



MODUL STANDAR PERKULIAHAN

Telekomunikasi Analog & Digital

Pendahuluan

Fakultas	Program Studi	Tatap Muka	Kode MK	Disusun Oleh
FAKULTAS TEKNIK	TEKNIK ELEKTRO	01	14045	Ketty Siti Salamah, S.T., M.T

Abstract

Spektrum adalah representasi sinyal di dalam domain frekuensi. Deret Fourier dan Transformasi Fourier digunakan untuk menganalisis spektrum untuk sinyal - sinyal. Kedua metode ini merupakan salah satu metode fundamental dalam mempelajari telekomunikasi.

Kompetensi

Mahasiswa/i dapat mengerti dan menjelaskan Deret Fourier dan Transformasi Fourier.

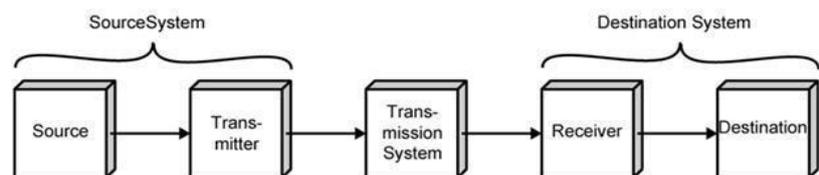
Pembahasan

Pendahuluan

Komunikasi data adalah transmisi data secara elektronik melalui sebuah media transmisi yang dapat berupa kabel tembaga, fiber optik, radio frequency atau micro wave (gelombang mikro). Jaringan komunikasi data adalah sistem yang memungkinkan terjadinya pertukaran data tersebut. Suatu teknik komunikasi data diperlukan karena alasan sebagai berikut:

- Adanya distributed processing yang wajib diperlukan oleh jaringan sebagai sarana pertukaran data.
- Transaksi sering terjadi antara lokasi pengolahan data, pengiriman data, dan penerima data yang berbeda. Sehingga data perlu dikirim ke lokasi pengolahan data dan dikirim lagi ke lokasi yang membutuhkan informasi dari data tersebut.
- Umumnya lebih efisien atau lebih murah mengirim data lewat jalur komunikasi dibandingkan dengan cara pengiriman konvensional. Hal ini lebih terasa bila data telah diorganisasikan melalui komputer.
- Apabila terdapat beberapa lokasi pengolahan data, maka data dari suatu lokasi pengolahan yang lebih sibuk dapat membagi tugasnya dengan mengirimkan data ke lokasi pengolahan lain yang kurang atau tidak sibuk.

Blok diagram komunikasi sederhana dapat dilihat pada gambar berikut:



Block Diagram



Komunikasi Data melalui telepon

Gambar 1. Komunikasi Data Melalui Telepon. <http://flowlifestyle.wordpress.com/2011/03/18/komunikasi-data-jaringan-data-dan-internet/>

Detail mengenai setiap komponen dapat dilihat pada penjelasan berikut:

- **Source.** Perangkat ini bertugas sebagai sumber dari data yang akan ditransmisikan. Sebagai sumber, source kan membangkitkan dan memilih data-data mana saja yang akan ditransmisi. Contoh perangkat yang termasuk source adalah telepon atau komputer personal.
- **Transmitter.** Sebuah transmitter berfungsi untuk mengubah dan mengkodekan data-data ke dalam bentuk sinyal elektromagnetik sehingga sinyal tersebut dapat dihantarkan melalui media atau sistem transmisi. Hal ini diperlukan karena data yang dibangkitkan oleh source tidak ditransmisikan secara langsung atau dengan kata lain harus diubah dulu ke bentuk sinyal elektromagnetik. Contoh perangkat yang termasuk transmitter adalah sebuah modem. Modem akan mengambil bit stream dari sebuah komputer dan mentransformasikannya dalam bentuk sinyal analog yang dapat dirambatkan pada jaringan telepon (kabel maupun wireless).
- **Sistem Transmisi.** Sistem transmisi atau disebut juga media transmisi adalah sebuah jalur komunikasi atau sebuah jaringan kompleks yang menghubungkan source dan destination. Contoh sistem transmisi adalah kabel telepon atau wireless.
- **Receiver.** Receiver berfungsi menerima sinyal dari sistem transmisi dan mengkonversinya ke dalam bentuk yang dikenali oleh perangkat destination. Contoh dari perangkat receiver adalah modem. Modem akan menerima sinyal analog yang datang dari jaringan atau jalur transmisi dan mengkonversinya ke dalam bentuk digital stream.
- **Destination.** Destination adalah tujuan akhir dari pengiriman data. Destination akan menerima data dari receiver yang dirambatkan melalui sistem transmisi..

Terdapat lima jenis komponen yang saling berinteraksi membentuk sistem komunikasi data tersebut yaitu:

- **Message.** Message adalah data atau informasi yang akan mengalir pada jaringan komunikasi (dikirim dan diterima). Message ini bisa berupa teks, angka, gambar, suara, video, atau kombinasi dari semuanya.
- **Sender:** Sender adalah suatu alat yang digunakan untuk mengirimkan message. Contoh perangkat yang berupa sender adalah komputer, handphone, video kamera, dan lainnya yang sejenis.
- **Receiver:** Receiver berfungsi sebagai alat yang dituju untuk menerima message yang dikirim dari sender.

- Medium: Medium atau media transmisi, adalah sebuah perangkat yang berfungsi sebagai penghubung untuk mengantarkan message dari sender ke receiver. Media transmisi ini bisa saja berupa kabel (twisted pair, coaxial, fiber-optic), laser, atau gelombang radio.
- Protokol: Protokol adalah sekumpulan aturan yang harus disepakati oleh dua atau lebih alat untuk dapat saling berkomunikasi. Tanpa protokol, dua entitas yang sedang terhubung tidak dapat saling berkomunikasi, sehingga tidak ada message yang mengalir di kedua entitas tersebut. Sebagai analogi, protokol bisa dianggap sebagai bahasa yang digunakan sehari-hari. Contoh, seseorang yang berkomunikasi menggunakan bahasa jawa tidak akan bisa dimengerti oleh orang lain yang tidak bisa berbahasa jawa.

Beberapa hal yang berhubungan dengan tugas-tugas protokol antara lain:

- Mengaktifkan jalur komunikasi data langsung, serta sistem sumber harus menginformasikan identitas sistem tujuan yang diinginkan kepada jaringan komunikasi.
- Sistem sumber harus dapat memastikan bahwa sistem tujuan benar-benar telah siap untuk menerima data.
- Aplikasi transfer file pada sistem sumber harus dapat memastikan bahwa program manajemen file pada sistem tujuan benar-benar dipersiapkan untuk menerima dan menyimpan file untuk beberapa user tertentu.
- Bila format-format file yang dipergunakan pada kedua sistem tersebut tidak kompatibel, maka salah satu sistem yang lain harus mampu melakukan fungsi penerjemahan format.

Deret Fourier dan Spektrum Diskrit

Dengan memisalkan $x(t)$ sebagai sebuah sinyal periodik dengan nilai periode T_0 , maka deret Fourier eksponensial kompleks $x(t)$ dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$x(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_n e^{jn\omega_0 t} \quad \omega_0 = 2\pi/T_0$$

Di mana nilai c_n , koefisien Fourier dari $x(t)$ untuk sembarang nilai t_0 didefinisikan sebagai berikut:

$$c_n = \frac{1}{T_0} \int_{t_0}^{t_0+T_0} x(t) e^{-jn\omega_0 t} dt$$

Dengan mengambil nilai $t_0 = -T_0/2$, maka nilai c_n akan menjadi:

$$c_n = \frac{1}{T_0} \int_{-T_0/2}^{T_0/2} x(t) e^{-jn\omega_0 t} dt$$

Nilai C_n secara umum adalah bilangan kompleks yang dapat dituliskan kembali sebagai berikut:

$$c_n = |c_n| e^{j\theta_n}$$

$|C_n|$ = Amplitudo

θ_n = Fasa dari C_n

Spektrum amplitudo dari suatu sinyal periodik $x(t)$ didapat dengan memplot nilai-nilai $|c_n|$ terhadap nilai-nilai frekuensi sudut $\omega = 2\pi f$. Spektrum fasa dari $x(t)$ didapat dengan memplot θ_n dengan ω . Keduanya disebut sebagai spektrum frekuensi dari sinyal $x(t)$.

Perlu dicatat bahwa spektrum frekuensi hanya ada pada nilai-nilai frekuensi diskrit $n\omega_0$ dikarenakan indeks n diasumsikan hanya berupa bilangan bulat. Oleh sebab itu spektrum frekuensi sebuah sinyal periodik dikenal pula sebagai spektrum frekuensi diskrit.

Jika $x(t)$ adalah sebuah fungsi riil terhadap waktu, maka:

$$c_{-n} = c_n^* = |c_n| e^{-j\theta_n}$$

Hal ini mengakibatkan koefisien-koefisien positif dan negatif dari sebuah sinyal periodik riil merupakan konjugat-konjugat kompleks, yang dapat dituliskan sebagai berikut:

$$|c_{-n}| = |c_n| \quad \text{dan} \quad \theta_{-n} = -\theta_n$$

Oleh sebab itu, spektrum amplitudo dari sinyal periodik tersebut adalah fungsi genap dari variabel ω , sedangkan spektrum frekuensinya adalah fungsi ganjil dari variabel ω .

Daya yang terkandung di dalam sinyal periodik $x(t)$ didefinisikan sebagai mean square value (nilai kuadrat rata-rata) sinyal tersebut di dalam satu periodenya:

$$P = \frac{1}{T_0} \int_{-T_0/2}^{T_0/2} |x(t)|^2 dt$$

Transformasi Fourier dan Spektrum Kontinu

Transformasi Fourier digunakan untuk menjadikan representasi deret Fourier lebih umum dan berlaku juga untuk sinyal-sinyal non-periodik di dalam domain frekuensi. Misalkan $x(t)$ adalah sembarang sinyal non-periodik. Transformasi Fourier dari $x(t)$ didefinisikan sebagai berikut:

$$X(\omega) = \mathcal{F}[x(t)] = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-j\omega t} dt$$

Sedangkan inversi-nya didefinisikan sebagai berikut:

$$x(t) = \mathcal{F}^{-1}[X(\omega)] = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} X(\omega)e^{j\omega t} d\omega$$

Kedua persamaan di atas disebut juga pasangan transformasi Fourier, dan dinotasikan sebagai:

$$x(t) \leftrightarrow X(\omega)$$

Secara umum, transformasi Fourier $X(\omega)$ adalah fungsi kompleks terhadap frekuensi sudut ω , sehingga dapat dinyatakan dalam bentuk berikut:

$$X(\omega) = |X(\omega)|e^{j\theta(\omega)}$$

Di mana $|X(\omega)|$ adalah spektrum amplitudo kontinu dari $x(t)$, dan $\theta(\omega)$ adalah spektrum fasa kontinu dari $x(t)$. Spektrum dikatakan kontinu karena kedua nilai amplitudo maupun fasa-nya merupakan fungsi-fungsi kontinu terhadap frekuensi ω .

Jika $x(t)$ adalah fungsi riil terhadap waktu, maka akan didapatkan dua persamaan berikut:

$$X(-\omega) = X^*(\omega) = |X(\omega)|e^{-j\theta(\omega)}$$

$$|X(-\omega)| = |X(\omega)| \text{ dan } \theta(-\omega) = -\theta(\omega)$$

Serupa dengan deret Fourier kompleks, spektrum amplitudo $|X(\omega)|$ adalah fungsi genap dari ω , dan spektrum fasa $\theta(\omega)$ adalah fungsi ganjil dari ω .

Nilai energi ternormalisasi, E , dari sebuah sinyal non-periodik $x(t)$ didefinisikan sebagai berikut:

$$E = \int_{-\infty}^{\infty} |x(t)|^2 dt$$

Jika E bernilai hingga ($E < \infty$), maka $x(t)$ disebut sebagai sinyal energi. Sedangkan jika E bernilai tak hingga ($E = \infty$), maka daya ternormalisasi rata-rata, P , didefinisikan sebagai berikut:

$$P = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} |x(t)|^2 dt$$

Jika P bernilai hingga ($P < \infty$), maka $x(t)$ disebut sebagai sinyal daya. Dapat disimpulkan bahwa sebuah sinyal periodik akan merupakan sinyal daya jika kandungan energi di dalam setiap periodenya bernilai hingga.

Contoh Soal:

Diketahui terdapat sinyal periodik $x(t)$ dengan nilai sebagai berikut:

$$x(t) = \sin \omega_0 t$$

Tentukan deret Fourier kompleks $x(t)$ dan buatlah plot spektrum frekuensinya.

Jawab:

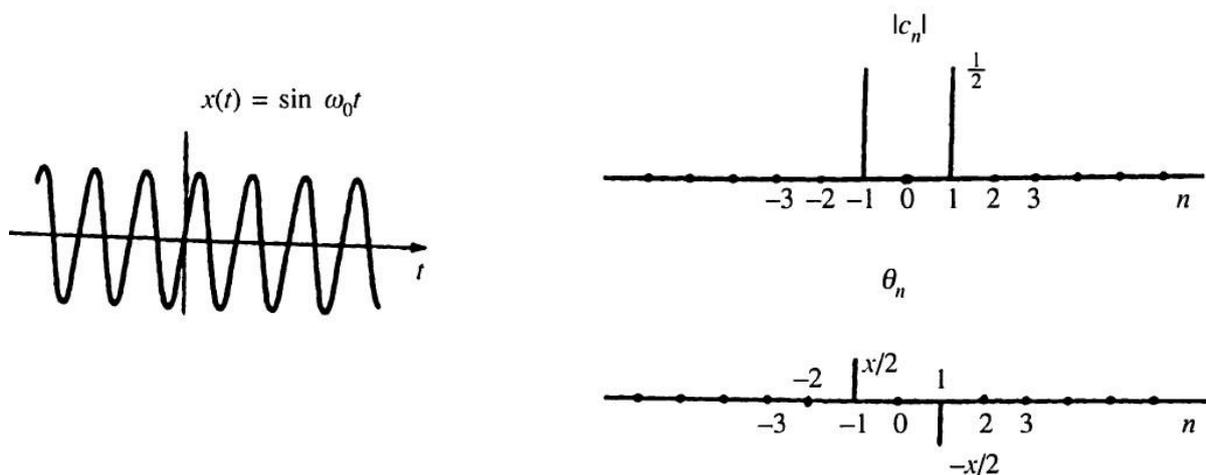
Rumus Euler dapat digunakan untuk mempermudah perhitungan. Dengan Euler, sinyal $x(t)$ dapat dituliskan sebagai berikut:

$$x(t) = \sin \omega_0 t = \frac{1}{2j} (e^{j\omega_0 t} - e^{-j\omega_0 t}) = -\frac{1}{2j} e^{-j\omega_0 t} + \frac{1}{2j} e^{j\omega_0 t}$$

Dari persamaan di atas didapat bahwa:

$$c_{-1} = -\frac{1}{2j} = \frac{1}{2} e^{j(\pi/2)} \quad c_1 = \frac{1}{2j} = \frac{1}{2} e^{-j(\pi/2)} \quad c_n = 0 \text{ untuk } n \neq +1 \text{ atau } -1$$

Untuk plot spektrum frekuensi dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2. Plot Spektrum Frekuensi. Hsu, Hwei, *Komunikasi Analog Dan Digital*, Erlangga, Jakarta, 2005

Contoh Soal:

Diketahui terdapat sinyal waktu kontinu dengan periode $T = 2$. Sinyal tersebut direpresentasikan dengan persamaan:

$x(t)$: Bernilai 1 untuk $-0.5 \leq t \leq 0.5$; Bernilai 0 untuk nilai t lainnya.

Tentukan nilai C_n !

Jawab:

Sinyal tersebut periodik dengan periode $T = 2$, dan frekuensi sudut fundamentalnya adalah $\omega_0 = 2\pi/2 = \pi$ radian/detik. Sehingga C_n adalah:

$$\begin{aligned} c_n &= \frac{1}{2} \int_{-0,5}^{0,5} e^{-jn\pi t} dt = -\frac{1}{j2n\pi} e^{-jn\pi t} \Bigg|_{t=-0,5}^{t=0,5} \\ &= -\frac{1}{j2n\pi} \left(-j \sin \frac{n\pi}{2} - j \sin \frac{n\pi}{2} \right) \\ &= \frac{1}{n\pi} \sin \frac{n\pi}{2}, \quad n = \pm 1, \pm 2, \dots \\ &= \begin{cases} 0 & n = \pm 2, \pm 4, \dots \\ \frac{1}{n\pi} & n = \pm 1, \pm 3, \dots \end{cases} \end{aligned}$$

Daftar Pustaka

Couch, Leon, (2012). Digital and analog communication systems. Prentice Hall.

Hsu, Hwei, (2005). Komunikasi analog dan digital. Jakarta: Erlangga.

Lathi, B.P, (1998). *Modern digital and analog communication system*. Oxford University Press. 3rd Edition..

Roden, Martin, (1996). Analog and digital communication systems. Prentice Hall.

Simon S. Haykin and Michael Moher, (2006). *An introduction to analog and digital communications*. Wiley.



MODUL STANDAR PERKULIAHAN

Telekomunikasi Analog & Digital

Lanjutan Sinyal & Spektrum

Fakultas	Program Studi	Tatap Muka	Kode MK	Disusun Oleh
FAKULTAS TEKNIK	TEKNIK ELEKTRO	02	14045	Ketty Siti Salamah, S.T., M.T

Abstract

Transformasi Fourier memiliki sembilan macam sifat yang digunakan saat melakukan perhitungan. Transformasi Fourier dari sebuah sinyal periodik atau sinyal daya dapat ditentukan dengan memahami fungsi impuls satuan.

Kompetensi

Mahasiswa/i dapat mengerti dan menjelaskan sifat-sifat Transformasi Fourier dan konsep Transformasi Fourier sinyal-sinyal daya..

Pembahasan

Pendahuluan

Misalkan $f(x)$ fungsi yang kontinyu di $(-\infty, \infty)$, didefinisikan transformasi Fourier, TF $f(x)$ adalah

$$\hat{f}(\omega) = F(f) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x)e^{-i\omega x} dx$$

definisi, Transformasi Fourier inversi dari $\hat{f}(\omega)$ adalah

$$f(x) = F^{-1}(\hat{f}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} \hat{f}(\omega)e^{-i\omega x} dx$$

Tabel Transformasi Fourier:

No	$f(x)$	$\hat{f}(\omega)$
1.	$\begin{cases} 1 & \text{jika } -b < x < b \\ 0 & \text{lainnya} \end{cases}$	$\sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{\sin b\omega}{\omega}$
2.	$\begin{cases} 1 & \text{jika } b < x < c \\ 0 & \text{lainnya} \end{cases}$	$\frac{e^{-ib\omega} - e^{-ic\omega}}{i\omega\sqrt{2\pi}}$
3.	$\frac{1}{a^2 + x^2}, a > 0$	$\sqrt{\frac{\pi}{2}} \frac{e^{-a \omega }}{a}$
4.	$\begin{cases} x & \text{jika } 0 < x < b \\ 2x - a & \text{jika } b < x < 2b \\ 0 & \text{lainnya} \end{cases}$	$\frac{-1 + 2e^{ib\omega} - e^{2ib\omega}}{\sqrt{2\pi} \omega^2}$
5.	$\begin{cases} e^{-ax} & \text{jika } x > 0, a > 0 \\ 0 & \text{lainnya} \end{cases}$	$\frac{1}{\sqrt{2\pi} (a - i\omega)}$
6.	$\begin{cases} e^{ax} & \text{jika } b < x < c \\ 0 & \text{lainnya} \end{cases}$	$\frac{e^{(a-i\omega)c} - e^{(a-i\omega)b}}{\sqrt{2\pi} (a - i\omega)}$

7.	$\begin{cases} e^{iax} & \text{jika } -b < x < b \\ 0 & \text{lainnya} \end{cases}$	$\sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{\sin b(w-a)}{w-a}$
8.	$\begin{cases} e^{iax} & \text{jika } b < x < c \\ 0 & \text{lainnya} \end{cases}$	$\frac{i}{\sqrt{2\pi}} \frac{e^{ib(a-w)} - e^{ic(a-w)}}{a-w}$
9.	$e^{-ax^2}, a > 0$	$\frac{1}{\sqrt{2a}} e^{-w^2/4a}$
10.	$\frac{s_{max}}{x}, a > 0$	$\sqrt{\frac{\pi}{2}} \text{ jika } w < a; 0 \text{ jika } w > a$

Tabel 1. Tabel Pasangan Sinyal Dengan Transformasi Fourier-nya

Sifat-Sifat Transformasi Fourier

Saat menentukan transformasi Fourier dari sebuah sinyal perlu diperhatikan sifat-sifat yang dimiliki oleh transformasi Fourier. Sifat-sifat tersebut adalah:

1. Linearitas (Superposisi)

Sifat linearitas berarti jika $x(t) = X(\omega)$, maka:

$$a_1x_1(t) + a_2x_2(t) \Leftrightarrow a_1X_1(\omega) + a_2X_2(\omega)$$

Sifat linearitas:

$$F(af(x)+bg(x)) = aF(f)+bF(g)$$

a dan b konstanta sedangkan f dan g fungsi kontinyu.

