

14

PENGUAT GANDENGAN DC

Dalam praktek biasanya untuk memperoleh suatu penguatan yang cukup besar, dapat dilakukan dengan menggandeng beberapa penguat atau biasa dikenal dengan penguat bertingkat. Untuk menjaga agar tegangan panjar (*bias*) pada suatu tahap tidak terganggu oleh tahap sebelum dan berikutnya, maka antara penguat-penguat tersebut dipisahkan dengan kapasitor. Rangkaian semacam ini lebih dikenal dengan penguat gandengan RC. Penguat gandengan RC hanya bekerja untuk isyarat AC.

Bila isyarat berupa arus/tegangan DC atau bolak-balik dengan frekuensi sangat rendah, maka diperlukan rangkaian penguat gandengan DC. Pada penguat ini, antara transistor yang satu dengan yang lainnya dihubungkan secara langsung. Ada beberapa cara untuk memperoleh penguat gandengan DC diantaranya adalah penguat diferensial dan penguat hubungan Darlington.

Penguat yang muthakhir tersusun sebagai rangkaian terpadu (*integrated circuit-IC*). Dengan IC memungkinkan kita untuk menyusun ribuan transistor ke dalam suatu permukaan silikon (*chip*) dengan luas hanya beberapa mm². Satu hal yang menguntungkan dengan IC adalah dengan tanpa kapasitor, kita dapat menghasilkan penguat dengan frekuensi respon sampai mendekati DC.

14.1 Penguat Diferensial

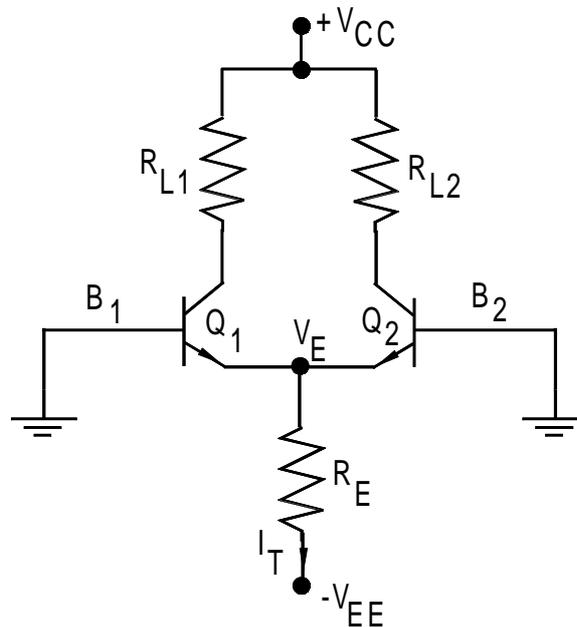
Untuk mengerti bagaimana penguat diferensial bekerja, perlu kita pelajari keadaan panjar DC dari rangkaian dasarnya seperti ditunjukkan pada gambar 14.1. Masukan dapat diumpangkan pada ujung-ujung basis B₁ dan B₂. Perbedaan (*difference*) isyarat pada kedua ujung inilah yang akan dikuatkan, sehingga kita menyebutnya sebagai penguat diferensial.

Cara menghitung keadaan panjar dari penguat tersebut tidak berbeda dengan pada penguat transistor tunggal. Dengan kedua basis ditanahkan seperti pada gambar 14.1, kita mempunyai

$$V_E \approx -0,6 \text{ volt karena}$$

$$V_{BE} \approx -0,6 \text{ volt}$$

dengan salah satu atau kedua transistor yang bekerja.



Gambar 14.1 Rangkaian dasar penguat deferensial

Permasalahannya adalah bagaimana membuat kedua transistor bekerja secara sama. Selama keduanya mempunyai tegangan basis yang sama (0 volt) dan tegangan emitor yang sama ($\sim -0,6$ volt), keduanya mempunyai karakteristik yang identik. Khususnya, karena

$$-i_E = I_o \exp\left\{\left(\frac{v_{BE}}{V_T}\right) - 1\right\}$$

kita memerlukan transistor dengan harga I_o yang hampir sama. Kenyataannya I_o berharga sangat variatif untuk satu transistor ke transistor lainnya dan juga terhadap

temperatur sehingga untuk mendapatkan pasangan I_o yang serasi terkadang menjadi masalah yang serius.

Namun demikian saat dua transistor dibuat bertetangga pada rangkaian terintegrasi, maka mereka akan memiliki karakteristik dasar dan temperatur yang relatif sama dan secara otomatis akan menjadi serasi. Salah satu ukuran keserasian tersebut adalah dengan melihat harga “tegangan offset masukan”, yaitu selisih antara kedua harga V_{BE} , diperlukan untuk menjamin adanya kesamaan arus yang mengalir. Biasanya selisih ini berharga dari $50 \mu\text{V} - 5 \text{mV}$.

