

# PENGUAT MENGGUNAKAN TRANSISTOR

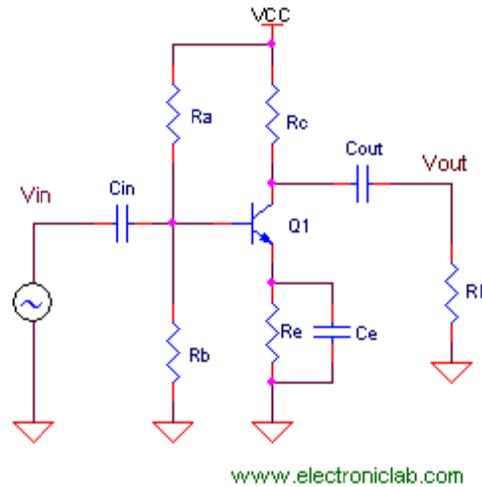
Sudah menjadi suatu hal yang lumrah jika seseorang selalu mencari sesuatu yang lebih baik. Tak terkecuali di bidang rancang bangun penguat amplifier, perancang, peminat atau insinyur elektronika tak pernah berhenti mencari berbagai macam konsep yang lebih baik. Ada beberapa jenis penguat audio yang dikategorikan antara lain sebagai penguat class A, B, AB, C, D, T, G, H dan beberapa tipe lainnya yang belum disebut di sini. Tulisan berikut membahas secara singkat apa yang menjadi ciri dan konsep dari sistem power amplifier (PA) tersebut.

## IV.1 Fidelitas dan Efisiensi

Penguat audio (amplifier) secara harfiah diartikan dengan memperbesar dan menguatkan sinyal input. Tetapi yang sebenarnya terjadi adalah, sinyal input di-replika (copied) dan kemudian di reka kembali (re-produced) menjadi sinyal yang lebih besar dan lebih kuat. Dari sinilah muncul istilah fidelitas (fidelity) yang berarti seberapa mirip bentuk sinyal keluaran hasil replika terhadap sinyal masukan. Ada kalanya sinyal input dalam prosesnya kemudian terdistorsi karena berbagai sebab, sehingga bentuk sinyal keluarannya menjadi cacat. Sistem penguat dikatakan memiliki fidelitas yang tinggi (high fidelity), jika sistem tersebut mampu menghasilkan sinyal keluaran yang bentuknya persis sama dengan sinyal input. Hanya level tegangan atau amplituda saja yang telah diperbesar dan dikuatkan. Di sisi lain, efisiensi juga mesti diperhatikan. Efisiensi yang dimaksud adalah efisiensi dari penguat itu yang dinyatakan dengan besaran persentasi dari power output dibandingkan dengan power input. Sistem penguat dikatakan memiliki tingkat efisiensi tinggi (100 %) jika tidak ada rugi-rugi pada proses penguatannya yang terbuang menjadi panas.

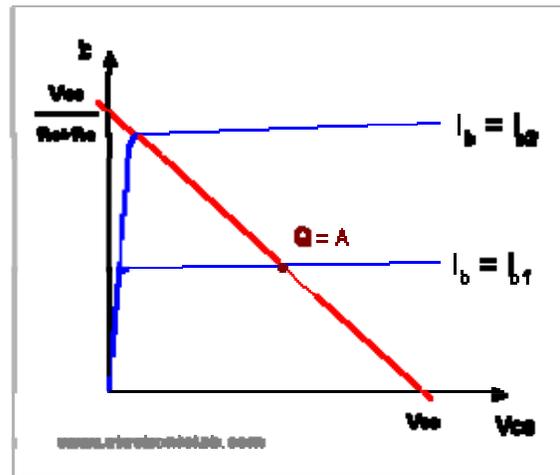
## IV.2 PA kelas A

Contoh dari penguat class A adalah adalah rangkaian dasar common emitter (CE) transistor. Penguat tipe kelas A dibuat dengan mengatur arus bias yang sesuai di titik tertentu yang ada pada garis bebannya. Sedemikian rupa sehingga titik Q ini berada tepat di tengah garis beban kurva  $V_{CE}-I_C$  dari rangkaian penguat tersebut dan sebut saja titik ini titik A. Gambar berikut adalah contoh rangkaian common emitter dengan transistor NPN Q1.



