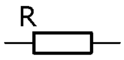
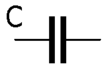
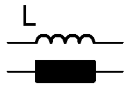
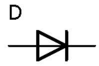
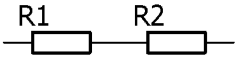
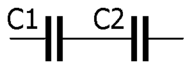
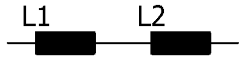
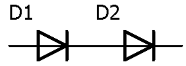
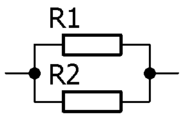
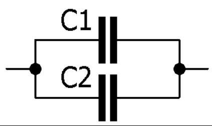
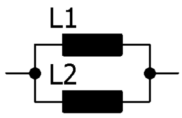
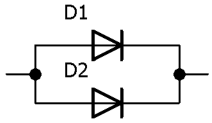
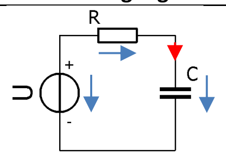
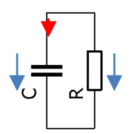
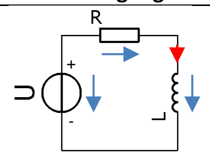
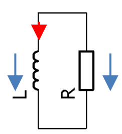
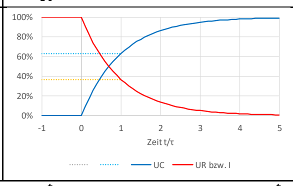
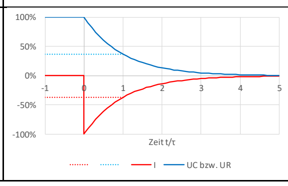
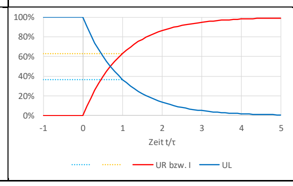
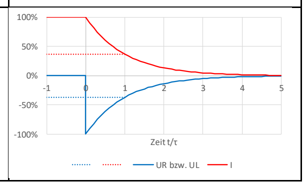
Bauteile

	Widerstand	Kondensator	Spule	Diode
Symbol				
Einheit	$[R] = \underbrace{\Omega}_{Ohm} = \frac{V}{A}$	$[C] = \underbrace{F}_{Farad} = \frac{C}{V} = \frac{As}{V}$	$[L] = \underbrace{H}_{Henry} = \Omega s = \frac{Vs}{A}$	-
Reihenschaltung				
	$R = R1 + R2$ $U_{R1} = U \cdot \frac{R_1}{R_1+R_2}$	$C = \frac{1}{\frac{1}{C1}+\frac{1}{C2}} = \frac{C1\cdot C2}{C1+vC2}$	$L = L1 + L2$	$U_D = U_{D1} + U_{D2}$
Parallelschaltung				
	$R = \frac{1}{\frac{1}{R1}+\frac{1}{R2}} = \frac{R1\cdot R2}{R1+R2}$ $U_{R1} = U_{R2}$ $I_{R1} = I \cdot \frac{R_2}{R_1+R_2}$	$C = C1 + C2$	$L = \frac{1}{\frac{1}{L1}+\frac{1}{L2}} = \frac{L1\cdot L2}{L1+L2}$	$U_D = U_{D1} = U_{D2}$
Verhalten an AC	-	$X_C = \frac{1}{j \underbrace{\omega}_{2\pi f} C} = -\frac{j}{\underbrace{\omega}_{2\pi f} C}$	$X_L = j \underbrace{\omega}_{2\pi f} L$	-
Sonstige Eigenschaften	**Temperaturabhängigkeit** $R_T = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot (T - T_0) + \beta \cdot (T - T_0)^2)$ Gilt auch für ρ **Spezifischer Widerstand** $R = \frac{\overbrace{\rho}^{spez.Wid.} \cdot \overbrace{l}^{Länge}}{\underbrace{A}_{Querschnitt}}$	**Temperaturabhängigkeit** $C_T = C_0 \cdot (1 + \alpha \cdot (T - T_0))$ **Abschätzungen** $X_C \overset{f\to 0}{\triangleq} \infty\,\Omega, X_C \overset{f\to\infty}{\triangleq} 0\,\Omega$	**Abschätzungen** $X_L \overset{f\to 0}{\triangleq} 0\,\Omega, X_L \overset{f\to\infty}{\triangleq} \infty\,\Omega$	Leitet nur in „Pfeilrichtung“ ab U_D = 0,6 V (idealisiert)  In Sperrrichtung wie „keine Verbindung“ Kann (leitend) als Spannungsquelle mit U_D betrachtet werden.
	$u(t) = \frac{i(t)}{R}$ $i(t) = u(t) \cdot R$	$u(t) = U_0 + \frac{1}{C} \cdot \int_0^T i(t)\,dt$ $i(t) = C \cdot \frac{\delta\, u(t)}{\delta t}$ $Q = C \cdot U$	$u(t) = L \cdot \frac{\delta\, i(t)}{\delta t}$ $i(t) = \frac{1}{L} \cdot \int_0^T u(t)\,dt$	$I = I_s \left(e^{\frac{qU}{k_bT}} - 1\right)$ $U = \frac{k_bT}{q} \cdot \ln\left(\frac{I}{I_s} + 1\right)$

