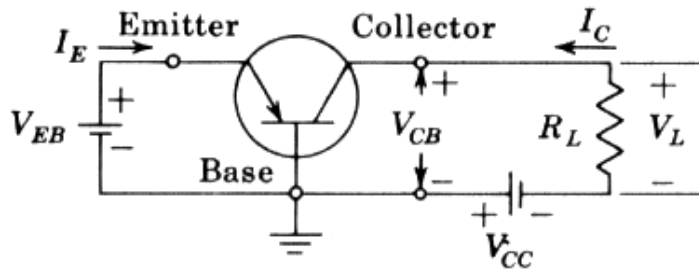


5.5 Konfigurasi Common-Base



Gambar di atas menunjukkan konfigurasi *grounded-base*, yang dinamakan juga *common-base*. Pada transistor *pn*p, komponen utama arusnya adalah *hole*. Karena *hole* mengalir dari emitor menuju kolektor, dan sebagian menuju *ground* pada terminal basis, maka (lihat gambar 5.1) I_E bernilai positif, I_C bernilai negatif, dan I_B bernilai negatif. Untuk *junction* emitor yang terbias maju, V_{EB} bernilai positif, dan untuk *junction* kolektor terbias mundur, V_{CB} bernilai negatif.

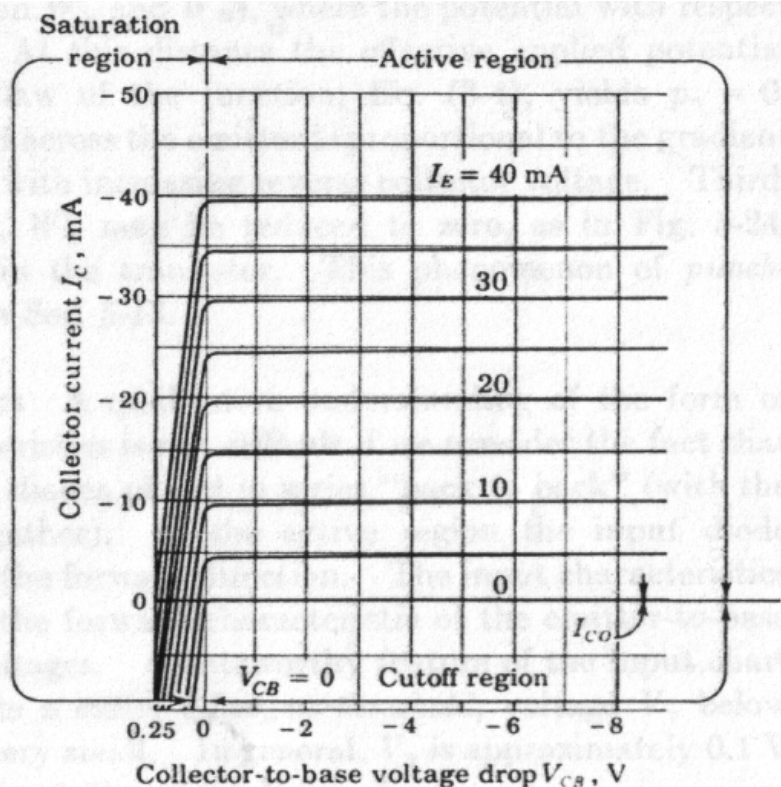
Pada transistor *npn*, seluruh polaritas arus dan tegangan merupakan kebalikan dari transistor *pn*p.

Dari pers.(5.6) terlihat bahwa arus *output*, I_C sepenuhnya ditentukan oleh arus *input* (I_E) dan tegangan *output* (kolektor ke basis) $V_{CB} = V_C$. *Output* ini secara implisit dapat ditulis sbb. :

$$I_C = \phi_2 (V_{CB}, I_E) \quad (5.9)$$

(Baca : I_C merupakan fungsi ϕ_2 dari V_{CB} dan I_E).

Fig. 5-6 Typical common-base output characteristics of a *p-n-p* transistor. The cutoff, active, and saturation regions are indicated. Note the expanded voltage scale in the saturation region.

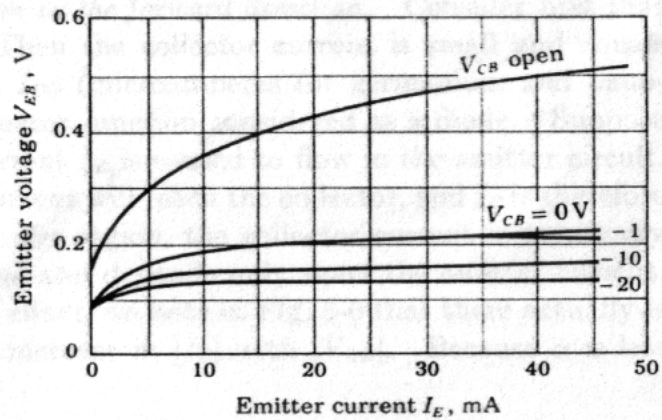


Gambar 5.6 di atas memperlihatkan plot arus I_C terhadap tegangan jatuh kolektor-basis, V_{CB} , dengan arus emitor sebagai parameter, seperti pada persamaan 5.9. Kurva ini dinamakan *karakteristik statis output* atau *karakteristik statis kolektor*. Kurva di atas berlaku untuk transistor *pn*p germanium tertentu.

Jika V_{CB} dan I_E kita perlakukan sebagai variabel independen, tegangan *input* (emitor ke basis) V_{EB} sepenuhnya ditentukan oleh kedua variabel independen tersebut. Bentuk implisit karakteristik input ini adalah :

$$I_{EB} = \phi_1 (V_{CB}, I_E) \quad (5.10)$$

Fig. 5-7 Common-base input characteristics of a typical *p-n-p* germanium junction transistor.



Kurva 5.7 di atas ini berlaku untuk transistor yang sama seperti pada kurva di gambar 5.6, tapi menunjukkan hubungan yang diekspresikan oleh pers. 5.10. Pada gambar tersebut diplot tegangan emitor-basis V_{EB} terhadap arus emitor I_E , dengan parameter tegangan kolektor-basis, V_{CB} . Kurva 5.7 ini dinamakan *karakteristik stats input* atau *karakteristik statis emitor*.

Selanjutnya akan didiskusikan fenomena-fenomena yang ditunjukkan oleh masing-masing kurva di atas.

