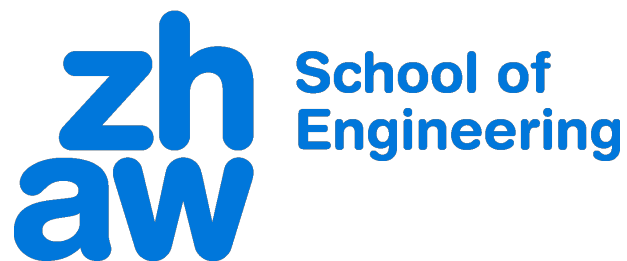


ZHAW Zurich University of Applied Sciences
Winterthur



Zusammenfassung EL1

Studienwochen 1-14

Written by: Severin Sprenger
October 13, 2025
Zf. EL1 SW 1-14

Contents

1	Grundbegriffe der Elektrotechnik	2
1.1	Ladung	2
1.2	Strom	2
1.3	Teilchendichte	2
1.4	Stromdichte	2
1.5	Spannung und Arbeit	2
1.6	Widerstand	3
1.6.1	Leitwert	3
1.6.2	Spezifischer Widerstand	3
1.6.3	Spezifischer Leitwert	3
1.7	Energie (Gleichstrom)	3
1.8	Leistung (Gleichstrom)	3
2	Zählfeilsysteme	4
3	Einfache el. Bauelemente	4
3.1	PN-Diode (Nicht linear)	4
3.2	Ideale Spannungs- / Stromquelle	5
3.3	Reale Spannungs- / Stromquelle	5
3.4	Arbeitspunkt	5
4	Einfache Gleichstrom-Netzwerke	6
4.1	Kontensatz	6
4.2	Maschensatz	6
4.3	Serie- / Parallelschaltung	6
4.4	Stromteiler	6
4.5	Kapazitiver spannungsteiler	6
4.6	Stein-Dreieck-Transformation	6
4.6.1	Stern $\rightarrow$ Dreieck	7
4.6.2	Dreieck $\rightarrow$ Stern	7
4.7	Wirkungsgrad	7
5	Messung el. Grössen	7
5.1	Spannungsmessung	7
5.2	Strommessung	7
5.3	Spannungsrichtige Messung	8
5.4	Stromrichtige Messung	8
5.5	Wechseln	8
6	Besondere Eigenschaften von linearen Netzwerken	8
6.1	SPP	8
6.2	Nullquellen	9
6.3	Zweipoliges ESB	9
6.4	Wheatstone-Messbrücke	9
6.4.1	Einfache Brücke	9
6.4.2	Halbbrücke	10
6.4.3	Vollbrücke	10
7	Analyseverfahren	10
8	Kondensator und Kapazität	10
8.1	Kapazität	10
8.2	Plattenkondensator	11
8.3	Gespeicherte Energie	11
8.4	Dielektrikum	11

9 Einfache dynamische Schaltungen	11
9.1 Entladen eines Kondensators	11
9.2 Laden eines Kondensators	12
10 Konstanten	12

1 Grundbegriffe der Elektrotechnik

1.1 Ladung

$$[Q] = [q] = \text{As} = \text{C}$$

$$N_e = \frac{Q}{e}$$

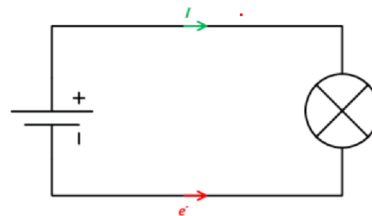
N_e : N Elektronen

Q : Ladung

e : Elektronen Ladung

1.2 Strom

Strom ist eine gerichtete Grösse.



$$[I] = \text{A}$$

$$I(t) = \frac{dQ(t)}{dt} = \dot{Q}(t)$$

1.3 Teilchendichte

Die Teilchendichte ist tabellarisch zu bestimmen.

