

ELEKTRONIKA DASAR

Pertemuan Ke-7

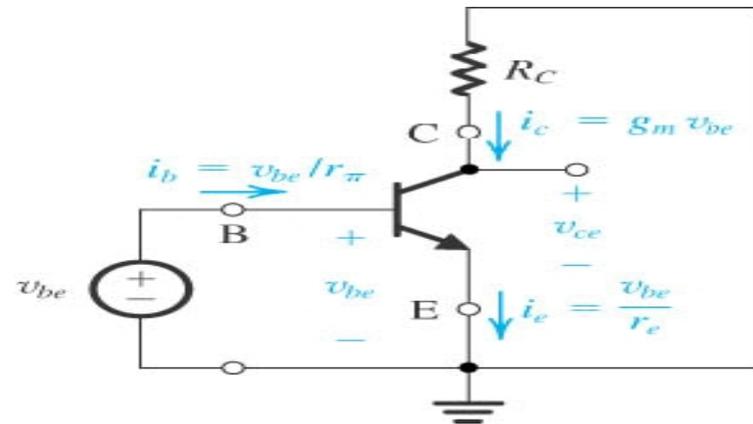
DC Biasing Pada BJT (Contd.)

ALFITH, S.Pd,M.Pd

Memisahkan sinyal dengan harga-harga DC

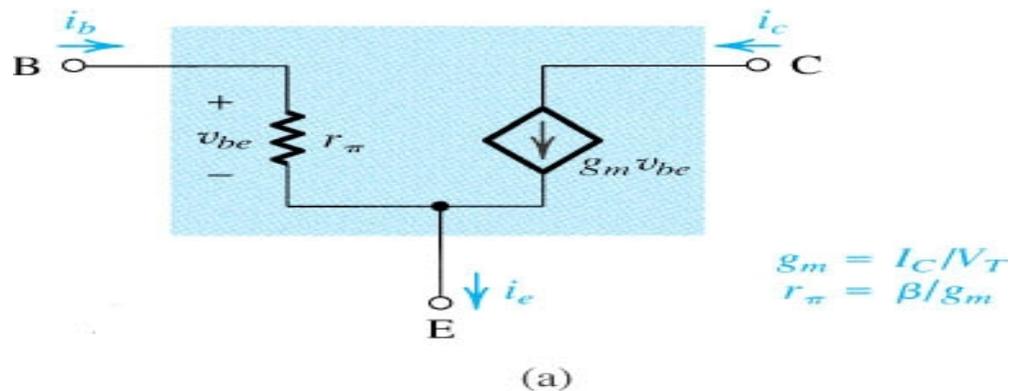
Arus dan tegangan pada rangkaian penguat terdiri dari dua komponen: komponen dc dan komponen sinyal.

Komponen DC ditentukan dari rangkaian dc pada gambar 48(b), sedangkan cara kerja sinyal BJT dapat diperoleh dengan menghilangkan sumber DC, seperti pada gambar 50.

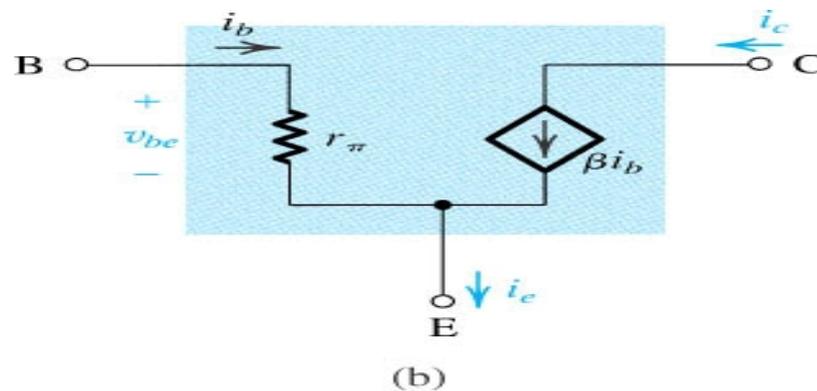


Gambar 50 Rangkaian penguat pada gambar 48 dengan sumber DC dihilangkan (di hubung singkat)

Model Hybrid -



Gambar 51 (a) BJT sebagai VCCS (penguat transkonduktansi)



Gambar 51 (b) BJT sebagai CCCS (penguat arus)

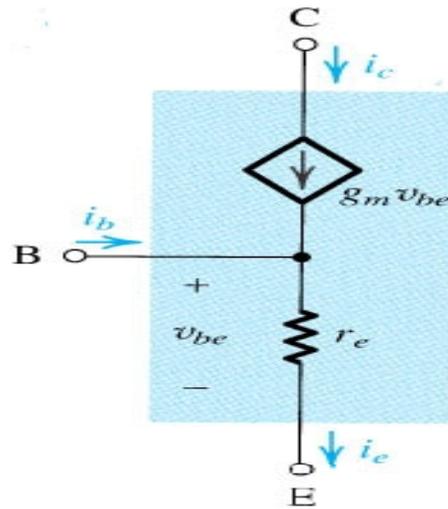
Pada gambar 51(a), BJT digambarkan sebagai VCCS yang mempunyai resistansi masukan (melihat ke arah base) r_{π} , dengan sinyal kendali v_{be} . Hubungan arus dan tegangan pada rangkaian ini:

$$\begin{aligned}
 i_c &= g_m v_{be} \\
 i_b &= \frac{v_{be}}{r_{\pi}} \\
 i_e &= \frac{v_{be}}{r_{\pi}} + g_m v_{be} = \frac{v_{be}}{r_{\pi}} (1 + g_m r_{\pi}) \\
 &= \frac{v_{be}}{r_{\pi}} (1 + \beta) = v_{be} \Big/ \left(\frac{r_{\pi}}{1 + \beta} \right) \\
 &= v_{be} \Big/ r_e
 \end{aligned}$$

