



Teknik Pengolahan Sinyal

DERET FOURIER UNTUK SINYAL PERIODIK

Aqil Aqthobirrobbany, S.T., M.Eng.



Tujuan Pembelajaran

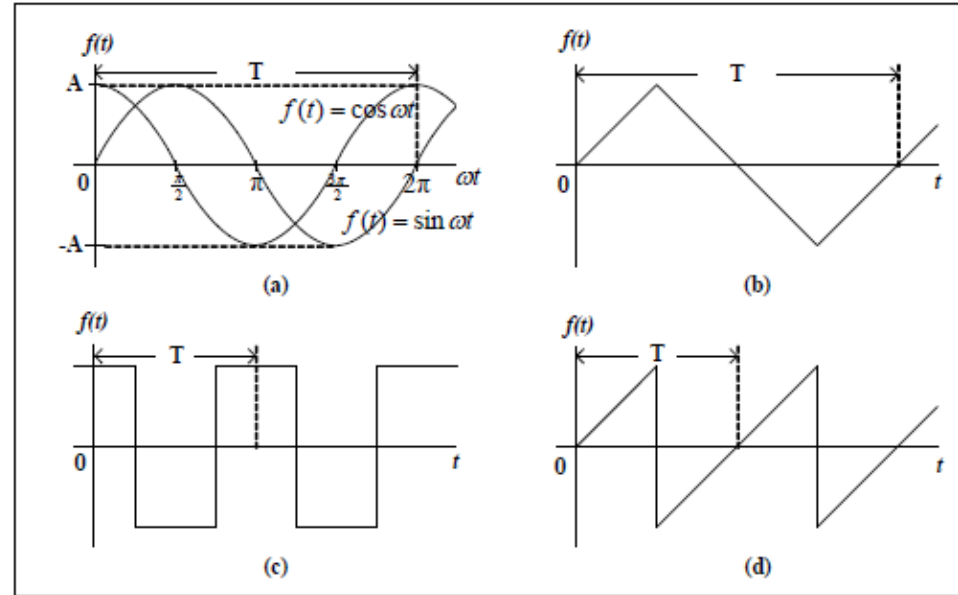


1. Memahami dan menjelaskan tentang gelombang berulang
2. Memahami dan menjelaskan Metode Fourier meliputi metode fungsi berulang

Gelombang–Gelombang Berulang Kompleks



Setiap bentuk gelombang yang lain daripada gelombang sinus atau kosinus, yang berulang kembali pada setiap selang waktu yang teratur (*regular interval*) dinamakan sebagai **gelombang berulang kompleks** (*complex repetitive wave*).



Gelombang Fungsi Berulang
(a) sinusoida
(b) segitiga (c) segiempat (d) gigi gergaji

Sinusoida merupakan salah satu fungsi matematika berulang yang paling sederhana. Sinyal sinusoida dengan frekuensi yang berubah-ubah adalah salah satu sinyal yang paling banyak digunakan dalam uji coba peralatan elektronika. Fungsi-fungsi berulang lainnya seperti gelombang segiempat, gelombang segitiga dan gelombang gigi gergaji, yang merupakan bentuk-bentuk gelombang penting dalam teknik elektro, tidak sesederhana fungsi sinusoida. Spektrum untuk setiap gelombang berulang kompleks dapat diperoleh dengan suatu metode matematis yang dikenal sebagai metode Fourier.

Deret Fourier



Deret fourier dipakai sebagai perangkat untuk menghitung spektrum dari sinyal periodik. Untuk sinyal bukan periodik, perangkat yang digunakan adalah transformasi fourier.

1. Fungsi Berulang (Periodik)

Jika suatu fungsi $f(t)$ mempunyai bentuk gelombang (yaitu lengkungan $f(t)$ yang dilukis terhadap sumbu waktu t) sedemikian hingga

$$f(t) = f(t + T) \dots \dots \dots (1)$$

Maka fungsi itu dikatakan berulang dengan perioda T . (Frekuensi $f = \frac{1}{T} \text{Hz}$). Ahli matematika Perancis **Jean Baptise Joseph Fourier** membuktikan bahwa setiap fungsi berulang sembarang dapat diwakili oleh suatu deret sinusoida tak hingga (Mismail, 1997: 181), yaitu:

$$f(t) = \frac{1}{2}a_0 + a_1 \cos \omega_0 t + a_2 \cos 2\omega_0 t + \dots + b_1 \cos \omega_0 t + b_2 \cos 2\omega_0 t \dots \dots \dots$$

Deret Fourier



Secara ringkas ditulis sebagai (Mismail, 1997: 181):

$$f(t) = \frac{1}{2} a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos n\omega_0 t + b_n \sin n\omega_0 t) \quad (2)$$

Dimana:

ω_0 $= 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$ (Frekuensi sudut dasar)

a_n & b_n $=$ koefisien Fourier yang besarnya tergantung pada $f(t)$

a_0 $=$ ordinat rata-rata atau komponen searah $f(t)$

Suku

$a_1 \cos \omega_0 t + b_1 \sin \omega_0 t$ $=$ komponen dasar yang mempunyai frekuensi dan perioda sama seperti gelombang aslinya.

