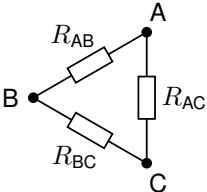
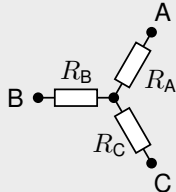


Formelblatt ELT 1 – Grundlagen, DC-Netzwerke & Strömungsfelder

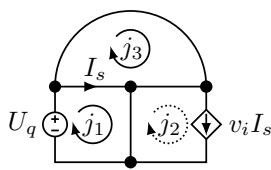
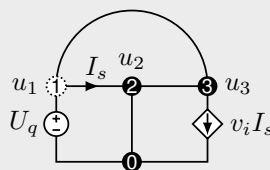
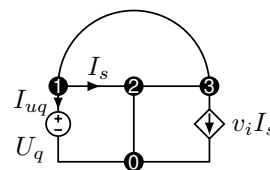
Konstanten	Elementarladung (Ladung des Elektrons $q_e = -e$)	$e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$	$\approx 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$
	Masse des Elektrons (Ruhemasse, $v \ll c_0$)	$m_e = 9.109 \times 10^{-31} \text{ kg}$	$\approx 9 \times 10^{-31} \text{ kg}$
	Avogadro-Konstante (Anzahl für molare Masse)	$N_A = 6.022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$	$\approx 6 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
	Boltzmann-Konstante	$k_B = 1.3806 \times 10^{-23} \text{ J/K}$	$\approx 1.4 \times 10^{-23} \text{ J/K}$
	Lichtgeschwindigkeit (in Vakuum)	$c_0 = 299\,792\,458 \text{ m/s}$	$\approx 3 \times 10^8 \text{ m/s}$

Grundgesetze	Kirchhoffscher Knotensatz <i>KH-1 (Kontinuität)</i>	$\sum_n I_n = 0$	$\dot{I} = \oint_{\text{Hülle}} \mathbf{J} \cdot d\mathbf{s} = 0$
	Kirchhoffscher Maschensatz <i>KH-2 (Konservativität)</i>	$\sum_n U_n = 0$	$\dot{U} = \oint_{C=\partial A} \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = 0$
	Ohmsches Gesetz	$R = \frac{U}{I} \quad \text{bzw.} \quad G = \frac{I}{U} = \frac{1}{R}$	$[R] = \Omega, [G] = \text{S}$

Grundlagen	Stromstärke	$I = \left. \frac{dQ}{dt} \right _{\text{durch } A} = \int_A \mathbf{J} \cdot \hat{\mathbf{n}} \frac{ds}{ds} \stackrel{\text{homogen}}{=} \mathbf{J} \cdot \mathbf{A}$	$[I] = \frac{\text{C}}{\text{s}} = \text{A}$
	Stromdichte <i>Bewegte Ladungsdichte</i>	$\mathbf{J} = \frac{dI}{dA} \hat{\mathbf{n}} = \rho \mathbf{v} = \sigma \mathbf{E} \quad (\hat{\mathbf{n}} \perp A, \mathbf{A} = \hat{\mathbf{n}} A)$	$[J] = \frac{\text{A}}{\text{m}^2}$
	Driftgeschwindigkeit (der Ladungsträger)	$\mathbf{v} = \frac{\mathbf{J}}{qn} = \frac{\mathbf{J}}{\rho}$	$[v] = \text{m/s}, [q] = \text{C} = \text{A s},$ $[n] = 1/\text{m}^3, [\rho] = \text{A s}/\text{m}^3$
	Elektrische Leitfähigkeit und spez. Widerstand ϱ	$\sigma = \frac{1}{\varrho} = qn\mu$	$[\sigma] = \text{S/m}, [\varrho] = \Omega \text{ m},$ $[\mu] = \frac{\text{m/s}}{\text{V/m}} = \text{A s}^2/\text{kg}$
	Temperaturabhängigkeit von Widerständen	$\Delta R = (\alpha \Delta T + \beta \Delta T^2 + \dots) R_{T_0} \quad (\Delta T = T - T_0)$	$[\alpha] = 1/\text{K}$ $[\beta] = 1/\text{K}^2$
	Elektrisches Potential <i>normalisierte pot. Energie</i>	$\varphi = \frac{W}{Q}$	$[\varphi] = \text{V} = \frac{\text{J}}{\text{C}} = \frac{\text{kg m}^2}{\text{A s}^3}$
	Elektrische Spannung <i>Potentialdifferenz</i>	$U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B = \frac{\Delta W}{Q} = \int_A^B \mathbf{E} \cdot \underbrace{d\mathbf{l}}_{\hat{\mathbf{i}} dl} \stackrel{\text{hom.}}{=} \mathbf{E} \cdot \mathbf{l}_{AB}$	$[U] = \text{V}$
	Leistung <i>Arbeit pro Zeiteinheit</i>	$P = \frac{\Delta W}{\Delta t} = UI = \int_V p dv \stackrel{\text{homogen}}{=} pV$	$[P] = \frac{\text{J}}{\text{s}} = \text{W}$
	Leistungsdichte des el. Strömungsfelds	$p = \frac{dP}{dv} = \mathbf{J} \cdot \mathbf{E} = \sigma E^2 = \varrho J^2$	$[p] = \frac{\text{W}}{\text{m}^3}$
	Wirkungsgrad <i>Effizienz</i>	$\eta = \frac{\Delta W_{ab}}{\Delta W_{zu}} \quad \text{bzw.} \quad \eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}} = \frac{P_{ab}}{P_{ab} + P_{ver}}$	$[\eta] = 1 \text{ (bzw. \%)}$
	Ladungsänderung (aus Stromfluss)	$Q(t_2) = \Delta Q + Q(t_1) = \int_{t_1}^{t_2} I(t) dt + Q(t_1)$	$[Q] = \text{C} = \text{A s}$