Bukti

$$\begin{aligned} F(af(x) + bg(x)) &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} [af(x) + bg(x)] e^{-iax} dx \\ &= \frac{a}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} f(x) e^{-iax} dx + \frac{b}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} g(x) e^{-iax} dx \\ &= aF(f) + bF(g) \\ \rightarrow F[af + bg] &= aF(f) + bFg \end{aligned}$$

2. Pergeseran Waktu

Efek pergeseran di domain waktu hanyalah menambahkan suku bilangan linier $-\omega t_0$ pada spektrum fasa aslinya, $\theta(\omega)$ sehingga dapat dituliskan dalam persamaan berikut:

Contoh:
$$x(t - t_0) \leftrightarrow X(\omega)e^{-j\omega t_0}$$

Diketahui nilai $X(\omega)$ dari sebuah $x(t)$ adalah $4 \sin \pi/2$. Tentukan nilai $X(\omega)$ apabila $x(t)$ menjadi $x(t-4)$.

Jawab:

Sesuai rumus, maka nilai $t_0 = 4$, sehingga nilai $X(\omega)$ dari $x(t-4)$ adalah

$$= 4 \sin \pi/2 e^{-j\omega 4}$$

$$= 4 e^{-j\omega 4} \sin \pi/2$$

3. Pergeseran Frekuensi

Persamaan yang menggambarkan efek pergeseran frekuensi adalah sebagai berikut:

Contoh:
$$x(t)e^{j\omega_0 t} \leftrightarrow X(\omega - \omega_0)$$

Dengan menggunakan sifat pergeseran frekuensi, maka:

$$X(\omega) = 4 \sin \pi/2$$

$$X(\omega - \omega_0) = 4 \sin (\pi/2 - 2). \text{ Maka } \omega_0 = 2$$

Sehingga:

$$x(t) = x(t). e^{j\omega_0 t} = x(t) e^{j2t}$$

4. Perubahan Skala

Perubahan skala berarti jika terjadi kompresi dimensi waktu dari sebuah sinyal ($a > 1$) akan mengakibatkan ekspansi spektrumnya, sedangkan jika terjadi ekspansi dimensi waktu ($a < 1$) akan mengakibatkan kompresi spektrumnya. Hal ini digambarkan pada persamaan berikut:

$$x(at) \leftrightarrow \frac{1}{|a|} X\left(\frac{\omega}{a}\right)$$

Contoh:

Diketahui nilai $X(\omega)$ dari sebuah $x(t)$ adalah $4 \sin \pi/2$. Tentukan nilai $X(\omega)$ apabila $x(t)$ menjadi $x(2t)$.

Jawab:

Dengan menggunakan sifat perubahan skala:

$$x(t) \rightarrow X(\omega) = 4 \sin \pi/2$$

$$x(2t) \rightarrow X(\omega) = \frac{1}{|2|} X\left(\frac{\omega}{2}\right) = \frac{1}{2} 4 \sin \left(\frac{\pi/2}{2}\right) = 2 \sin \left(\frac{\pi}{4}\right)$$

5. Pembalikan Waktu

Sifat pembalikan waktu pada transformasi Fourier dapat digambarkan dengan persamaan berikut:

$$x(-t) \leftrightarrow X(-\omega)$$

Contoh:

Apabila diketahui nilai $X(\omega)$ dari sebuah $x(t)$ adalah $4 \sin \pi/2$. Tentukan nilai $X(\omega)$ jika nilai $x(t)$ berubah menjadi $x(-t)$.

Jawab:

Dengan menggunakan sifat pembalikan waktu:

$$x(t) \rightarrow X(\omega) = 4 \sin \pi/2$$

$$x(-t) \rightarrow X(\omega) = 4 \sin (-\pi/2)$$

6. Diferensiasi

Ada dua jenis diferensiasi. Yang pertama adalah diferensiasi waktu yang dituliskan pada persamaan:

$$x'(t) = \frac{d}{dt}x(t) \leftrightarrow j\omega X(\omega)$$

Efek diferensiasi di domain waktu dapat dijabarkan sebagai perkalian $X(\omega)$ dan $j\omega$ dalam domain frekuensi.

Diferensiasi kedua adalah diferensiasi frekuensi yang dituliskan pada persamaan:

$$(-jt)x(t) \leftrightarrow X'(\omega) = \frac{d}{d\omega}X(\omega)$$

7. Integrasi

Jika diketahui $X(0) = 0$, maka:

$$\int_{-\infty}^t x(\tau) d\tau \leftrightarrow \frac{1}{j\omega} X(\omega)$$

Dari persamaan di atas diperlihatkan bahwa efek integrasi di domain waktu dapat dijabarkan secara matematis sebagai pembagian $X(\omega)$ oleh $j\omega$ di domain frekuensi, dengan mengasumsikan $X(0) = 0$. Nilai $X(0)$ dapat dituliskan dalam persamaan berikut:

$$X(0) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) dt$$

8. Konvolusi

Konvolusi dua buah sinyal $x_1(t)$ dan $x_2(t)$, yang dilambangkan sebagai $x_1(t) * x_2(t)$, akan menghasilkan sebuah sinyal baru $x(t)$ dan didefinisikan dengan persamaan berikut:

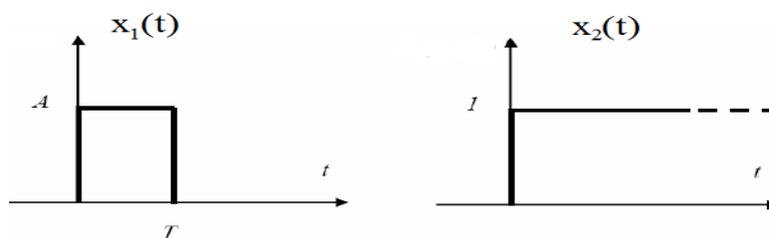
$$x(t) = x_1(t) * x_2(t) = \int_{-\infty}^{\infty} x_1(\tau) x_2(t - \tau) d\tau$$
$$x_1(t) * x_2(t) \leftrightarrow X_1(\omega) X_2(\omega)$$

Persamaan di atas disebut sebagai teorema konvolusi waktu, yang menyatakan bahwa konvolusi pada domain waktu akan dijabarkan secara matematis sebagai perkalian-perkalian sinyal-sinyal pada domain frekuensi. Operasi konvolusi bersifat komutatif, sifat ini dijelaskan pada persamaan berikut:

$$x_1(t) * x_2(t) = x_2(t) * x_1(t)$$

Contoh perhitungan konvolusi:

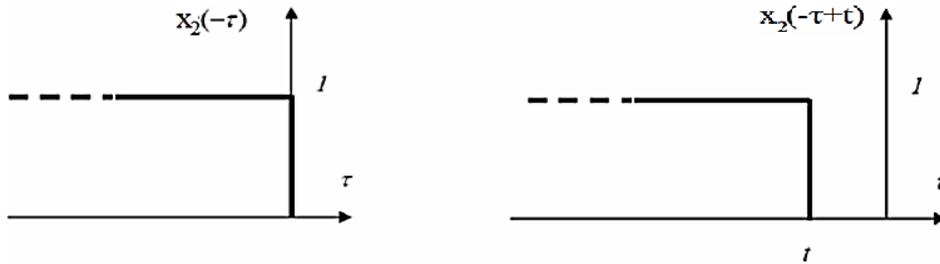
Terdapat sinyal $x_1(t)$ dan $x_2(t)$ sebagai berikut:



Tentukan $x_1(t) * x_2(t)$!

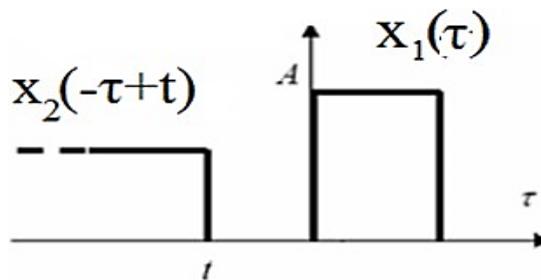
Jawab:

Langkah 1. Ubah $x_1(t)$ dan $x_2(t)$ ke bentuk $x_1(\tau)$ dan $x_2(\tau)$, kemudian reverse sinyal $x_2(\tau)$ menjadi $x_2(-\tau)$, kemudian geser ke kiri sejauh t ($t < T$) menjadi $x_2(-\tau+t)$.



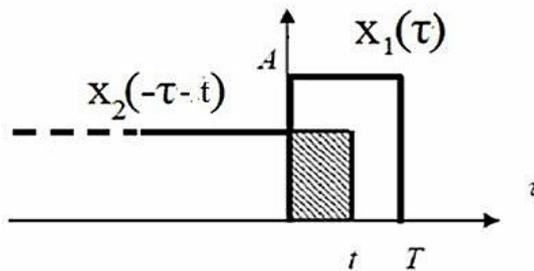
Langkah 2. Perhitungan dibagi menjadi 3 bagian:

$-\infty < t \leq 0$



Tidak ada bagian yang tumpang tindih antara $x_1(t)$ dan $x_2(-\tau+t)$, sehingga bagian ini adalah 0.

$0 \leq t \leq T$

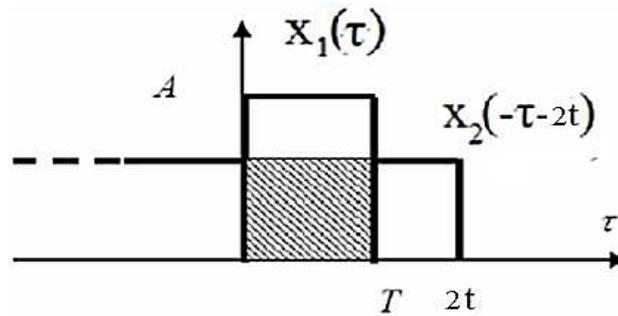


Bidang yang tumpang tindih:

$$y(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} x_2(-\tau-t) x_1(\tau) d\tau = \int_0^t A d\tau = A \int_0^t d\tau = At$$



$T \leq t$



Bidang yang tumpang tindih:

$$y(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} X_2(-\tau-2t) X_1(\tau) d\tau = \int_0^T A d\tau = A \int_0^T d\tau = AT$$

Maka hasil konvolusinya:

Untuk $-\infty < t \leq 0 = 0$

Untuk $0 \leq t \leq T = AT$

Untuk $T \leq t = AT$

9. Perkalian

Sifat perkalian transformasi Fourier dapat digambarkan sebagai berikut:

$$x_1(t)x_2(t) \leftrightarrow \frac{1}{2\pi} X_1(\omega) * X_2(\omega)$$

Persamaan di atas dirujuk sebagai teorema konvolusi frekuensi. Sehingga, perkalian pada domain waktu dapat dijabarkan secara matematis sebagai konvolusi pada domain frekuensi.

Contoh soal:

Tentukan transformasi Fourier untuk:

$f(x) = k, 0 < x < a$ dan $f(x)=0$ selain itu.

Jawab:

$$\begin{aligned} \hat{f}(\omega) = F(f) = F(k) &= \int_{-\infty}^{\infty} f(x)e^{-i\omega x} dx = \left\{ \int_{-\infty}^0 f(x)e^{-i\omega x} dx + \int_0^a f(x)e^{-i\omega x} dx + \int_a^{\infty} f(x)e^{-i\omega x} dx \right\} \\ &= \int_0^a f(x)e^{-i\omega x} dx = \frac{k}{i\omega} \int_0^a de^{-i\omega x} = \frac{k(1-e^{-i\omega a})}{i\omega} \end{aligned}$$

Transformasi Fourier Sinyal-Sinyal Daya

Pemahaman mengenai fungsi impuls satuan (unit impulse function) perlu dilakukan untuk menentukan transformasi Fourier dari sebuah sinyal periodik atau sinyal daya.

Fungsi impuls satuan didefinisikan melalui proses berikut:

$$\int_{-\infty}^{\infty} \phi(t)\delta(t)dt = \phi(0)$$

Dimana $\Phi(t)$ adalah sembarang fungsi yang kontinyu di titik $t = 0$.

Persamaan di atas dapat diberlakukan untuk fungsi impuls di dalam domain frekuensi $\delta(\omega)$, dengan mengganti variabel waktu t dengan variabel frekuensi sudut ω .

Fungsi delta tertunda (delayed delta function) $\delta(t-t_0)$ didefinisikan dengan persamaan berikut:

$$\int_{-\infty}^{\infty} \phi(t)\delta(t - t_0)dt = \phi(t_0)$$

Di mana $\Phi(t)$ adalah sembarang fungsi biasa yang kontinyu di titik $t = t_0$.

Transformasi Fourier dari $\delta(t)$ diberikan oleh persamaan berikut:

$$\mathcal{F}[\delta(t)] = \int_{-\infty}^{\infty} \delta(t)e^{-j\omega t} dt = 1$$

Pasangan transformasi Fourier dari $\delta(t)$ adalah:

$$\delta(t) \leftrightarrow 1$$

Daftar Pustaka

Couch, Leon, (2012). *Digital and analog communication systems*. Prentice Hall.

Hsu, Hwei, (2005). *Komunikasi analog dan digital*. Jakarta: Erlangga.

Lathi, B.P, (1998). *Modern digital and analog communication system*. Oxford University Press. 3rd Edition..

Roden, Martin, (1996). *Analog and digital communication systems*. Prentice Hall.

Simon S. Haykin and Michael Moher, (2006). *An introduction to analog and digital communications*. Wiley.



MODUL STANDAR PERKULIAHAN

Telekomunikasi Analog & Digital

Transmisi Dan Penyaringan Sinyal

Fakultas
FAKULTAS TEKNIK

Program Studi
TEKNIK ELEKTRO

Tatap Muka
03

Kode MK
14045

Disusun Oleh
Ketty Siti Salamah, ST, MT

Abstract

Transmisi sinyal adalah proses di mana sebuah sinyal yang membawa informasi atau pesan dikirimkan melalui sebuah medium atau kanal komunikasi.

Penyaringan sinyal (filtering) adalah proses mengubah kandungan spektrum sebuah sinyal sehingga akan didapatkan kualitas transmisi dan penerimaan sinyal yang lebih baik.

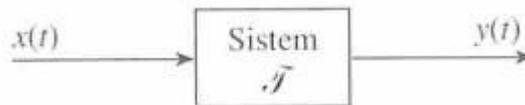
Kompetensi

Mahasiswa/i dapat mengerti dan menjelaskan konsep transmisi dan penyaringan sinyal.

Pembahasan

Respons Impuls dan Respons Frekuensi

Representasi dari sebuah sistem adalah sebagai berikut:



Gambar 1. Ilustrasi Sistem Sederhana. Hsu, Hwei, *Komunikasi Analog Dan Digital*, Erlangga, Jakarta, 2005

Sistem linear adalah sistem yang memenuhi dua kondisi berikut:

$$\mathcal{F}[x_1(t) + x_2(t)] = \mathcal{F}[x_1(t)] + \mathcal{F}[x_2(t)] = y_1(t) + y_2(t)$$

$$\mathcal{F}[ax(t)] = a\mathcal{F}[x(t)] = ay(t)$$

Di mana $x_1(t)$, $x_2(t)$, dan $x(t)$ adalah sembarang sinyal input dan a adalah sembarang skalar.

Jika sebuah sistem memenuhi kondisi berikut:

$$\mathcal{F}[x(t - t_0)] = y(t - t_0)$$

Di mana t_0 adalah sembarang konstanta riil, maka sistem tersebut adalah sistem tak-berubah waktu (time invariant) atau sistem tetap. Persamaan di atas mengindikasikan bahwa input yang tertunda waktunya akan menghasilkan output yang tertunda juga waktunya.

Jika terdapat sebuah sistem yang memenuhi sifat sistem linear dan sistem tak-berubah waktu, maka sistem tersebut dinamakan sistem LTI (Linear Time Invariant - Linear Tak-Berubah Waktu).

Respons impuls $h(t)$ dari sebuah sistem LTI didefinisikan sebagai respons yang diberikan sistem kita menerima input berupa impuls $\delta(t)$, atau jelasnya:

$$h(t) = \mathcal{F}[\delta(t)]$$

Fungsi $h(t)$ dapat berupa sembarang fungsi. Jika $h(t) = 0$ untuk $t < 0$, maka sistem tersebut disebut sebagai sistem kausal.

Respons sistem $y(t)$ dari sebuah sistem LTI untuk sembarang sinyal input $x(t)$ dapat dinyatakan sebagai konvolusi antara $x(t)$ dengan respons impuls $h(t)$:

$$y(t) = x(t) * h(t) = \int_{-\infty}^{\infty} x(\tau)h(t - \tau)d\tau$$

$$y(t) = h(t) * x(t) = \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau)x(t - \tau)d\tau$$

Respons frekuensi $H(\omega)$ dirumuskan sebagai berikut:

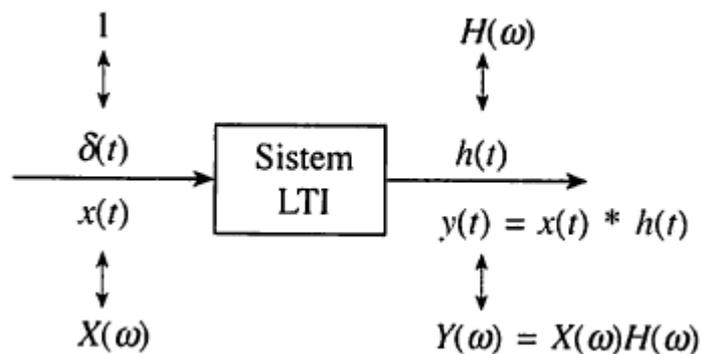
$$H(\omega) = \mathcal{F}[h(t)] = \frac{Y(\omega)}{X(\omega)}$$

Dimana:

$$Y(\omega) = X(\omega)H(\omega)$$

$$X(\omega) = \mathcal{F}[x(t)], Y(\omega) = \mathcal{F}[y(t)]$$

Hubungan antara sinyal-sinyal input dan sinyal-sinyal output pada sistem LTI dapat direpresentasikan dengan gambar berikut:



Gambar 2. Ilustrasi Hubungan Pada Sistem LTI. Hsu, Hwei, *Komunikasi Analog Dan Digital*, Erlangga, Jakarta, 2005

Karakteristik Filter Dari Sistem LTI

Respons frekuensi merupakan karakteristik dari sebuah sistem LTI. Besaran ini secara umum merupakan sebuah kuantitas kompleks:

$$H(\omega) = |H(\omega)|e^{j\theta_h(\omega)}$$

Dalam kasus sistem LTI yang menghasilkan respons impuls $h(t)$ bernilai riil, maka respons frekuensi akan memiliki sifat simetri konjugat:

$$H(-\omega) = H^*(\omega)$$

Yang berarti bahwa:

$$|H(-\omega)| = |H(\omega)| \quad \theta_h(-\omega) = -\theta_h(\omega)$$

Dapat disimpulkan bahwa besaran amplitudo $|H(\omega)|$ adalah sebuah fungsi genap dari frekuensi, sedangkan besaran fasa $\theta_h(\omega)$ adalah sebuah fungsi ganjil dari frekuensi.

Misalkan:

$$Y(\omega) = |Y(\omega)|e^{j\theta_y(\omega)} \quad \text{dan} \quad X(\omega) = |X(\omega)|e^{j\theta_x(\omega)}$$

Maka:

$$\begin{aligned} |Y(\omega)|e^{j\theta_y(\omega)} &= |X(\omega)|e^{j\theta_x(\omega)} |H(\omega)|e^{j\theta_h(\omega)} \\ &= |X(\omega)| |H(\omega)| e^{j(\theta_x(\omega)+\theta_h(\omega))} \end{aligned}$$

Sehingga akan didapatkan:

$$\begin{aligned} |Y(\omega)| &= |X(\omega)||H(\omega)| \\ \theta_y(\omega) &= \theta_x(\omega) + \theta_h(\omega) \end{aligned}$$

Dapat dilihat bahwa spektrum amplitudo dari sinyal output adalah hasil perkalian antara spektrum amplitudo sinyal input dan spektrum amplitudo respons frekuensi sistem. Spektrum fasa dari sinyal output adalah hasil penjumlahan antara spektrum fasa sinyal input

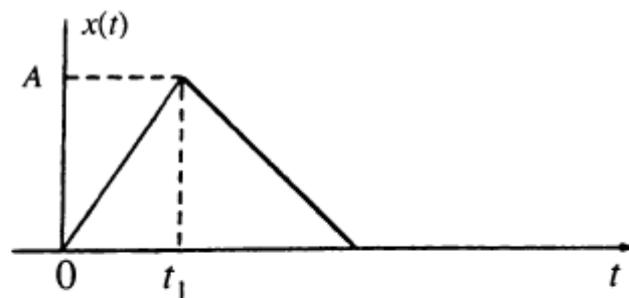
dan spektrum fasa respons frekuensi sistem. Oleh karena itu, sistem LTI dapat berperan sebagai filter yang menyaring frekuensi yang masuk.

