

BAB II

PENGUAT DAYA FREKUENSI RADIO

2.1 Pendahuluan

Penguat daya adalah suatu penguat yang digunakan untuk mempertinggi level sinyal yang relatif kecil. Dalam perancangan penguat daya, perlu diperhatikan daya keluaran, distorsi dan efisiensi. Persyaratan yang digunakan menyangkut tegangan *breakdown*, batas arus maksimum, *gain-bandwidth product* dan disipasi daya maksimum dari transistor. Daya keluaran dari penguat daya dapat berorde beberapa miliwatt sampai beberapa megawatt.

Penguat daya selalu berada pada bagian terakhir dari suatu rantai penguat maka level daya adalah tertinggi untuk tingkat ini. Karena level daya paling besar pada tingkat ini maka kemungkinan akan terjadi distorsi yang besar akibat ketidak-linieran dari transistor. Ketidak-linieran ini menyebabkan timbulnya komponen frekuensi yang tidak diinginkan (harmonisa) dan distorsi intermodulasi (IMD).

Dengan jenis penguat yang berbeda maka akan terdapat perbedaan efisiensi serta jumlah distorsi yang terjadi. Apabila penguat dipergunakan untuk menguatkan sinyal yang bermodulasi frekuensi, maka jenis penguat tersebut tidak boleh menghasilkan distorsi yang dapat mengganggu informasi yang terkandung di dalam frekuensi pembawa.

2.2 Konfigurasi dan Kelas Penguat

Sebelum membahas kelas penguat, akan dilihat terlebih

dahulu tentang konfigurasi penguat. Dikenal 3 konfigurasi transistor sebagai penguat yaitu :

1. Common Collector
2. Common Base
3. Common Emitter

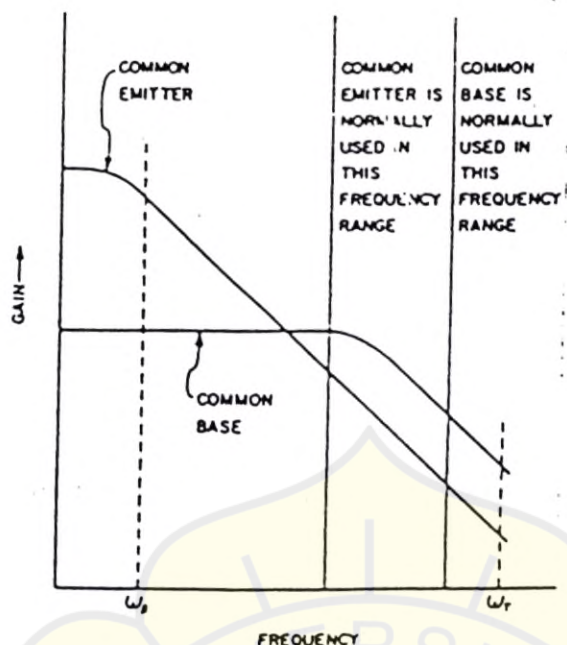
Konfigurasi common collector umumnya digunakan sebagai penguat buffer. Penguat RF menggunakan konfigurasi common base atau common emitter.

Konfigurasi common base mempunyai karakteristik yang berlainan dengan common emitter. Berikut ini akan diperlihatkan perbandingan karakteristik untuk kedua konfigurasi tersebut untuk suatu transistor tertentu.

1. Penguatan daya

Common emitter mempunyai penguat daya yang terbesar pada frekuensi rendah dan mempunyai frekuensi cut-off yang lebih rendah dibandingkan konfigurasi common base. Setelah melewati frekuensi cut-off, penguat akan turun dengan slope 6 dB/oktaf. Perbandingan kurva penguatan kedua konfigurasi dapat dilihat pada gambar (2.1). Kurva ini dibuat dengan asumsi tidak terjadi feedback akibat pengaruh induktansi bersama pada basis dan emitter masing-masing untuk common base dan common emitter.

Penguat pada common emitter akan turun dengan pertambahan induktansi bersama pada emitter karena terjadi feedback negatif. Hal ini berbeda dengan common base dimana induktansi bersama pada base akan menyebabkan feedback positif sehingga akan meningkatkan penguat.



Gbr. 2.1 Kurva penguat daya terhadap frekuensi

2. Daya output jenuh

konfigurasi pada common emitter mempunyai daya output jenuh yang lebih besar dibandingkan dengan common base.

3. Ketahanan terhadap VSWR tinggi

Konfigurasi Common Base mempunyai ketahanan yang lebih baik dibandingkan Common Emitter.

4. Stabilitas

Apabila terjadi feedback positif pada penguat, maka penguatan dari penguat adalah :

$$A_f = \frac{1}{1 - A\beta}$$

Pada frekuensi rendah, untuk suatu faktor feedback β yang sama, maka penguat common emitter lebih cenderung beresiliasi karena penguatan (A) yang lebih besar.

5. Linieritas

Common emitter mempunyai linieritas yang lebih baik dibandingkan dengan common base.

Dengan memperhatikan perbandingan beberapa karakteristik

di atas, maka pada frekuensi hingga daerah UHF penguat common emitter biasa digunakan. Untuk frekuensi yang lebih tinggi, pada daerah microwave biasa digunakan common base. Pada daerah VHF dan UHF gain CE lebih besar dari CB, sehingga pada daerah tersebut cenderung digunakan common emitter.

