

PENGUAT KELAS D DENGAN METODE *SUMMING INTEGRATOR*

Budihardja Murtianta

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Kristen Satya Wacana
Jl. Diponegoro 52-60, Salatiga, Indonesia 50711
e-mail: budihardja@yahoo.com

ABSTRACT

A class D amplifier is one in which the output transistors are operated as switches. When a transistor is off, the current through it is zero and when it is on, the voltage across it is small, ideally zero. Thus the power dissipation is very low, so it requires a smaller heat sink for the amplifier. Class D amplifier operation is based on analog principles and there is no digital encoding of the signal. Before the emergence of class D amplifiers, the standard classes were class A, class AB, class B, and class C. The classic method for generating signals driving a transistor MOSFET is to use a comparator. One input is driven by an incoming audio signal, and the other by a triangle wave or a sawtooth wave at the required switching frequency. The frequency of a triangular or sawtooth wave must be higher than the audio input. MOSFET transistors work in a complementary manner that operates as a switch. Triangle waves are usually generated by square waves fed to the integrator circuit. So the main part of processing audio signals into PWM (Pulse Width Modulation) is the integrator and comparator. In this paper, we will discuss the work of a class D amplifier system using the summing integrator method as its main part.

Keywords: Integrator, Comparator, Summing, Switching

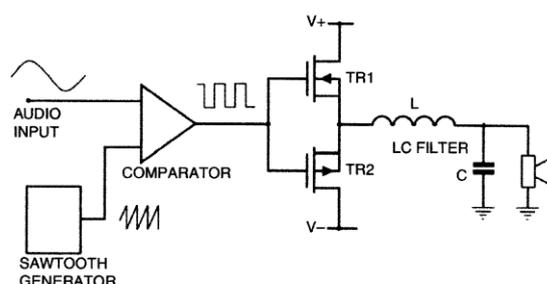
ABSTRAK

Penguat kelas D adalah penguat dengan keluaran transistor yang dioperasikan sebagai sakelar. Saat transistor off, arusnya adalah nol dan ketika on tegangan yang melintas kecil, idealnya nol. Dengan demikian disipasi daya sangat rendah, sehingga membutuhkan heat sink yang lebih kecil untuk amplifier. Operasi penguat kelas D didasarkan pada prinsip-prinsip analog dan tidak ada pengkodean digital dari sinyal. Sebelum munculnya penguat kelas D, kelas standar adalah kelas A, kelas AB, kelas B, dan kelas C. Metode klasik untuk menghasilkan sinyal pendorong/ penggerak transistor MOSFET adalah dengan menggunakan pembandingan/ komparator. Satu input digerakkan oleh sinyal audio yang masuk, dan yang lain oleh gelombang segitiga atau gigi gergaji pada frekuensi switching yang diperlukan. Frekuensi gelombang segitiga atau gigi gergaji harus lebih tinggi daripada input audio. Transistor MOSFET berkerja secara komplementer yang beroperasi sebagai sakelar. Gelombang segitiga biasanya dihasilkan oleh gelombang kotak yang diumpankan pada untai integrator. Jadi bagian utama untuk memproses sinyal audio menjadi PWM (Pulse Width Modulation) adalah integrator dan komparator. Pada tulisan ini akan dibahas kerja sistem penguat kelas D menggunakan metode summing integrator sebagai bagian utamanya.

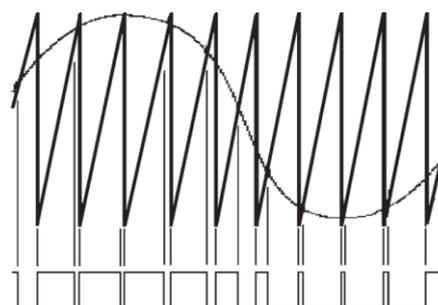
Kata Kunci: Integrator, Komparator, Summing, Switching

I. PENDAHULUAN

Penguat kelas D pada dasarnya terdiri dari komparator yang masukannya berupa sinyal audio yang dibandingkan dengan sinyal segitiga. Keluaran komparator berupa sinyal termodulasi lebar pulsa yang mendorong/ menggerakkan transistor MOSFET dan beroperasi sebagai sakelar. Dasar sistem penguat kelas-D ditunjukkan pada Gambar 1 dan proses PWM diilustrasikan pada Gambar 2. Jelas gigi gergaji harus linier, yaitu, dengan kemiringan konstan untuk mencegah distorsi pada tahap ini [1]. Sinyal audio dan gelombang gigi gergaji masuk pada pembandingan dan hasil pembandingan berupa sinyal PWM. Dalam hal ini tampak semakin tinggi amplitudo sinyal audio maka bagian *high* gelombang kotak semakin besar, sedang frekuensi gelombang kotak tetap.