$$[n] = \frac{1}{\text{m}^3}$$

1.4 Stromdichte

$$j = n \cdot e \cdot v_D = \frac{I}{A}$$

$$[j] = \frac{\text{A}}{\text{m}^2}$$

1.5 Spannung und Arbeit

$$[E] = \text{J}; [W] = \text{J}; [U] = \text{V}$$

$$1 \text{ J} = 1 \text{ VAs} = 1 \text{ Nm} = 1 \frac{\text{kgm}}{\text{s}^2} = 1 \text{ kg} \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

$$W = q \cdot U$$

$$q = I \cdot t$$

1.6 Widerstand

$$[R] = \frac{V}{A} = \Omega$$

$$R = \frac{U}{I}$$

$$R(T) = R_{20} \cdot (1 + \alpha_{20} \cdot (T - 293 \text{ K}))$$

1.6.1 Leitwert

$$[G] = \frac{A}{V} = S (= \mathcal{U})$$

$$G = \frac{1}{R} = \frac{I}{U}$$

1.6.2 Spezifischer Widerstand

$$[\rho] = \frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}}$$

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

ρ : spezifisch Widerstand

L : Länge

A : Fläche

$$\rho(T) = \rho_{20} \cdot (1 + \alpha_{20} \cdot (T - 293 \text{ K}))$$

$$\rho(T) = \rho_{20} \cdot (1 + \alpha_{20} \cdot (T - 293 \text{ K}) + \beta_{20} \cdot (T - 293 \text{ K})^2)$$

1.6.3 Spezifischer Leitwert

$$[\sigma] = \frac{1}{\Omega \text{m}} = \frac{S}{\text{m}}$$

$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$

σ : spezifisch Leitwert

ρ : spezifisch Widerstand

1.7 Energie (Gleichstrom)

$$[W] = VC = VAs = Ws = J$$

$$W = U \cdot Q$$

1.8 Leistung (Gleichstrom)

$$[P] = W$$

$$P = \frac{dW}{dt} = \dot{W} = U \cdot I$$

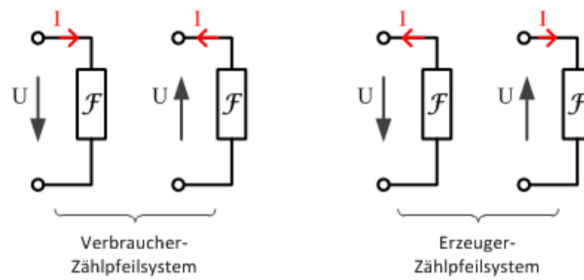
$$P_{Lmax} = \frac{U_0^2}{4R_i}$$

$$P = \frac{W}{t}$$

$$\eta = \frac{P_1}{P_2}$$

$$\eta = \frac{R_L}{R_i + R_L}$$

2 Zählpeilsysteme



Wenn die Leistung eines Zweipols im Verbraucherzählpeilsystem negativ ist, handelt es sich um einen aktiven Zweipol (Kann, muss aber nicht, Leistung abgeben).

3 Einfache el. Bauelemente

3.1 PN-Diode (Nicht linear)

$$I(U) = I_S \cdot \left(\exp\left(\frac{e \cdot U}{k_B \cdot T}\right) - 1 \right)$$

$$U_T = \frac{k_B \cdot T}{e}$$

$$I(U) = I_S \cdot \left(\exp\left(\frac{U}{U_T}\right) - 1 \right)$$

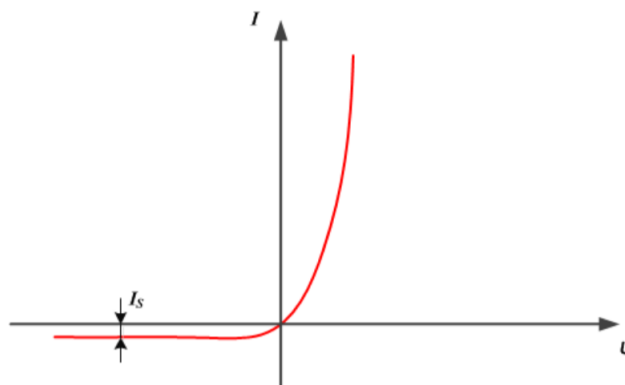
I_S : Sperrstrom

e : Elektronen Ladung

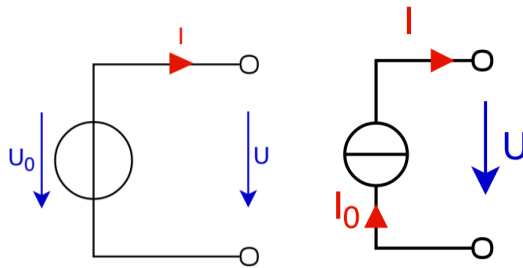
k_b Boltzmann-Konstante

$$I(U) = I_S \cdot \left(\exp\left(\frac{U}{\alpha \cdot U_T}\right) - 1 \right)$$

