

GLEICHSTROMLEHRE

Einführende Grundlagen - Teil 1

Elektrische Ladung

$Q = I * t = N * e$	Q	elektrische Ladung	$[Q] = As \text{ (Ampèresekunde)} = C \text{ (Coulomb)}$
	I	Stromstärke	$[I] = A \text{ (Ampère)}$
	N	Anzahl Elektronen	$[N] = \{ \}$
	e	Elementarladung	$e = 1.602 * 10^{-19}C$ (kleinstmögliche Ladung eines e^-)

Elektrische Stromdichte

$J = \frac{I}{A}$	J	elektrische Stromdichte	$[J] = \frac{A}{m^2}$
	A	Querschnittsfläche	$[A] = m^2$

Strömungsgeschwindigkeit der Elektronen (e^-)

$Q = e * n * A * l$	n	Elektronendichte	$[n] = \frac{1}{m^3}$ für Kupfer: $8.47 * 10^{19}mm^{-3}$
$n = \frac{N_A}{V}$ $V = \frac{m}{\delta}$	N_A	Avogadro-Konstante	$6.023 * 10^{23}$
	V	Volumen	$[V] = dm^3 = 1l$
	δ	Dichte	$[\delta] = \frac{g}{cm^3} = \frac{kg}{dm^3}$
$q_v = \frac{V}{t}$	q_v	Volumenstrom	$[q_v] = \frac{dm^3}{s} = \frac{l}{s}$
$v = \frac{I}{e * n * A}$	v	Strömungsgeschwindigkeit	$[v] = \frac{m}{s}$

Einführende Grundlagen - Teil 2

Elektrische Spannung

$W = U * Q$	W	Wärmeenergie	$[W] = J = Nm$
	U	elektrische Spannung	$[U] = V \text{ (Volt)} = \frac{Nm}{As}$

Das Ohm'sche Gesetz

$U = R * I$	R	elektrischer Widerstand	$[R] = \frac{V}{A} = \Omega \text{ (Ohm)}$
$G = \frac{1}{R}$	G	elektrischer Leitwert	$[G] = \frac{1}{\Omega} = \frac{A}{V}$

Spezifischer Widerstand und Leitwert

$R = \frac{\rho * l}{A}$	ρ	spezifischer Widerstand (Materialkonstante)	$[\rho] = \frac{\Omega * m^2}{m} = \Omega m$
$\kappa = \frac{1}{\rho}$	κ	Leitfähigkeit (kappa)	$[\kappa] = \frac{1}{\Omega m} = \frac{S}{m}$

Einführende Grundlagen - Teil 3

Die Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstandes

Der elektrische Widerstand von metallenen Leitern nimmt mit der Temperatur zu. (Kaltleiter) → PTC

Der elektrische Widerstand von Halbleiter nimmt mit der Temperatur ab. (Heissleiter) → NTC

$$R_2 = R_1 [1 + \alpha_1 (\vartheta_2 - \vartheta_1)]$$

R_1	Widerstandswert 1 - bekannt	Ω
R_2	Widerstandswert 2 - neu	Ω
α_1	Temperaturkoeffizient bei 1	K^{-1}
ϑ_1	Temperaturwert 1	K
ϑ_2	Temperaturwert 2	K
τ	Temperaturkennwert	K

Einführende Grundlagen - Teil 4

Arbeit, Leistung bei Gleichstrom

W	Energie (oder Arbeit) [W] = Nm	elektrisch	$W = U * Q = U * I * t$	[W] = V * As = Ws
		mechanisch	$W = F * s = m * g * \Delta l$	[W] = Nm
		thermisch	$W = m * c * \Delta \vartheta$	[W] = J
P	Leistung [P] = W	elektrisch	$P = U * I = \frac{U^2}{R} = I^2 R$	[P] = VA
		mechanisch	$P = \frac{W}{t} = m * g * v = M * \omega$	$[P] = \frac{Nm}{s} = \frac{J}{s} = W$

Wirkungsgrad

$\eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}}$ $\eta_G = \eta_1 * \eta_2 * \eta_3$	η	Wirkungsgrad	[η] = ()
	P_{ab}	Abgegebene Leistung	[P_{ab}] = W
	P_{zu}	Zugeführte Leistung	[P_{zu}] = W
$\omega = 2\pi * n$	ω	Winkelgeschwindigkeit	[ω] = [s ⁻¹]
	n	Drehzahl	[n] = [s ⁻¹]

Berechnung von Gleichstromkreisen

Pfeilsysteme und Richtungssinn

Verbraucher-Pfeilsystem	Erzeuger-Pfeilsystem
$U_1 = I_1 * R_1$	$U_2 = -I_2 * R_2$