Transmisi Sinyal Melalui Sistem LTI

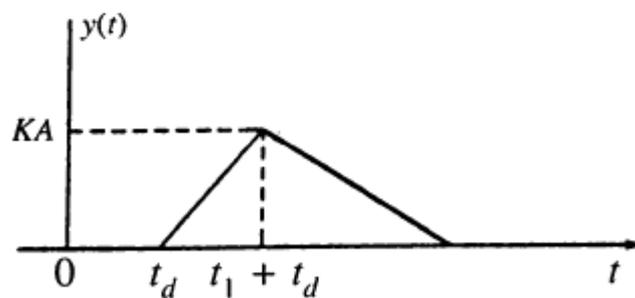
Transmisi tanpa distorsi yang melewati sebuah sistem dapat dijabarkan dengan mengasumsikan bahwa bentuk sinyal output adalah replikasi sempurna dari bentuk sinyal input. Sehingga jika $x(t)$ adalah sinyal input, maka sinyal output yang dihasilkan adalah:

$$y(t) = Kx(t - t_d)$$

Di mana t_d adalah delay, dan K adalah konstanta gain. Kedua besaran ini diilustrasikan dalam gambar berikut:



(a) Sinyal input



(b) Sinyal output

Gambar 3. Ilustrasi Sinyal Output Yang Mendapat Delay dan Gain. Hsu, Hwei, *Komunikasi Analog Dan Digital*, Erlangga, Jakarta, 2005

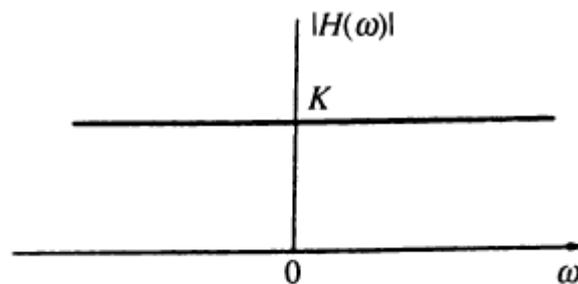
Dengan menerapkan transformasi fourier untuk persamaan di atas, maka:

$$Y(\omega) = Ke^{-j\omega t_d} X(\omega)$$

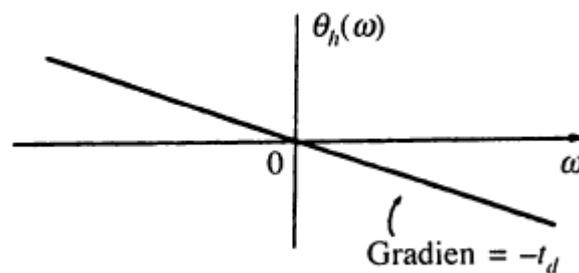
Sehingga untuk transmisi tanpa distorsi, sistem harus memiliki:

$$H(\omega) = |H(\omega)|e^{j\theta_h(\omega)} = Ke^{-j\omega t_d}$$

Di mana amplitudo dari $H(\omega)$ harus bernilai konstan untuk seluruh rentang frekuensi yang dicakupnya, dan sudut fasa $H(\omega)$ harus merupakan fungsi linear terhadap frekuensi. Kedua hal ini direpresentasikan dengan gambar berikut:



(c) $|H(\omega)|$ versus ω



(d) $\theta_h(\omega)$ versus ω

Gambar 4. Ilustrasi Amplitudo dan Sudut Fasa. Hsu, Hwei, *Komunikasi Analog Dan Digital*, Erlangga, Jakarta, 2005

Jika spektrum amplitudo $|H(\omega)|$ dari sebuah sistem tidak bernilai konstan pada rentang frekuensi yang dicakupnya, maka komponen-komponen frekuensi dari sinyal input akan ditransmisikan dengan gain (penguatan) atau atenuasi (pelemahan) yang berbeda-beda besarnya. Efek ini dikenal sebagai distorsi amplitudo.

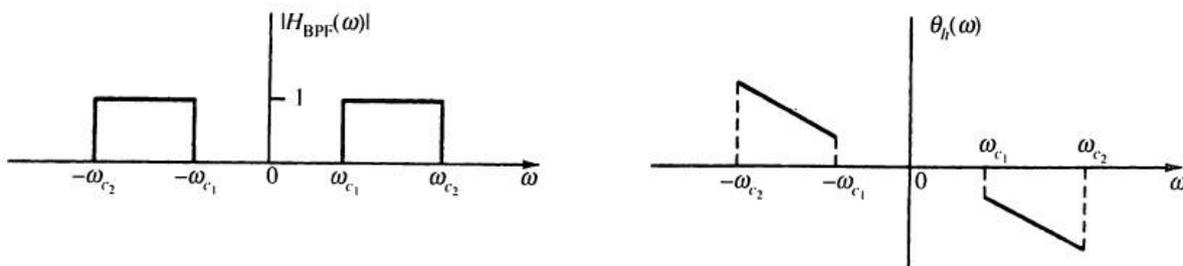
Jika spektrum fasa $\theta_h(\omega)$ dari sebuah sistem bukan merupakan fungsi linear terhadap frekuensi, maka sinyal output akan memiliki bentuk gelombang yang berbeda dari sinyal inputnya. Hal ini dikarenakan komponen-komponen frekuensi sinyal input akan mengalami delay yang berbeda-beda ketika melewati sistem. Efek ini dikenal sebagai distorsi fasa.

Filter Sinyal

Sebuah filter ideal memiliki transmisi tanpa distorsi pada satu atau beberapa pita frekuensi tertentu, dan respons sebesar 0 pada pita frekuensi lainnya. Sebuah filter bandpass atau Band Pass Filter (BPF) ideal didefinisikan oleh karakteristik berikut:

$$H_{\text{BPF}}(\omega) = \begin{cases} e^{-j\omega t_d} & \text{untuk } \omega_{c_1} \leq |\omega| \leq \omega_{c_2} \\ 0 & \text{untuk frekuensi-frekuensi lainnya} \end{cases}$$

Spektrum amplitudo dan spektrum fasa dari $H_{\text{BPF}}(\omega)$ direpresentasikan pada gambar berikut:

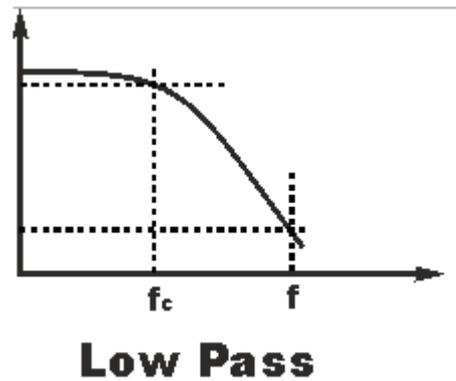


Gambar 5. Ilustrasi Spektrum Amplitudo dan Spektrum Fasa BPF. Hsu, Hwei, *Komunikasi Analog Dan Digital*, Erlangga, Jakarta, 2005

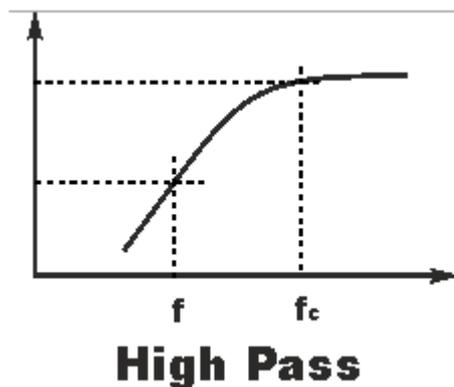
Filter bandpass ideal akan melewatkan semua komponen sinyal input dengan frekuensi di antara ω_{c_1} dan ω_{c_2} tanpa distorsi, sementara semua komponen sinyal pada frekuensi lainnya akan ditolak/tersaring. Kedua frekuensi ω_{c_1} dan ω_{c_2} dinamakan frekuensi cut-off bawah dan atas dari filter bandpass.

Contoh penggunaan filter band pass: Bagian dari crossover audio adalah untuk mendistribusikan daya sinyal audio secara efisien kepada masing-masing loudspeaker sesuai alokasi frekuensi-nya.

Sebuah filter low-pass atau Low Pass Filter (LPF) atau filter pelewat rendah yang ideal dan sebuah filter high-pass atau High Pass Filter (HPF) atau filter pelewat tinggi yang ideal dapat direpresentasikan dengan gambar berikut berikut:



Gambar 6. Ilustrasi Karakteristik Low Pass Filter.



Gambar 7. Ilustrasi Karakteristik High Pass Filter

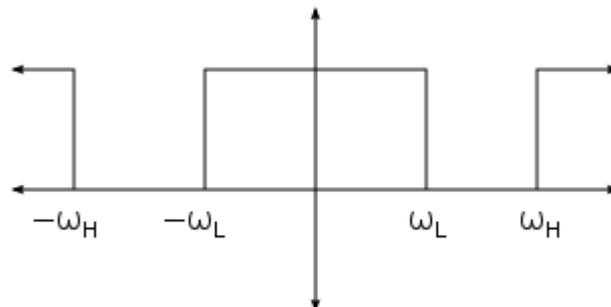
Contoh penggunaan filter low-pass: Pada aplikasi audio, yaitu pada peredaman frekuensi tinggi (yang biasa digunakan pada tweeter) sebelum masuk speaker bass atau subwoofer (frekuensi rendah).

Contoh penggunaan filter high-pass: Juga pada aplikasi audio, yaitu pada peredaman frekuensi rendah, sehingga frekuensi tinggi dapat diarahkan ke tweeter.

Sebuah filter bandstop atau Bandstop Filter (BSF) yang ideal didefinisikan oleh persamaan berikut:

$$H_{\text{BSF}}(\omega) = \begin{cases} 0 & \text{untuk } \omega_{c_1} \leq |\omega| \leq \omega_{c_2} \\ e^{-j\omega t_d} & \text{untuk frekuensi-frekuensi lainnya} \end{cases}$$

Sebuah BSF ideal dapat direpresentasikan dengan gambar berikut:



Gambar 8. Ilustrasi Karakteristik Filter BSF. http://en.wikipedia.org/wiki/Band-stop_filter

Contoh penggunaan filter band stop: Digunakan pada amplifier untuk instrumen akustik seperti gitar akustik, mandolin, bass instrumen amplifier, dll

Daftar Pustaka

- Couch, Leon, (2012). *Digital and analog communication systems*. Prentice Hall.
- Hsu, Hwei, (2005). *Komunikasi analog dan digital*. Jakarta: Erlangga.
- Lathi, B.P, (1998). *Modern digital and analog communication system*. Oxford University Press. 3rd Edition..
- Roden, Martin, (1996). *Analog and digital communication systems*. Prentice Hall.
- Simon S. Haykin and Michael Moher, (2006). *An introduction to analog and digital communications*. Wiley.



MODUL STANDAR PERKULIAHAN

Telekomunikasi Analog & Digital

Modulasi Amplitudo

Fakultas	Program Studi	Tatap Muka	Kode MK	Disusun Oleh
FAKULTAS TEKNIK	TEKNIK ELEKTRO	04	14045	Ketty Siti Salamah, ST, MT.

Abstract

Transmisi sebuah sinyal yang melewati sebuah kanal komunikasi umumnya mengharuskan perpindahan frekuensi sinyal pesan tersebut ke rentang frekuensi lain yang lebih sesuai untuk proses transmisi. Perpindahan ini diwujudkan melalui proses modulasi yang didefinisikan sebagai proses mengubah beberapa karakteristik dari sinyal pembawa (carrier) sesuai dengan karakteristik sinyal pemodulasi.

Kompetensi

Mahasiswa/i dapat mengerti dan menjelaskan konsep modulasi amplitudo.

Pembahasan

Transmisi sebuah sinyal yang melewati sebuah kanal komunikasi umumnya mengharuskan perpindahan frekuensi sinyal pesan tersebut ke rentang frekuensi lain yang sesuai dengan proses transmisi yang diinginkan. Perpindahan ini diwujudkan melalui proses modulasi yang didefinisikan sebagai proses mengubah beberapa karakteristik dari sinyal pembawa (carrier) sesuai dengan karakteristik sinyal pemodulasi. Sinyal pemodulasi adalah sinyal yang akan dibawa, sedangkan hasil dari modulasi disebut sebagai sinyal termodulasi.

Modulasi Amplitudo

Dalam modulasi amplitudo, sinyal pembawa termodulasi dinotasikan oleh persamaan berikut:

$$x_c(t) = A(t)\cos \omega_c t$$

Di mana amplitudo pembawa adalah $A(t)$ dan memiliki hubungan linier dengan sinyal pesan $m(t)$, apabila sinyal $m(t)$ membesar, maka $A(t)$ juga akan membesar. Hal ini menyebabkan modulasi amplitudo juga disebut sebagai modulasi linear.

Terdapat beberapa jenis modulasi amplitudo berdasarkan bentuk hubungan spektrum antara $A(t)$ dan $m(t)$, yaitu modulasi double-sideband (DSB), modulasi amplitudo biasa (AM), modulasi single-sideband (SSB) dan modulasi vestigial-sideband(VSB). Yang akan dibahas pada bab ini hanyalah modulasi DSB dan SSB saja.

Modulasi Double Sideband

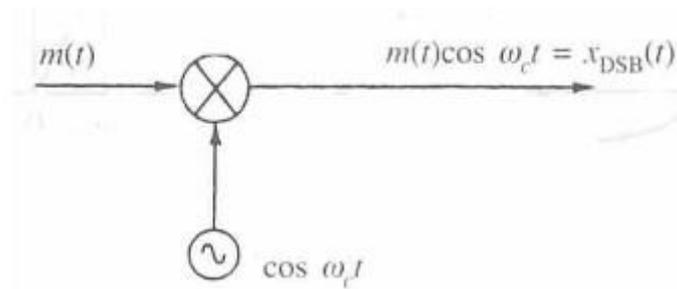
Modulasi DSB dapat dihasilkan jika nilai $A(t)$ berbanding lurus terhadap sinyal pesan $m(t)$, atau dapat dinotasikan dengan persamaan:

$$x_{\text{DSB}}(t) = m(t)\cos \omega_c t$$

Diasumsikan bahwa konstanta kesebandingan antara $A(t)$ dan $m(t)$ adalah 1. Dari persamaan di atas dapat dilihat bahwa modulasi DSB hanya perkalian antara sinyal pembawa $\cos \omega_c t$ dengan sinyal pesan $m(t)$. Spektrum sinyal termodulasi DSB dapat direpresentasikan dengan persamaan berikut:

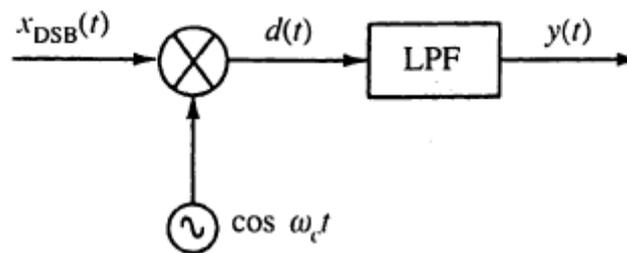
$$X_{\text{DSB}}(\omega) = \frac{1}{2}M(\omega - \omega_c) + \frac{1}{2}M(\omega + \omega_c)$$

Proses modulasi DSB direpresentasikan dengan gambar berikut:



Gambar 1. Proses Modulasi DSB. Hsu, Hwei, (2005). Komunikasi analog dan digital. Jakarta: Erlangga.

Sedangkan proses demodulasinya direpresentasikan dengan gambar berikut:



Gambar 2. Proses De-Modulasi DSB. Hsu, Hwei, (2005). Komunikasi analog dan digital. Jakarta: Erlangga.

Double SideBand-Suppressed Carrier (DSB-SC)

Dalam modulasi AM, amplitudo dari suatu sinyal *carrier*, dengan frekuensi dan phase tetap, divariasikan oleh suatu sinyal lain (sinyal informasi). Persamaan sinyal sinusoidal secara umum bisa dituliskan sbb.

$$\varphi(t) = a(t) \cos \theta(t)$$

di mana $a(t)$ adalah amplitudo sinyal dan $\theta(t)$ adalah sudut phase. $\theta(t)$ bisa ditulis dalam bentuk $\theta(t) = \omega_c t + \gamma(t)$ sehingga :

$$\varphi(t) = a(t) \cos [\omega_c t + \gamma(t)]$$

$a(t)$ adalah selubung (envelope) dari sinyal $\varphi(t)$

ω_c adalah frekuensi gelombang *carrier* (rad/detik) = $2\pi f_c$ (Hz)

$\gamma(t)$ adalah modulasi phase dari $\varphi(t)$

Dalam modulasi AM, $\gamma(t)$ dalam persamaan di atas adalah nol (konstan) dan selubung $a(t)$ dibuat proporsional terhadap suatu sinyal $f(t)$.

$$\varphi(t) = f(t) \cos \omega_c t$$

$$\cos \omega_c t$$

dalam persamaan di atas disebut dengan sinyal *carrier*; $f(t)$ adalah sinyal pemodulasi. Sinyal resultan $\varphi(t)$ disebut dengan sinyal termodulasi AM.

Kerapatan spektrum dari $\varphi(t)$ diperoleh dengan transformasi Fourier.

$$\Phi(\omega) = \frac{1}{2} F(\omega + \omega_c) + \frac{1}{2} F(\omega - \omega_c)$$

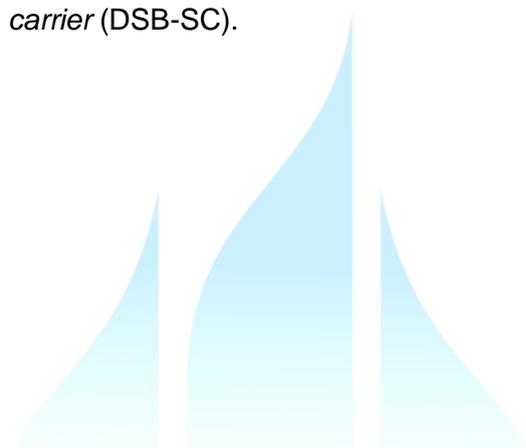
Persamaan ini berarti bahwa modulasi amplitudo menggeser spektrum frekuensi sinyal sejauh $\pm \omega_c$ rad/detik. Tipe modulasi seperti ini disebut dengan modulasi *suppressed carrier* karena dalam spektrum $\varphi(t)$ tidak ada identitas *carrier* yang tampak walaupun spektrum terpusat pada frekuensi *carrier* ω_c .

Gambar 1.(a) menunjukkan suatu rangkaian pembangkit sinyal AM. Gambar (b) adalah sinyal pemodulasi (sinyal informasi). Gambar (c) adalah sinyal *carrier* frekuensi tinggi. Dengan proses modulasi, amplitudo sinyal *carrier* akan berubah sesuai dengan amplitudo sinyal informasi, dengan frekuensi tetap, seperti pada (d).

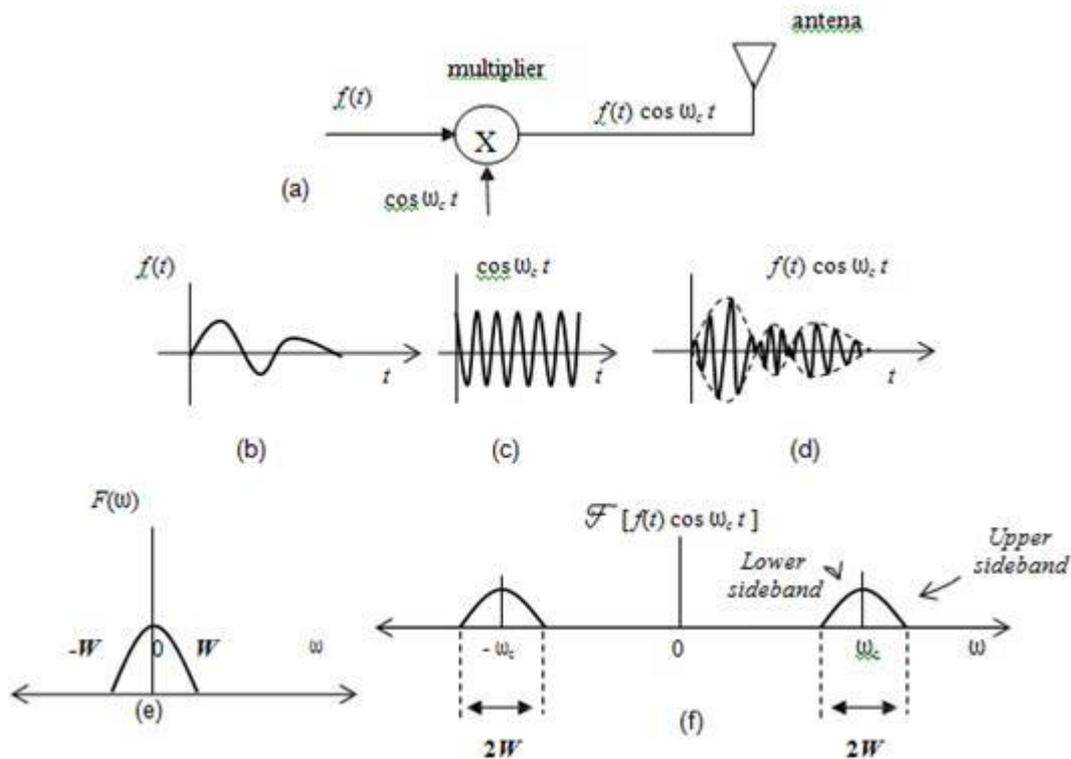
Transformasi Fourier digambarkan dalam domain frekuensi (ω) pada (e) dan (f).