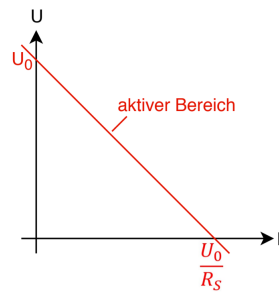
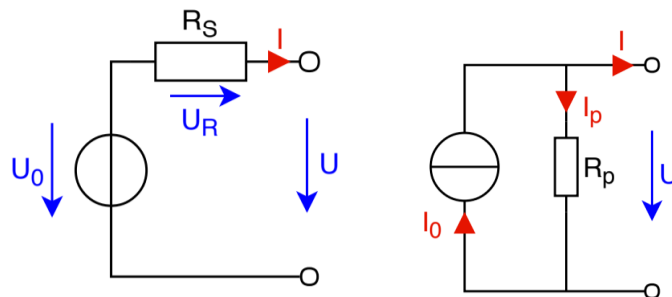
α : Tuningparameter $\in \{1 < \alpha < 3\}$



3.2 Ideale Spannungs- / Stromquelle

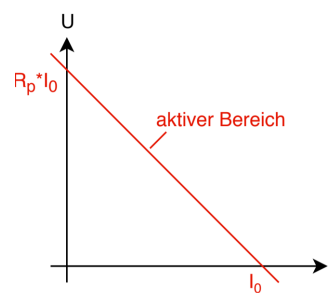


3.3 Reale Spannungs- / Stromquelle



$$U = U_0 - R_S \cdot I$$

$$I = \frac{1}{R_S} (U_0 - U)$$

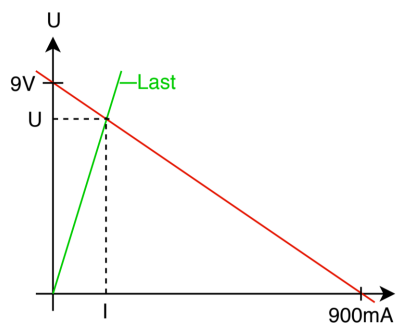


$$I = I_0 - \frac{U}{R_P}$$

$$U = R_P \cdot (I_0 - I)$$

3.4 Arbeitspunkt

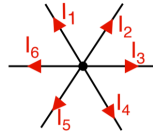
Am Arbeitspunkt ist ersichtlich welche Spannung und Strom sich in einem System einstellt.



Ap einfach Spannung über RL berechnen

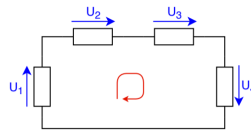
4 Einfache Gleichstrom-Netzwerke

4.1 Kontensatz



$$\sum_{k=0}^N I_k = 0$$

4.2 Maschensatz



$$\sum_{k=0}^N U_k = 0$$

4.3 Serie- / Parallelschaltung

$$R_S = \sum_{k=0}^N R_k$$

$$\frac{1}{R_P} = \sum_{k=0}^N \frac{1}{R_k}$$

$$R_1 || R_2 = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

4.4 Stromteiler

$$I_1 = I \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

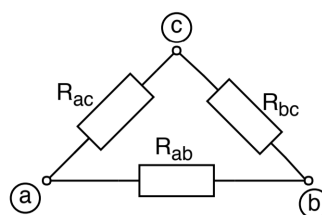
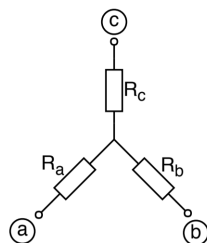
$$I_2 = I \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

4.5 Kapazitiver spannungsteiler

$$U_1 = U \cdot \frac{C_2}{C_1 + C_2}$$

$$U_2 = U \cdot \frac{C_1}{C_1 + C_2}$$

4.6 Stein-Dreieck-Transformation



4.6.1 Stern → Dreieck

$$\tilde{R} = R_a \cdot R_b + R_a \cdot R_c + R_b \cdot R_c$$

$$R_{ab} = \frac{\tilde{R}}{R_c} \quad R_{ac} = \frac{\tilde{R}}{R_b} \quad R_{bc} = \frac{\tilde{R}}{R_a}$$