Kirchhoff'schen Gesetze

Knotengleichung	Maschengleichung
$\sum_{k=1}^n I_k = 0$	$\sum_{k=1}^n U_k = 0$

Strom- und Spannungsquellen

	Spannungsquelle (konstante Spannung)	Stromquelle (konstanter Strom)
ideale		
reale		
Kurzschluss Ra = 0	$I_K = \frac{U_q}{R_i}$	$I_K = I_q$
Ra = infinity	$U = U_q$	$U = U_q = \frac{I_q}{G_i}$

Gleichstromkreise

	Serien- / Reihenschaltung	Parallelschaltung
Ohm'sches Gesetz	$U_1 = I * R_1$	$I_1 = \frac{U}{R_1}$
Strom Spannung Widerstand Leitwert	$I = I_1 = I_2 = I_3$ $U = U_1 + U_2 + U_3$ $R = R_1 + R_2 + R_3$	$I = I_1 + I_2 + I_3$ $U = U_1 = U_2 = U_3$ $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$ $R = \frac{R_1 * R_2}{R_1 + R_2}$ $G = G_1 + G_2 + G_3$
Zusammenhänge	$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2} = \frac{P_1}{P_2}$ $\frac{U_1}{U} = \frac{R_1}{R}$	$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1} = \frac{G_1}{G_2} = \frac{P_1}{P_2}$
Spannungsteilregel		Stromteilregel
	$\frac{U_2}{U} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$	$\frac{I_1}{I} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$

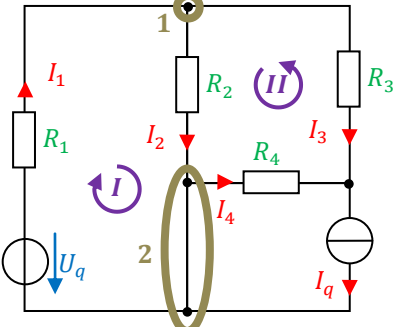
Bauelemente

Widerstand	Stromquelle	Spannungsquelle	Diode	Potenziometer
	Ideal 	Ideal 		
veränderbar 		Generator 	ersetzen durch 	ersetzen durch
		Elektrochemisch 		Extrema:

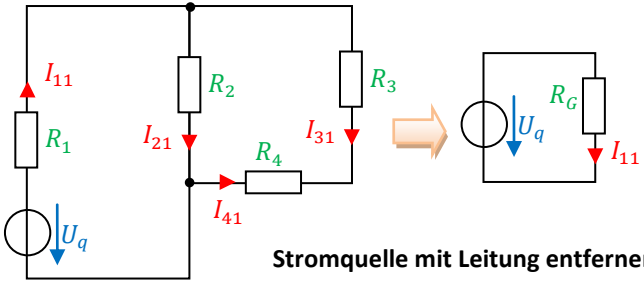
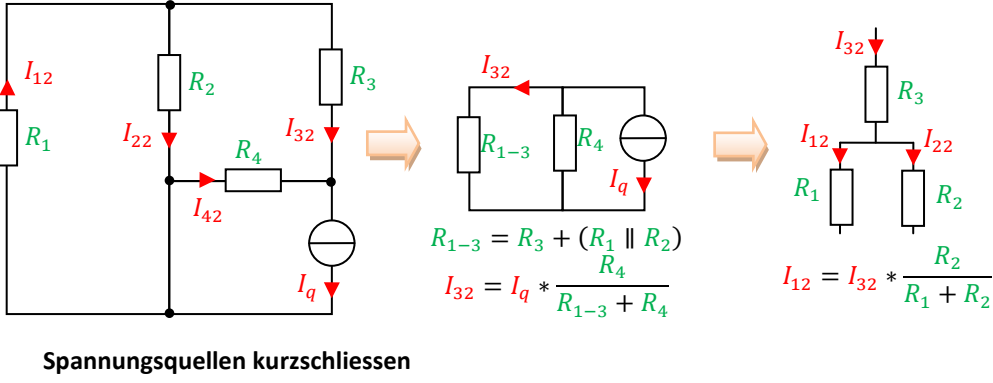
Amperemeter	Voltmeter