Gambar 1. Dasar penguat kelas D dengan komparator PWM, tahap akhir MOSFET dan tapis keluaran orde 2 [1]

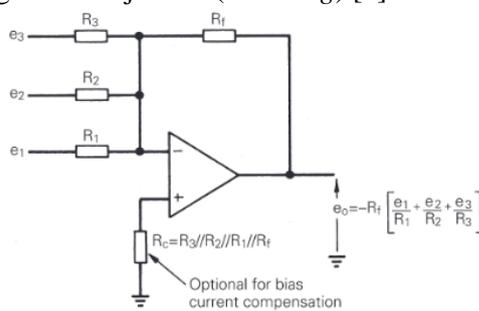


Gambar 2. Proses PWM yang dihasilkan oleh komparator [1]

Gelombang kotak tersebut diperkuat dengan diumpankan ke MOSFET yang bekerja sebagai sakelar. Keluaran MOSFET yang berupa sinyal PWM berdaya besar dilewatkan tapis pelewat frekuensi rendah orde dua untuk menghilangkan frekuensi tinggi dari pensakelaran dan memperoleh frekuensi rendah dari sinyal audio. Pada tulisan ini bagian utama penguat kelas D menggunakan metode *summing* integrator sebagai bagian utamanya dan tidak memerlukan sumber gelombang segitiga, tetapi menggunakan gelombang kotak pada keluaran MOSFET yang dilewatkan rangkaian integrator untuk menghasilkan gelombang segitiga atau gigi gergaji.

II. DASAR TEORI

A. Rangkaian Penjumlah (*Summing*) [2]

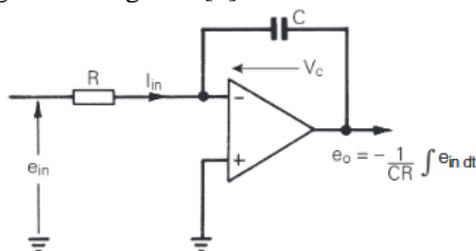


Gambar 3. Rangkaian Penjumlah

Besarnya tegangan keluaran dari rangkaian penjumlah adalah sebagai:

$$E_o = -Rf \left(\frac{e_1}{R_1} + \frac{e_2}{R_2} + \frac{e_3}{R_3} \right) \quad (1)$$

B. Rangkaian Integrator [2]

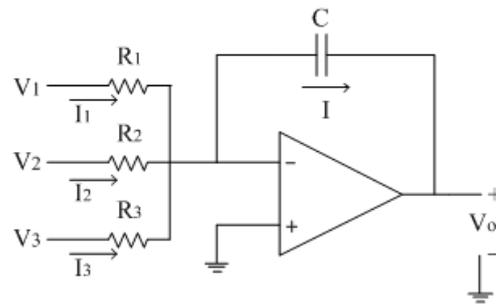


Gambar 4. Rangkaian Integrator

Besarnya tegangan keluaran dari rangkaian integrator adalah sebagai:

$$E_o = -\frac{1}{RC} \int e_{in} dt \quad (2)$$

C. Rangkaian *Summing* Integrator [3]

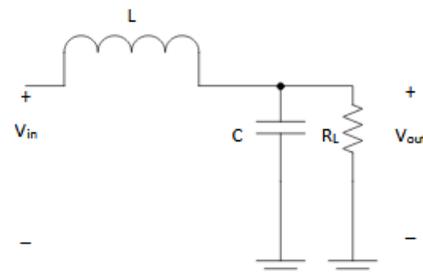


Gambar 5. Rangkaian *Summing* Integrator

Berdasarkan persamaan (1) dan (2) maka besarnya keluaran dari rangkaian *summing* integrator adalah:

$$\int V_o = -1/C \int \left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3} \right) dt \quad (3)$$

D. Tapis Pelewat Frekuensi Rendah [4]



Gambar 6. Rangkaian Tapis Pelewat Frekuensi Rendah

Besarnya nilai induktansi L dalam satuan Henry dan dan kapasitansi C dalam satuan Farad dengan beban resistansi R dalam satuan Ohm pada frekuensi kerja f_c dalam satuan Hertz dinyatakan dengan rumus berikut:

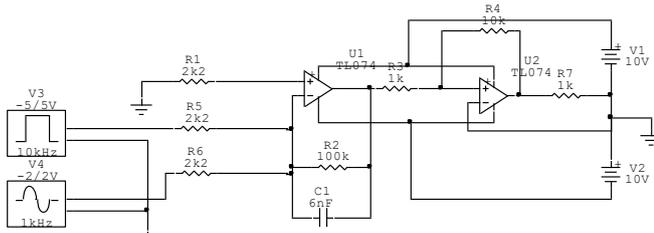
$$L = R/2\pi f_c \quad (4)$$

$$C = 1/2\pi f_c R \quad (5)$$

3. Rangkaian Penguat Kelas D

Penguat kelas D dengan metode *summing* integrator terdiri dari bagian *summing*, integrator, komparator dan penguat akhir transistor MOSFET. Pada Gambar 7 adalah rangkaian *summing* integrator dan komparator dimana cipis TL074 sebelah kiri berfungsi sebagai rangkaian penjumlah dan integrator. Masukan membalik dari penguat operasi tersebut diberi dua buah masukan yaitu gelombang kotak dengan frekuensi 10 KHz dan sinyal audio dengan frekuensi 1 KHz. Keluaran rangkaian *summing* integrator diumpankan pada masukan tak membalik dari rangkaian komparator agar menghasilkan isyarat PWM. Keluaran PWM tersebut

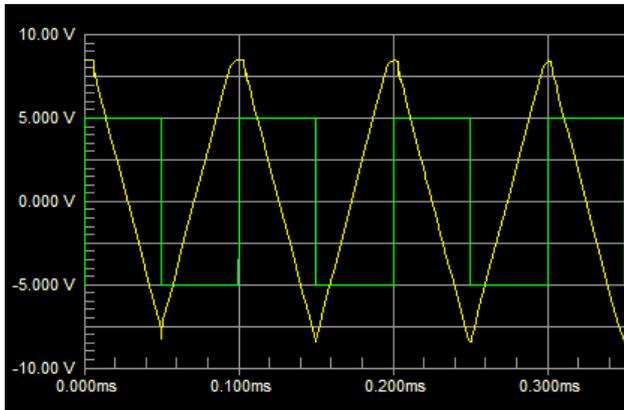
diumpkan ke penguat transistor MOSFET untuk diperbesar dayanya.



Gambar 7. Rangkaian *Summing* Integrator

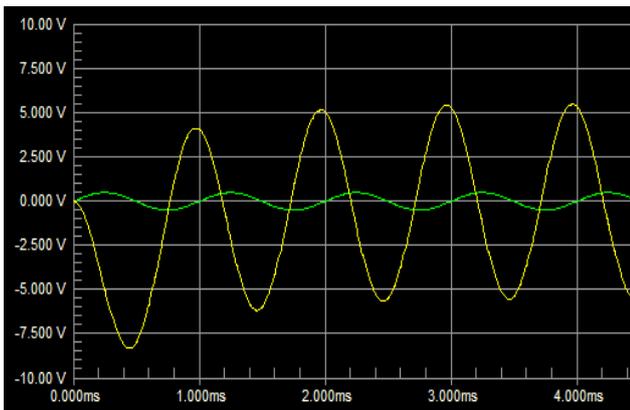
III. HASIL PENGUKURAN

A. Rangkaian *Summing* Integrator



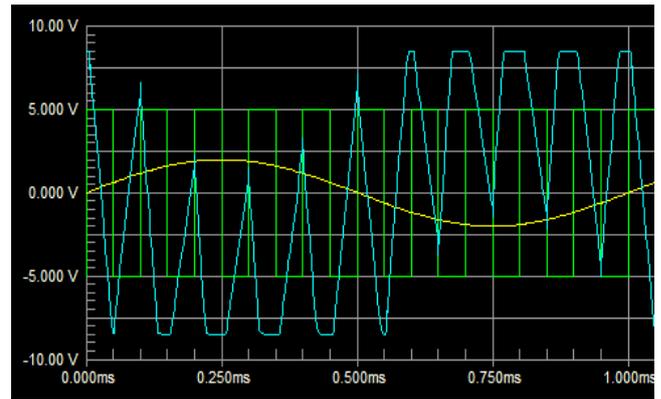
Gambar 8. Bentuk Gelombang Keluaran *Summing* Integrator

Rangkaian *summing* integrator diberi masukan gelombang kotak dengan amplitudo 5 Vpp dan frekuensi 10 KHz tanpa masukan sinyal audio, maka keluarannya berupa gelombang segitiga yang merupakan hasil integrasi gelombang kotak tersebut seperti yang terlihat pada Gambar 8.