Arus total yang melewati kedua emitor adalah

$$I_T = (-0,6 - (-V_{EE})) / R_E \quad (14.1)$$

karenanya untuk dua transistor yang identik kedua arus emitor adalah sebesar

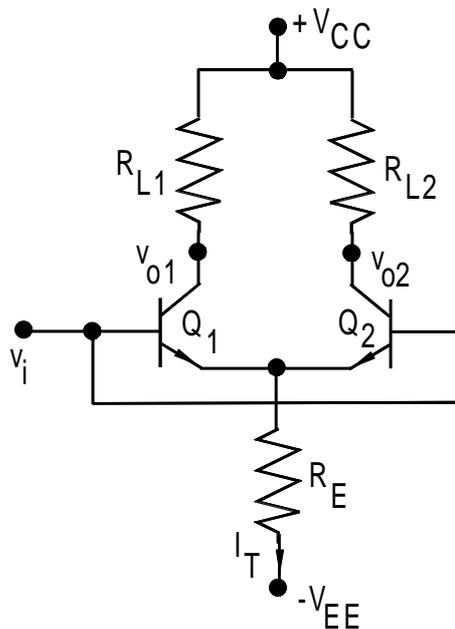
$$I_{E1} = I_{E2} = I_T / 2 \quad (14.2)$$

Besarnya arus kolektor keduanya adalah hampir sama dengan harga arus emitor di atas, sehingga kedua tegangan kolektor adalah sebesar

$$V_{C1} = V_{C2} = V_{CC} - I_E R_L \quad (14.3)$$

14.2 Pengoperasian Modus Bersama (*Common-mode Operation -CM*)

Rangkaian pada gambar 14.2 memperlihatkan bahwa isyarat v_i diumpankan pada kedua basis. Karena v_i dipakai bersama sebagai masukan, maka keadaan ini disebut “masukan modus bersama”



Gambar 14.2 Pengoperasian mudus bersama

Kita mungkin berharap sistem dapat memberikan keluaran beberapa ratus mV dengan masukan beberapa mV, tetapi kenyataannya tidak demikian. Tegangan emitor akan tetap sekitar 0,6 volt di bawah tegangan basis, sehingga tidak akan berharga terlalu jauh dari -0,6 V. Karenanya besarnya arus total

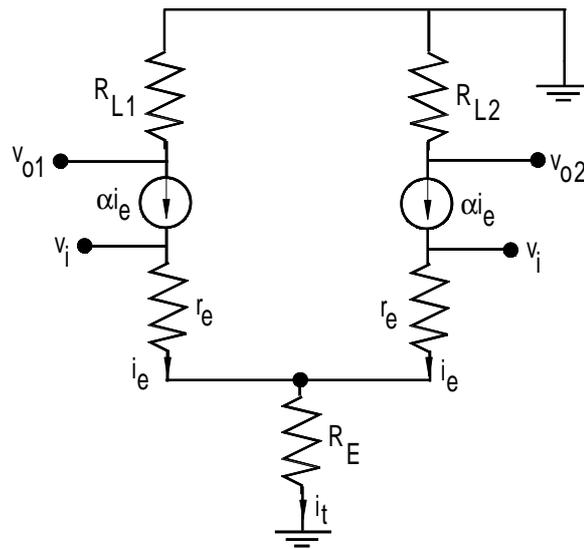
$$I_T = (V_{EE} - 0,6) / R_E$$

hanya akan sedikit berubah. Akibat adanya rangkaian yang simetri, dengan harga v_{BE} yang identik pada kedua transistor, kedua arus emitor akan tetap berharga sekitar

$$I_{E1} = I_{E2} \approx I_T / 2$$

sehingga tegangan kolektor juga berubah sedikit.

Selanjutnya besarnya penguatan dapat dihitung dengan menggunakan rangkaian setara seperti telah dibicarakan pada bab sebelumnya.



Gambar 14.3 Rangkaian setara operasi modus bersama

Pada rangkaian setara operasi modus bersama seperti terlihat pada gambar 14.3, kita melihat

$$2i_e = i_t = v_e / R_E = v_i / (R_E + \frac{1}{2}r_e) \approx v_i / R_E \quad (14.4)$$

dan besarnya tegangan keluaran adalah

$$v_{o1} = v_{o2} = -\alpha i_e R_L \approx -(v_i / 2R_E) R_L \quad (14.5)$$

sehingga penguatan pada masing-masing transistor adalah sebesar

$$v_o / v_i \approx -R_L / 2R_E \quad (14.6)$$

Karena R_L dan R_E mempunyai harga yang hampir sama maka penguatan tegangan yang dihasilkan sangat rendah (biasanya kurang dari satu). Jika perbedaan keluaran $v_{o1} - v_{o2}$ digunakan, maka penguatan akan berharga nol, maka R_{L1} dan R_{L2} mestinya terdapat keserasian (identik).