Umwandlung	Stern-Dreieck-Umwandlung $\text{Y} \Rightarrow \Delta$	Dreieck-Stern-Umwandlung $\Delta \Rightarrow \text{Y}$
	 $R_{AB} = R_A + R_B + \frac{R_A R_B}{R_C}$ $R_{AC} = R_A + R_C + \frac{R_A R_C}{R_B}$ $R_{BC} = R_B + R_C + \frac{R_B R_C}{R_A}$	 $R_A = \frac{R_{AB} R_{AC}}{R_{AB} + R_{BC} + R_{AC}}$ $R_B = \frac{R_{AB} R_{BC}}{R_{AB} + R_{BC} + R_{AC}}$ $R_C = \frac{R_{AC} R_{BC}}{R_{AB} + R_{BC} + R_{AC}}$

Graphentheorie	Graph $G(V, E)$ bzw. $G(K, Z)$	Ein Graph G besteht aus je einer Menge k Knoten, K , und einer Menge z Zweige (Verbindungen zwischen Knoten), Z .
	Baum verzweigter Pfad	Ein Baum ist ein (verzweigter) Pfad/Linienzug (zusammenhängende Zweige bzw. Verbindungen von Knoten) <i>ohne</i> Zyklen/Kreise.
	Spannbaum vollständiger Baum	Ein Spannbaum ist ein Baum, welcher <i>alle</i> Knoten verbindet; er besteht aus $k-1$ Baumzweigen (daneben $z-k+1$ Verbindungszweige).
	Masche innerer/äusserer Kreis	Eine Masche ist ein Kreis (einzeln Zyklus, d.h. Pfad mit gleichem Start- und Endknoten) <i>ohne innere oder äussere</i> Zweige; Anzahl: m .
	Eulerscher Polyedersatz für planare Graphen	Anz. Maschen $m = z - k + 2$ $z = \text{Anz. Zweige}$ $k = \text{Anz. Knoten}$

Systematische Netzwerkanalyse	Maschen-/Kreisstrommethode	Knotenpotentialmethode (KPM)	modifizierte Knotenpot. (MNA)
			
	$\mathbf{Rj} = \mathbf{u}$	$\mathbf{Gu} = \mathbf{i}$	$\tilde{\mathbf{G}}\mathbf{w} = \mathbf{s}$
	<ul style="list-style-type: none"> ■ Unbekannte \mathbf{j} <ul style="list-style-type: none"> • Maschen- bzw. Kreisströme • Anzahl: $m - 1 - i$ ■ Widerstandsmatrix \mathbf{R} <ul style="list-style-type: none"> • $r_{xx} = [\sum_n R_n]_{\text{in } j_x}$ • $r_{xy} = \pm [\sum_n R_n]_{\text{in } j_x \cap j_y}$ • sowie Steuerparameter von gesteuerten Quellen ■ Spannungsquellenvektor \mathbf{u} <ul style="list-style-type: none"> • $u_x = \mp [\sum_n U_{q,n}]_{\text{in } j_x}$ • positiv: $U_{q,n}$ entgegen j_n 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Unbekannte \mathbf{u} <ul style="list-style-type: none"> • Knotenspannungen $\varphi - \varphi_0$ • Anzahl: $k - 1 - v$ ■ Leitwertmatrix \mathbf{G} <ul style="list-style-type: none"> • $g_{xx} = [\sum_n G_n]_{\text{an } u_x}$ • $g_{xy} = - [\sum_n G_n]_{\text{an } u_x \& u_y}$ • sowie Steuerparameter von gesteuerten Quellen ■ Stromquellenvektor \mathbf{i} <ul style="list-style-type: none"> • $i_x = \pm [\sum_n I_{q,n}]_{\text{an } u_x}$ • positiv: fliesst in u_x hinein 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Unbekannte \mathbf{w} <ul style="list-style-type: none"> • alle Knotenspannungen \mathbf{u}, sowie einige Zweigströme ($I_{qu} \Rightarrow v, I_s \Rightarrow s$) • Anzahl: $k - 1 + v + s$ ■ modifizierte Leitwertmatrix $\tilde{\mathbf{G}}$ <ul style="list-style-type: none"> • Form: $\tilde{\mathbf{G}} = \begin{bmatrix} \mathbf{G} & \mathbf{\Gamma}_u \\ \mathbf{\Gamma}_i & -\mathbf{R} \end{bmatrix}$ (\mathbf{G} ähnlich KPM) ■ Quellenvektor \mathbf{s} <ul style="list-style-type: none"> • Spannungsquellen • Stromquellen