2006–11–27

Uppgift A2 ⟨fig1⟩.

Beräkna förstärkningen $u_{\text{ut}}/u_{\text{in}}$. Antag ideala operationsförstärkare.

$$-u_{\text{in}}+\varepsilon_1+u=0$$

$$u=\varepsilon_1\cdot F_1$$

$$\Rightarrow u_{\text{in}}=u\left(1+\frac{1}{F_1}\right)$$

Ideal operationsförstärkare, $F_1\to\infty$, $u_{\text{in}}=u$ och $\varepsilon_1=0$.

Ideal operationsförstärkare $i_{\text{op}}=0$. KCL$_{\text{A}}$: $i_1+i_2-i_{\text{op}}=0$, $i_1+i_2=0$.

$$\frac{u+\varepsilon_2}{R_1}+\frac{u_{\text{ut}}+\varepsilon_2}{R_2}=0$$

$$u_{\text{ut}}=\varepsilon_2\cdot F_2$$

$$\frac{u}{R_1}=-\frac{u_{\text{ut}}}{R_2}-\varepsilon_2\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}\right)=-\frac{u_{\text{ut}}}{R_2}-\frac{u_{\text{ut}}}{F_2}\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}\right)$$

Låt $F_2\to\infty$.

$$\frac{u_{\text{ut}}}{u}=-\frac{R_2}{R_1}$$

och slutligen ($u=u_{\text{in}}$):

$$\frac{u_{\text{ut}}}{u_{\text{in}}}=-\frac{R_2}{R_1}$$

Eller: $\varepsilon_1=\varepsilon_1=0$ antages direkt, ty negativ återkoppling. $u=u_{\text{in}}$. $i_1+i_2=0\Rightarrow\frac{u}{R_1}+\frac{u_{\text{ut}}}{R_2}=0$.

$$\frac{u_{\text{ut}}}{u}=\frac{u_{\text{ut}}}{u_{\text{in}}}=-\frac{R_2}{R_1}$$

Uppgift A5 ⟨fig2⟩.

Beräkna $u_{\text{ut}}=f(\Delta R)$. R och R_F är kända. $\Delta R\ll R$. $R\ll R_F$. Antag ideal operationsförstärkare.

Beräkna u_+ ⟨fig3⟩. Spänningselning

$$u_+=u\cdot\frac{R_1\|R_F}{R+R_1\|R_F}=u\cdot\frac{\frac{R_1R_F}{R_1+R_F}}{R+\frac{R_1R_F}{R_1+R_F}}=u\cdot\frac{R_1R_F}{R(R_1+R_F)+R_1R_F}$$

Beräkna spänningen u_- ⟨fig4⟩.

$$i_3=\frac{u_{\text{ut}}-u_-}{R_F},\quad i_2=\frac{u_-}{R},\quad i_1=\frac{u-u_1}{R}$$

KCL: $i_1 - i_2 = -i_3$.

$$\frac{u - u_-}{R} - \frac{u_-}{R} = -\frac{u_{\text{ut}} - u_-}{R_F}$$

$$\frac{u_{\text{ut}}}{R_F} = u_-\left(\frac{2}{R} + \frac{1}{R_F}\right) - \frac{u}{R}$$

Negativ återkoppling: $\varepsilon = u_+ - u_- = 0$.

$$\frac{u_{\text{ut}}}{R_F} = u\left(\frac{R_1 R_F}{R(R_1 + R_F) + R_1 R_F} \cdot \frac{2\,R_F + R}{R\,R_F} - \frac{1}{R}\right)$$

$$u_{\text{ut}} = u\,R_F \cdot \frac{R_1(2\,R_F + R) - R(R_1 + R_F) - R_1\,R_F}{(R(R_1 + R_F) + R_1\,R_F)R}$$

$$u_{\text{ut}} = u\,R_F \cdot \frac{R_1\,R_F - R\,R_F}{R[R\,R_1 + R_F(R + R_1)]} = [R_1 = R + \Delta R] =$$

$$= u\,R_F^2 \cdot \frac{R + \Delta R - R}{R\,(R(R + \Delta R) + R_F\,(2R + \Delta R))} \approx$$

$$\approx u \cdot \frac{R_F}{2\,R^2} \cdot \Delta R$$

Uppgift A8 ⟨fig5⟩ Alla resistanser är kända. Sök $u_{\text{ut}} = f(u_1,\ u_2,\ u_3)$. Antag ideala operationsförstärkare. Bägge operationsförstärkarna är negativt återkopplade $\Rightarrow \varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 0$. Operationsförstärkarnas inimpedans $R_i = \infty \Rightarrow i_{\text{op}} = 0$. KCL$_{\text{A}}$: $i_3 + i_4 + i_5 = -i_6$.