Hambatan masukan dari isyarat-kecil pada masing-masing basis diberikan oleh

$$\begin{aligned}
 r_i &= v_i / i_b \\
 &= v_i / (i_e / (\beta + 1)) \\
 &= \beta v_i / (v_i / 2R_E) \\
 &= 2 \beta R_E
 \end{aligned}
 \tag{14.7}$$

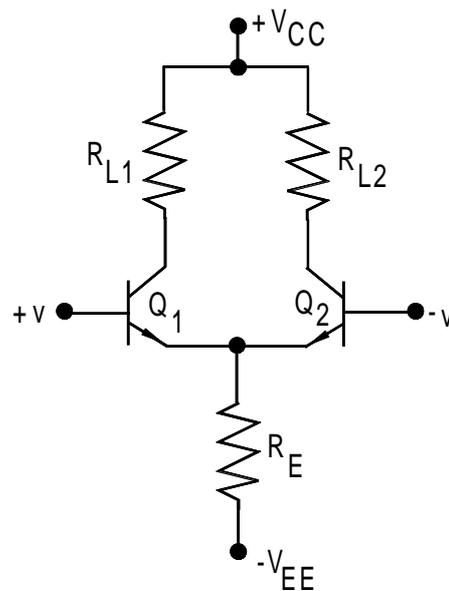
suatu harga yang cukup besar.

Rangkaian di atas, karena sifat simetrinya, berperilaku seperti sepasang penguat transistor yang paralel tanpa adanya resistor emitor *bypassed* $2R_E$.

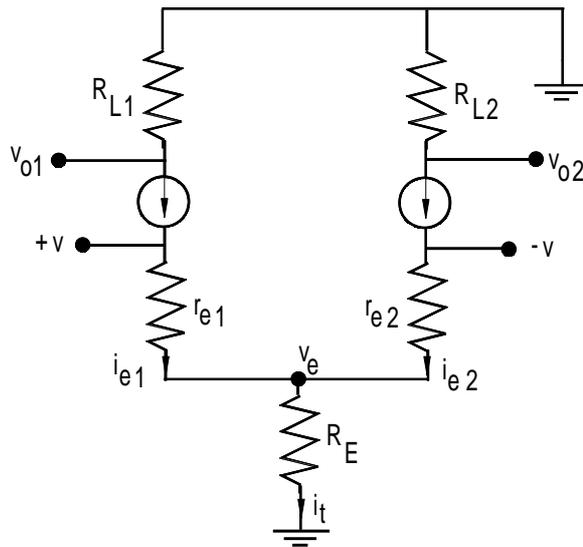
14.3 Pengoperasian Modus Diferensial (Differential-Mode Operation-DM)

Pada dasarnya pada pengoperasian ini, kedua masukan diberi tegangan yang besarnya berbeda. Gambar 14.4 menunjukkan kedua tegangan masukan besarnya sama tetapi berbeda tanda dan rangkaian setara untuk masukan isyarat- kecil rangkaian ini diberikan pada gambar 14.5. Dari gambar 14.5 terlihat bahwa

$$\begin{aligned}
 v_e &= (i_{e1} + i_{e2}) R_E \\
 v - v_e &= i_{e1} r_{e1} \\
 -v - v_e &= i_{e2} r_{e2}
 \end{aligned}
 \tag{14.8}$$



Gambar 14.4 Pengoperasian modus diferensial



Gambar 14.5 Rangkaian setara pengoperasian modus diferensial

sehingga untuk transistor yang identik dimana $r_{e1} = r_{e2} = r_e$ didapat

$$v_e = -\frac{1}{2}(i_{e1} + i_{e2}) r_e \quad (14.9)$$

karenanya

$$\begin{aligned} v_e &= 0 \\ i_{e1} &= -i_{e2} \end{aligned} \quad (14.10)$$

Pada kondisi di atas, kita berharap bahwa kenaikan tegangan emitor karena masukan pada basis 1 dilawan oleh penurunan tegangan karena masukan pada basis 2. Dengan demikian setiap transistor mempunyai emitor yang ditanahkan (ac) dan bekerja secara terpisah sebagai penguat emitor-ditanahkan. Penguatan tegangan dan hambatan masukan dapat dituliskan sebagai

