

10

KARAKTERISTIK TRANSISTOR

10.1 Dasar Pengoperasian BJT

Pada bab sebelumnya telah dibahas dasar pengoperasian BJT, utamanya untuk kasus saat sambungan kolektor-basis berpanjar mundur dan sambungan emitor-basis berpanjar maju. Arus emitor sebagai fungsi dari tegangan emitor-basis sebagai

$$-i_E = I_o [\exp(-v_{BE}/V_T) - 1] \quad (10.1)$$

untuk transistor *n-p-n*, dimana $V_T = 25$ mV pada temperatur ruang.

I_o berasal dari pembawa muatan hasil generasi termal, sehingga secara kuat merupakan fungsi temperatur, dan harganya hampir berlipat dua untuk setiap kenaikan 10°C . Harga I_o sangat bervariasi dari satu transistor ke transistor yang lain walaupun untuk tipe dan pabrik yang sama.

Hampir seluruh arus emiter berdifusi ke daerah basis dan menghasilkan arus kolektor, dimana harganya lebih besar dari arus basis. Kita menuliskan

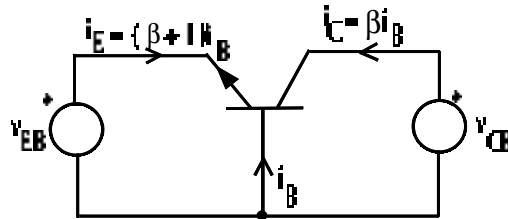
$$i_C = \beta i_B \quad (10.2)$$

dimana β merupakan parameter transistor terpenting kedua, dan disebut sebagai penguatan arus (*current gain* – sering dinyatakan dengan simbol h_{fe} atau h_{FE} untuk kasus tertentu).

Harga β juga sangat bervariasi dari satu transistor ke transistor lain walaupun untuk tipe yang sama. Untuk transistor tipe 2N3055 (biasanya digunakan untuk arus besar), h_{FE} untuk arus 4 amper dapat berharga dari 20 – 70. Harga h_{FE} mengalami

perubahan terhadap harga arus kolektor, naik dari 32 pada 10 mA ke maksimum 62 pada arus 3 A, dan selanjutnya jatuh ke harga 15 untuk arus 10 A.

Untuk transistor tipe LM394C (biasa digunakan untuk arus rendah), h_{FE} untuk arus 1 mA berubah dari 225 ke harga lebih dari 500. Harga h_{FE} dapat naik dari 390 pada arus 1 μ A ke harga 800 pada arus 10 mA.



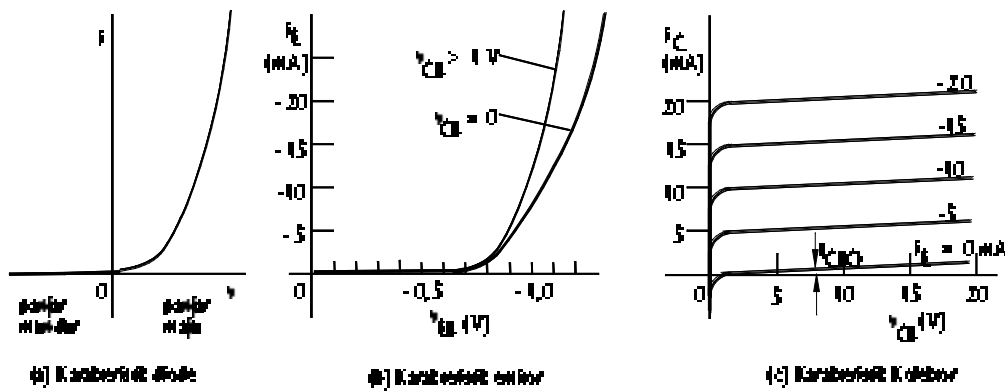
Gambar 10.1 Transistor dengan Konvigurasi Basis Bersama