Efek *Early* atau Modulasi Lebar-Basis

Jika sebelumnya, pada gambar 5.3, ruang sempit yang ditempati oleh muatan di sekitar *junction* diabaikan, maka pada diskusi ini akan diperhatikan secara mendalam. Dari persamaan 3.21 diketahui bahwa *depletion region* W pada dioda akan bertambah jika tegangan *reverse* ditingkatkan. Karena *junction* emitor mendapat bias-maju, sementara *junction* kolektor mendapat bias mundur pada *active region*, maka lebar *barrier* pada J_E relatif bisa diabaikan dibandingkan dengan konsentrasi muatan pada J_C , seperti yang ditunjukkan oleh gambar 5.8 berikut.

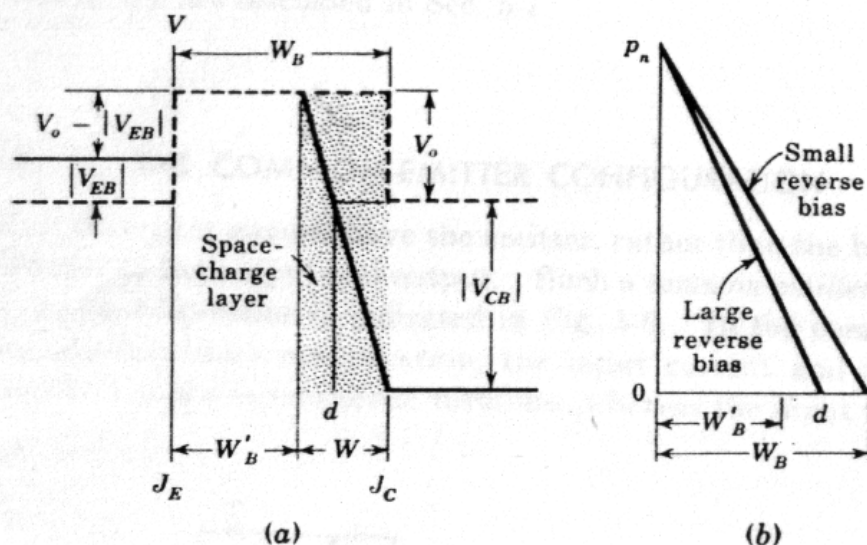


Fig. 5-8 (a) The potential variation through a *p-n-p* transistor. The space-charge width W at the collector junction increases, and hence the effective base width W'_B decreases with increasing $|V_{CB}|$. (Compare with Fig. 5-3.) (b) The injected minority-carrier charge density within the base.

Ingat kembali bahwa pada area transisi (*depletion region*), terdapat tumpukan ion pada kedua sisi *junction*. Jika tegangan (*reverse*) dinaikkan, area transisi akan melebar ke arah basis dan kolektor. Karena netralitas muatan harus dipertahankan, jumlah muatan pada kedua sisi harus sama. Karena *doping* pada basis biasanya lebih kecil dari kolektor, penetrasi daerah transisi ke wilayah basis jadi lebih besar daripada apa yang terjadi pada kolektor. Dengan demikian, *depletion region* pada daerah kolektor dapat diabaikan.

Jika lebar basis metalurgik adalah W_B , maka lebar basis efektif pada saat *junction* diberi tegangan adalah $W_B' = W_B - W$. Modulasi terhadap lebar basis efektif yang disebabkan oleh tegangan kolektor ini, dinamakan *efek Early*. Penyempitan W_B' karena peningkatan tegangan *reverse* pada kolektor akan menimbulkan tiga konsekuensi :

Pertama, peluang terjadinya rekombinasi di basis menjadi lebih kecil. Berarti, α akan meningkat jika $|V_{CB}|$ meningkat. *Ke dua*, gradien konsentrasi *carrier* minoritas p_n akan meningkat di dalam basis, seperti ditunjukkan oleh gambar 5.8b. Perhatikan bahwa p_n menjadi nol pada posisi d (di antara W_B' dan W_B), dimana potensial terhadap basis akan jatuh di bawah V_0 . Pada jarak ini, potensial efektif akan menjadi negatif, dan hukum *junction* pada pers. 3.4, akan menghasilkan $p_n = 0$. Karena arus *hole* yang terinjeksi melalui emitor proporsional terhadap gradien p_n di J_E , maka I_E akan meningkat jika tegangan balik pada kolektor dinaikkan. *Ketiga*, jika tegangan pada kolektor ekstrim sangat besar, W_B' mendekati nol, yang akan menimbulkan *tegangan breakdown* pada transistor. Fenomena ini dinamakan *punch-through*.

Karakteristik input.

Pemahaman kualitatif mengenai karakteristik input dan output transistor tidak akan menjadi sulit, jika kita menganggap transistor terdiri atas dua transistor yang saling berhadapan (kedua katodanya saling bertemu). Pada daerah aktif (*active region*), dioda input (emitor ke basis) mendapat bias maju. Karakteristik input yang ditunjukkan oleh gambar 5.7 pada dasarnya menunjukkan karakteristik dioda emitor-basis pada berbagai tegangan kolektor. Satu hal penting mengenai karakteristik input yaitu adanya tegangan *cutin*, *offset*, atau *threshold*, V_γ , dimana untuk tegangan di bawah V_γ , arus emitor I_E menjadi sangat kecil. Pada umumnya, V_γ bernilai sekitar 0,1 V untuk transistor germanium (Gb.5.7) dan 0.5 V untuk silikon.

Bentuk karakteristik input dapat dipahami jika kita menyadari suatu kenyataan bahwa peningkatan nilai tegangan kolektor akan menimbulkan peningkatan arus emitor (*efek Early*), sementara nilai V_{EB} tidak berubah. Pada gambar 5.7 dapat dilihat bahwa kenaikan nilai $|V_{CB}|$ akan menggeser kurva ke bawah. Kurva dengan kolektor terbuka (tegangan kolektor = 0 V) identik dengan karakteristik dioda emitor yang terbias maju.

Karakteristik Output

Merupakan suatu hal yang biasa untuk membuat plot secara terbalik seperti pada gambar 5.6, dimana polaritas negatif V_{CB} (karena *reverse bias*) diplot pada absis kanan (biasanya absis ini untuk polaritas positif). Jika $I_E = 0$, arus kolektor menjadi $I_C = I_{C0}$. Untuk nilai I_E yang lain, arus *reverse* pada dioda-output diperkuat oleh sejumlah fraksi arus dari dioda-input (yang terbias maju). Perhatikan bahwa I_C dan I_{C0} bernilai negatif untuk transistor *pnp* dan positif untuk *nnp*.