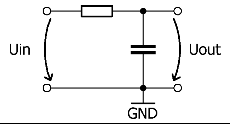
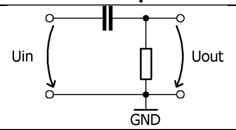
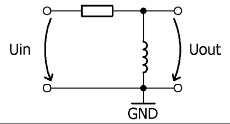
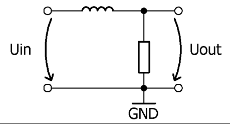
Zur Phasenverschiebung: **Kondensator, Strom vor**, bzw. **Induktivitäten Ströme sich verspäten.**
Spulen erlauben keine schlagartigen Änderungen von Strömen.
SI-Einheiten: $[I] = \boldsymbol{A}, [U] = \frac{W}{A} = \frac{J}{C} = \frac{kgm^2}{s^3A^1}, [R] = \frac{V}{A} = \frac{kgm^2}{s^3A^2}, [P] = \frac{J}{s} = VA = \frac{kgm^2}{s^3}$

Lade-/Entladevorgänge

	RC-Schaltung		RL-Schaltung	
	Ladevorgang	**Entladevorgang**	**Ladevorgang**	**Entladevorgang**
Symbol				
Spannung	$U_C = U \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right)$ $U_R = U \cdot e^{-\frac{t}{RC}}$	$U_R = U_C = U_0 \cdot e^{-\frac{t}{RC}}$	$U_L = U \cdot e^{-\frac{t\cdot R}{L}}$ $U_R = U \cdot \left(1 - e^{-\frac{t\cdot R}{L}}\right)$	$U_R = U_L = -U_0 \cdot e^{-\frac{t\cdot R}{L}}$
Strom	$I = I_0 \cdot e^{-\frac{t}{RC}} = \frac{U}{R} \cdot e^{-\frac{t}{RC}}$	$I = -I_0 \cdot e^{-\frac{t}{RC}} = -\frac{U_0}{R} \cdot e^{-\frac{t}{RC}}$	$I = \frac{U_0}{R} \cdot (1 - e^{-\frac{t\cdot R}{L}})$	$I = I_0 \cdot e^{-\frac{t}{RC}} = \frac{U_0}{R} \cdot e^{-\frac{t\cdot R}{L}}$
				

Hinweis: $e^{-\frac{t}{\tau}}$ sinkt von 1 bis 0, $(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$ steigt von 0 auf 1 über Zeit.

