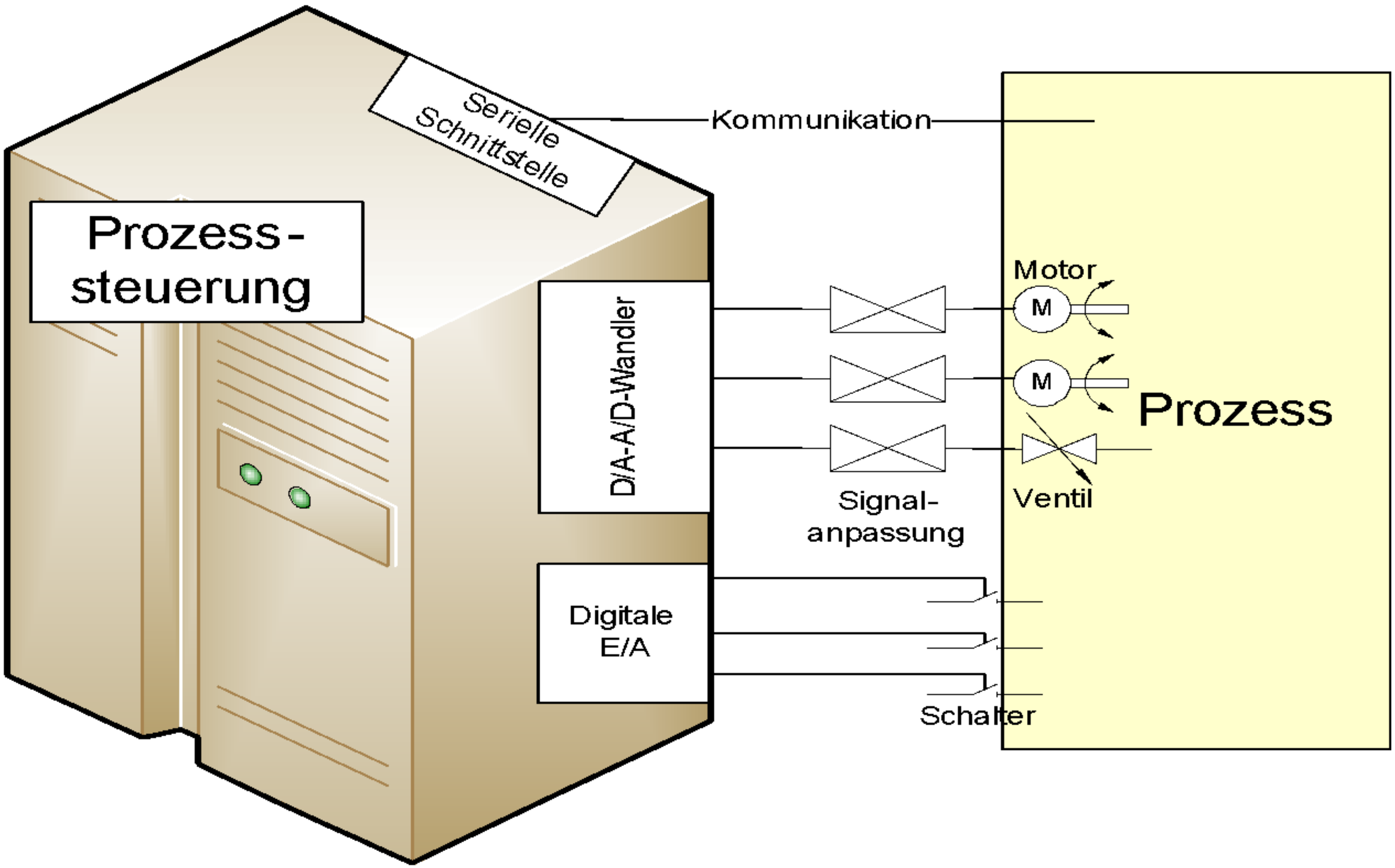
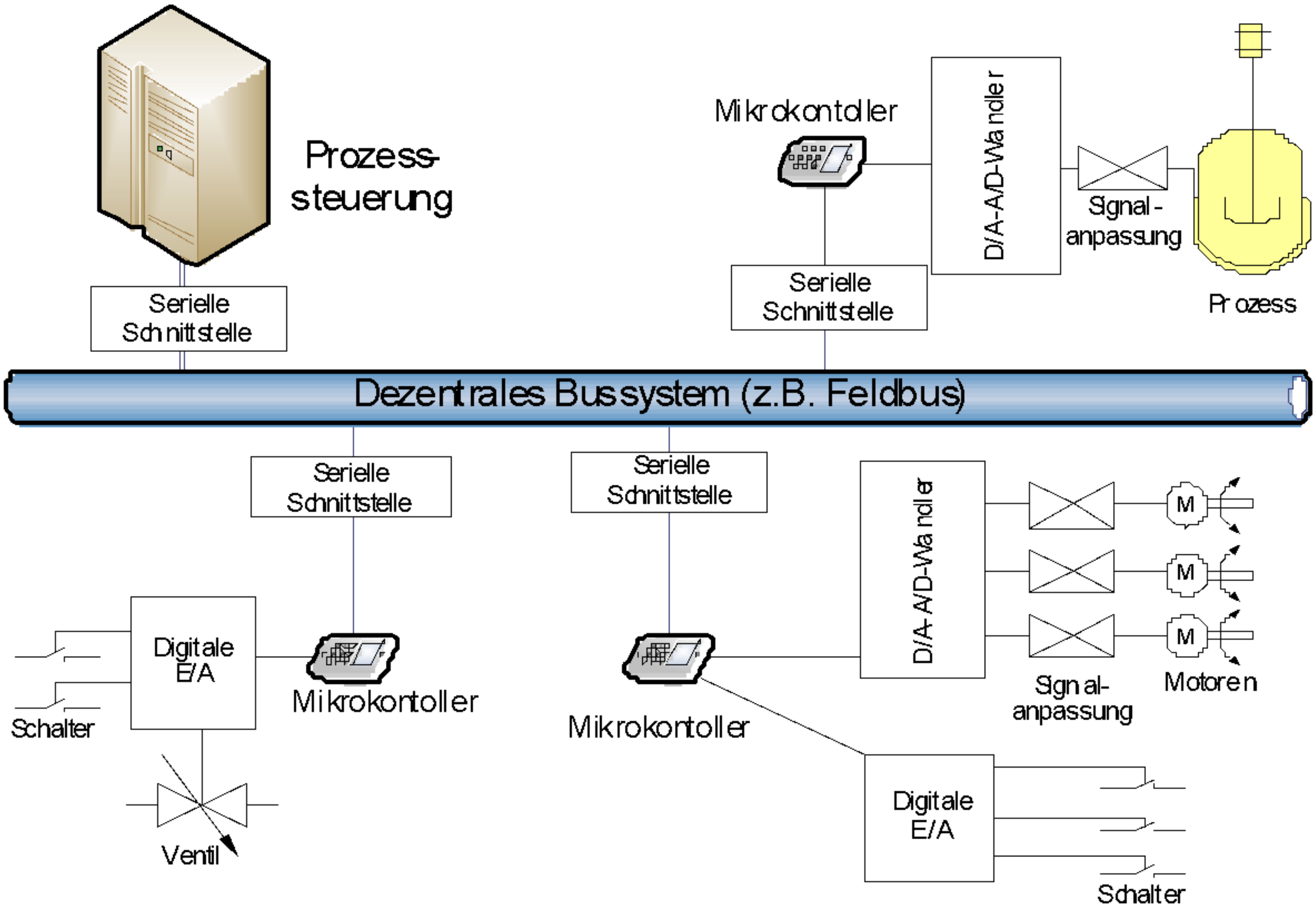
Kapitel 6