Pada gambar 51(b) BJT digambarkan sebagai CCCS, dengan sinyal kendali i_b . Hubungan arus sebagai berikut:

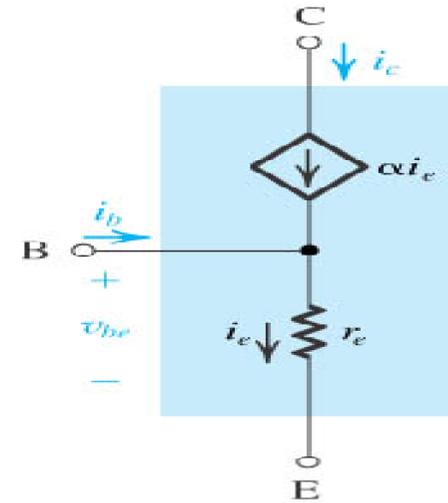
$$\begin{aligned}
 g_m v_{be} &= g_m (i_b r_{\pi}) \\
 &= (g_m r_{\pi}) i_b
 \end{aligned}$$

Model T



(a)

$$g_m = I_C / V_T$$
$$r_e = \frac{V_T}{I_E} = \frac{\alpha}{g_m}$$



(b)

Gambar 52 (a) BJT sebagai VCCS

Gambar 53 (b) BJT sebagai CCCS

Pada kedua gambar yang ada adalah r_e , bukan r

Pada gambar 52(a), BJT digambarkan sebagai VCCS yang mempunyai resistansi masukan (melihat ke arah emitter) r_e dengan sinyal kendali v_{be} . Hubungan arus dan tegangan pada rangkaian ini:

$$\begin{aligned}
 i_b &= \frac{V_{be}}{r_e} - g_m v_{be} = \frac{V_{be}}{r_e} (1 - g_m r_e) \\
 &= \frac{V_{be}}{r_e} (1 - \alpha) = \frac{V_{be}}{r_e} \left(1 - \frac{\beta}{\beta + 1} \right) \\
 &= \frac{V_{be}}{(\beta + 1) r_e} = \frac{V_{be}}{r_\pi}
 \end{aligned}$$

Pada gambar 52(b) BJT digambarkan sebagai CCCS, dengan sinyal kendali i_e . Hubungan arus sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 g_m v_{be} &= g_m (i_e r_e) \\
 &= (g_m r_e) i_e = \alpha i_e
 \end{aligned}$$

Aplikasi rangkaian ekivalen sinyal kecil.

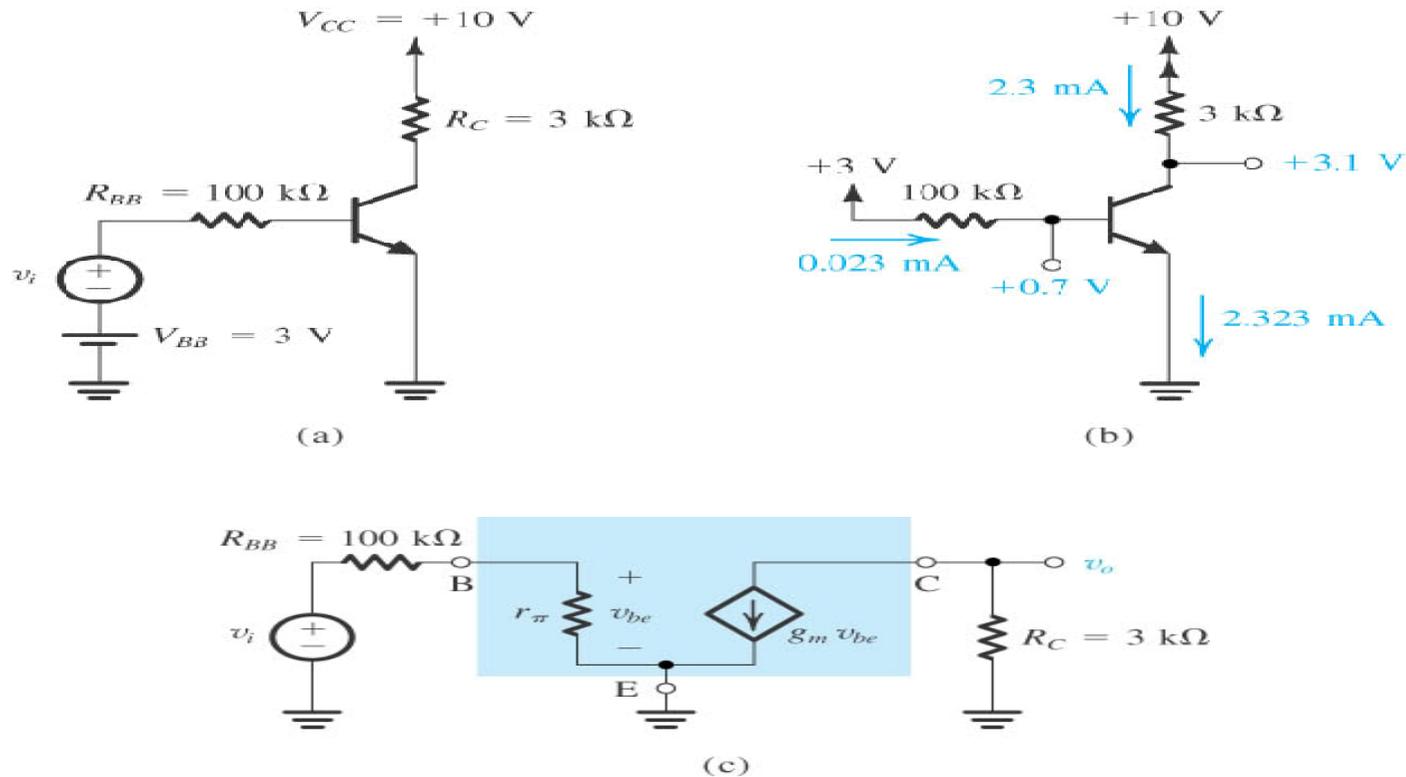
Proses yang sistimatis dalam menganalisa penguat transistor:

1. Tentukan titik kerja dc BJT, terutama arus collector dc I_C .
2. Hitung harga-harga parameter model sinyal kecil: $g_m = I_C/V_T$, $r_{\pi} = \beta/g_m$ dan $r_e = V_T/I_E = \beta/g_m$.
3. Hilangkan semua sumber dc dengan mengganti sumber tegangan dc dengan hubung singkat, dan sumber arus dc dengan hubung terbuka.
4. Ganti BJT dengan salah satu model rangkaian ekivalen.
5. Analisa rangkaian yang didapat untuk menentukan penguatan tegangan, resistansi masukan dan lain-lain.

Contoh soal 14:

Analisa penguat transistor pada gambar 53(a) dan tentukan penguatan tegangannya.

Asumsikan $\beta = 100$



Gambar 53 (a) rangkaian (b) analisa dc (c) model sinyal kecil

Tentukan titik kerja. Asumsikan $v_i = 0$.

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_{BB}}$$
$$\approx \frac{3 - 0,7}{100} = 0,023 \text{ mA}$$

$$I_C = \beta I_B = 100 \times 0,023 = 2,3 \text{ mA}$$

$$V_C = V_{CC} - I_C R_C$$
$$= +10 - 2,3 \times 3 = +3,1 \text{ V}$$

Karena $V_B (+0,7\text{V}) < V_C$ transistor bekerja pada mode aktif.

Tentukan parameter model sinyal kecil:

$$r_e = \frac{V_T}{I_E} = \frac{25 \text{ mV}}{(2,3 / 0,99) \text{ mA}} = 10,8 \text{ } \Omega$$

$$g_m = \frac{I_C}{V_T} = \frac{2,3 \text{ mA}}{25 \text{ mV}} = 92 \text{ mA/V}$$

$$r_\pi = \frac{\beta}{g_m} = \frac{100}{92} = 1,09 \text{ k } \Omega$$

Model rangkaian ekuivalen terlihat pada gambar 53(c).

Perhatikan tidak ada sumber tegangan dc. Terminal rangkaian yang terhubung ke sebuah sumber tegangan dc yang konstan selalu dapat dianggap sebagai sinyal 'ground'.

$$\begin{aligned}V_{be} &= V_i \frac{r_{\pi}}{r_{\pi} + R_{BB}} \\ &= V_i \frac{1,09}{101,09} = 0,011 V_i\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_o &= -g_m V_{be} R_C \\ &= -92 \times 0,011 V_i \times 3 = -3,04 V_i\end{aligned}$$

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = -3,04 \text{ V/V}$$

Tanda negatif menunjukkan pembalikan fasa.

Contoh soal 15:

Untuk mendapatkan pengertian yang lebih mendalam dari cara kerja penguat transistor, kita akan melihat bentuk gelombang pada berbagai titik pada rangkaian yang telah dianalisa pada contoh sebelumnya. Untuk hal ini asumsikan v_i merupakan gelombang segitiga. Pertama tentukan amplitudo maksimum dari v_i yang dimungkinkan pada rangkaian ini. Kemudian dengan amplitudo ini, gambarkan bentuk gelombang pada $i_B(t)$, $v_{BE}(t)$, $i_C(t)$ dan $v_C(t)$.