Gambar IV.1 Rangkaian dasar kelas A

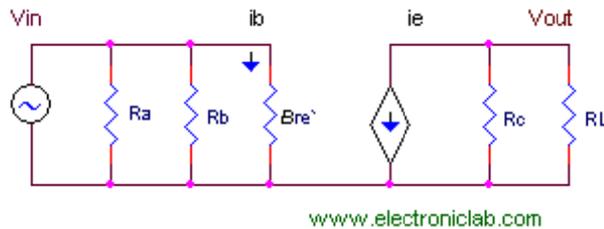
Garis beban pada penguat ini ditentukan oleh resistor  $R_c$  dan  $R_e$  dari rumus  $V_{CC} = V_{CE} + I_c R_c + I_e R_e$ . Jika  $I_e = I_c$  maka dapat disederhanakan menjadi  $V_{CC} = V_{CE} + I_c (R_c + R_e)$ . Selanjutnya pembaca dapat menggambar garis beban rangkaian ini dari rumus tersebut. Sedangkan resistor  $R_a$  dan  $R_b$  dipasang untuk menentukan arus bias. Pembaca dapat menentukan sendiri besar resistor-resistor pada rangkaian tersebut dengan pertama menetapkan berapa besar arus  $I_b$  yang memotong titik Q.



Gambar IV.2 Garis beban dan titik Q kelas A

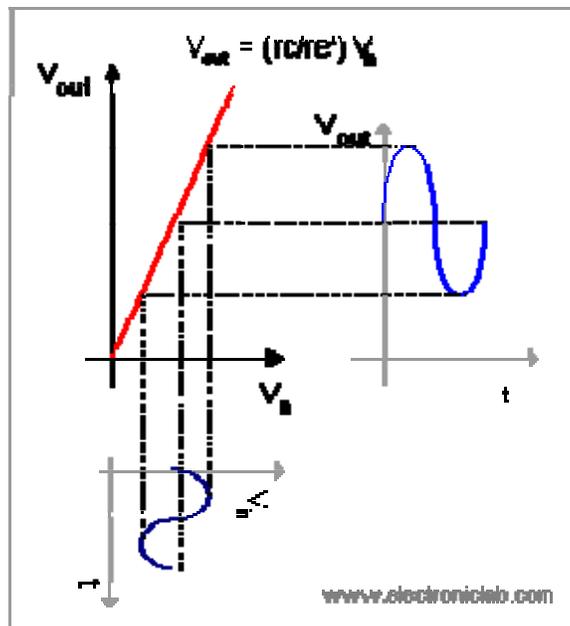
Besar arus  $I_b$  biasanya tercantum pada datasheet transistor yang digunakan. Besar penguatan sinyal AC dapat dihitung dengan teori analisa rangkaian sinyal AC. Analisa rangkaian

AC adalah dengan menghubungkan singkat setiap komponen kapasitor C dan secara imajiner menyambungkan  $V_{CC}$  ke ground. Dengan cara ini rangkaian gambar-1 dapat dirangkai menjadi seperti gambar-3. Resistor  $R_a$  dan  $R_c$  dihubungkan ke ground dan semua kapasitor dihubungkan singkat.