Penguat daya RF yang dirancang dipergunakan pada daerah frekuensi VHF, oleh karena itu digunakan konfigurasi common emitter. Untuk selanjutnya yang akan dibahas adalah konfigurasi ini.

Dalam perancangan penguat daya RF untuk suatu sistem pemancar perlu diperhatikan beberapa faktor penting berikut:

1. Kelas operasi

Kelas operasi menentukan linieritas dan efisiensi dari penguat. Linieritas berhubungan dengan jumlah distorsi yang dihasilkan. Efisiensi adalah perbandingan daya keluran dengan catu daya yang dibutuhkan.

2. Rangkaian penyesuaian impedansi

Rangkaian penyesuaian impedansi berkaitan dengan tranfer daya maksimal serta VSWR. Tentang penyesuaian impedansi ini akan dibahas pada bab tersendiri.

Kelas operasi didasarkan kepada lokasi titik kerja.

Dikenal 3 kelas penguat sesuai dengan pilihan titik kerjanya, yaitu :

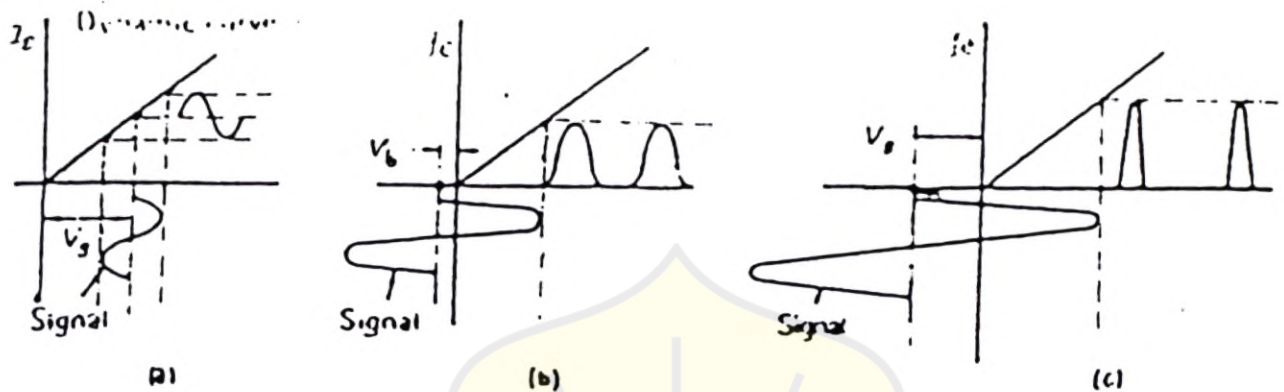
1. Penguat daya kelas A yang operasi titik kerjanya terletak ditengah daerah aktif transistor tersebut. Pada

keadaan ini maka penguat akan mengalirkan arus pada seluruh cycle dari gelombang. Penguat daya kelas A digunakan jika diperlukan kelinieran yang tinggi. Penguat kelas ini mempunyai efisiensi yang kecil yang biasanya berharga sekitar 25 %.

2. Penguat daya kelas B menggunakan titik kerja mendekati daerah cut-off sampai titik cut-off. Pada daerah ini aliran arus hanya terjadi pada setengah cycle dari gelombang. Dengan penguat daya kelas ini, sinyal keluran setengah gelombang yang besar dapat diperoleh karena daerah linier sepenuhnya digunakan untuk menguatkan setengah gelombang. Untuk mendapatkan linieritas yang tinggi maka setengah gelombang berikut harus didapatkan lagi. Ini dapat dilakukan dengan menggunakan operasi push-pull. Efisiensi dari penguat kelas B dapat mencapai 50 %.
3. Bila operasi kerja ada pada daerah di bawah cut-off maka penguat daya disebut kelas C. Sinyal masukan hanya dikuatkan kurang dari setengah gelombang. Hal ini akan menimbulkan distorsi dan menimbulkan produk intermodulasi yang besar. Penguat daya ini mempunyai efisiensi terbesar dibandingkan dengan penguat daya sebelumnya dan dapat mencapai 85 %.

Titik kerja dari ketiga penguat diatas dapat digambarkan pada kurva dinamis dari transistor. Kurva dinamis menyatakan hubungan antara arus kolektor dengan arus

basis pada suatu garis beban tertentu (lihat gambar 2.2).



Gbr. 2.2 Titik kerja dari penguat daya.

a) Kelas A b) Kelas B c) Kelas C

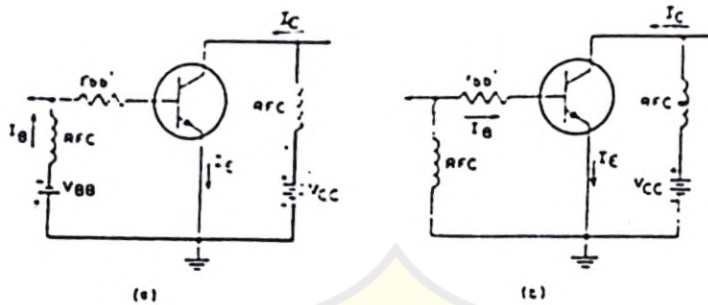
Penguat daya kelas A digunakan jika diperlukan linieritas yang besar sekali terutama jika informasi terkandung dalam amplitudo sinyal pembawa. Penguat kelas B digunakan jika kelinieran masih hal penting tetapi diinginkan efisiensi yang lebih baik. Penguat daya kelas C digunakan jika informasi tidak terkandung dalam amplitudo sinyal seperti halnya pada bagian penguat daya untuk pemancar FM.

