

PENGUAT DAYA (*POWER AMPLIFIER*)

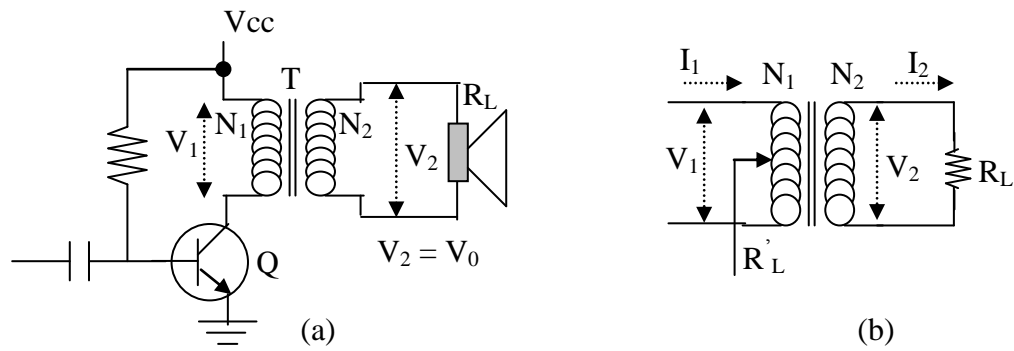
Oleh : Sumarna, Jurdik Fisika, FMIPA, UNY
E-mail : sumarna@uny.ac.ic

Dalam praktek, sistem penguat selalu terdiri dari sejumlah tingkat yang menguatkan sinyal lemah hingga cukup kuat untuk menjalankan piranti keluaran seperti pengeras suara (loudspeaker). Penguat pertama dan beberapa tingkat berikutnya dari suatu sistem penguat hanya berfungsi untuk menguatkan tegangan. Tetapi penguat pada tingkat yang terakhir dirancang untuk menyediakan daya maksimum. Penguat pada tingkat terakhir yang demikian itu dikenal sebagai **penguat daya**. Penguat pada tingkat-tingkat awal bertanggung-jawab pada penguatan tegangan atau amplitudo sinyal, sedangkan penguat pada tingkat yang terakhir berperan sebagai penguat daya hingga diperoleh daya sampai pada batas yang cukup untuk menjalankan piranti keluaran. Penguat tegangan dirancang untuk mendapatkan penguatan tegangan maksimum. Penguat tegangan tidak memiliki kemampuan untuk menghasilkan arus sinyal yang besar pada keluarannya. Hal ini disebabkan karena transistor yang digunakan memiliki kemampuan daya lesapan (dissipasi) yang kecil dan rangkaianannya memiliki hambatan keluaran yang besar. Pada penguat daya tegangan sinyal yang kecil diperkuat dan dibuat agar mampu menghasilkan arus sinyal yang besar untuk dapat menjalankan beban yang memerlukannya. Jadi pada penguat daya baik tegangan maupun arus sinyal harus besar. Penguat daya paling banyak digunakan dalam sistem audio. Istilah audio menunjuk pada frekuensi yang dapat direspon oleh telinga manusia. Jangkauan pendengaran manusia berkisar antara 20 Hz hingga 20 kHz.

Di dalam suatu sistem penguat, penguat daya berbeda dari semua penguat pada tingkat sebelumnya. Penguat daya dititik-beratkan dalam upaya untuk memperoleh daya keluaran yang maksimum. Transistor yang cocok untuk penguat daya pada umumnya disebut transistor daya. Perbedaan yang tampak sekilas antara transistor daya dan transistor yang lain terletak dalam ukuran fisiknya.

5.1. Penguat Push-Pull

Sebelum membahas penguat push-pull, terlebih dahulu akan dikemukakan dasar-dasarnya, yakni penguat daya dengan transformator keluaran (disingkat OT : Output Transformer). Seperti kita ketahui bahwa transformator dapat digunakan sebagai transformasi impedansi, karena impedansi masukan dan keluaran transformator tidaklah sama jika cacah lilitan pada bagian primer dan sekundernya berbeda. Dengan menggunakan transformator kita dapat menggandengkan suatu penguat dengan beban. Perhatikan gambar berikut.



Gambar 6.16 : Transformator penjodoh impedansi.

