

5. Operationsverstärker

5.1 Aufbau, Kennwerte

- früher: aufgabenspezifische individuelle Verstärker
- integrierter "durch Beschaltung programmierbarer" universeller GS-gekoppelter GS- und WS-Verstärker
- Eingangs-, Ausgangsruhepotenzial = 0
- auf Basis integrierter Transistorschaltungen
- mögliche Betrachtung: black box mit idealisierten Eigenschaften

Eigenschaften

- sehr hohe Leerlaufverstärkung
- Programmierung = Einstellung durch Gegenkopplung
- Name aus Analogrechentechnik, eigentlich überholt
- OV, OPV, OA (Operational Amplifier), μA (micro amplifier)

Idealisierungen

Merkmal	Idealisierung	real
Eingangswiderstand	unendlich	0,1 ... 10 MOhm
Ausgangswiderstand	0	4 ... 600 Ohm
Verstärkung	unendlich	$10^4 \dots 10^5$
Offsetspannung	0	mV
Offsetstrom	0	mA

slew rate dy/dt

V_B

3 dB-Bandbreite

Schaltung symmetrisch

daher symm. Versorgungsspannungen, $\pm 10 \dots 15$ V, meist nicht mit gezeichnet

Besonderheit: Differenzeingang, dh. Differenz zw. $E+$ und $E-$ wird verstärkt, $u_D = u_P - u_N$

u_P : Spannung am nicht invertierenden Eingang gegen Masse (Bezugspotenzial)

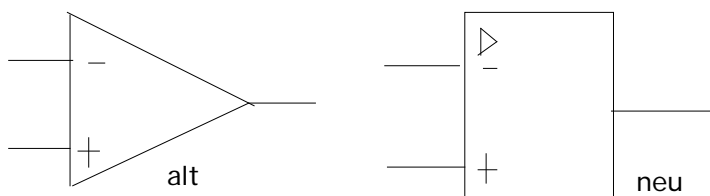
u_N : Spannung am invertierenden Eingang gegen Masse (Bezugspotenzial)

u_D : Spannung zwischen invertierendem und nicht invertierendem Eingang ohne Massebezug!

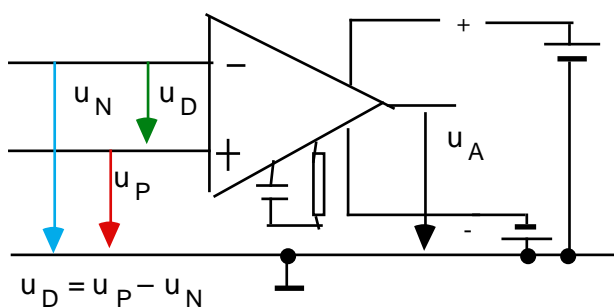
$E+$: nicht invertierender Eingang bzgl. Ausgang

$E-$: invertierender Eingang bzgl. Ausgang

5.2 Schaltbilder



Schaltbild alt und neu



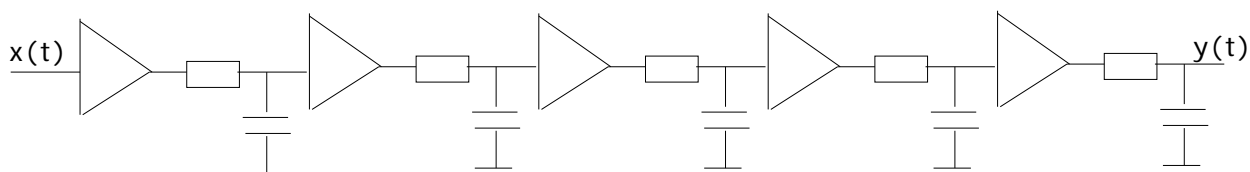
Beschaltung OV

Typen:

- Standard
- schnell
- Präzision
- Leistung
- hoher Eingangswiderstand (FET)