Analog-Schnittstellen

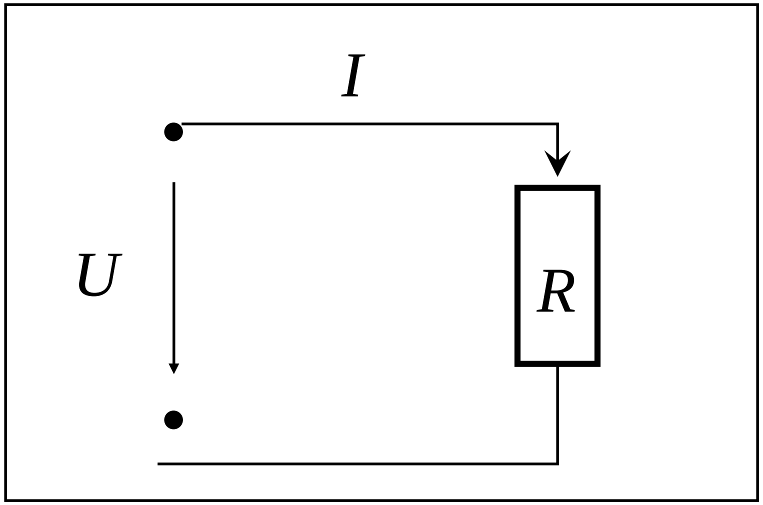
Hardwareschnittstelle zwischen Echtzeit-system und Prozess: Zentrale Struktur



Hardwareschnittstelle zwischen Echtzeit-system und Prozess: Dezentrale Struktur



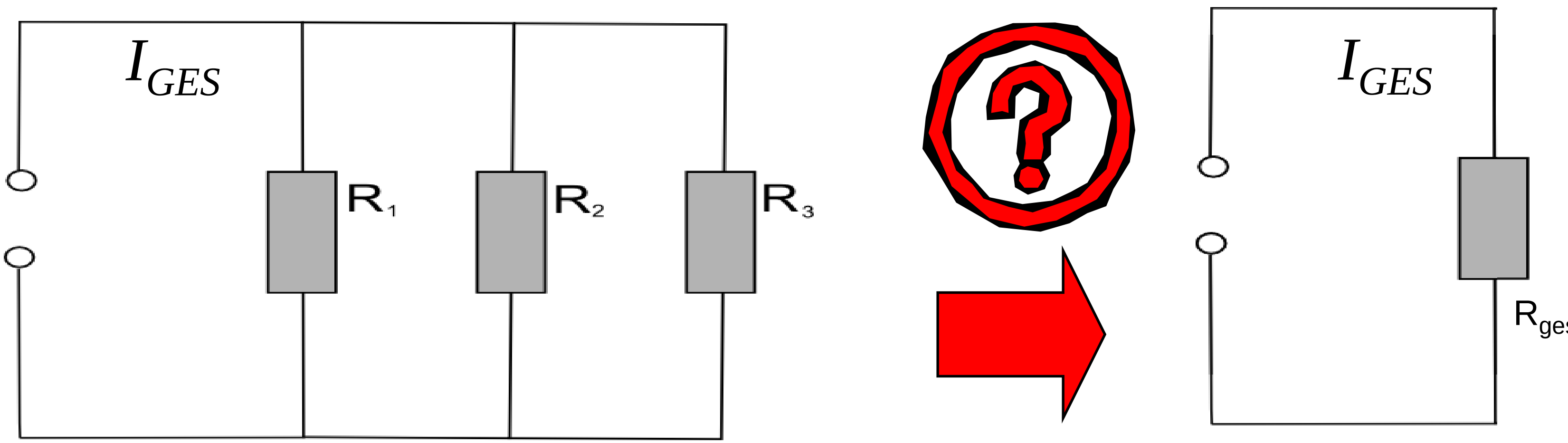
Ohmsches Gesetz



- Die Spannung ist proportional zum Strom
- Name des Faktors: Widerstand *R*

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

Widerstandsschaltung: Parallel

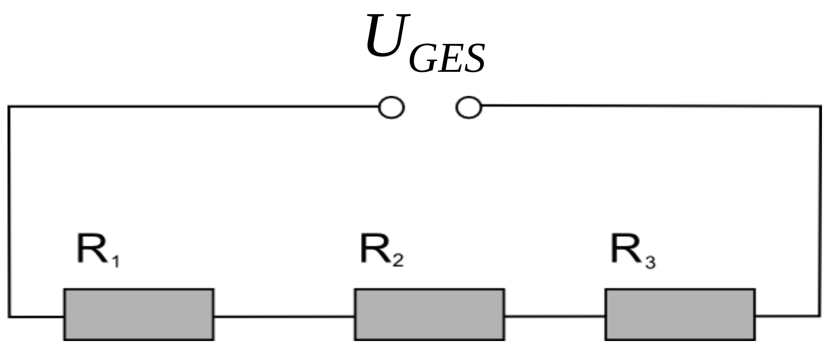


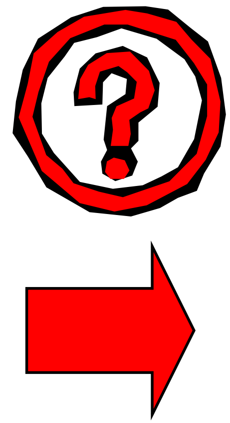
- Spannung *U* liegt an allen Widerständen an
- Die erzeugten Ströme addieren sich zu I_{GES}

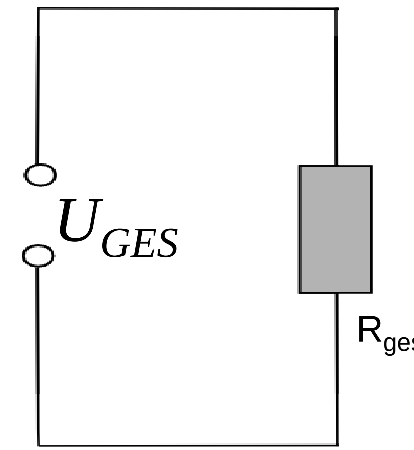
$$I_{GES} = I_1 + I_2 + I_3 + \ldots + I_n = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3} + \ldots + \frac{U}{R_n} = \left(\frac{1}{R_1} + \ldots + \frac{1}{R_n}\right) U$$

$$\boxed{\frac{1}{R_{GES}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \ldots + \frac{1}{R_n}}$$

Widerstandsschaltung: Seriell





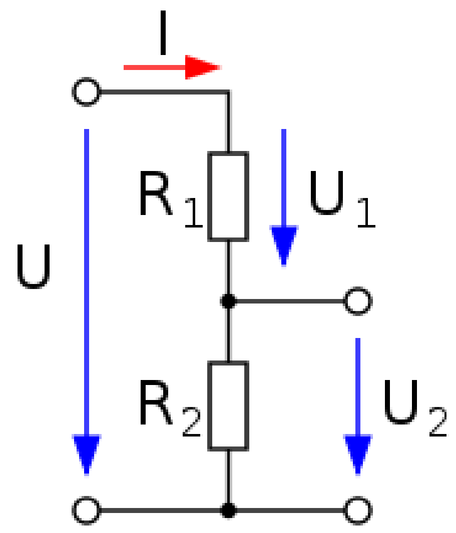


- Der gleiche Strom *I* fließt durch alle Widerstände
- Spannung U_{GES} teilt sich auf Widerstände auf

$$U_{GES} = U_1 + U_2 + \cdots + U_n = I \cdot R_1 + I \cdot R_2 + \cdots + I \cdot R_n = (R_1 + R_2 + \cdots + R_n) \cdot I$$

$$U_{GES} = R_{GES} \cdot I = (R_1 + R_2 + \cdots + R_n) \cdot I \Rightarrow \boxed{R_{GES} = R_1 + R_2 + \cdots + R_n}$$