Gambar IV.3 Rangkaian imajiner analisa ac kelas A

Dengan adanya kapasitor  $C_e$ , nilai  $R_c$  pada analisa sinyal AC menjadi tidak berarti. Pembaca dapat mencari lebih lanjut literatur yang membahas penguatan transistor untuk mengetahui bagaimana perhitungan nilai penguatan transistor secara detail. Penguatan didefinisikan dengan  $V_{out}/V_{in} = r_c / r_e'$ , dimana  $r_c$  adalah resistansi  $R_c$  paralel dengan beban  $R_L$  (pada penguat akhir,  $R_L$  adalah speaker 8 Ohm) dan  $r_e'$  adalah resistansi penguatan transistor. Nilai  $r_e'$  dapat dihitung dari rumus  $r_e' = h_{fe}/h_{ie}$  yang datanya juga ada di datasheet transistor. Gambar-4 menunjukkan ilustrasi penguatan sinyal input serta proyeksinya menjadi sinyal output terhadap garis kurva x-y rumus penguatan  $v_{out} = (r_c/r_e) V_{in}$ .

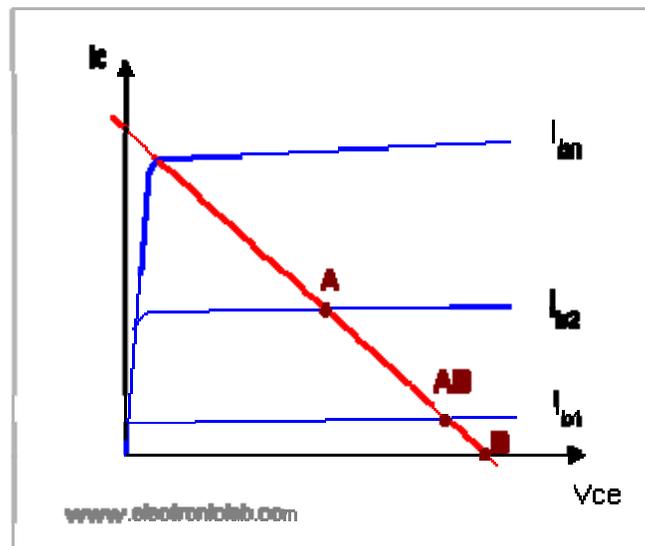


Gambar IV.4 Kurva penguatan kelas A

Ciri khas dari penguat kelas A, seluruh sinyal keluarannya bekerja pada daerah aktif. Penguat tipe class A disebut sebagai penguat yang memiliki tingkat fidelitas yang tinggi. Asalkan sinyal masih bekerja di daerah aktif, bentuk sinyal keluarannya akan sama persis dengan sinyal input. Namun penguat kelas A ini memiliki efisiensi yang rendah kira-kira hanya 25% - 50%. Ini tidak lain karena titik Q yang ada pada titik A, sehingga walaupun tidak ada sinyal input (atau ketika sinyal input = 0 Vac) transistor tetap bekerja pada daerah aktif dengan arus bias konstan. Transistor selalu aktif (ON) sehingga sebagian besar dari sumber catu daya terbuang menjadi panas. Karena ini juga transistor penguat kelas A perlu ditambah dengan pendingin ekstra seperti heatsink yang lebih besar.