Asumsikan bahwa sinyal informasi mempunyai lebar pita (*bandwidth*) sebesar W . Dengan modulasi, sinyal bergeser sejauh ω_c dan menempati spektrum dengan lebar $2W$ (gambar f). Ini berarti bahwa dengan metode modulasi seperti ini *bandwidth* sinyal digandakan. Spektrum sinyal di atas frekuensi ω_c disebut *upper sideband* (USB), sedangkan spektrum di bawah ω_c disebut *lower sideband* (LSB).

Karena itu modulasi ini juga disebut modulasi *double-sideband, suppressed carrier* (DSB-SC).



Ilustrasi yang menggambarkan pembangkitan sinyal DSB-SC adalah sebagai berikut:



Gambar 3. Pembangkitan Sinyal DSB-SC.

Penerimaan kembali sinyal DSB-SC $\varphi(t)$ untuk memperoleh sinyal informasi $f(t)$ memerlukan translasi frekuensi lain untuk memindahkan spektrum sinyal ke posisi aslinya. Proses ini disebut demodulasi atau deteksi dan dilakukan dengan mengalikan sinyal $\varphi(t)$ dengan sinyal *carrier* ω_c .

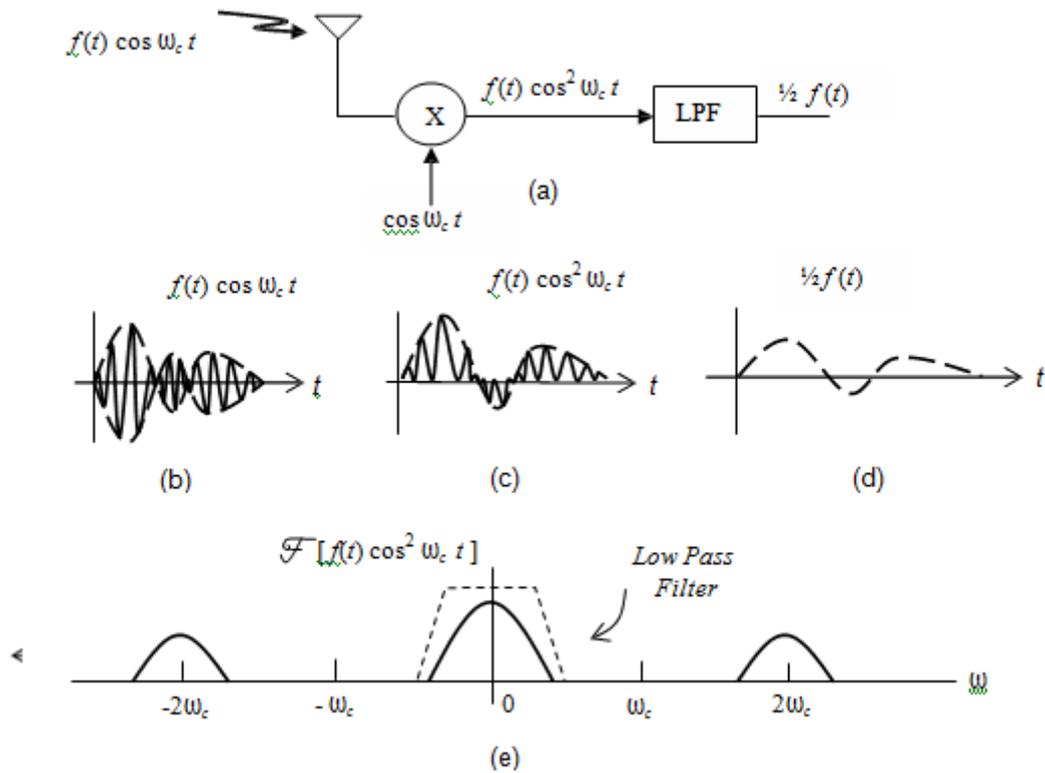
$$\varphi(t) \cos \omega_c t = f(t) \cdot \cos 2 \omega_c t$$

dengan identitas trigonometri :

$$\cos^2 A = \frac{1}{2} (1 + \cos 2A)$$

$$\varphi(t) \cos \omega_c t = \frac{1}{2} f(t) + \frac{1}{2} f(t) \cos 2\omega_c t$$

Bagian frekuensi tinggi $2\omega_c$ dihilangkan dengan menggunakan *Low Pass Filter* (LPF), sehingga yang tersisa hanya sinyal informasi $f(t)$.



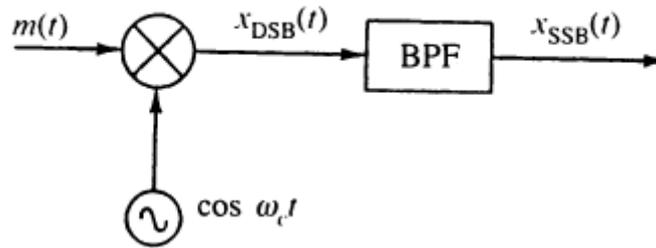
Gambar 4. Penerimaan Sinyal DSB-SC.

Prinsip yang dijelaskan di atas berlaku untuk semua sinyal selama frekuensi sinyal informasi W jauh lebih kecil daripada frekuensi *carrier* ω_c . Kesulitan yang terjadi pada penerima adalah perlunya rangkaian yang bisa membangkitkan *carrier* serta rangkaian untuk *sinkronisasi phase*.

Modulasi Single Sideband

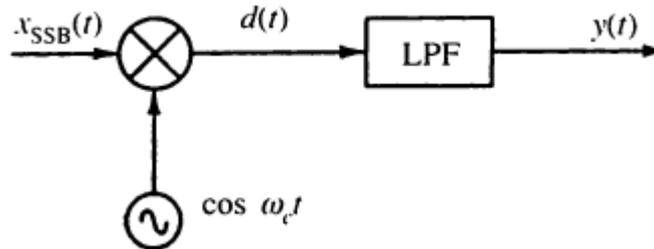
Modulasi SSB digunakan agar sinyal termodulasi dapat ditransmisikan dengan satu pita-sisi saja. Hal ini berbeda dengan modulasi DSB yang menghabiskan banyak bandwidth karena membutuhkan lebar pita sebesar dua kali lipat dari lebar pita pesan. Keunggulan modulasi SSB adalah kebutuhan bandwidth yang kecil, namun juga harus diimbangi dengan perangkat yang lebih kompleks dan mahal.

Proses modulasi SSB dapat diilustrasikan dengan gambar berikut:



Gambar 5 Proses Modulasi SSB. Hsu, Hwei, (2005). Komunikasi analog dan digital. Jakarta: Erlangga.

Sedangkan proses demodulasinya diilustrasikan dengan gambar berikut:

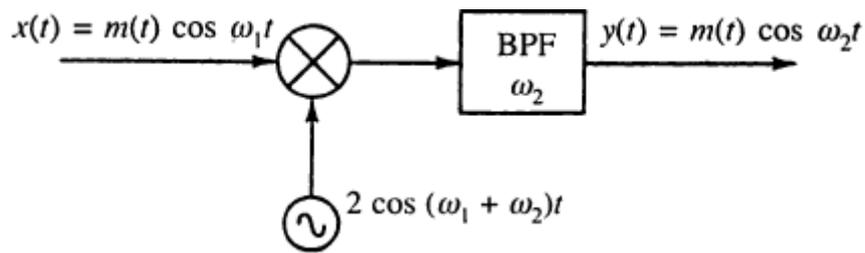


Gambar 6. Proses De-Modulasi SSB. Hsu, Hwei, (2005). Komunikasi analog dan digital. Jakarta: Erlangga.

Pergeseran dan Percampuran Frekuensi

Di dalam sistem telekomunikasi, pengolahan sinyal dapat lebih mudah dilakukan jika frekuensi sinyal yang akan diolah digeser terlebih dahulu ke frekuensi yang lain. Perangkat yang menggeser atau memindahkan frekuensi sinyal-sinyal termodulasi disebut sebagai frequency mixer (pencampur frekuensi). Proses pergeseran frekuensi tersebut dinamakan (frequency mixing) pencampuran frekuensi, konversi frekuensi, atau heterodyning.

Frekuensi mixer diilustrasikan dengan gambar berikut:



Gambar 7. Proses Pergeseran Frekuensi Dengan Frekuensi Mixer. Hsu, Hwei, (2005). Komunikasi analog dan digital. Jakarta: Erlangga.

Munculnya frekuensi bayangan menjadi faktor utama yang menyulitkan proses pencampuran frekuensi. Frekuensi bayangan ini dapat mengganggu karena tidak bisa dibedakan dari sinyal-sinyal pada frekuensi selanjutnya. Untuk mengatasi hal ini, frekuensi bayangan akan dilemahkan menggunakan penguat (amplifier) RF selektif sebelum masuk ke tahap pencampuran frekuensi.

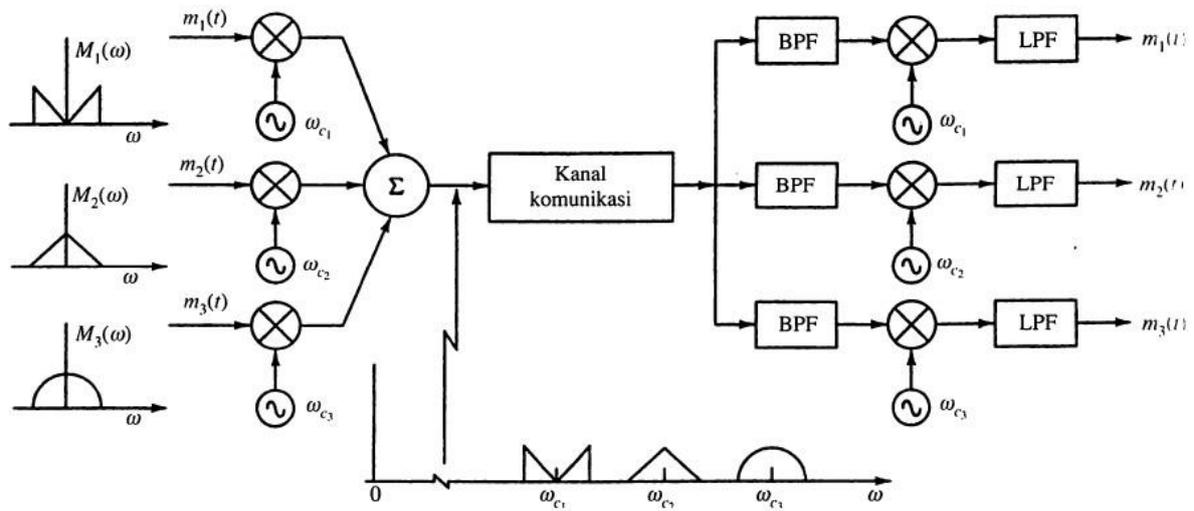
FDM (Frequency Division Multiplexing)

Multiplexing adalah teknik di mana sinyal-sinyal akan digabungkan menjadi sebuah sinyal gabungan yang dapat ditransmisikan melalui sebuah single channel (kanal tunggal). Syarat agar hal ini bisa dilakukan adalah sinyal-sinyal tersebut harus dijaga agar tetap terpisah atau berbeda antara satu sama lain. Pemisahan ini akan menjamin terjadinya interferensi silang karena setiap sinyal dapat diestrak kembali secara utuh di sisi penerima.

Terdapat dua teknik dasar multiplexing yaitu:

1. FDM (Frequency Division Multiplexing): Sesuai namanya, sinyal-sinyal akan diletakan pada frekuensi yang berbeda-beda.
2. TDM (Time Division Multiplexing): Pada teknik ini sinyal-sinyal dikirim pada waktu

Skema FDM diilustrasikan pada gambar berikut:



Gambar 8. Skema FDM. Hsu, Hwei, (2005). Komunikasi analog dan digital. Jakarta: Erlangga.

Pada gambar di atas ada tiga buah sinyal yang berbeda ditransmisikan secara bersamaan. Spektrum ketiga sinyal pesan dan spektrum gabungan sinyal-sinyal termodulasi juga digambarkan pada gambar di atas. Diasumsikan teknik modulasi yang digunakan adalah modulasi DSB. Di sisi penerima ketiga sinyal termodulasi akan dipisahkan kembali secara fisik dengan menggunakan filter bandpass (BPF) dan kemudian ketiga sinyal tersebut akan didemodulasikan.

Daftar Pustaka

Couch, Leon, (2012). *Digital and analog communication systems*. Prentice Hall.

Hsu, Hwei, (2005). *Komunikasi analog dan digital*. Jakarta: Erlangga.

Lathi, B.P, (1998). *Modern digital and analog communication system*. Oxford University Press. 3rd Edition..

Roden, Martin, (1996). *Analog and digital communication systems*. Prentice Hall.

Simon S. Haykin and Michael Moher, (2006). *An introduction to analog and digital communications*. Wiley.



MODUL STANDAR PERKULIAHAN

Telekomunikasi Analog & Digital

Modulasi Sudut

Fakultas

FAKULTAS TEKNIK

Program Studi

TEKNIK ELEKTRO

Tatap Muka

05

Kode MK

14045

Disusun Oleh

Ketty Siti Salamah, ST, MT.

Abstract

Modulasi sudut meliputi modulasi phasa/fasa (PM) dan Modulasi frekuensi (FM). Dengan teknik modulasi sudut, komponen-komponen spektrum dari sinyal termodulasi tidak memiliki hubungan matematis sederhana dengan spektrum pesan aslinya dan bandwidth sinyal termodulasi sudut akan lebih dari dua kali bandwidth sinyal pesan.

Kompetensi

Mahasiswa/i dapat mengerti dan menjelaskan konsep modulasi sudut.

Pembahasan

Modulasi Sudut dan Frekuensi Sesaat

Sinyal pembawa termodulasi untuk modulasi sudut dapat dinotasikan dengan persamaan berikut:

$$x_c(t) = A \cos[\omega_c t + \phi(t)]$$

Di mana nilai A dan ω_c bernilai konstan dan sudut fasa $\theta(t)$ akan berubah-ubah besarnya tergantung dari besar sinyal pesan $m(t)$. Apabila persamaan di atas dituliskan kembali menjadi persamaan berikut:

$$x_c(t) = A \cos \theta(t)$$

Di mana:

$$\theta(t) = \omega_c t + \phi(t)$$

Maka, frekuensi radian sesaat dari $x_c(t)$, dinotasikan sebagai ω_i , bisa didapatkan dengan persamaan sebagai berikut.

$$\omega_i = \frac{d\theta(t)}{dt} = \omega_c + \frac{d\phi(t)}{dt}$$

Jika $\theta(t)$ adalah sebuah konstanta, maka besar ω_i akan sama dengan ω_c ($\omega_i = \omega_c$). Sebuah besaran baru yang merepresentasikan simpangan frekuensi radian maksimum/puncak dari sinyal termodulasi sudut, dilambangkan dengan $\Delta\omega$, dinotasikan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\Delta\omega = |\omega_i - \omega_c|_{\text{maks}}$$



Modulasi Fasa dan Frekuensi

Modulasi phasa/fasa (PM) dan modulasi frekuensi (FM) adalah dua tipe dasar dari modulasi sudut. Dalam modulasi fasa, nilai simpangan fasa sesaat dari sinyal pembawa dibuat berbanding lurus dengan besarnya sinyal pesan $m(t)$:

$$\phi(t) = k_p m(t)$$

Di mana k_p adalah konstanta simpangan fasa yang memiliki satuan radian per satuan $m(t)$.

Sedangkan dalam modulasi frekuensi, nilai simpangan frekuensi sesaat dari sinyal pembawa dibuat berbanding lurus dengan besarnya sinyal pesan $m(t)$:

$$\frac{d\phi(t)}{dt} = k_f m(t)$$

atau

$$\phi(t) = k_f \int_{t_0}^t m(\lambda) d\lambda + \phi(t_0)$$

Di mana k_f adalah konstanta simpangan frekuensi yang memiliki satuan radian per detik per satuan $m(t)$, dan $\phi(t_0)$ adalah nilai sudut fasa awal pada $t = t_0$. Umumnya diasumsikan bahwa $t_0 = -\infty$ dan $\phi(-\infty) = 0$.

Sehingga sinyal termodulasi sudut dapat direpresentasikan dalam bentuk persamaan berikut:

$$x_{PM}(t) = A \cos \left[\omega_c t + k_p m(t) \right]$$

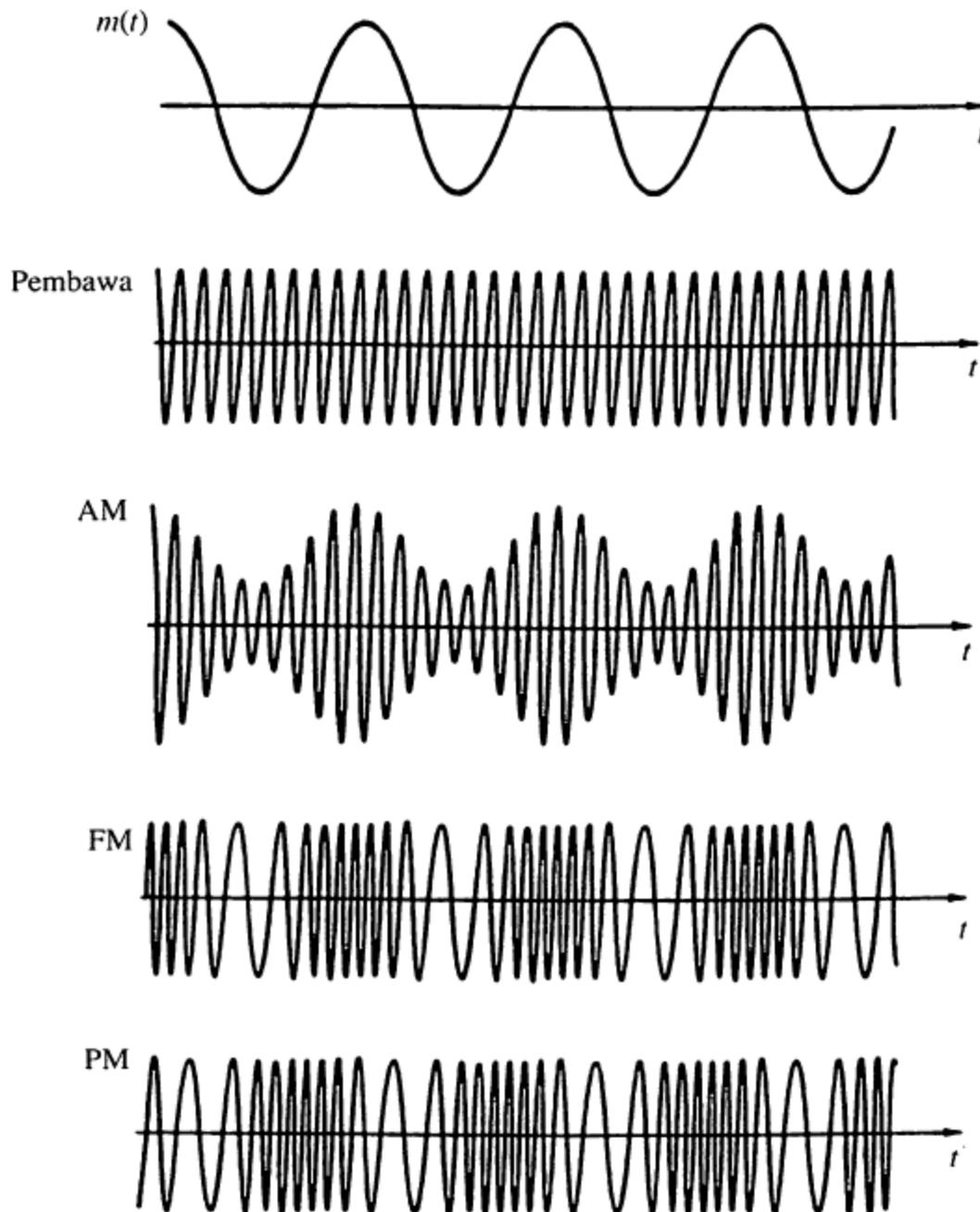
$$x_{FM}(t) = A \cos \left[\omega_c t + k_f \int_{-\infty}^t m(\lambda) d\lambda \right]$$

$$\omega_i = \omega_c + k_p \frac{dm(t)}{dt} \quad \text{untuk PM}$$

$$\omega_i = \omega_c + k_f m(t) \quad \text{untuk FM}$$

Dapat disimpulkan juga bahwa dalam modulasi PM, frekuensi sesaat ω_i berubah-ubah secara linear (berbanding lurus) mengikuti derivatif (fungsi turunan) dari sinyal pemodulasi (sinyal pesan). Sedangkan dalam FM, ω_i berubah-ubah secara linear (berbanding lurus) mengikuti sinyal pemodulasi.

