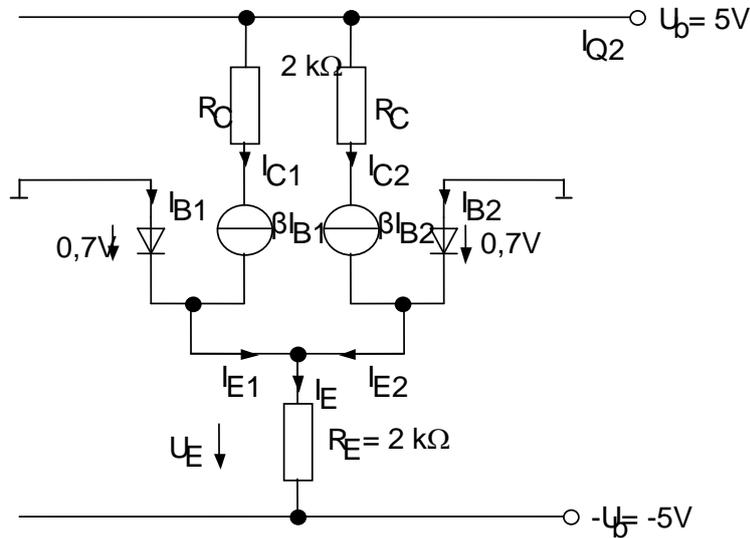


**Lösung Aufgabe 18:**

18.1 Grundschtaltung ist ein Differenzverstärker

18.2 Großsignalersatzschaltbild



18.3 Arbeitspunkte ( $I_C$ ,  $U_{CE}$ )

$$U_{BE1} + U_E + (-U_b) = 0 \Rightarrow U_E = U_b - U_{BE1} = 5V - 0,7V = 4,3V$$

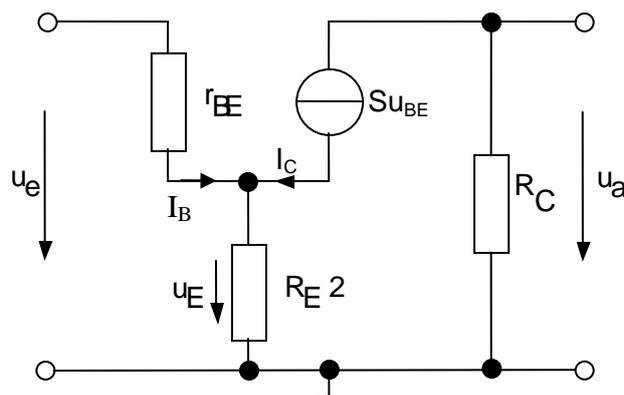
da  $\beta_1 = \beta_2$  ist  $I_{E1} = I_{E2}$  und  $I_E = I_{E1} + I_{E2}$

$$I_E = \frac{U_E}{R_E} = \frac{4,3V}{2k\Omega} = 2,15mA$$

da  $\beta_1 = \beta_2 \gg 1 \Rightarrow I_{C1} = I_{C2} = \frac{I_E}{2} = 1,075mA$

$$U_{CE1} = U_{CE2} = [+U_b + (-U_b)] - U_E - R_C \cdot I_C = 10V - 4,3V - 2,15V = 3,55V$$

18.4 Kleinsignalersatzschaltbild: Da beide Zweige identisch sind reicht die Hälfte (aber mit  $2 R_E$ )



18.5 Gleichtakt-Eingangswiderstand der Schaltung  $r_e$ :  
(Schaltung ist eine Emitterschaltung mit Stromgegenkopplung)

$$r_e = r_{BE} + 2 \cdot \beta \cdot R_E \quad \text{mit} \quad r_{BE} = \frac{\beta}{S} \quad \text{und} \quad S = \frac{I_{C,A}}{U_T} \quad \text{ist} \quad r_{BE} = \frac{\beta \cdot U_T}{I_{C,A}} = 9674 \, \Omega$$

$$r_e = 9,674 \, k\Omega + 2 \cdot 400 \cdot 2 \, k\Omega \cong 1,6 \, M\Omega$$

18.6 Gleichtaktverstärkung

$$A_G = -\frac{u_{a1}}{u_G} = -\frac{u_{a1}}{u_G} = -\frac{R_C}{2 \cdot R_E} = -\frac{2 \, k\Omega}{2 \cdot 2 \, k\Omega} = -0,5$$