Suku

$a_n \cos n\omega_0 t + b_n \sin n\omega_0 t$ $=$ komponen harmonisa ke- n pada fungsi $f(t)$

Persamaan (2) disebut sebagai **deret Fourier trigonometri** dari $f(t)$

Deret Fourier



Nilai koefisien a dan b dapat ditentukan dengan mengintegrasikan kedua ruas persamaan (2) sepanjang periodanya, yaitu:

$$\int_0^T f(t) dt = \int_0^T \frac{1}{2} a_0 dt + \sum_{n=1}^{\infty} \left[\int_0^T (a_n \cos n\omega_0 t + b_n \sin n\omega_0 t) dt \right] \quad (3)$$

Kita selesaikan persamaan setiap suku dalam sigma (Σ) pada persamaan (3), yakni:

$$\begin{aligned} \int_0^T (a_n \cos n\omega_0 t + b_n \sin n\omega_0 t) dt &= \int_0^T a_n \cos n\omega_0 t dt + \int_0^T b_n \sin n\omega_0 t dt \\ &= \frac{a_n}{n\omega_0} [\sin n\omega_0 t]_0^T - \frac{b_n}{n\omega_0} [\cos n\omega_0 t]_0^T \\ &= \frac{a_n}{n\omega_0} [\sin n\omega_0 T - \sin n\omega_0 0] - \frac{b_n}{n\omega_0} [\cos n\omega_0 T - \cos n\omega_0 0] \end{aligned}$$

Deret Fourier



Karena, $T = 2\pi/\omega_0$, maka

$$\begin{aligned}\int_0^T (a_n \cos n\omega_0 t + b_n \sin n\omega_0 t) dt &= \frac{a_n}{n\omega_0} [\sin n2\pi - \sin 0] - \frac{b_n}{n\omega_0} [\cos n2\pi - \cos 0] \\ &= \frac{a_n}{n\omega_0} [0 - 0] - \frac{b_n}{n\omega_0} [1 - 1] \\ &= 0 \text{ (nol)}\end{aligned}$$

Setiap suku dalam sigma ($\sum$) adalah 0 (nol), maka:

$$\sum_{n=1}^{\infty} \left[\int_0^T (a_n \cos n\omega_0 t + b_n \sin n\omega_0 t) dt \right] = 0$$

sehingga persamaan (3) diubah menjadi:

$$\int_0^T f(t) dt = \int_0^T \frac{1}{2} a_0 dt \quad (4)$$

Deret Fourier



Persamaan (4) diselesaikan, sedemikian hingga didapat persamaan untuk a_0 :

$$2 \int_0^T f(t) dt = \int_0^T a_0 dt = [a_0 t]_0^T = a_0 [T - 0] = a_0 T$$

Sehingga:

$$a_0 = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) dt \quad (5)$$

Jika kedua ruas persamaan (3) dikalikan dengan $\cos m\omega_0 t$ dan m adalah bilangan bulat, maka:

$$\int_0^T f(t) \cos m\omega_0 t dt = \cos n\omega_0 t \left[\int_0^T \frac{1}{2} a_0 dt + \sum_{n=1}^{\sim} a_n \int_0^T \cos n\omega_0 t dt + \sum_{n=1}^{\sim} b_n \int_0^T \cos n\omega_0 t dt \right] \quad (6)$$

Jika diselesaikan analisa matematikanya untuk setiap integral:

$$\int_0^T \frac{1}{2} a_0 \cos m\omega_0 t dt = \frac{a_0}{2m\omega_0} [\sin n\omega_0 t]_0^T = \frac{a_0}{2m\omega_0} [\sin m2\pi - \sin 0] = \frac{a_0}{2m\omega_0} [0 - 0] = 0$$

Deret Fourier



Untuk persamaan dalam sigma. Dengan mengingat rumus fungsi trigonometri:

$$\cos A \cos B = \frac{1}{2}[\cos(A + B) + \cos(A - B)]$$

$$\cos A \sin B = \frac{1}{2}[\sin(A + B) - \sin(A - B)]$$

$$\sin A \cos B = \frac{1}{2}[\sin(A + B) + \sin(A - B)]$$

$$\sin A \sin B = -\frac{1}{2}[\cos(A + B) - \cos(A - B)]$$

Ada dua kemungkinan nilai m dan n , yaitu: $m \neq n$ dan $m = n$

$$\begin{aligned} \int_0^T \cos m \omega_0 t \sin n \omega_0 t \, dt &= \frac{1}{2} \int_0^T \sin(m + n) \omega_0 t - \sin(m - n) \omega_0 t \, dt \\ &= \frac{1}{2} \left[\frac{-1}{(m+n)\omega_0} \cos(m+n) \omega_0 t + \frac{1}{(m-n)\omega_0} \cos(m-n) \omega_0 t \right]_0^T \\ &= \frac{1}{2} \left[\frac{\cos(m+n)2\pi - \cos 0}{(m+n)\omega_0} + \frac{\cos(m-n)2\pi - \cos 0}{(m-n)\omega_0} \right] \\ &= \frac{1}{2} \left[\frac{1-1}{(m+n)\omega_0} + \frac{1-1}{(m-n)\omega_0} \right] \\ &= 0 \text{ (not)} \end{aligned}$$