10.2 Karakteristik Keluaran

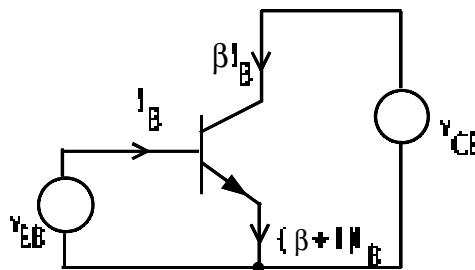
10.2.1 Konfigurasi Basis-Bersama (*Common-Base Configuration*)

Rangkaian transistor seperti pada gambar 10.1 disebut konfigurasi basis bersama karena basis digunakan untuk terminal masukan maupun keluaran. Karakteristik i - v BJT dengan konfigurasi ini dapat kita kembangkan dari pemahaman kita tentang diode dan pengoperasian transistor.

Karena sambungan emitor-basis seperti diode berpanjar maju, maka karakteristik masukan rangkaian ini (gambar 10.2-b) mirip dengan karakteristik diode (gambar 10.2-a). Terlihat bahwa efek dari tegangan kolektor-basis v_{CB} cukup kecil. Dengan v_{CB} berharga positif dan emitor hubung terbuka, $i_E = 0$ volt dan bagian basis-kolektor pada dasarnya berpanjar mundur. (v_{CB} berharga negatif akan membuat sambungan kolektor-basis berpanjar maju dan akan mengalir i_C berharga negatif). Untuk $i_E = 0$, $i_C \cong I_{CBO}$ (lihat gambar 10.2-c), karakteristik kolektor mirip dengan karakteristik diode gambar 10.2-a pada kuadran tiga. Untuk $i_E = -5$ mA, arus kolektor meningkat sebesar $-\alpha i_E \cong +5$ mA (lihat persamaan 3.2) dan menampilkan bentuk kurva. Karena faktor α selalu lebih kecil dari satu ($= \beta / \beta + 1$), maka secara praktis konfigurasi basis-bersama tidak baik sebagai penguat arus.



Gambar 10.2 Karakteristik transistor *n-p-n* untuk konfigurasi basis-bersama



Gambar 10.5 Transistor dalam konfigurasi emitor-bersama

10.2.2 Konfigurasi Emitor-Bersama (*Common-Emitter Configuration*)

Konfigurasi emitor-bersama seperti diperlihatkan pada gambar 10.3 lebih sering digunakan sebagai penguat arus. Sesuai dengan namanya emitor dipakai bersama sebagai terminal masukan maupun keluaran. Arus input dalam konfigurasi ini adalah i_B , dan arus emitor $i_E = -(i_C + i_B)$, karenanya besarnya arus kolektor adalah

$$i_C = -\alpha i_E + I_{CBO} = +\alpha(i_C + i_B) + I_{CBO}$$

atau

$$i_C = \frac{\alpha}{1-\alpha} i_B + \frac{I_{CBO}}{1-\alpha} \quad (10.3)$$

Untuk menyederhanakan persamaan 10.3 kita telah mendefinisikan “nisbah transfer-
 arus” sebagai

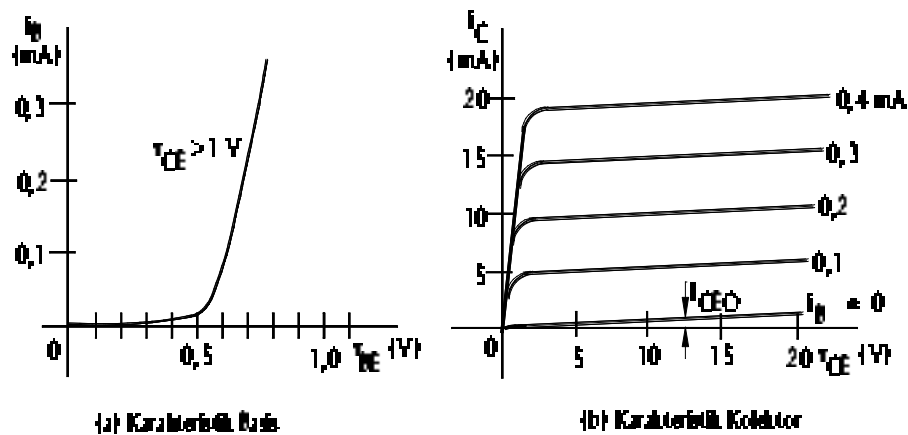
$$\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha} \quad (10.4)$$