Spannungsteiler



- Der gleiche Strom *I* fließt durch beide Widerstände

$$I_{GES} = \frac{U_{GES}}{R_1 + R_2} \quad \Leftrightarrow \quad U_x = R_2 \cdot I_{GES} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot U_{GES}$$

Netzberechnung

- Knotenregel
- Maschenregel

Knotenregel

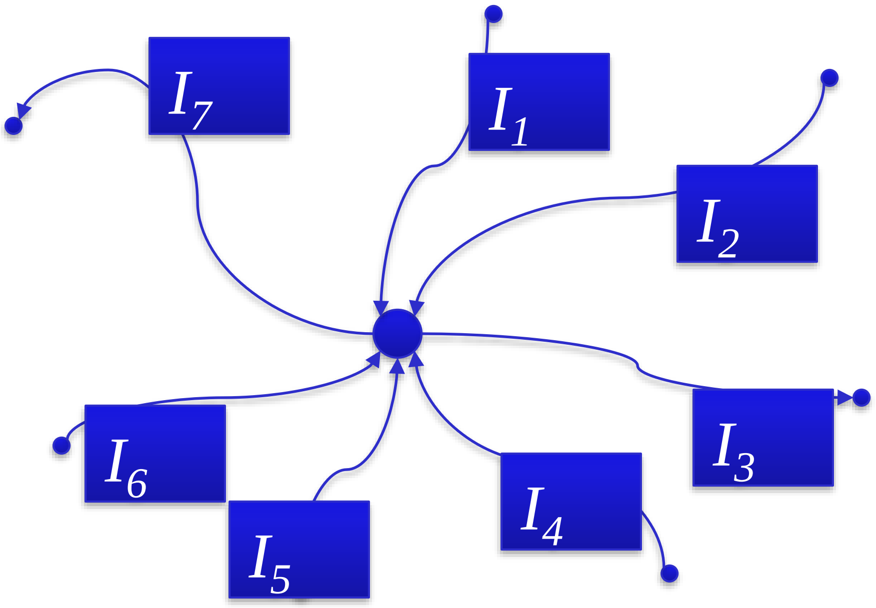
Die Summe aller Ströme in einem Knoten ist 0

– d.h. es verschwinden und entstehen keine Ströme

Konvention

Strom rein: +

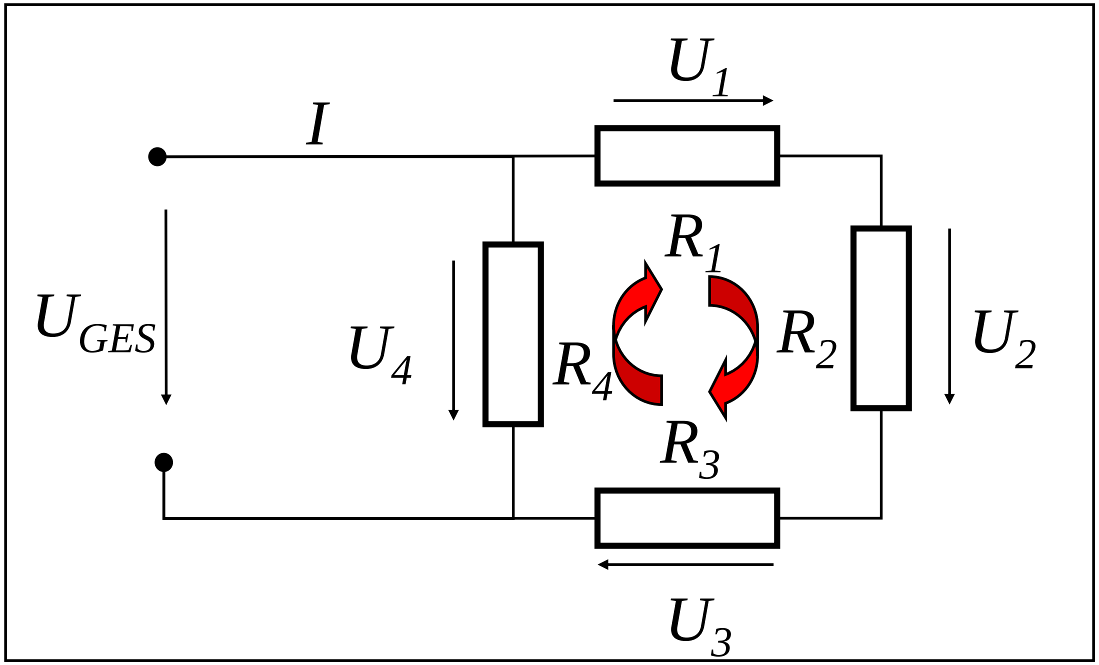
Strom raus: -



$$\boxed{I_1 + I_2 - I_3 + I_4 + I_5 + I_6 - I_7 = 0}$$

Maschenregel

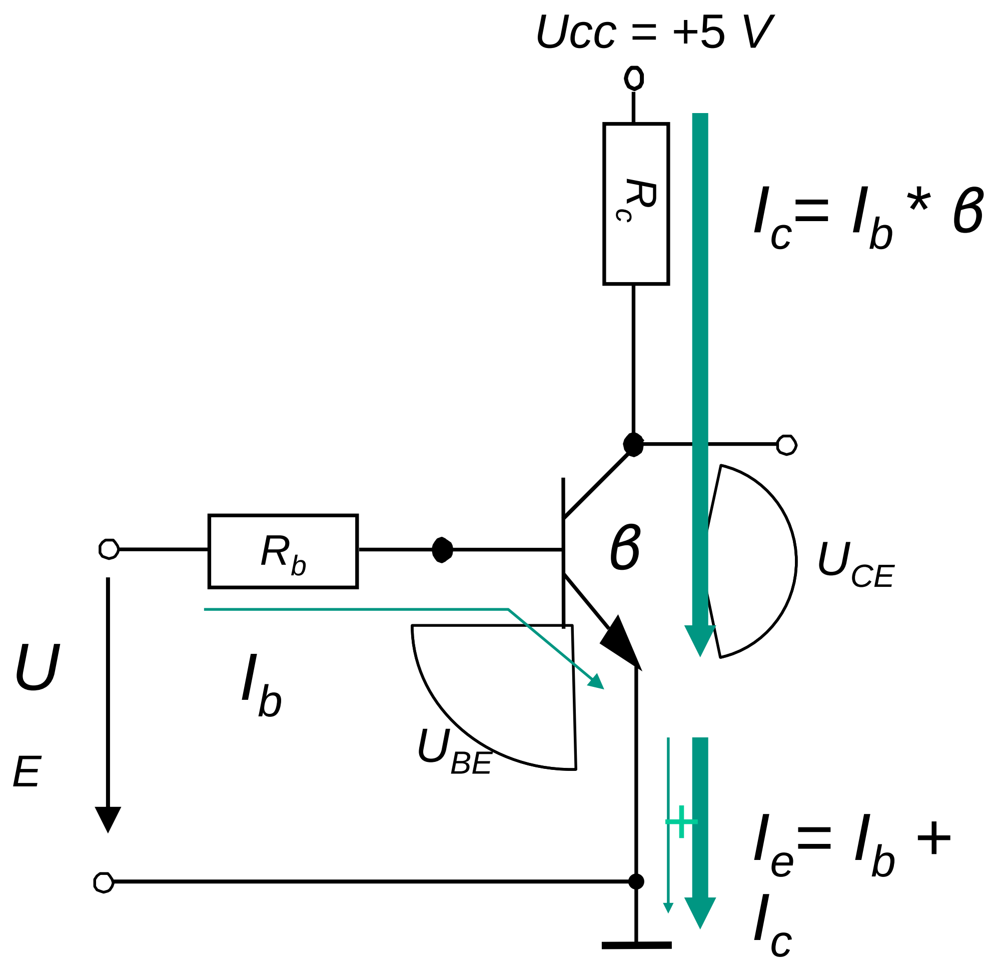
Die Summe aller Spannungen in einer Masche ist 0