Gambar berikut merepresentasikan bentuk gelombang dari sinyal-sinyal AM, FM, dan PM:



Gambar 1. Bentuk Gelombang Sinyal AM, FM, dan PM. Hsu, Hwei, (2005). Komunikasi analog dan digital. Jakarta: Erlangga.

Spektrum Fourier Sinyal-Sinyal Termodulasi Sudut

Dengan menuliskan kembali persamaan sinyal termodulasi sudut ke dalam bentuk persamaan eksponensial sebagai berikut:

$$x_c(t) = \text{Re}(Ae^{j(\omega_c t + \phi(t))}) = \text{Re}(Ae^{j\omega_c t} e^{j\phi(t)})$$

Di mana Re menyatakan bagian riil. Maka, modulasi sudut seringkali disebut juga modulasi eksponensial.

Apabila $e^{j\phi(t)}$ di-ekspansi menjadi bentuk deret tak-berhingga seperti berikut:

$$\begin{aligned} x_c(t) &= \text{Re} \left\{ Ae^{j\omega_c t} \left[1 + j\phi(t) - \frac{\phi^2(t)}{2!} - \dots + j^n \frac{\phi^n(t)}{n!} + \dots \right] \right\} \\ &= A \left[\cos \omega_c t - \phi(t) \sin \omega_c t - \frac{\phi^2(t)}{2!} \cos \omega_c t + \frac{\phi^3(t)}{3!} \sin \omega_c t + \dots \right] \end{aligned}$$

Maka, spektrum Fourier dari sebuah sinyal termodulasi sudut akan terdiri dari spektrum sinyal pembawa yang tidak termodulasi ditambah dengan spektrum dari $\phi(t)$, $\phi^2(t)$, $\phi^3(t)$, dan seterusnya, yang berpusat pada frekuensi carrier ω_c .

Dari penjelasan di atas dapat disimpulkan bahwa sinyal termodulasi sudut tidak memiliki relasi matematis dengan spektrum sinyal pesan.

Modulasi Sinusoid atau Modulasi Nada

Jika sinyal pesan $m(t)$ berbentuk sinusoid murni, direpresentasikan dengan persamaan berikut:

$$m(t) = \begin{cases} a_m \sin \omega_m t & \text{untuk PM} \\ a_m \cos \omega_m t & \text{untuk FM} \end{cases}$$

Maka:

$$\phi(t) = \beta \sin \omega_m t$$

Di mana:

$$\beta = \begin{cases} k_p a_m & \text{untuk PM} \\ \frac{k_f a_m}{\omega_m} & \text{untuk FM} \end{cases}$$

Parameter β disebut sebagai indeks modulasi untuk modulasi sudut dan mengindikasikan nilai simpangan fasa maksimum bagi modulasi PM dan FM. Perhatikan bahwa β hanya terdefinisi untuk kasus modulasi sinusoid saja, dan dapat direpresentasikan dengan persamaan:

$$\beta = \frac{\Delta\omega}{\omega_m}$$

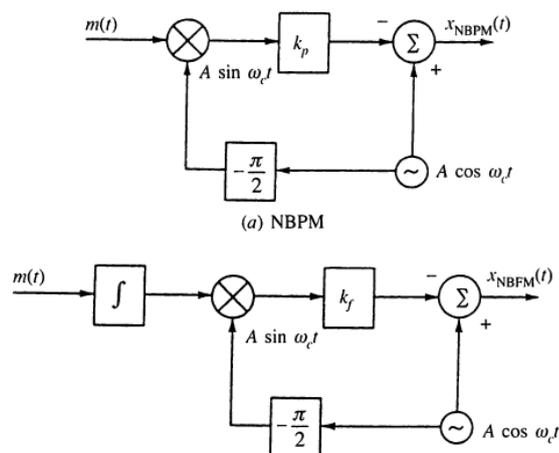
Di mana $\Delta\omega$ adalah simpangan frekuensi maksimum.

Sebuah sinyal termodulasi sudut oleh modulasi sinusoid direpresentasikan oleh persamaan berikut:

$$x_c(t) = A \cos(\omega_c t + \beta \sin \omega_m t)$$

Pembentukan Sinyal Termodulasi Sudut

Pembentukan sinyal termodulasi sudut pita-sempit diilustrasikan dalam gambar berikut:



Sedangkan untuk pembentukan sinyal termodulasi sudut pita-lebar (WB). Yaitu, metode tak langsung dan metode langsung.

- Metode Tak Langsung:

Dengan metode ini, sebuah sinyal termodulasi sudut pita sempit (Narrow Band/NB) akan dibangun terlebih dahulu. Setelah sinyal NB muncul, sinyal tersebut dikonversi menjadi sebuah sinyal termodulasi sudut pita lebar (Wide Band/WB) dengan cara menggunakan blok-blok frequency multiplier. Blok frequency multiplier akan mengalikan argumen dari gelombang sinusoid input dengan sebuah faktor n.

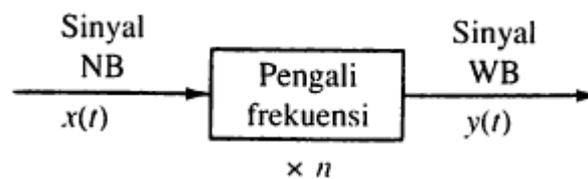
Contoh, jika input yang diberikan ke blok frequency multiplier adalah:

$$x(t) = A\cos[\omega_c t + \phi(t)]$$

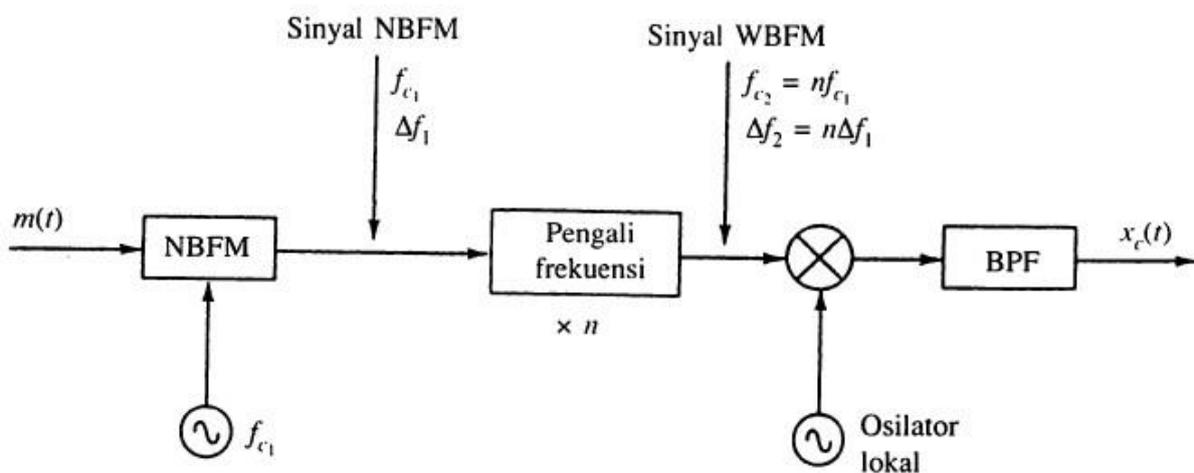
Maka outputnya:

$$y(t) = A\cos[n\omega_c t + n\phi(t)]$$

Blok frequency multiplier direpresentasikan dalam gambar berikut:



Lebih lengkapnya konversi sinyal NB ke sinyal WB diilustrasikan sebagai berikut:



Metode pengalihan frekuensi akan mengakibatkan kenaikan frekuensi sinyal carrier ke sebuah nilai yang sangat tinggi, hal ini akan meningkatkan kompleksitas proses tersebut. Untuk mengatasi kerugian ini, dapat diterapkan teknik konversi frekuensi. Konversi frekuensi dapat dilakukan dengan menggunakan mixer atau modulator DSB sehingga spektrum sinyal carrier dapat tergeser ke daerah frekuensi praktis.

- Metode Langsung:

Dengan metode ini, sinyal pemodulasi (sinyal pesan) dapat secara langsung mengendalikan perubahan frekuensi sinyal pembawa. Contoh cara pembangkitan sinyal FM secara langsung adalah dengan mengubah-ubah induktansi atau kapasitansi dari sebuah osilator listrik tertala (tuned). Sebuah osilator yang frekuensi pembangkitan sinyalnya dikendalikan oleh tegangan sinyal lain disebut sebagai VCO (voltage controlled oscillator).

Keunggulan utama dari penerapan metode pembangkitan langsung adalah memungkinkan untuk menggunakan simpangan frekuensi yang besar, sehingga hanya membutuhkan sedikit teknik pengalihan frekuensi.

Sedangkan kelemahan utamanya adalah frekuensi sinyal pembawa yang dibangkitkan lambat laun akan melenceng dari kisaran nilai yang seharusnya. Rangkaian tambahan untuk menstabilkan kembali frekuensi sinyal tersebut perlu ditambahkan.

Demodulasi Sinyal Termodulasi Sudut

Sebuah sistem yang mampu menghasilkan sinyal output yang berbanding lurus dengan simpangan frekuensi sesaat dari sinyal input dibutuhkan untuk melakukan demodulasi sinyal-sinyal FM. Sinyal seperti ini disebut sebagai diskriminator frekuensi. Apabila sinyal yang menjadi input sebuah diskriminator frekuensi ideal adalah sinyal termodulasi sudut yang direpresentasikan dengan persamaan berikut:

$$x_c(t) = A \cos [\omega_c t + \phi(t)]$$

Maka sinyal output dari diskriminator dapat direpresentasikan dengan persamaan berikut:

$$y_d(t) = k_d \frac{d\phi(t)}{dt}$$

Di mana k_d adalah parameter sensitivitas diskriminator.

Untuk modulasi FM, $\phi(t)$ dapat dijabarkan sebagai berikut:

$$\phi(t) = k_f \int_{-\infty}^t m(\lambda) d\lambda$$

Sehingga output yang dihasilkan diskriminator dapat direpresentasikan kembali menjadi persamaan berikut:

$$y_d(t) = k_d k_f m(t)$$

Diskriminator frekuensi juga dapat digunakan untuk demodulasi sinyal PM. Persamaan yang merepresentasikan output dari diskriminator untuk demodulasi sinyal PM adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\phi(t) &= k_p m(t) \\ y_d(t) &= k_d k_p \frac{dm(t)}{dt}\end{aligned}$$

Daftar Pustaka

- Couch, Leon, (2012). *Digital and analog communication systems*. Prentice Hall.
- Hsu, Hwei, (2005). *Komunikasi analog dan digital*. Jakarta: Erlangga.
- Lathi, B.P, (1998). *Modern digital and analog communication system*. Oxford University Press. 3rd Edition..
- Roden, Martin, (1996). *Analog and digital communication systems*. Prentice Hall.
- Simon S. Haykin and Michael Moher, (2006). *An introduction to analog and digital communications*. Wiley.



MODUL STANDAR PERKULIAHAN

Telekomunikasi Analog & Digital

Transmisi Sinyal Analog Secara Digital

Fakultas	Program Studi	Tatap Muka	Kode MK	Disusun Oleh
FAKULTAS TEKNIK	TEKNIK ELEKTRO	06	14045	Ketty Siti Salamah, ST, MT.

Abstract

Penggunaan teknik digital dalam desain sistem-sistem transmisi telah menjadi tren dalam teknologi telekomunikasi modern. Komunikasi digital menawarkan beberapa keunggulan penting diantaranya kinerja yang lebih baik, fleksibilitas yang lebih tinggi, dan keamanan lebih terjamin. Untuk mentransmisikan sinyal analog, maka harus diubah dulu menjadi sinyal digital dengan proses ADC (analog to digital conversion).

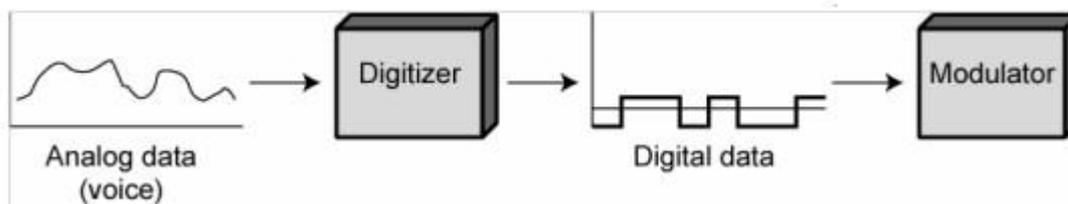
Kompetensi

Mahasiswa/i dapat mengerti dan menjelaskan konsep transmisi sinyal analog secara digital.

Pembahasan

Pendahuluan

Digitalisasi adalah proses untuk merubah sinyal analog menjadi digital. Ilustrasi dari sebuah proses digitalisasi adalah sebagai berikut:



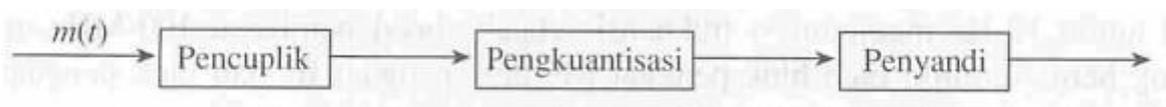
Gambar 1. Proses Digitalisasi

Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa untuk proses digitalisasi minimal membutuhkan dua buah perangkat. Perangkat pertama adalah digitizer. Sesuai namanya, perangkat ini akan mengkonversi analog data ke dalam bentuk digit/biner (digital data). Perangkat kedua adalah modulator, perangkat ini akan mengembalikan bentuk digital data kembali menjadi bentuk analog data-nya.

Salah satu teknik yang paling banyak digunakan untuk proses digitalisasi adalah teknik modulasi kode pulsa atau Pulse Code Modulation (PCM).

PCM (Pulse Code Modulation)

Proses-proses dasar dalam teknik PCM adalah sampling, kuantisasi, dan enkoding. Proses-proses tersebut diilustrasikan pada gambar berikut:



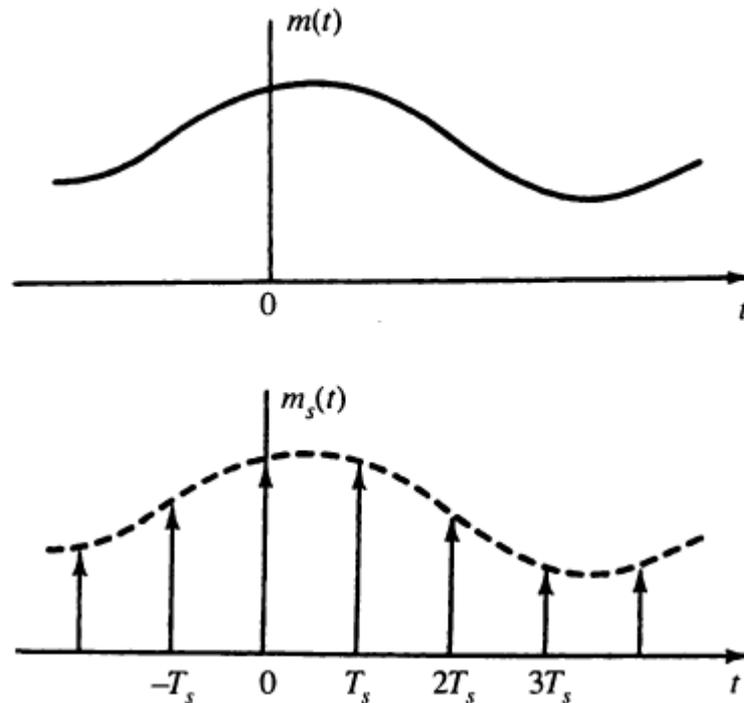
Gambar 2. Proses Dasar PCM. Hsu, Hwei, (2005). Komunikasi analog dan digital. Jakarta: Erlangga.

Sampling atau pencuplikan adalah proses pengambilan sampel-sampel dari sebuah sinyal kontinyu (analog). Pencuplikan ini dilakukan dengan cara mencuplik amplitudo di waktu-waktu tertentu secara periodik. Proses pencuplikan ini akan mengubah sinyal analog/kontinyu menjadi sinyal digital/diskrit.

Teknik untuk pencuplikan dapat dibedakan menjadi tiga teknik:

1. Sampling Sinyal Ideal

Contoh ilustrasi dari sampling sinyal ideal adalah sebagai berikut:



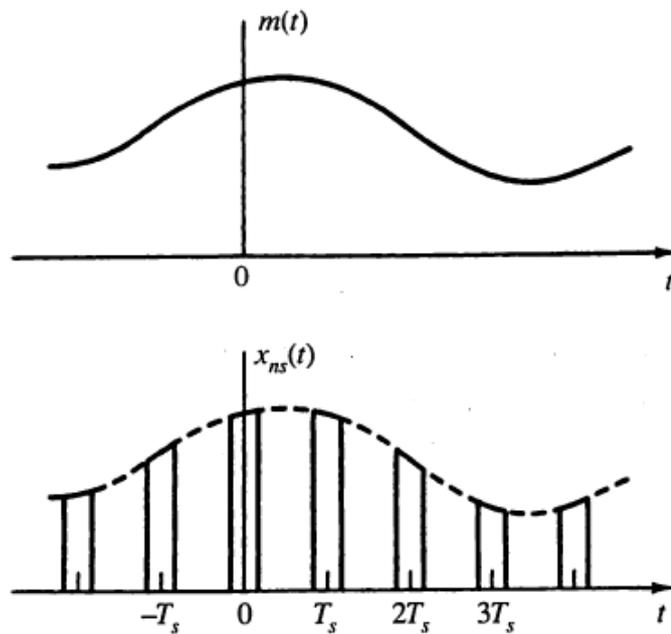
Gambar 3. Sampling Sinyal Ideal. Hsu, Hwei, (2005). Komunikasi analog dan digital. Jakarta: Erlangga.

2. Sampling Alamiah

Sinyal yang dihasilkan dari sampling ini dapat direpresentasikan dengan persamaan:

$$x_{ns}(t) = m(t)x_p(t)$$

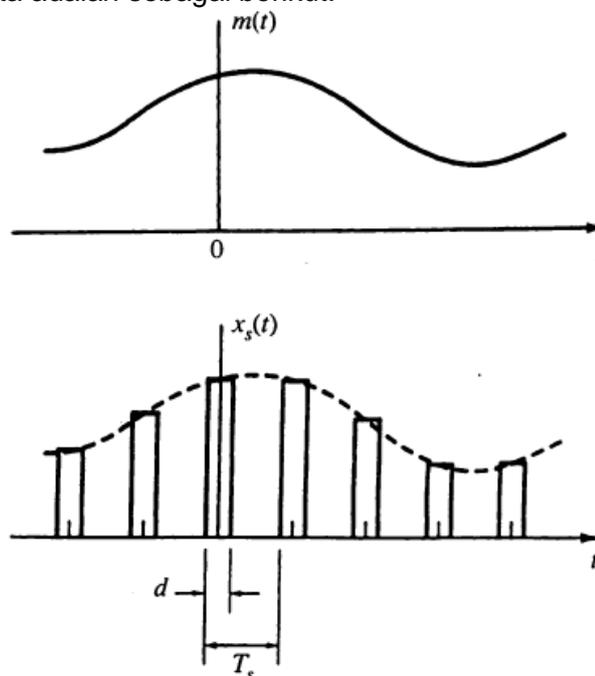
Sampling ini akan menghasilkan puncak pada tiap-tiap pulsa pada sinyal hasil sampling memiliki bentuk yang sama dengan sinyal aslinya. Contoh hasil sampling alamiah adalah sebagai berikut:



Gambar 4. Sampling Alamiah. Hsu, Hwei, (2005). Komunikasi analog dan digital. Jakarta: Erlangga.

3. Sampling Pucuk Rata

Teknik ini adalah yang paling sederhana dan paling banyak digunakan. Hasil sinyal yang disampling akan memiliki puncak-puncak yang rata (flat-top). Contoh hasil sampling pucuk rata adalah sebagai berikut:



Gambar 5. Sampling Pucuk Rata. Hsu, Hwei, (2005). Komunikasi analog dan digital. Jakarta: Erlangga.

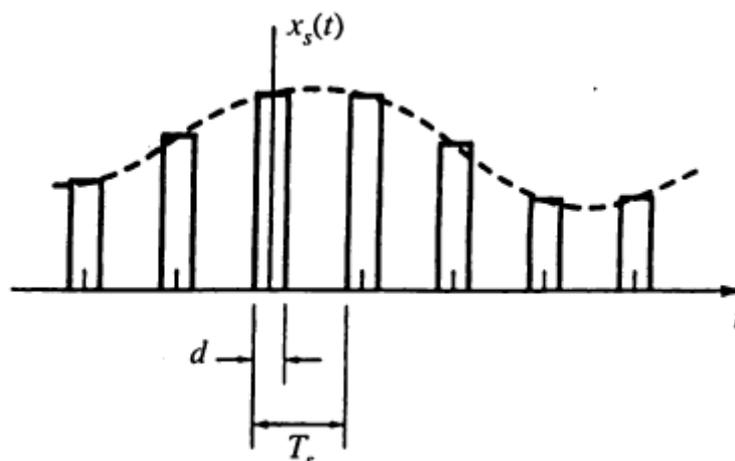
Kuantisasi adalah proses dilakukan setelah pencuplikan amplitudo berhasil dilakukan. Proses ini akan merepresentasikan sampel-sampel amplitudo tersebut menjadi nilai-nilai diskrit.

