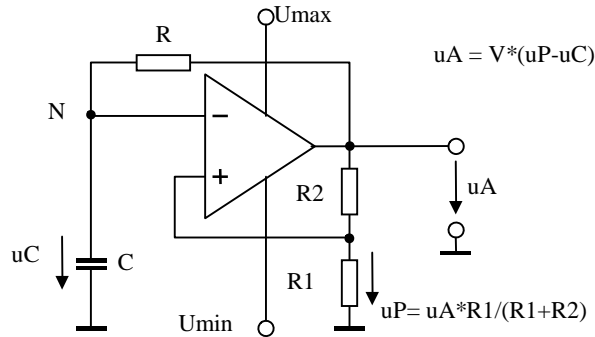


Beispiele für Elektronik-Schaltungen auf dieser homepage

Herleitung der Gleichungen

Schmitt-Trigger-Oszillator



Mathematik:

Knotensatz für Punkt N: Strom „durch“ den Kondensator = Strom durch R. Nach Definition ist die Ladung Q auf dem Kondensator = Kapazitätswert C mal Spannung uC am Kondensator, also $Q = C * uC$. Der Strom „durch“ den Kondensator ist folglich $i = dQ/dt = C * duC/dt$. Der Strom durch R ist $(uA - uC)/R$. Folglich die **DGL für uC**

$$duC/dt = (uA - uC) / (R * C).$$

Der Spannungsteiler am Ausgang liefert $uP = uA * R1 / (R1 + R2)$

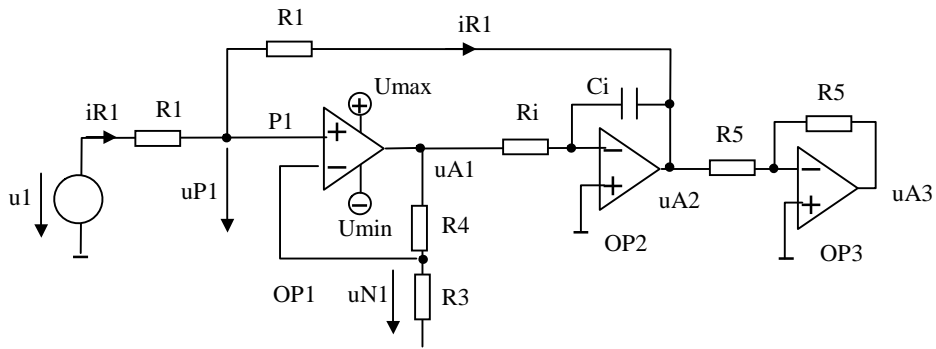
Die Wirkung des OP wird hier vereinfacht behandelt:

$$uA = V * (uP - uN)$$

mit dem sehr großen Verstärkungsfaktor V. **Allerdings ist uA begrenzt auf Umax bzw Umin**

Anstiegsbegrenzer

Benutzt zur Erzeugung von Sollwertfunktionen mit begrenzter Anstiegsgeschwindigkeit
(Schaltung steht im Buch Halbleiter-Schaltungstechnik von Tietze –Schenk)



Mathematik:

OP1 ist ein **nicht-invertierender Verstärker**. Meist wird der Verstärkungsfaktor $V = 1 + R4/R3$ so hoch eingestellt, dass $uA1$ in Begrenzung geht.

Berechnung von $uP1$:

Knotensatz für Knoten P1: $(u1 - uP1)/R1 = (uP1 - uA2)/R1$ oder nach Kürzen von $R1$

$$u1 - uP1 = uP1 - uA2, \text{ daraus } \mathbf{uP1 = (u1 + uA2)/2}$$

Berechnung von $uA1$:

Der Verstärkungsfaktor von OP1 ist $V = 1 + R4/R3$, also ist $\mathbf{uA1 = V * uP1}$.

Aber $\mathbf{uA1}$ ist begrenzt auf $= U_{max}$ bzw. U_{min} .

OP2: OP2 ist ein **Integrierer**. Annahme, dass OP2 als idealer OP arbeitet, d.h. sein Eingangsstrom ist $=0$ und $uN = uP$, hier also $uN = 0$.

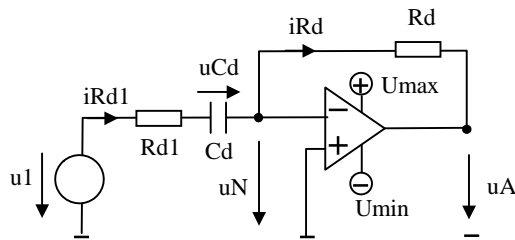
Dann gilt für den Strom durch Ri und durch Ci

$$uA1/Ri = -Ci * duA2/dt. \text{ Also DGL } \mathbf{duA2/dt = -uA1 / (Ri * Ci)}$$

OP3: Er ist ein **invertierender Verstärker** mit dem Verstärkungsfaktor $-R5/R5$, also $\mathbf{uA3 = -uA2}$