Karena penguat daya yang dirancang akan digunakan pada pemancar FM, maka tidak digunakan linieritas yang tinggi. Oleh karena itulah dipilih penguat daya kelas C karena efisiensinya yang besar dibandingkan dengan penguat kelas A ataupun B. Untuk itu dalam pembicaraan selanjutnya hanya akan dibicarakan penguat daya kelas C saja.

2.3 Penguat Daya Kelas C

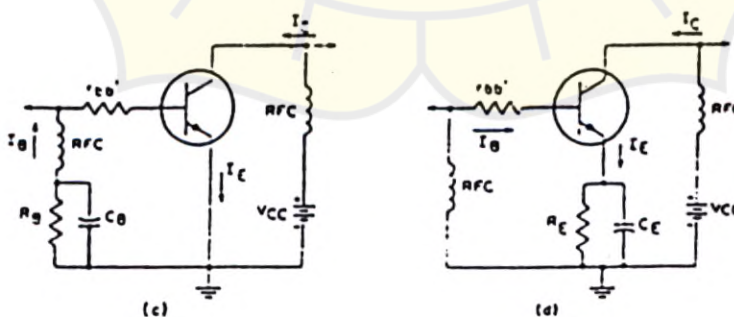
Untuk mendapatkan operasi kelas C maka basis-emitor dari transistor harus mendapatkan prategangan mundur sehingga arus kolektor akan nol selama tidak ada sinyal yang

cukup besar. Ada 4 cara untuk mendapatkan prategangan mundur ini seperti diperlihatkan pada gambar 2.3.a dan b.



Gbr.2.3.a Cara mendapatkan prategangan mundur.

1. Dengan menggunakan catu tegangan searah khusus (Gbr. 2.3.a). Metode ini walaupun efektif untuk mendapatkan prategangan mundur tetapi membutuhkan catu yang terpisah sehingga akan mendapatkan kesulitan. Juga elemen by-pass yang diperlukan untuk sumber catu khusus tadi akan memperumit rangkaian.
2. Dengan memanfaatkan base spreading resistance dari transistor (Gbr. 2.3.b). Dengan cara ini akan didapatkan prategangan mundur yang kecil dan akan berbeda untuk tiap transistor karena perbedaan $r_{bb'}$.



Gbr.2.3.b Cara mendapatkan prategangan mundur.

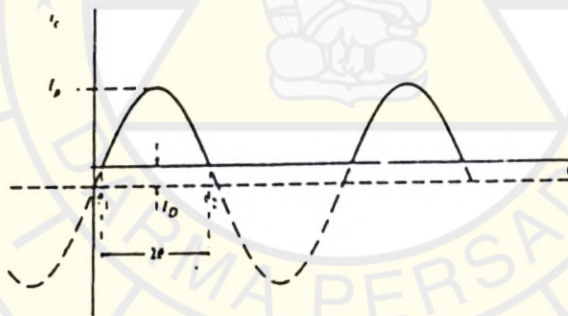
3. Dengan menambahkan resistor luar R_B pada basis untuk mendapatkan prategangan mundur yang lebih besar (Gbr.2.3.c). Hal yang perlu diingat, dengan cara ini

akan menurunkan tegangan breakdown kolektor-emitor transistor.

4. Dengan menambahkan resistor luar R_E pada emitor (Gbr. 2.4.e). Rangkaian ini akan memberikan prategangan sendiri, tetapi bila kapasitor by-pass tidak dapat melewati komponen ac, maka penguatan akan menurun disebabkan pengaruh impedansi pada emitor.

2.4 Analisa Matematis

Jika sinyal masukan untuk penguat daya kelas C dengan prategangan yang tetap adalah berbentuk sinus murni, maka arus kolektor sebagai fungsi waktu mempunyai sudut konduksi $2\theta < 180^\circ$ seperti yang terlihat pada gambar 2.4 yang merupakan gambar penjelasan dari gambar 2.2.c.



Gbr.2.4 Arus kolektor dari penguat daya kelas C.

Arus kolektor i_c adalah :

$$i_c = I_p \sin \omega t - I_D, \quad \theta_1 \leq \omega t \leq \theta_2 \quad (2-1)$$

$$= 0, \quad \theta \text{ lainnya} \quad (2-2)$$

dimana : $I_p > I_D$

$$I_D = I_p \sin \theta_1 \quad (2-3)$$

Besar arus rata-rata adalah :

$$\text{Arus dc } I_c = \frac{1}{T} \int_{\theta_1/\omega}^{\theta_2/\omega} i_c dt \quad (2-4)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (2-1) didapat :

$$I_c = \frac{1}{T} \int_{\theta_1/\omega}^{\theta_2/\omega} (I_p \sin \omega t - I_D) dt \quad (2-5)$$

$$= \frac{2 I_p \cos \theta_1 - I_D (\theta_2 - \theta_1)}{2 \pi} \quad (2-6)$$

Untuk memundahkan notasi, kita definisikan sudut konduksi sebagai :

$$2\theta = \theta_2 - \theta_1 \quad (2-7)$$

$$\text{atau } \theta = \pi/2 - \theta_1 \quad (2-8)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan-persamaan (2-1), (2-3) dan (2-8) pada persamaan (2-6) maka diperoleh :

$$I_c = (I_p/\pi) (\sin \theta - \theta \cos \theta) \quad (2-9)$$

Arus searah ini menentukan catu daya yang diperlukan karena arus basis lebih kecil dari arus kolektor sehingga dapat diabaikan. Daya searah P_{CC} tersebut adalah :

$$P_{CC} = V_{CC} I_c \quad (2-10)$$

$$= (V_{CC}/\pi) I_p (\sin \theta - \theta \cos \theta) \quad (2-11)$$

Jika output adalah rangkaian pita sempit yang ditala pada frekuensi dasar, maka daya output akan sama dengan :

$$P_o = \frac{I_1^2 R_L}{2} \quad (2-12)$$

dimana R_L adalah beban yang dirasakan oleh penguat dengan memperhatikan efek transformasi oleh rangkaian penyesuaian.

