

15

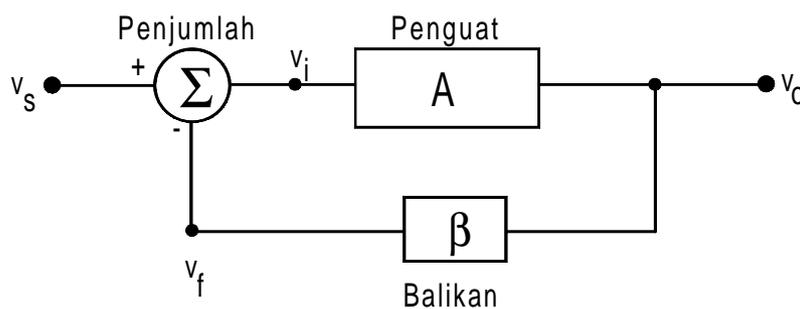
BALIKAN (*FEEDBACK*)

15.1 Dasar Penguat Balikan

Karena sebuah transistor dapat memberikan penguatan > 100 kali, kita hanya memerlukan beberapa transistor (suatu penguatan dikuatkan oleh penguat berikutnya) untuk mendapatkan penguatan isyarat yang sangat besar.

Namun perlu diperhatikan bagaimana membuat penguat yang baik. Penguat yang baik adalah penguat yang keluarannya merupakan *copy* dari isyarat masukan, mempunyai tanggapan frekuensi yang lebar, keadaan panjangnya cukup stabil dan mempunyai keluaran yang tidak tergantung pada beban yang dipasang.

Dengan teknik balikan, maksud tersebut mungkin dapat tercapai. Dengan teknik ini sebagian dari isyarat keluaran dikembalikan lagi ke masukan. Balikan yang dipasang untuk memperlemah masukan disebut “balikan negatif”, sedangkan pada “balikan positif” masukan diperkuat.



Gambar 15.1 Skema rangkaian dasar balikan

Rangkaian dasar dari balikan negatif terdiri atas tiga komponen seperti ditunjukkan pada gambar 15.1.

1. Penguat A dengan fungsi

$$v_o = A v_i \quad (15.1)$$

2. Jaringan kerja balikan β dengan fungsi

$$v_f = \beta v_o \quad (15.2)$$

Biasanya kita memerlukan β yang sangat stabil, yang biasanya terdiri atas pembagi tegangan sederhana.

3. Penjumlahan Σ dengan fungsi

$$v_i = v_s - v_f \quad (15.3)$$

Idealnya, A mempunyai harga sangat besar, karenanya $v_i = v_o / A$ mempunyai harga sangat kecil dan mendekati nol volt, yaitu pada keadaan “tanah maya” (*virtuil earth*). Karena

$$v_s - v_f = v_i$$

dan

$$v_i \approx 0$$

Kita mempunyai

$$v_s \approx v_f = \beta v_o \quad (15.4)$$

sehingga kita mendapatkan

$$v_o / v_s = 1 / \beta \quad (15.5)$$

Terlihat bahwa besarnya penguatan v_o / v_s tidak tergantung pada A , tetapi hanya tergantung pada β . Besarnya A tergantung pada besaran-besaran transistor, sedangkan β dapat diperoleh dengan sebuah pembagi tegangan.

Perhatikan bahwa pada gambar 15.1, rangkaian berupa sebuah lingkaran tertutup (*closed loop*) yang terdiri dari

Σ : penguatan -1

A : penguatan A

β : penguatan β

Total penguatan pada lingkaran tertutup disebut “penguatan lingkaran” dan besarnya adalah $-A\beta$. Rangkaian ini membandingkan hasil *copy* βv_o dari v_o dengan v_s pada Σ . Segala ketidaksesuaian dinyatakan sebagai kesalahan dan diperkuat A kali untuk

melawan kesalahan awal pada v_o . Jadi kesalahan awal harus dilawan, sehingga penguatan lingkaran harus negatif ($A\beta$); dan karenanya balikan ini disebut balikan negatif (*negative feedback*).