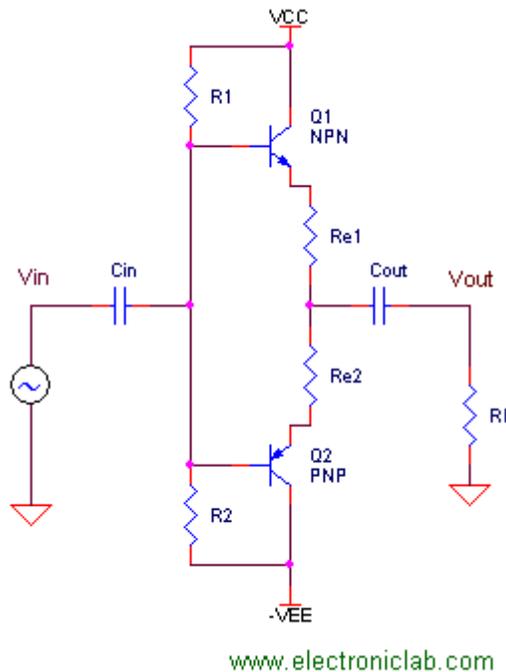
### IV.3 PA kelas B

Panas yang berlebih menjadi masalah tersendiri pada penguat kelas A. Maka dibuatlah penguat kelas B dengan titik Q yang digeser ke titik B (pada gambar-5). Titik B adalah satu titik pada garis beban dimana titik ini berpotongan dengan garis arus  $I_b = 0$ . Karena letak titik yang demikian, maka transistor hanya bekerja aktif pada satu bagian phase gelombang saja. Oleh sebab itu penguat kelas B selalu dibuat dengan 2 buah transistor Q1 (NPN) dan Q2 (PNP).



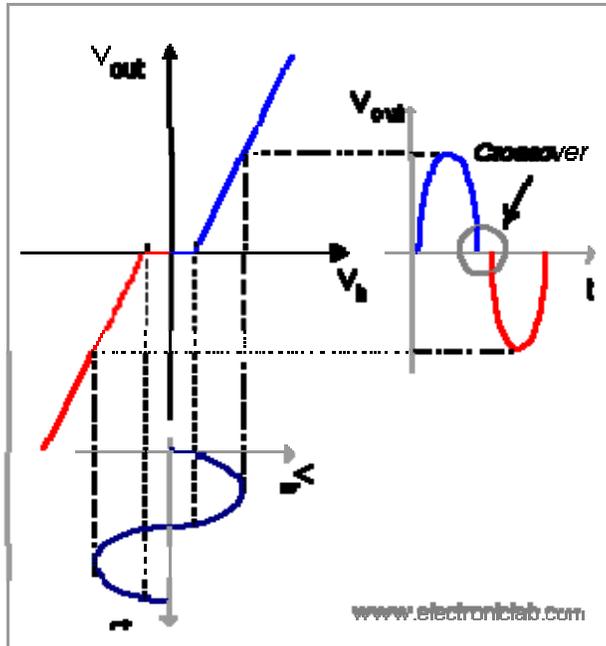
Gambar IV.5 Titik Q penguat A, AB dan B

Karena kedua transistor ini bekerja bergantian, maka penguat kelas B sering dinamakan sebagai penguat Push-Pull. Rangkaian dasar PA kelas B adalah seperti pada gambar-6. Jika sinyalnya berupa gelombang sinus, maka transistor Q1 aktif pada 50 % siklus pertama (phase positif  $0^{\circ}$ - $180^{\circ}$ ) dan selanjutnya giliran transistor Q2 aktif pada siklus 50 % berikutnya (phase negatif  $180^{\circ} - 360^{\circ}$ ). Penguat kelas B lebih efisien dibanding dengan kelas A, sebab jika tidak ada sinyal input ( $v_{in} = 0$  volt) maka arus bias  $I_b$  juga = 0 dan praktis membuat kedua transistor dalam keadaan OFF.



Gambar IV.6 Rangkaian dasar penguat kelas B

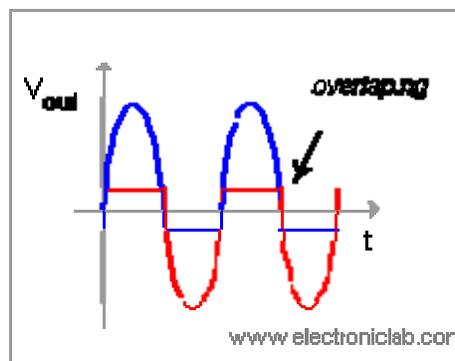
Efisiensi penguat kelas B kira-kira sebesar 75%. Namun bukan berarti masalah sudah selesai, sebab transistor memiliki ke-tidak-ideal-an. Pada kenyataannya ada tegangan jepit  $V_{be}$  kira-kira sebesar 0.7 volt yang menyebabkan transistor masih dalam keadaan OFF walaupun arus  $I_b$  telah lebih besar beberapa mA dari 0. Ini yang menyebabkan masalah cross-over pada saat transisi dari transistor Q1 menjadi transistor Q2 yang bergantian menjadi aktif. Gambar-7 menunjukkan masalah cross-over ini yang penyebabnya adalah adanya dead zone transistor Q1 dan Q2 pada saat transisi. Pada penguat akhir, salah satu cara mengatasi masalah cross-over adalah dengan menambah filter cross-over (filter pasif L dan C) pada masukan speaker.