I_1 adalah amplitudo dari komponen arus dasar. Dengan mengatur daerah integrasi dengan menempatkan sumbu tegak pada tengah-tengah θ_1 dan θ_2 , maka menurut Fourier besarnya arus dasar adalah :

$$I_1 = \frac{4}{T} \int_0^{\theta/\omega} i_c \cos \omega t \, dt \quad (2-13)$$

$$I_1 = \frac{4}{T} \int_0^{\theta/\omega} (I_p \cos \omega t - I_D) \cos \omega t \, dt \quad (2-14)$$

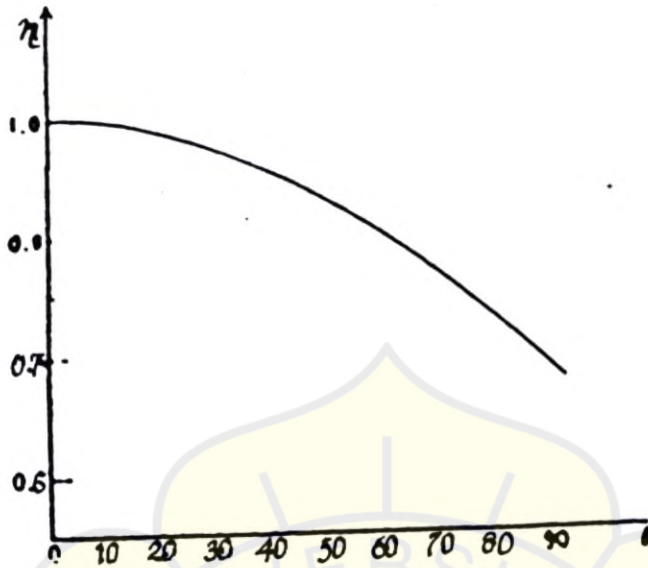
$$= (I_p/2\pi) (2\theta - \sin 2\theta) \quad (2-15)$$

Persamaan (2-15) diatas merupakan fungsi tidak linier dari θ karena mengandung fungsi sinus dan juga θ sendiri. Pada prategangan tetap adalah tidak linier terhadap amplitudo input, maka amplitudo arus dasar dan tegangan arus output akan merupakan fungsi non-linier dari amplitudo sinyal input.

Efisiensi sistem pada daya output maksimum adalah :

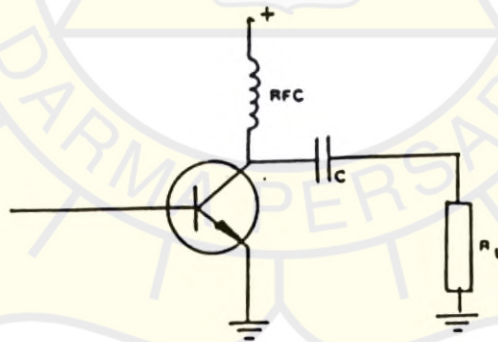
$$\eta = \frac{P_o}{P_{CC}} = \frac{I_1^2 R_L}{V_{CC} I_c} = \frac{V_{CC} I_1}{V_{CC} I_c} = \frac{2\theta - \sin 2\theta}{4(\sin \theta - \theta \cos \theta)} \quad (2-16)$$

dimana i_c adalah harga rata-rata dari arus kolektor. Bila persamaan (2-16) dianalisa, maka akan terlihat bahwa turunan pertama akan mempunyai harga negatif atau mempunyai gradien negatif. jadi efisiensi sebagai fungsi dari sudut konduksi akan naik dengan turunnya sudut konduksi. Efisiensi dapat dinaikan mendekati 100 % dengan membuat sudut konduksi mendekati nol. Bila persamaan tersebut dibuat grafiknya, maka akan berbentuk seperti gambar di bawah ini:



Gbr.2.5 Efisiensi sebagai fungsi dari sudut konduksi.

Rangkaian keluaran suatu penguat daya kelas C mempunyai bentuk seperti yang digambarkan pada gambar 2.6 di bawah ini:



Gbr.2.6 Rangkaian keluaran penguat daya kelas C.

Tegangan kolektor - emitor maksimum yang dapat terjadi adalah 2 kali tegangan catu.

$$V_{ce \text{ max}} = 2 V_{CC} \quad (2-17)$$

Hal ini diperhatikan dalam pemilihan transistor.