$$A_v = -R_L / r_e \quad (14.11)$$

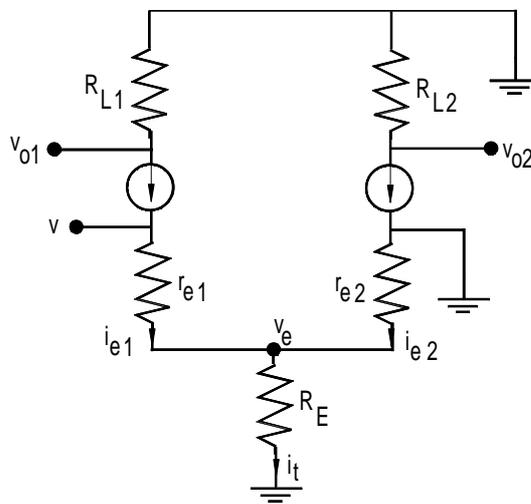
dan $r_i = \beta r_e \quad (14.12)$

Untuk masukan yang berharga besar, analisa di atas tidak sesuai lagi.

14.4 Pengoperasian Ujung-Tunggal (*Single-ended Operation*)

Jika tegangan isyarat-kecil v dimasukkan ke salah satu basis dengan basis ditanahkan, rangkaian setara rangkaian dimaksud seperti diperlihatkan pada gambar 14.6. Biasanya $R_E \gg r_e$, sehingga v dapat diambil dari ujung r_e seri dengan tanah (*ground*) dan $v_e = v/2$. Karenanya kita mempunyai

$$\begin{aligned} i_{e1} &= (v - v_e) / r_e \\ &= \frac{1}{2} v / r_e \end{aligned} \quad (14.13)$$



Gambar 14.6 Pengoperasian ujung-tunggal

dan juga

$$\begin{aligned} v_{o1} &= -\alpha i_e R_L \\ &\approx -i_e R_L \\ &= -\frac{1}{2} v R_L / r_e \end{aligned} \quad (14.14)$$

dan besarnya penguatan tegangan adalah

$$A_{v1} = -R_L / (2 r_e) \quad (14.15)$$

Demikian juga untuk keluaran 2 berlaku

$$A_{v_2} = +R_L / (2 r_e)$$

Jika keluaran diambil secara diferensial, yaitu jika $v_{o1} - v_{o2}$ digunakan sebagai output, maka besarnya penguatan tegangan adalah

$$(v_{o1} - v_{o2}) / v = -R_L / r_e \quad (14.16)$$

Besarnya hambatan masukan diberikan oleh

$$\begin{aligned} r_i &= v / i_b \\ &= (\beta + 1) v / i_e \\ &\approx \beta v / (\frac{1}{2} v / r_e) \\ &= 2\beta r_e \end{aligned} \quad (14.17)$$

Rangkaian di atas menunjukkan bahwa dengan tanpa pemasangan kapasitor kita mendapatkan penguatan tegangan dan hambatan masukan yang sebanding dengan penguat emitor ditanahkan.

Pada penguat emitor-bersama kita memerlukan resistor R_E untuk mendapatkan tegangan panjar yang tepat, namun kita harus memasang kapasitor paralel (*shunt*) dengan emitor ke tanah.

14.5 Pasangan Berekor-Panjang (*Long-tailed Pair*)

Dalam praktek kita menginginkan penguatan diferensial dari kedua masukan ($v_{b1} - v_{b2}$). Jika ($v_{b1} - v_{b2}$) mempunyai harga yang kecil dibandingkan dengan v_{b1} dan v_{b2} , maka perlu kiranya mengurangi penguatan modus bersama (CM). Sudah kita dapatkan bahwa besarnya penguatan untuk CM adalah

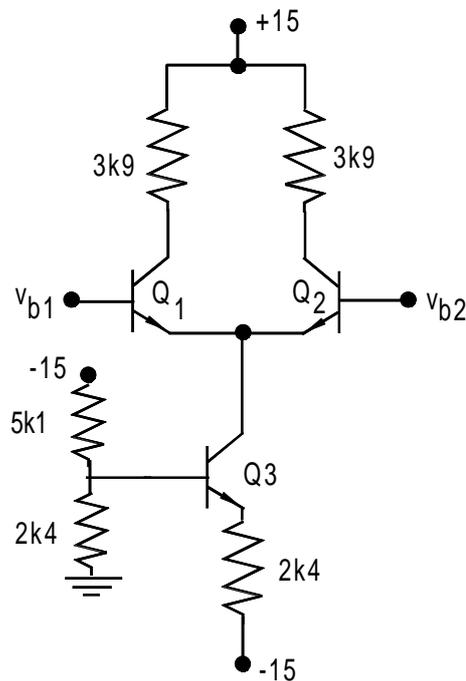
$$A_{CM} = -R_L / 2R_E \quad (\text{lihat bagian 14.2})$$

maka pengurangan penguatan dapat dilakukan dengan menaikkan R_E , yang tidak secara langsung melibatkan penguatan DM yaitu