Impedansi (R'_L) yang tampak dari bagian primer transformator berkaitan dengan impedansi (R_L) yang menyilang pada bagian sekundernya. Perbandingan (rasio) antara impedansi primer dan sekunder dapat dituliskan sebagai :

$$\frac{R'_L}{R_L} = \frac{V_1/I_1}{V_2/I_2} = \frac{N_1}{N_2} \frac{N_1}{N_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \quad (24)$$

di mana $V_1/V_2 = N_1/N_2$ dan $I_2/I_1 = N_1/N_2$. Ternyata perbandingan antara impedansi masukan dan keluaran berubah terhadap kwadrat rasio lilitan transformator.

$$\frac{R'_L}{R_L} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 = a^2 \quad (25)$$

dan

$$R'_L = a^2 R_L = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 R_L \quad (26)$$

Di mana R_L merupakan impedansi beban yang dihubungkan menyilang antara ujung-ujung bagian sekunder transformator, R'_L adalah impedansi efektif yang tampak pada bagian primer transformator, dan $a = N_1/N_2$ adalah perbandingan lilitan transformator (step-down) yang diperlukan untuk membuat impedansi beban muncul sebagai impedansi efektif yang lebih besar yang tampak dari bagian primer transformator.

Contoh :

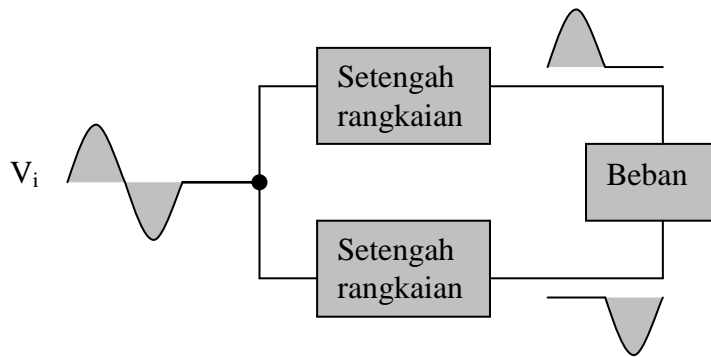
Berapakah perbandingan lilitan pada transformator yang digunakan untuk menjodohkan impedansi antara beban penguat suara 16Ω dengan suatu penguat yang impedansi efektif keluarannya $10 \text{ k}\Omega$?

Penyelesaian :

Dengan menggunakan persamaan (25) dapat dihitung perbandingan cacah lilitan pada transformator sebagai berikut :

$$\left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 = \frac{R'_L}{R_L} = \frac{10.000}{16} = 625$$
$$\frac{N_1}{N_2} = \sqrt{625} = 25 : 1.$$

Selanjutnya akan dibahas penguat kelas B. Hal ini selain karena keterbatasan tempat, juga karena jenis operasi penguat tersebut paling banyak digunakan pada penguat push-pull. Penguat yang beroperasi pada kelas B dibuat sedemikian hingga transistor hanya akan bekerja ketika terdapat sinyal masukan ac. Transistor tunggal dapat menghantarkan arus hanya setengah putaran sinyal. Untuk mendapatkan sinyal keluaran yang utuh satu putaran diperlukan dua transistor yang masing-masing menghantarkan arus untuk setengah putaran yang berkebalikan. Kombinasi kerja kedua transistor itu akan menghasilkan sinyal keluaran yang penuh satu putaran. Oleh karena satu bagian rangkaian menolak (push) sinyal positif (tinggi) dan bagian rangkaian lain menarik (pull) sinyal negatif (rendah), maka jenis penguat kelas B yang demikian itu dikenal sebagai penguat push-pull. Diagram dari penguat push-pull tampak pada gambar berikut.