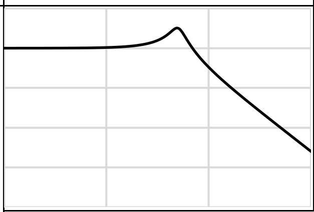
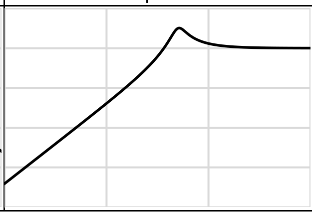
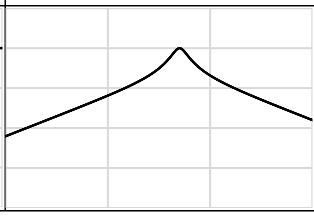
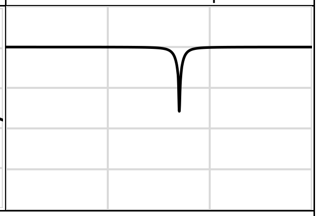
Tief-/Hochpass 1. Ordnung

	RC-Tiefpass	RC-Hochpass	RL-Hochpass	RL-Tiefpass
Schaltung				
Formeln	$H(\omega) = \frac{X_C}{X_C + R}$	$H(\omega) = \frac{R}{X_C + R}$	$H(\omega) = \frac{X_L}{X_L + R}$	$H(\omega) = \frac{R}{X_L + R}$
Grenz-frequenz	$Im(Z) = Re(Z), \omega_g = \frac{1}{\tau}, f_g = \frac{1}{2\pi\tau}, \omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$			
	$\tau = RC$		$\tau = \frac{L}{R}$	

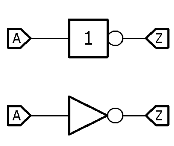
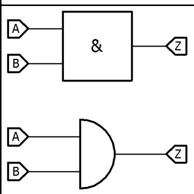
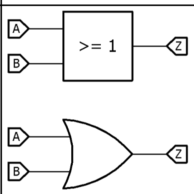
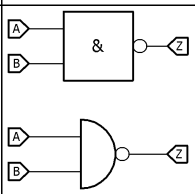
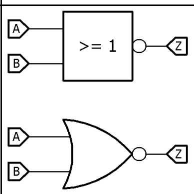
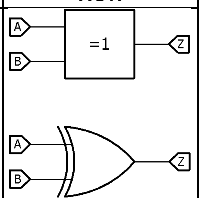
$$H(\omega) = \frac{Z_{out}}{Z_{Gesamt}} = \frac{U_{out}}{U_{in}} \qquad |H(\omega)| = \sqrt{Re(H(\omega))^2 + Im(H(\omega))^2} \qquad \varphi = \arctan\left(\frac{Im(H(\omega))}{Re(H(\omega))}\right)$$

$$\frac{a+bj}{c+dj} = \frac{ac+bd}{c^2+d^2} + j\,\frac{bc-ad}{c^2+d^2} \qquad (a+bj)\cdot(a-bj) = a^2 + b^2$$

Tief-/Hoch-/Bandpass/Bandsperre 2. Ordnung

	Tiefpass	Hochpass	Bandpass	Bandsperre
Abgriff	Kondensator	Spule	Widerstand	Kondensator + Spule
Graphen				
	Vertikal: Verstärkung 20dB/Einheit (lin, max. 20dB), Horizontal: Freqenz (log), Graphen sind von **R**LC.			
Formeln (Allgemein)	**Grenzfrequenz** $Im(Z) = Re(Z) \rightarrow f_g$	**Resonanzfrequenz** $Im(Z) = 0 \rightarrow f_0$ $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}, \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ **Eigenfrequenz** (= Resonanz gedämpfter Schwingkreis) $f_E = \sqrt{\omega_0^2 + \delta^2}$	HP/TP sinken mit 40 dB/dec Bandpass sinkt mit 20 dB/dec **Abklingkonstante** $\delta = \frac{R}{2L}$	Realer Schwingkreis $\delta < \omega_0$ *Schwingt* Aperiodischer Grenzfall $\delta = \omega_0$ *Schwingt am kürzesten* Kriechfall $\delta > \omega_0$ *Schwingt nicht*