Gambar IV.7 Kurva penguatan kelas B

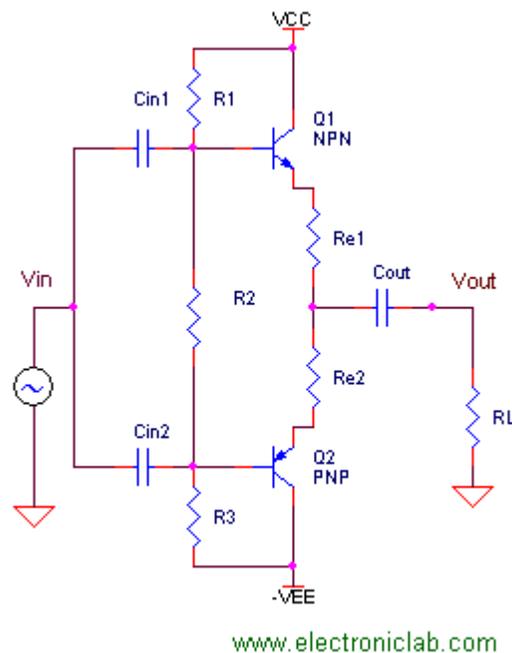
#### IV.4 PA Kelas AB

Cara lain untuk mengatasi cross-over adalah dengan menggeser sedikit titik Q pada garis beban dari titik B ke titik AB (gambar-5). Ini tujuannya tidak lain adalah agar pada saat transisi sinyal dari phase positif ke phase negatif dan sebaliknya, terjadi overlap diantara transistor Q1 dan Q2. Pada saat itu, transistor Q1 masih aktif sementara transistor Q2 mulai aktif dan demikian juga pada phase sebaliknya. Penguat kelas AB merupakan kompromi antara efisiensi (sekitar 50% - 75%) dengan mempertahankan fidelitas sinyal keluaran.



Gambar IV.8 Overlapping sinyal keluaran penguat kelas AB

Ada beberapa teknik yang sering dipakai untuk menggeser titik Q sedikit di atas daerah cut-off. Salah satu contohnya adalah seperti gambar-9 berikut ini. Resistor  $R_2$  di sini berfungsi untuk memberi tegangan jepit antara base transistor Q1 dan Q2. Pembaca dapat menentukan berapa nilai  $R_2$  ini untuk memberikan arus bias tertentu bagi kedua transistor. Tegangan jepit pada  $R_2$  dihitung dari pembagi tegangan  $R_1$ ,  $R_2$  dan  $R_3$  dengan rumus  $V_{R2} = (2V_{CC}) R_2 / (R_1 + R_2 + R_3)$ . Lalu tentukan arus base dan lihat relasinya dengan arus  $I_c$  dan  $I_e$  sehingga dapat dihitung relasinya dengan tegangan jepit  $R_2$  dari rumus  $V_{R2} = 2 \times 0.7 + I_e (R_{e1} + R_{e2})$ . Penguat kelas AB ternyata punya masalah dengan teknik ini, sebab akan terjadi peng-gemukan sinyal pada kedua transistornya aktif ketika saat transisi. Masalah ini disebut dengan gummung.