5.3 Eigenschaften

Frequenzgang

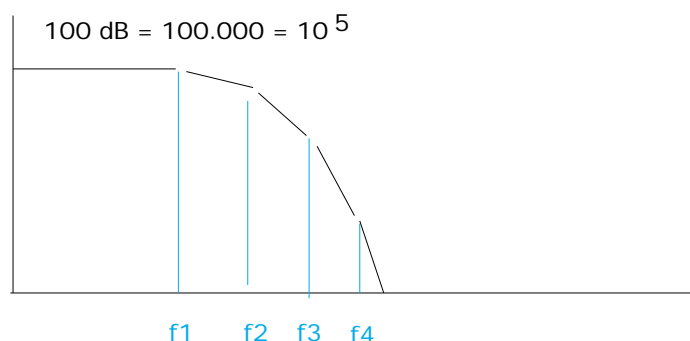


$$V_0 = \prod_{i=1}^n V_i \quad V_i = \frac{1}{1 + T}$$

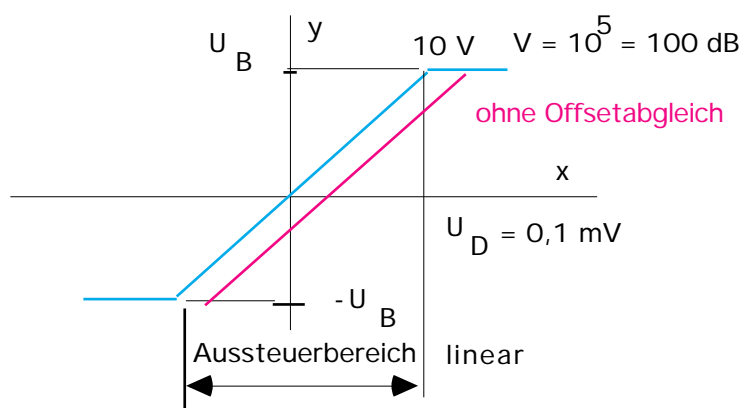
$$\vec{V} = \frac{V_0}{(1 + j\frac{1}{\omega T_1})(1 + j\frac{1}{\omega T_2})(1 + j\frac{1}{\omega T_3})} \quad \text{z.B. 5 TP hintereinander}$$

$$V_0 = 10^3 \dots 10^7$$

$$f_1 = 1 \text{ MHz}, f_2 = 5 \text{ MHz}, f_3 = 10 \text{ MHz}$$

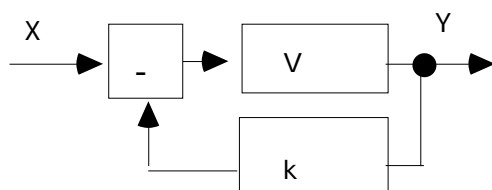


Aussteuerbereich:

Bsp.: $V = 100 \text{ dB}$ 

5.4 Verstärker-Grundsaltungen

5.4.1 Gegenkopplung



$$Y = V (X - kY) = VX - VkY$$

$$VX = Y(1 + kV)$$

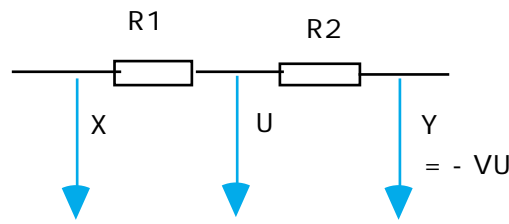
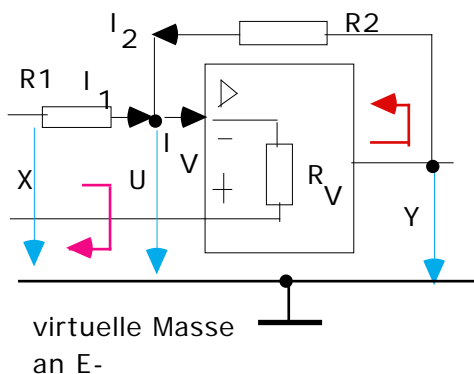
$$\frac{Y}{X} = \frac{V}{1 + kV} \quad \text{für } kV \gg 1 \quad \frac{Y}{X} = \frac{1}{k}$$