Berechnung von Gleichstromkreisen

Maschenstromverfahren

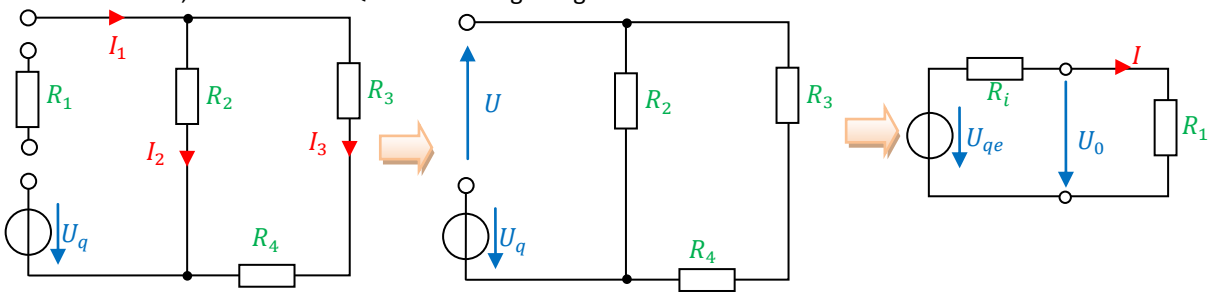
	<p>Knotengleichungen</p> <ul style="list-style-type: none"> Anzahl: Knoten -1 Knotenpunkte zusammenführen <p>1 $I_1 - I_2 - I_3 = 0$</p> <p>2 $I_q - I_1 + I_2 - I_4 = 0$</p>	<p>Maschengleichungen</p> <ul style="list-style-type: none"> Anzahl: Rest Nicht mit Stromquellen <p>I $R_1 * I_1 + R_2 * I_2 - U_q = 0$</p> <p>II $I_2 * R_2 + I_4 * R_4 - I_3 * R_3 = 0$</p>																									
<p>Lineares Gleichungssystem</p> <table style="border-collapse: collapse; margin-left: 20px;"> <tr> <td style="border-right: 1px solid black; padding: 5px;">I_1</td> <td style="padding: 5px;">I_2</td> <td style="padding: 5px;">I_3</td> <td style="padding: 5px;">I_4</td> <td style="padding: 5px;">b</td> </tr> <tr> <td style="border-right: 1px solid black; padding: 5px;">1</td> <td style="padding: 5px;">-1</td> <td style="padding: 5px;">-1</td> <td style="padding: 5px;">0</td> <td style="padding: 5px;">0</td> </tr> <tr> <td style="border-right: 1px solid black; padding: 5px;">-1</td> <td style="padding: 5px;">1</td> <td style="padding: 5px;">0</td> <td style="padding: 5px;">-1</td> <td style="padding: 5px;">I_q</td> </tr> <tr> <td style="border-right: 1px solid black; padding: 5px;">R_1</td> <td style="padding: 5px;">R_2</td> <td style="padding: 5px;">0</td> <td style="padding: 5px;">0</td> <td style="padding: 5px;">U_q</td> </tr> <tr> <td style="border-right: 1px solid black; padding: 5px;">0</td> <td style="padding: 5px;">R_2</td> <td style="padding: 5px;">$-R_3$</td> <td style="padding: 5px;">R_4</td> <td style="padding: 5px;">0</td> </tr> </table>		I_1	I_2	I_3	I_4	b	1	-1	-1	0	0	-1	1	0	-1	I_q	R_1	R_2	0	0	U_q	0	R_2	$-R_3$	R_4	0	
I_1	I_2	I_3	I_4	b																							
1	-1	-1	0	0																							
-1	1	0	-1	I_q																							
R_1	R_2	0	0	U_q																							
0	R_2	$-R_3$	R_4	0																							

Überlagerungssatz (Quellen einzeln berücksichtigen)

Spannungsquelle	 <p style="text-align: center;">Stromquelle mit Leitung entfernen</p> $R_G = R_1 + (R_2 \parallel (R_3 + R_4))$ $I_{11} = \frac{U_q}{R_G}$
Stromquelle	 <p style="text-align: center;">Spannungsquellen kurzschliessen</p> $R_{1-3} = R_3 + (R_1 \parallel R_2)$ $I_{32} = I_q * \frac{R_4}{R_{1-3} + R_4}$ $I_{12} = I_{32} * \frac{R_2}{R_1 + R_2}$
Zusammen	$I_1 = I_{11} + I_{12}$

Ersatzschaltung

1. Last entfernen, bei mehreren Quellen Überlagerungssatz anwenden



2. Quellenspannung U_{qe} : Vorhandene Klemmenspannung beider Schaltungen im Leerlauf gleichsetzen

$$U_q = U \rightarrow U = U_{qe}$$

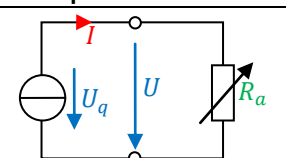
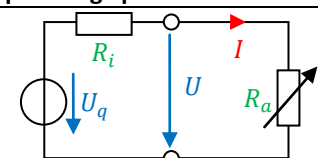
3. Innenwiderstand R_i : Entspricht dem Widerstand zwischen den beiden Klemmen:

$$R_i = R_2 \parallel (R_3 + R_4)$$

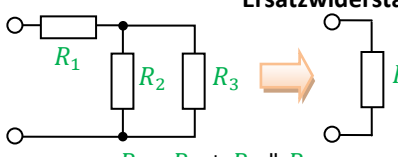
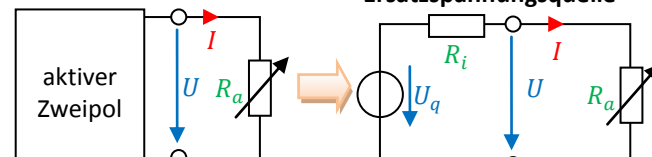
Spannungsquellen: kurzschliessen, parallele Widerstände entfernen
Stromquellen: unterbrechen, serielle Widerstände entfernen

$$I = \frac{U_{qe}}{R_i + R_1}$$

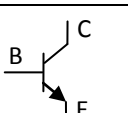
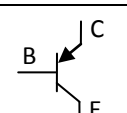
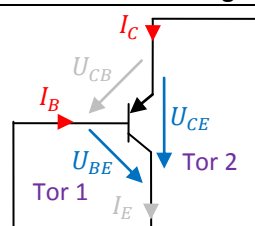
Leistungsanpassung

Idee	Stromquelle	Spannungsquelle
max. Leistung $P_{a\ max}$ bei $R_a = R_1$		$P_{a\ max} = \frac{I_q^2 * R_i}{4}$
		
		$P_{a\ max} = \frac{U_q^2}{4 * R_i}$

Ersatzschaltung

passiver Zweipol	aktiver Zweipol
ohne Spannungs- oder Stromquelle	mit Spannungs- oder Stromquelle
 $R = R_1 + R_2 \parallel R_3$	

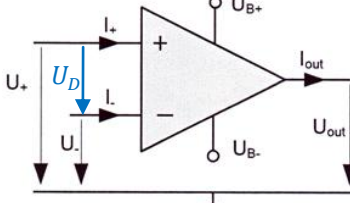
Transistor

NPN-Transistor	PNP-Transistor	Emitterschaltung
		
B = Basis C = Kollektor E = Emitter		$I_C > I_B$ $I_C + I_B = I_E$ $U_{CE} = U_{CB} + U_{BE}$ Tor 1: $U_{BE} = f_1(I_B, U_{CE})$ Tor 2: $I_C = f_2(I_B, U_{CE})$
		Fliesst ein Strom I_B , wird die Strecke zwischen Kollektor und Emitter leitend.

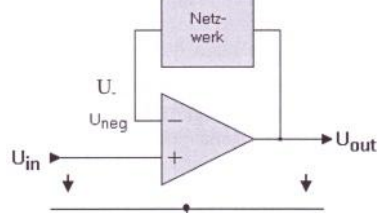
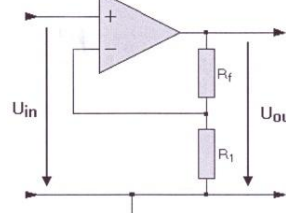
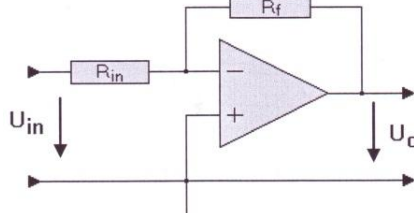
Kennlinienfelder

Eingangskennlinienfeld	U_{BE} als Funktion von I_B
Ausgangskennlinienfeld	I_C als Funktion von U_{CE}
Stromverstärkungskennlinienfeld	Stromverstärkung: $B = I_C / I_B$
Rückwirkungskennlinienfeld	U_{CE} hat keine Auswirkung auf U_{BE}

Operationsverstärker

	Der Operationsverstärker bildet die Differenz der beiden Eingangsspannungen und verstärkt diese.	$U_D = U_+ - U_-$ $I_+, I_- = 0$
	Verstärkung	A_v ideal: $A_v = \infty$
	Eingangswiderstand	Input R_{in} ideal: $Z_{in} = \infty$
	Ausgangswiderstand	ideal: 0
	Anstiegsgeschwindigkeit	Slew Rate real: $0.5 - 1000 \frac{V}{\mu s}$

Mit Gegenkopplung

Mit Gegenkopplung	Nicht invert. Verstärker	Invertierender Verstärker
		
$U_{out} = A_v * (U_{in} - U_-)$ $U_- = k * U_{out}$ $k = \text{Kopplungsfaktor}$ $A(= \text{Verstärkung}) = \frac{U_{out}}{U_{in}}$	$U_d = 0$ $U_{out} = I * (R_1 + R_f)$ $I_f = I_1 = \frac{U_{in}}{R_1}$ $\frac{U_{out}}{U_{in}} = 1 + \frac{R_f}{R_1}$	$U_+ = U_- = U_d = 0$ $I_f = I_{in} = \frac{U_{in}}{R_{in}}$ $\frac{U_{out}}{U_{in}} = - \frac{R_f}{R_{in}}$