$$\boxed{U_1 + U_2 + U_3 - U_4 = 0}$$

Transistor

Transistor als Verstärker



Linearer Bereich:

$I_e = I_b + I_c$

$I_c = I_b * \beta$

β = 100 (Verstärkungsfaktor)

Sättigungsbereich:

Annahme:

$U_{be\ Sat} = 0{,}6\ V$

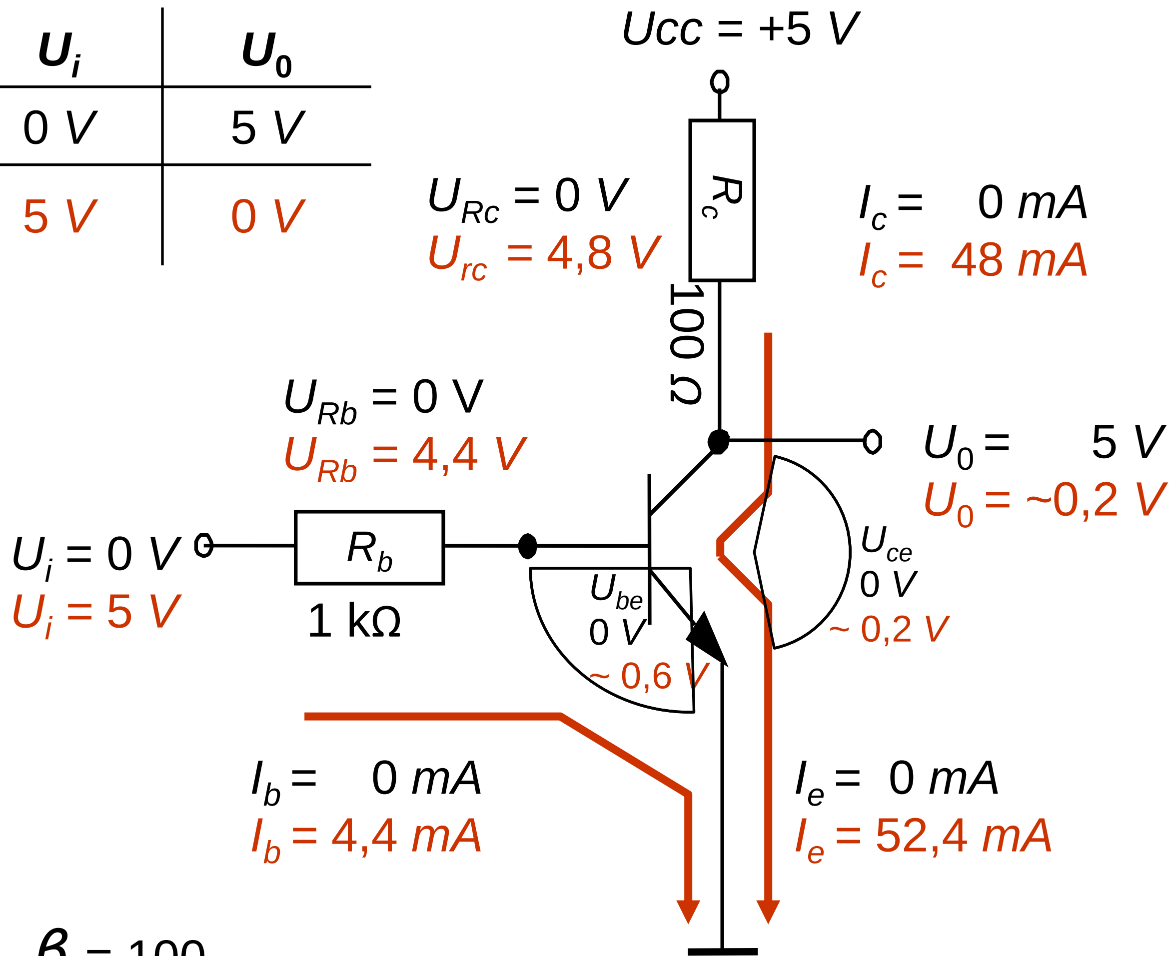
$U_{ce\ Sat} = 0{,}2\ V$

$I_b = (U_E – 0{,}6\ V) / R_b$ $\quad \Delta I_c = \Delta I_b * \beta$ $\quad \Delta U_{CE} = -R_c/R_b * \beta * \Delta U_E$

Transistor als Schalter

Karlsruher Institut für Technologie

U_i	U_0
0 V	5 V
5 V	0 V



$\beta = 100$

$I_e = I_b + I_c$

$I_c = I_b * \beta$

$\beta = 100$
(Verstärkungsfaktor)

Der Transistor befindet sich in der Sättigung wenn:

$I_c < I_b * \beta$

$48\ mA < 440\ mA$

Annahme:
$U_{be\ Sat} = 0{,}6\ V$
$U_{ce\ Sat} = 0{,}2\ V$

Es gilt:

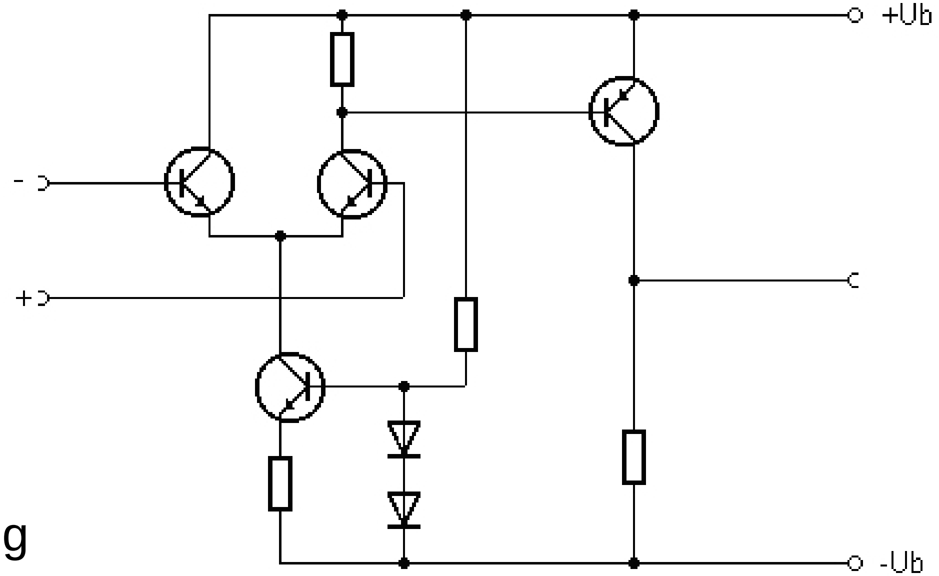
$I_c = (U_{cc} - U_{ce\ Sat}) / R_c$

$I_c = (5 - 0.2) / 100$

$I_c = 48\ mA$

Operationsverstärker

Verstärker erlauben es allein durch ihre Beschaltung, verschiedene mathematische Funktionen zu modellieren



