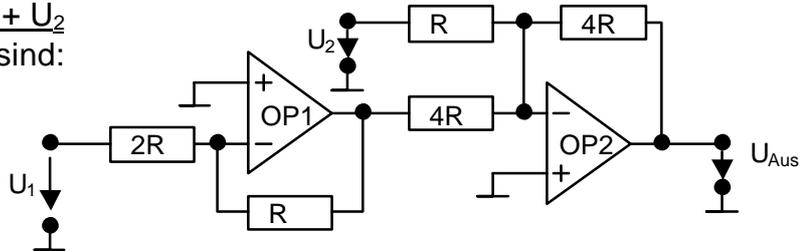
Aufgabe 37 mit den Widerstandswerten $R_1 = 5\text{k}\Omega$ und $R_2 = 20\text{k}\Omega$.

Lösung Aufgabe 38:

- a) Im folgenden werden die Ausgangsspannungen der OPs mit U_{OPx} bezeichnet.
 $U_{OP1} = U_1 \cdot (-2)$ (invertierender Verstärker)
 $U_{OP2} = U_{OP1}$ (nicht-invert. Verst.: $R_1=0; R_2=\infty$; Impedanzwandler)
 $U_{OP3} = -(U_1 \cdot 2 + U_2 \cdot 1/2)$ (Addierer)
 $U_{OP4} = U_{OP3} \cdot (1+3)$ (nicht-invertierender Verstärker)
 $U_{OP5} = U_{aus} = -(U_{OP2} \cdot 1/4 + U_{OP4} \cdot 1/2)$ (Addierer)
 zusammen: $U_{aus} = 4,5 \cdot U_1 + U_2$

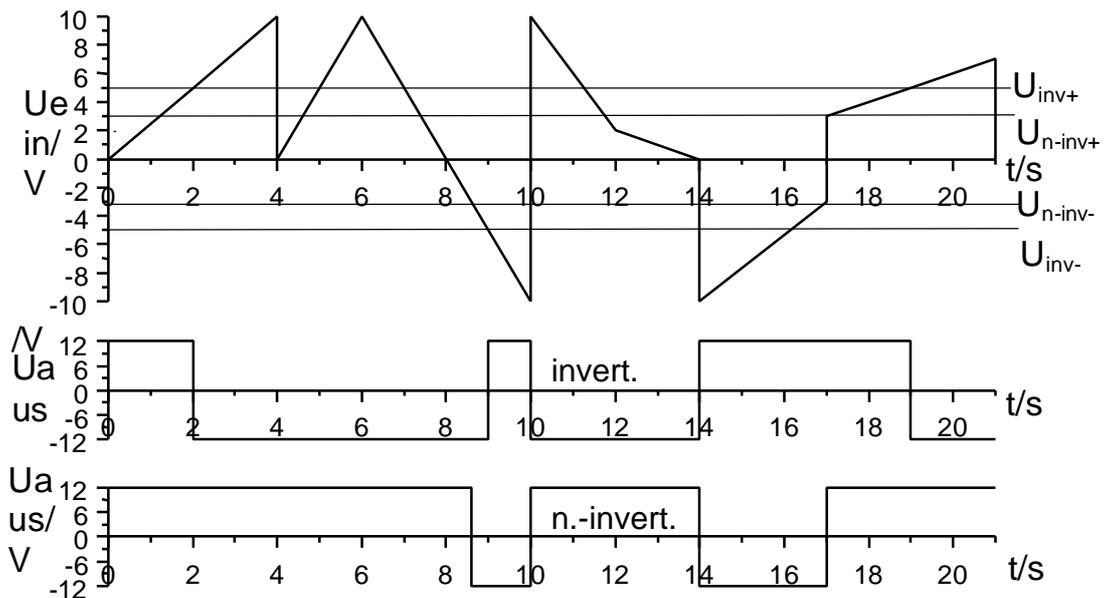
- b) Zwei mögliche Lösungen sind:

inv. Verst. & Addierer



Lösung Aufgabe 39:

- a) Die Schaltschwellen sind $U_{inv+} = R_1 / (R_1 + R_2) \cdot U_B = +5V$ und $U_{inv-} = -R_1 / (R_1 + R_2) \cdot U_B = -5V$.
 b) Die Schaltschwellen sind $U_{n-inv+} = R_1 / R_2 \cdot U_B = +3V$ und $U_{n-inv-} = -R_1 / R_2 \cdot U_B = -3V$.