Differenzierer mit „realem“ Operationsverstärker

Vgl. homepage http://www.home.hs-karlsruhe.de/~kero0001/RealOPdiffer/Real_OP_Differenzierer2.pdf



Zum Verständnis der Wirkung des Differenzierers genügt es **nicht**, anzunehmen, dass der OP als **idealer OP** arbeitet, nämlich so, dass die beiden Eingänge die gleiche Spannung haben

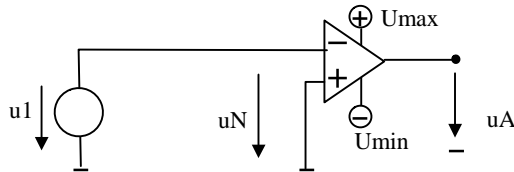
Wie arbeitet ein „realer OP“ ? Er verstärkt **nicht** etwa die Eingangsspannungsdifferenz um einen riesigen Faktor.

In Wirklichkeit ist ein Operationsverstärker ein Integrierer. Die Ausgangsspannung u_A ist das Integral über die Differenz $u_P - u_N$, gemäß der Formel

$$u_A = w_T * \text{Integral} (u_P - u_N) * dt$$

oder als DGL: **$du_A/dt = (u_P - u_N) * w_T$** .

Dabei ist w_T (w_T gelesen als **omegaTee**) eine **Konstante**, die man **leicht experimentell bestimmen kann**. Man nehme den „nackten“ OP gemäß folgender Schaltung.



u_1 = periodische Rechteckspannung kleiner Amplitude. $u_N = u_1$.

Wäre die oft benutzte Behauptung richtig, dass $u_A = V * (u_P - u_N)$ ist, dann müsste bei u_1 = Rechteckspannung auch der Ausgang u_A eine Rechteckspannung sein. In Wirklichkeit ist der Verlauf von u_A wie folgt:

Ist u_1 positiv, dann fällt u_A mit konstanter Steigung abwärts und geht in die negative Begrenzung. Ist u_1 negativ, dann steigt u_A mit konstanter Steigung aufwärts und geht in die positive Begrenzung,

Dabei ist die **Steigung proportional der Amplitude von u_1** .

Die Steigung du_A/dt ist also proportional u_1 , oder als Formel **$du_A/dt = -w_T * u_1$**

Aus diesem einfachen Experiment kann man die Konstante w_T berechnen:

Für **OP 741** ergibt sich **$w_T = 5e6$** , also $5 * 10^6$, Einheit 1/sec

Für **OP TL081** ergibt sich **$w_T = 20e6$** , also $20 * 10^6$, Einheit 1/sec

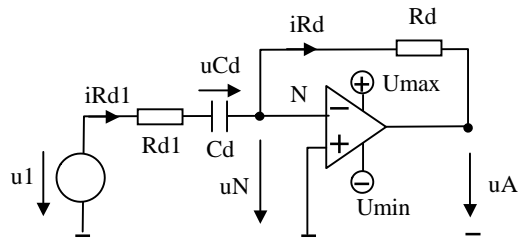
Eine weitere Beobachtung der Realität:

Die so berechnete **Steigung du_A/dt ist begrenzt**. Es ergibt sich also **eine maximale Steigung**. Die maximale positive Steigung sei mit **v_{ma}** bezeichnet (maximale Geschwindigkeit (**slewrates**)), die maximale negative Steigung mit **v_{mi}** .

Zahlenwerte:

Für **OP 741** ergibt sich **$v_{ma} = 0.7e6$** , **$v_{mi} = -v_{ma}$** , Einheit Volt/sec

Für **OP TL081** ergibt sich **$v_{ma} = 8.7e6$** , **$v_{mi} = -10e6$** , Einheit Volt/sec



Mathematik der Differenzierers mit realem OP:

Knotensatz für den Eingang N :

$(u_1 - u_{Cd} - u_N) / R_{d1} = (u_N - u_A) / R_d$. Multipliziert mit dem Produkt $R_{d1} * R_d$ ergibt
 $(u_1 - u_{Cd} - u_N) * R_d = (u_N - u_A) * R_{d1}$. Ausmultipliziert und u_N auf die linke Seite:
 $(R_d + R_{d1}) * u_N = (u_1 - u_{Cd}) * R_d + u_A * R_{d1}$ oder schließlich u_N

$$u_N = ((u_1 - u_{Cd}) * R_d + u_A * R_{d1}) / (R_d + R_{d1})$$

Strom durch C_d = Strom durch R_d :

$C_d * du_{Cd}/dt = (u_N - u_A) / R_d$, also die DGL für die Spannung u_{Cd}

$$du_{Cd}/dt = (u_N - u_A) / (C_d * R_d)$$

Schließlich die DGL für den Ausgang u_A

$$du_A/dt = -w_T * u_N$$