Jawab:

Satu kendala pada amplitudo sinyal adalah pendekatan sinyal kecil, dimana v_{be} tidak boleh melebihi 10 mV. Jika digunakan bentuk gelombang segitiga v_{be} dengan 20 mV peak-to-peak dan bekerja mundur,

$$\hat{V}_i = \frac{\hat{V}_{be}}{0,011} = \frac{10}{0,011} = 0,91 \text{ V}$$

Untuk memeriksa apakah transistor masih bekerja pada mode aktif dengan v_i beramplitudo $V_i = 0,91$ V, periksa harga tegangan collector. Tegangan pada collector akan terdiri dari gelombang segitiga yang ditumpangkan pada harga dc $V_C = 3,1$ V. Tegangan puncak dari bentuk gelombang segitiga:

$$\hat{V}_c = \hat{V}_i \times \text{penguatan} = 0,91 \times 3,04 = 2,77 \text{ V}$$

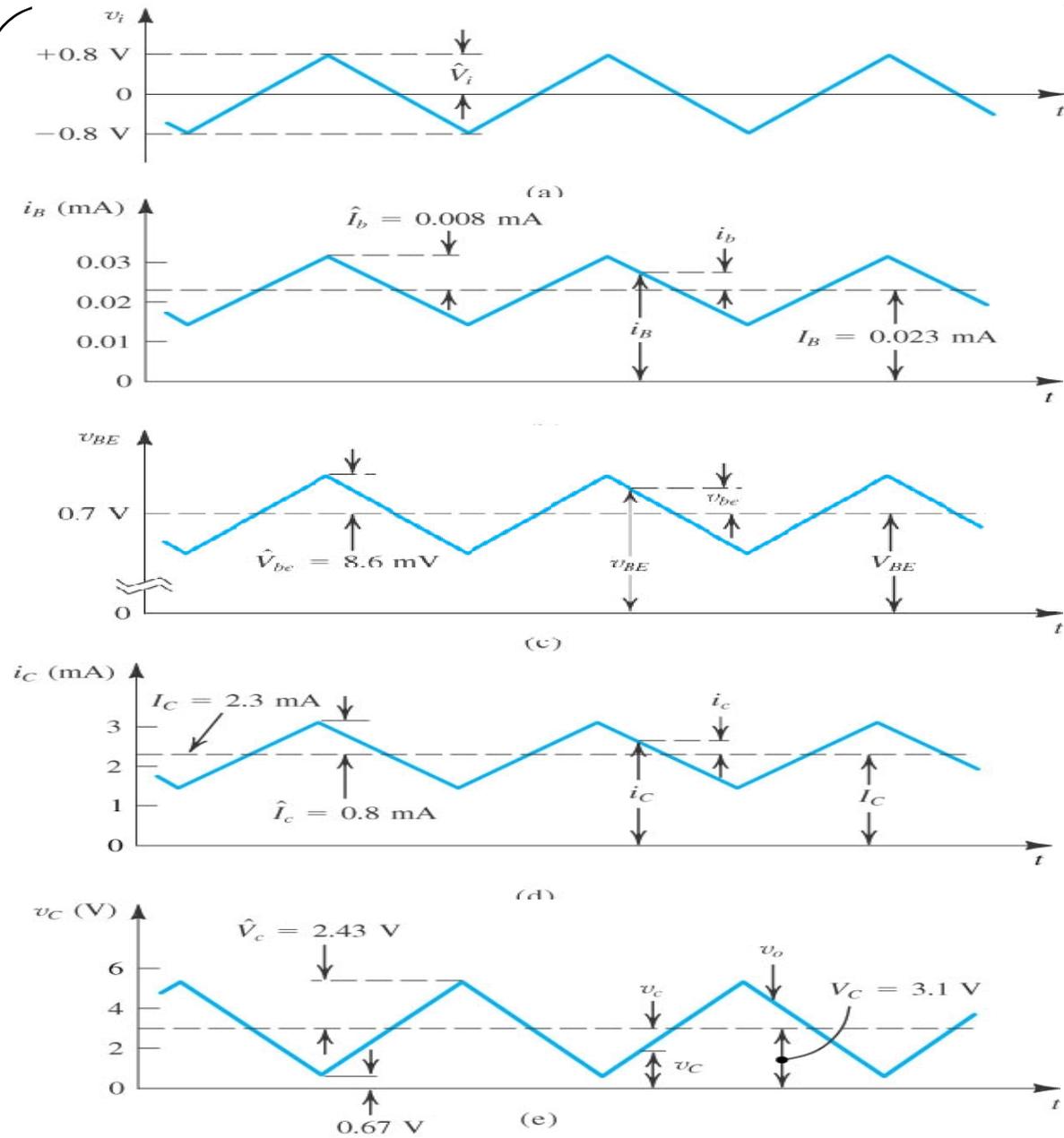
Pada saat simpangan negatif, tegangan collector mencapai harga minimum:

$$V_{C\min} = 3,1 - 2,77 = 0,33 \text{ V}$$

Tegangan ini lebih rendah dari tegangan base kurang dari 0,4 V, jadi transistor masih bekerja pada daerah aktif. Walaupun demikian kita akan menggunakan harga amplitudo yang lebih rendah, yaitu 0,8 V. Analisa selengkapnya adalah sebagai berikut:

$$\hat{I}_b = \frac{\hat{V}_i}{R_{BB} + r_\pi} = \frac{0,8}{100 + 1,09} = 0,008 \text{ mA}$$

Sinyal ini ditumpangkain pada arus base I_B seperti yang terlihat pada gambar 54(b)



Gambar 54. Bentuk gelombang sinyal.

Tegangan base – emitter terdiri dari komponen gelombang segitiga yang ditumpangkan pada tegangan dc $V_{BE} = 0,7V$. Puncak dari gelombang segitiga:

$$\hat{V}_{be} = \hat{V}_i \frac{r_\pi}{r_\pi + R_{BB}} = 0,8 \frac{1,09}{100 + 1,09} = 8,6 \text{ mV}$$

Total v_{BE} terlihat pada gambar 54(c)

Sinyal arus segitiga pada collector akan mempunyai puncak:

$$\hat{I}_c = \beta \hat{I}_b = 100 \times 0,008 = 0,8 \text{ mA}$$

Arus sinyal akan ditumpangkan pada arus collector dc $I_C (=2,3 \text{ mA})$, seperti yang terlihat pada gambar 54(d).