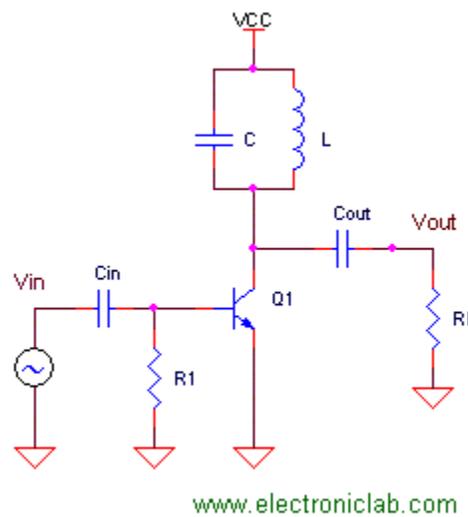
Gambar IV.9 Rangkaian dasar penguat kelas AB

Untuk menghindari masalah gummung ini, ternyata sang insinyur (yang mungkin saja bukan seorang insinyur) tidak kehilangan akal. Maka dibuatlah teknik yang hanya mengaktifkan salah satu transistor saja pada saat transisi. Caranya adalah dengan membuat salah satu transistornya bekerja pada kelas AB dan satu lainnya bekerja pada kelas B. Teknik ini bisa dengan memberi bias konstan pada salah satu transistornya yang bekerja pada kelas AB (biasanya selalu yang PNP). Caranya dengan menganjal base transistor tersebut menggunakan deretan dioda atau susunan satu transistor aktif. Maka kadang penguat seperti ini disebut juga dengan penguat kelas AB plus B atau bisa saja diklaim sebagai kelas AB saja atau kelas B

karena dasarnya adalah PA kelas B. Penyebutan ini tergantung dari bagaimana produk amplifier anda mau diiklankan. Karena penguat kelas AB terlanjur memiliki konotasi lebih baik dari kelas A dan B. Namun yang penting adalah dengan teknik-teknik ini tujuan untuk mendapatkan efisiensi dan fidelitas yang lebih baik dapat terpenuhi

#### IV.5 PA kelas C

Kalau penguat kelas B perlu 2 transistor untuk bekerja dengan baik, maka ada penguat yang disebut kelas C yang hanya perlu 1 transistor. Ada beberapa aplikasi yang memang hanya memerlukan 1 phase positif saja. Contohnya adalah pendeteksi dan penguat frekuensi pilot, rangkaian penguat tuner RF dan sebagainya. Transistor penguat kelas C bekerja aktif hanya pada phase positif saja, bahkan jika perlu cukup sempit hanya pada puncak-puncaknya saja dikuatkan. Sisa sinyalnya bisa direplika oleh rangkaian resonansi L dan C. Tipikal dari rangkaian penguat kelas C adalah seperti pada rangkaian berikut ini.



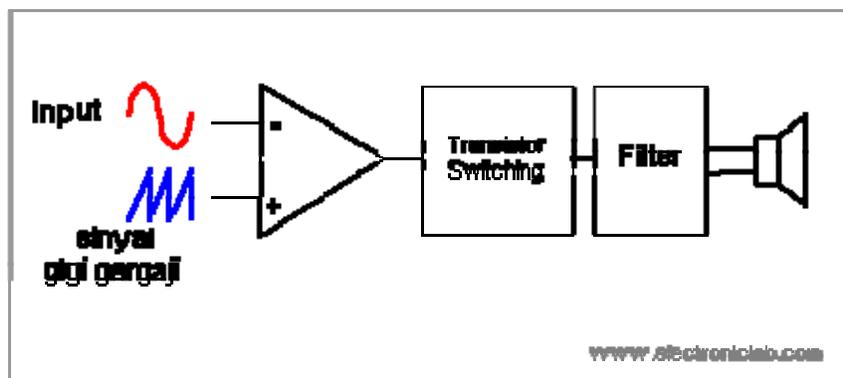
Gambar IV.10 Rangkaian dasar penguat kelas C