4.6.2 Dreieck → Stern

$$\hat{R} = R_{ab} + R_{ac} + R_{bc}$$

$$R_a = \frac{R_{ab} \cdot R_{ac}}{\hat{R}} \quad R_b = \frac{R_{ab} \cdot R_{bc}}{\hat{R}} \quad R_c = \frac{R_{ac} \cdot R_{bc}}{\hat{R}}$$

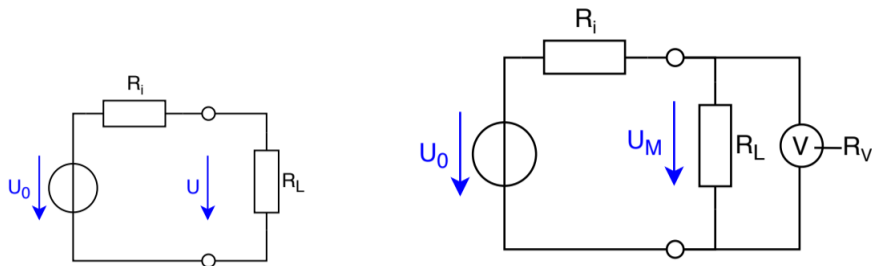
4.7 Wirkungsgrad

$$\eta = \frac{P_L}{P_{tot}}$$

5 Messung el. Grössen

- ΔX : Absoluter Fehler
- δX : Relativer Fehler

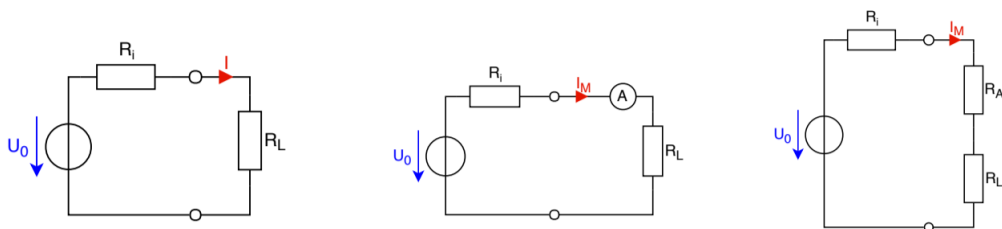
5.1 Spannungsmessung



$$\Delta U = -\frac{R_L || R_i}{R_V + (R_L || R_i)} \frac{R_L}{R_i + R_L} U_0$$

$$\delta U = \frac{\Delta U}{U} = -\frac{R_L || R_i}{R_V + (R_L || R_i)}$$

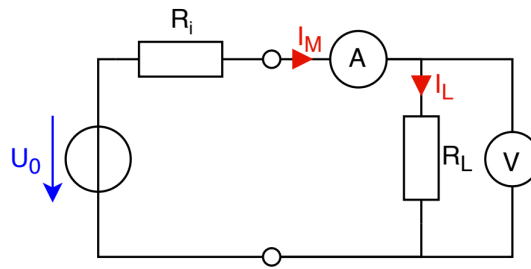
5.2 Strommessung



$$\Delta I = -\frac{R_A}{(R_i + R_L + R_A)(R_i + R_L)} U_0$$

$$\delta I = -\frac{R_A}{R_i + R_L + R_A}$$

5.3 Spannungsrichtige Messung

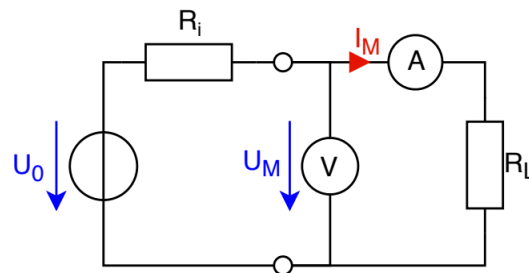


$$\Delta R = \frac{-R_L^2}{R_V + R_L}$$

$$\Delta P = \frac{U_M^2}{R_V}$$

$$\delta P = \frac{R_L}{R_V}$$

5.4 Stromrichtige Messung



$$\Delta R = R_M - R_L = R_A$$