Prinzipschaltung

Operationsverstärker

U_D : Eingang

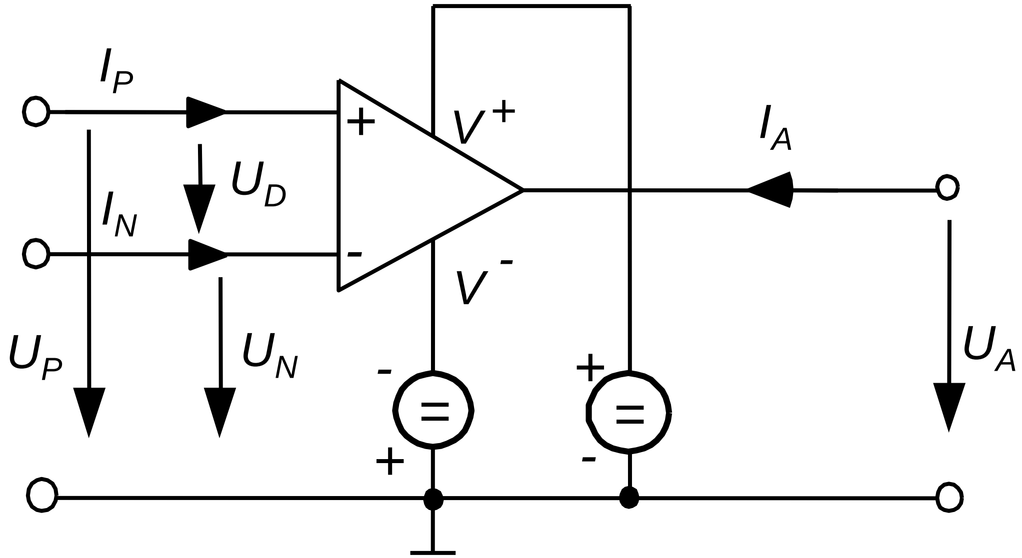
U_A : Ausgang

y_D : Verstärkung

$U_A = y_D * U_D$

$U_D = U_P - U_N$

$y_D = 10^4 - 10^7$



Wenn U_N 0-Pot. (U_P nicht-invertierender Eingang): $U_A = y_D * U_P$

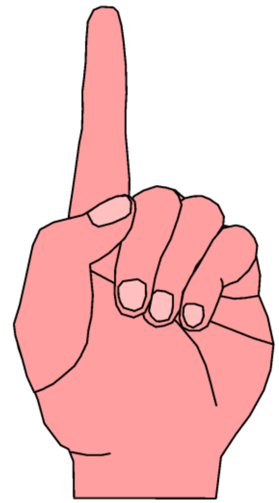
Wenn U_P 0-Pot. (U_N invertierender Eingang): $U_A = - y_D * U_N$

Idealer OP: $y_D = \infty$, $U_D = 0$, $R_E = \infty$: $I_P = I_N = 0$, $R_A = 0$

kein Drift, Frequenzunabhängigkeit

Der ideale Operationsverstärker

Annahmen



- Verstärkung ist unendlich: $y = \propto$
- Der Eingangswiderstand ist unendlich
- Der Ausgangswiderstand ist null

Vereinfachungen des idealen OPs

Karlsruher Institut für Technologie

Wichtige Infos:

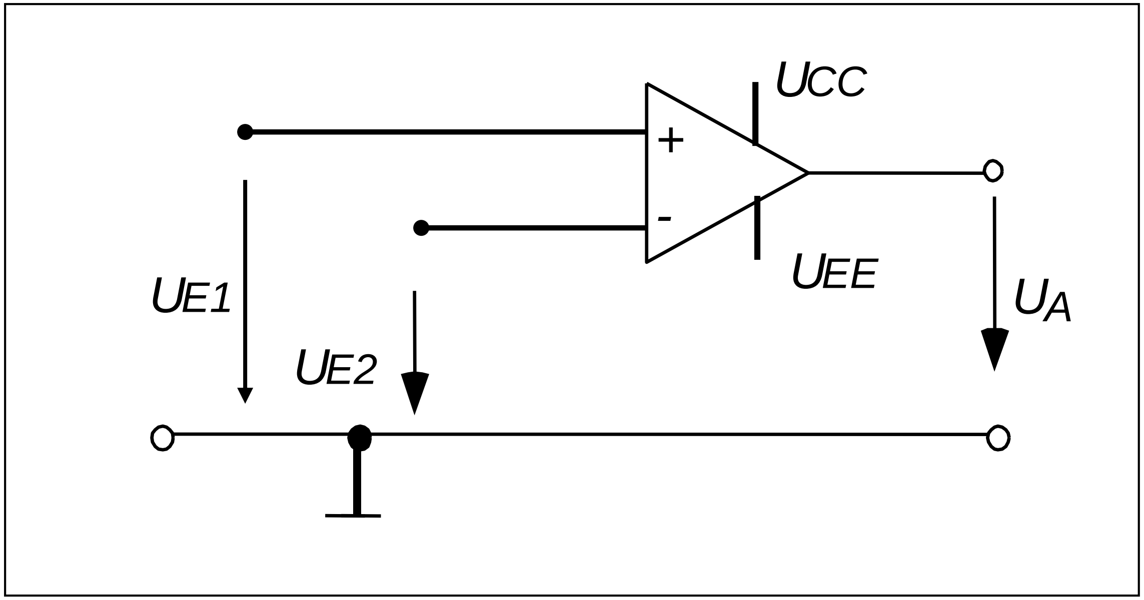
- $I_N = I_P = 0$ da Eingangswiderstand unendlich
- $U_A = y * U_D$, keine Ausgangsverluste, da der Ausgangswiderstand null
- $U_D = 0$, Verstärkung ist linear, U_A begrenzt, y (Verstärkung) ist unendlich, darum $U_D = U_A / y$ (unendlich) $= 0$ (Grundlage der virtuellen Erde bzw. virtueller Kurzschluss)

Weniger wichtige Infos (für eine erste Abschätzung bei der Berechnung):

- Gleichtaktverstärkung = 0, der ideale OP ist nur abhängig von U_D.
- Bandbreite und slew rate ist unendlich, Frequenzunabhängigkeit.
- Drift = 0, keine Änderung der Eigenschaften über der Zeit, Temperatur, Feuchtigkeit, Stromversorgung, ...