(2-1) yaitu sebesar :

$$I_M = I_p \sin \pi/2 - I_D \quad (2-18)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (2-3) dan (2-8) maka didapat:

$$I_M = I_p (1 - \cos \theta) \quad (2-19)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (2-15) pada persamaan (2-19) maka didapat :

$$I_M = \frac{2\pi I_1 (1 - \cos \theta)}{2\theta - \sin 2\theta} \quad (2-20)$$

Bila faktor kualitas rangkaian cukup tinggi, maka daya keluaran mempunyai harga :

$$P_o = \frac{I_1^2 R_L}{2} \quad (2-21)$$

karena : $V_{CC} = I_1 R_L \quad (2-22)$

maka : $P_o = \frac{V_{CC}^2}{2 R_L} \quad (2-23)$

Dengan mengangap tidak terjadi kehilangan daya pada komponen rangkaian, maka daya yang didisipasikan oleh transistor adalah :

$$P_d = P_{CC} - P_o \quad (2-24)$$

Dengan persamaan (2-11) dan (2-23) didapat :

$$P_d = \frac{V_{CC} I_p}{\pi} (\sin \theta - \theta \cos \theta) - \frac{V_{CC}}{2R_L} \quad (2-25)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (2-19) pada persamaan (2-25) maka didapat :

$$P_d = \frac{V_{CC} I_M (\sin \theta - \theta \cos \theta)}{\pi (1 - \cos \theta)} - \frac{V_{CC}}{2R_L} \quad (2-26)$$

Persamaan (2-23) dapat menyatakan hubungan antara tegangan catu V_{CC} dan daya keluaran P_o dengan beban yang optimum. Arus maksimum I_M yang dibutuhkan untuk didapat dengan memasukan persamaan (2-22) pada persamaan (2-20).

$$I_M = \frac{2\pi V_{CC} (1 - \cos \theta)}{R_L (2\theta - \sin 2\theta)} \quad (2-27)$$

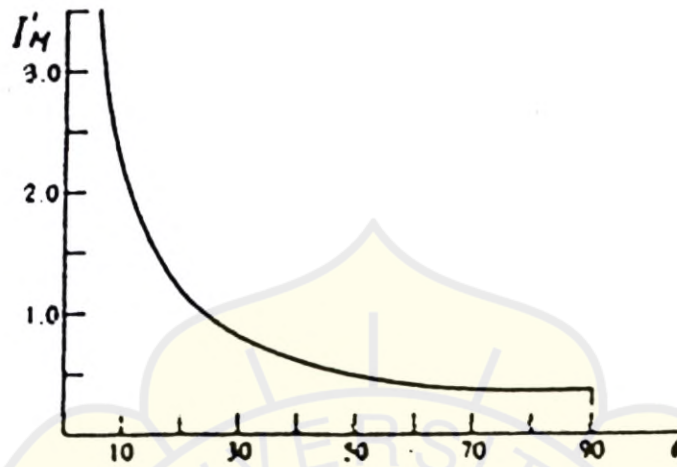
Normalisasi dari arus kolektor puncak didefinisikan sebagai:

$$I'_M = \frac{I_M R_L}{2\pi V_{CC}} \quad (2-28)$$

Dengan memasukan persamaan (2-27) pada persamaan (2-22) didapat :

$$I'_M = \frac{1 - \cos \theta}{2\theta - \sin 2\theta} \quad (2-29)$$

Dari persamaan (2-27) tersebut dapat dibuat grafik hubungan antara I'_M dengan sudut konduksi θ seperti pada gambar 2.7.



Gbr.2.7 Hubungan antara I'_M dengan θ .

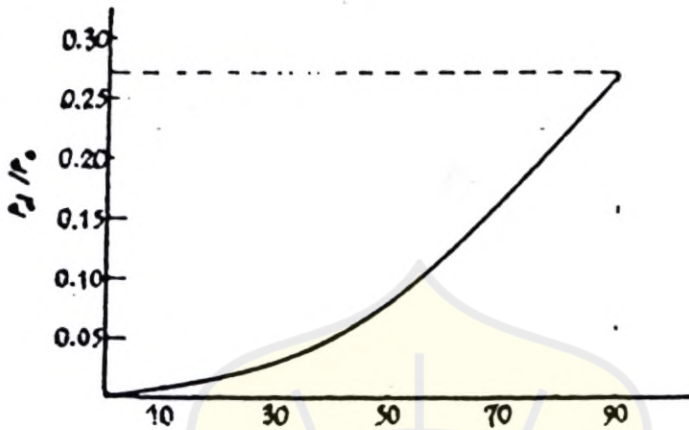
Dari hubungan (2-29) dan gambar 2.6 dapat dilihat bahwa untuk suatu level daya keluaran tertentu, harga puncak dari arus kolektor naik bila sudut konduksi turun.

Disipasi daya pada transistor dapat dihubungkan dengan daya keluaran dan sudut konduksi. Dengan mensubstitusikan persamaan (2-27) pada persamaan (2-26) didapatkan :

$$P_d = P_o \left[\frac{4 (\sin \theta - \theta \cos \theta)}{(2\theta - \sin 2\theta)} \right] \quad (2-30)$$

Dari persamaan (2-30) dapat digambarkan normalisasi daya disipasi terhadap daya keluaran (P_d/P_o) sebagai fungsi sudut konduksi θ .

$$P_d/P_o = \frac{4 (\sin \theta - \theta \cos \theta)}{(2\theta - \sin 2\theta)} - 1 \quad (2-31)$$



Gbr. 2.8 Hubungan P_d/P_o dengan θ .