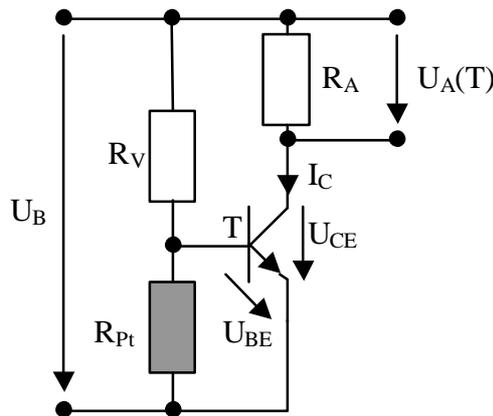
Aufgabe 8

(13 Punkte)

Gegeben ist ein Platinwiderstandsdraht mit der Länge $L = 1 \text{ m}$, dem Durchmesser $D = 50 \text{ }\mu\text{m}$ und dem spezifischen Widerstand bei einer Temperatur von $20 \text{ }^\circ\text{C}$ von $r_{20} = 9,81 \times 10^{-6} \text{ Wcm}$. Der lineare Temperaturkoeffizient beträgt $\alpha = 3,91 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$.

8.1 Berechnen Sie den Widerstand des Platindrahtes bei $20 \text{ }^\circ\text{C}$ und bei $120 \text{ }^\circ\text{C}$. (3 Pkt.)

Mit Hilfe des obigen Platinwiderstandes soll möglichst genau die Temperatur gemessen werden. Dazu wird die untenstehende Transistor-Schaltung verwendet. Der Platinwiderstand wird durch R_{Pt} dargestellt.

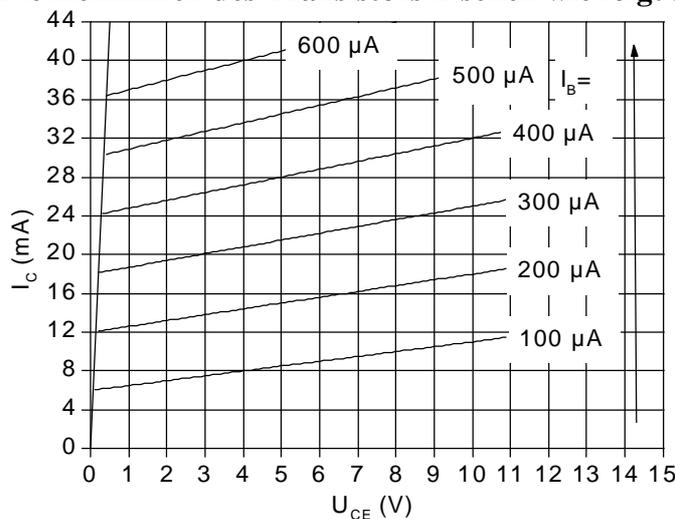


$$U_B = 10 \text{ V}$$

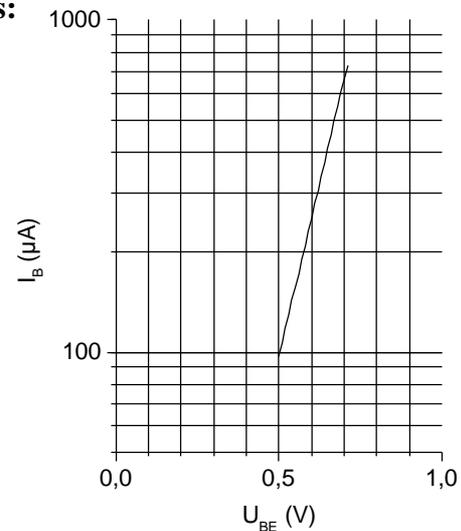
$$R_V = 950 \text{ }\Omega$$

$$R_A = 250 \text{ }\Omega$$

Die Kennlinien des Transistors T sehen wie folgt aus:



Ausgangskennlinienfeld



Eingangskennlinie

8.2 Berechnen Sie I_C in Abhängigkeit von U_{CE} , U_B und R_A mit Hilfe eines geeigneten Maschenumlaufs. Zeichnen Sie diese Funktion als Arbeitsgerade in das Ausgangskennlinienfeld. (3 Pkt.)

8.3 Welche Basis-Emitter-Spannungen stellen sich für die oben berechneten Werte von R_{Pt} bei $20 \text{ }^\circ\text{C}$ bzw. $120 \text{ }^\circ\text{C}$ unter Vernachlässigung des Basisstroms ein? (Falls Sie den ersten Aufgabenpunkt nicht gelöst haben, rechnen Sie mit $R_{Pt}(20^\circ\text{C}) = 50 \text{ }\Omega$ bzw. $R_{Pt}(120^\circ\text{C}) = 70 \text{ }\Omega$ weiter.)