Logikgatter

	NOT	AND	OR	NAND	NOR	XOR
Symbol (ISO/DIN)						
Wahrheitstabellen	a z 0 1 1 0	b a z 0 0 0 0 1 0 1 0 0 1 1 1	b a z 0 0 0 0 1 1 1 0 1 1 1 1	b a z 0 0 1 0 1 1 1 0 1 1 1 0	b a z 0 0 1 0 1 0 1 0 0 1 1 0	b a z 0 0 0 0 1 1 1 0 1 1 1 0
Bool	$Z = \overline{A} = \neg A = !A$	$Z = A \cdot B = A \wedge B$ $= AB$	$Z = A + B = A \vee B$	$Z = \overline{A \cdot B} = \overline{A \wedge B}$	$Z = \overline{A + B} = \overline{A \vee B}$	$Z = A \cdot \overline{B} + \overline{A} \cdot B$ $= AB = A\overline{B} \vee \overline{A}B$ $= (A \vee B) \wedge \overline{(AB)}$

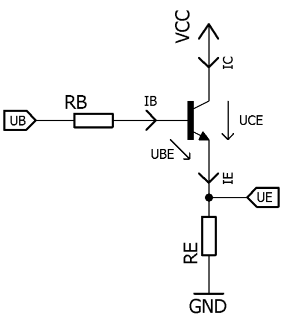
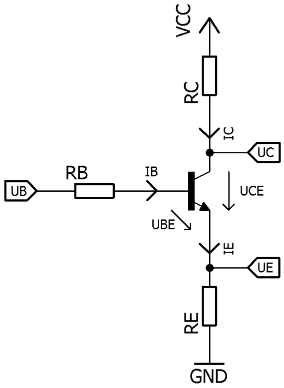
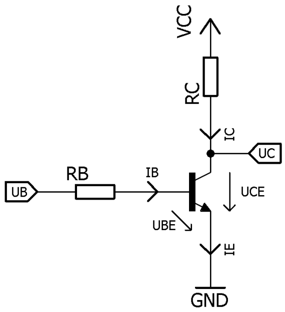
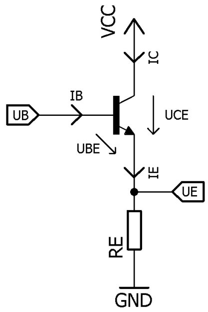
DeMorgan

$Z = A \vee B = \overline{\overline{A \vee B}} = \overline{\overline{A} \wedge \overline{B}}$ Ein OR ist ein NAND mit negierten Eingängen

$Z = A \wedge B = \overline{\overline{A \wedge B}} = \overline{\overline{A} \vee \overline{B}}$ Ein AND ist ein NOR mit negierten Eingängen

(Jede Schaltung lässt sich nur mit NAND bzw. NOR-Gattern aufbauen)