Enkoding (penyandian) adalah proses terakhir yang bertujuan untuk mengkonversi nilai-nilai diskrit yang telah didapatkan menjadi sekumpulan kode sandi digital.

Konverter A/D adalah sebuah perangkat yang mampu melaksanakan ketiga proses di atas.

Modulasi Amplitudo Pulsa/Pulse Amplitude Modulation (PAM)

Sinyal $x_s(t)$ yang diperlihatkan pada gambar di bawah adalah contoh bentuk sinyal modulasi amplitudo pulsa (PAM).



Gambar 6. Contoh Bentuk Sinyal PAM. Hsu, Hwei, (2005). Komunikasi analog dan digital. Jakarta: Erlangga.

Dengan modulasi PAM, sinyal carrier berbentuk serangkaian pulsa-pulsa persegi periodik yang dimodulasikan dengan cara mengubah amplitudo dari pulsa-pulsa tersebut sesuai dengan nilai-nilai hasil sampling dari sinyal pesan analog.

Sebuah sinyal PAM dapat direpresentasikan oleh persamaan berikut:

$$x_s(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} m(nT_s)p(t - nT_s)$$

Variabel $p(t)$ adalah sebuah pulsa persegi yang memiliki amplitudo satu satuan dan memiliki durasi/lebar pulsa d . Lebih detilnya, $p(t)$ dapat direpresentasikan sebagai berikut:

$$p(t) = \begin{cases} 1 & |t| < \frac{d}{2} \\ 0 & \text{untuk nilai } |t| \text{ lainnya} \end{cases}$$

$X_s(t)$ dapat juga dinyatakan sebagai konvolusi antara sinyal hasil sampling sekejap. $m_s(t)$. dengan pulsa persegi. $p(t)$. Hal ini dapat dituliskan dengan persamaan berikut:

$$x_s(t) = m_s(t) * p(t)$$

Bandwidth Sistem PCM

Asumsikan bahwa pada sebuah sistem PCM biner menggunakan tingkatan kuantisasi L , di mana L memenuhi persyaratan berikut:

$$L = 2^n \quad n = \log_2 L$$

Nilai n adalah bilangan bulat. Untuk kasus di atas, sebanyak $n = \log_2 L$ pulsa biner akan ditransmisikan untuk setiap sampel sinyal pesan. Jika sinyal pesan memiliki bandwidth sebesar f_m dan memiliki laju sampling sebesar f_s ($\geq 2f_m$), maka pulsa biner yang harus ditransmisikan setiap detik adalah nf_s .

Jika diasumsikan bahwa sinyal-sinyal PCM adalah sinyal-sinyal low-pass yang memiliki bandwidth f_{PCM} , maka laju sampling minimum yang dibutuhkan adalah $2f_{PCM}$.

Sehingga persamaan berikut akan terpenuhi:

$$2f_{PCM} = nf_s$$

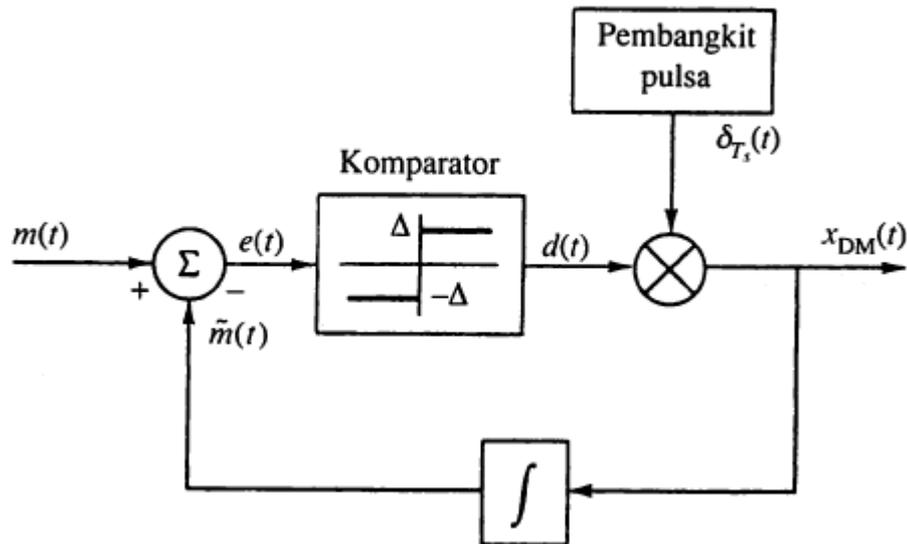
$$f_{PCM} = \frac{n}{2}f_s \geq nf_m \quad \text{Hz}$$

Persamaan di atas menunjukkan bahwa apabila bandwidth sinyal pesan dan jumlah bit per-simbol meningkat, maka bandwidth minimum yang dibutuhkan oleh sistem PCM juga akan meningkat.

Modulasi Delta

Modulasi Delta/Delta Modulation (DM) sama seperti PCM adalah metode yang digunakan untuk mengkonversi sinyal analog menjadi digit biner (bit). Perbedaan DM dengan PCM yang mencolok adalah DM hanya membutuhkan rangkaian yang jauh lebih sederhana dari pada PCM.

Sebuah sistem DM diilustrasikan dengan gambar berikut:



Gambar 7. Ilustrasi Sistem DM. Hsu, Hwei, (2005). Komunikasi analog dan digital. Jakarta: Erlangga.

Jika ditentukan bahwa sinyal input ke blok komparator adalah:

$$e(t) = m(t) - \tilde{m}(t)$$

Di mana $m(t)$ adalah sinyal pesan dan $\tilde{m}(t)$ adalah sebuah sinyal referensi. Maka, sinyal output yang dihasilkan blok komparator adalah:

$$d(t) = \Delta \operatorname{sgn} [e(t)] = \begin{cases} \Delta & e(t) > 0 \\ -\Delta & e(t) < 0 \end{cases}$$

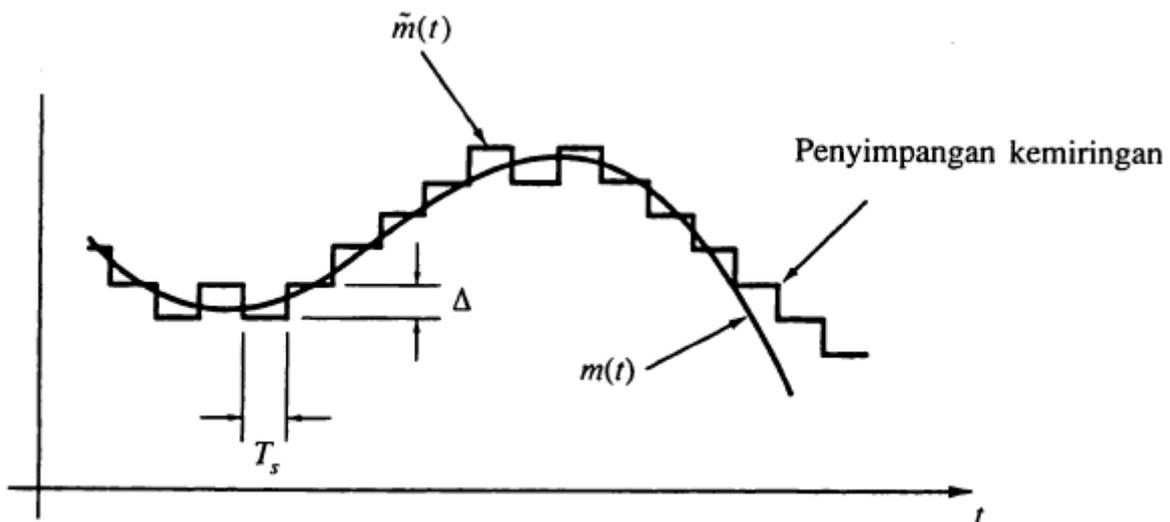
Sedangkan hasil sinyal output dari modulator delta:

$$\begin{aligned} x_{DM}(t) &= \Delta \operatorname{sgn} [e(t)] \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - nT_s) \\ &= \Delta \sum_{n=-\infty}^{\infty} \operatorname{sgn} [e(nT_s)] \delta(t - nT_s) \end{aligned}$$

Dari persamaan di atas dapat disimpulkan bahwa sinyal output yang dihasilkan oleh sebuah modulator delta berbentuk serangkaian impuls. Tiap-tiap impuls dapat memiliki polaritas positif atau negatif. Nilai ini tergantung pada tanda positif/negatif dari $e(t)$ pada saat dilakukan proses sampling. Apabila diambil integral dari $x_{DM}(t)$, maka hasil yang diperoleh adalah:

$$\tilde{m}(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \Delta \operatorname{sgn}[e(nT_s)]$$

Hasil di atas adalah sebuah taksiran pendekatan untuk $m(t)$ dalam bentuk fungsi anak-tangga. Ilustrasi yang menggambarkan hasil di atas adalah sebagai berikut:

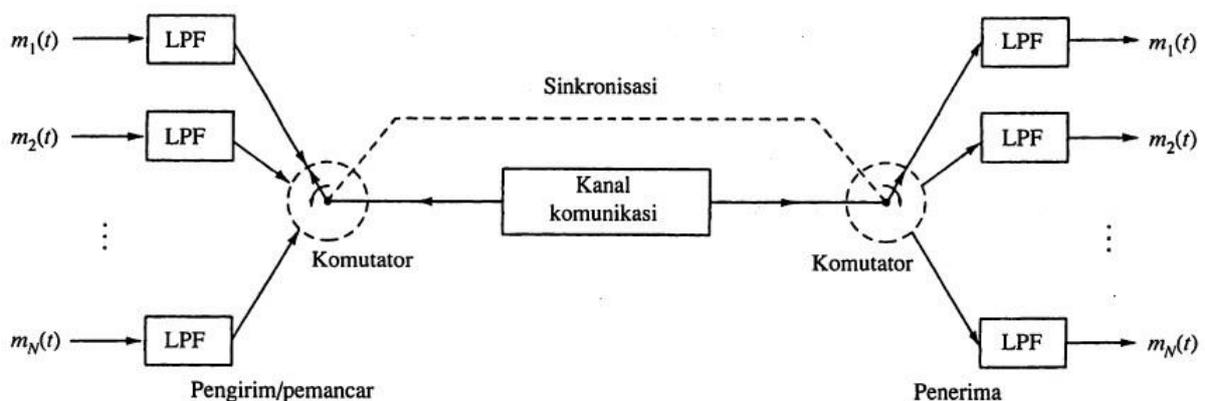


Gambar 8. Hasil Modulasi Delta. Hsu, Hwei, (2005). Komunikasi analog dan digital. Jakarta: Erlangga.

TDM (Time Division Multiplexing)

TDM adalah sebuah teknik multiplexing sehingga beberapa sinyal yang berbeda dapat ditransmisikan secara bersamaan pada kanal yang sama. Syarat untuk melakukan TDM adalah sinyal-sinyal yang akan ditransmisikan harus dibatasi terlebih dahulu bandwidthnya. Sebuah Low Pass Filter dapat digunakan untuk membatasi bandwidth tersebut. Pembatasan bandwidth ini bertujuan menghilangkan komponen-komponen frekuensi yang tidak diperlukan atau dengan kata lain sinyal dapat direpresentasikan secara akurat tanpa komponen-komponen frekuensi tersebut.

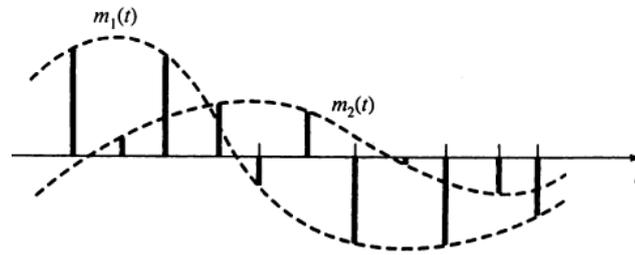
Gambar di bawah ini mengilustrasikan hasil multipleksi TDM dari dua buah sinyal PAM. Di sisi penerima, sinyal komposit akan di-demultipleksi dengan menggunakan sebuah komutator. Kemudian yang output yang dihasilkan akan didistribusikan ke filter-filter low-pass untuk membentuk kembali sinyal termodulasi aslinya. Proses selanjutnya adalah melakukan demodulasi terhadap sinyal-sinyal termodulasi sehingga sinyal-sinyal pesan akan didapatkan. Dari proses tersebut dapat disimpulkan bahwa kinerja sistem TDM sangat bergantung pada sinkronisasi yang baik antara komutator yang ada di sisi pengirim dan komutator yang ada di sisi penerima, sehingga sinyal-sinyal pesan yang asli dapat direkonstruksi.



Gambar 9. Hasil TDM. Hsu, Hwei, (2005). Komunikasi analog dan digital. Jakarta: Erlangga.

Jika diasumsikan semua sinyal yang hendak ditransmisikan dan di-sampling oleh komutator memiliki bandwidth yang sama, maka sampel dari tiap-tiap sinyal tersebut dapat dikirimkan secara berurutan. Namun, jika sinyal-sinyal yang di-sampling tidak memiliki bandwidth yang sama, maka sinyal-sinyal dengan bandwidth yang lebih besar akan mentransmisikan jumlah sampel yang lebih banyak. Permasalahan ini dapat diatasi jika bandwidth sinyal-sinyal tersebut dibuat menjadi harmonik.

Dua sinyal yang dimultipleksi dengan sistem TDM diilustrasikan dengan gambar berikut:



Gambar 10. Proses TDM Terhadap Dua Buah Sinyal. Hsu, Hwei, (2005). Komunikasi analog dan digital. Jakarta: Erlangga.

Bandwidth minimum yang dibutuhkan untuk menjalankan sistem TDM berbanding lurus dengan jumlah sinyal yang digabung dikalikan dengan lebar bandwidth masing-masing sinyal tersebut. Hal ini direpresentasikan dengan persamaan:

$$f_{\text{TDM}} = \frac{1}{2T} = \frac{n}{2T_s} = \frac{1}{2}nf_s \geq nf_m \text{ Hz}$$

Daftar Pustaka

- Couch, Leon, (2012). *Digital and analog communication systems*. Prentice Hall.
- Hsu, Hwei, (2005). *Komunikasi analog dan digital*. Jakarta: Erlangga.
- Lathi, B.P, (1998). *Modern digital and analog communication system*. Oxford University Press. 3rd Edition..
- Roden, Martin, (1996). *Analog and digital communication systems*. Prentice Hall.
- Simon S. Haykin and Michael Moher, (2006). *An introduction to analog and digital communications*. Wiley.



MODUL STANDAR PERKULIAHAN

Telekomunikasi Analog & Digital

Derau Dalam Sistem Komunikasi

Fakultas
FAKULTAS TEKNIK

Program Studi
TEKNIK ELEKTRO

Tatap Muka
07

Kode MK
14045

Disusun Oleh
Ketty Siti Salamah, ST, MT

Abstract

Noise akan selalu ada dalam setiap transmisi sinyal, dan keberadaannya mengurangi kinerja sistem komunikasi. Seberapa besar pengaruh noise dapat diukur dengan menggunakan sinyal-to-noise ratio (SNR).

Kompetensi

Mahasiswa/i dapat mengerti dan menjelaskan konsep derau dalam sistem komunikasi.

Pembahasan

Pendahuluan

Derau atau yang biasa disebut *noise* adalah suatu sinyal gangguan yang dapat bersifat akustik maupun elektronik yang muncul dalam suatu sistem komunikasi dalam bentuk sinyal yang tidak diinginkan.

Pergerakan dan gesekan antar elektron dalam komponen menyebabkan gangguan berupa muatan listrik. Sehingga bisa disimpulkan bahwa noise mengacu pada sinyal listrik acak yang tidak bisa diprediksi yang bersumber dari alam. Sumbernya bisa berasal dari dalam maupun luar sistem. Ada satu macam noise yang selalu muncul dalam setiap sistem komunikasi, yaitu thermal noise. Hal ini dikarenakan partikel-partikel elektron akan selalu bergerak pada temperatur di atas nol absolut (0°K), partikel-partikel ini akan menimbulkan gesekan dan menimbulkan panas yang dapat menghasilkan thermal noise.

Partikel-partikel bermuatan (contoh: elektron) yang bergerak secara acak pada suatu konduktor akan menghasilkan arus atau tegangan acak yang menghasilkan thermal noise. Dapat disimpulkan bahwa penyebab utama derau adalah pada materi penyusun kanal transmisi, perubahan suhu lingkungan, dan juga perubahan muatan listrik. Dalam sistem komunikasi, sinyal yang diterima tidak akan persis sama dengan sinyal yang dikirim, atau dengan kata lain, sinyal tersebut akan selalu mengalami penurunan mutu. Penurunan mutu ini, diakibatkan oleh tiga hal yaitu noise, distorsi dan interferensi dengan sinyal lain sehingga bentuk sinyal yang dikirim akan berubah. Untuk lebih jelasnya, distorsi adalah gangguan pada bentuk sinyal yang disebabkan oleh pemberian respon sistem yang tidak tepat terhadap sinyal tersebut. Sedangkan interferensi adalah bercampurnya sinyal yang dikirimkan dengan sinyal lain yang berasal dari pemancar lain. Interferensi paling sering terjadi dalam sistem komunikasi radio. Salah satu bentuk interferensi, yaitu Radio Frequency Interference (RFI), juga dapat muncul dalam media transmisi berupa kabel. Contohnya adalah jika kabel transmisi tersebut atau rangkaian penerima menangkap sinyal yang diradiasikan dari suatu sumber lain yang jaraknya berdekatan.

Beberapa alasan utama noise perlu dihilangkan adalah sebagai berikut:

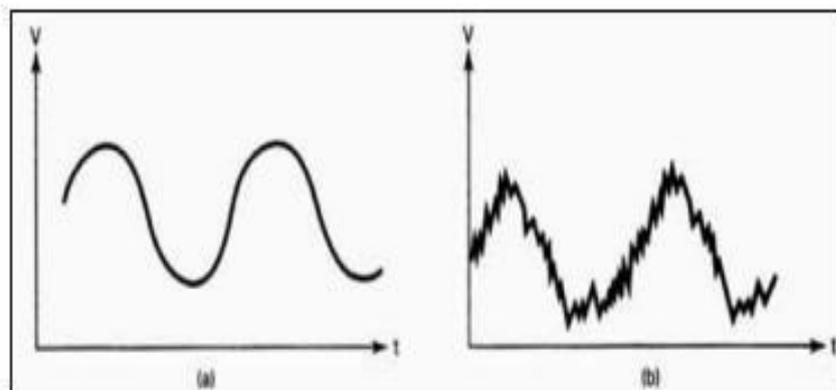
- Hilangnya noise akan meningkatkan sensitifitas penerima sehingga mampu mendeteksi sinyal yang diinginkan tanpa terganggu noise apapun.
- Di sisi transmitter, hilangnya noise akan mengurangi konten harmonis dan fasa derau sehingga sinyal yang dikirim juga tidak terganggu noise.

- Alasan paling utama adalah untuk meningkatkan perbandingan sinyal dan derau (signal to noise ratio/SNR). Dengan meningkatnya SNR, maka kualitas komunikasi juga semakin baik.

Berdasarkan sumbernya, noise bisa dibedakan menjadi dua kategori :

1. Noise internal → noise yang dihasilkan oleh komponen-komponen yang membangun suatu sistem komunikasi.
2. Noise eksternal → Merupakan kebalikan dari noise internal, noise ini dihasilkan oleh sumber di luar sistem komunikasi. Ada dua macam noise eksternal yaitu noise buatan manusia (man made noise) dan noise alami (ekstra terrestrial) .

Telah disebutkan bahwa thermal noise selalu ada pada sistem komunikasi, oleh karena itu, thermal noise merupakan noise yang paling besar pengaruhnya. Noise ini mempunyai distribusi energi yang seragam pada seluruh spektrum frekuensi sehingga pada frekuensi berapapun dapat muncul thermal noise. Gambar 1 di bawah merupakan gambaran efek noise terhadap sebuah sinyal sinus yang mengakibatkan sinyal yang diterima menjadi tidak sama dengan sinyal asli.