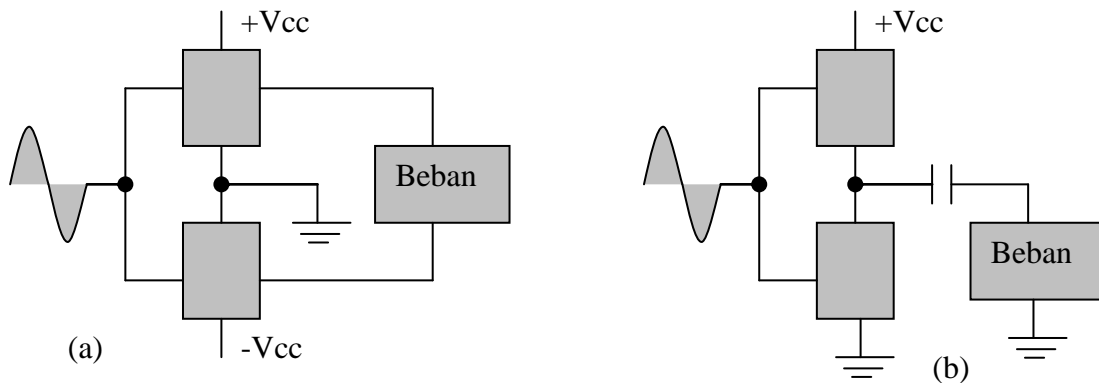


Gambar 6.17 : Diagram penguat push-pull.

Daya yang diberikan pada beban oleh rangkaian penguat daya ditarik dari sumber daya (power supply) dan tergantung dari daya masukan atau daya dc. Besar dari daya masukan dapat dihitung dari :

$$P_i (\text{dc}) = V_{cc} I_{dc} \quad (27)$$

di mana I_{dc} adalah arus rerata atau arus dc yang ditarik dari sumber tegangan. Konfigurasi penguat push-pull dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 6.18 : Konfigurasi penguat push-pull, (a) dengan dua tegangan sumber dan (b) dengan satu tegangan sumber.

Arus pada penguat kelas B yang ditarik dari sumber tegangan tunggal adalah sinyal gelombang penuh yang telah disearahkan, sedangkan yang ditarik dari sumber tegangan

ganda adalah sinyal setengah gelombang yang masing-masing telah disearahkan. Nilai rerata untuk setiap persoalan adalah :

$$I_{dc} = \frac{2}{\pi} I_{maks} \quad (28)$$

di mana I_{maks} nilai arus maksimum pada keluarannya. Sedangkan daya yang dihasilkan pada beban R_L dapat dihitung dengan cara :

$$P_0 \text{ (ac)} = \frac{V_L^2(pp)}{8R_L} = \frac{V_L^2(maks)}{2R_L} = \frac{V_L^2(rms)}{R_L}. \quad (29)$$

Dengan V_L adalah tegangan pada beban. Selanjutnya efisiensi (η) daya rangkaian penguat dihitung dengan cara :

$$\eta = \frac{P_0}{P_i} \times 100\%. \quad (30)$$

Daya yang dilesapkan (sebagai panas) pada transistor daya keluaran merupakan selisih antara daya masukan dari sumber dan daya keluaran yang diberikan pada beban. Daya lesapan pada transistor tersebut dapat dihitung sebagai berikut :

$$P_{2Q} = P_i - P_0 \quad (31)$$

di mana P_{2Q} merupakan daya yang dilesapkan oleh dua transistor daya keluaran. Sehingga daya lesap oleh setiap transistor adalah :

$$P_Q = \frac{P_{2Q}}{2}. \quad (32)$$

Daya keluaran maksimum yang terjadi pada beban dari penguat kelas B terjadi ketika $V_L(p) = V_{cc}$ yang besarnya adalah :

$$P_{0 \text{ maks}} \text{ (ac)} = \frac{V_{cc}^2}{2R_L}. \quad (33)$$

Sinyal arus ac yang sesuai dilewatkan pada beban berubah-ubah dengan nilai maksimum sebesar $I_{maks} = \frac{V_{cc}}{R_L}$ sehingga arus rerata dari sumber tegangan adalah

$$I_{dc} = \frac{2}{\pi} I_{maks} = \frac{2}{\pi} \frac{V_{cc}}{R_L} . \quad (34)$$