Eigenschaft des Systems wesentlich durch Gegenkopplung bestimmt:

- R-Netzwerk

- RLC: Filter
- Diode, Trans. für nichtlineare Operationen

5.4.2 Invertierender Verstärker



MR:

V (Verstärkung) und R_V (Eingangswiderstand)

$$Y = -VU \quad (1)$$

$$I_1 R_1 + U - X = 0 \quad (2)$$

$$I_2 R_2 + U - Y = 0 \quad (3)$$

KR:

$$I_1 + I_2 - I_V = 0 \quad (4)$$

da R_V folgt für Strom:

$$I_1 + I_2 = 0 \quad (5)$$

$$I_1 = \frac{X - U}{R_1} \quad \text{aus (2)}$$

$$I_2 = \frac{Y - U}{R_2} \quad \text{aus (3)}$$

Summe Ströme = 0

$$\frac{Y - U}{R_2} + \frac{X - U}{R_1} = 0 \quad \text{aus (5)}$$

aufösen nach X

$$\frac{R_1}{R_2} (Y - U) - U = -X$$

wegen V sehr gross wird aus (1) $U = -Y/V \Rightarrow 0$ und:

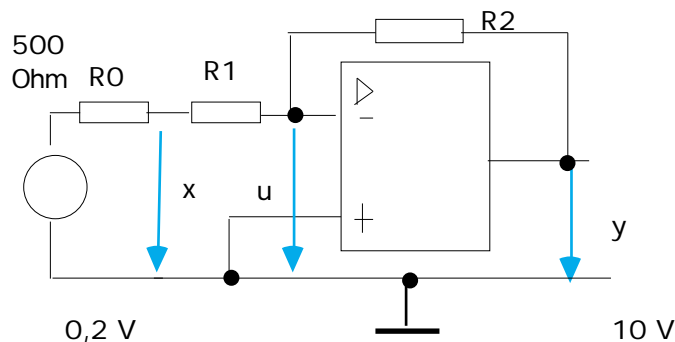
$$\boxed{\frac{Y}{X} = -\frac{R_2}{R_1}}$$

- Verhältnis unabhängig von V_0 , solange $V_0 \gg R_2/R_1$
- Spannungen gegenphasig

Bsp.:

geg.: R_0, X, Y

ges.: R_1, R_2



R_2 und R_1 bestimmen für GS-Verstärkung

R_2 wählen frei, nicht zu gross wegen Kapazität, Instabilitäten etc., z.B. 100 KOhm

$$V = -\frac{R_2}{R_1 + R_0} \quad R_1 = \frac{R_2 - VR_0}{V} = \frac{(100 - 50 \cdot 0,5) \text{ K}}{50} = 1,5 \text{ K}$$

Variante Herleitung

$$U = x \frac{R_1}{R_1 + R_2} \quad x \text{ anlegen, dann } u, \text{ da } y = 0$$

Diese Spannung u wird verstärkt und y würde auf hohe negative Werte steigen

$$Y = -V U$$

Ausgang wirkt über R_2 jedoch auf Eingang zurück, wird u wieder verkleinert (Gegenkopplung)
Gleichgewicht an E-:

$$U = x \frac{R_2}{R_2 + R_1(1 + V)}$$

da $V \gg 1$:

$$U = x \frac{R_2}{R_2 + R_1 V}$$

Gleichgewicht:

$$U = x \frac{R_2}{R_2 + R_1 V} = -\frac{Y}{V}$$

$$-\frac{x}{Y} = \frac{R_2 + R_1 V}{R_2 V} = \frac{1}{V} + \frac{R_1}{R_2}$$

wenn $V \gg \frac{R_2}{R_1}$:

$$Y = -\frac{R_2}{R_1} x \quad \text{bzw.} \quad \frac{Y}{x} = -\frac{R_2}{R_1}$$