Gambar 1. Sinyal Sebelum dan Sesudah Mendapatkan Noise

Thermal Noise

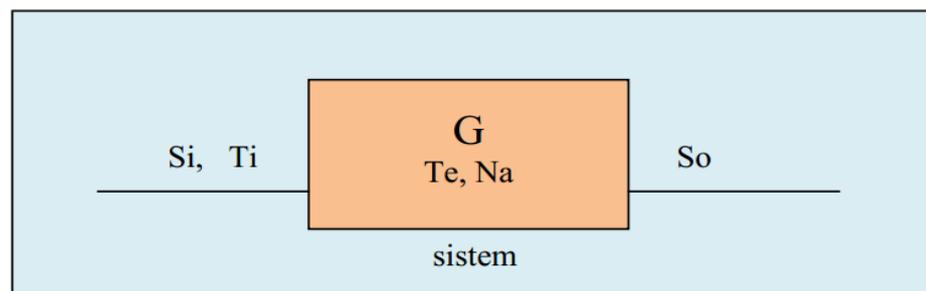
Thermal noise atau disebut juga Johnson Noise merupakan noise tegangan yang dihasilkan oleh gesekan dari arus yang mengalir pada suatu element resistif. Noise ini terjadi pada seluruh jangkauan frekuensi karena amplitudo noise-nya tidak terikat pada frekuensi tertentu. Besarnya tegangan yang berasal dari noise termal dirumuskan :

$$e_n = \sqrt{4kTRB}$$

Sedangkan daya noise yang timbul pada suatu bandwidth dirumuskan sebagai :

$$P = k.T.B$$

Dimana :



P = derau termal (watt)

k = konstanta Boltzmann ($1,38 \times 10^{-23}$ Joule/°Kelvin)

T = temperatur thermal noise (°K).

B = bandwidth (Hz).

Perhatikan bahwa rumus di atas berlaku apabila satuan daya adalah watt. Apabila satuan daya adalah dBW, maka rumus-nya menjadi:

$$P = -228,6 \text{ dBW} + 10 \text{Log} T + 10 \text{Log} B$$

Pada temperatur ruang, $T = 290^\circ \text{ K}$:

$$\begin{aligned} P &= 1,3803 \cdot 10^{-23} \times 290 \\ &= -204 \text{ dBW / Hz} \\ &= -174 \text{ dBm / Hz.} \end{aligned}$$

Performa Derau dalam Sistem Komunikasi

Unjuk kerja (performa) dari suatu sistem komunikasi dinyatakan sebagai rasio (perbandingan) sinyal terhadap derau (SNR). SNR dapat ditentukan dengan rumus berikut:

$$\begin{aligned}\text{SNR (dB)} &= \text{level sinyal (dBm)} - \text{level derau (dBm)}. \\ &= 10 \text{ Log (S/N)}\end{aligned}$$

Dapat dilihat pada rumus di atas bahwa SNR semakin tinggi akan semakin baik karena menandakan level derau-nya semakin kecil.

Setiap aplikasi dari sistem komunikasi memiliki standar SNR yang berbeda-beda. Contohnya adalah sebagai berikut:

Suara = 30 dB

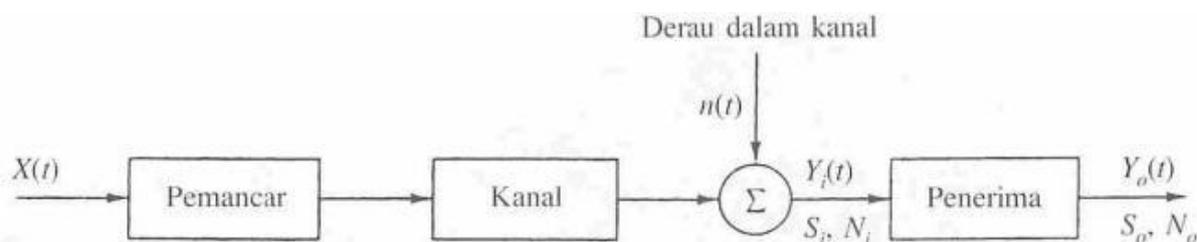
Video = 45 dB

Data = 15 dB.

Dalam sistem transmisi digital, performa suatu komunikasi dinyatakan dalam propabilitas kesalahan atau Bit Error Rate (BER). Sebagai contoh, nilai $\text{BER} = 10^{-6}$ berarti kemungkinan adanya 1 bit data yang salah dari 10^6 data yang dikirim.

Derau Aditif dan Rasio Sinyal Terhadap Derau

Sebuah sistem komunikasi dapat diilustrikan dalam diagram berikut ini:



Gambar 2. Diagram Sistem Komunikasi. Hsu, Hwei, (2005). Komunikasi analog dan digital. Jakarta: Erlangga.

Asumsi dari proses di atas adalah sebagai berikut: Sinyal input yang masuk ke blok pemancar adalah sebuah proses acak $X(t)$, kemudian diasumsikan bahwa kanal komunikasi tidak menimbulkan distorsi apapun selain menambahkan derau acak pada sinyal input, dan

blok penerima adalah sebuah sistem yang linear. Sinyal yang dikirimkan pemancar akan bercampur dengan derau acak yang terdapat pada kanal, kemudian sinyal ini memasuki blok penerima. Pada saat ini, daya sinyal adalah S_i dan daya derau di terminal adalah N_i . Karena blok penerima diasumsikan sebagai sistem linear, maka sinyal output yang dihasilkannya dapat direpresentasikan dengan persamaan sebagai berikut:

$$Y_o(t) = X_o(t) + n_o(t)$$

Di mana $X_o(t)$ adalah komponen sinyal dan $n_o(t)$ adalah komponen derau yang keluar di output penerima.

Dua asumsi tambahan tentang derau aditif adalah sebagai berikut:

1. Derau aditif berbentuk White Gaussian Noise dengan nilai rata-rata nol dan kerapatan daya spektrum $S_{nn}(w) = \eta/2$.
2. Derau aditif tersebut tidak berhubungan dengan komponen $X(t)$.

Dengan asumsi-asumsi di atas, dapat dituliskan dengan persamaan:

$$E[Y_o^2(t)] = E[X_o^2(t)] + E[n_o^2(t)] = S_o + N_o$$

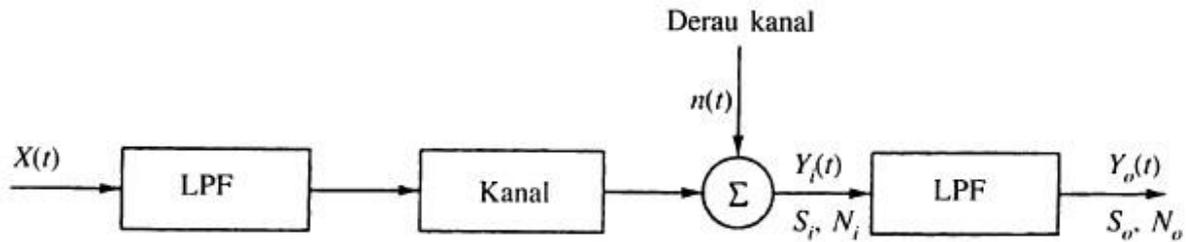
Di mana: $S_o = E[X_o^2(t)]$, adalah daya sinyal rata-rata dan $N_o = E[n_o^2(t)]$, adalah daya derau rata-rata di output penerima.

Sehingga bisa disimpulkan bahwa Nilai SNR output atau $(S/N)_o$ didefinisikan dengan persamaan berikut:

$$\left(\frac{S}{N}\right)_o = \frac{S_o}{N_o} = \frac{E[X_o^2(t)]}{E[n_o^2(t)]}$$

Derau Dalam Sistem Komunikasi Baseband

Pada sistem komunikasi baseband, sinyal dapat secara langsung ditransmisikan tanpa melalui proses modulasi. Gambar di bawah ini mengilustrasikan sebuah sistem komunikasi baseband analog sederhana.



Gambar 3. Diagram Komunikasi Baseband Analog. Hsu, Hwei, (2005). Komunikasi analog dan digital. Jakarta: Erlangga.

Pada sistem baseband, sebuah Low Pass Filter dimodelkan sebagai blok penerima yang akan melewatkan sinyal pesan dan melemahkan derau. LPF ini akan menyaring seluruh komponen frekuensi derau yang berada di luar pita/rentang frekuensi sinyal pesan. Asumsi filter LPF tersebut ideal dengan bandwidth $W = 2\pi B$.

Daya sinyal rata-rata di output penerima adalah:

$$S_o = E[X_o^2(t)] = E[X^2(t - t_d)] \\ = \frac{1}{2\pi} \int_{-W}^W S_{XX}(\omega) d\omega = S_X = S_i$$

Di mana S_x adalah daya sinyal rata-rata dan S_i adalah daya sinyal di input penerima.

Daya derau rata-rata di output penerima adalah:

$$N_o = E[n_o^2(t)] = \frac{1}{2\pi} \int_{-W}^W S_{nn}(\omega) d\omega$$

Dalam kasus derau putih aditif, $S_{nn}(\omega) = \eta/2$, dan

$$N_o = \frac{1}{2\pi} \int_{-W}^W \frac{\eta}{2} d\omega = \eta \frac{W}{2\pi} = \eta B$$

Rasio sinyal terhadap derau (SNR) adalah:

$$\left(\frac{S}{N}\right)_o = \frac{S_o}{N_o} = \frac{S_i}{\eta B}$$

Misalkan

$$\frac{S_i}{\eta B} = \gamma$$

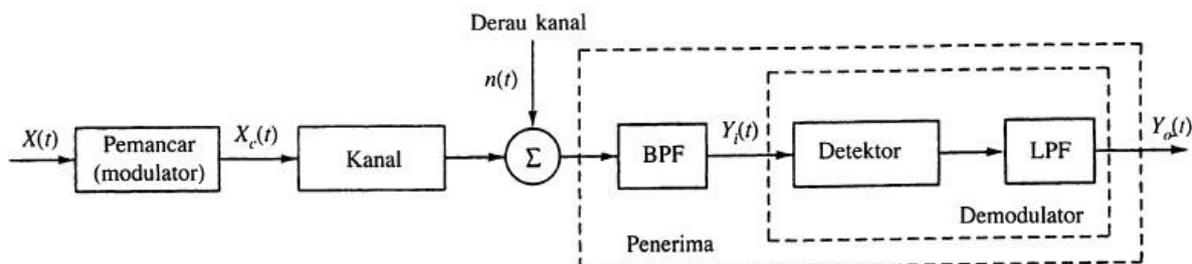
Maka

$$\left(\frac{S}{N}\right)_o = \gamma$$

parameter γ berbanding linear dengan S_i , sehingga apabila SNR output dibandingkan dari berbagai sistem yang berbeda dengan S_i yang sama, maka hasilnya akan sama dengan SNR output dari sistem-sistem tersebut dibandingkan dengan nilai γ yang sama.

Derau Dalam Sistem Modulasi Amplitudo

Diagram blok dari sebuah sistem komunikasi gelombang kontinyu diilustrasikan pada gambar berikut:



Gambar 4. Diagram Sistem Komunikasi Gelombang Kontinyu. Hsu, Hwei, (2005). Komunikasi analog dan digital. Jakarta: Erlangga.

Derau pita sempit dapat dituliskan dengan persamaan berikut:

$$n_i(t) = n_c(t)\cos \omega_c t - n_s(t)\sin \omega_c t$$

SNR output pada sistem DSB dituliskan dengan persamaan berikut:

$$\left(\frac{S}{N}\right)_o = \frac{S_o}{N_o} = \frac{A_c^2 S_X}{2\eta B}$$

Daya sinyal input diperoleh dengan persamaan berikut:

$$S_i = E[X_c^2(t)] = \frac{1}{2}A_c^2 S_X$$

Dari kedua persamaan di atas akan didapatkan:

$$\left(\frac{S}{N}\right)_0 = \frac{S_i}{\eta B} = \gamma$$

Sementara SNR di input detektor adalah:

$$\left(\frac{S}{N}\right)_i = \frac{S_i}{N_i} = \frac{S_i}{2\eta B}$$

$$\frac{(S/N)_o}{(S/N)_i} = \alpha_d = 2$$

Di mana besaran α_d dikenal sebagai gain detektor. Gain detektor sering digunakan sebagai penentu performa proses demodulasi.

Derau Dalam Sistem Modulasi Sudut

Sinyal transmisi $X_c(t)$ pada sistem modulasi sudut memiliki bentuk yang direpresentasikan dengan persamaan berikut:

$$X_c(t) = A_c \cos [\omega_c t + \phi(t)]$$

$$\phi(t) = \begin{cases} k_p X(t) & \text{untuk PM} \\ k_f \int_{-\infty}^t X(\tau) d\tau & \text{untuk FM} \end{cases}$$

Rasio Pembawa Terhadap Derau (CNR, carrier to noise ratio) dapat dicari dengan persamaan berikut:

$$\left(\frac{S}{N}\right)_i = \frac{A_c^2}{2\eta B_T}$$

$$S_i = E[X_c^2(t)] = \frac{1}{2} A_c^2$$

$$N_i = \eta B_T$$

Di mana besaran A_c adalah amplitudo sinyal carrier dan besaran B_T adalah bandwidth filter pra-deteksi yang mendekati $2(D+1)B$. Nilai D adalah rasio simpangan dan B adalah bandwidth dari sinyal pesan.

Daftar Pustaka

- Couch, Leon, (2012). *Digital and analog communication systems*. Prentice Hall.
- Hsu, Hwei, (2005). *Komunikasi analog dan digital*. Jakarta: Erlangga.
- Lathi, B.P, (1998). *Modern digital and analog communication system*. Oxford University Press. 3rd Edition..
- Roden, Martin, (1996). *Analog and digital communication systems*. Prentice Hall.
- Schweber, William, (1996). *Electronic Communication Systems: A Complete Course Second edition*. New Jersey: Prentice-Hall International, Inc.
- Simon S. Haykin and Michael Moher, (2006). *An introduction to analog and digital communications*. Wiley.
- Tomasi, Wayne, (1996). *Electronic Communication Systems: Fundamental Through Advanced (Third edition)*. New Jersey: Prentice-Hall International, Inc.





MODUL STANDAR PERKULIAHAN

Telekomunikasi Analog & Digital

Deteksi Optimum

Fakultas
FAKULTAS TEKNIK

Program Studi
TEKNIK ELEKTRO

Tatap Muka
09

Kode MK
14045

Disusun Oleh
Ketty Siti Salamah, ST, MT.

Abstract

Bab ini akan mempelajari kinerja sistem-sistem telekomunikasi digital yang bekerja di bawah pengaruh derau additif, dengan parameter peluang error sebagai tolak-ukurnya. Berkaitan dengan kinerja derau tersebut, akan diberikan konsep deteksi sinyal optimum.

Kompetensi

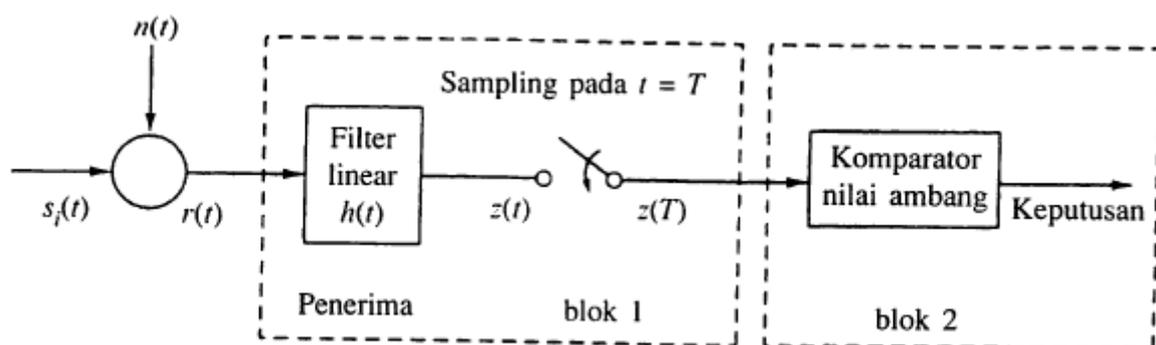
Mahasiswa/i dapat mengerti dan menjelaskan konsep deteksi optimum.

Pembahasan

Dalam bab ini diasumsikan bahwa kanal komunikasi tidak menimbulkan distorsi apapun terhadap sinyal, sehingga akan terbebas dari interferensi. Terutama Intersymbol Interference (ISI) atau interferensi antar simbol. Asumsi kedua adalah derau di dalam kanal komunikasi adalah AWGN (Additive White Gaussian Noise) dengan rata-rata nol.

Deteksi Sinyal Biner dan Pengujian Hipotesis

Cara kerja pesawat penerima sinyal digital (biner) diilustrasikan pada gambar di bawah:



Gambar 1. Cara Kerja Pesawat Penerima Sinyal Digital. Hsu, Hwei, (2005). Komunikasi analog dan digital. Jakarta: Erlangga.

Sinyal yang ditransmisikan dalam interval sebuah simbol (0,T) direpresentasikan sebagai berikut:

$$s_i(t) = \begin{cases} s_1(t) & 0 \leq t \leq T \text{ untuk digit 1} \\ s_2(t) & 0 \leq t \leq T \text{ untuk digit 0} \end{cases}$$

Sedangkan sinyal yang diterima oleh sisi penerima dituliskan sebagai berikut:

$$r(t) = s_i(t) + n(t) \quad i = 1, 2 \quad 0 \leq t \leq T$$

Di mana parameter $n(t)$ menunjukkan Additive White Gaussian Noise (AWGN) dengan rata-rata nol.

Seperti dalam gambar 1, terdapat dua tahapan dalam proses deteksi sinyal. Tahap pertama adalah blok pertama, yaitu mereduksi sinyal yang diterima, $r(t)$, menjadi sebuah bilangan tunggal $z(T)$. Pereduksian sinyal ini dilakukan dengan mengaplikasikan sebuah

filter linear yang diikuti dengan sebuah modul untuk megambil sampel. Keluaran dari bok 1, yang merupakan sampel yang diambil pada saat $t = T$, direpresentasikan dengan persamaan berikut:

$$z(T) = a_i(T) + n_o(T) \quad i = 1, 2$$

Di mana parameter $a_i(T)$ adalah komponen sinyal dari $z(T)$ sedangkan parameter $n_o(t)$ adalah komponen noise. Komponen noise n_o adalah sebuah variabel acak Gaussian dengan rata-rata nol, sehingga z adalah variabel acak Gaussian dengan nilai rata-rata a_1 atau a_2 , tergantung mana yang diterima antara $s_1(t)$ atau $s_2(t)$. Sampel z dari $r(t)$ disebut juga statistik uji.

Tahap kedua adalah pada blok 2, yaitu membandingkan statistik uji z dengan suatu nilai ambang yang direpresentasikan dengan parameter λ . Langkah terakhir adalah pengambilan keputusan:

$$\begin{array}{c} H_1 \\ z > \lambda \\ z < \lambda \\ H_2 \end{array}$$

Dimana parameter H_1 dan H_2 adalah hipotesis-hipotesis yang mungkin muncul. Lebih jelasnya adalah sebagai berikut, memilih H_1 berarti memutuskan yang dikirimkan oleh pemancar adalah sinyal $S_1(t)$, sedangkan memilih H_2 berarti memutuskan yang dikirimkan pemancar adalah sinyal $S_2(t)$. Dapat dilihat pada persamaan di atas bahwa hipotesis H_1 akan dipilih jika nilai $z > \lambda$, sedangkan hipotesis H_2 akan dipilih jika nilai $z < \lambda$. Jika pada suatu kondisi nilai $z = \lambda$, maka sembarang keputusan dapat diambil.

Peluang Error dan Detektor Kemungkinan Maksimum

Peluang Error

Terdapat maksimal dua kemungkinan error yang mungkin terjadi pada sistem deteksi sinyal digital. Kemungkinan pertama adalah jika sinyal yang ditransmisikan adalah sinyal $S_1(t)$, maka error akan terjadi jika hipotesis H_2 dipilih. Kedua, jika yang ditransmisikan adalah sinyal $S_2(t)$, maka sebuah error akan dapat terjadi jika hipotesis H_1 dipilih. Oleh karena itu, peluang terjadinya error pada sistem deteksi sinyal digital dapat direpresentasikan dengan persamaan berikut:

$$P_e = P(H_2|s_1)P(s_1) + P(H_1|s_2)P(s_2)$$

Di mana nilai $P(S_1)$ adalah peluang ditransmisikannya sinyal $S_1(t)$ dan $P(S_2)$ adalah peluang ditransmisikannya sinyal $S_2(t)$.

Apabila simbol $P(S_1) = P(S_2) = \frac{1}{2}$, maka:

$$P_e = \frac{1}{2} [P(H_2|s_1) + P(H_1|s_2)]$$

Detektor Kemungkinan Maksimum

Salah satu cara yang paling umum dalam menentukan nilai ambang λ adalah dengan meminimalkan nilai P_e , atau dengan kata lain memberikan peluang error yang sekecil-kecilnya. Penentuan $\lambda = \lambda_0$, yang dapat memberikan peluang error yang terkecil tersebut dimulai dengan membuat uji rasio kemungkinan berikut:

$$\Lambda(z) = \frac{f(z|s_1)}{f(z|s_2)} \begin{matrix} H_1 \\ > \\ H_2 \end{matrix} \frac{P(s_2)}{P(s_1)}$$

dimana $f(z|s_i)$ adalah PDF (Probability Density Function) kondisional yang disebut sebagai kemungkinan s_i . Sedangkan besaran rasio $\Lambda(z)$ disebut sebagai rasio kemungkinan.