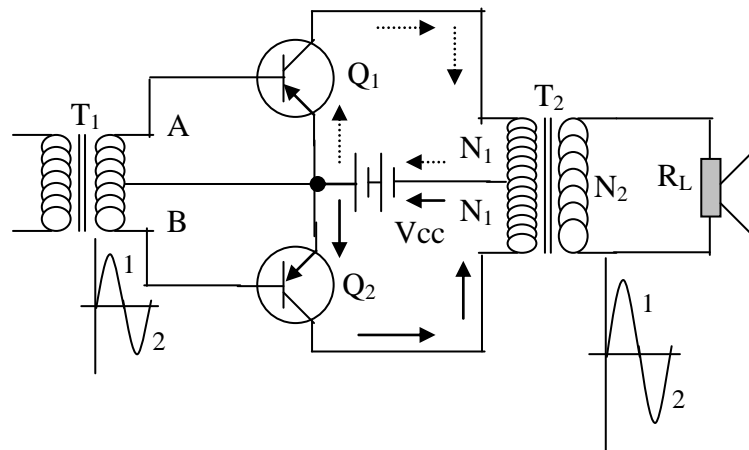
Daya masukan maksimum yang ditarik rangkaian adalah :

$$P_{i \text{ maks (dc)}} = V_{cc} I_{dc} = \frac{2V_{cc}^2}{\pi R_L} . \quad (35)$$

Daya lesapan maksimum pada kedua transistor keluaran terjadi ketika tegangan keluaran yang menyilang beban sebesar $(2/\pi) V_{cc}$, yang besarnya adalah :

$$P_{2Q(\text{maks})} = \frac{2V_{cc}^2}{\pi^2 R_L} . \quad (36)$$

Penguat push-pull merupakan penguat daya yang sering dipasang pada bagian keluaran (tingkat akhir) dari suatu rangkaian elektronik. Penguat daya digunakan ketika diperlukan daya besar dan efisiensi tinggi pada bagian keluarannya. Gambar berikut menunjukkan rangkaian penguat push-pull.



Gambar 6.19 : Rangkaian penguat (daya) push-pull.

Dua buah transistor Q_1 dan Q_2 dipasang saling membelakangi. Kedua transistor pada umumnya dioperasikan pada kelas B di mana tidak mengalir arus kolektor ketika tidak ada sinyal masukan. Transformator pengendali T_1 dengan bagian sekundernya memiliki sadap-tengah (centre tap) menyediakan tegangan yang sama besar tetapi berlawanan

polaritas masing-masing kepada basis kedua transistor. Transformator keluaran T_2 bagian primernya memiliki sadap tengah. Tegangan V_{cc} dihubungkan antara basis dengan sadap tengah T_2 tersebut. Beban R_L (dalam gambar berupa loudspeaker) dihubungkan menyilang antara ujung-ujung sekunder T_2 . Sinyal masukan muncul menyilang pada bagian sekunder AB dari T_1 . Anggap selama setengah putaran pertama sinyal (1) menjadikan A positif dan B negatif. Keadaan ini membuat sambungan emitor-basis pada Q_1 terpanjar balik (reverse bias) dan pada Q_2 terpanjar maju (forward bias). Rangkaian tersebut hanya menghantarkan arus pada Q_2 saja (arah anak panah garis penuh). Sehingga setengah putaran sinyal ini dikuatkan oleh Q_2 dan muncul pada setengah bagian bawah dari primer T_2 . Pada setengah putaran berikutnya dari sinyal tersebut membuat Q_1 terpanjar maju dan Q_2 terpanjar mundur sehingga Q_1 menghantarkan arus (ditunjukkan anak panah garis putus-putus). Akibatnya setengah putaran sinyal tersebut dikuatkan oleh Q_1 dan muncul pada setengah bagian atas dari primer T_2 . Sadap tengah bagian primer T_2 menggabungkan kedua arus kolektor untuk membentuk sinyal yang utuh kembali pada bagian sekunder keluaran.

Pada penguat push-pull mengalami transfer daya maksimum pada beban apabila terjadi keadaan jodoh impedansi (impedance matching). Jika R_L menyatakan impedansi yang tampak menyilang antara kedua ujung sekunder transformator keluaran T_2 , maka impedansi R'_L pada bagian primernya harus memenuhi :

$$R'_L = \left(\frac{2N_1}{N_2}\right)^2 R_L. \quad (37)$$

Di mana N_1 menyatakan cacah lilitan antara sadap tangan dan salah satu ujung primer, sedangkan N_2 adalah cacah lilitan pada bagian sekundernya.