$$\delta R = \frac{\Delta R}{R_L} = \frac{R_A}{R_L}$$

$$\Delta P = R_A \cdot I_M^2$$

$$\delta P = \frac{R_A}{R_L}$$

5.5 Wechseln

$$R_{Krit} = \frac{R_L}{R_L + R_V}$$

$$If R_V \gg R_A$$

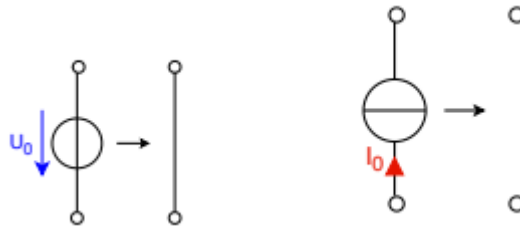
$$R_{Krit} = \sqrt{R_A \cdot R_V}$$

6 Besondere Eigenschaften von linearen Netzwerken

6.1 SPP

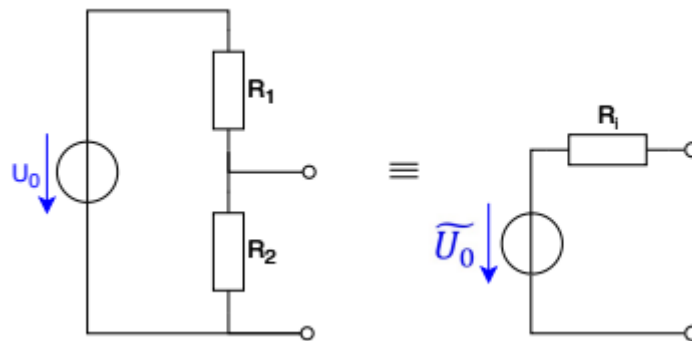
Immer nur 1 Quelle betrachte alle andere 0 Quelle und am Schluss alles addiere

6.2 Nullquellen



6.3 Zweipoliges ESB

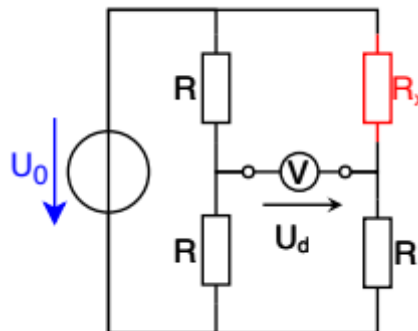
RI kann via alle Quelle auf ihre 0 Quelle gesetzt und dann den Widerstand berechnen.



6.4 Wheatstone-Messbrücke

Verwendet um Widerstandsänderungen zu detektieren. (z.B.: Dehnungsmessreifen)

6.4.1 Einfache Brücke



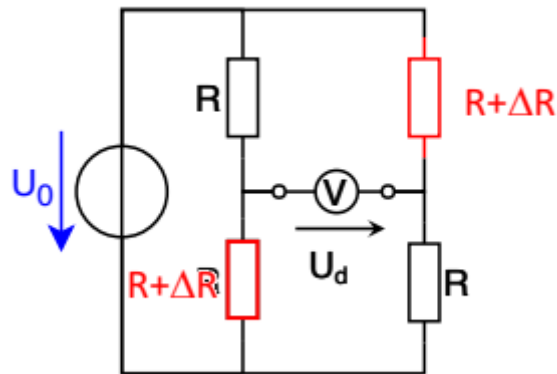
$$\tilde{U}_0 = U_0 \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \frac{R}{R + R_X} \right)$$

$$\delta R = \frac{\Delta R}{R}$$

$$R_i = R \cdot \left(\frac{1 + \frac{3}{4} \cdot \delta R}{1 + \frac{1}{2} \cdot \delta R} \right)$$