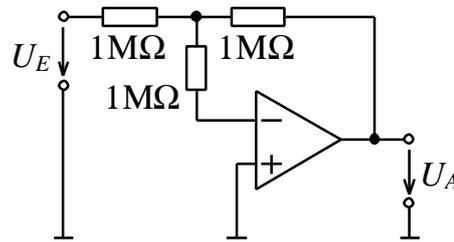
Bestimmen Sie mit Hilfe des Eingangskennlinienfeldes die zugehörigen Arbeitspunkte des Transistors und zeichnen Sie diese ins Ausgangskennlinienfeld. Welche Ausgangsspannungen $U_A(T)$ stellen sich für $T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ bzw. $120 \text{ }^\circ\text{C}$ ein? (6 Pkt.)

8.4 Ist das Ausgangssignal $U_A(T)$ linear zur Temperatur? (Begründung!) (1 Pkt.)

Aufgabe 4

(13 Pkt.)

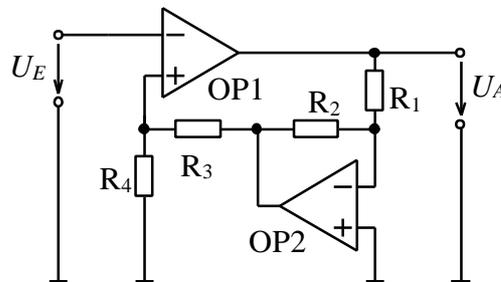
Gegeben ist ein idealer Operationsverstärker in Schaltung 1:



4.1 Geben Sie $U_A(U_E)$ für Schaltung 1 an.

(2 Pkt.)

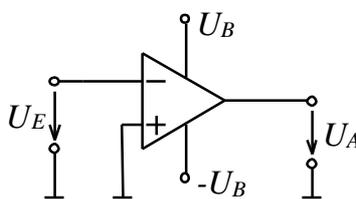
Schaltung 2 beinhaltet zwei ebenfalls ideale Operationsverstärker:



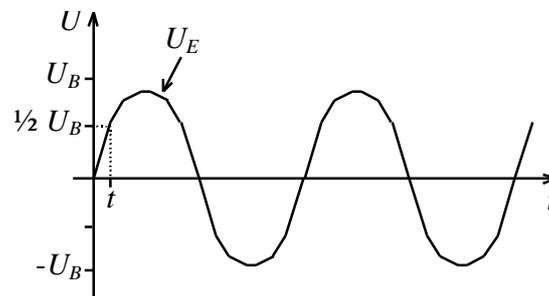
4.2 Leiten Sie $U_A(U_E, R_1, R_2, R_3, R_4)$ für Schaltung 2 her. Warum ist OP1 gegengekoppelt? (6 Pkt.)

Betrachtet werde nun Schaltung 3: Der Operationsverstärker hat einen unendlich großen Innenwiderstand und wird mit der Spannung U_B betrieben. In Skizze 1 ist der Verlauf der Eingangsspannung U_E in Abhängigkeit von der Zeit t angegeben.

Schaltung 3:



Skizze 1:



4.3 Tragen Sie in Skizze 1 den Verlauf der Ausgangsspannung U_A für Schaltung 3 ein.

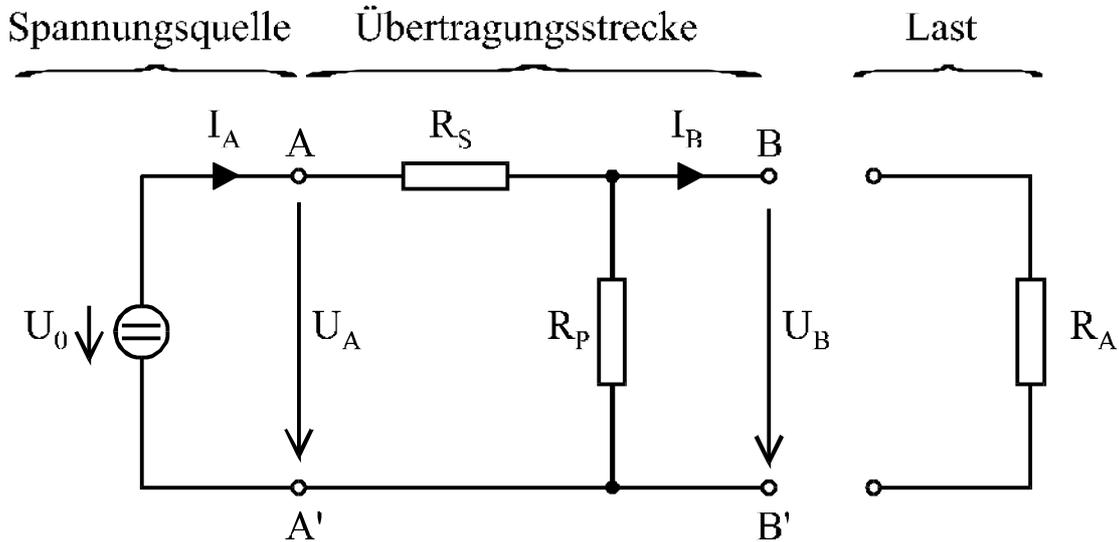
(2 Pkt.)