Keuntungan dari penguat push-pull adalah dapat diperolehnya daya keluaran untuk ac yang tinggi, dan efisiensi rangkaian cukup tinggi (sekitar 75 %) karena pada umumnya dioperasikan pada kelas B. Kekurangannya adalah menggunakan dua transistor (kurang ekonomis), memerlukan dua tegangan masukan yang sama besar tetapi berlawanan polaritas sehingga diperlukan tingkat pengendali untuk menyediakan sinyal tersebut, jika parameter kedua transistor berbeda mengakibatkan penguatan yang berbeda untuk setiap setengah putaran sinyal, pada umumnya menghasilkan distorsi

penyebaran (crossover distortion) tetapi mengurangi distorsi linier, dan digunakan transformator secara fisik besar serta mahal.

Contoh :

Tentukanlah daya keluaran maksimum pada penguat kelas B yang menggunakan catu daya $V_{cc} = 30 \text{ V}$ untuk mengemudikan beban 16Ω !. Hitung pula daya masukan terbesar yang ditarik dari catu daya. Berapakah efisiensi maksimum penguat tersebut, dan berapakah daya terbesar yang dilepaskan setiap transistor ?

Penyelesaian :

Daya keluaran maksimum $P_{0 \text{ maks}}(\text{ac}) = \frac{V_{cc}^2}{2R_L} = \frac{(30\text{V})^2}{2(16\Omega)} = 28,125 \text{ W}$.

Daya masukan maksimum yang ditarik dari catu daya adalah

$$P_{i \text{ maks}}(\text{dc}) = V_{cc} \frac{2}{\pi} \frac{V_{cc}}{R_L} = (30) \frac{2}{\pi} \left(\frac{30}{16}\right) = 35,81 \text{ W}.$$

Efisiensi maksimum rangkaian $\eta = \frac{P_0}{P_i} \times 100\% = \frac{28,125}{35,81} \times 100\% = 78,54 \%$.

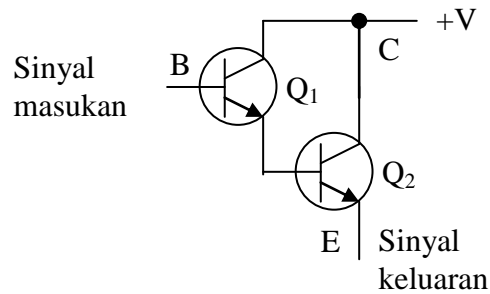
Daya maksimum yang dilepaskan pada setiap transistor daya adalah

$$P_Q = \frac{P_{2Q}(\text{maks})}{2} = (0,5) \left(\frac{2}{\pi^2}\right) \left(\frac{V_{cc}^2}{R_L}\right) = (0,5) \left(\frac{2}{\pi^2}\right) \frac{(30)^2}{16} = 5,7 \text{ W}.$$

5.2 Pasangan Darlington (*Darlington Pair*)

Suatu cara penyambungan yang dipakai dalam transistor bipolar untuk mendapatkan sepasang transistor dengan penguatan arus yang tinggi dan impedansi masukan tinggi dikenal sebagai rangkaian pasangan Darlington. Rangkaian pasangan Darlington terdiri dari dua pengikut emitor (konfigurasi kolektor bersama) dalam kaskade. Keuntungan dari pasangan Darlington adalah impedansi masukan tinggi, impedansi keluaran rendah, dan penguatan arus lebih besar bila dibandingkan dengan pengikut emitor tunggal. Alasan untuk peningkatan penguatan arus pada pasangan Dalington adalah bahwa penguatan totalnya merupakan hasil kali penguatan secara individual. Penguatan arus keseluruhan dari kedua transistor dapat mencapai 1000 kali, yang berarti bahwa arus masukan 1 mA dapat menghasilkan 1 A pada kolektor keluaran.