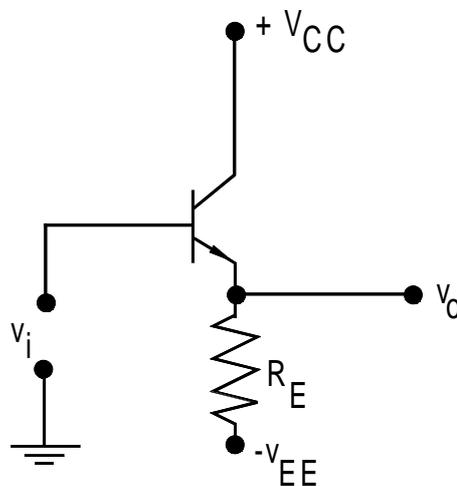
$$A_{DM} = -R_L / r_e \quad (\text{lihat bagian 14.3})$$

Namun dengan menaikkan harga R_E , secara langsung akan menaikkan harga V_{EE} , untuk menjaga agar arus emitor tetap konstan.

Ada cara lain yang lebih baik agar I_E selalu berharga tetap, yaitu dengan menambah satu transistor Q_3 seperti terlihat pada gambar 14.7 yang biasa disebut sebagai pasangan berekor panjang. Jadi rangkaian tambahan ini berfungsi sebagai “sumber arus tetap”.



Gambar 14.7 Rangkaian pasangan berekor panjang



Gambar 14.8 Rangkaian pengikut emitor

14.6 Rangkaian Pengikut Emitor

Rangkaian pengikut emitor atau penguat kolektor-ditanahkkan seperti terlihat pada gambar 14.8 dapat juga digunakan sebagai penggandeng DC.

Pendekatan pertama dari karakteristik rangkaian di atas adalah dengan melihat keluarannya

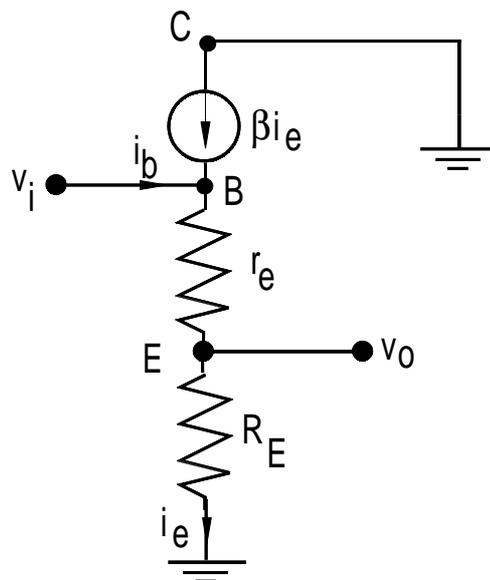
$$v_o = v_i - 0,6$$

yaitu bahwa keluaran pada emitor “mengikuti” masukan (dimana harganya akan berubah-ubah terhadap tanah).

Kita dapat menggunakan pendekatan rangkaian setara isyarat-kecil untuk menghitung penguatan tegangan dan hambatan masukannya seperti terlihat pada gambar 14.9. Besarnya penguatan tegangan adalah

$$v_o / v_i = R_E / (R_E + r_e) \quad (14.18)$$

dimana harganya akan mendekati satu karena biasanya $R_E \gg r_e$.



Gambar 14.9 Rangkaian setara pengikut-emitor

Besarnya hambatan masukan adalah

$$\begin{aligned} v_i / i_b &= v_i / (i_e / (\beta + 1)) \\ &= v_i (\beta + 1) / i_e \\ &= (\beta + 1)(R_E + r_e) \end{aligned}$$

yaitu $r_{in} \approx \beta R_E$ (14.19)

yang mempunyai harga jauh lebih besar dibandingkan dengan hambatan masukan pada penguat emitor ditanahkan (βr_e).