Deret Fourier



Untuk $m = n$

$$\begin{aligned}\int_0^T \cos m \omega_0 t \cos n \omega_0 t dt &= \int_0^T \cos n \omega_0 t \cos n \omega_0 t dt \\ \int_0^T \cos^2 n \omega_0 t dt &= \int_0^T \cos n \omega_0 t d(\sin n \omega_0 t) \\ &= [\cos n \omega_0 t \sin n \omega_0 t - \int \sin n \omega_0 t d(\cos n \omega_0 t)] \\ &= \left[\cos n \omega_0 t \sin n \omega_0 t + \int \sin^2 n \omega_0 t dt \right] \\ &= \left[\cos n \omega_0 t \sin n \omega_0 t + \int (1 - \cos^2 n \omega_0 t) dt \right] \\ &= \left[\cos n \omega_0 t \sin n \omega_0 t + \int dt - \int \cos^2 n \omega_0 t dt \right] \\ 2 \int_0^T \cos^2 n \omega_0 t dt &= [\cos n \omega_0 t \sin n \omega_0 t + t]_0^T \\ &= [(\cos n 2\pi \sin 2\pi + T) - (\cos 0 \sin 0 + 0)] \\ &= T\end{aligned}$$

Atau,

$$\begin{aligned}\int_0^T \cos^2 n \omega_0 t dt &= T/2 \\ \int_0^T \cos m \omega_0 t \sin n \omega_0 t dt &= \int_0^T \cos n \omega_0 t \sin n \omega_0 t dt \\ &= \frac{1}{2} \int_0^T \sin(n+n) \omega_0 t - \sin(n-n) \omega_0 t dt \\ &= \frac{1}{2} \int_0^T \sin(n+n) \omega_0 t dt \\ &= \frac{1}{2} \int_0^T \sin 2n \omega_0 t dt \\ &= \frac{1}{2} \left[\frac{-1}{2n \omega_0} \cos 2n \omega_0 t \right]_0^T \\ &= \frac{-1}{4n \omega_0} [\cos 4\pi n - \cos 0] \\ &= \frac{-1}{4n \omega_0} [1 - 1] \\ &= 0 \text{ (nol)}\end{aligned}$$

Deret Fourier



Setiap suku di ruas kanan pada persamaan (6.6) di atas adalah sama dengan nol. Kecuali untuk $m = n$, untuk persamaan $\int_0^T \cos m\omega_0 t \cos n\omega_0 t dt$:

$$\begin{aligned}\int_0^T \cos m\omega_0 t \cos n\omega_0 t dt &= a_n \int_0^T \cos^2 n\omega_0 t dt \\ &= a_n \frac{T}{2}\end{aligned}$$

Sehingga persamaan (6.6), untuk $m = n$, dapat ditulis sebagai:

$$\begin{aligned}\int_0^T f(t) \cos m\omega_0 t dt &= a_n \int_0^T \cos m\omega_0 t \cos n\omega_0 t dt \\ \int_0^T f(t) \cos n\omega_0 t dt &= a_n \int_0^T \cos n\omega_0 t \cos n\omega_0 t dt = a_n \int_0^T \cos^2 n\omega_0 t dt \\ \int_0^T f(t) \cos n\omega_0 t dt &= a_n \frac{T}{2}\end{aligned}$$

Maka:

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cos n\omega_0 t dt \quad (6.7)$$

$n = 1, 2, 3, \dots$ (bilangan bulat)

Jika kedua ruas persamaan (6.3) dikalikan dengan $\sin m\omega_0 t$ dan m adalah bilangan bulat, dengan cara yang sama:

$$\int_0^T f(t) \sin m\omega_0 t dt = \sin m\omega_0 t \left[\int_0^T \frac{1}{2} a_0 dt + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \int_0^T \cos n\omega_0 t dt + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \int_0^T \sin n\omega_0 t dt \right] \quad (6.8)$$

Jika diselesaikan analisa matematikanya untuk setiap integral:

$$\begin{aligned}\int_0^T \frac{1}{2} a_0 \sin m\omega_0 t dt &= \frac{-a_0}{2m\omega_0} [\cos m\omega_0 t]_0^T \\ &= \frac{-a_0}{2m\omega_0} [\cos m2\pi - \cos 0] \\ &= \frac{-a_0}{2m\omega_0} [1 - 1] \\ &= 0 \text{ (nol)}\end{aligned}$$