OP als Vergleicher

Karlsruher Institut für Technologie



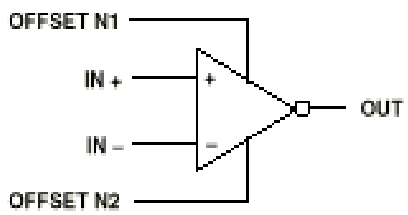
$$U_{E1} > U_{E2} \longrightarrow U_A = U_{CC}, \text{normalerweise} > 0 = \text{Umax}$$

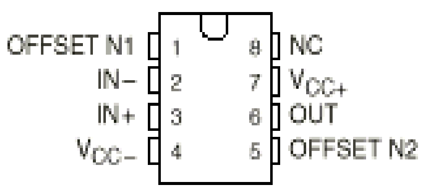
$$U_{E1} < U_{E2} \longrightarrow U_A = U_{EE}, \text{normalierweise} < 0 = -\text{Umax}$$

Bauformen eines OPs

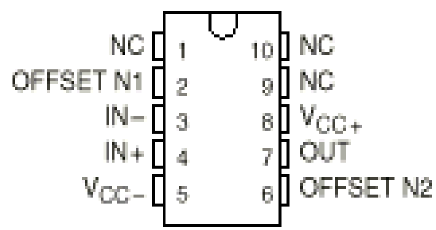
Der µA741 von Texas Instruments

Symbol

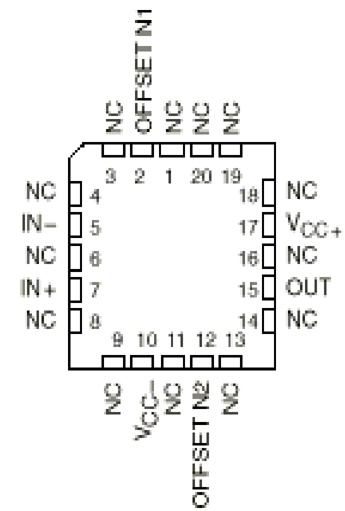




JG - Package

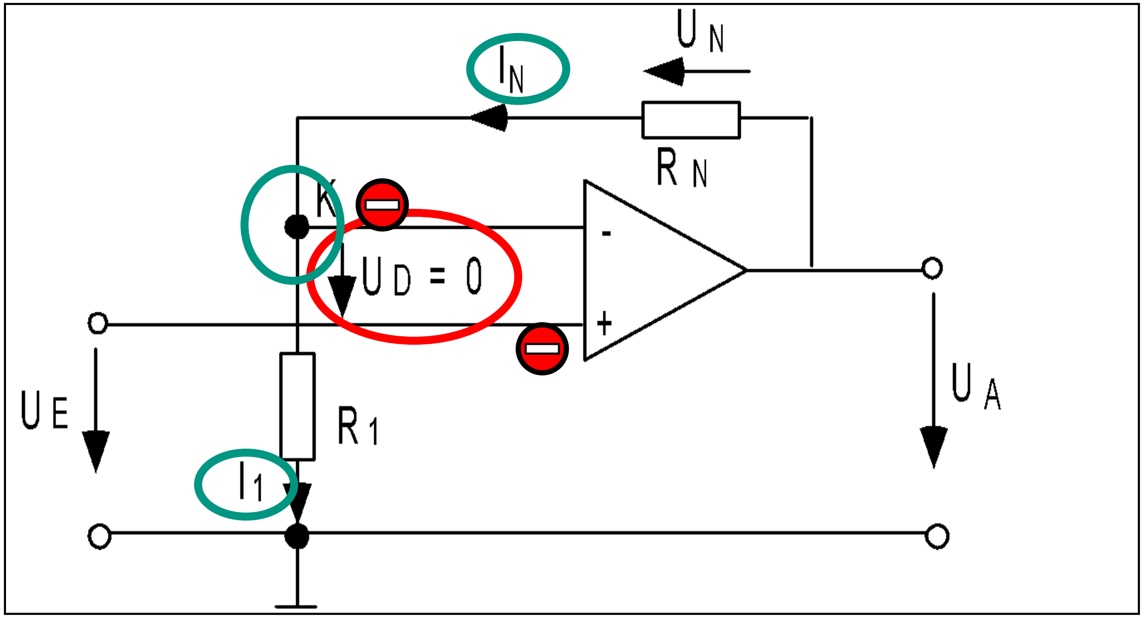


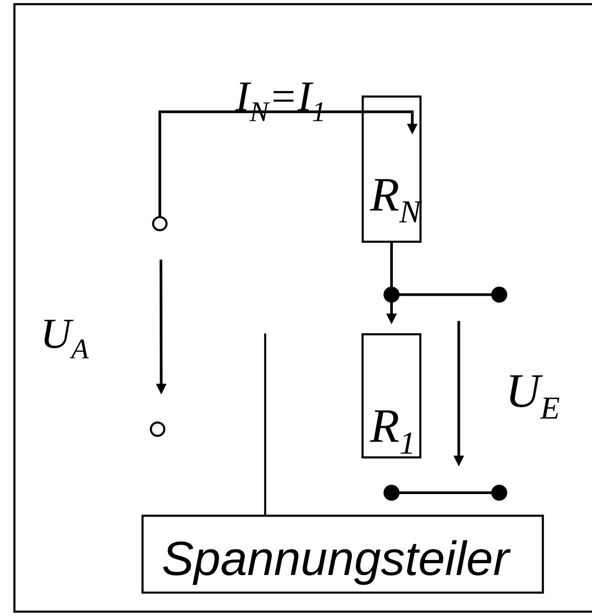
J - Package



FK - Package

Nicht-invertierender OP





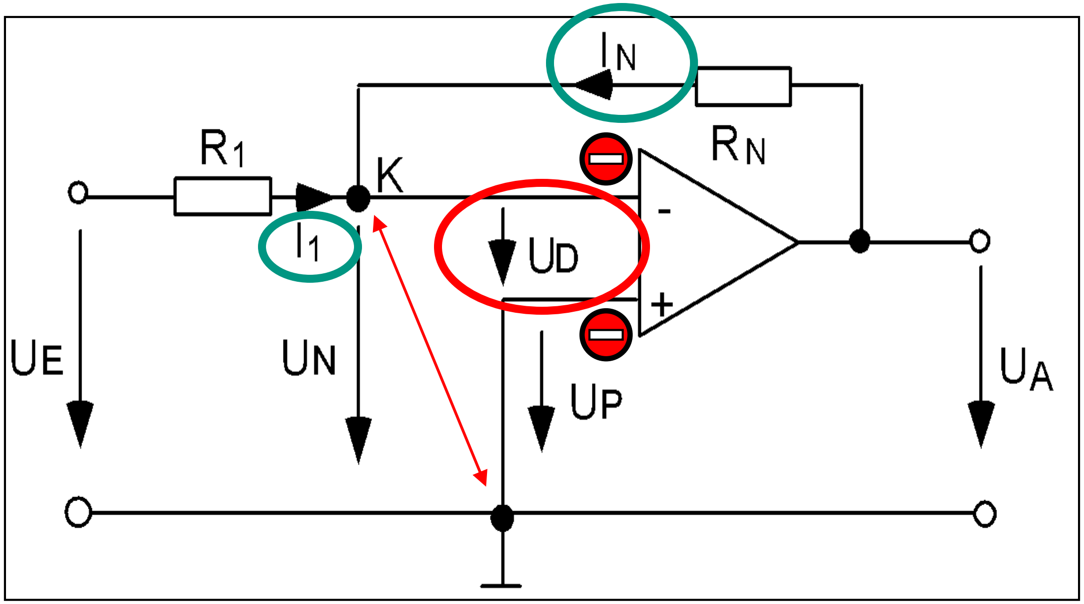
Annahme: $U_D = 0$ (virtueller Kurz.), *$I_N - I_1 = 0$ --> $I_N = I_1$ (Eingwid. ∝)*