Transistor

	Kollektorschaltung / Emitterfolger	Mischung	Emitterschaltung / Kollektorfolger	Kollektorschaltung / Emitterfolger
Symbol				
Linearer Bereich	$\boldsymbol{I_C(I_B) = I_B \cdot \beta}$ $\boldsymbol{I_E(I_B) = I_B \cdot (\beta + 1)}$			
	$I_B(U_B) = \frac{U_B - U_{CE}}{R_B + (\beta+1) \cdot R_E}$	$I_B(U_B) = \frac{U_B - U_{BE}}{R_B + (\beta+1) \cdot R_E}$	$I_B(U_B) = \frac{U_B - U_{CE}}{R_B}$	$I_B(U_B) = \frac{U_B - U_{CE}}{(\beta+1) \cdot R_E}$
	$\boldsymbol{U_E}(I_E) = R_E \cdot I_E$	$\boldsymbol{U_E}(I_E) = R_E \cdot I_E$ $\boldsymbol{U_C}(I_C) = U_{CC} - U_{RC}$ $= U_{CC} - R_C \cdot I_C$	$\boldsymbol{U_C}(I_C) = U_{CC} - U_{RC}$ $= U_{CC} - R_C \cdot I_C$	$\boldsymbol{U_E}(I_E) = R_E \cdot I_E = U_B - U_{CE}$
	$\frac{\delta \boldsymbol{U_E}(U_B)}{\delta U_B} = \frac{R_E}{R_B + (\beta+1) \cdot R_E}$	$\frac{\delta \boldsymbol{U_E}(U_B)}{\delta U_B} = \frac{R_E}{R_B + (\beta+1) \cdot R_E}$ $\frac{\delta \boldsymbol{U_C}(U_B)}{\delta U_B} = \frac{-R_C \cdot \beta}{R_B + (\beta+1) \cdot R_E}$	$\frac{\delta \boldsymbol{U_C}(U_B)}{\delta U_B} = \frac{-R_C \cdot \beta}{R_B}$	$\frac{\delta \boldsymbol{U_E}(U_B)}{\delta U_B} = U_B - U_{CE} = 1$
	$R_{in} = R_B + R_E \cdot (\beta + 1)$ $R_{out} = R_E$	$R_{in} = R_B + R_E \cdot (\beta + 1)$ $R_{out} = R_E$ (Für U_E) $R_{out} = R_C$ (Für U_C)	$R_{in} = R_B$ $R_{out} = R_C$	$R_{in} = R_E \cdot (\beta + 1)$ $R_{out} = R_E$
Grenzen	Sperren: $U_{B,min} \leq U_{BE}$ Übersteuern: $U_{CE} = 0$ $U_{B,max} = \frac{U_{CC} \cdot R_B + (\beta+1) \cdot R_E}{R_E \cdot (\beta+1)} + U_{CE}$	Sperren: $U_{B,min} \leq U_{BE}$ Übersteuern: $U_{CE} = 0V$ $U_{B,max} = \frac{U_{cc} \cdot (R_B + (\beta+1)R_E)}{R_E \cdot (\beta+1) + R_c \cdot \beta} + U_{BE}$	Sperren: $U_{B,min} \leq U_{BE}$ Übersteuern: $U_{CE} = 0V$ $U_{B,max} = \frac{U_{CC} \cdot R_B}{R_C \cdot \beta} + U_{BE}$	Sperren: $U_{B,min} \leq U_{BE}$ Übersteuern: $U_{CE} = 0V$ $U_{B,max} = U_{CC} + U_{BE}$
	↓ Grenzen des linearen Bereichs ↓			
	$0V \leq \boldsymbol{U_E} \leq U_{CC}$ $U_{BE} \leq \boldsymbol{U_B} \leq \frac{U_{CC} \cdot R_B + (\beta+1) \cdot R_E}{R_E \cdot (\beta+1)} + U_{CE}$	$U_{CC} \geq \boldsymbol{U_C} \geq U_{CC} \cdot \frac{R_E \cdot (\beta+1)}{R_E \cdot (\beta+1) + R_c \cdot \beta}$ $0V \leq \boldsymbol{U_B} \leq U_{CC} \cdot \frac{R_E \cdot (\beta+1)}{R_E \cdot (\beta+1) + R_c \cdot \beta}$ $U_{BE} \leq \boldsymbol{U_B} \leq \frac{U_{cc} \cdot (R_B + (\beta+1)R_E)}{R_E \cdot (\beta+1) + R_c \cdot \beta} + U_{CE}$	$U_{CC} \geq \boldsymbol{U_C} \geq 0$ $U_{BE} \leq \boldsymbol{U_B} \leq \frac{U_{CC} \cdot R_B}{R_C \cdot \beta} + U_{BE}$	$0V \leq \boldsymbol{U_E} \leq U_{CC}$ $U_{BE} \leq \boldsymbol{U_B} \leq U_{CC} + U_{BE}$

