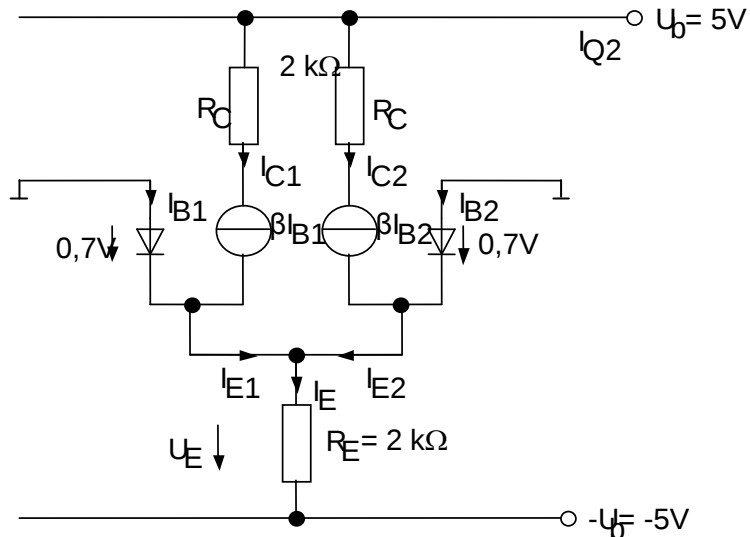


Lösung Aufgabe 18:

18.1 Grundsaltung ist ein Differenzverstärker

18.2 Großsignalersatzschaltbild

18.3 Arbeitspunkte (I_C , U_{CE})

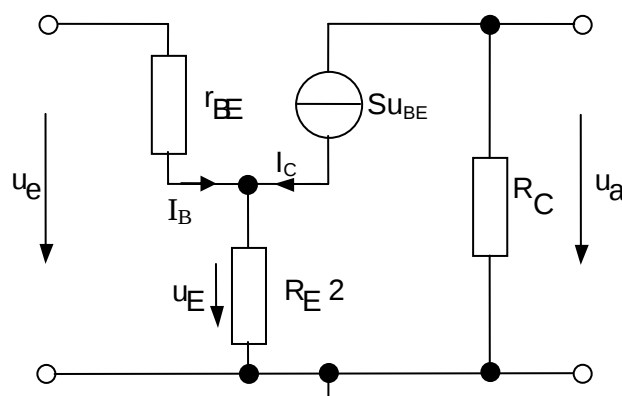
$$U_{BE1} + U_E + (-U_b) = 0 \Rightarrow U_E = U_b - U_{BE1} = 5V - 0,7V = 4,3V$$

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

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

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

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

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:

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

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

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

Lösung Aufgabe 20:

20.1 Die Grundsaltung 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

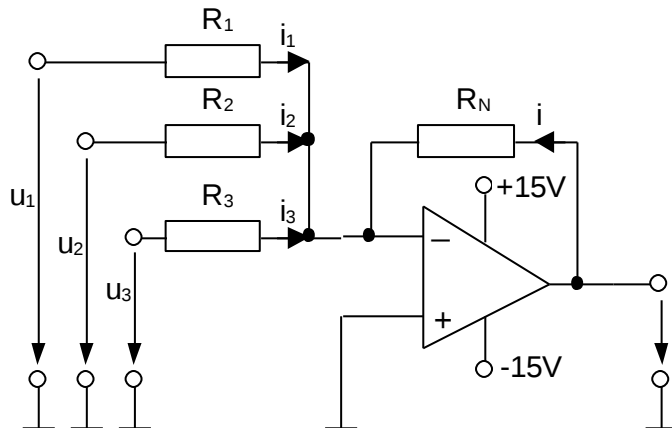
$$21.2 \quad \frac{u_{a1}}{u_{e1}} = -\frac{R2}{R1} = -0,5 \qquad \frac{u_{a2}}{u_{e2}} = 1 + \frac{R6}{R5} = 101$$

- 21.3 Die Verstärkung des zweiten OPs ist laut Datenblatt bis zur Frequenz $f_g \sim 10 \text{ kHz}$ gegeben.

- 21.4 Die Verstärkung des ersten OPs beträgt -0,5, die des zweiten beträgt 101. Zusammen ergibt sich $A1 \cdot A2 = -50,5$. Damit sich eine Verstärkung von -45,45 einstellt muss der Spannungsteiler aus R3 und R4 Die Ausgangsspannung u_{a1} um 10 % dämpfen. Somit ergibt sich: $u_{e2} = u_{a1} \cdot 0,9$ und $R_4 = 9 \cdot R_3 = 4,23 \text{ M}\Omega$.

- 21.5 Die Verstärkung der Schaltung beträgt -45,45. Es gilt: $u_{a2} = A_{ges} \cdot u_{e1} = -12,95V$
Bei der Versorgungsspannung von +/-15 V und einer Last von $2 \text{ k}\Omega$ beträgt die maximale Ausgangsspannung des OP (siehe Datenblatt) jedoch nur etwa +/- 12V.

Somit gilt: $I_{a2} = \frac{|12V|}{R_L} = 6mA$

Lösung Aufgabe 22**22.1 Grundsaltung: 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