Pasangan Darlington dapat dilihat pada gambar berikut. Sinyal masukan dikenakan pada basis Q_1 , sedangkan sinyal keluaran emitor dari Q_1 dikenakan langsung pada basis Q_2 . Tingkat ini memberikan penguatan arus yang lebih pada sinyal keluaran dari emitor tersebut. Kaki kolektor dari kedua transistor dihubungkan bersama untuk membentuk terminal tegangan pencatu. Basis Q_1 harus dikenai tegangan panjar maju.



Gambar 6.20 : Pasangan Darlington terdiri dari dua pengikut emitor yang dikaskade

Penguatan arus A_I total dan impedansi masukan R_{in} pada pasangan Darlington ditentukan berdasarkan nilai parameter pada setiap transistor dan nilai hambatan emitor R_E yang terpasang. Pendekatan rumusnya adalah sebagai berikut :

$$A_i \approx \frac{h_{fe1}h_{fe2}}{1 + h_{oe1}h_{oe2}R_E} \quad (38)$$

dan

$$R_{in} \approx \frac{h_{fe1}h_{fe2}R_E}{1 + h_{oe1}h_{oe2}R_E} \quad (39)$$

Jika rangkaian pasangan darlington dipakai dalam konfigurasi emitor bersama, maka R_E sama dengan nol, sehingga :

$$A_I \approx 1 + h_{fe1} h_{fe2} \quad \text{dan} \quad R_{in} \approx (1 + h_{fe1} h_{fe2}).r_{e2}$$

di mana $r_{e2} = \frac{25\Omega}{I_{C2}(mA)}$.

Satu kelemahan dari pasangan Darlington adalah nilai arus bocoran yang relatif tinggi.

5.3. Latihan Soal 2

1. Hitunglah impedansi efektif (R'_L) yang tampak pada bagian primer suatu transformator step-down yang memiliki perbandingan cacah lilitan 15 : 1 dan yang bagian keluarannya dihubungkan dengan beban 8 Ω .
2. Tentukanlah besar efisiensi yang dihasilkan oleh suatu penguat kelas B yang menyediakan tegangan sinyal maksimum 20 V pada beban 16 Ω di mana penguat tersebut menggunakan catu daya tunggal $V_{cc} = 30$ V !.
3. Buktikan bahwa efisiensi maksimum penguat kelas B adalah $\eta = 78,54 \frac{V_{maks}}{V_{cc}} \% !$

5.4. Rambu-rambu Jawaban Latihan Soal 2

1. Berdasarkan persamaan (26) dapat diperoleh $R'_L = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 R_L = (15/1)^2 8 = 1,8 \text{ k}\Omega$.

2. Kuat arus maksimum yang dihasilkan $I_{maks} = \frac{V_{maks}}{R_L} = 20 \text{ V} / 16\Omega = 1,25 \text{ A}$.

Nilai arus dc yang ditarik dari catu daya $I_{dc} = \frac{2}{\pi} I_{maks} = \frac{2}{\pi} (1,25) = 0,796 \text{ A}$.

Daya masukan dari tegangan catu adalah $P_i(\text{dc}) = V_{cc} I_{dc} = (30)(0,796) = 23,9 \text{ W}$.

Daya keluaran yang diserahkan beban $P_o(\text{ac}) = \frac{V_L^2(\text{maks})}{2R_L} = \frac{(20\text{V})^2}{2(16\Omega)} = 12,5 \text{ W}$.

Efisiensi rangkaian penguat tersebut adalah :

$$\eta = \frac{P_o}{P_i} \times 100\% = \frac{12,5\text{W}}{23,9\text{W}} \times 100\% = 52,3 \%$$

3. Daya keluaran $P_o = \frac{V_L^2(\text{maks})}{2R_L}$

Daya masukan $P_i = V_{cc} I_{dc} = V_{cc} \frac{2}{\pi} \frac{V_{maks}}{R_L}$

$$\text{Efisiensi } \eta = \frac{P_o}{P_i} \times 100\% = \frac{V_{maks}^2 / 2R_L}{V_{CC} \frac{2 V_{maks}}{\pi R_L}} \times 100\% = 78,54 \frac{V_{maks}}{V_{CC}} \%$$

5.5. Rangkuman

Penguat tegangan dirancang untuk mendapatkan penguatan tegangan maksimum. Penguat tegangan tidak memiliki kemampuan untuk menghasilkan arus sinyal yang besar pada keluarannya. Hal ini disebabkan karena transistor yang digunakan memiliki kemampuan daya lesapan (dissipasi) yang kecil dan rangkaianannya memiliki hambatan keluaran yang besar. Pada penguat daya tegangan sinyal yang kecil diperkuat dan dibuat agar mampu menghasilkan arus sinyal yang besar untuk dapat menjalankan beban yang memerlukannya. Jadi pada penguat daya baik tegangan maupun arus sinyal harus besar.