Active Region

Di dalam daerah ini, *junction kolektor mendapat bias mundur dan junction emitor mendapat bias maju*. Anggap dulu bahwa arus emitor bernilai nol. Dalam keadaan ini, arus kolektor kecil dan sama dengan arus saturasi balik I_{C0} (mikroamper untuk germanium dan nanoampere untuk silikon) dan *junction* ini berlaku seperti dioda. Andaikan sekarang terdapat arus emitor I_E . Satu fraksi arus sebesar $-\alpha I_E$ akan mencapai kolektor, dan arus I_C menjadi seperti apa yang ditunjukkan oleh pers.5.3. Di dalam daerah aktif (*active region*), arus kolektor independen terhadap tegangan kolektor dan hanya tergantung pada arus emitor. Namun demikian, karena efek Early, terdapat pengaruh $|V_{CB}|$ berupa kenaikan $|I_C|$ walaupun hanya 0,5 persen. Karena α lebih kecil dari satu (tapi mendekati satu), arus kolektor sedikit lebih kecil dari arus emitor.

Daerah saturasi (*saturation region*)

Daerah dimana *junction emitor maupun kolektor mendapat bias maju (forward biased)* dinamakan daerah saturasi. Daerah ini terdapat di bagian kiri ordinat, dimana $V_{CB} = 0$ dan di atas karakteristik $I_E = 0$. Di sini dapat dikatakan terjadi proses "*bottoming*" karena tegangan akan merosot drastis hingga mendekati dasar, pada saat $V_{CB} \approx 0$. Sebenarnya V_{CB} di daerah ini bernilai positif (untuk *pnp*, walau nilainya kecil), dan bias maju pada kolektor ini menimbulkan perubahan arus kolektor yang besar melalui perubahan tegangan kolektor yang kecil. Dalam keadaan terbias maju, I_C naik secara eksponensial terhadap tegangan mengikuti hubungan dioda pada pers.3.9. Bias maju dapat diartikan bahwa sisi *p* (kolektor) dibuat lebih positif dibandingkan dengan sisi *n* (basis), sehingga terjadi aliran *hole* dari kolektor (*p*) menuju basis (*n*). Dengan demikian arus kolektor akan naik secara drastis dan I_C dapat bernilai positif jika bias maju bernilai cukup besar, seperti yang ditunjukkan oleh gambar 5.6.

Daerah Cutoff

Karakteristik untuk kondisi dimana $I_E = 0$ melewati titik origin, namun dalam hal lain sama seperti karakteristik-karakteristik lain. Karakteristik ini sebenarnya tidak berhimpitan dengan sumbu tegangan, namun hal ini sulit untuk diperlihatkan mengingat I_{C0} bernilai hanya beberapa nano- atau mikroamper. Daerah di bawah $I_E = 0$, dimana *junction emitor dan kolektor sama-sama terbias mundur* dinamakan *cutoff region*. Karakteristik suhu dari I_{C0} akan dibahas pada bagian 5.7.

5.6 Konfigurasi Common-Emitter

Konfigurasi *common-emitter*, yang menggunakan emitor sebagai *terminal common* untuk input dan output, lebih sering digunakan pada rangkaian transistor dibandingkan dengan *common-base*. Pada konfigurasi *common-emitter* (seperti juga pada *common-base*), arus input dan tegangan output dijadikan variabel independen, sementara tegangan input dan arus output merupakan variabel independen. Hal ini dapat dinyatakan sbb. :

$$V_{BE} = f_1(V_{CE}, I_B) \quad (5.11)$$

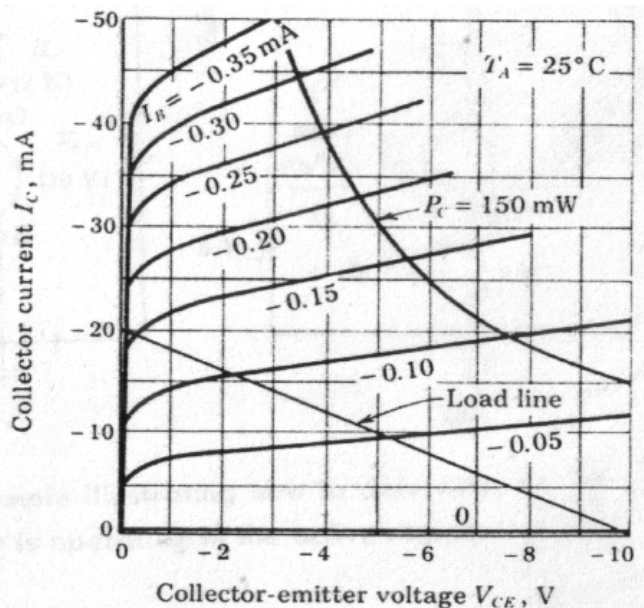
$$I_C = f_2(V_{CE}, I_B) \quad (5.12)$$

Persamaan 5.11 menggambarkan hubungan pada kurva karakteristik input, dan pers. 5.12 menggambarkan hubungan pada kurva karakteristik output. Gambar 5.10 dan 5.11 berikut ini berturut-turut menunjukkan kurva karakteristik transistor *pnp*

germanium. Pada gambar 5.10, absis merupakan tegangan kolektor-ke-emitor, V_{CE} , sementara ordinatnya merupakan arus kolektor I_C . Pada grafik terlihat kurva untuk beberapa nilai arus basis I_B . Jika arus I_B konstan, arus kolektor tidak terlalu sensitif terhadap V_{CE} . Namun, gradien kurva pada gambar 5.10 lebih besar dari gradien kurva pada karakteristik *common-base* di gambar.5.6. Perhatikan juga bahwa arus basis jauh lebih kecil dari arus emitor.

Lokus semua titik dimana disipasi kolektor bernilai 150 mW ditunjukkan pada gambar 5.10 dalam bentuk garis $P_C = 150 \text{ mW}$. Kurva ini berbentuk hiperbola $P_C = V_{CB}I_C \approx V_{CE}I_C = \text{konstan}$. Pada bagian kanan kurva ini, disipasi kolektor jadi berlebihan. Untuk gambar 5.10, digunakan $R_L = 500 \Omega$ dan sumber tegangan $V_{CC} = 10\text{V}$, dimana garis bebannya digambarkan pada karakteristik output. Cara membuat garis beban sama seperti yang digunakan pada dioda.

Fig. 5-10 Typical common-emitter output characteristics of a *p-n-p* germanium junction transistor. A load line corresponding to $V_{CC} = 10 \text{ V}$ and $R_L = 500 \Omega$ is superimposed. (Courtesy of Texas Instruments, Inc.)



