2006–11–24

fortsättning, differentialförstärkare.

Vi såg att kvalitetsmåttet CMRR ökar med R_E i vår kretslösning. Men R_E kan inte ökas utan att transistorernas arbetspunkt förändras.

Alternativ lösning: strömspegel ⟨fig1⟩.

$$I_{\mathrm{REF}} = \frac{E - u_{\mathrm{BE}}}{R}$$

$$I_{\mathrm{REF}} = \beta\, I_B + 2\, I_B = I_B(2 + \beta)$$

$$I_E = \beta\, I_B$$

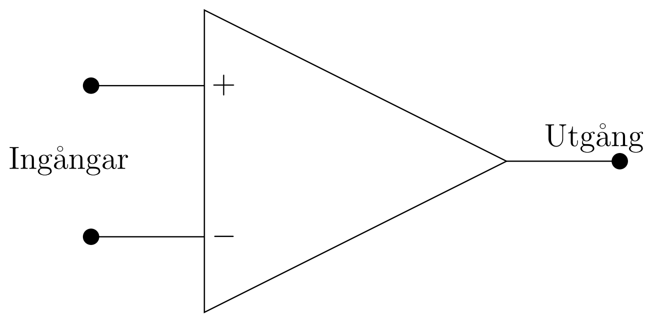
$$I_E = \frac{\beta}{2 + \beta}\, I_{\mathrm{REF}} = I_{\mathrm{REF}}\, \frac{1}{1 + \frac{2}{\beta}}$$

Om $\beta \gg 1$:

$$I_E \approx I_{\mathrm{REF}} = \frac{E - u_{\mathrm{BE}}}{R}$$

$$R_{\mathrm{ekv}} = \frac{1}{h_{\mathrm{oe}}}$$

Operationsförstärkare.



Figur 1. Symbolen för operationsförstärkare.

- En generell förstärkare med många tillämpningar.
- Används i huvudsak för att förstärka små elektriska signaler (ström/spänning).
- Aktiv komponent (kräver matningsspänning: batteri, spänningsaggregat...)

⟨fig3⟩ ⟨fig4⟩

Typiskt värde på matningspänningen E är 15 V. Förstärkningen $u_{\mathrm{ut}}/u_{\mathrm{in}}$ kallas "*differential gain*", öppna förstärkningen (*open loop gain*).

Icke inverterande förstärkare ⟨fig5⟩.

En operationsförstärkare är en relativt komplicerad krets "under skalet". Se Hambley fig 7.55 sid 472. Utifrån sett kan dock operationsförstärkaren beskrivas av en relativt enkel modell. ⟨fig7⟩. Här är $\varepsilon = u_{\mathrm{in}}$, men så är normalt inte fallet då yttre komponenter kopplas till operationsförstärkaren i en kretslösning.

Ideal operationsförstärkare

Konstruktören strävar generellt efter att skapa en *ideal* operationsförstärkare. Med ideal operationsförstärkare menar vi:

Ingångsimpedans: $R_i = \infty$

Utgångsimpedans: $R_o = 0$

Spänningsförstärkning: $F = \infty$

Bandbredd: $B = \infty$.

Kan en sådan förstärkare vara användbar.

Låt oss först studera en krets med en operationsförstärkare där $F \neq \infty$.

Alternativ 1: Inverterande förstärkare. Kopplingen kännetecknas av negativ återkoppling. $\langle$fig8$\rangle$.

Operationsförstärkare: $R_i = \infty, R_o = 0, F \neq \infty$. $i_{\text{op}} = 0$ ty $R_i = \infty$. $u_{\text{ut}} = \varepsilon \cdot F$ ty $R_o = 0$.

Strömsummering vid minusingång

$$i_1 + i_2 - i_{\text{op}} = 0$$

$$i_1 + i_2 = 0$$

$$\frac{u_{\text{in}} + \varepsilon}{R_1} + \frac{u_{\text{ut}} + \varepsilon}{R_2} = 0 \tag{1}$$

$$u_{\text{ut}} = \varepsilon \cdot F$$

Eliminera ε:

$$\frac{u_{\text{in}}}{R_1} + \frac{u_{\text{ut}}}{FR_1} + \frac{u_{\text{ut}}}{R_2} + \frac{u_{\text{ut}}}{FR_2} = 0$$

$$\frac{u_{\text{in}}}{R_1} = -\, u_{\text{ut}} \frac{R_2 + FR_1 + R_1}{FR_1 R_2}$$

$$\frac{u_{\text{ut}}}{u_{\text{in}}} = -\, \frac{FR_2}{FR_1 + R_1 + R_2} = -\, \frac{\frac{R_2}{R_1}}{1 + \frac{R_1 + R_2}{FR_1}}$$

Om F är stort, alt $F \to \infty$. Då blir

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

Från ekvation 1, eliminera u_{ut}:

$$\frac{u_{\text{in}}}{R_1} + \frac{\varepsilon}{R_2} + \frac{\varepsilon F}{R_2} + \frac{\varepsilon}{R_2} = 0$$

$$\frac{u_{\text{in}}}{R_1} = -\, \varepsilon \frac{R_1 + R_2 + R_1 F}{R_1 + R_2}$$

$$\varepsilon = -\, u_{\text{in}} \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot \frac{1}{1 + \frac{R_1}{R_1 + R_2} F}$$

Antag u_{in} begränsad. Då gäller att $\varepsilon \to 0$ då $F \to \infty$.

Allmänt gäller att om utgången på en ideal operationsförstärkare återkopplas till minusingången blir $\varepsilon = 0$.

Man säger att minusingången blir “virtuell jord”.

OBS! Ingen galvanisk koppling mellan $+$- och $-$ -ingångarna. Det flyter ingen ström mellan ingångarna. ($i_{\text{op}} = 0$).

Räkna igen på den inverterande förstärkaren. Ansätt $\varepsilon = 0$, ty ideal operationsförstärkare ($F = \infty$). ⟨fig9⟩. KCL: $i_1 + i_2 = 0$, ty $i_{\text{op}} = 0$.

$$\frac{u_{\text{in}}}{R_1} + \frac{u_{\text{ut}}}{R_2} = 0, \quad \frac{u_{\text{ut}}}{u_{\text{in}}} = -\frac{R_2}{R_1}$$

Inimpedans:

$$R_{\text{in}} = \frac{u_{\text{in}}}{i_1} = R_1$$

$$R_{\text{ut}} = \left.\frac{u_{\text{ut}}}{i_{\text{ut}}}\right|_{u_{\text{in}}=0} = 0$$

<u>Alternativ 2</u>: Icke-inverterande förstärkare: ⟨fig10⟩. Antag: ideal operationsförstärkare. $i_{\text{op}} = 0$. Vi har negativ återkoppling: $\varepsilon = 0$. Det gör att u_{in} ligger över R_1. Spänningsdela, samma ström genom R_1 och R_2 ($i_{\text{op}} = 0$).

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

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

$$R_{\text{in}} = \frac{u_{\text{in}}}{i_{\text{op}}} = \infty$$

$$R_{\text{ut}} = 0$$