$$U_E = R_1 \cdot I_1 \text{ da } U_D = 0$$

$$U_A = \left(\frac{R_1 + R_N}{R_1}\right) \cdot U_E$$

$$\boxed{\frac{U_A}{U_E} = \left(\frac{R_1 + R_N}{R_1}\right) = y}$$

Invertierender Operationsverstärker

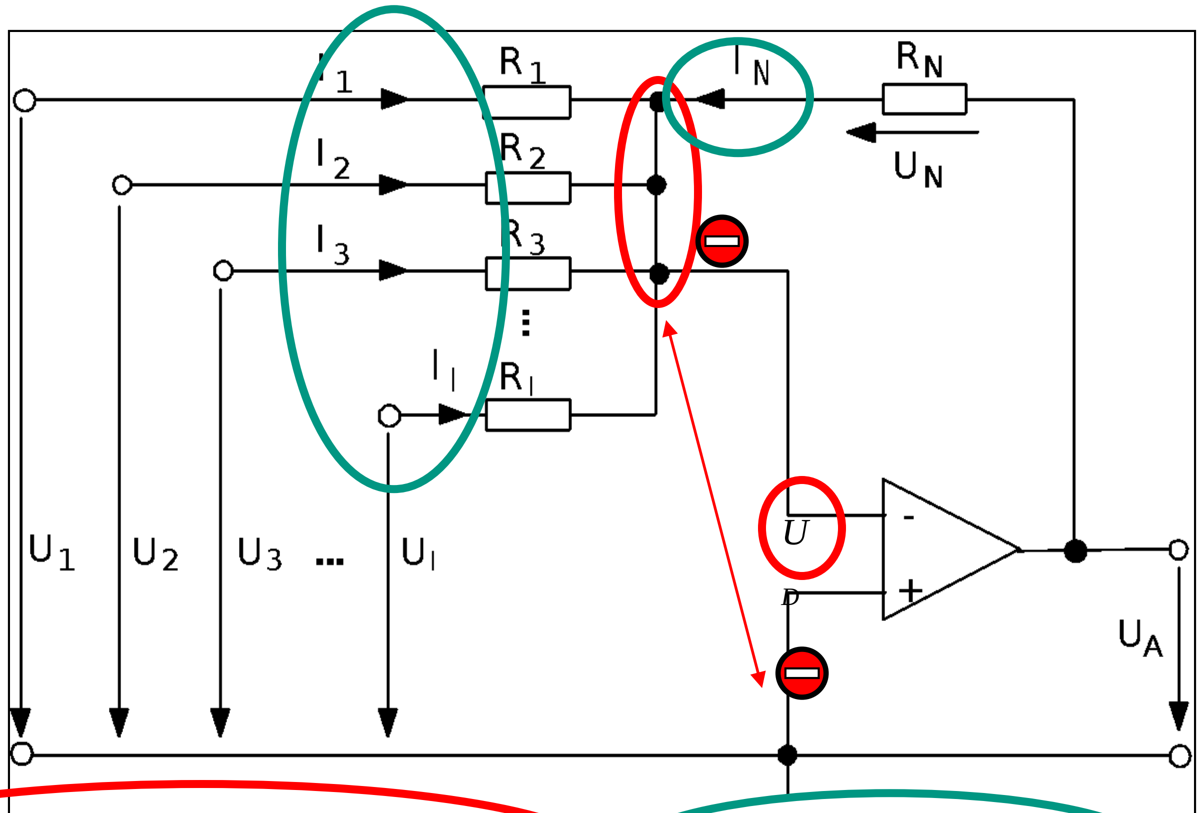


Annahme: $U_D = 0$ *(virtuelle Erde),* $I_1 + I_N = 0$ --> $I_1 = -I_N$

$$\left.\begin{aligned} U_E &= R_1 \cdot I_1 \\ U_A &= R_N \cdot I_N \end{aligned}\right\} \quad \boxed{\frac{U_A}{U_E} = -\frac{R_N}{R_1} = y}$$

Intelligente Prozess-automation und Robotik

Invertierender Addierer

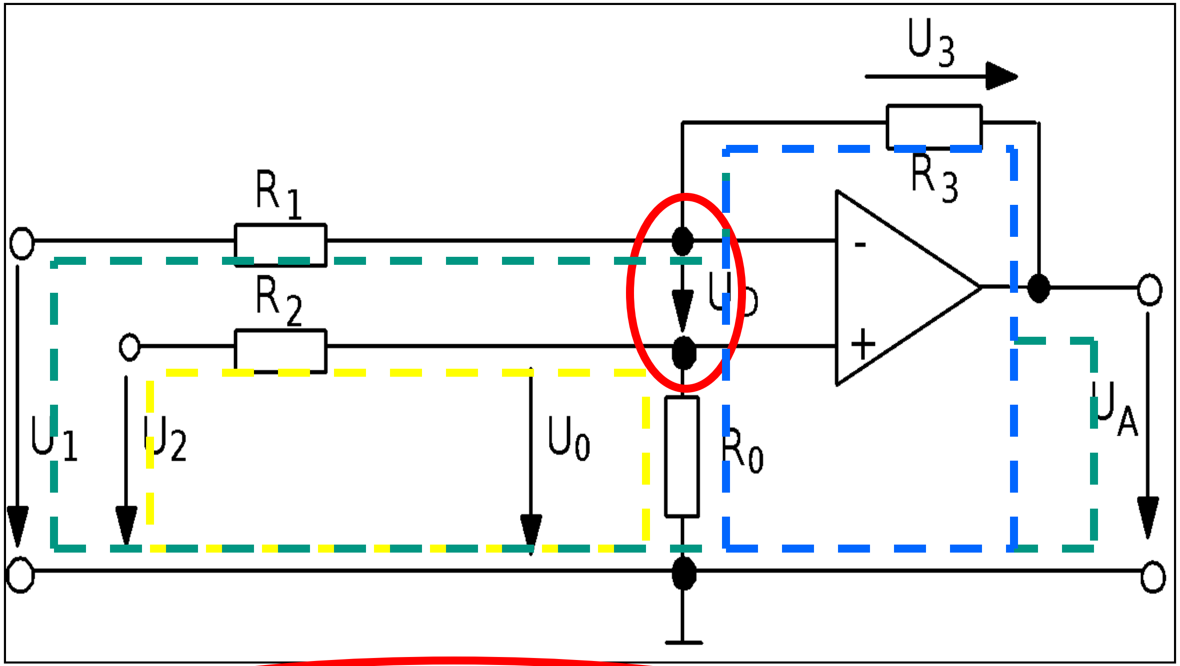


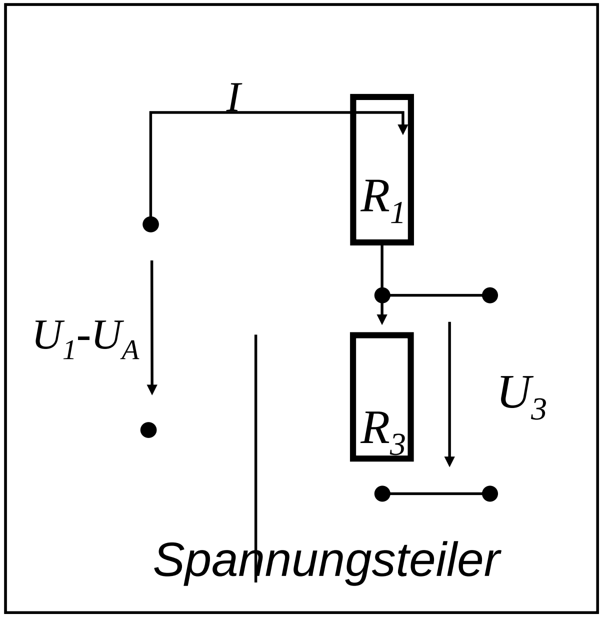
Annahme: $U_D = 0$ (virtuelle Erde),

$I_1 + I_2 + \ldots + I_i + I_N = 0$

$$\frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2} + \dots + \frac{U_i}{R_i} + \frac{U_A}{R_N} = 0 \quad \Leftrightarrow \quad \boxed{U_A = -\left(\frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2} + \dots + \frac{U_i}{R_i}\right) \cdot R_N}$$

Subtrahierer





Annahme: $U_D = 0$ (virtueller Kurzschl.)

