



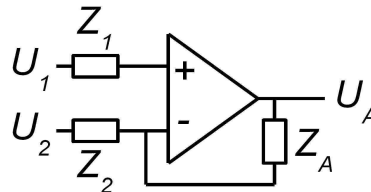
## Wie OP Schaltungen berechnet werden

Der OP ist das Arbeitspferd der Analogelektronik.

Hier lernen Sie einfache Methoden kennen, das Verhalten von OP Schaltungen zu berechnen.

### Schaltungen mit einem idealen OP

Hier sieht man eine typische OP-Schaltung: Der Ausgang  $U_A$  ist über ein Rückkopplungsnetzwerk  $Z_A$  mit dem invertierenden Eingang des OP verbunden. Die beiden Eingangsspannungen  $U_1$  und  $U_2$  sind ebenfalls über Netzwerke  $Z_1$  und  $Z_2$  mit den OP Eingängen verbunden.



*Was wird passieren?*

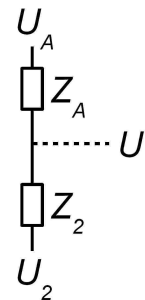
Da die Eingangsströme des idealen OP Null sind, liegt am nicht invertierenden Eingang direkt die Spannung  $U_1$  an:  $U_+ = U_1$ . Die Spannung am Ausgang  $U_A$  ist natürlich  $U_A = V_U \cdot (U_+ - U_-)$ . Und nun die zentrale Erkenntnis: Wenn  $U_A$  endlich groß sein soll, obwohl die Verstärkung  $V_U$  unendlich groß ist, so muss die Spannungsdifferenz  $(U_+ - U_-) = 0$  sein. Bei einem negativ rückgekoppelten idealen OP liegt also an beiden Eingängen das gleiche Potential  $U_+ = U_-$ .

Man kann diese Erkenntnis in dem Ersatzschaltbild rechts zusammenfassen: Da auch in den invertierenden Eingang kein Strom fließt, sind die Ströme durch  $Z_A$  und  $Z_2$  gleich groß. Also gilt

$$\frac{U_A - U_1}{Z_A} = \frac{U_1 - U_2}{Z_2}$$

Aufgelöst nach  $U_A$  ergibt sich das Endergebnis

$$U_A = \frac{Z_2 + Z_A}{Z_2} \cdot U_1 - \frac{Z_A}{Z_2} \cdot U_2$$



Dieses beinhaltet die Spezialfälle des invertierenden Verstärkers ( $U_1 = 0$ ) und des nicht invertierenden Verstärkers ( $U_2 = 0$ )

Die Methode kann wie folgt zusammengefasst werden:

*Man ersetzt die OP Schaltung durch einen unbelasteten Spannungsteiler, bei dem zwischen Ein- und Ausgang das Potential  $U_1 = U_+$  angenommen wird.*

Sie funktioniert bei negativ rückgekoppelten Schaltungen mit idealem OP.

### OP mit endlicher Verstärkung

Hier gilt noch  $U_+ = U_1$  aber nicht mehr  $U_- = U_1$ . Zur Berechnung ersetzt man im Ersatzschaltbild das zunächst unbekannte  $U_1 \rightarrow U_-$ , aber wegen  $U_A = V_U \cdot (U_+ - U_-)$  leicht berechnete  $U_- = U_1 - U_A / V_U$ . Netto ergibt sich:  
*Im Ersatzschaltbild wird einfach  $U_1$  durch  $U_1 - U_A / V_U$  ersetzt.*

### OP mit endlicher Verstärkung und Offsetspannung

Wenn die Offsetspannung diejenige ist, die man anlegen muss, um am Ausgang Null zu bekommen, so gilt  $U_A = V_U \cdot (U_+ - U_- - U_{\text{offset}})$ . Nach  $U_-$  aufgelöst wird mit  $U_+ = U_1$  dann  $U_- = U_1 - U_A / V_U - U_{\text{offset}}$ . Netto ergibt sich:  
*Im Ersatzschaltbild wird  $U_1$  durch  $U_1 - U_A / V_U - U_{\text{offset}}$  ersetzt.*