18.7 Gegentaktverstärkung

$$A_D = \frac{\Delta u_{a2}}{\Delta u_D} = -\frac{\Delta u_{a1}}{\Delta u_D} = \beta \cdot \frac{R_C \parallel r_{CE}}{2r_{BE}}$$

$$\text{mit } r_{BE} = \frac{\beta}{S} \quad \text{und} \quad r_{CE} \gg R_C \quad \text{wird}$$

$$A_D \approx \frac{1}{2} S \cdot R_C$$

$$S = \frac{I_C}{U_T} = \frac{1,075 \, mA}{26 \, mV} = 41,35 \, mS$$

$$A_D \approx \frac{1}{2} S \cdot R_C = \frac{41,35 \, mS \cdot 2 \, k\Omega}{2} = 41,35$$

Gleichtaktunterdrückung

$$G = \frac{|A_D|}{|A_G|} = \frac{41,35}{0,5} = 82,7$$

**Lösung Aufgabe 19:**

19.1 Eigenschaften idealisierter OP: Eingangswiderstand:  $r_e \rightarrow \infty$   
 Ausgangswiderstand:  $r_a \rightarrow 0$   
 Leerlaufverstärkung:  $A_0 \rightarrow \infty$

19.2 Gesamtverstärkung:

$$|A| = |A_1| \cdot |A_2|$$

$$|A_1| = \frac{R_2}{R_1} = \frac{100\text{k}\Omega}{10\text{k}\Omega} = 10$$

$$|A_2| = \frac{R_4}{R_3} = \frac{1\text{M}\Omega}{10\text{k}\Omega} = 100 \quad \Rightarrow \quad |A| = 1000$$

Grenzfrequenz:

aus Diagramm ist zu erkennen, dass ab einer Frequenz von  $10^4$  Hz die Verstärkung abnimmt (um Faktor 10 bei einer Erhöhung der Frequenz um den gleichen Faktor).

$\Rightarrow$  Bestimmend für  $f_{g1}$  ist der Verstärker mit der größeren Verstärkung

$\Rightarrow$  bei  $|A| = 100$ : aus Diagramm:  $f_{g1} = 10^7$  Hz

19.3 Bedingung:  $|A| = 100$  bei  $f_{g2} = 10^8$  Hz

Prüfung: aus Diagramm:

bei  $f = 10^8$  Hz  $\Rightarrow |A|_{\max} = 10$

da die Gesamtverstärkung  $|A| = |A_1| \cdot |A_2|$  ist, muss  $|A_1| = |A_2| = 10$  sein.  
 Bei  $R_1 = 10$  k $\Omega$  und  $R_2 = 100$  k $\Omega$  ist diese Bedingung erfüllt.

damit werden:  $R_3 = 10$  k $\Omega$   
 $R_4 = 100$  k $\Omega$

**Lösung Aufgabe 20:**

20.1 Die Grundschaltung der Aufgabe ist ein nichtinvertierender Verstärker mit einer Gleichspannung von  $U_z$  am nichtinvertierenden Eingang.

Da am invertierenden Eingang nur die Ausgangsspannung  $= U_{ref}$  über einen Spannungsteiler anliegt, wird sich dort die gleiche Spannung wie am nichtinvertierenden Eingang einstellen, damit die Differenzspannung  $U_D = 0$  wird.

$$\Rightarrow U_e = U_z$$

die Verstärkung des nichtinvertierenden Verstärkers ist:

$$A = \frac{U_a}{U_e} = \frac{U_{ref}}{U_z} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

$$\Rightarrow U_{ref} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) U_z$$

