

## Ideale Operationsverstärker

Goldene Regeln für gegengekoppelte Verstärker:

1.  $I_{in} = 0$  "In die Eingänge fließt kein Strom", "Der Eingangswiderstand ist Unendlich"
2.  $U_{NIV} = U_{IV} = 0V$

## Reale Operationsverstärker

Bias- und Offsetströme

Offsetspannungen

Kompensationsschaltungen

## Analoge Rechenschaltungen

Impedanzwandler:

Addierer:

-invertierend

-nicht invertierend

Subtrahierer:

Integrierer:

$U_{out}(t) = -\frac{1}{RC} \int U_{in}(t)$  Differenzierer:

Strom-Spannungs-Wandler:

Logarithmierer: (Schreibt man das so ?)

Exponenzierer:

## Filter 1. Ordnung

Definitionen:

Ausgangsspannung des TP :=  $U_A$

Eingangsspannung des TP :=  $U_E$

Impedanz des Widerstands :=  $Z_R$

Impedanz des Kondensators :=  $Z_C$

Kapazität des Kondensators :=  $C$

Widerstand des Widerstands :=  $R$

Grenzfrequenz des Filters :=  $f_c$

Übertragungsfunktion Tiefpass:

Herleitung:

Allgemeiner Zusammenhang Spannungsteiler:

Einsetzen der Bauteilgleichungen:

Bruch mit  $s \cdot C$  erweitern:

Einsetzen des Zusammenhangs  $\frac{1}{RC} = 2\pi f_c$ :

Einsetzen des Zusammenhangs  $s = j2\pi f$ :

Kürzen:

Übertragungsfunktion Hochpass:

Herleitung:

Allgemeiner Zusammenhang Spannungsteiler:

Einsetzen der Bauteilgleichungen:

Bruch mit  $\frac{s \cdot C}{s \cdot C}$  erweitern:

Einsetzen des Zusammenhangs  $\frac{1}{RC} = 2\pi f_c$  und Kürzen:

$$\begin{aligned} \frac{U_A}{U_E} &= \frac{Z_C}{Z_R + Z_C} \\ \frac{U_A}{U_E} &= \frac{\frac{1}{s \cdot C}}{R + \frac{1}{s \cdot C}} \\ \frac{U_A}{U_E} &= \frac{1}{s \cdot RC + 1} \\ \frac{U_A}{U_E} &= \frac{1}{1 + \frac{s}{2\pi f_c}} \\ \frac{U_A}{U_E} &= \frac{1}{1 + \frac{j2\pi f}{2\pi f_c}} \\ \frac{U_A}{U_E} &= \frac{1}{1 + \frac{jf}{f_c}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{U_A}{U_E} &= \frac{Z_R}{Z_R + Z_C} \\ \frac{U_A}{U_E} &= \frac{R}{R + \frac{1}{s \cdot C}} \\ \frac{U_A}{U_E} &= \frac{s \cdot RC}{s \cdot RC + 1} \\ \frac{U_A}{U_E} &= \frac{1}{1 + \frac{1}{j f_c R C}} \end{aligned}$$

## Filter höherer Ordnung

Übertragungsfunktion TP allg:  $G(s) = \frac{A_0}{1 + \frac{2D}{\omega_0} s + \frac{1}{\omega_0^2} s^2} = \frac{A_0}{1 + a_1 s_n + b_1 s_n^2}$ ,  $s_n = \frac{s}{\omega_c}$  (TODO Überprüfung ob  $\omega_0$  oder  $\omega_c$  in

1. Formel)

Dämpfung:  $D = \frac{1}{2Q}$

Dämpfung aus Overshoot:  $D = \sqrt{\frac{\ln^2(os)}{\ln^2(os)^2 + \pi^2}}$

Gleichspannungsverstärkung:  $A_0 = -\frac{R_2}{R_1}$

Grenzkreisfrequenz:  $\omega_c = \sqrt{b_1} \cdot \omega_0$

## Sallen Key Filter

Übertragungsfunktion TP:  $\frac{U_a}{U_e} = \frac{\alpha}{1 + s((1-\alpha)R_1 C_2 + s^2 R_1 R_2 C_1 C_2)}$ ,  $\alpha = A_0$