Karakteristik Input

Pada gambar 5.11, absis merupakan arus basis I_B dan ordinat adalah tegangan basis-emitor, V_{BE} . Kurva dibuat untuk beberapa nilai tegangan kolektor-emitor V_{CE} .

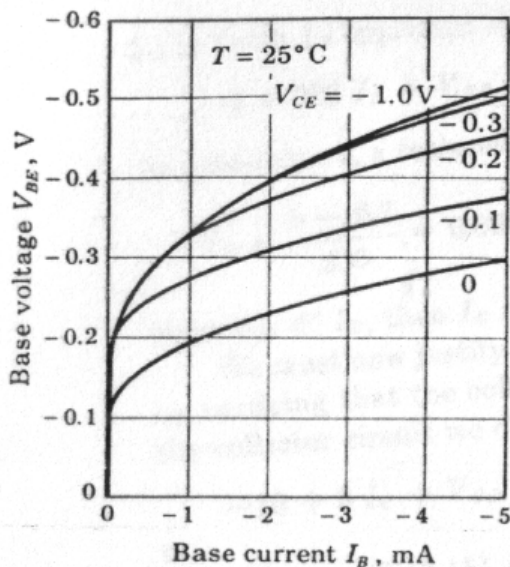


Fig. 5-11 Typical common-emitter input characteristics of the *p-n-p* germanium junction transistor of Fig. 5-10.

Jika kolektor dihubungkan secara langsung (*shorted*) ke emitor dan emitor diberi bias maju, maka karakteristik input menyerupai karakteristik dioda terbias maju. Jika V_{BE} bernilai nol, maka I_B juga nol, karena dalam kondisi ini, *junction* emitor dan kolektor akan terhubung (*short-circuited*). Secara umum, kenaikan $|V_{CE}|$ dengan V_{BE} konstan

menimbulkan penyempitan basis W_B' (gambar 5.8) dan menyebabkan berkurangnya arus rekombinasi pada basis. Hal ini menentukan bentuk kurva karakteristik input, yang ditunjukkan oleh gambar 5.11.

Karakteristik input untuk transistor silikon mirip dengan gambar 5.11. Satu-satunya perbedaan pada silikon adalah kurva arus meningkat pada rentang tegangan 0,5 – 0,6 V, sementara pada germanium 0,1 – 0,2 V.

Karakteristik output

Kurva karakteristik ini dapat dibagi atas tiga bagian, seperti yang dilakukan pada konfigurasi CB (*Common Base*), yaitu *active region*, *cutoff region*, dan *saturation region*. Yang pertama akan di bahas di sini, sementara dua lainnya akan dibahas di subbagian lain.

Pada *active region*, *junction kolektor mendapat bias mundur dan junction emitor mendapat bias maju*. Pada gambar 5.10, *active region* adalah daerah di sebelah kanan ordinat $V_{CE} = \text{persepuluhan volt}$ dan di atas $I_B = 0$. Pada daerah ini, arus output transistor sangat sensitif dalam merespon sinyal input. Jika transistor digunakan sebagai perangkat penguat dengan distorsi kecil, transistor harus dijaga agar tetap bekerja dalam daerah ini.

Karakteristik *common-emitter* pada daerah aktif dapat dipahami dengan mudah didasari oleh pembahasan sebelumnya mengenai konfigurasi *common-base*. Dari hukum Kirchoff untuk arus (KCL) yang diaplikasikan pada gambar 6.9, arus basis :

$$I_B = -(I_C + I_E) \quad (5.13)$$

Jika persamaan ini digabung dengan pers.5.3 akan diperoleh :

$$I_C = \frac{I_{CO}}{1 - \alpha} + \frac{\alpha I_B}{1 - \alpha} \quad (5.14)$$

Jika β didefinisikan sebagai berikut :

$$\beta \equiv \frac{\alpha}{1 - \alpha} \quad (5.15)$$

maka pers. 5.14 menjadi

$$I_C = (1 + \beta)I_{CO} + \beta I_B \quad (5.16)$$

Perhatikan bahwa biasanya $I_B \gg I_{CO}$, dan oleh karena itu $I_C \approx \beta I_B$ pada *active region*.

Jika α benar-benar konstan, maka menurut pers 5.14 I_C independen terhadap V_{CE} dan kurva pada gambar 5.10 menjadi horisontal. Asumsikan (karena efek Early) α naik sebesar 0,5% dari 0,98 menjadi 0,985, karena kenaikan $|V_{CE}|$ sebesar beberapa volt hingga 10 V. Dalam keadaan ini, β naik dari $0,98/(1 - 0,98) = 49$ hingga $0,985/(1 - 0,985) = 66$, atau sekitar 34 persen. Contoh numerik ini menunjukkan bahwa perubahan α yang sangat kecil akan merefleksikan perubahan β sebesar 34%. Dari sini jelas bahwa perubahan kecil terhadap α menimbulkan efek besar terhadap β , demikian juga terhadap kurva *common-emitter*. Oleh karena itu, karakteristik

common-emitter biasanya menjadi subyek perubahan parameter pada transistor. Variabilitas ini disebabkan oleh sebuah kenyataan bahwa I_B adalah selisih antara I_E dan I_C .

Contoh (a) tentukan arus transistor pada rangkaian di gambar 5.12a. Transistor yang digunakan adalah transistor dengan $\beta = 100$ dan $I_{CO} = 20 \text{ nA} = 2 \times 10^{-5} \text{ mA}$. (b) Ulangi soal a jika resistor emitor 2 K ditambahkan pada rangkaian seperti pada gambar 5.12b.

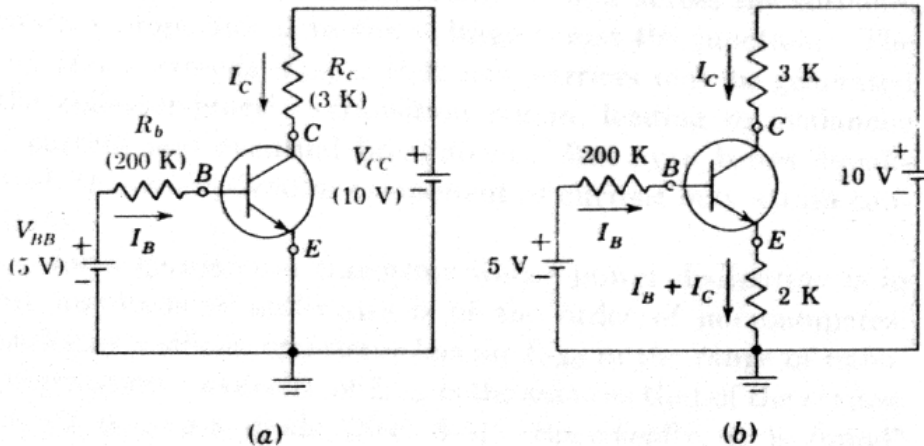


Fig. 5-12 An example illustrating how to determine whether or not a transistor is operating in the active region.