Deret Fourier



Untuk $m \neq n$

$$\begin{aligned}\int_0^T \sin m \omega_0 t \cos n \omega_0 t dt &= \frac{1}{2} \int_0^T \sin(m+n) \omega_0 t + \sin(m-n) \omega_0 t dt \\&= \frac{1}{2} \left[\frac{-1}{(m+n) \omega_0} \cos(m+n) \omega_0 t - \frac{1}{(m-n) \omega_0} \cos(m-n) \omega_0 t \right]_0^T \\&= \frac{1}{2} \left[\frac{\cos(m+n) 2\pi - \cos 0}{(m+n) \omega_0} - \frac{\cos(m-n) 2\pi - \cos 0}{(m-n) \omega_0} \right] \\&= \frac{1}{2} \left[\frac{1-1}{(m+n) \omega_0} - \frac{1-1}{(m-n) \omega_0} \right] \\&= 0 \text{ (nol)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\int_0^T \sin m \omega_0 t \sin n \omega_0 t dt &= -\frac{1}{2} \int_0^T \cos(m+n) \omega_0 t - \cos(m-n) \omega_0 t dt \\&= \frac{1}{2} \left[\frac{1}{(m+n) \omega_0} \sin(m+n) \omega_0 t - \frac{1}{(m-n) \omega_0} \sin(m-n) \omega_0 t \right]_0^T \\&= \frac{1}{2} \left[\frac{\sin(m+n) 2\pi - \sin 0}{(m+n) \omega_0} - \frac{\sin(m-n) 2\pi - \sin 0}{(m-n) \omega_0} \right] \\&= \frac{1}{2} \left[\frac{0-0}{(m+n) \omega_0} - \frac{0-0}{(m-n) \omega_0} \right] \\&= 0 \text{ (nol)}\end{aligned}$$

Untuk $m = n$

$$\begin{aligned}\int_0^T \sin m \omega_0 t \cos n \omega_0 t dt &= \int_0^T \sin n \omega_0 t \cos n \omega_0 t dt \\&= \frac{1}{2} \int_0^T \sin(n+n) \omega_0 t + \sin(n-n) \omega_0 t dt \\&= \frac{1}{2} \int_0^T \sin(n+n) \omega_0 t dt = \frac{1}{2} \int_0^T \sin 2n \omega_0 t dt \\&= \frac{1}{2} \left[\frac{-1}{2n \omega_0} \cos 2n \omega_0 t \right]_0^T = \frac{-1}{4n \omega_0} [\cos 4\pi n - \cos 0] \\&= \frac{-1}{4n \omega_0} [1-1] \\&= 0 \text{ (nol)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\int_0^T \sin m \omega_0 t \sin n \omega_0 t dt &= \int_0^T \sin n \omega_0 t \sin n \omega_0 t dt \\&= \int_0^T \sin^2 n \omega_0 t dt \\&= -\int_0^T \sin n \omega_0 t d(\cos n \omega_0 t) \\&= -\left[\sin n \omega_0 t \cos n \omega_0 t - \int \cos n \omega_0 t d(\sin n \omega_0 t) \right] \\&= -\left[\sin n \omega_0 t \cos n \omega_0 t - \int \cos^2 n \omega_0 t dt \right] \\&= \left[-\sin n \omega_0 t \cos n \omega_0 t + \int (1 - \sin^2 n \omega_0 t) dt \right] \\&= \left[-\sin n \omega_0 t \cos n \omega_0 t + \int dt - \int \sin^2 n \omega_0 t dt \right]\end{aligned}$$

Deret Fourier



$$\begin{aligned} 2 \int_0^T \sin^2 n \omega_0 t \, dt &= \left[-\sin n \omega_0 t \cos n \omega_0 t + t \right]_0^T \\ &= [(-\sin n 2\pi \cos n 2\pi + T) - (-\sin 0 \cos 0 + 0)] \\ &= T \end{aligned}$$

Atau,

$$\int_0^T \sin^2 n \omega_0 t \, dt = T/2$$

Setiap suku di ruas kanan pada persamaan (6.8) adalah sama dengan nol. Kecuali untuk $m = n$, untuk persamaan $\int_0^T \sin m \omega_0 t \sin n \omega_0 t \, dt$:

$$b_n \int_0^T \sin m \omega_0 t \sin n \omega_0 t \, dt = b_n \int_0^T \sin^2 n \omega_0 t \, dt = b_n \frac{T}{2}$$

Sehingga persamaan (6.8), untuk $m = n$, dapat ditulis sebagai:

$$\begin{aligned} \int_0^T f(t) \sin m \omega_0 t \, dt &= b_n \int_0^T \sin m \omega_0 t \sin n \omega_0 t \, dt \\ &= b_n \int_0^T \sin n \omega_0 t \sin n \omega_0 t \, dt \\ &= b_n \int_0^T \sin^2 n \omega_0 t \, dt \end{aligned}$$

$$\int_0^T f(t) \sin n \omega_0 t \, dt = b_n \frac{T}{2}$$

Maka:

$$\boxed{b_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \sin n \omega_0 t \, dt} \quad (6.9)$$

$n = 1, 2, 3, \dots$ (bilangan bulat)

Deret Fourier



Koefisien-koefisien Fourier dapat kita tulis kembali:

$$a_0 = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) dt \quad (6.10)$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cos n \omega_0 t dt \quad (6.11)$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \sin n \omega_0 t dt \quad (6.12)$$

$n = 1, 2, 3, \dots$ (bilangan bulat)

Adalah koefisien untuk deret Fourier trigonometri:

$$f(t) = \frac{1}{2} a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos n \omega_0 t + b_n \sin n \omega_0 t) \quad (6.13)$$

Tampak persamaan (6.10) merupakan kasus khusus untuk persamaan (6.11), dimana $n = 0$. Karena alasan itu juga, maka suku konstantanya menggunakan $\frac{1}{2} a_0$ bukan a_0 .

