

## 2006-11-17

### Förstärkning i en transistorkrets (BJT)

Utgå ifrån ett enkelt transistorsteg. npn (fig1).

Ingångssidan (KVL).

$$V_{BB} + u_{in}(t) = R_b i_B(t) + u_{BE}(t)$$

$$i_B(t) = \frac{V_{BB} + u_{in}(t)}{R_b} - \frac{u_{BE}(t)}{R_b}$$

Utgångssidan (KVL).

$$E = R_c i_c(t) + u_{CE}(t)$$

Ingångskaraktistik (fig2).

Låt  $u_{in}(t) = \hat{u} \sin \omega t$ .

Utgångskaraktistik (fig3).

**Transistorns tillstånd** (i utgångskaraktistiken) (fig4).

Ingångs- och utgångskaraktistiken för en pnp-transistor liknar npn-fallet, men byt tecken på alla strömmar och spänningar.

**Transistorns småsignalschema** beskriver små signalvariationer runt ett jämviktssläge (arbetspunkt). ("Linjärisering runt arbetspunkten"). Oberoende av transistortyp (npn, pnp).

$h$ -parameterschemat (fig5).

$$\begin{cases} u_{be} = i_b \cdot h_{11} + u_{ce} h_{12} \\ i_c = i_b \cdot h_{21} + u_{ce} h_{22} \end{cases}$$

$$\begin{pmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_b \\ u_{ce} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} u_{be} \\ i_c \end{pmatrix}$$

$h$  står för hybrid. Parametrar har olika enheter.

$$h_{11} = h_{ie} = \left. \frac{\Delta u_{BE}}{\Delta i_B} \right|_{u_{CE}=\text{konstant}}$$

(fig6)

$$h_{12} = h_{re} = \left. \frac{\Delta u_{BE}}{\Delta u_{CE}} \right|_{i_B=\text{konstant}}$$

Detta var återkopplingsfaktorn. (fig7). Försummas ofta.  $h_{re} = 0$ .

$$h_{21} = h_{fe} = \left. \frac{\Delta i_C}{\Delta i_B} \right|_{u_{CE}=\text{konstant}}$$

Strömförstärkning (småsignal). (fig8).

$$h_{22} = h_{oe} = \left. \frac{\Delta i_C}{\Delta u_{CE}} \right|_{i_B=\text{konstant}}$$

Utadmittans (försummas ofta). Kallas även *early effect*. Basviddsmodulation. Effektiv basvidd minskar då  $u_{CE}$  ökar.

**Alternativ småsignalmodell.** Förenklad hybrid- $\pi$  modell ("låga" frekvenser). (fig9).

Från transistorens ingångskaraktistik

$$i_c = I_s e^{\frac{u_{BE}}{V_T}}$$

$$u_{BE} = U_{BE} + u_{be}$$

$$i_c = \underbrace{I_s \cdot e^{\frac{U_{BE}}{V_T}}}_{I_C} \cdot e^{\frac{u_{be}}{V_T}}$$

Vi har "små" signalvariationer runt arbetstemperaturen

$$u_{be} \ll V_T \quad (\approx 25 \text{ mV})$$

Serietveckla, försumma högre ordningens termer.

$$i_c = I_C \left( 1 + \frac{u_{be}}{V_T} \right) = I_C + \underbrace{I_C \cdot \frac{u_{be}}{V_T}}_{i_c}$$

$$i_c = \frac{I_C}{V_T} \cdot u_{be} = g_m \cdot u_{be}$$

(se  $\pi$ -schema).

Inimpedans, allmänt (fig10).

$$r_{in} = \frac{u_{be}}{i_b} = r_\pi$$

$$r_\pi = \frac{u_{be}}{i_b} = \frac{u_{be}}{i_c / \beta} = \frac{\beta}{g_m} = \frac{\beta V_T}{I_C} = \frac{V_T}{I_B}$$

Vidare (fig11)

$$g_m \cdot u_{be} = g_m \cdot i_b \cdot r_\pi = i_b \cdot g_m r_\pi = i_b \cdot h_{21}$$

Jämför med  $h$ -parameterschemat:  $h_{21} = g_m \cdot r_\pi = h_{fe}$ .

Samma småsignalmodell för npn och pnp men  $g_m = \frac{|I_C|}{V_T}$