Jika arus beban i_o diambil dari keluaran, maka kita mendapatkan

$$\begin{aligned} v_i &= i_e r_e + (i_e - i_o) R_E \\ v_o &= (i_e - i_o) R_E \end{aligned}$$

dan juga

$$\begin{aligned} i_e &= i_o + v_o / R_E \\ v_i &= v_o + (i_o + v_o / R_E) r_e \\ v_o \left(1 + \frac{r_e}{R_E} \right) &= v_i - i_o r_e \\ v_o &= v_i \times R_E / (R_E + r_e) - i_o \times r_e R_E / (R_E + r_e) \end{aligned} \quad (14.20)$$

Suku pertama pada ruas kanan persamaan 14.20 adalah merupakan tegangan keluaran tanpa beban, dan suku kedua adalah penurunan tegangan keluaran pada hambatan r_o , dengan demikian

$$r_o = r_e R_E / (r_e + R_E) \quad (\text{yaitu } r_e // R_E)$$

atau

$$r_o \approx r_e$$

suatu harga hambatan keluaran yang sangat rendah

Jika pengikut emitor diberi masukan v_s dengan hambatan sumber R_s , besarnya keluaran memungkinkan untuk dihitung dengan menggunakan hambatan masukan yang telah diketahui harganya, dari

$$v_i = v_s \times \beta R_E / (R_S + \beta R_E)$$

dan kemudian

$$v_o = v_i \times R_E / (R_E + r_e) \quad (14.21)$$

Untuk menentukan hambatan keluaran kita perlu memperhatikan bahwa R_S menyebabkan turunnya tegangan, dari v_s ke v_i , dari

$$i_b R_S = i_e R_S / (\beta + 1)$$

sehingga total penurunan tegangan ke v_o adalah

$$i_b R_S + i_e r_e = i_e (r_e + R_S / (\beta + 1)) \quad (14.22)$$

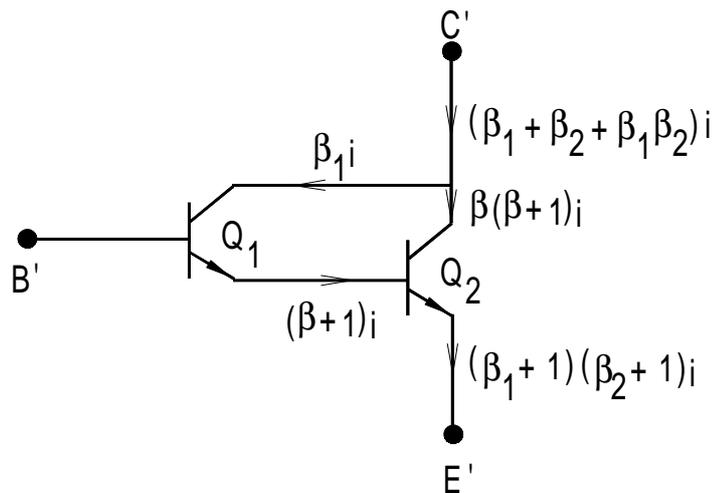
Dibandingkan dengan hambatan keluaran pada gambar 14.9 yang besarnya sama dengan r_e , maka besarnya hambatan keluaran adalah sebesar

$$r_o \approx r_e + R_S / \beta \quad (14.23)$$

14.7 Pasangan Darlington (*Darlington-Pair*)

Karena penguatan tergantung pada harga β , maka memproduksi transistor dengan β yang tinggi banyak memberi keuntungan. Tetapi untuk maksud tersebut diperlukan lapisan yang sangat tipis pada daerah basis yang akan mengakibatkan transistor mempunyai tegangan dadal (*breakdown voltage*) rendah.

Untuk mencapai maksud tersebut di atas bisa dilakukan dengan menghubungkan dua transistor yang biasa disebut dengan pasangan Darlington seperti terlihat pada gambar 14.10. Pasangan transistor tersebut terdapat di pasaran dalam paket dengan ujung-ujung kaki E', B' dan C'.



Gambar 14.10 Rangkaian pasangan Darlington

Jika kita berasumsi arus masukan i seperti diperlihatkan pada gambar 14.10 dan menghitung arus yang mengalir, akan didapat penguatan efektif $\beta (= I_C' / I_B')$ adalah

$$\begin{aligned} \beta &= \beta_1 + \beta_2 + \beta_1\beta_2 \\ &\approx \beta_1\beta_2 \end{aligned}$$

Pasangan Darlington sering juga digunakan dengan arus emitor yang relatif tinggi, sehingga β_2 relatif kecil; jika tidak Q_1 mempunyai arus rendah sehingga β_1 bisa berharga kecil. Namun demikian dengan mudah kita mendapatkan

$$\beta = 50 \times 100 = 5000$$

Kita mungkin berangan-angan dapat menghitung r_e dari arus emitor dari Q_2 . Namun demikian Q_2 dikendalikan dari sumber (Q_1) yang memiliki arus yang sangat rendah, karenanya memiliki hambatan keluaran yang tinggi. Oleh sebab itu harga r_e efektif pasangan Darlington diberikan oleh

$$r_e = r_{e2} + r_{e1} / \beta_2$$

Namun $I_{E1} = I_{E2} / \beta_2$ dan juga $r_{e1} = \beta_2 r_{e2}$, dengan demikian harga r_e efektif diberikan oleh

$$r_e = 2 r_{e2}$$

Transistor pasangan Darlington banyak dimanfaatkan pada rangkaian pengikut emitor tenaga-tinggi, utamanya pada penguat daya audio.