Dengan cara yang sama, dapat juga dibuktikan bahwa integrasi sepanjang setiap selang T memberikan hasil yang sama (misal: dari t_0 sampai dengan $t_0 + T$) yaitu:

$$a_0 = \frac{2}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} f(t) dt \quad (6.14)$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} f(t) \cos n \omega_0 t dt \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (6.15)$$

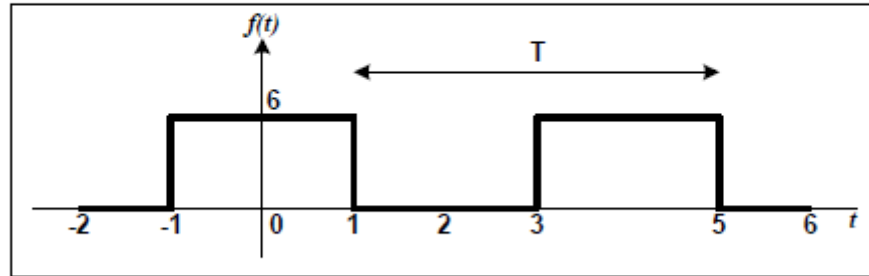
$$b_n = \frac{2}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} f(t) \sin n \omega_0 t dt \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (6.16)$$

Analisa Deret Fourier untuk Pulsa Segi Empat



6.4.1. Analisa Deret Fourier untuk Pulsa Segi Empat

Misalkan suatu rangkaian menghasilkan bentuk pulsa seperti yang ditunjukkan dalam gambar 6.2.



Gambar 6.2 Gelombang Pulsa Segiempat

Dari gambar 6.2 bisa kita lihat bahwa:

$$f(t) = \begin{cases} 0 & -2 < t < -1 \\ 6 & -1 < t < 1 \\ 0 & 1 < t < 2 \end{cases} \quad \text{dan} \quad f(t+4) = f(t)$$

$$T = 4, \text{ maka } \omega_0 = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{4} = \frac{\pi}{2}$$

$$a_0 = \frac{2}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} f(t) dt$$

$$= \frac{2}{4} \int_{-1}^1 6 dt = \frac{2 \times 6}{4} [t]_{-1}^1 = 3[1 - (-1)] = 3 \times 2 = 6$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} f(t) \cos n\omega_0 t dt$$

$$= \frac{2}{4} \int_{-1}^1 6 \cos n\omega_0 t dt = 3 \int_{-1}^1 \cos \frac{n\pi}{2} t dt = \frac{3 \times 2}{n\pi} \left[\sin \frac{n\pi}{2} t \right]_{-1}^1$$

$$= \frac{6}{n\pi} \left[\sin \frac{n\pi}{2} - \sin \frac{-n\pi}{2} \right] = \frac{6}{n\pi} \left[\sin \frac{n\pi}{2} - (-\sin \frac{n\pi}{2}) \right] = \frac{6}{n\pi} \left[2 \sin \frac{n\pi}{2} \right]$$

$$= \frac{12}{n\pi} \sin \frac{n\pi}{2}$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} f(t) \sin n\omega_0 t dt$$

$$= \frac{2}{4} \int_{-1}^1 6 \sin n\omega_0 t dt = 3 \int_{-1}^1 \sin \frac{n\pi}{2} t dt = \frac{3 \times 2}{n\pi} \left[-\cos \frac{n\pi}{2} t \right]_{-1}^1$$

$$= \frac{6}{n\pi} \left[-\cos \frac{n\pi}{2} + \cos \frac{-n\pi}{2} \right] = \frac{6}{n\pi} [-0 + 0] = 0$$

Analisa Deret Fourier untuk Pulsa Segi Empat



Maka, deret fourier trigonometri untuk gelombang pulsa segi empat gambar (6.2) adalah:

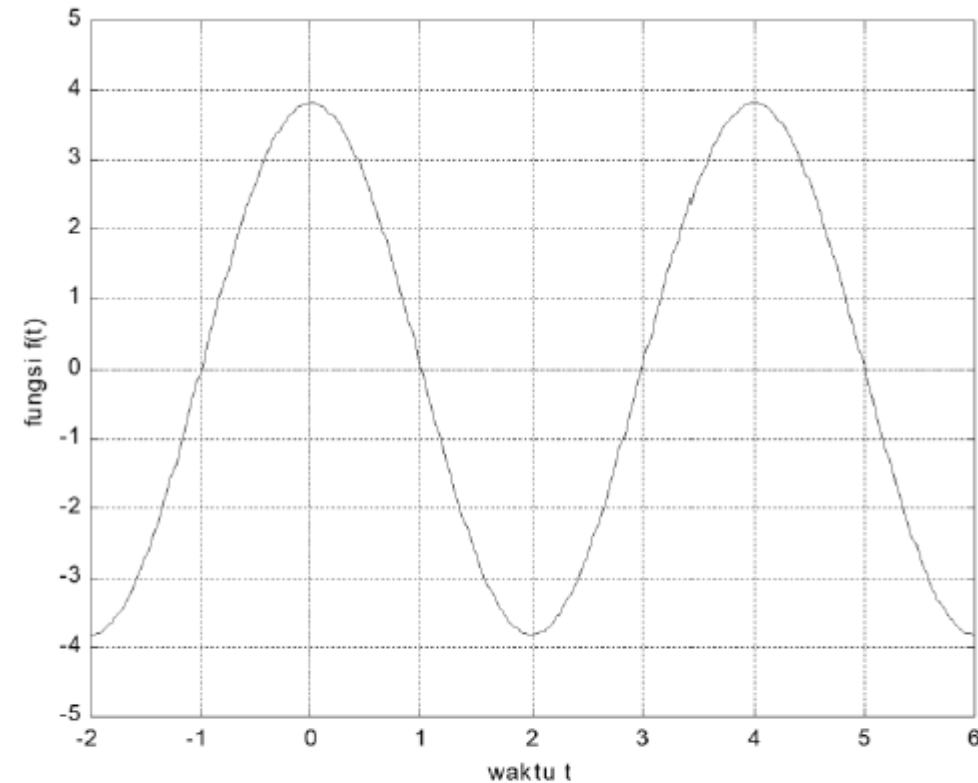
$$\begin{aligned} f(t) &= \frac{1}{2}a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos n\omega_0 t \\ &= \frac{1}{2}6 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{12}{n\pi} \sin \frac{n\pi}{2} \cos n\omega_0 t \quad \rightarrow \omega_0 = \pi/2 \\ &= 3 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{12}{n\pi} \sin \frac{n\pi}{2} \cos \frac{n\pi t}{2} \end{aligned}$$

1. Grafik Komponen Gelombang Dasar Gelombang Segi Empat

Sesuai definisi sebelumnya bahwa suku $a_1 \cos \omega_0 t + b_1 \sin \omega_0 t$ adalah: komponen dasar yang mempunyai frekuensi dan perioda sama seperti gelombang aslinya. Di mana:

$$a_1 = \frac{12}{\pi} \sin \frac{\pi}{2} = \frac{12}{\pi} \quad \text{dan} \quad b_1 = 0$$

Sehingga komponen dasarnya adalah: $\frac{12}{\pi} \cos \frac{\pi t}{2}$



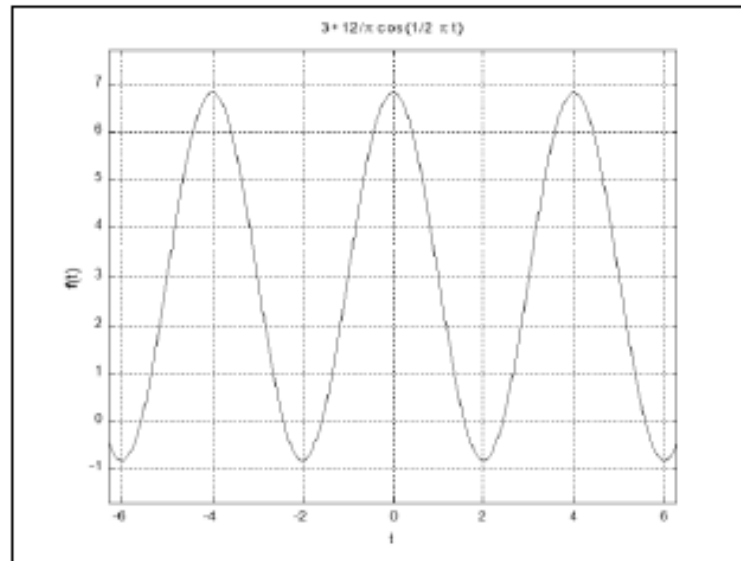
Gambar 6.3 Simulasi Komponen Gelombang Dasar untuk Gelombang Pulsa Segi Empat Gambar 6.2