$$\text{Kleine } \Delta R : U_d \approx \frac{U_0}{4} \cdot \frac{\Delta R}{R}$$

6.4.2 Halbbrücke

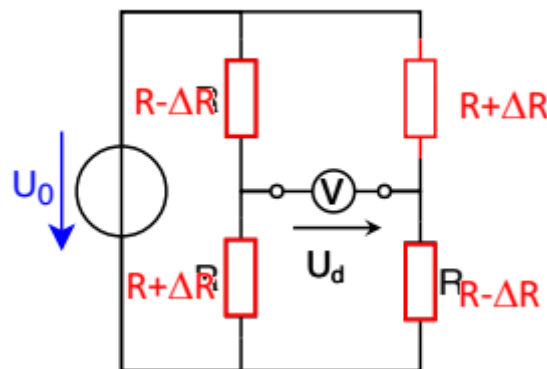


$$\text{Kleine } \Delta R : U_d \approx \frac{U_0}{2} \cdot \frac{\Delta R}{R}$$

$$R_i = 2 \cdot \left(\frac{2 + \delta R}{R \cdot (1 + \delta R)} \right)$$

$$U_M = U_0 \cdot \left(\frac{R^2 \cdot \delta R \cdot (1 + \delta R)}{2 + \delta R} \right)$$

6.4.3 Vollbrücke



$$\text{Kleine } \Delta R : U_d \approx U_0 \cdot \frac{\Delta R}{R}$$

$$R_i = \frac{4}{R \cdot (1 - \delta R^2)}$$

$$U_M = U_0 \cdot R \cdot \Delta R \cdot (1 - \delta R^2)$$

7 Analyseverfahren

8 Kondensator und Kapazität

8.1 Kapazität

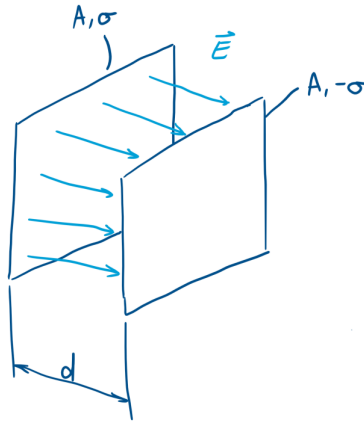
$$[C] = F = \frac{As}{V}$$

$$C = \frac{Q}{U}$$

8.2 Plattenkondensator

$$C = \epsilon_0 \cdot \frac{A}{d}$$

$$\epsilon_0 : \text{Permittivitat des Vakuums} = 8,85e-12 \frac{As}{Vm}$$



8.3 Gespeicherte Energie

$$W = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U^2 = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C}$$

8.4 Dielektrikum

$$C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \frac{A}{d}$$

9 Einfache dynamische Schaltungen

$$\tau = R \cdot C$$

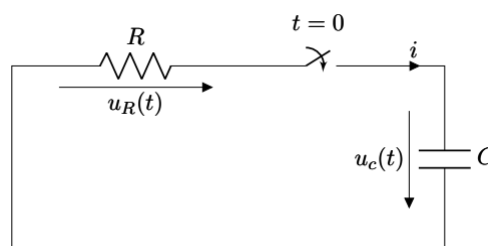
$$\tau = \frac{-t}{\ln\left(1 - \frac{U_C}{U_0}\right)}$$

1 τ und 5 τ sind wichtig

1 $\tau \rightarrow 0.63$ Geladen

5 $\tau \rightarrow$ Kondensator wird als geladen bezeichnet

9.1 Entladen eines Kondensators



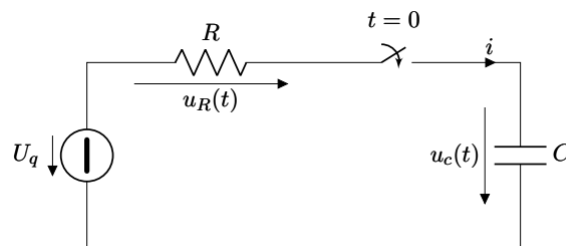
$$U_C(t) = U_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$I(t) = \dot{Q}(t) = -\frac{U_0}{R} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$U_C(0) = U_0$$

$$I(0) = \frac{U_0}{R}$$

9.2 Laden eines Kondensators



$$U_C(t) = U_q \cdot (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$$

$$Q(t) = C \cdot U_q \cdot (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$$

$$I(t) = \frac{U_q}{R} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$U_C(0) = 0 \text{ V}$$

$$I(0) = \frac{U_q}{R}$$

10 Konstanten

$$e = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ As}$$

$$k_B = 1.38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{K}}$$