dan kita dapat mencatat besarnya arus *cutoff* kolektor sebagai

$$\frac{I_{CBO}}{1 - \alpha} = (1 + \beta) I_{CBO} = I_{CEO} \quad (10.5)$$

Dengan demikian bentuk sederhana persamaan arus keluaran (kolektor) dalam bentuk arus masukan (basis) dan nisbah transfer-arus adalah

$$i_C = \beta i_B + I_{CEO} \quad (10.6)$$



Gambar 10.4 Karakteristik transistor *n-p-n* untuk konfigurasi emitor-bersama

Bentuk karakteristik emitor-bersama diperlihatkan pada gambar 10.4. besarnya arus masukan i_B relatif kecil untuk tegangan kolektor-emitor lebih besar 1 V, dan harganya tergantung pada besarnya tegangan sambungan emitor-basis. Untuk BJT silikon misalnya, untuk tegangan panjar maju sekitar 0,7 V akan memberikan i_B yang cukup besar.

Pada gambar 10.4-b nampak bahwa sesuai dengan persamaan 10.6, untuk $i_B = 0$, arus i_C berharga relatif kecil dan hampir konstan pada harga I_{CEO} . Setiap ada kenaikan arus i_B , akan diikuti kenaikan arus i_C sebesar βi_B . Untuk $\alpha = 0,98$, $\beta = \alpha / (1 - \alpha) = 0,98 / (1 - 0,98) = 49$, jelas sedikit perubahan pada i_B akan

memberikan kenaikan i_C yang sangat besar. Sedikit kenaikan pada α akan menghasilkan perubahan yang lebih besar pada β , dan efek dari v_{CE} pada konfigurasi ini akan lebih nampak dibandingkan pada konfigurasi basis-bersama (lihat juga gambar 10.2-c).

Dengan uraian di atas dapat dibuat catatan penting untuk konfigurasi emitor-bersama. Arus kolektor i_C merupakan fungsi i_B dan v_{CE} , sehingga untuk menggambarkan karakteristik hubungan ketiganya dapat dilakukan dengan menggambar kurva seperti terlihat pada gambar 10.4-c. Ini merupakan tipikal “karakteristik keluaran” dari transistor daya rendah dengan ciri dasar sebagai berikut:

- i) Jika $v_{CE} > 1$ V, i_C sangat tergantung pada i_B .
- ii) Dengan menaikkan v_{CE} , i_C akan mengalami sedikit kenaikan, karena daerah basis relatif tipis.
- iii) Untuk $v_{CE} < 1$ V, arus kolektor untuk suatu harga arus basis jatuh ke harga nol pada $v_{CE} = 0$.

Arus kolektor hampir sama dengan arus emitor (untuk $v_{CE} > 1$ volt), sehingga berlaku hubungan eksponensial

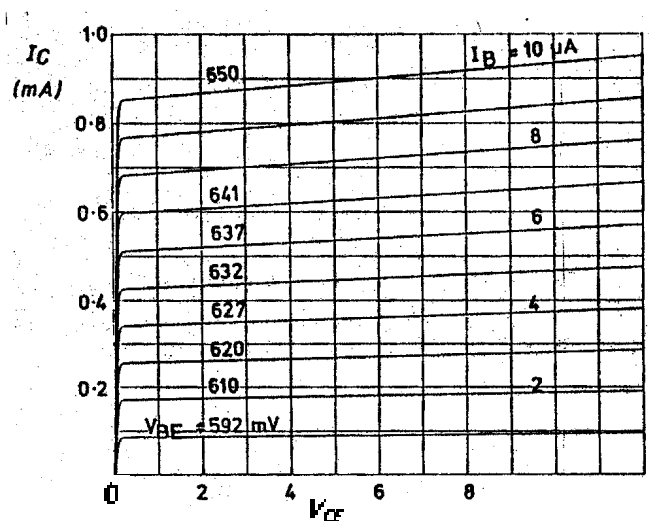
$$i_C \approx i_E = I_o \exp(v_{BE} / V_T) \quad (10.7)$$