Jawab :

(a) Karena basis mendapat bias maju, maka transistor tidak berada dalam keadaan *cut off*, melainkan dalam *active region* atau saturasi. Diasumsikan transistor beroperasi dalam *active region*. Dari hukum Kirchoff untuk tegangan (KVL) yang diaplikasikan pada basis rangkaian pada gambar 5.12a (I_B dinyatakan dalam satuan miliamper), kita dapatkan :

$$-5 + 200 I_B + V_{BE} = 0$$

Dari uraian di atas, nilai V_{BE} yang layak adalah 0,7 V pada *active region*, sehingga:

$$I_B = \frac{5 - 0,7}{200} = 0,0215 \text{ mA}$$

Karena $I_{CO} \ll I_B$, maka $I_C \approx \beta I_B = 2,15 \text{ mA}$.

Kita perlu memastikan asumsi tadi bahwa transistor berada dalam *active region*, dengan jalan melihat apakah kolektor mendapat bias mundur. Dari KVL yang diaplikasikan pada rangkaian kolektor, didapatkan :

$$-10 + 3 I_C + V_{CB} + V_{BE} = 0$$

atau

$$V_{CB} = -(3)(2,15) + 10 - 0,7 = +2,85 \text{ V}$$

Untuk perangkat *npn*, nilai V_{CB} positif menunjukkan bahwa *junction* kolektor mendapat bias mundur, sehingga terbukti bahwa transistor berada di *active region*.

Perhatikan bahwa I_B dan I_C di *active region* independen terhadap resistansi rangkaian kolektor R_C . Selanjutnya, jika R_C dinaikkan jauh di atas 3 K maka V_{CB} berubah dari positif menjadi negatif, yang berarti transistor tidak lagi berada dalam *active region*, melainkan *saturasi*. Metode untuk menghitung I_B dan I_C jika transistor sedang saturasi akan dibahas pada subbagian 5.9.

(b) Arus pada resistor emitor di gambar 5.12b adalah :

$$I_B + I_C \approx I_B + \beta I_B = 101 I_B,$$

dengan asumsi $I_{CO} \ll I_B$.

Melalui KVL terhadap rangkaian basis, akan diperoleh :

$$-5 + 200I_B + 0,7 + (2)(101I_B) = 0$$

atau

$$I_B = 0,0107 \text{ mA} ; I_C = 100 I_B = 1,07 \text{ mA}$$

Perhatikan bahwa $I_{CO} = 2 \times 10^{-5} \text{ mA} \ll I_B$, persis seperti asumsi.

Untuk melihat bahwa rangkaian beroperasi aktif, kita hitung V_{CB} . Sehingga

$$\begin{aligned} V_{CB} &= -3I_C + 10 - (2)(101)I_B - 0,65 \\ &= -(3)(1,07) + 10 - (2)(101)(0,0107) - 0,7 = +3,93 \text{ V} \end{aligned}$$

Karena V_{CB} positif, maka transistor *npn* ini sedang dalam *active region*.

5.7 Cutoff Region Konfigurasi CE

Kita mungkin cenderung berpikir bahwa *cutoff* pada gambar 5.10 terjadi pada perpotongan garis beban dengan arus $I_B = 0$; namun kita melihat arus kolektor yang cukup berarti pada kondisi ini. Dari pers. 5.13 dan 5.14, jika $I_B = 0$, maka $I_E = -I_C$ dan

$$I_C = -I_E = \frac{I_{CO}}{1 - \alpha} \equiv I_{CEO} \quad (5.17)$$

Arus kolektor aktual dengan *junction* kolektor terbias mundur dan basis *open-circuited* ditunjukkan dengan simbol I_{CEO} . Karena α bernilai sekitar 0,9 untuk germanium (bahkan di dekat daerah *cutoff*), sehingga $I_C \approx 10 I_{CO}$ ketika arus basis nol. Dengan demikian, untuk membuat transistor menjadi *cutoff*, tidak cukup hanya dengan membuat $I_B = 0$, diperlukan juga bias mundur yang kecil pada *junction* emitor. Kondisi *cutoff* dinyatakan tercapai jika arus kolektor sama dengan arus saturasi balik I_{CO} dan arus emitor sama dengan nol. Diketahui juga bahwa tegangan bias mundur berorde 0,1 V pada *junction* emitor cukup untuk membuat *cutoff* transistor germanium. Pada silikon, dimana arus kolektor berorde I_{CO} , α sangat mendekati nol, karena rekombinasi pada daerah transisi *junction* emitor. Dengan demikian, bahkan dengan $I_B = 0$, dari persamaan 5.17 kita dapatkan bahwa $I_C = I_{CO} = -I_E$, sehingga transistor masih sangat dekat ke *cutoff*.

Dapat disimpulkan, cutoff berarti bahwa $I_E = 0$, $I_C = I_{CO}$, $I_B = -I_C = -I_{CO}$, dan V_{BE} adalah tegangan balik yang memiliki orde nilai 0,1 V untuk transistor germanium dan 0 V untuk transistor silikon.

Arus saturasi balik kolektor I_{CBO}

Arus kolektor pada transistor fisis (*real*, nonideal, komersial) pada saat arus emitor bernilai nol disimbolkan dengan I_{CBO} . Dua hal yang berkaitan membuat $|I_{CBO}|$ lebih besar dari $|I_{CO}|$. Pertama, terdapat kebocoran arus yang mengalir tidak melalui *junction*, melainkan melalui sisi dan permukaan. Kebocoran arus proporsional dengan tegangan *junction*. Alasan ke dua mengapa $|I_{CBO}| > |I_{CO}|$ adalah terdapatnya *carrier-carrier* baru yang dihasilkan oleh tumbukan-tumbukan di daerah transisi *junction* kolektor, yang mengarah ke multiplikasi arus *avalanche* dan kemungkinan *breakdown*.