$$\frac{u'}{R_3} + \frac{u_2}{R_4} + \frac{u_3}{R_5} = -\frac{u_{\text{ut}}}{R_6}$$

KCL$_{\text{B}}$: $i_1 + i_2 = 0$

$$\frac{u_1}{R_1} + \frac{u'}{R_2} = 0$$

$$u' = -u_1\,\frac{R_2}{R_1}$$

$$-u_1\frac{R_2\,R_6}{R_1\,R_3} + u_2\,\frac{R_6}{R_4} + u_3 \cdot \frac{R_6}{R_5} = -u_{\text{ut}}$$

$$u_{\text{ut}} = u_1 \cdot \frac{R_2\,R_6}{R_1\,R_3} - u_2 \cdot \frac{R_6}{R_4} - u_3 \cdot \frac{R_6}{R_5}$$

Med numeriska värden $u_{\text{ut}} = 6u_1 - 4\,u_2 - 1.5\,u_3$. Denna krets kallas summator (viktad summa av ingångsspänningarna).

Uppgift A15 ⟨fig6⟩. Ideal operationsförstärkare. Maximalt utstyrningsområde $\pm$ 14V. Sök u_{ut}. $R = R_1 = 1\text{k}\Omega$.

OBS! Ej negativt återkopplad, $\varepsilon \neq 0$. Spänningsdelning:

$$u = 2 \cdot \frac{R}{R + R} = 1\text{V}$$

$$\varepsilon = u - u_{\text{in}}$$

$\varepsilon > 0$ om $u_{\text{in}} < u$; $\varepsilon < 0$ om $u_{\text{in}} > u$. ⟨fig7⟩.

$T = 10\text{ms}, u_{\text{in}}(t) = 4\sin\omega t = 4\sin\left(\frac{2\pi}{T}t\right)$.

$$u_{\text{in}}(t)_{t=t_1} = 1\text{V}$$

$$1 = 4\sin\left(\frac{2\pi}{T}t_1\right)$$

$$t_1 = \frac{T}{2\pi}\arcsin\frac{1}{4} = 0.4\text{ms}$$

Spänningsföljare (Impedansomvandlare) ⟨fig8⟩

Antag ideal operationsförstärkare. Vi har negativ återkoppling $\Rightarrow \varepsilon = 0$.

$$u_{\text{ut}} = u_{\text{in}}$$

Vad kan kretsen användas till?

Antag att vi har en givare och ett mätinstrument. ⟨fig9⟩.

Fall 1: $R_s = 0$ (ideal källa). $u_L = u_s$ oberoenda av R_L.

Fall 2: $R_L = \infty$ (eller $R_L \gg R_s$). Källan är obelastad. Då blir $u_L = u_s$ oberoende av R_s.

Fall 3: Om $R_s > 0$ och $R_L < \infty$: $u_L = u_s \cdot \frac{R_L}{R_s + R_L}$.

Uppmätt spänning beror på R_s och R_L (källresistans och mätinstrumentets inresistans). Vad kan vi göra?

Använd en spänningsföljare ⟨fig10⟩. Nu är $u_L = u_s$ oberoende av R_L och R_s.

Verklig operationsförstärkare

Typiska data (741) (har BJT-ingångssteg).

Spänningsförstärkning: $2 \cdot 10^5$.

Bandbredd: 3 Hz.

CMRR: 90 dB.

Inimpedans: 2 MΩ.

Utimpedans: 75Ω.

Dessutom temperaturberoende och begränsad utsignal.

Om vi har en operationsförstärkare med JFET i ingångssteget ökar inimpedansen markant, typiskt värde är 1 TΩ.