Hubungan “penguatan lingkaran-tertutup” (v_o/v_s) dalam bentuk “penguatan lingkaran-terbuka” (A) dan balikan (β) sebagai berikut. Kita mempunyai

$$\begin{aligned} v_o &= A v_i \\ &= A(v_s - \beta v_o) \end{aligned}$$

sehingga
$$v_o = A v_s - A \beta v_o \quad (15.6)$$

dan juga

$$\frac{v_o}{v_s} = \frac{A}{1 + A\beta} = \frac{1}{\frac{1}{A} + \beta} \quad (15.7)$$

jika $\frac{1}{A} \ll \beta$, bentuk di atas akan menjadi

$$\frac{v_o}{v_s} \approx \frac{1}{\beta} \quad (15.8)$$

jadi penguatan hanya tergantung sepenuhnya pada β , dimana ini dapat dibuat dengan sepasang resistor. Sebagai gambaran diambil contoh $A = 10^4$ dan $\beta = 0,01$, maka

$$\frac{v_o}{v_s} = \frac{10^4}{1 + 10^4 \times 10^{-2}} = 99,01$$

Jika karena penggantian transistor, harga A menjadi setengahnya, maka besarnya penguatan menjadi

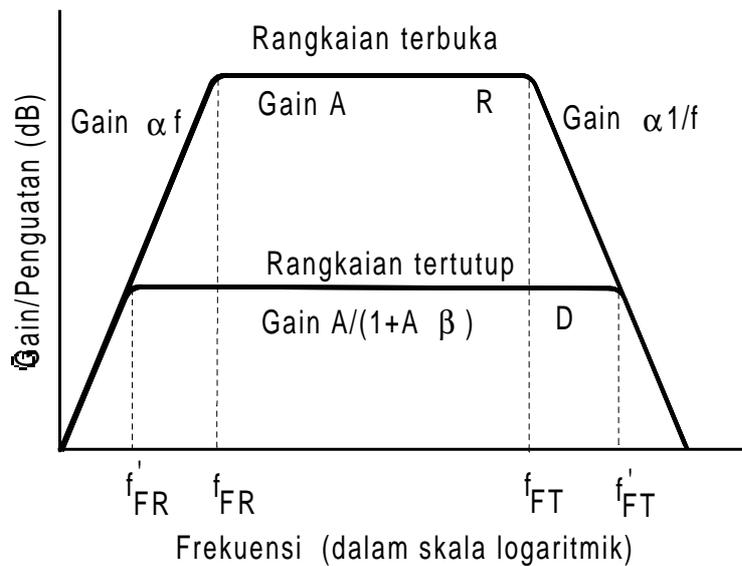
$$A' = \frac{v_o}{v_s} = \frac{5000}{1 + 5 \times 10^3 \times 10^{-2}} = 98,01$$

Terlihat bahwa dengan perubahan A menjadi setengahnya hanya akan mengakibatkan perubahan penguatan sebesar 1%. Dengan kata lain walaupun penguatan tegangan

berkurang dengan faktor 101 tetapi stabilitas penguatannya meningkat dengan faktor yang sama.

15.2 Pengaruh Balikan Terhadap Tanggapan Frekuensi

Sudah ditunjukkan sebelumnya bahwa balikan negatif dapat mengatasi penurunan A akibat penggantian transistor. Kita juga berharap balikan negatif dapat mengatasi penurunan A akibat terbatasnya tanggapan frekuensi (*frequency response*).



Gambar 15.2 Peningkatan tanggapan frekuensi dengan balikan

Gambar 15.2 (kurva R) memberikan ilustrasi tanggapan frekuensi penguat sederhana, dimana tanggapan frekuensinya mempunyai kelemahan akibat adanya rangkaian RC lolos-rendah dan juga rangkaian RC lolos tinggi.