Rangkaian ini juga tidak perlu dibuatkan bias, karena transistor memang sengaja dibuat bekerja pada daerah saturasi. Rangkaian L C pada rangkaian tersebut akan ber-resonansi dan ikut berperan penting dalam me-replika kembali sinyal input menjadi sinyal output dengan frekuensi yang sama. Rangkaian ini jika diberi umpanbalik dapat menjadi rangkaian osilator RF yang sering digunakan pada pemancar. Penguat kelas C memiliki efisiensi yang tinggi bahkan sampai

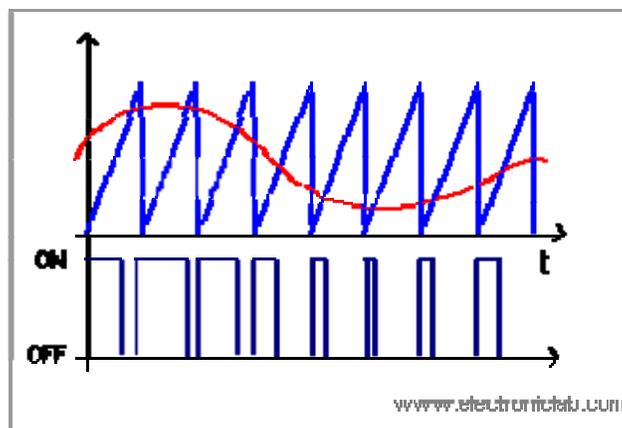
100%, namun tingkat fidelitasnya memang lebih rendah. Tetapi sebenarnya fidelitas yang tinggi bukan menjadi tujuan dari penguat jenis ini.

#### IV.6 PA kelas D

Penguat kelas D menggunakan teknik PWM (pulse width modulation), dimana lebar dari pulsa ini proporsional terhadap amplituda sinyal input. Pada tingkat akhir, sinyal PWM men-drive transistor switching ON dan OFF sesuai dengan lebar pulsanya. Transistor switching yang digunakan biasanya adalah transistor jenis FET. Konsep penguat kelas D ditunjukkan pada gambar-11. Teknik sampling pada sistem penguat kelas D memerlukan sebuah generator gelombang segitiga dan komparator untuk menghasilkan sinyal PWM yang proporsional terhadap amplituda sinyal input. Pola sinyal PWM hasil dari teknik sampling ini seperti digambarkan pada gambar-12. Paling akhir diperlukan filter untuk meningkatkan fidelitas.



Gambar IV.11 Konsep penguat kelas D



Gambar IV.12 Ilustrasi modulasi PWM penguat kelas D

Beberapa produsen pembuat PA meng-klaim penguat kelas D produksinya sebagai penguat digital. Secara kebetulan notasi D dapat diartikan menjadi Digital. Sebenarnya bukanlah persis demikian, sebab proses digital mestinya mengandung proses manipulasi sederetan bit-bit yang pada akhirnya ada proses konversi digital ke analog (DAC) atau ke PWM. Kalaupun mau disebut digital, penguat kelas D adalah penguat digital 1 bit (on atau off saja).