20.2 Der Widerstand  $R_3$  hat die Aufgabe, den Strom durch die Zenerdiode zu begrenzen.

20.3 Mit Formel aus 20.1

$$R_2 = \left(\frac{U_{ref}}{U_z} - 1\right) R_1 = 8,5 \text{ k}\Omega$$

$$20.4 \quad I_z = \frac{U_{ref} - U_z}{R_3} \quad \Rightarrow \quad R_3 = \frac{5V - 2,7V}{1mA} = \frac{2,3V}{1mA} = 2,3k\Omega \text{ max.}$$

$$\Rightarrow \text{E24 - Reihe: } R_3 = 2,2 \text{ k}\Omega$$

**Lösung Aufgabe 21**

- 21.1 Links: invertierender Verstärker  
Rechts: nichtinvertierender Verstärker

$$21.2 \quad \frac{u_{a1}}{u_{e1}} = -\frac{R2}{R1} = -0,5 \qquad \frac{u_{a2}}{u_{e2}} = 1 + \frac{R6}{R5} = 51$$

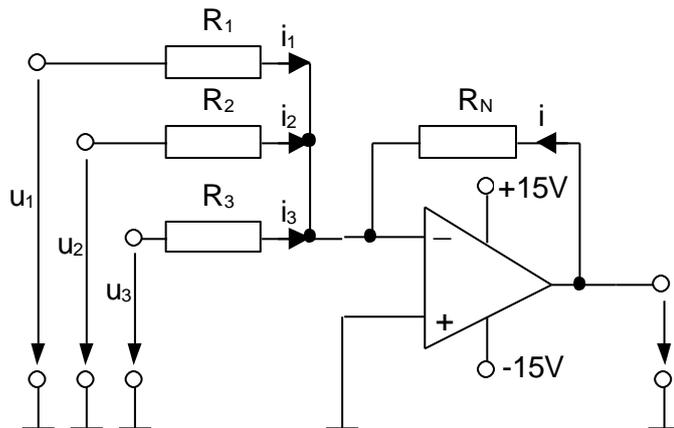
- 21.3 Die Verstärkung des zweiten OPs ist laut Datenblatt bis zur Frequenz  $f_g \sim 500$  kHz gegeben.

- 21.4 Die Verstärkung des ersten OPs beträgt -0,5, die des zweiten beträgt 51. Zusammen ergibt sich  $A1 \cdot A2 = -25,5$ . Damit sich eine Verstärkung von -12,25 einstellt, muss der Spannungsteiler aus R3 und R4 die Ausgangsspannung  $u_{a1}$  etwa halbieren, damit gilt:  $u_{e2} = u_{a1}/2$ . Somit gilt  $R_4 = R_3 = 470$  k $\Omega$ .

- 21.5 Die Verstärkung der Schaltung beträgt -12,25. Es gilt:  $u_{a2} = A_{ges} \cdot u_{e1} = -12,25V$

Bei der Versorgungsspannung von +/-12 V und einer Last von 10 k $\Omega$  kann jedoch laut Datenblatt nur eine Ausgangsspannung von etwa +/- 10,5V anliegen.

$$\text{Somit gilt: } I_{a2} = \frac{|10,5V|}{R_L} = 1,05mA$$

**Lösung Aufgabe 22**

## 22.1 Grundschiung: invertierender Addierer

22.2 Nichtinvertierender Eingang liegt an Masse => Potential am invertierenden Eingang ist ebenfalls 0V.

Op ist ideal =>  $r_e \Rightarrow \infty$  => kein Strom in den Eingang

Knoten am invertierenden Eingang :

$$i_1 + i_2 + i_3 + i = 0 \quad \Rightarrow \quad i = - (i_1 + i_2 + i_3)$$

$$\frac{u_a}{R_n} = - \left( \frac{u_1}{R_1} + \frac{u_2}{R_2} + \frac{u_3}{R_3} \right)$$

$$u_a = - \left( u_1 \frac{R_n}{R_1} + u_2 \frac{R_n}{R_2} + u_3 \frac{R_n}{R_3} \right)$$

$$u_a = - (10 u_1 + 5 u_2 + 2 u_3)$$

Ergebnis: die einzelnen Eingangsspannungen werden im Verhältnis der Widerstände  $R_n$  zu  $R_i$  verstärkt und addiert.

Die Gesamtschaltung wird auch als Umkehraddierer bezeichnet, da alle Eingangsspannungen am invertierenden Eingang des Op anliegen.

22.3 Skizze der Ausgangsspannung