Dapat dibuktikan bahwa dengan memasang lingkaran balikan pada penguat di atas, maka rangkaian akan mempunyai tanggapan frekuensi dengan frekuensi 3 dB sebagai

$$f'_{FT} = f_{FT} (1 + A\beta) \quad (\text{bagian frekuensi tinggi}) \quad (15.9)$$

$$f'_{FR} = \frac{f_{FR}}{(1 + A\beta)} \quad (\text{bagian frekuensi rendah}) \quad 15.10$$

Pada persamaan 15.9 dan 15.10 nampak bahwa tanggapan frekuensi dapat ditingkatkan (melebar) dengan faktor yang sama, yaitu sebesar $(1 + A\beta)$ walaupun penguatan mengalami penurunan.

Karena

$$A \gg 1/\beta$$

dimana A adalah penguatan lingkaran terbuka, dan $1/\beta$ mendekati harga penguatan lingkaran-tertutup, maka

$$\frac{A}{1 + A\beta} \approx \frac{1}{\beta}$$

Namun demikian saat $A \approx \frac{1}{\beta}$, maka

$$\frac{A}{1 + A\beta} \approx A$$

Jadi sepanjang penguatan lingkaran-tertutup lebih kecil dari A , penguatan akan berharga $\sim 1/\beta$.

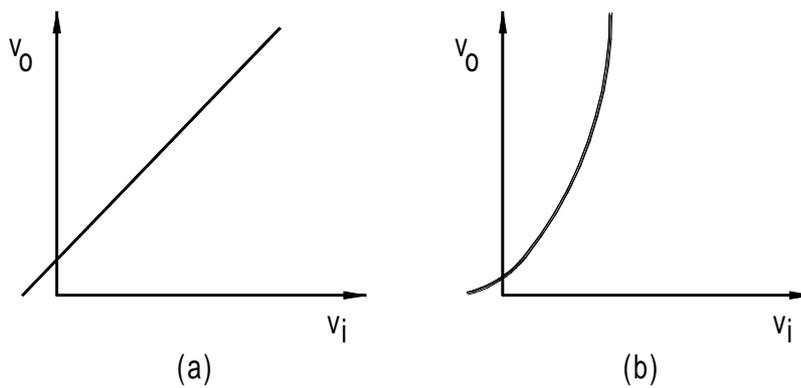
15.3 Pengaruh Balikan Terhadap Cacat Isyarat (*Distortion*)

Secara ideal, keluaran v_o dari sebuah penguat adalah merupakan fungsi linier dari masukan v_i seperti diperlihatkan pada gambar 15.3-a, dalam bentuk

$$v_o = a_o + a_1 v_i \quad (15.11)$$

Namun pada prakteknya, linieritas tersebut tidak sempurna; untuk penguat transistor tunggal, akan berupa fungsi eksponensial. Kita memerlukan lebih banyak suku dari deret Taylor (seperti terlihat pada gambar 15.3-b),

$$v_o = a_o + a_1 v_i + a_2 v_i^2 \quad (15.12)$$



Gambar 15.3 Keluaran penguat (a) kondisi ideal dan (b) keadaan riil

Jika masukan berupa frekuensi tunggal

$$v_i = V \sin \omega t \quad (15.13)$$

Dengan persamaan 15.12 dapat diselesaikan dengan memasukkan persamaan 15.13 yang secara praktis berupa penyelesaian persamaan trigonometri yang akan menghasilkan keluaran dengan frekuensi baru (frekuensi harmonik) misalnya

$$(\sin \omega t)^2 = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \cos 2\omega t \quad (15.14)$$

Frekuensi baru tersebut menyebabkan terjadinya distorsi (cacat) pada keluaran.