#### **IV.7 PA kelas E**

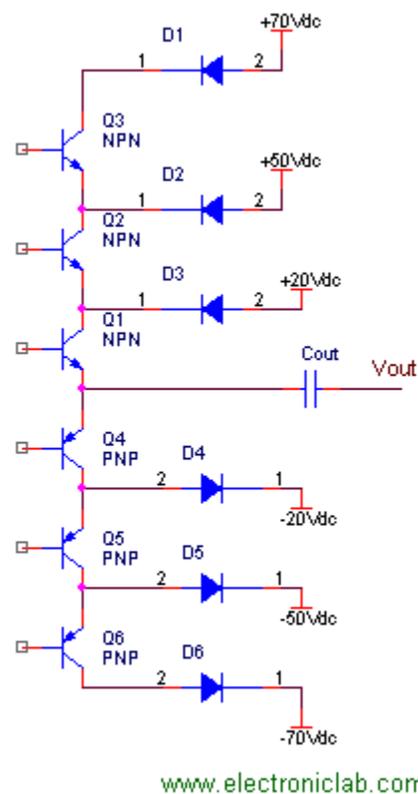
Penguat kelas E pertama kali dipublikasikan oleh pasangan ayah dan anak Nathan D dan Alan D Sokal tahun 1972. Dengan struktur yang mirip seperti penguat kelas C, penguat kelas E memerlukan rangkaian resonansi L/C dengan transistor yang hanya bekerja kurang dari setengah duty cycle. Bedanya, transistor kelas C bekerja di daerah aktif (linier). Sedangkan pada penguat kelas E, transistor bekerja sebagai switching transistor seperti pada penguat kelas D. Biasanya transistor yang digunakan adalah transistor jenis FET. Karena menggunakan transistor jenis FET (MOSFET/CMOS), penguat ini menjadi efisien dan cocok untuk aplikasi yang memerlukan drive arus yang besar namun dengan arus input yang sangat kecil. Bahkan dengan level arus dan tegangan logik pun sudah bisa membuat transistor switching tersebut bekerja. Karena dikenal efisien dan dapat dibuat dalam satu chip IC serta dengan disipasi panas yang relatif kecil, penguat kelas E banyak diaplikasikan pada peralatan transmisi mobile semisal telepon genggam. Di sini antenna adalah bagian dari rangkaian resonansinya.

#### **IV.8 PA kelas T**

Penguat kelas T bisa jadi disebut sebagai penguat digital. Tripath Technology membuat desain digital amplifier dengan metode yang mereka namakan Digital Power Processing (DPP). Mungkin terinspirasi dari PA kelas D, rangkaian akhirnya menggunakan konsep modulasi PWM dengan switching transistor serta filter. Pada penguat kelas D, proses dibelakangnya adalah proses analog. Sedangkan pada penguat kelas T, proses sebelumnya adalah manipulasi bit-bit digital. Di dalamnya ada audio prosesor dengan proses umpanbalik yang juga digital untuk koreksi timing delay dan phase.

#### **IV.9 PA kelas G**

Kelas G tergolong penguat analog yang tujuannya untuk memperbaiki efisiensi dari penguat kelas B/AB. Pada kelas B/AB, tegangan supply hanya ada satu pasang yang sering dinotasikan sebagai  $+V_{CC}$  dan  $-V_{EE}$  misalnya  $+12V$  dan  $-12V$  (atau ditulis dengan  $\pm 12V$ ). Pada penguat kelas G, tegangan supply-nya dibuat bertingkat. Terutama untuk aplikasi yang membutuhkan power dengan tegangan yang tinggi, agar efisien tegangan supplynya ada 2 atau 3 pasang yang berbeda. Misalnya ada tegangan supply  $\pm 70V$ ,  $\pm 50V$  dan  $\pm 20V$ . Konsep rangkaian PA kelas G seperti pada gambar-13. Sebagai contoh, untuk alunan suara yang lembut dan rendah, yang aktif adalah pasangan tegangan supply  $\pm 20V$ . Kemudian jika diperlukan untuk men-drive suara yang keras, tegangan supply dapat di-switch ke pasangan tegangan supply maksimum  $\pm 70V$ .



Gambar IV.13 Konsep penguat kelas G dengan tegangan supply yang bertingkat

#### IV.10 PA kelas H

Konsep penguat kelas H sama dengan penguat kelas G dengan tegangan supply yang dapat berubah sesuai kebutuhan. Hanya saja pada penguat kelas H, tinggi rendahnya tegangan

supply di-desain agar lebih linier tidak terbatas hanya ada 2 atau 3 tahap saja. Tegangan supply mengikuti tegangan output dan lebih tinggi hanya beberapa volt. Penguat kelas H ini cukup kompleks, namun akan menjadi sangat efisien.