## Multiple Feedback Filter

Übertragungsfunktion TP:  $\frac{U_a}{U_e} = \frac{\frac{R_2}{R_1}}{1 + s C_1 \cdot (\frac{R_3 R_2}{R_1} + R_2 + R_3) + s^2 C_1 C_2 R_2 R_3}$

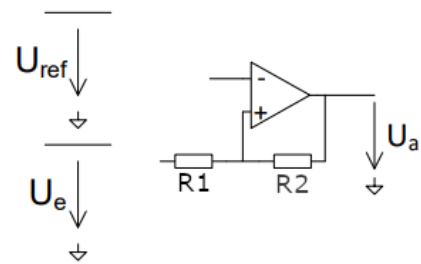
Eigenkreisfrequenz:  $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{C_1 C_2 R_2 R_3}}$

Q-Faktor:  $Q = \frac{1}{\omega_0 \left( \frac{R_2 R_3}{R_1} + R_2 + R_3 \right)}$

Amplitudengang:  $|A_0(\omega)| = \frac{\frac{R_2}{R_1}}{\sqrt{\left(1 - \frac{\omega}{\omega_0}\right)^2 + \left(2D \frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}}$

## Schaltungen mit Mitkopplung

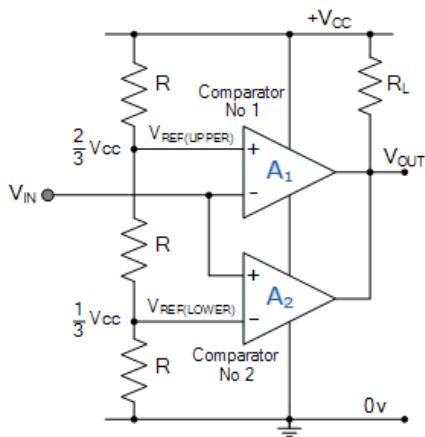
### nichtinvertierender Komparator



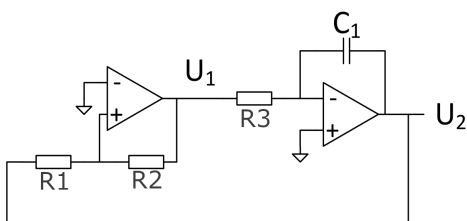
$$U_{ref} \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) - \frac{R_1}{R_2} * U_{out}$$

### invertierender Komparator

### Fensterkomparator



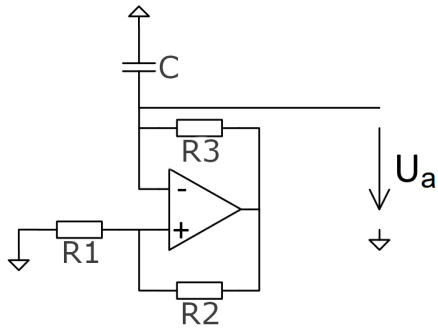
## Rechteck - Dreiecksgenerator



Periodendauer:  $U_{out}(t) = -\frac{1}{R_3 C} \cdot \int U_{in}(t) dt \Rightarrow \frac{T}{2} = -\frac{(U_{Ein} - U_{Aus}) \cdot R_3 C}{U_{in}}$

Schaltsschwellen:  $U_{ref} \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) - \frac{R_1}{R_2} * U_{out}$

## vereinfachter Dreiecksgenerator



Halbe Periodendauer:  $t_1 = R_3 \cdot C \cdot \ln\left(1 + 2\frac{R_1}{R_2}\right)$

Schaltsschwellen ( $U_{ref} = 0$ ):  $U_{1/2} = \pm \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot U_{A,max}$

## PWM Generator