Jika v_{BE1}, v_{BE2} memberikan arus i_{C1}, i_{C2} maka kita mempunyai

$$i_{C1} / i_{C2} \approx I_o \exp((v_{BE1} - v_{BE2}) / V_T) \quad (10.8)$$

Dengan demikian kita memberikan indikasi masukan tegangan v_{BE} (dari pada arus masukan i_B) yang diperlukan oleh setiap kurva karakteristik jika kita mengetahui v_{BE} . Untuk suatu transistor dapat berharga sebagai berikut:

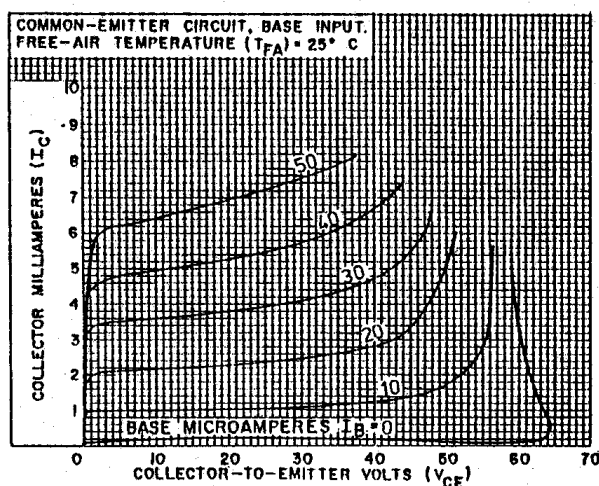
i_B	10	8	6	4	2	μA
v_{BE}	650	644,4	673,3	627,1	609,8	mV



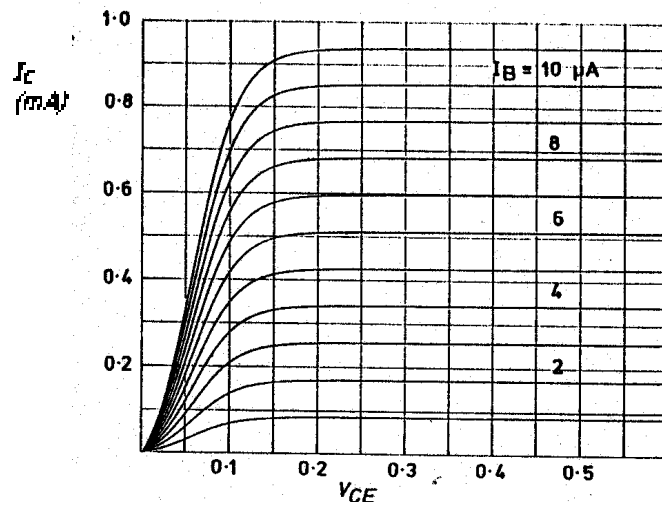
Gambar 10.5 Karakteristik keluaran konfigurasi emitor-bersama

Kurva karakteristik hubungan i_C , i_B dan v_{CE} untuk suatu harga v_{BE} , dari transistor di atas adalah seperti diperlihatkan pada gambar 10.5. Perlu dicatat bahwa besarnya i_C naik secara linier dengan adanya kenaikan i_B (ditunjukkan oleh jarak yang sama antar kurva), namun perubahan i_C terhadap v_{BE} jauh dari kondisi linier (tentu saja mempunyai hubungan eksponensial).

Gambar 10.6 memberikan karakteristik hubungan i_C , i_B dan v_{CE} untuk transistor yang lain lagi, yang memberikan gambaran efek dari pemberian tegangan yang tinggi. Gambar 10.7 memberikan detail dari kurva pada gambar 10.5 untuk tegangan yang rendah.