Analisa Deret Fourier untuk Pulsa Segi Empat

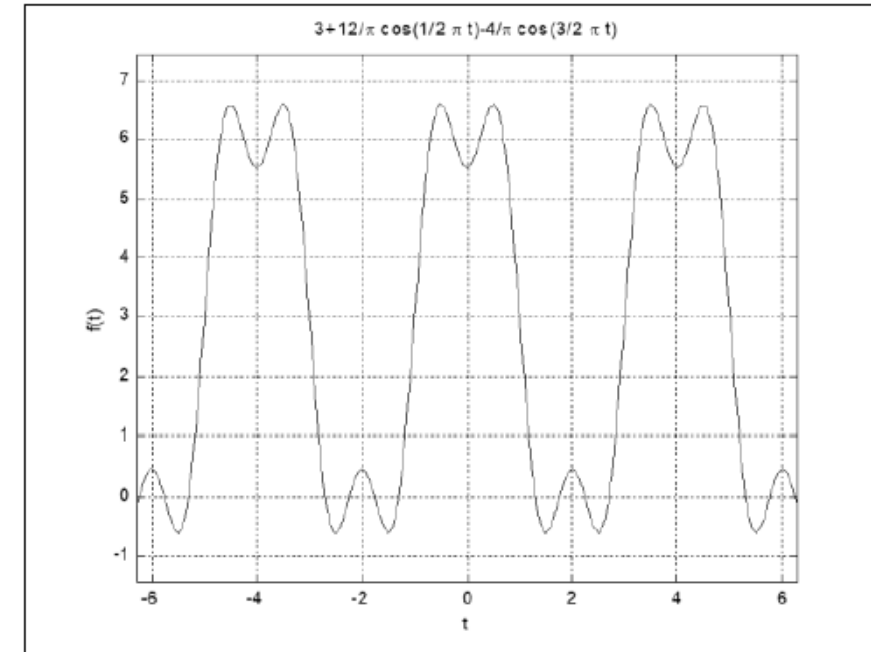


2. Grafik untuk Gelombang Berulang

Persamaan (6.26) adalah persamaan gelombang berulang untuk gelombang pulsa segi empat gambar 6.2. Program dibuat untuk beberapa harmonisa sehingga pada gelombang tampak perubahan bertahap yang terjadi setiap harmonisa.



Gambar 6.4.a Simulasi Gelombang Berulang untuk Gelombang Pulsa Segi Empat Gambar 6.2 pada harmonisa ke-1



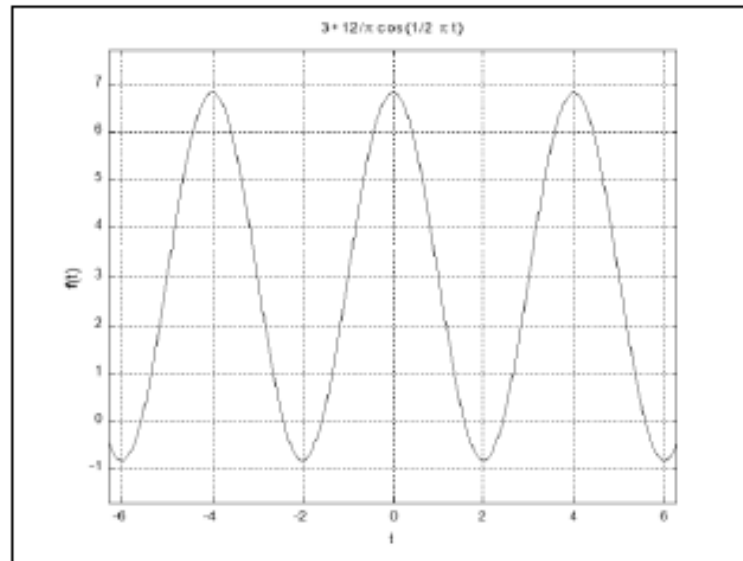
Gambar 6.4.b Simulasi Gelombang Berulang untuk Gelombang Pulsa Segi Empat Gambar 6.2 pada Harmonisa ke-3

Analisa Deret Fourier untuk Pulsa Segi Empat

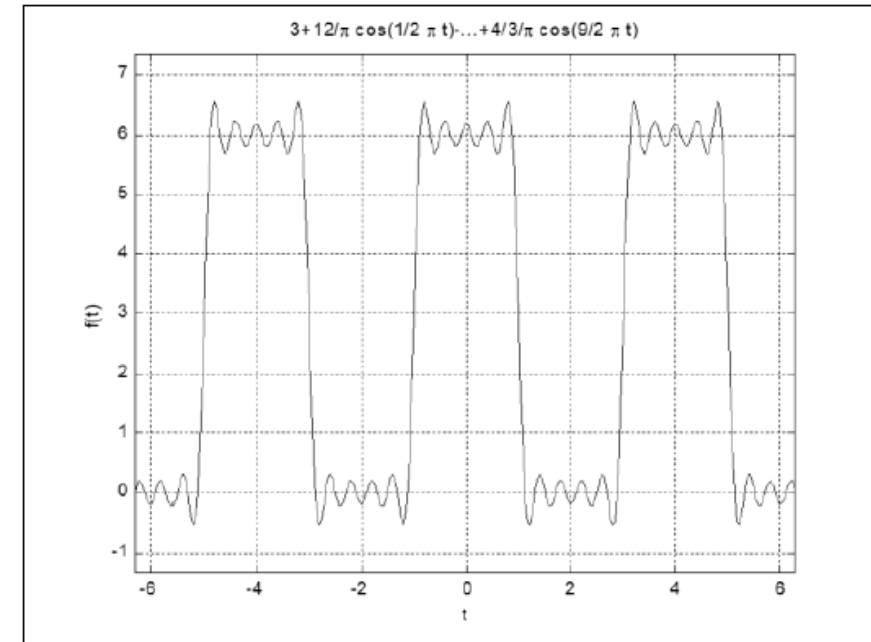


2. Grafik untuk Gelombang Berulang

Persamaan (6.26) adalah persamaan gelombang berulang untuk gelombang pulsa segi empat gambar 6.2. Program dibuat untuk beberapa harmonisa sehingga pada gelombang tampak perubahan bertahap yang terjadi setiap harmonisa.