4.4 Geben Sie eine Operationsverstärker-Schaltung mit zwei Widerständen R an, deren Ausgangsspannung relativ zur Ausgangsspannung der Schaltung 3 auf der Zeitachse um t nach rechts verschoben werden kann. Wie nennt man diese Schaltung? (3 Pkt.)

Aufgabe 8:

(13 Punkte)

Ein Netzwerk bestehe aus einer idealen Spannungsquelle U_0 mit den Anschlussklemmen AA' und einer Übertragungsstrecke zwischen den Klemmen AA' und BB'. Die Übertragungsstrecke wird durch den Serienwiderstand R_S und den Parallelwiderstand R_P beschrieben.

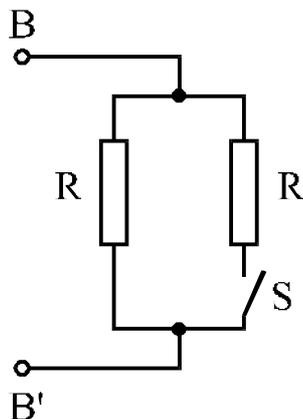


Zunächst wird der Widerstand R_A an die Klemmen BB' angeschlossen.

- Bestimmen Sie die Kurzschlussleistung P_K der Spannungsquelle für $R_A=0$. Bestimmen Sie $U_B(U_A, R_P, R_S, R_A)$ und $I_B(U_A, R_P, R_S, R_A)$ für beliebige R_A .
- Bestimmen Sie nun die in R_A umgesetzte Leistung $P_A(U_0, R_P, R_S, R_A)$ und berechnen Sie für Leistungsanpassung den Widerstand R_A (d.h. $R_A=R_A(P_{A,max})$).
- Bestimmen Sie Wirkungsgrad $\eta=\eta(R_P, R_S)$ bei Leistungsanpassung.
- Berechnen Sie R_A und η bei Leistungsanpassung, wenn $R_P=\infty$ ist.

Hinweis: Der folgende Aufgabenteil kann unabhängig von b) - d) gelöst werden!

Es wird nun folgende Last an die Klemmen BB' angeschlossen:



Wird der eine der beiden äußeren Widerstände R durch den Schalter S abgeschaltet, so verbraucht der verbleibende Widerstand die gleiche Leistung wie vorher beider Widerstände zusammen.

- Welchen Wert haben die Widerstände R , wenn R_P und R_S gegeben sind?

Information für alle Informatikstudenten mit Nebenfach Elektrotechnik

Für die Zulassung zur Vordiplomsprüfung müssen folgende Prüfungsleistungen erbracht werden:

**Leistungsnachweis in Grundgebiete der Elektrotechnik 2
Elektrotechnisches Praktikum 3**

Die Vordiplomsprüfung umfasst die Vorlesungen:

**Grundgebiete der Elektrotechnik 2
Grundgebiete der Elektrotechnik 4**

Die Vorlesung
Grundgebiete der Elektrotechnik 1
dient zur Vorbereitung der oben genannten
prüfungspflichtigen Vorlesungen.

Es besteht keine Prüfungsverpflichtung in dieser
Vorlesung.