$U_0 = (R_0 / (R_0 + R_2))^* U_2$

$U_3 = R_3 / (R_1 + R_3) * (U_1 - U_A)$

mit $U_D = 0 = (U_3 + U_A) - U_0$ *und Gl. für* U_3:

$U_0 = R_3 / (R_1 + R_3) * (U_1 - U_A) + U_A$

mit beiden Gl. für U_0:

$$U_A = \frac{R_0(R_1 + R_3)}{R_1(R_0 + R_2)} U_2 - \frac{R_3}{R_1} U_1$$

Normiere $R_1 = R_3 / a$ *und* $R_2 = R_0 / a$:

$$\boxed{U_A = a \cdot (U_2 - U_1)}$$

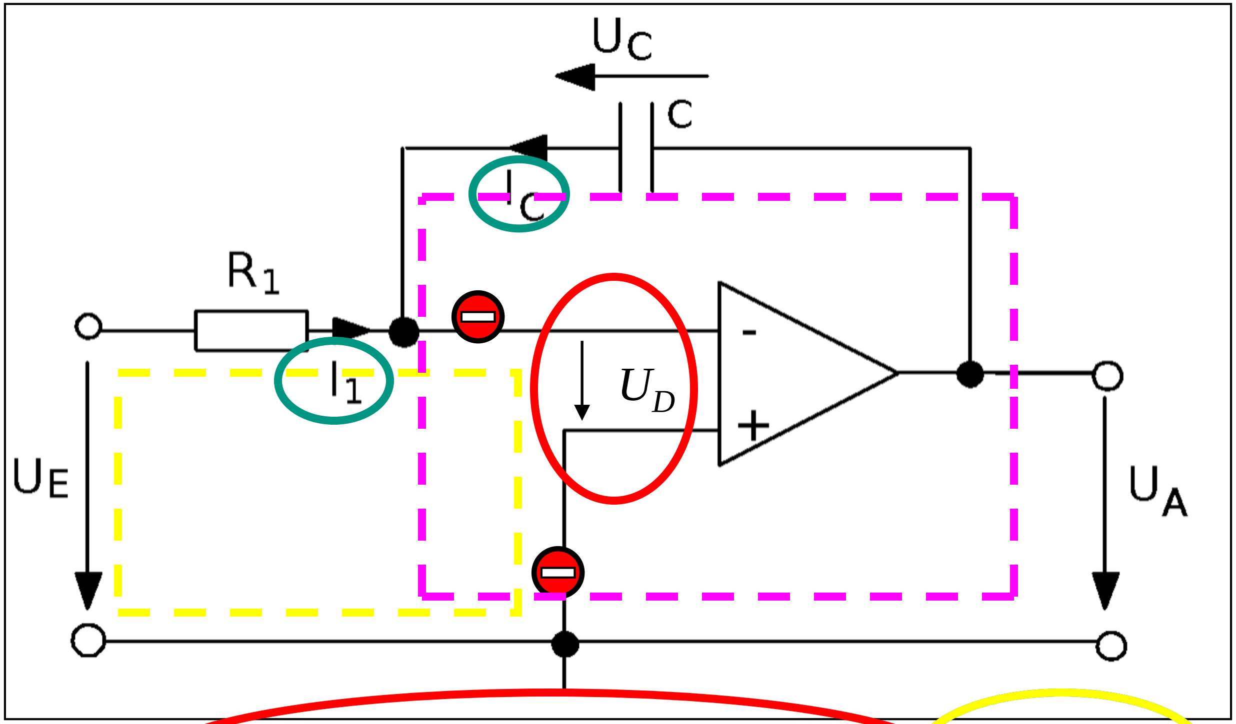
Integrierer

U_A-U_D-U_C=0

$U_A = U_C$

U_{R1}+U_D-U_E=0

$U_E = U_{R1}$



Annahme: U_D = 0 (virtuelle Erde), I_1 + I_C = 0

$$U_E = R_1 I_1$$

$$U_C = \frac{Q}{C} = \frac{1}{C} \cdot \int I_C dt$$

$$U_A = U_C$$

$$\boxed{U_A = -\frac{1}{C}\int \frac{U_E}{R_1} dt = -\frac{1}{R_1 C}\int U_E dt}$$

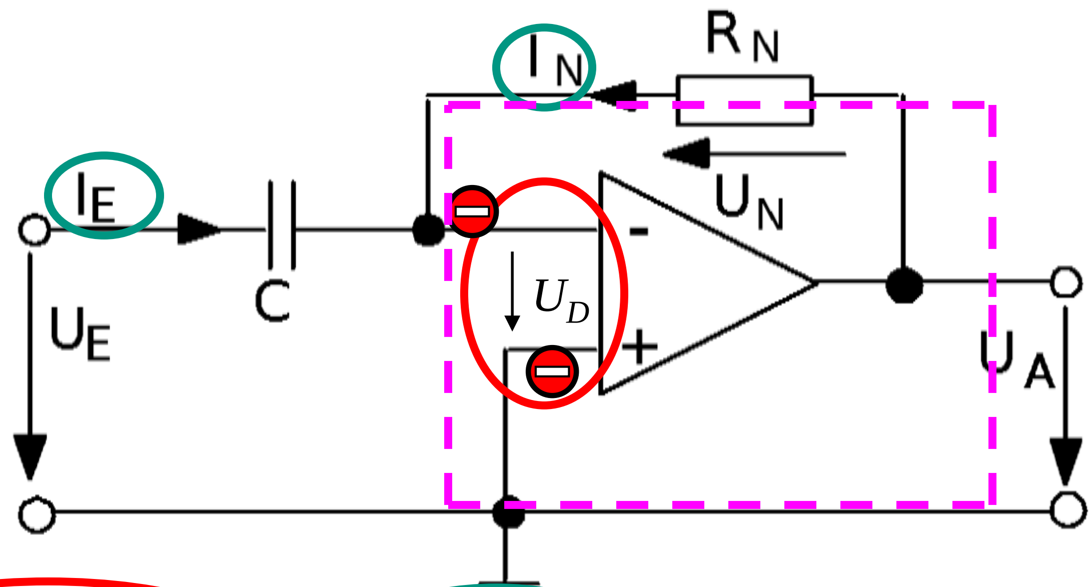
Differenzierer

$U_A - U_D - U_N = 0$

$U_A = U_N$

$C = Q/U$

$Q = C * U$



Annahme: $U_D = 0$,

$I_E + I_N = 0$

$$U_A = U_N, U_A = R_N \cdot I_N = -R_N \cdot I_E$$

$$I_E = \frac{dQ_C}{dt} = C \cdot \frac{dU_E}{dt}$$

$$\boxed{U_A = -R_N \cdot I_E = -R_N \cdot C \cdot \frac{dU_E}{dt} = -\tau \cdot \frac{dU_E}{dt}}$$