

Handout zum Operationsverstärker

Was ist ein OPV ?

- aktiv-analoge Bauelement
- integrierte Schaltungseinbettung
- Differenzverstärker
- Spannung-und Leistungsverstärkung
- breites Anwendungsspektrum

Funktionsgerüst

- mehrstufiger Gleichspannungsverstärker
- Eingangsstufendifferenzverstärker
- Leerlaufverstärkungstufe
- Leistungsendstufe
- Eintakt-bzw. Gegentakstufe

Betriebszustände

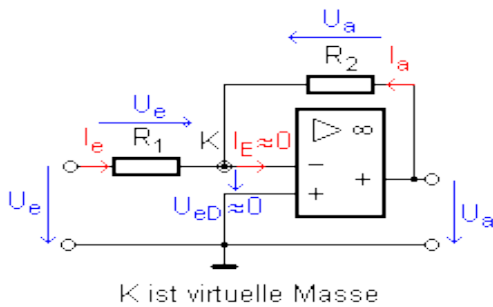
- Spannungsverstärker
- Stromverstärker
- Spannungs-Strom-Verstärker
- Strom-Spannungswandler
- Mitkopplung/Gegenkopplung
- Invertierender/nicht invertierender Betrieb

Anwendungsschaltungen

- invertierender Verstärker
- nicht invertierender Verstärker
- Addierer
- Subtrahierer
- Differenzierer
- Integrierer

Darstellung der wichtigsten Anwendungsschaltungen

Invertierender OPV:



$I_e = I_a = I_E$ mit $I_E \approx 0$ folgt

$$I_e = -I_a \quad (1)$$

die Spannungen verursachen die Ströme

$$I_e = \frac{U_e}{R_1} \quad \text{und} \quad I_a = \frac{U_a}{R_2}$$

eingesetzt in (1)

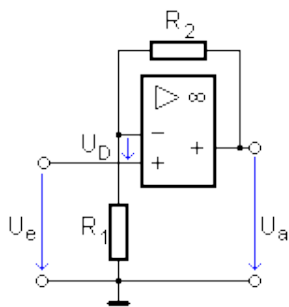
$$\frac{U_e}{R_1} = -\frac{U_a}{R_2}$$

umgestellt zur Verstärkungsgleichung

$$V_U = \frac{U_a}{U_e} = -\frac{R_2}{R_1}$$

$$V_U = -\frac{R_2}{R_1}$$

Nicht-invertierender OPV:



Nicht-invertierender OP

$$U_{E-} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot U_a \quad \text{mit} \quad U_D = U_{E+} - U_{E-} \approx 0 \quad \text{folgt}$$

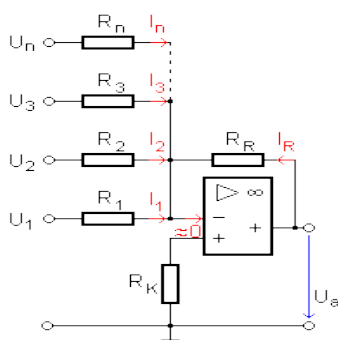
$$U_e = U_{E-} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot U_a \quad \text{umgestellt nach } U_a$$

$$U_a = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot U_e \quad \text{mit} \quad V_U = \frac{U_a}{U_e}$$

folgt für die Spannungsverstärkung

$$V_U = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

Addierer:



Stromsumme im Summationspunkt der virtuellen Masse

$$I_1 + I_2 + I_3 = -I_R$$

nach dem Ohmschen Gesetz folgt

$$\frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2} + \frac{U_3}{R_3} = -\frac{U_a}{R_R}$$

umgestellt nach der Ausgangsspannung

$$-U_a = U_1 \cdot \left(\frac{R_R}{R_1}\right) + U_2 \cdot \left(\frac{R_R}{R_2}\right) + U_3 \cdot \left(\frac{R_R}{R_3}\right)$$

für identische Widerstände $R_R = R_1 = R_2 = R_3$

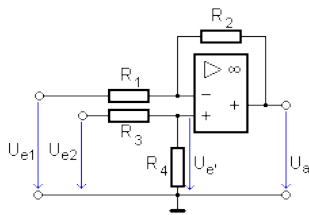
und beliebig vielen Eingängen gilt allgemein

$$-U_a = U_1 + U_2 + U_3 + \dots + U_n$$

Kompensationswiderstand

$$R_K = R_1 \parallel R_2 \parallel R_3 \parallel \dots \parallel R_n \parallel R_R$$

Subtrahierer :



Subtrahierverstärker

für die am E+ Eingang wirksame Spannung gilt

$$U_{e'} = \frac{R_4}{R_3 + R_4} \cdot U_{e2}$$

liegt der Eingang für U_{e1} an Masse folgt für die Ausgangsspannung

$$U_{aP} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot U_{e'} \Rightarrow U_{aP} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot \left(\frac{R_4}{R_3 + R_4}\right) \cdot U_{e2}$$

liegt der Eingang für U_{e2} an Masse folgt für die Ausgangsspannung

$$U_{aN} = -\frac{R_2}{R_1} \cdot U_{e1}$$

Die Ausgangsspannung für beliebige Eingangsspannungen ist die Summe $U_a = U_{aP} + U_{aN}$

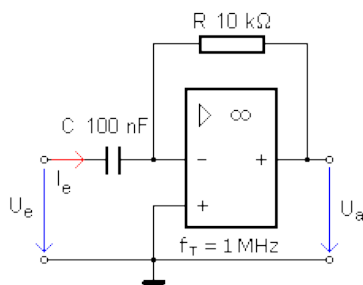
$$U_a = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot \left(\frac{R_4}{R_3 + R_4}\right) \cdot U_{e2} - \frac{R_2}{R_1} \cdot U_{e1} \quad \text{mit } R_2 = R_4 \text{ und } R_1 = R_3 \text{ folgt}$$

$$U_a = \frac{R_2}{R_1} \cdot (U_{e2} - U_{e1})$$

wenn alle Widerstände gleich sind

$$U_a = U_{e2} - U_{e1}$$

Differenzierer :

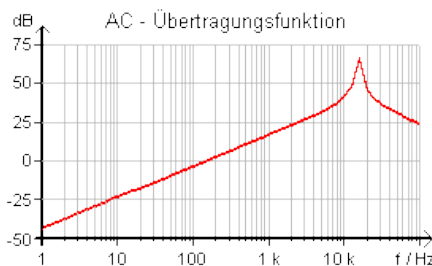


$$I_e = -\frac{U_a}{R}$$

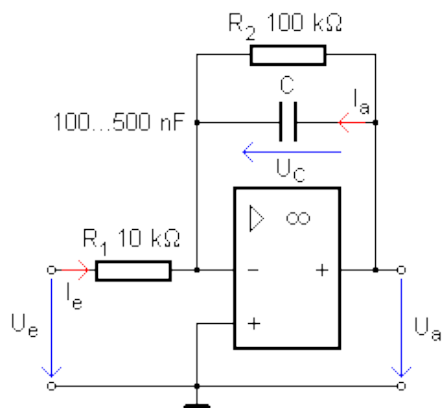
$$Q = I \cdot t = C \cdot U$$

$$I_e = C \cdot \frac{dU_e}{dt}$$

$$U_a = -R \cdot C \cdot \frac{dU_e}{dt}$$



Integrierer :



$$U_c = U_a = \frac{Q}{C} = \frac{I_a \cdot t}{C}$$

$$I_a = -I_e = -\frac{U_e}{R_1}$$

$$U_a = -\frac{U_e}{R_1 \cdot C} \cdot t$$

$$u_a(t) = -\frac{1}{R_1 \cdot C} \int_0^t u_e(T) \cdot dT$$