Tegangan sinyal pada collector dapat diperoleh dengan mengalikan v_i dengan penguatan tegangan

$$\hat{V}_c = 3,04 \times 0,8 = 2,43 \text{ V}$$

Tegangan total pada collector dapat dilihat pada gambar 54(e)

Contoh soal 16:

Analisa-lah rangkaian pada gambar 55(a) untuk menentukan penguatan tegangan dan bentuk gelombang pada berbagai titik. Kapasitor C adalah kapasitor coupling yang berfungsi untuk menghubungkan sinyal v_i dan mem-block dc. Dengan cara ini bias dc hanya ditentukan oleh V^+ dan V^- serta R_E dan R_C . Untuk hal ini harga C diasumsikan sangat besar, idealnya ∞ , sehingga akan menjadi hubung singkat untuk frekuensi sinyal yang diinginkan. Demikian juga kapasitor yang dipakai untuk menghubungkan sinyal keluaran v_o .

Jawab:

Tentukan titik kerja dc:

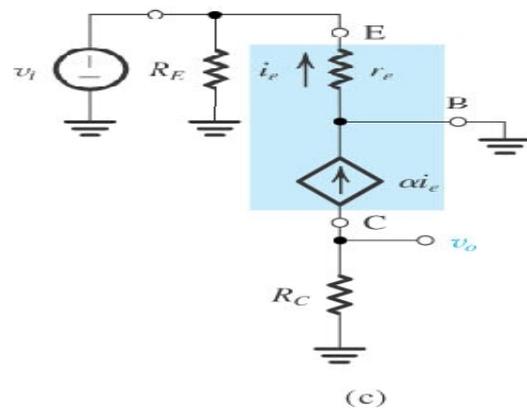
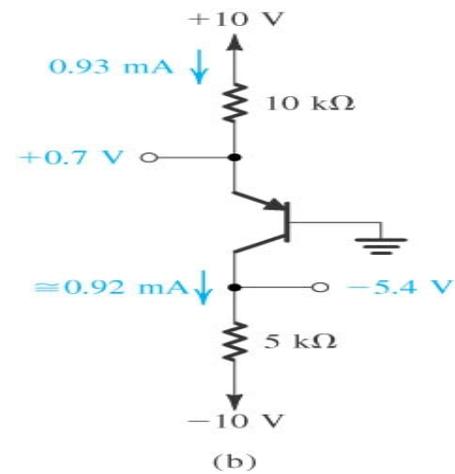
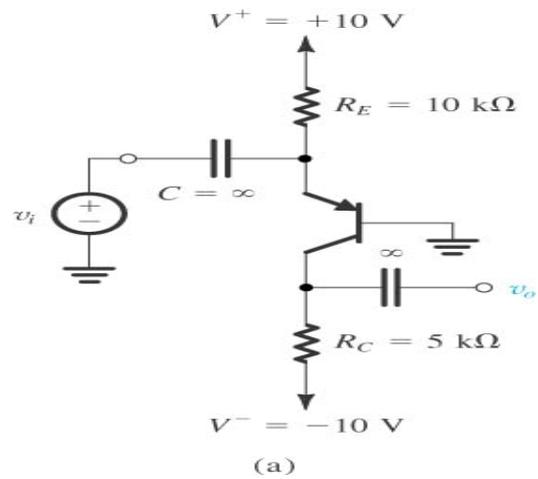
$$I_E = \frac{+10 - V_E}{R_E} = \frac{10 - 0,7}{10} = 0,93 \text{ mA}$$

Asumsikan $\beta = 100$, $\alpha = 0,99$

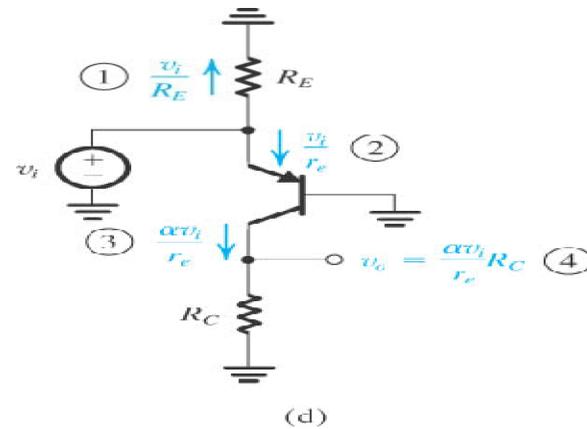
$$I_C = 0,99 I_E = 0,92 \text{ mA}$$

$$\begin{aligned} V_C &= -10 + R_C I_C \\ &= -10 + 0,92 \times 5 = -5,4 \text{ V} \end{aligned}$$

Jadi transistor bekerja pada mode aktif



$$\begin{aligned} i_e &= \frac{v_i}{r_e} \\ v_o &= -\alpha i_e R_C \\ &= \frac{\alpha R_C v_i}{r_e} \end{aligned}$$