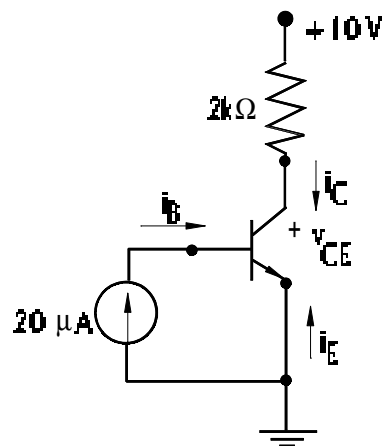
Gambar 10.6 Karakteristik konfigurasi emitor-bersama dengan v_{CE} tinggi.



Gambar 10.7 Karakteristik konfigurasi emitor-bersama dengan v_{CE} rendah.

Contoh

Sebuah transistor silikon $n-p-n$ memiliki $\alpha = 0,99$ dan $I_{CBO} = 10^{-11}$ A terangkai seperti pada gambar di bawah. Perkirakan besarnya i_C , i_E dan v_{CE} . Perhatikan bahwa pada penggambaran rangkaian elektronika, sumber tegangan (baterai) biasanya dihilangkan, diasumsikan bahwa terminal +10V (dalam kasus soal ini) dihubungkan dengan tanah.



Jawab

Pada transistor ini

$$\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha} = \frac{0,99}{1 - 0,99} = \frac{0,99}{0,01} = 99$$

dan besarnya arus *cutoff* kolektor adalah

$$I_{CEO} = (1 + \beta)I_{CBO} = (1 + 99)10^{-11} = 10^{-9} \text{ A}$$

Besarnya arus kolektor adalah

$$i_C = \beta i_B + I_{CEO} = 99 \times 2 \times 10^{-5} + 10^{-9} \cong 1,98 \text{ mA}$$

Seperti telah diharapkan untuk transistor silikon, I_{CEO} merupakan bagian yang sangat kecil dari i_C . Besarnya arus emitor adalah

$$i_E = -(i_B + i_C) = -(0,02 + 1,98)10^{-3} = -2 \text{ mA}$$

Tegangan kolektor-emitor sebesar

$$v_{CE} = 10 - i_C R_C \cong 10 - 2 \text{ (mA)} \times 2 \text{ (k}\Omega) = 6 \text{ V}$$

Karena $v_{CB} = v_{CE} - v_{BE} \cong 6 - 0,7 = +5,3 \text{ V}$, maka sambungan kolektor-basis (*np*) berpanjar mundur seperti yang diperlukan.

10.3 Karakteristik Masukan

Karakteristik transistor lain yang perlu diketahui adalah karakteristik masukan, yaitu hubungan eksponensial *I-V* pada sambungan emitor-basis. Karakteristik masukan pada konfigurasi basis bersama adalah hubungan antara v_{BE} dengan i_E , sedangkan pada konfigurasi emitor-bersama adalah hubungan antara v_{BE} dengan i_B .

10.4 Karakteristik Transfer-Arus

Karakteristik transfer-arus berupa plot i_C terhadap i_B untuk suatu harga v_{CE} tertentu. Ini dapat diperoleh dengan mudah dari karakteristik keluaran. Kemiringan dari kurva yang diperoleh secara langsung akan memberikan harga β dari hubungan

$$i_C = \beta i_B$$

10.5 Perjanjian Simbol

Saat berbicara tentang transistor sebagai penguat, kita akan melihat campuran isyarat DC dan AC, sehingga diperlukan perjanjian untuk memberikan tanda untuk membedakan kedua isyarat tersebut. Kita menggunakan tanda yang sudah baku, misalkan kita mengambil contoh

$$v_{BE} = V_{BE} + v_{be}$$

ini berarti

$$v_{BE} = \text{harga arus sesaat total (AC + DC)}$$

$$V_{BE} = \text{tegangan panjar (DC)}$$

$$v_{be} = \text{harga sesaat ac (= f(t))}$$

Mungkin kita memiliki

$$v_{BE} = V_{BE} + V_{be} \sin \omega t$$

di sini V_{be} = amplitudo harga AC