Transformator dapat digunakan sebagai penjodoh impedansi, misalnya antara keluaran penguat dengan beban. Impedansi (R'_L) yang tampak dari bagian primer transformator berkaitan dengan impedansi (R_L) yang menyilang pada bagian sekundernya dan akan berlaku :

$$R'_L = a^2 R_L = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 R_L.$$

Penguat kelas B adalah penguat yang dibuat sedemikian hingga transistornya aktif (bekerja) hanya ketika terdapat sinyal masukan. Transistor tunggal hanya dapat menghantarkan arus untuk setengah siklus sinyal.

Daya yang diberikan pada beban oleh penguat push-pull ditarik dari catu daya dan tergantung dari daya masukan (dc) yang besarnya $P_1 (dc) = V_{CC} \cdot I_{dc}$. Nilai arus rerata (dc) yang ditarik dari catu daya adalah

$$I_{dc} = \frac{2}{\pi} I_{maks}.$$

Sedangkan daya yang dihasilkan pada beban R_L adalah :

$$P_0 \text{ (ac)} = \frac{V_L^2(pp)}{8R_L} = \frac{V_L^2(maks)}{2R_L} = \frac{V_L^2(rms)}{R_L}.$$

Dengan V_L adalah tegangan pada beban. Selanjutnya efisiensi (η) daya rangkaian penguat adalah :

$$\eta = \frac{P_0}{P_i} \times 100\%.$$

Daya yang dilepaskan (sebagai panas) pada dua transistor daya keluaran adalah :

$$P_{2Q} = P_i - P_0$$

Daya lesap oleh setiap transistor adalah : $P_Q = \frac{P_{2Q}}{2}$.

Daya keluaran maksimum yang terjadi pada beban dari penguat kelas B terjadi ketika $V_L(p) = V_{cc}$ yang besarnya adalah :

$$P_0 \text{ maks (ac)} = \frac{V_{cc}^2}{2R_L}.$$

Arus rerata dari sumber tegangan adalah

$$I_{dc} = \frac{2}{\pi} I_{maks} = \frac{2}{\pi} \frac{V_{cc}}{R_L}.$$

Daya masukan maksimum yang ditarik rangkaian adalah $P_{i \text{ maks (dc)}} = V_{cc} I_{dc} = \frac{2V_{cc}^2}{\pi R_L}$.

Daya lesapan maksimum pada kedua transistor keluaran adalah $P_{2Q(maks)} = \frac{2V_{cc}^2}{\pi^2 R_L}$.

Darlington terdiri dari dua pengikut emitor (konfigurasi kolektor bersama) dalam kaskade. Keuntungan dari pasangan Darlington adalah impedansi masukan tinggi, impedansi keluaran rendah, dan penguatan arus lebih besar bila dibandingkan dengan pengikut emitor tunggal. Peningkatan penguatan arus pada pasangan Dalington adalah karena penguatan totalnya merupakan hasil kali penguatan secara individual.

Penguatan arus total A_i dan impedansi masukan R_{in} pada pasangan Darlington adalah

$$A_i \approx \frac{h_{fe1}h_{fe2}}{1 + h_{oe1}h_{oe2}R_E} \quad R_{in} \approx \frac{h_{fe1}h_{fe2}R_E}{1 + h_{oe1}h_{oe2}R_E}.$$

5.6. Tes Formatif 2

1. Suatu pasangan Darlington menggunakan dua transistor masing-masing dengan faktor penguatan arus 50 dan 20. Faktor penguatan arus total dari pasangan tersebut adalah :
 - a. 2,5
 - b. 30
 - c. 70
 - d. 1000.