Pada 25°C , I_{CBO} untuk transistor germanium, yang disipasi dayanya bernilai beberapa milliwat, memiliki orde mikroamper. Dalam kondisi yang sama, transistor silikon memiliki I_{CBO} dalam orde nanoamper. Sensitivitas temperatur I_{CBO} sama seperti sensitivitas arus saturasi balik pada *junction* dioda (subbagian 3.5). Artinya, I_{CBO} akan menjadi dua kali lipat untuk setiap kenaikan suhu 10°C . Karena nilai absolut I_{CBO} di silikon lebih rendah, maka transistor silikon dapat digunakan hingga suhu 200°C , sementara transistor germanium dibatasi hingga 100°C .

Analisis rangkaian pada *Cutoff*

Karena pengaruh suhu, multiplikasi *avalanche*, dan keragaman yang luas dari satu berbagai jenis transistor, nilai I_{CBO} dapat bernilai puluhan miliamper (bahkan untuk silikon).

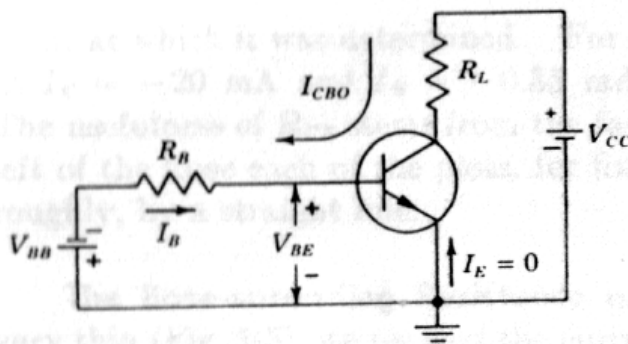


Fig. 5-13 Reverse biasing of the emitter junction to maintain the transistor in cutoff in the presence of the reverse saturation current I_{CBO} through R_B .

Untuk rangkaian pada gambar 5.13 di atas, V_{BB} menunjukkan tegangan bias yang dimaksudkan untuk mempertahankan kondisi *cutoff* transistor. Andaikan transistor berada dalam kondisi *cutoff* dimana $I_E = 0$, sehingga $I_B = -I_{CBO}$. Jika disyaratkan bahwa pada *cutoff* $V_{BE} \approx -0,1 \text{ V}$, maka

$$V_{BE} = -V_{BB} + R_B I_{CBO} \leq -0,1 \text{ V} \quad (5.18)$$

Satu contoh ekstrim, andaikan R_B bernilai 100 K dan kita inginkan I_{CBO} bernilai $100 \mu\text{A}$. Di sini V_{BB} paling tidak harus bernilai 10,1 V. Jika I_{CBO} kecil, tegangan *junction* basis-emitor menjadi 10,1 V. Dengan demikian, kita harus menggunakan transistor yang tegangan balik maksimum yang diizinkan untuk *junction* basis-emitor sebelum terjadi *breakdown*, lebih besar dari 10 V.

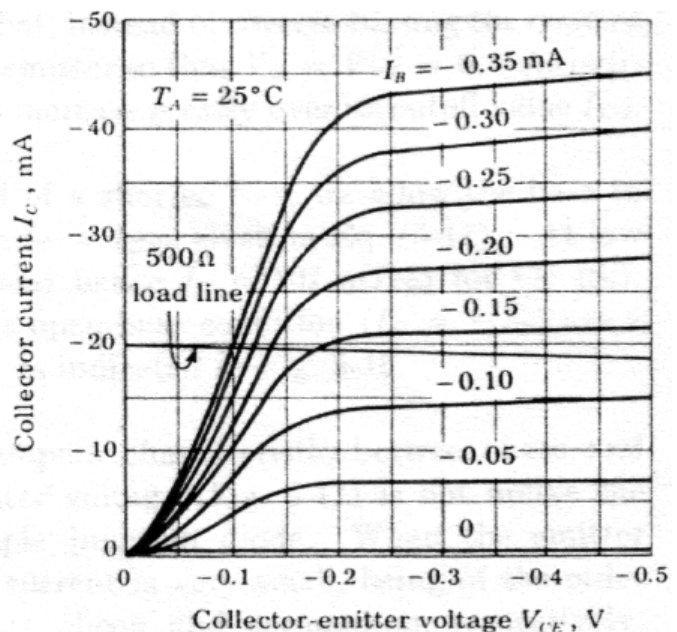
5.8 Daerah Saturasi (*Saturation Region*) CE

Di dalam daerah saturasi, *junction* kolektor (juga *junction* emitor) mendapat bias maju (*forward biased*) minimal sebesar tegangan cutin. Karena tegangan V_{BE} (atau V_{BC}) pada *junction* yang terbias maju memiliki nilai sepersepuluhan volt, $V_{CE} = V_{BE} - V_{BE}$ juga memiliki nilai sepersepuluhan volt pada daerah saturasi. Jadi, pada gambar 5.10, daerah saturasi lebih dekat ke sumbu tegangan-nol, dimana seluruh kurva

menyatu dan meluncur jatuh dengan cepat menuju titik pusat. Sebuah garis beban dibuat pada kurva karakteristik di gambar 5.10 untuk resistansi $R_L = 500 \Omega$ dan sumber tegangan 10 V. Terlihat bahwa di daerah saturasi arus kolektor hampir independen terhadap arus basis, untuk nilai V_{CC} dan R_L yang sedang digunakan. Jadi kita bisa menganggap bahwa momen saturasi terjadi pada lekukan kurva transistor di gambar 5.10 Saturasi terjadi terhadap suatu garis beban dengan arus basis $-0,17 \text{ mA}$, dan pada titik ini tegangan kolektor menjadi terlalu kecil untuk bisa di baca pada gambar 5.10. Dalam keadaan saturasi, arus kolektor secara nominal adalah V_{CC}/R_L , dan karena R_L kecil, V_{CC} perlu dijaga agar tetap kecil supaya transistor tetap beroperasi dalam batasan arus maksimum dan disipasi.

Kita tidak dapat membaca tegangan saturasi kolektor-emitor, $V_{CE,sat}$ secara presisi dari plot di gambar 5.10. Lebih baik untuk mengacu pada karakteristik yang diperlihatkan pada gambar 5.14. Dalam karakteristik ini, daerah 0 hingga 0,5 V di gambar 5.10 telah diperlebar, dan digunakan garis beban yang sama seperti sebelumnya untuk $R_L = 500 \Omega$. Terlihat dari gambar 5.10 dan 5.14 bahwa V_{CE} dan I_C tidak memberi pengaruh yang berarti terhadap I_B setelah arus basis ini mencapai nilai $-0,15 \text{ mA}$. Dengan arus ini, transistor memasuki daerah saturasi. Untuk $I_B = -0,15 \text{ mA}$, $|V_{CE}| \approx 175 \text{ mV}$. Untuk $I_B = -0,35 \text{ mA}$, $|V_{CE}|$ drop menjadi $|V_{CE}| \approx 100 \text{ mV}$. Nilai I_B yang lebih akan semakin menurunkan nilai $|V_{CE}|$.