Contoh 1.

Hitung parameter kinerja penguat diferensial seperti terlihat pada gambar 14.7 untuk berbagai isyarat masukan. Transistor penyusun diasumsikan identik dengan $\beta = 250$ dan toleransi 1 %.

Jawab:

Pertama kita harus menghitung besarnya tegangan panjar DC

$$V_{B3} = -15 \times 2,4 / (2,4 + 5,1) = -4,8 \text{ volt}$$

Jadi $V_{E3} = -5,4 \text{ volt}$

$$I_T = (-5,4 - -15) / 2,4 \text{ k}\Omega = 4 \text{ mA}$$

Jadi $I_{E1} = I_{E2} = 2 \text{ mA}$ (transistor identik)

$$V_{C1} = V_{C2} = 15 - 2 \times 3,9 = +7,2 \text{ volt}$$

$$V_{E1} = V_{E2} = -0,6 \text{ volt} \quad (\text{jika basis ditanahkan})$$

Semua angka-angka di atas mempunyai toleransi 0,1 V atau 1 %, namun nilai ini tidak penting untuk dikoreksi. Untuk masing-masing transistor kita mempunyai

$$\begin{aligned} r_e &= 25 \text{ mV} / 2 \text{ mA} \\ &= 12,5 \Omega \end{aligned}$$

Untuk pengoperasian diferensial, masukan isyarat-kecil (misalnya $\pm 1 \text{ mV}$), emitor dalam kondisi ditanahkan (ac) dan Q_1 dan Q_2 masing-masing mempunyai penguatan sebesar

$$R_L / r_e = 3900 / 12,5 = 312$$

sehingga tipe isyarat akan seperti

$$v_{b1} = +0,001 \sin \omega t$$

$$v_{b2} = -0,001 \sin \omega t$$

$$v_{c1} = -0,312 \sin \omega t$$

$$v_{c2} = +0,312 \sin \omega t$$

Besarnya keluaran diferensial $v_{c1} - v_{c2}$ adalah $2 \times 2 \times 0,312 = 1,25$ volt p-p. Untuk masukan diferensial, hambatan masukan adalah

$$r_i = \beta r_e = 250 \times 12,5 \Omega = 3,125 \text{ k}\Omega$$

sedangkan untuk masukan ujung-tunggal besarnya hambatan masukan adalah

$$r_i = 2\beta r_e = 6,25 \text{ k}\Omega$$

dan untuk masukan modus bersama besarnya hambatan masukan adalah

$$r_i = \beta R_E = 250 \times 2,4 \text{ k}\Omega = 600 \text{ k}\Omega$$

Dengan menggunakan pendekatan seperti pada gambar 14.3, besarnya fraksi masukan modus bersama yang ada pada sambungan B-E adalah

$$\frac{1}{2} r_e / (R_E + \frac{1}{2} r_e) \approx 6,25 / 2400 = 0,0026$$

jadi walaupun dengan masukan sebesar 2 volt p-p akan hanya mengubah v_{be} sebesar $\pm 2,6$ mV, dengan demikian masih pada pengoperasian isyarat-kecil.

Jika kita mengasumsikan harga efektif R_E sebesar 100 k Ω , besarnya keluaran modus bersama pada kolektor adalah sebesar

$$\begin{aligned}
v_o &= -(R_L / 2R_E)v_i \\
&= \pm 1 \text{ volt} \times (3900/200000) \\
&= \pm 0,0195 \text{ volt (peak)}
\end{aligned}$$

Karena adanya toleransi sebesar 1% untuk R_{L1} , R_{L2} , harga di atas dapat berubah-ubah pada kisaran $\pm 0,0002$ volts. Keluaran diferensial ($v_{o1} - v_{o2}$) akan berharga paling besar $\pm 0,4$ mV (peak).

Jika masukan berupa isyarat modus bersama yang tergabung (*superimposed*) dengan isyarat diferensial sebesar 2 mV(p-p), maka keluaran sebesar 312 mV(p) dari isyarat DM akan menenggelamkan isyarat keluaran 20 mV(p) dari CM. dengan menggunakan keluaran diferensial, perbedaannya akan naik sebesar 624 mV(p) sampai 0,4 mV(p).

Contoh 2.