Dari hubungan (2-31) serta gambar 2.8 dan dapat dilihat bahwa daya disipasi naik dengan naiknya sudut konduksi. Untuk suatu daya keluaran tertentu maka sudut konduksi harus dibatasi. Pembatasan ini dikaitkan dengan hubungan arus puncak dari kolektor dengan sudut konduksi, karena pada daya keluaran tetap untuk sudut konduksi yang kecil, disipasi daya kecil tetapi arus kolektor puncak naik.

2.5 Temperatur Operasi Transistor

Pada saat operasi, suhu junction kolektor harus dijaga dibawah 110° untuk transistor dari Germanium dan antara 160° - 210° untuk transistor dari Silikon. Pada tiap operasi sebagai penguat maka akan selalu terjadi disipasi pada sistem. Daya yang dapat disipasikan sehingga suhu junction masih dibawah batas suhu ini bergantung dari konduktivitas panas dan luas permukaan pendingin serta suhu udara sekeliling.

Hubungan antara daya disipasi daya dan beda suhu didefinisikan sebagai :

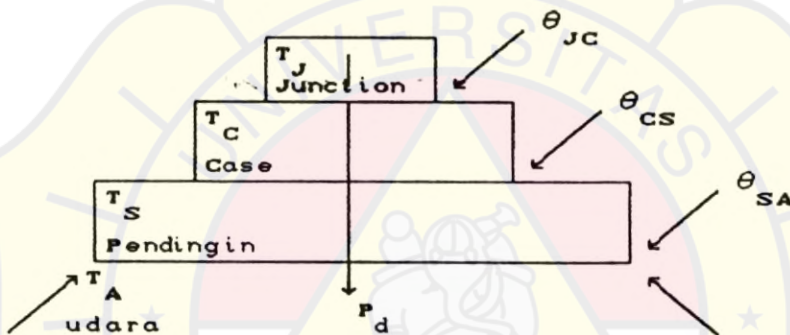
$$P_d \theta_{12} = (T_1 - T_2) \quad (2-32)$$

dimana : P_d = daya disipasi (watt)

$T_1 - T_2$ = beda suhu antara titik 1 dan 2

θ_{12} = resistansi panas antara titik 1 dan 2

Dengan hubungan tersebut, dapat diturunkan hubungan antara daya disipasi pada transistor dengan beda suhu junction dan udara dari model mekanik transistor yang dilekatkan pada pendingin sebagai gambar 2.9 berikut :



Gbr.2.9 Model Transistor dan pendingin.

dimana :

P_d = Daya disipasi panas

T_J, T_C, T_S, T_A berturut-turut adalah suhu junction, case, pendingin dan udara.

$\theta_{JC}, \theta_{CS}, \theta_{SA}$ berturut-turut adalah resistansi panas antara junction-case, case-pendingin, pendingin udara.

Pada keadaan steady state, dimana disipasi panas yang terjadi sama setiap tempat, maka berlaku hubungan berikut :

$$P_d \theta_{JC} = T_J - T_C \quad (2-33)$$

$$P_d \theta_{CS} = T_C - T_S \quad (2-34)$$

$$P_d \theta_{SA} = T_S - T_A \quad (2-35)$$

Bila ketiga persamaan (2-33), (2-34) dan (2-35) tersebut dijumlahkan maka didapat :

$$P_d (\theta_{JC} + \theta_{CS} + \theta_{SA}) = T_J - T_A \quad (2-36)$$

parameter baru dapat ditulis :

$$\theta_{CA} = \theta_{CS} + \theta_{SA} \quad (2-37)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (2-37) pada persamaan (2-36) maka didapat :

$$T_J = (\theta_{JC} + \theta_{CA}) P_d + T_A \quad (2-38)$$

Harga θ_{JC} sudah tertentu untuk suatu transistor. Suhu junction dapat dikendalikan dengan mengatur θ_{CA} . Harga $\theta_{CA} = \theta_{CS} + \theta_{SA}$ ini dibuat sekecil mungkin dengan memperhatikan hal-hal sebagai berikut :