Fig. 5-14 Saturation-region common-emitter characteristics of the type 2N404 germanium transistor. A load line corresponding to $V_{CC} = 10 \text{ V}$ and $R_L = 500 \Omega$ is superimposed. (Courtesy of Texas Instruments, Inc.)



Resistansi Saturasi

Untuk transistor yang beroperasi di daerah saturasi, parameter yang menarik adalah rasio $V_{CE,sat}/I_C$. Parameter ini dinamakan *resistansi saturasi common-emitter*. Sering juga disimbolkan dengan R_{CS} , R_{CES} , atau $R_{CE,sat}$. Untuk menentukan R_{CS} , kita harus menentukan titik mana yang digunakan. Sebagai contoh, dari gambar 5.14 di atas, terlihat bahwa pada $I_C = -20 \text{ mA}$ dan $I_B = -0,35 \text{ mA}$, $R_{CS} \approx -0,1/(-20 \times 10^{-3}) = 5 \Omega$. Kegunaan dari R_{CS} terlihat dari kenyataan yang diperlihatkan gambar 5.13, dimana di bagian kiri plot I_B mendekati bentuk garis lurus.

Resistansi *base-spreading* r_{bb}' .

Ingat kembali lebar daerah basis yang sangat kecil (gambar 5.5), dimana arus yang memasuki basis melalui *junction* emitor harus mengalir melalui jalur sempit untuk mencapai terminal basis. Penampang aliran arus di dalam kolektor (atau emitor) jauh lebih besar dari yang ada di basis. Dengan demikian, biasanya resistansi ohmik basis

jauh lebih besar dari resistansi ohmik kolektor atau emitor. Resistansi basis ohmik dc yang disimbolkan dengan r_{bb}' , dinamakan *resistansi base-spreading*, yang memiliki nilai sekitar 100 Ω .

Koefisien temperatur tegangan saturasi.

Karena kedua *junction* mendapat bias maju, maka nilai yang layak untuk $V_{BE.sat}$ atau $V_{BC.sat}$ adalah $-0,5 \text{ mV}/^\circ\text{C}$. Dalam daerah saturasi, transistor berisi dua dioda terbias maju yang saling berhadapan. Jadi, pengaruh terhadap tegangan terinduksi-suhu yang ditimbulkan satu dioda pada dioda lain perlu diantisipasi.

Gain arus DC, h_{fe}

Satu parameter transistor yang penting adalah I_C/I_B , dengan I_C adalah arus kolektor dan I_B adalah arus basis. Besaran ini disimbolkan dengan β_{dc} atau h_{fe} , yang dikenal sebagai (nilai negatif dari) *dc beta*, *rasio transfer arus maju (dc forward current transfer ratio)*, atau *gain arus dc (dc current gain)*.

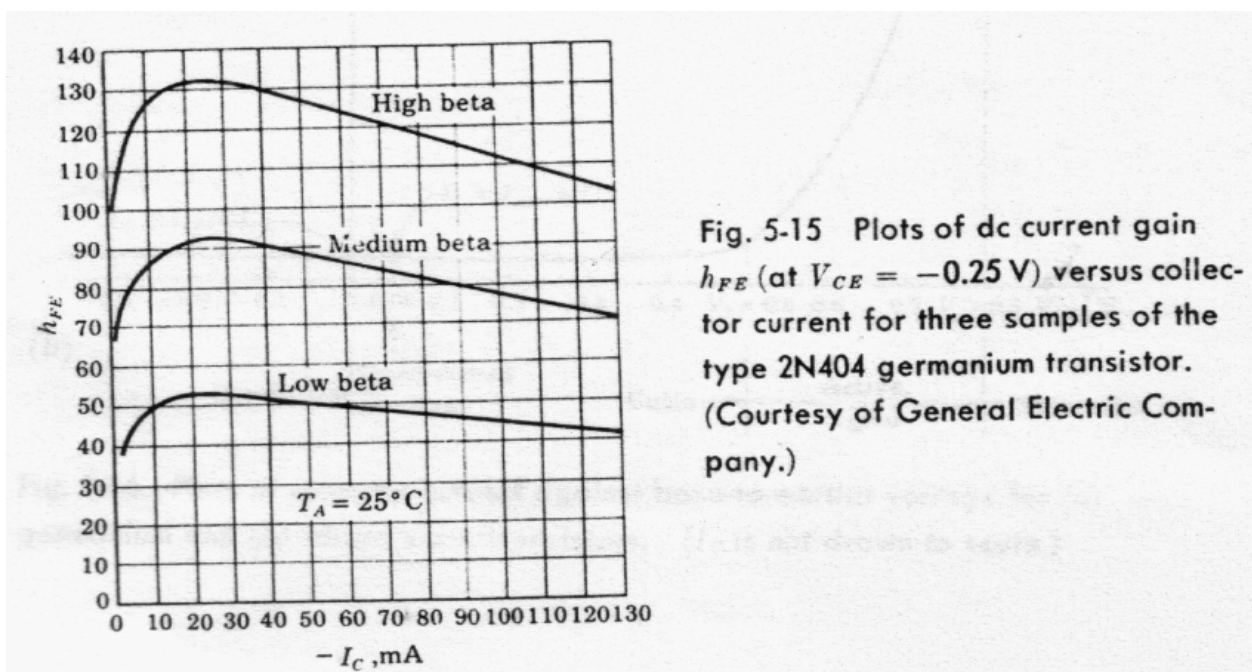


Fig. 5-15 Plots of dc current gain h_{FE} (at $V_{CE} = -0.25 \text{ V}$) versus collector current for three samples of the type 2N404 germanium transistor. (Courtesy of General Electric Company.)

Di dalam daerah saturasi, parameter h_{fe} sangat penting, dan merupakan salah satu parameter yang tercantum pada lembar data transistor, jika menyangkut *switching transistor*. Kita tahu $|I_C|$, yang pendekatan nilainya diperoleh dari V_{CC}/R_L , dan h_{fe} memberitahu kita nilai arus minimum (I_C/h_{fe}) yang diperlukan untuk membuat transistor saturasi. Untuk transistor tipe 2N404, variasi h_{fe} terhadap arus kolektor dengan nilai V_{CE} yang rendah ditunjukkan oleh gambar 5.15 di atas. Transistor komersial biasanya memiliki h_{fe} dalam kisaran 10 hingga 150 pada arus kolektor sekecil 5 mA dan sebesar 30 A.