Dengan penguat balikan negatif, frekuensi harmonik tersebut tidak dapat menemukan pasangannya untuk saling menghilangkan pada bagian penjumlah (*summer*), tetapi mereka melawan terhadap “mereka sendiri” sehingga dapat mengurangi cacat pada keluaran. Cacat pada isyarat keluaran dapat berkurang dengan faktor (yang tidak asing lagi) sebesar $1 + A\beta$. Jadi jika D_A adalah distorsi pada lingkaran terbuka, maka distorsi dengan pemasangan balikan (D_B) akan berkurang menjadi

$$D_B = D_A / (1 + A\beta) \quad (15.15)$$

15.4 Pengaruh Balikan Pada Hambatan Masukan dan Keluaran

Ada beberapa cara untuk memasang balikan. Pada prinsipnya, dengan pemasangan balikan akan meningkatkan kualitas hambatan masukan maupun hambatan keluaran (akan mendekati keadaan ideal) yaitu

- i) hambatan masukan akan membesar dan
- ii) hambatan keluaran akan mengecil,

keduanya dengan faktor (tidak lain) sebesar $(1 + A\beta)$.

15.5 Permasalahan dengan Balikan

Sudah kita lihat beberapa keuntungan dengan pemasangan balikan pada penguat. Namun ada beberapa masalah yang timbul misalnya, pada frekuensi tinggi penguat dasar akan mengalami pergeseran fase karena keterbatasan tanggapan frekuensi. Jika pergeseran fase ini mencapai 180° , maka tujuan semula sebagai balikan negatif akan berubah menjadi balikan positif dimana isyarat keluaran akan beresilasi walaupun tanpa masukan.

Contoh

Sebuah penguat tegangan A mempunyai kinerja sebagai berikut:

Penguatan Band menengah	: ± 1000
Toleransi penguatan	: $\pm 20\%$
Tanggapan frekuensi	: Datar pada 50Hz - 5 kHz (-3 dB)
Hambatan masukan	: 50 k Ω
Hambatan keluaran	: 100 Ω
Distorsi	: 5% pada keluaran 20 V (p-p)

Penguat di atas akan digunakan untuk menurunkan penguatan menjadi 50 dengan menggunakan balikan negatif, dengan β tersusun dari pembagi tegangan dengan hambatan total berkisar 10 – 20 k Ω . Hitung nilai yang sesuai dari komponen penyusunnya dan perkirakan kinerja dari penguat balikan tersebut.

Jawab

(i) Besarnya penguatan dengan balikan adalah

$$A_f = A / (1 + A\beta)$$
$$50 = 1000 / (1 + 1000\beta)$$

memberikan

$$1 + 1000\beta = 20$$
$$\beta = 0,019$$

Jika pembagi tegangan mempunyai R_1 terhubung dengan keluaran penguat dan R_2 ditanahkan, kita mempunyai

$$R_2 / (R_1 + R_2) = 0,019$$
$$0,019 R_1 = 0,981 R_2$$
$$R_1 = 51,6 R_2$$

Tentu saja harga di atas tidak dapat dipenuhi dengan harga resistor standar. Dua buah harga resistor standar yang mungkin diambil adalah

$$R_1 = 20 \text{ k}\Omega \text{ dan}$$
$$R_2 = 390 \Omega$$

dimana

$$R_1 = 51,28 R_2$$
$$R_1 + R_2 = 20,39 \text{ k}\Omega$$

(ii) Besarnya penguatan berkurang dengan faktor

$$1 + A\beta = 20.$$

Oleh sebab itu kita memprediksi besarnya perubahan parameter penguat juga akan meningkat dengan faktor $1 + A\beta$, seperti terlihat pada tabel berikut.

Toleransi penguatan	$\pm 20 \%$	$\pm 1 \%$
f_{FR}	50 Hz	2,5 Hz
f_{FT}	5 kHz	100 kHz
R_{in}	50 k Ω	1 M Ω
R_{out}	100 Ω	5 Ω
Distorsi (20 Vp-p)	5 %	0,25 %