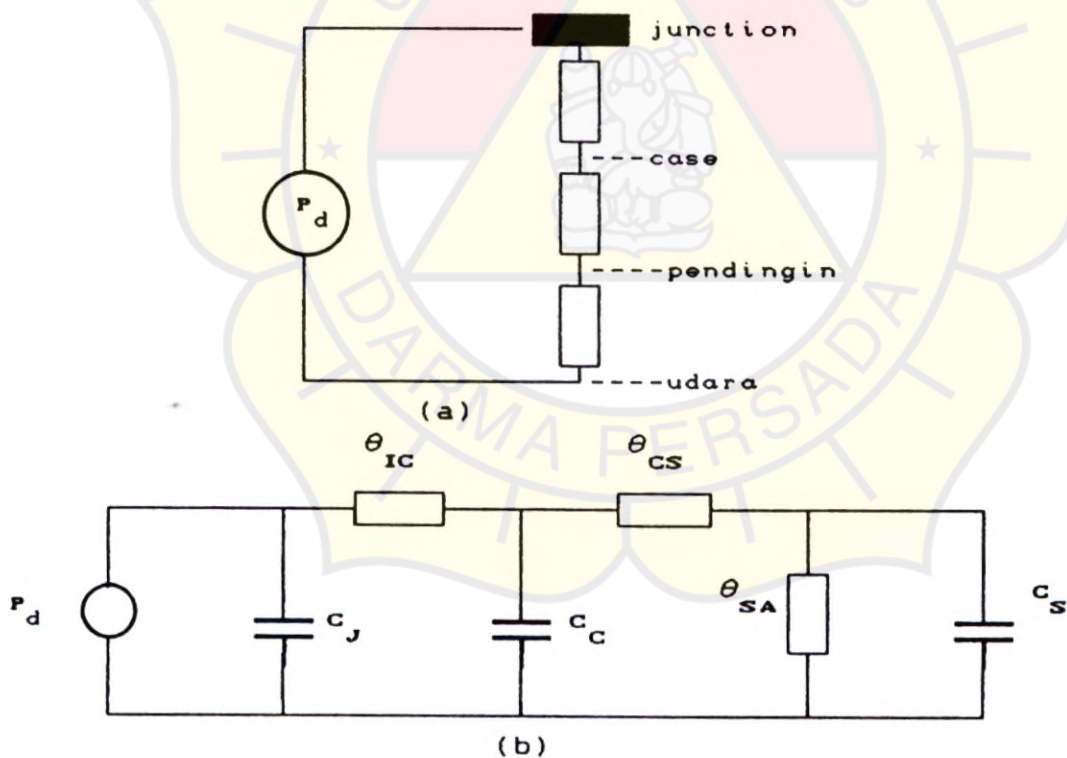
1. Transistor harus benar-benar menempel pada pendingin. Untuk itu bisa digunakan pasta silikon grease waktu menempelkan transistor yang besar.
2. Pendingin harus memiliki permukaan seluas mungkin untuk memberikan transfer panas yang besar.
3. Permukaan pendingin harus mempunyai emisivitas yang juga baik (faktor emisivitas mendekati satu) untuk dapat meradiasikan panas dengan baik. Emisivitas yang baik diperoleh bila permukaan pendingin berwarna hitam.
4. Koduktifitas panas dari bahan pendingin harus besar. Bahan konduktor yang memenuhi syarat adalah tembaga atau

aluminium.

Persamaan (2-36) dapat dilukiskan dengan suatu rangkaian termis (Gbr.2.10.a) yang dapat dianalogikan dengan rangkaian listrik searah (Gbr. 2.10.b).

Pada gambar (2.10.b) terlihat komponen kapasitor. Komponen ini adalah analogi dari kapasitas panas yang dimiliki oleh setiap bahan. Kapasitas panas merupakan kemampuan bahan untuk menyimpan energi panas seperti halnya kemampuan menyimpan energi listrik dari kapasitor.

Parameter-parameter yang analog antara rangkaian



Gbr. 2.10 Analogi rangkaian termis dengan rangkaian listrik.

Analogi parameter rangkaian listrik dengan rangkaian termis dapat diperlihatkan pada tabel II - 1 berikut.

Tabel II-1
Analogi Parameter Rangkaian Listrik
dengan Rangkaian Termis

	Rangkaian Listrik	Rangkaian Termis
1.	Resistor R (Ω)	Resistan panas θ ($^{\circ}\text{C}/\text{W}$)
2.	Kapasitansi (Farad)	Kapasitansi panas C (watt-detik/ $^{\circ}\text{C}$)
3.	Beda potensial V ₁ - V ₂ (Volt)	Beda suhu $T_1 - T_2$ ($^{\circ}\text{C}$)
4.	Arus I (ampere)	Disipasi daya P_d (watt)

Panas yang terjadi pada pendingin dibuang melalui 3 proses yaitu proses konduksi, konveksi dan radiasi. Hubungan resistansi panas dari ketiga cara itu terhadap fisis pendingin adalah sebagai berikut.

1. Konduksi

$$\theta_{\text{kon}} = \frac{d}{4,186 KA} \quad (2-39)$$

dimana : d = panjang lintasan panas (cm)

K = konduktifitas panas (kal/(det.cm $^{\circ}\text{C}$))

A = luas bidang tegak lurus lintasan panas (cm²)

Dengan rumus (2-39) di atas, maka terlihat bahwa untuk memindahkan harga θ_{kon} , maka dilakukan dengan memperbesar harga K dan A.

2. Konveksi

$$\theta_{\text{konv}} = \frac{2300}{A} \left[\frac{L}{T_s - T_a} \right]^{1/4} \quad (2-40)$$

dimana : A = luas permukaan total

L = tinggi pendingin

T_s = suhu pendingin

T_a = suhu udara

Hubungan ini berlaku bila pendingin adalah plat vertikal. Untuk memperbesar konveksi maka pendingin dibuat dengan sirip-sirip vertikal. Untuk lebih memperbesar aliran panas biasanya dibantu dengan kipas pendingin.

3. Radiasi

$$\theta_{\text{rad}} = \frac{1793 \times 10^8}{AE (T_s + T_a)} \quad (2-41)$$

dimana A = luas permukaan total

E = emisivitas

Harga θ_{rad} dapat diperkecil dengan mempertinggi harga A dengan menambah luas pendingin, serta dengan mempertinggi faktor emisivitas E .

2.6 Gain-Bandwidth Product

Gain-Bandwidth Product didefinisikan sebagai perkalian antara frekuensi cut-off dari transistor dengan penguatan arus pada frekuensi rendah.

$$f_T = f_{\beta} h_{FE} \quad (2-42)$$

di mana : f_T = gain-bandwidth product

f_{β} = frekuensi cut-off dari transistor

h_{FE} = penguat arus pada frekuensi rendah

Hubungan penguatan arus terhadap frekuensi dapat digambarkan sebagai berikut :

1. Pada $f \gg f_{\beta}$: penguat arus hampir konstan.



$A_i = 20 \log h_{FE}$, dimana A_i adalah penguat arus dalam dB.