Allgemeine Schaltungsanalyse

$$\begin{pmatrix} \sum R \; mit \; I_{M1} \; in \; M1 & \dots & \sum R \; mit \; I_{Mn} \; in \; M1 \\ \dots & \dots & \dots \\ \sum R \; mit \; I_{M1} \; in \; Mn & \dots & \sum R \; mit \; I_{Mn} \; in \; Mn \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_{M1} \\ \dots \\ I_{Mn} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Summe \; U \; aus \; Masche \; 1 \\ \dots \\ Summe \; U \; aus \; Masche \; n \end{pmatrix}$$

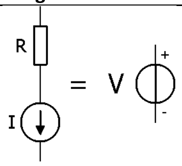
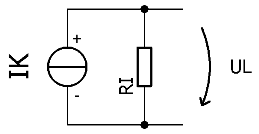
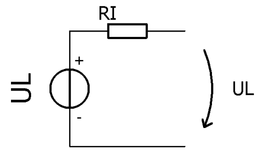
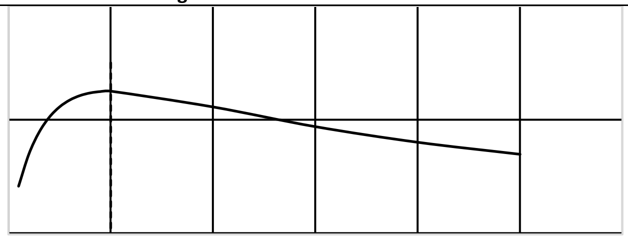
(M = Masche, I_{Mn} = Maschenstrom), Lösung nach I mittels LGS oder Cramer'scher Regel.

Cramer'sche Regel: *(Für n-ten Eintrag aus b muss c in Spalte n von a einsetzen)*

$$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \end{pmatrix} \qquad b_1 = \frac{det\begin{pmatrix} c_1 & a_{12} & a_{13} \\ c_2 & a_{22} & a_{23} \\ c_3 & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix}}{det\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix}} \qquad b_2 = \frac{det\begin{pmatrix} a_{11} & c_1 & a_{13} \\ a_{21} & c_2 & a_{23} \\ a_{31} & c_3 & a_{33} \end{pmatrix}}{det\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix}}$$

Analyse von Strom-/Spannungsquellen

!Achtung – Polaritäten beachten!

	Innenwiderstand	Leerlaufspannung (Superposition)	Leerlaufspannung (Cramer'sche Regel)	Leerlaufstrom
Rechenansätze	Alle Quellen ersetzen 1. Spannungsquelle = Kurzschluss 2. Stromquelle = Leerlauf 3. Widerstand zwischen Klemmen errechnen	Alle Quellen bis auf eine ersetzen Ausgangsspannung bestimmen Durchführen für jede Quelle Spannungen addieren $U_o = U_{o(1)} + \cdots + U_{o(n)}$	Maschen bestimmen Auflösen nach Maschenströmen $U_{Quellen} = R_x \cdot (I_{Ma} + I_{Mb}) + \cdots$ Maschen in Matrixform bringen (siehe „Allg. Schaltungsanalyse")	Analog zu Leerlaufspannung, nur zu Beginn Ausgang kurzschließen Einfachste Lösung: $I_{Kurzschluss} = \frac{U_{Leerlauf}}{R_{innen}}$
Ersatzschaltungen	**Allgemeiner Trick**  $U = -I * R$	**Northon** 	**Northon** 	Stromquellen mit RI parallel Identisch mit Spannungsquelle mit RI in Reihe $U_L = I_K \cdot R_I \Leftrightarrow I_K = \frac{U_L}{R_I}$
	UL = $U_{Leerlauf}$, IK = $I_{Kurzschluss}$, RI = R_{innen}			
Kurven	**Lastkurve** Diagramm I(U) (UI-Kennline) mit Gerade von I_K @ 0V zu U_L @ 0A	**Leistungskurve** Diagramm $P_L(R_L)$ **Leistungsanpassung** Anpassen von R_L oder Ri für maximale Leistung -> $R_L = R_i$ $P_L(n \cdot R_L) = P_L\left(\frac{1}{n \cdot R_L}\right)$		