2. Pernyataan berikut ini membedakan antara penguat tegangan dan penguat daya :
 - a. penguat tegangan tidak mampu menghasilkan arus sinyal yang besar pada keluarannya
 - b. penguat daya memiliki kemampuan untuk menguatkan amplitudo sinyal
 - c. impedansi keluaran pada penguat tegangan relatif tinggi
 - d. penguat daya banyak menggunakan konfigurasi emitor bersama.

3. Pernyataan berikut ini benar untuk pasangan Darlington :
 - a. impedansi masukan lebih tinggi dari pada impedansi keluaran
 - b. banyak digunakan untuk transformasi atau menjodohkan impedansi
 - c. besar penguatan tegangan sangat dekat dengan satu
 - d. menggunakan operasi penguatan kelas B.

4. Keuntungan penggunaan penguat daya push-pull adalah :
 - a. mengurangi terjadinya distorsi penyeberangan
 - b. menggunakan transistor dengan kemampuan lesapan daya rendah
 - c. efisiensi penguatan relatif tinggi dapat mencapai 75 %
 - d. sangat baik untuk frekuensi tinggi (frekuensi radio).

5. Efisiensi penguat kelas B yang menggunakan catu daya dc 24 V dan dapat menghasilkan tegangan maksimum sinyal keluaran 22 V adalah :
 - a. 78,54 %
 - b. 71,99 %

- c. 35,99 %
 - d. 19,61 %.
6. Suatu penguat push-pull menyerap daya dc dari catu daya sebesar 25 watt dan memberikan daya keluaran pada beban sebesar 15 watt. Daya yang dilesapkan oleh setiap transistor adalah :
- a. 40 W
 - b. 20 W
 - c. 10 W
 - d. 5 W.
7. Suatu konfigurasi Darlington menggunakan dua buah transistor identik masing-masing dengan parameter $\beta = 50$ dan $h_{oe} = 20 \mu\text{A/V}$. Jika pada terminal keluarannya dipasang hambatan emitor R_E sebesar 1 k Ω , maka penguatan arus yang dihasilkan pasangan tersebut adalah :
- a. 2500
 - b. 1250
 - c. 250
 - d. 125.
8. Dua buah transistor identik masing-masing dengan $h_{fe} = 50$ dan $h_{oe} = 20 \mu\text{A/V}$ dirangkai sebagai pasangan Darlington. Kemudian pada terminal keluaran (emitor) dipasang hambatan 1 k Ω , maka impedansi masukan pasangan tersebut adalah :
- a. 2500 k Ω
 - b. 2000 k Ω
 - c. 1250 k Ω
 - d. 1000 k Ω .
9. Efisiensi penguatan pada penguat push-pull yang menggunakan catu daya tunggal dan catu daya ganda berturut-turut adalah η_1 dan η_2 . Jika hanya berbeda dalam pencatuannya, maka pernyataan berikut ini yang paling tepat adalah :

- a. $\eta_1 = \eta_2$
- b. $(\eta_1/\eta_2) > 1$
- c. $(\eta_1/\eta_2) < 1$
- d. η_1 tidak sama dengan η_2 .

10. Berikut ini benar untuk penguat kelas B, **kecuali** :

- a. arus yang mengalir nol bila tidak ada sinyal masukan
- b. transistornya dipanjar pada titik sumbat
- c. menghantarkan arus hanya pada setengah siklus masukan
- d. pada umumnya digunakan sebagai penguat sinyal kecil dan daya rendah.

5.7. Daftar Kepustakaan

Boylestad, R., Nashelsky, L., 1989, **Electronic Devices and Circiut Theory**, 4th Edition, Prentice-Hall of India, New Delhi.

Grob, B., 1987, **Electronic Circuits and Applications**, McGraw-HillBook Company, Auckland.

Loveday, G., 1992, **Intisari Elektronika, Penjelasan Alfabetik dari A sampai Z**, PT Elex Media Komputindo, Gramedia, Jakarta.

Mehta, V.K., 1997, **Principles of Electronics**, S.Chand & Company Ltd., New Delhi.

Sutrisno, 1986, **Elektronika 1, Teori dan Penerapannya**, ITB, Bandung.

Sutrisno, 1986, **Elektronika 2, Teori dan Penerapannya**, ITB, Bandung.