2. Pada $f = f_\beta$: penguat arus $A_i = -3$ dB dibawah A_i pada frekuensi rendah.

3. Pada $f \gg f_\beta$: penguatan arus :

$$A_i = h_{FE} f_\beta / f \quad (2-43)$$

dengan substitusi persamaan (2-41) didapat :

$$\begin{aligned} A_i &= f_T / f \\ &= 20 \log f_T - 20 \log f \text{ (dB)} \end{aligned}$$

untuk kenaikan frekuensi menjadi 2 kalinya, maka penguatan arus turun sebesar :

$$A_i(f) - A_i(2f) = 20 \log 2 = 6 \text{ dB} \quad (2-46)$$

Dikatakan bahwa penguatan arus dari transistor turun dengan slope 6 dB/oktaf.

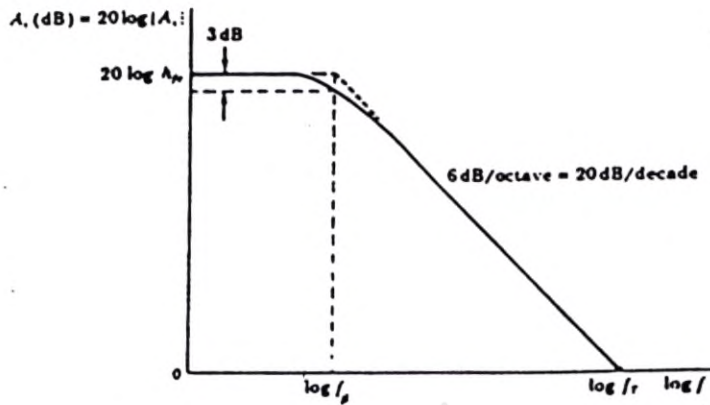
4. Pada $f = f_T$

Dengan memasukkan harga f pada persamaan (2-45) didapat :

$$A_i = 20 \log f_T - 20 \log f_T = 0 \text{ dB} \quad (2-47)$$

Dengan hubungan ini terlihat bahwa penguatan arus pada f_T adalah 1 kali (0 dB).

Gambar penguatan arus terhadap frekuensi diperlihatkan pada gambar 2.11.

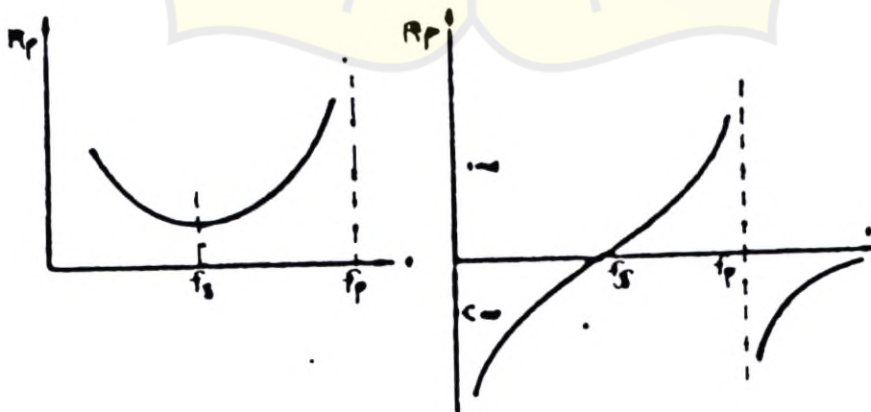


Gbr.2.11 Grafik penguatan arus terhadap frekuensi

2.7 Impedansi Input dan Output

Impedansi input dan output suatu transistor adalah impedansi yang dilihat masing-masing dari masukan dan keluaran transistor. Harga-harga impedansi ini diperlukan untuk merancang rangkaian penyesuaian impedansi. Impedansi-impedansi ini biasanya tidak resistif murni. Harga impedansi masukan dan keluaran biasa dinyatakan dengan komponen resistif seri atau paralel dengan komponen reaktif.

Impedansi input sebagai fungsi frekuensi untuk suatu transistor diperlihatkan pada gambar 2.12. Impedansi input adalah R_p paralel X_p . Untuk frekuensi di bawah f_s , impedansi bersifat kapasitif, sedangkan antara f_s dan f_p impedansi input bersifat induktif.



Gbr.2.12 Impedansi input fungsi dari frekuensi

Impedansi output terdiri dari resistansi paralel dengan kapasitas C_{out} . Resistansi ini biasanya diabaikan karena biasanya jauh lebih kecil dari resistansi beban. Untuk suatu daya keluaran pada tegangan catu tertentu, besarnya resistansi beban optimum yang diminta oleh transistor dapat dihitung dengan rumus (2-23)

$$P_o = V_{CC}^2 / 2R_L, \text{ atau :}$$

$$R_L = V_{CC}^2 / 2P_o \quad (2-48)$$

Bila tegangan kolektor-emitor jenuh V_{CEsat} tidak sama dengan nol maka rumus di atas menjadi :

$$R_L = \frac{(V_{CC} - V_{CE sat})^2}{2 P_o} \quad (2-49)$$

Harga R_L yang didapat diparalel conjugate C_{out} adalah impedansi kolektor yang diminta untuk transfer daya maksimum.