5.9 Nilai-Nilai Tegangan Junction Transistor

Karakteristik yang diplot pada gambar 5.16, berupa arus output I_C sebagai fungsi dari tegangan input V_{BE} untuk transistor germanium *npn* dan silikon, memperlihatkan beberapa daerah operasi rangkaian transistor CE. Nilai-nilai yang ditunjukkan adalah nilai-nilai umum yang diperoleh melalui eksperimen atau persamaan teoretis. Berikut adalah uraian mengenai rincian informasi pada kurva transfer gambar 5.16.

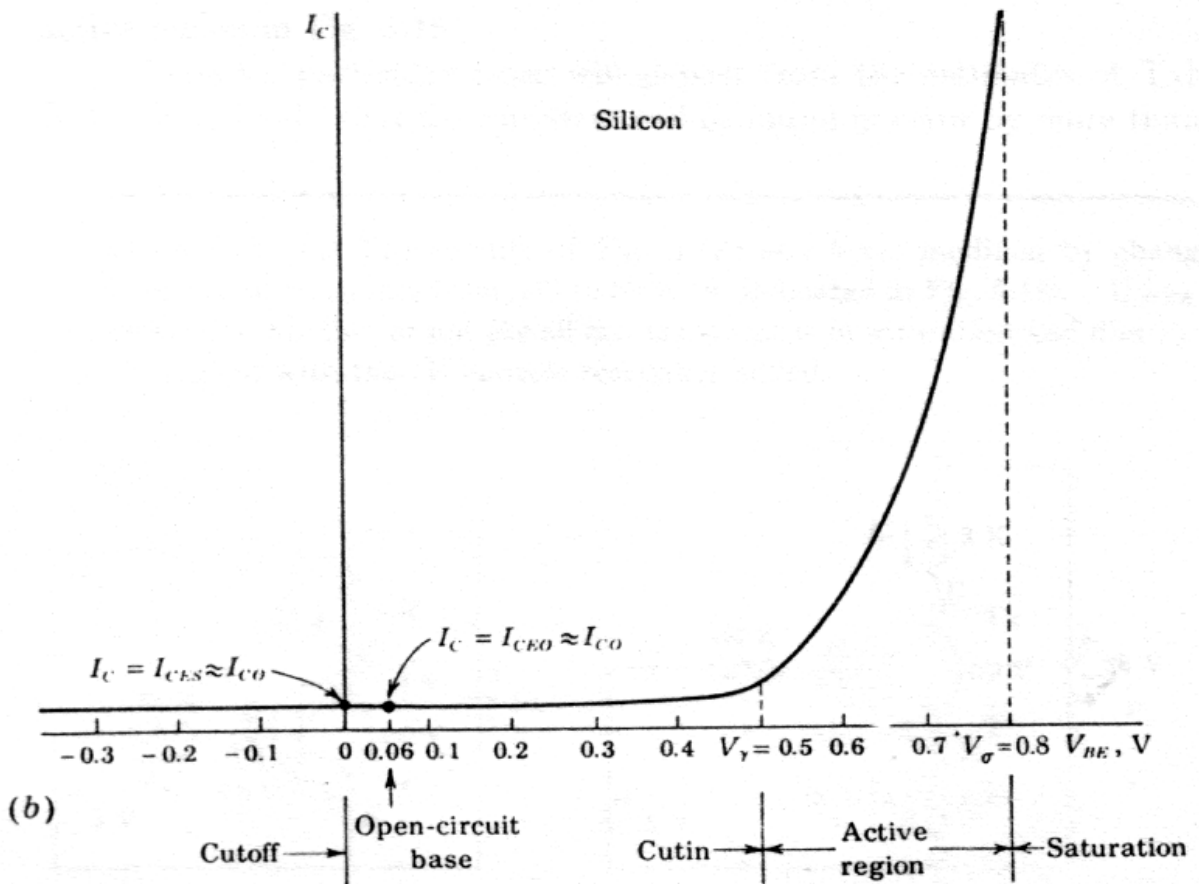
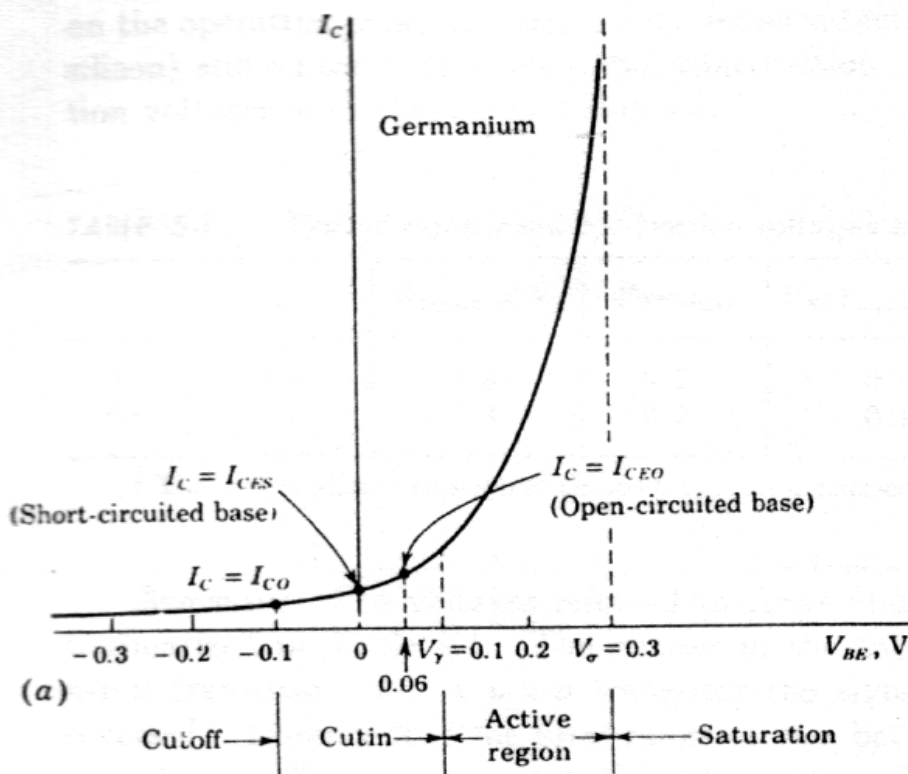


Fig. 5-16 Plots of collector current against base-to-emitter voltage for (a) germanium and (b) silicon $n-p-n$ transistors. (I_C is not drawn to scale.)