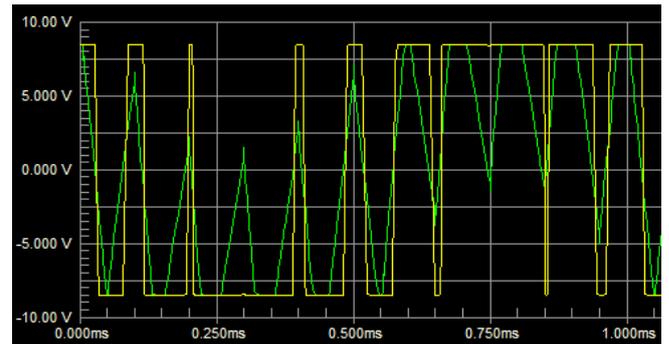
Gambar 9. Bentuk Gelombang Keluaran *Summing* Integrator

Rangkaian *summing* integrator diberi masukan gelombang sinus 0,5 Vpp dan frekuensi 1 KHz tanpa masukan gelombang kotak, maka keluarannya berupa gelombang cosinus yang merupakan hasil integrasi gelombang sinus tersebut seperti yang terlihat pada Gambar 9.



Gambar 10. Bentuk Gelombang Keluaran *Summing* Integrator

Rangkaian *summing* integrator diberi masukan gelombang kotak dengan amplitudo 5 Vpp dan frekuensi 10 KHz dan masukan sinyal audio berupa gelombang sinus dengan amplitudo 2 Vpp dan frekuensi 1 KHz, maka keluarannya berupa gelombang segitiga yang terganjal oleh aras isyarat sinus seperti yang terlihat pada Gambar 10. Jadi keluaran *summing* integrator tersebut merupakan hasil penjumlahan gelombang kotak dan gelombang sinus yang diintegrasikan secara bersamaan.

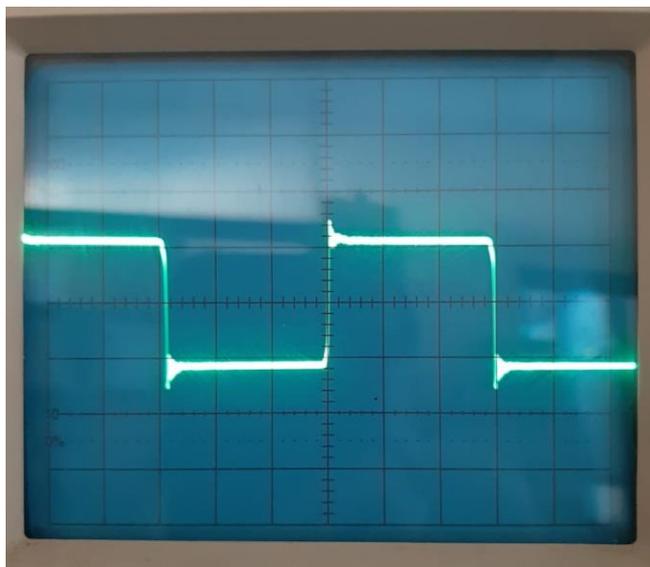


Gambar 11. Bentuk Gelombang Keluaran Komparator

Pada Gambar 11 adalah bentuk keluaran komparator dari hasil keluaran *summing* integrator yang diumpkan ke masukan komparator dan dibandingkan dengan titik nol bumi. Tampak keluaran tersebut berupa isyarat PWM.

B. Rangkaian Penguat Transistor MOSFET

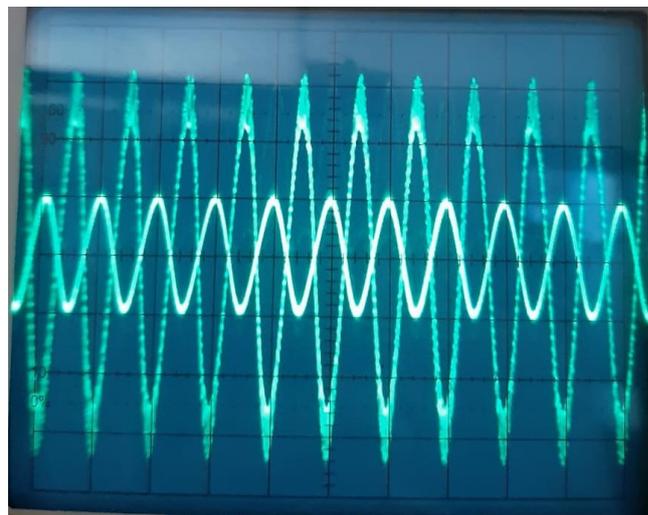
Selanjutnya isyarat keluaran PWM tersebut akan diperkuat dayanya dengan diumpkan ke penguat akhir berupa penguat transistor MOSFET dan tapis pelewat frekuensi rendah orde dua dan rangkaian dasarnya dapat dilihat pada Gambar 1. Pada realisasi penguat akhir tersebut dipergunakan pasangan MOSFET IRF9540N dan IRF540N. Untuk tapisnya dipergunakan induktansi $L = 20\mu\text{H}$ dan kapasitansi $C = 0,33\mu\text{F}$, serta catu tegangan +20V dan -20V. Beban R_L adalah sama dengan impedansi penyuaia sebesar 8 Ohm.