Öppna förstärkningen

– hög, men begränsad

– avtar med ökad frekvens

– frekvenskarakteristik kännetecknas av en dominant pol.

$$F(\mathrm{i}\omega) = \frac{F_0}{1 + \mathrm{i}\frac{\omega}{\omega_0}}$$

⟨fig11⟩. F_0 = maximal förstärkning, ω_0: brytfrekvens, $|F(\mathrm{i}\omega)|$ har sjunkit med faktorn $\frac{1}{\sqrt{2}}$ från sitt maxvärde.

$$\omega_t = 2\pi f_t = \omega_0 \cdot F_0 = \text{“unity gain bandwidth”}$$

□ Offset-spänning.

Den ideala operationsförstärkaren antas vara perfekt balanserad, dvs utspänningen $u_0 = 0$ då inspänningen $= 0$. I verkligheten existerar obalans på grund av olikheter i ingångssteget. ⟨fig12⟩. $u_{\mathrm{os}}|_{u_0=0}$. Offset-spänningen u_{os} är den spänning som krävs på ingången för att korrigera utsignalen till noll. (Storleksordning: op741: $u_{\mathrm{os}} \approx 1\mathrm{mV}$).

□ Input Offset Voltage Drift

Temperaturberoende hos offset-spänningen.

$$\frac{\Delta u_{\mathrm{os}}}{\Delta T} = 15\mu\mathrm{V}/^\circ\mathrm{C} \text{ för op741}$$

□ Input Bias Current

Den ström in till plus- och minusingångarna som krävs för att förstärkarens transistorer skall ligga i sina respektive arbetspunkter. (Oberoende av att $R_i = \infty$.)

$$I_B = \left.\frac{I_{B1} + I_{B2}}{2}\right|_{u_0=0}$$

(Typiska värden: op741 BJT: 80 nA; 356 JFET: 30 pA)

□ Input Offset Current

$$I_{\mathrm{os}} = |I_{B1} - I_{B2}|_{u_0=0}$$

EXEMPEL: Inverkan av Bias-strömmar.

Antag ideal operationsförstärkare med avseende på *input offset voltage* och *input offset current.* ⟨fig13⟩.

$$u_- + u_+ \Rightarrow \varepsilon = 0 \Rightarrow u_0 = 0$$

$$I_{B1} + I_{B_2} = I_B$$

Kortslut ingången, $u_{\mathrm{in}} = 0$.

Negativ återkoppling, $F = \infty \Rightarrow \varepsilon = 0$.

$$I_1 = 0 \text{ ty spänning över } R_1 \text{ är noll}$$

$$I_2 = I_{B1} = I_B$$

$$u_0 = I_B R_2$$

Vi får ett ett spänningsbidrag [han skrev “ett” två gånger] (bias) på utspänningen u_0 som ett resultat av bias-strömmen I_B.

Lösning: studera följande krets ⟨fig14⟩.

$$u_+ = -I_B R_p = u_-$$

$$I_{R_1} = \frac{u_-}{R_1} = -\frac{I_B R_p}{R_1}$$

$$u_0 = (I_B + I_{R_1})\, R_2 + u_+ = \left(I_B - I_B \frac{R_p}{R_1}\right) R_2 - I_B R_p =$$

$$= I_B \left(R_2 - \frac{R_p}{R_1} R_2 - R_p\right)$$

$$R_2 = R_p \left(\frac{R_2}{R_1} + 1\right) = R_p \left(\frac{R_1 + R_2}{R_1}\right)$$

$$R_p = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = R_1 \| R_2$$

□ Slew Rate (SR)

Slew Rate är maximala ändringshastigheten hos operationsförstärkarens utsignal ("stora signaler"). Uttrycks vanligen i μV/s. Typiskt värde $0.5 - 1\mu V/s$.

$$\mathrm{SR} = \left.\frac{\mathrm{d}u_0(t)}{\mathrm{d}t}\right|_{\max}$$

Orsak: Ingångssteget bottnar och därmed kommer dominantpolskondensatorn att laddas med en konstant ström. ⟨fig15⟩. Begränsad bandbredd påverkar också utsignalen. ⟨fig16⟩.