Stuff

- Definition von $i = j = \sqrt{-1}$
- Zeitlicher Versatz zwischen zwei Signalen: $\Delta t = \frac{T\Phi_{\text{rad}}}{2\pi f} = \frac{T\Phi_{\text{deg}}}{360°}$
- Spannung ist der Potentialunterschied zwischen zwei Punkten.

x	0	0,176	0,364	$\frac{\sqrt{3}}{3}$	0,839	1	1,192	$\sqrt{3}$	2,747	5,671	0
arctan(x) / deg	0	10	20	30	40	45	50	60	70	80	90

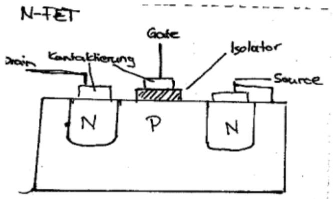
$\frac{\varphi_{\text{deg}}}{360°} * 2\pi = \varphi_{\text{rad}}$, $\arctan(-x) = -\arctan(x)$

$Q = \frac{U_{out}}{U_{in}}$	0,01	0,1	0,5	$\frac{1}{\sqrt{2}} \approx 0{,}71$	1	$\sqrt{2} \approx 1{,}41$	2	10	100
|Q| / dB	- 40	- 20	- 6	-3	0	3	6	20	40

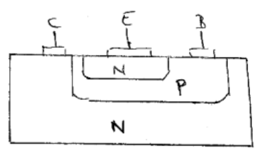
Keine negative Verstärkung (= Spannungsinvertierung) darstellbar mit dB. $Verstärkung = 20 \cdot \log_{10}\left(\frac{U_{out}}{U_{in}}\right)\ dB$

	Arithmetisches Mittel	Effektivwert (RMS)	Durchflutungssatz (Amper'sches Gesetz)	
	$\overline{a(t)} = \frac{\int_{t_0}^{t_0+T} a(t)\, dt}{T}$ Reine Sinusspannung $\overline{u(t)} = 0$ bei Offset (DC-Anteil) $\overline{u(t)} = U_{offs}$	(= Quadtatisches Mittel) $A_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_{t_0}^{t_0+T} a(t)^2 dt}$	$\oint_S \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 I$ $\oint_S \vec{H} \cdot d\vec{s} = I$	$rot\ \vec{B} = \mu_0 \vec{J}$ $rot\ \vec{H} = \overrightarrow{J_{ext}}$

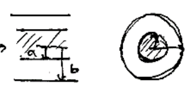
N-FET



NPN-TRASISTOR



Koaxial-Kabel:



$u = \int_a^b \frac{Q}{\varepsilon_m A}\, dr = \frac{Q}{\varepsilon_m} \int_a^b \frac{1}{A}\, dr$

$D = \frac{Q}{A}$ $E = \frac{Q}{\varepsilon_m A}$

$C_{Coax} = \frac{2\pi \varepsilon L}{\ln\left(\frac{b}{a}\right)}$ $R_{innenleiter} = \rho_{Al}\left(\frac{L}{\pi a^2}\right)$

$V_{peak} = E_{peak}\, a \ln\left(\frac{b}{a}\right)$ $J_{innenleiter} = \frac{V}{\rho_{Al} L}$