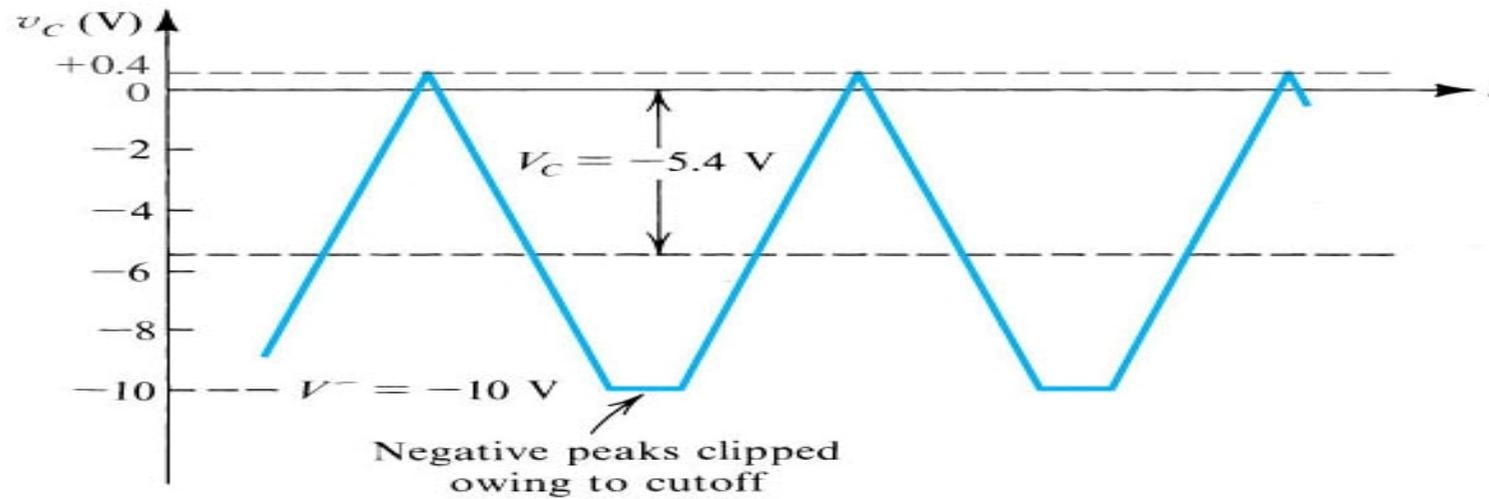
Gambar 55

Sinyal pada collector dapat mempunyai simpangan dari $-5,4\text{ V}$ sampai $+0,4\text{ V}$ (yaitu $0,4\text{ V}$ di atas tegangan base) tanpa memasuki daerah jenuh. Tetapi $5,8\text{ V}$ simpangan negatif pada tegangan collector akan menyebabkan tegangan minimum collector menjadi $-11,2\text{ V}$. Tegangan ini lebih negatif dari tegangan catu daya. Jika kita memaksakan untuk memasang sebuah masukan yang akan menghasilkan sebuah keluaran yang demikian, maka transistor akan cut off dan puncak negatif akan terpotong, seperti yang terlihat pada gambar 56. Bentuk gelombang pada gambar 56 tetap linier hanya saja puncak negatifnya terpotong; yaitu pengaruh non linier tidak diperhitungkan. Hal ini tidak benar, karena kita telah mendorong transistor ke daerah cut off pada puncak sinyal negatif yang berarti kita melebihi batas sinyal kecil.

Tentukan penguatan tegangan sinyal kecil. Gunakan model rangkaian ekuivalen T dan menghilangkan semua sumber dc. (Lihat gambar 55(c)).

$$\alpha = 0,99$$

$$r_e = \frac{V_T}{I_E} = \frac{25 \text{ mV}}{0,93 \text{ mA}} = 27 \ \Omega$$



Gambar 56. Sinyal terdistorsi karena cut off.