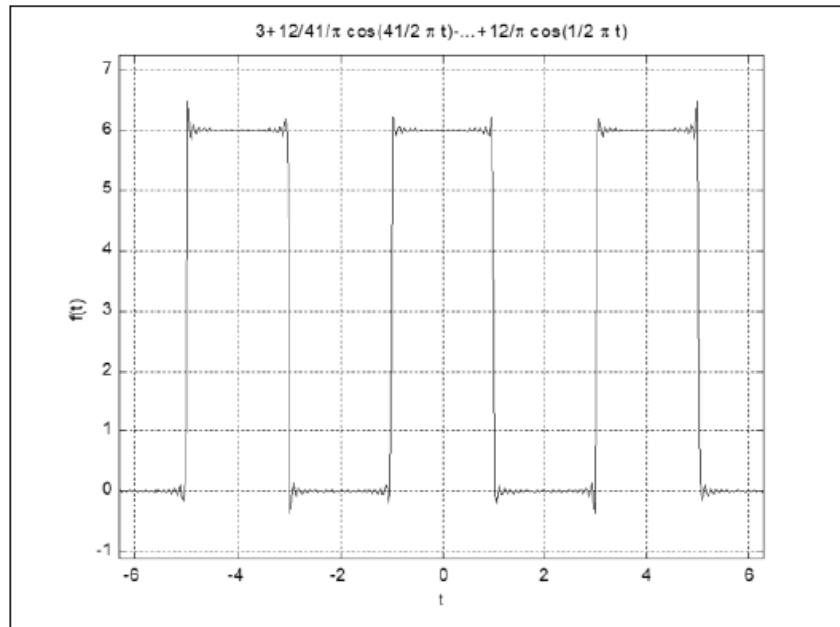


Gambar 6.4.a Simulasi Gelombang Berulang untuk Gelombang Pulsa Segi Empat Gambar 6.2 pada harmonisa ke-1

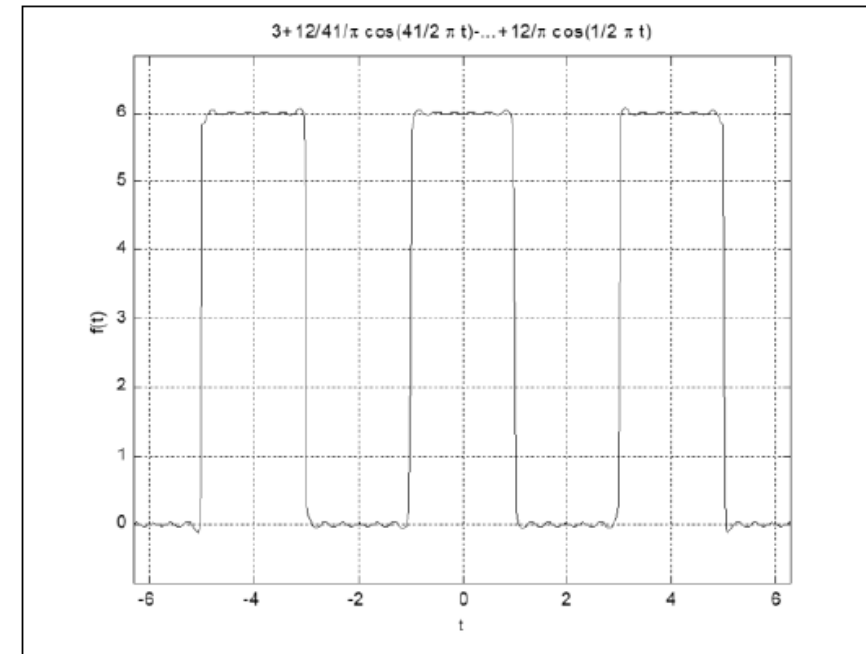


Gambar 6.4.c Simulasi Gelombang Berulang untuk Gelombang Pulsa Segi Empat Gambar 6.2 pada Harmonisa ke-10

Analisa Deret Fourier untuk Pulsa Segi Empat



Gambar 6.4.d Simulasi Gelombang Berulang untuk Gelombang Pulsa Segi Empat Gambar 6.2 pada HARMONISA ke-100



Gambar 6.4.e Simulasi Gelombang Berulang untuk Gelombang Pulsa Segi Empat Gambar 6.2 pada Harmonisa ke-150