Gleichgewicht an E-:

$$U = -\frac{Y}{V} \quad 0 \quad \text{d.h. virtuelle Masse}$$

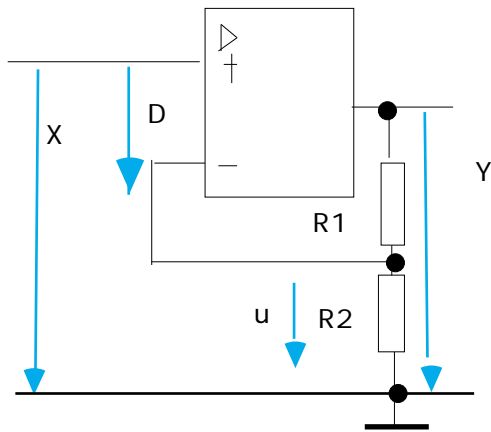
Frage:

Mit- oder Gegenkopplung?

Gegenkopplung - Ausgangsgröße wirkt Eingangsgröße entgegen

$R_e = R_1$, also sehr klein.

5.4.3 Invertierender Verstärker



$$X = U = Y \frac{R_1}{R_1 + R_2} \quad \frac{Y}{X} = \frac{R_1 + R_2}{R_1}$$

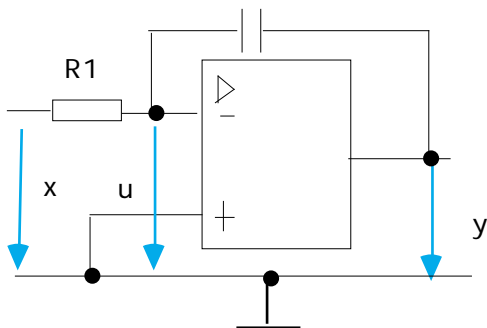
$$\boxed{\frac{Y}{X} = 1 + \frac{R_2}{R_1}}$$

Spannungen in Phase, kleinere Verstärkung als 1 nicht möglich, Eingangswiderstand ...

5.5 Anwendungen

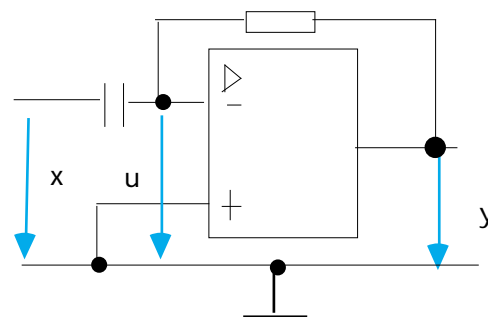
vielfältig, insbes. Frequenz- bzw. Zeitabhängigkeit durch Nutzung von Blindwiderständen

Bsp.: vereinfachte Prinzip-Schaltungen, praktisch aber modifiziert verwendet:

Integrierer

$$\begin{aligned} I_1 + I_2 &= 0 \\ \frac{X}{R} + C\dot{Y} &= 0 \\ y &= -\frac{1}{RC} \int x dt \end{aligned}$$

d.h. y(t) ist (-) Integral von x(t) proportional

Differenzierer

$$\begin{aligned} I_1 + I_2 &= 0 \\ C\dot{X} + \frac{Y}{R} &= 0 \\ y &= -RC\dot{x} \end{aligned}$$

d.h. y(t) ist (-) Differential von x(t) proportional

- Komparator, Nullpunktindikator
- inv. Verstärker, nicht invert. Verstärker
- NF-Verstärker
- Impedanzwandler
- Konstantspannungsquelle
- Konstantstromquelle
- Addierer, Subtrahierer
- Integrierer, Differenzierer
- Schwellwertschalter
- P-Regler, I-Regler, D-Regler
- Oszillator

(in Arbeit)