$$i_e = - \frac{v_i}{r_e}$$

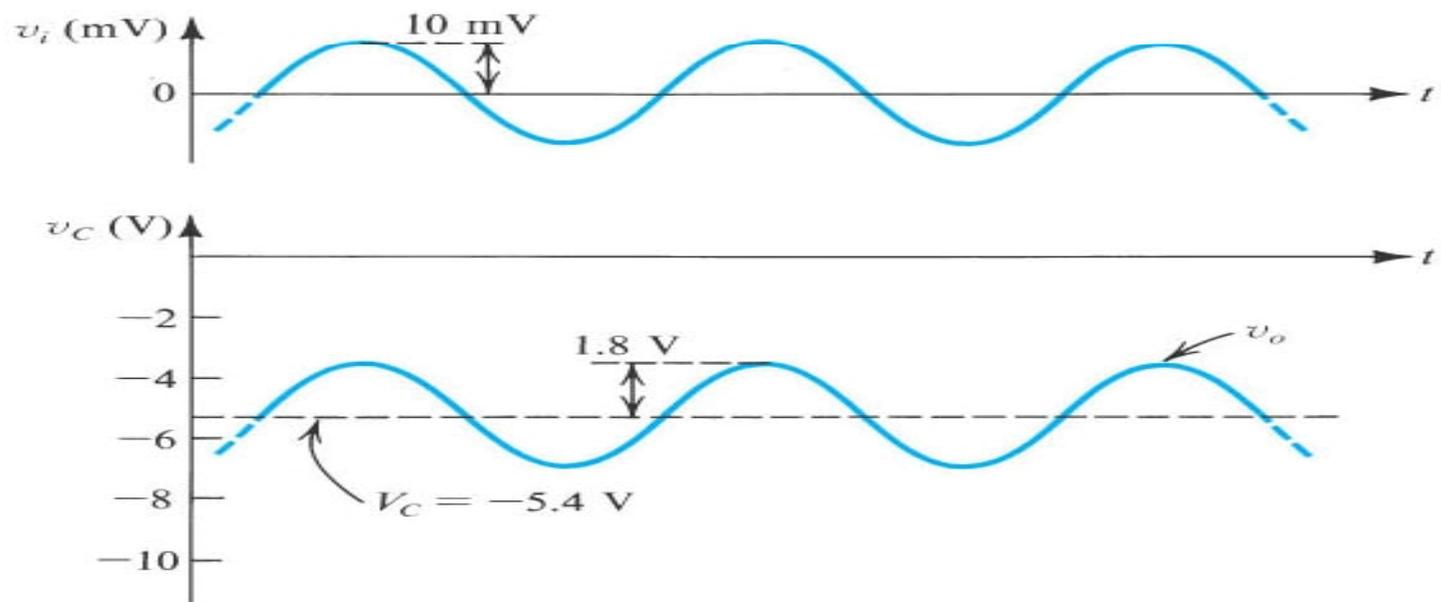
$$v_o = - \alpha i_e R_c = \frac{\alpha R_c}{r_e} v_i$$

$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = \frac{\alpha R_c}{r_e} = 183,3 \text{ V/V}$$

Perhatikan penguatan tegangan positif berarti keluaran mempunyai fasa yang sama dengan masukan yang dipasangkan pada emitter.

Besaran sinyal yang diperbolehkan, perhatikan gambar 55(c) di mana $v_i = v_{eb}$. Jadi bila diinginkan kerja sinyal kecil yang linier, maka puncak v_i harus dibatasi kira-kira 10 mV. Dengan harga amplitudo ini, seperti terlihat pada gambar 57, harga amplitudo V_c :

$$\hat{V}_c = 183,3 \times 0,01 = 1,833 \text{ V}$$



Gambar 57

Penambahan model sinyal kecil dengan memperhatikan efek Early

Efek early menyebabkan arus collector tergantung tidak hanya pada v_{BE} , tetapi juga pada v_{CE} . Ketergantungan pada v_{CE} dapat dimodelkan dengan menempatkan resistansi keluaran r_o .

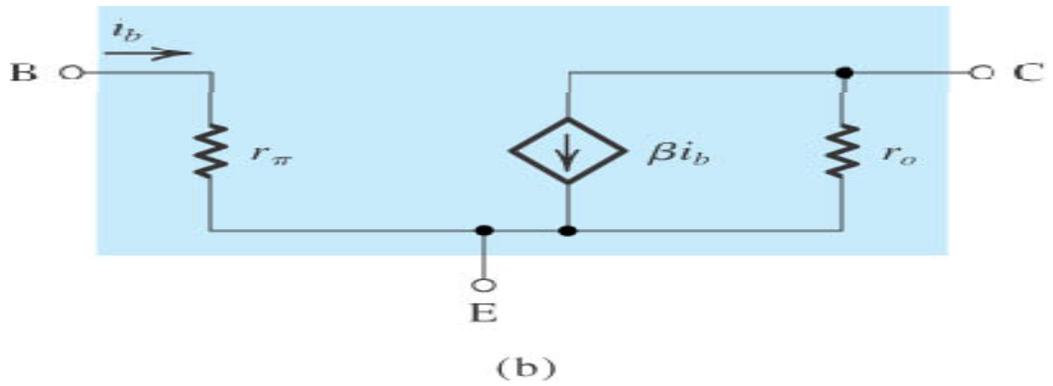
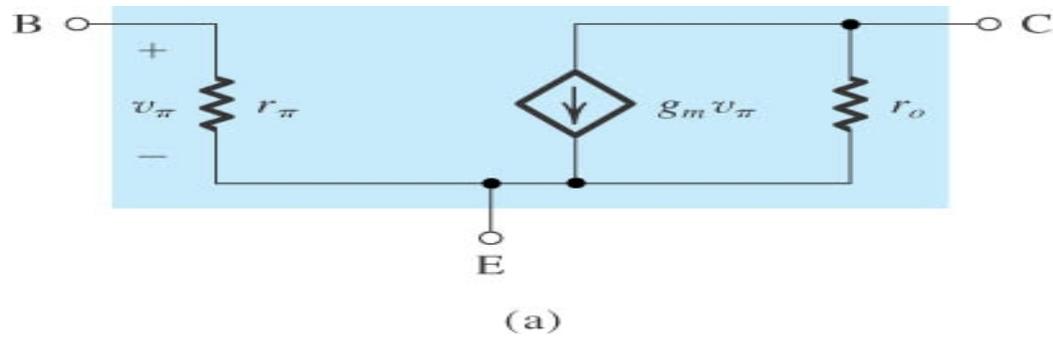
$$r_o = \frac{V_A + V_{CE}}{I_C} \approx \frac{V_A}{I_C}$$

V_A = tegangan Early; V_{CE} dan I_C adalah koordinat titik kerja dc.