Fachstudienberatung Informatik:

Dr. W. Unger, Di 18-19 Uhr und Do von 10.30-11.30 Uhr
sowie nach Ankündigung
Lehrstuhl für Informatik, Ahornstr. 55, Zi 4022,
Telefon 80-21111

INSTITUT FÜR WERKSTOFFE DER ELEKTROTECHNIK

Dozenten: Prof. Dr. W. Mokwa Prof. em. Dr. K.A. Hempel
 Prof. Dr. R. Waser Prof. em. Dr. G. Arlt

Sommersemester 2001

Nr. lt. Vorlesungs- verzeichnis	Bezeichnung der Lehrveranstaltung	Vortrag bzw. Übung Anzahl	Tag und Stunde	Beginn	Hörsaal
1.51300	Werkstoffe der Elektrotechnik II Waser	V 2	Mo 15.45-17.15	23.4.01	Aula 1
4.51310	Übung dazu Waser u. W.M.	Ü 1	Mo 17.30-18.15	23.4.01	Aula 1
4.51330	Übungsanleitung zu Werkstoffe der Elektro- technik I u. II (in kleinen Gruppen) Waser u. W.M.	Ü 2	n. Übereink.		
1.51370	Sensoren u. Sensormeßtechnik I (ab 8. Semester) Waser	V 2	Do 14.00-15.30	26.4.01	WSH S2
4.51380	Übung dazu Waser u. W.M.	Ü 1	Do 15.30-16.15	26.4.01	WSH S2
1.51390	Neue Materialien u. Bau- Elemente in der Informationstechnik II Waser, Schröder u.W.M.	V 2	n. Übereink.		WSH S1
4.51391	Übung dazu Waser u. W.M.	Ü 1	n. Übereink.		WSH S1
6.51400	Seminar über Werkstoffe der Elektrotechnik Mokwa, Waser, Arlt, Hempel	Ü 1	Mi 16.30-18.00 (14täglich) n. Übereink.		
6.51415	Projekt: Vom Material zum Device Waser u. W.M.	Ü4	n. Übereink.		
7.51420	Praktikum über Werk- stoffe der Elektrotechnik Mokwa, Waser u. W.M.	TÜ 4	n. Übereinkunft		
1.51495	Silizium-Mikrosysteme I Mokwa	V 2	Mo 15.00-16.30	23.4. 01	WSH S2
4.51496	Übung dazu Mokwa u. W.M.	Ü 1	n. Übereink.		

INSTITUT FÜR WERKSTOFFE DER ELEKTROTECHNIK

Dozenten: Prof. Dr. W. Mokwa Prof. em. Dr. K.A. Hempel
 Prof. Dr. R. Waser Prof. em. Dr. G. Arlt

Sommersemester 2001

Nr. lt. Vorlesungs- verzeichnis	Bezeichnung der Lehrveranstaltung	Vortrag bzw. Übung Anzahl	Tag und Stunde	Beginn	Hörsaal
6.51500	Seminar über aktuelle Anwendungen der Mikrosystemtechnik Mokwa	TÜ 4	Mo 16.30-18.00	23.4.01 15.00-16.30	WSH S2
1.32675	Herstellungsprozesse für Mikrosysteme II Mokwa, Klocke, Michaeli Poprawe	V 2	Di 13.30-15.00	24.4.01	ILT R 1047
4.32676	Übung dazu	Ü 1	Di 15.15 –16.00		ILT R 1047
4.32677	Übungsergänzung für Maschinenbauer	Ü 1	Di 16.00 –16.45		ILT R 1047
1.33850	Machinen u. Geräte zur Herstellung von Mikro- Systemen I Mokwa, Michaeli, Pfeifer Poprawe, Weck	V 2	Do 10.00-11.30	19.4.01	ILT R 1047
4.33851	Übung dazu	Ü 1	Do 11.45-12.30		ILT R 1047
4.33852	Übungsergänzung für Maschinenbauer	Ü 1	Do 12.30-13.15		ILT R 1047
7.51505 7.51510	Mikrotechnisches Labor Labor über Prozesse u. Bauelemente d. Mikro- systemtechnik Mokwa, Waser, Kurz	TÜ 2 TÜ 2	n. Übereink. n. Übereink.		
7.51515	Mikrosystemtechnisches Praktikum Mokwa, u.a. Dozenten	TÜ 4	n. Übereink.		
	Anleitung zu selbst. wissenschaftl. Arbeiten				
24.51430 24.51440	Studienarbeiten Mokwa u. W.M. Waser u. W.M.	Ü 4 Ü 4	n. Übereinkunft		
24.51450 24.51460	Diplomarbeiten Mokwa u. W.M. Waser u. W.M.		gzt. n. Übereink.		
40.51480 40.51490	Doktorarbeiten Waser Mokwa		gzt. n. Übereink		

(Prof. Dr. rer. nat. W. Mokwa)

(Prof. Dr.-Ing. R. Waser)