Gambar 12. Bentuk Gelombang Keluaran Transistor MOSFET

Pada saat melakukan pengukuran penguat akhir dipergunakan frekuensi gelombang segitiga sebesar 166.67 KHz, sehingga tampak pada keluaran transistor MOSFET seperti pada Gambar 12. Pengaturan osiloskop adalah $V/div = 2V/div$ dan probe $=10x$ serta $Time/div = 1\mu S/div$. Keluaran berupa gelombang kotak dengan amplitudo sebesar 20Vpp dan frekuensi 166,67 KHz. Dalam hal ini penguat tidak diberi masukan audio. Gelombang segitiga yang dipergunakan merupakan gelombang kotak pada keluaran yang diumpankan balik ke masukan rangkaian *summing* integrator.

Selanjutnya jika penguat kelas D diberi masukan sinyal audio berupa gelombang sinus dengan amplitudo 500 mVpp dan frekuensi 1 KHz, maka keluaran penguat akhir setelah melalui tapis pelewat frekuensi rendah adalah seperti pada Gambar 13. Pengaturan osiloskop untuk kanal 1 adalah $V/div = 0,5 V/div$ dan $Time/div = 1 mS/div$, sedang untuk kanal 2 adalah $V/div = 0,5 V/div$ dan probe $= x10$. Pada hasil pengukuran tampak besar amplitudo sinyal audio pada masukan rangkaian *summing* integrator adalah 0,5 Vpp dan pada keluaran tapis pelewat frekuensi rendah adalah 15 Vpp. Pada keluaran setelah tapis tersebut tampak hanya sinyal audio dengan frekuensi 1 KHz, sedang gelombang kotak dengan frekuensi 166,67 KHz tidak ada. Hal tersebut disebabkan tapis pelewat frekuensi rendah dengan nilai L, C dan R_L yang dipergunakan akan mempunyai nilai frekuensi penggal sekitar 60 KHz.



Gambar 13. Bentuk Gelombang Keluaran Tapis Pelewat Frekuensi Rendah

IV. KESIMPULAN

1. Rangkaian *summing* integrator dapat langsung memanfaatkan isyarat PWM sebagai pengganti sumber gelombang segitiga atau gigi gergaji dan dengan proses penjumlahan, integrasi serta komparasi akan diperoleh isyarat PWM.
2. Gelombang kotak yang di hasilkan pada penguat akhir transistor MOSFET mempunyai amplitudo yang mendekati sama dengan tegangan catunya.
3. Frekuensi gelombang segitiga atau gigi gergaji sama dengan frekuensi gelombang kotak karena gelombang segitiga merupakan hasil integrasi dari gelombang kotak.
4. Titik penggal tapis pelewat frekuensi rendah terletak di antara frekuensi audio dan frekuensi gelombang segitiga karena berfungsi untuk melewatkan sinyal audio dan membuang gelombang kotak.
5. Frekuensi penggal tapis tidak dibuat mendekati frekuensi audio untuk menghindari nilai induktansi yang besar, sehingga frekuensi gelombang segitiga yang dipergunakan relatif tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Douglas Self MA, MSc, "Audio Power Amplifier Design Handbook", Elsevier, Burlington, 2006, edisi ke-4.
- [2] George Clayton & Steve Winder, "Operational Amplifier", Erlangga, Jakarta, 2005, edisi ke-5.
- [3] Basic Electronics Tutorials, "Summing Integrator", <https://www.electronics-tutorial.net/analog-integrated-circuits/op-amp-integrator/summing-integrator/>, diakses tanggal 21 Oktober 2019.
- [4] W. Marshall Leach, Jr., "Introduction to Electroacoustics and Audio Amplifier Design", Kendall/Hunt Publishing Company, Dubuque, Iowa, 2003, edisi ke-3.