Pengaruh r_o pada cara kerja transistor sebagai penguat dapat dilihat pada persamaan berikut

$$v_o = -g_m v_{be} (R_C \parallel r_o)$$

Jadi penguatan akan berkurang. Jika $r_o \gg R_C$, pengurangan penguatan ini dapat diabaikan. Secara umum pengaruh r_o diabaikan jika $r_o > 10R_C$.

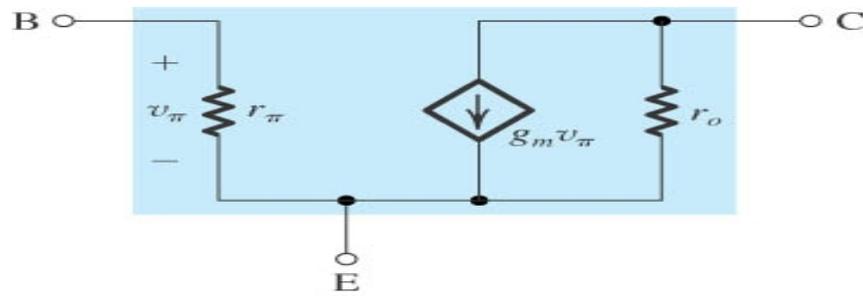


Gambar 58. Model sinyal kecil hybrid- dengan r_o

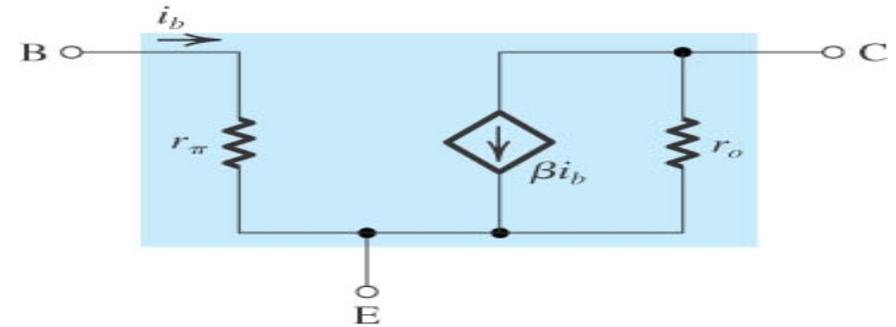
Ringkasan Model Sinyal Kecil dari BJT

Model hybrid-

versi ($g_m v$)

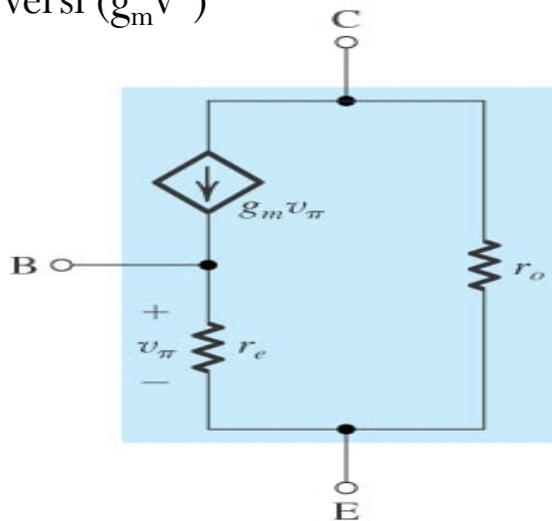


versi (i_b)

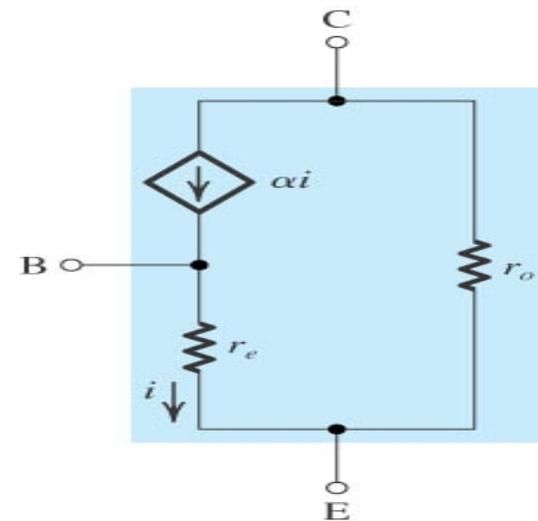


Model T

versi ($g_m v$)



versi (i_b)



Parameter model sebagai fungsi arus bias dc

$$g_m = \frac{I_C}{V_T}$$

$$r_e = \frac{V_T}{I_E} = \alpha \left(\frac{V_T}{I_C} \right)$$

$$r_\pi = \beta \left(\frac{V_T}{I_C} \right)$$

$$r_o = \frac{|V_A|}{I_C}$$

Parameter model sebagai fungsi g_m

$$r_e = \frac{\alpha}{g_m}$$

$$r_\pi = \frac{\beta}{g_m}$$

Parameter model sebagai fungsi r_e

$$g_m = \frac{\alpha}{r_e}$$

$$r_\pi = (\beta + 1) r_e$$

$$g_m + \frac{1}{r_\pi} = \frac{1}{r_e}$$

Hubungan antara β dan α

$$\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$$

$$\alpha = \frac{\beta}{\beta + 1}$$

$$\beta + 1 = \frac{1}{1 - \alpha}$$