Sebuah rangkaian pengikut emitor memiliki nilai

$$V_{CC} = V_{EE} = 15 \text{ volt}$$

$$R_E = 100 \text{ ohm}$$

Rangkaian memiliki masukan v_s dengan hambatan masukan R_s ; v_s berupa gelombang sinus yang berosilasi di sekitar 0 volt. Tentukan kinerja rangkaian untuk

i) $R_s = 0$ dan

ii) $R_s = 1 \text{ k}\Omega$

dengan pertama-tama menggunakan transistor tunggal dengan $\beta = 50$, kemudian dengan menggunakan pasangan Darlington dengan $\beta = 5000$.

Jawab :

(i) Dengan menggunakan transistor sederhana dengan $R_s = 0$ kita mempunyai

$$V_E = -0,6 \text{ V}$$

dan juga

$$I_E = 14,4 \text{ V} / 100 \Omega = 144 \text{ mA}$$

Kita perlu menggunakan

$$r_e = 25 \text{ mV} / 144 \text{ mA} = 0,174 \ \Omega$$

Besarnya penguatan adalah

$$R_E / (R_E + r_e) = 100 / 100,174 = 0,9983$$

Besarnya hambatan masukan adalah

$$\beta R_E = 50 \times 100 \ \Omega = 5 \text{ k}\Omega$$

Besarnya hambatan keluaran adalah

$$r_e = 0,174 \ \Omega$$

(ii) Dengan $R_S = 1 \text{ k}\Omega$ dan untuk transistor tunggal; jika I_E sebesar 144 mA, I_B akan berharga $\sim 3 \text{ mA}$, memberikan penurunan tegangan pada R_S sebesar 3 V. Kita dapat menghitung lebih rinci sebagai berikut. Kita mempunyai

$$0 - I_B R_S - 0,6 - I_E R_E = -V_{EE}$$

memberikan

$$14,4 = I_E \left(100 + \frac{1000}{50} \right)$$

$$I_E = 120 \text{ mA}$$

$$V_E = -15 + 0,12 \times 100 = -3 \text{ V}$$

$$r_e = 25 \text{ mV} / 120 \text{ mA} = 0,208 \ \Omega$$

Besarnya hambatan masukan pada basis adalah

$$\beta R_E = 5000 \ \Omega$$

dan juga

$$\begin{aligned} \text{Penguatan} &= \frac{R_E}{R_E + r_e} \times \frac{\beta R_E}{\beta R_E + R_S} \\ &= \frac{100}{100,208} \times \frac{5}{6} = 0,832 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Hambatan keluaran} &= r_e + R_S / \beta \\ &= 0,208 + 20 \\ &= 20 \ \Omega \end{aligned}$$

Kita melihat bahwa $R_S = 1000 \ \Omega$ penurunan kinerja transistor yang cukup serius.

(iii) Dengan $R_S = 0$ dan dengan menggunakan pasangan Darlington, kita mempunyai

$$V_E = -1,2 \text{ V (kurang lebih)}$$

dan juga

$$I_E = 13,8 \text{ V}/100 \text{ }\Omega = 138 \text{ mA}$$

$$r_e = (25 \text{ mA}/I_E) \times 2 = 0,362 \text{ }\Omega$$

Besarnya penguatan adalah

$$R_E / (R_E + r_e) = 100 / 100,362 = 0,9964$$

Besarnya hambatan masukan adalah

$$\beta R_E = 5000 \times 100 \text{ }\Omega = 500 \text{ k}\Omega$$

Besarnya hambatan keluaran adalah

$$r_e = 0,362 \text{ }\Omega$$

Terlihat dengan rangkaian transistor tunggal, hanya hambatan masukan yang mengalami peningkatan.

(iv) Dengan $R_S = 1 \text{ k}\Omega$ dan pasangan Darlington; kita dapat mengabaikan penurunan pada $I_B R_S$ sehingga

$$I_E \approx 138 \text{ mA}$$

$$r_e = 0,362 \text{ }\Omega$$

Besarnya hambatan masukan pada basis adalah

$$\beta R_E = 5000 \text{ k}\Omega$$

dengan demikian

$$\begin{aligned} \text{Penguatan} &= \frac{R_E}{R_E + r_e} \times \frac{\beta R_E}{\beta R_E + R_S} \\ &= 0,9964 \frac{500}{501} = 0,9944 \end{aligned}$$

masih berharga sangat dekat dengan satu

$$\begin{aligned} \text{Hambatan keluaran} &= r_e + R_S / \beta \\ &= 0,362 + 1000 / 5000 \\ &= 0,562 \text{ }\Omega \end{aligned}$$

Terlihat bahwa dengan menggunakan pasangan Darlington dapat memberikan hambatan masukan yang lebih tinggi, dapat menurunkan efek dari hambatan sumber pada penguatan dan hambatan keluaran.