Persamaan di atas menyatakan bahwa hipotesis H_1 harus dipilih jika rasio kemungkinan $\Lambda(z)$ memiliki nilai lebih besar dari rasio peluang kemunculan simbol $P(S_2)/P(S_1)$. Jika pada suatu kondisi $P(S_1) = P(S_2)$ maka persamaan di atas dapat diubah menjadi:

$$\Lambda(z) = \frac{f(z|s_1)}{f(z|s_2)} \begin{matrix} H_1 \\ > \\ H_2 \end{matrix} 1$$

$$f(z|s_1) \begin{matrix} H_1 \\ > \\ H_2 \end{matrix} f(z|s_2)$$

Kriteria error minimum dijabarkan oleh persamaan berikut:

$$z \begin{matrix} > \\ < \end{matrix} \begin{matrix} H_1 \\ H_2 \end{matrix} \lambda_0$$

$$\lambda_0 = \frac{a_1 + a_2}{2}$$

Nilai λ_0 disebut sebagai nilai ambang optimum yang dapat memberikan peluang error terkecil. Sebuah detektor yang dapat memberikan peluang error minimum atau dengan kata lain sebuah kondisi di mana peluang kemunculan masing-masing simbol sama besarnya dinamakan sebagai detektor kemungkinan maksimum.

Deteksi Optimum

Pada subbab ini akan dibahas mengenai pengoptimalan filter linear yang ada di dalam blok penerima, atau blok 1 pada gambar 1 di atas. Hal ini dapat dicapai dengan cara memberikan nilai peluang error P_e yang sekecil mungkin. Nilai P_e terkecil bisa didapatkan dengan mencari filter linear yang dapat memaksimalkan nilai berikut:

$$\frac{(a_1 - a_2)^2}{\sigma_{n_0}^2}$$

Di mana nilai $a_1 - a_2$ adalah selisih antara kedua komponen sinyal di sisi keluaran dari filter, pada saat $t = T$, sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai $(a_1 - a_2)^2$ adalah daya sesaat dari sinyal selisih tersebut, dan $\sigma_{n_0}^2$ adalah nilai daya rata-rata dari noise masukan. Bila diketahui sebuah filter telah matching dengan masukan sinyal berupa $s_1(t) - s_2(t)$, maka akan didapatkan nilai SNR:

$$\left(\frac{S}{N}\right)_o = \frac{a_1 - a_2}{2\sigma_{n_0}} = \frac{E_d}{\eta/2} = \frac{2E_d}{\eta}$$

Di mana nilai $\eta/2$ adalah kerapatan daya spektrum dari derau di input filter, sedangkan nilai E_d adalah energi yang dikandung oleh sinyal selisih $s_1(t) - s_2(t)$ di input filter. Nilai energi ini didapatkan dengan persamaan:

$$E_d = \int_0^T [s_1(t) - s_2(t)]^2 dt$$

Peluang Error Sistem-Sistem Transformasi Biner

Sistem Berbasis Pensinyalan Pita-Dasar Unipolar (Unipolar Baseband Signaling)

Persamaan sinyal pada Unipolar Baseband Signalling adalah sebagai berikut:

$$s_i(t) = \begin{cases} s_1(t) = A & 0 \leq t \leq T \\ s_2(t) = 0 & 0 \leq t \leq T \end{cases}$$

Sedangkan untuk peluang error, P_e , untuk sistem ini direpresentasikan dengan persamaan:

$$P_e = Q\left(\sqrt{\frac{A^2T}{2\eta}}\right) = Q\left(\sqrt{\frac{E_b}{2\eta}}\right)$$

Di mana nilai E_b adalah energi sinyal rata-rata per bit. Nilai E_b ini ditentukan dengan persamaan:

$$E_b = \frac{A^2T}{2}$$

Sistem Berbasis Pensinyalan Pita-Dasar Bipolar (Bipolar Baseband Signaling)

Persamaan sinyal pada Bipolar Baseband Signalling adalah sebagai berikut:

$$s_i(t) = \begin{cases} s_1(t) = +A & 0 \leq t \leq T \\ s_2(t) = -A & 0 \leq t \leq T \end{cases}$$

Sedangkan untuk peluang error, P_e , untuk sistem ini direpresentasikan dengan persamaan:

$$P_e = Q\left(\sqrt{\frac{2A^2T}{\eta}}\right) = Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{\eta}}\right)$$

Di mana nilai E_b adalah energi sinyal rata-rata per bit. Nilai E_b ini ditentukan dengan persamaan:

$$E_b = A^2 T$$

Sistem ASK (Amplitude Shift Keying atau On-Off Keying)

Persamaan sinyal pada ASK adalah sebagai berikut:

$$s_i(t) = \begin{cases} s_1(t) = A \cos \omega_c t & 0 \leq t \leq T \\ s_2(t) = 0 & 0 \leq t \leq T \end{cases}$$

Di mana nilai T adalah suatu bilangan bulat dikalikan dengan $1/f_c$. Sedangkan nilai peluang error, P_e , untuk sistem ini adalah:

$$P_e = Q\left(\sqrt{\frac{A^2 T}{4\eta}}\right) = Q\left(\sqrt{\frac{E_b}{\eta}}\right)$$

Di mana adalah energi sinyal rata-rata per bit. Nilai E_b ini ditentukan dengan persamaan:

$$E_b = \frac{A^2 T}{4}$$

Sistem PSK (Phase Shift Keying)

Persamaan sinyal pada PSK adalah sebagai berikut:

$$s_i(t) = \begin{cases} s_1(t) = A \cos \omega_c t & 0 \leq t \leq T \\ s_2(t) = A \cos (\omega_c t + \pi) \\ \quad = -A \cos \omega_c t & 0 \leq t \leq T \end{cases}$$

Di mana nilai T adalah suatu bilangan bulat dikalikan dengan $1/f_c$. Sedangkan nilai peluang error, P_e , untuk sistem ini adalah:

$$P_e = Q\left(\sqrt{\frac{A^2 T}{4\eta}}\right) = Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{\eta}}\right)$$

Di mana E_b adalah energi sinyal rata-rata per bit. Nilai E_b ini ditentukan dengan persamaan:

$$E_b = \frac{A^2 T}{8}$$

Sistem FSK (Frequency Shift Keying)

Persamaan sinyal pada PSK adalah sebagai berikut:

$$s_i(t) = \begin{cases} s_1(t) = A \cos \omega_1 t & 0 \leq t \leq T \\ s_2(t) = A \cos \omega_2 t & 0 \leq t \leq T \end{cases}$$

Apabila diasumsikan sebagai berikut:

$$\omega_1 T \gg 1, \omega_2 T \gg 1, \text{ dan } (\omega_1 - \omega_2) T \gg 1$$

Maka peluang error, P_e , untuk sistem ini direpresentasikan dengan persamaan berikut:

$$P_e \approx Q\left(\sqrt{\frac{A^2 T}{2\eta}}\right) = Q\left(\sqrt{\frac{E_b}{\eta}}\right)$$

Di mana E_b adalah energi sinyal rata-rata per bit. Nilai E_b ini ditentukan dengan persamaan:

$$E_b = \frac{A^2 T}{2}$$

Tugas

1. Jelaskan dengan kata-kata sendiri mengenai dua proses pendeteksian sinyal! Tidak boleh copy-paste yang ada di slide!
2. Jelaskan bagaimana cara mengoptimalkan filter linear pada blok penerima!
3. Tentukan S/N dari sebuah filter yang telah matching apabila diketahui:
 $\eta = 0.5$ dan $E_d = 200$ watt

Daftar Pustaka

Couch, Leon, (2012). *Digital and analog communication systems*. Prentice Hall.

Hsu, Hwei, (2005). *Komunikasi analog dan digital*. Jakarta: Erlangga.

Lathi, B.P, (1998). *Modern digital and analog communication system*. Oxford University Press. 3rd Edition..

Roden, Martin, (1996). *Analog and digital communication systems*. Prentice Hall.

Simon S. Haykin and Michael Moher, (2006). *An introduction to analog and digital communications*. Wiley.



MODUL STANDAR PERKULIAHAN

Telekomunikasi Analog & Digital

Transmisi Digital

Fakultas
FAKULTAS TEKNIK

Program Studi
TEKNIK ELEKTRO

Tatap Muka
10

Kode MK
14045

Disusun Oleh
Ketty Siti Salamah, ST, MT.

Abstract

Transmisi analog adalah suatu upaya mentransmisi sinyal analog tanpa memperhatikan muatannya; sinyal-sinyalnya dapat mewakili data analog atau data digital. Untuk jarak yang jauh dipakai amplifier yang akan menambah kekuatan sinyal sehingga menghasilkan distorsi yang terbatas. Transmisi digital, berhubungan dengan muatan dari sinyal. Untuk mencapai jarak yang jauh dipakai repeater yang menghasilkan sinyal sebagai '1' atau '0' sehingga tidak terjadi distorsi.

Kompetensi

Mahasiswa/i dapat mengerti dan menjelaskan konsep transmisi digital.

Pembahasan

Bentuk Sinyal Digital

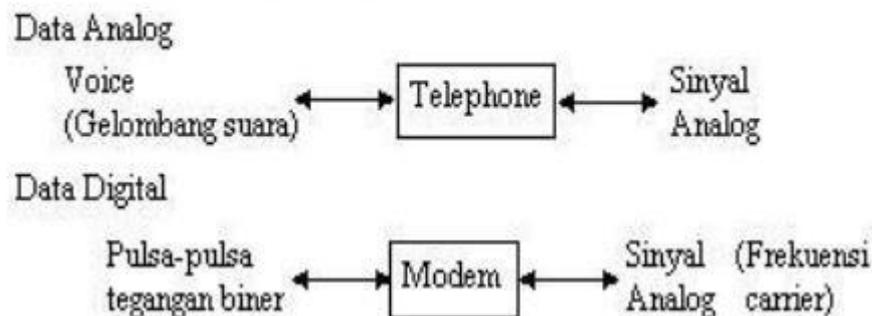
Istilah analog dan digital berhubungan dengan *continuous* dan *discrete* yang dalam komunikasi data dipakai dalam tiga konteks :

1. Data, didefinisikan sebagai entity yang mengandung sesuatu arti

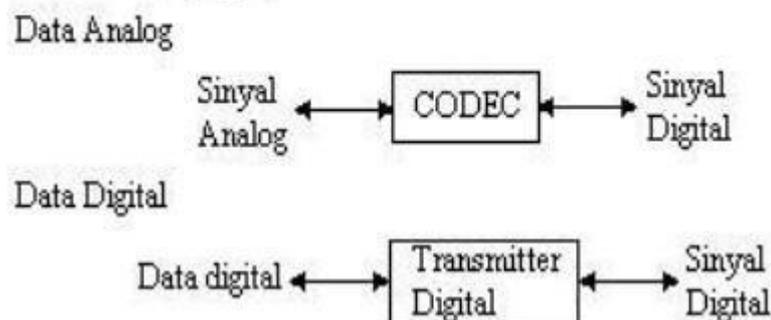
Data analog diperoleh pada nilai-nilai continuous dalam beberapa interval. Contoh : suara, video. Data digital didapat pada nilai-nilai discrete. Contoh : text dan integer. Data analog dapat merupakan sinyal analog. Demikian pula, data digital dapat merupakan sinyal digital. Data digital dapat juga dijadikan sinyal analog dengan memakai modem (modulator/demodulator) sedangkan data analog dapat dijadikan sinyal digital dengan memakai codec (coder-decoder).

Gambar di bawah ini mengilustrasikan bagaimana aplikasi perubahan sinyal analog \leftrightarrow sinyal digital, dan data analog \leftrightarrow data digital:

Sinyal analog mewakili data dengan gelombang elektromagnetik yang continuous



Sinyal digital mewakili data dengan serangkaian pulsa-pulsa tegangan



2. Signaling (pen-sinyal-an), adalah tindakan penyebaran sinyal melalui suatu medium yang sesuai.

Sinyal analog adalah gelombang elektromagnetik continuous yang disebar melalui suatu media, tergantung pada spektrumnya.

Sinyal digital adalah serangkaian pulsa tegangan yang dapat ditransmisikan melalui suatu medium kawat.

3. Transmisi, adalah komunikasi dari data dengan penyebaran dan pemrosesan sinyal.

Transmisi analog adalah suatu upaya mentransmisi sinyal analog tanpa memperhatikan muatannya; sinyal-sinyalnya dapat mewakili data analog atau data digital. Untuk jarak yang jauh dipakai amplifier yang akan menambah kekuatan sinyal sehingga menghasilkan distorsi yang terbatas.

Transmisi digital, berhubungan dengan muatan dari sinyal. Untuk mencapai jarak yang jauh dipakai repeater yang menghasilkan sinyal sebagai '1' atau '0' sehingga tidak terjadi distorsi.

Alasan lebih diunggulkannya teknik pensinyalan digital:

- Teknologi digital : adanya teknologi LSI dan VLSI menyebabkan penurunan biaya dan ukuran circuit digital.
- Keutuhan data : terjamin karena penggunaan repeater dibandingkan amplifier sehingga transmisi jarak jauh tidak menimbulkan banyak error.
- Penggunaan kapasitas : agar efektif digunakan teknik multiplexing dimana lebih mudah dan murah dengan teknik digital daripada teknik analog.
- Keamanan dan privasi : teknik encryption dapat diaplikasikan ke data digital dan ke analog yang sudah mengalami digitalisasi.
- Integrasi : karena semua sinyal (data analog dan digital) diperlakukan secara digital maka mempunyai bentuk yang sama, dengan demikian secara ekonomis dapat diintegrasikan dengan suara (voice), video dan data digital.

Komunikasi Data

Komunikasi data adalah transmisi data dan informasi yang disajikan dalam bentuk digital antar komputer dan piranti elektronika yang lain dan dapat dikirimkan melalui media komunikasi data dalam berbagai jenis dan bentuk. Tingginya ketergantungan masyarakat terhadap komunikasi data, voice, dan video membuat konsep komunikasi data telah menjadi bagian penting dalam kehidupan masyarakat.

Cara kerja komunikasi data:

Data adalah sebuah informasi, sedangkan program berfungsi untuk mengolah data yang tersimpan di dalam RAM dan Harddisk pada komputer, menjadi sesuatu yang diinginkan dan dimengerti oleh manusia. Dari pernyataan di atas dapat disimpulkan bahwa komputer mampu melaksanakan sebuah tugas yang diberikan oleh manusia berdasarkan program dan data yang diolahnya.

Salah satu kode yang dipakai dalam komputer adalah American Standard Code for Information Interchange (ASCII). ASCII adalah sebuah tabel yang terdiri dari 256 karakter dari 0 desimal sampai 255 desimal. Misalnya, dalam table ASCII karakter A memiliki kode decimal 65 atau dalam kode binernya 00001111. Jika di layar monitor tampil karakter F, komputer hanya mengetahui bahwa ada data biner 00001111 yang terdiri atas 8 bit. Setelah komputer menerima semua bit, program akan menerjemahkan data 00001111 tadi sesuai dengan kode ASCII, yaitu karakter F.

Tabel ASCII adalah sebagai berikut:

Dec	Hx	Oct	Char	Dec	Hx	Oct	Html	Chr	Dec	Hx	Oct	Html	Chr	Dec	Hx	Oct	Html	Chr
0	0	000	NUL (null)	32	20	040	 	Space	64	40	100	@	@	96	60	140	`	`
1	1	001	SOH (start of heading)	33	21	041	!	!	65	41	101	A	A	97	61	141	a	a
2	2	002	STX (start of text)	34	22	042	"	"	66	42	102	B	B	98	62	142	b	b
3	3	003	ETX (end of text)	35	23	043	#	#	67	43	103	C	C	99	63	143	c	c
4	4	004	EOT (end of transmission)	36	24	044	$	\$	68	44	104	D	D	100	64	144	d	d
5	5	005	ENQ (enquiry)	37	25	045	%	%	69	45	105	E	E	101	65	145	e	e
6	6	006	ACK (acknowledge)	38	26	046	&	&	70	46	106	F	F	102	66	146	f	f
7	7	007	BEL (bell)	39	27	047	'	'	71	47	107	G	G	103	67	147	g	g
8	8	010	BS (backspace)	40	28	050	((72	48	110	H	H	104	68	150	h	h
9	9	011	TAB (horizontal tab)	41	29	051))	73	49	111	I	I	105	69	151	i	i
10	A	012	LF (NL line feed, new line)	42	2A	052	*	*	74	4A	112	J	J	106	6A	152	j	j
11	B	013	VT (vertical tab)	43	2B	053	+	+	75	4B	113	K	K	107	6B	153	k	k
12	C	014	FF (NP form feed, new page)	44	2C	054	,	,	76	4C	114	L	L	108	6C	154	l	l
13	D	015	CR (carriage return)	45	2D	055	-	-	77	4D	115	M	M	109	6D	155	m	m
14	E	016	SO (shift out)	46	2E	056	.	.	78	4E	116	N	N	110	6E	156	n	n
15	F	017	SI (shift in)	47	2F	057	/	/	79	4F	117	O	O	111	6F	157	o	o
16	10	020	DLE (data link escape)	48	30	060	0	0	80	50	120	P	P	112	70	160	p	p
17	11	021	DC1 (device control 1)	49	31	061	1	1	81	51	121	Q	Q	113	71	161	q	q
18	12	022	DC2 (device control 2)	50	32	062	2	2	82	52	122	R	R	114	72	162	r	r
19	13	023	DC3 (device control 3)	51	33	063	3	3	83	53	123	S	S	115	73	163	s	s
20	14	024	DC4 (device control 4)	52	34	064	4	4	84	54	124	T	T	116	74	164	t	t
21	15	025	NAK (negative acknowledge)	53	35	065	5	5	85	55	125	U	U	117	75	165	u	u
22	16	026	SYN (synchronous idle)	54	36	066	6	6	86	56	126	V	V	118	76	166	v	v
23	17	027	ETB (end of trans. block)	55	37	067	7	7	87	57	127	W	W	119	77	167	w	w
24	18	030	CAN (cancel)	56	38	070	8	8	88	58	130	X	X	120	78	170	x	x
25	19	031	EM (end of medium)	57	39	071	9	9	89	59	131	Y	Y	121	79	171	y	y
26	1A	032	SUB (substitute)	58	3A	072	:	:	90	5A	132	Z	Z	122	7A	172	z	z
27	1B	033	ESC (escape)	59	3B	073	;	:	91	5B	133	[[123	7B	173	{	{
28	1C	034	FS (file separator)	60	3C	074	<	<	92	5C	134	\	\	124	7C	174	|	
29	1D	035	GS (group separator)	61	3D	075	=	=	93	5D	135]]	125	7D	175	}	}
30	1E	036	RS (record separator)	62	3E	076	>	>	94	5E	136	^	^	126	7E	176	~	~
31	1F	037	US (unit separator)	63	3F	077	?	?	95	5F	137	_	_	127	7F	177		DEL

Sistem Bilangan

Sistem bilangan adalah aturan atau susunan dalam menentukan nilai suatu bilangan. Sistem bilangan menggunakan basis (base/radix) tertentu yang tergantung dari jumlah bilangan yang digunakan.

Jenis-jenis sistem bilangan adalah sebagai berikut:

1. Sistem Bilangan Desimal (Decimal Numbering System)

Sistem bilangan desimal adalah sistem yang menggunakan basis 10 dan menggunakan 10 macam simbol bilangan yaitu : 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 dan 9. Sistem bilangan desimal dapat berupa integer desimal (decimal integer) dan dapat juga berupa pecahan desimal (decimal fraction).

2. Sistem Bilangan Biner (Binary Numbering System)

Biner (Basis 2) adalah Sistem Bilangan yang terdiri dari 2 simbol yaitu 0 dan 1. Bilangan Biner ini di populerkan oleh John Von Neumann.

3. Sistem Bilangan Octal (Octenary Numbering System)

Oktal (Basis 8) adalah Sistem Bilangan yang terdiri dari 8 Simbol yaitu 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7

4. Sistem Bilangan Hexadesimal (Hexadenary Numbering System)

Hexadesimal (Basis 16), Hexa berarti 6 dan Desimal berarti 10 adalah Sistem Bilangan yang terdiri dari 16 simbol yaitu 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A(10), B(11), C(12), D(13), E(14), F(15). Pada Sistem Bilangan Hexadesimal memadukan 2 unsur yaitu angka dan huruf. Huruf A mewakili angka 10, B mewakili angka 11 dan seterusnya sampai Huruf F mewakili angka 15.

Decimal-biner

Cara konversi bilangan decimal ke bilangan biner adalah sebagai berikut: Nilai bilangan decimal dibagi dengan 2, pembacaan nilai akhir hasil pembagian dan urutan sisa hasil pembagian adalah bentuk bilangan biner dari nilai decimal.

Contoh: Ubah bilangan decimal 15 ke dalam bentuk bilangan biner.

Jawab:

$15:2 = 7$ sisa 1 → Angka 1 di urutan paling belakang

$7:2 = 3$ sisa 1 → Angka 1 di urutan kedua dari belakang

$3:2 = 1$ sisa 1 → Angka 1 di urutan ketiga dari belakang, dan terakhir angka 1 di urutan keempat.

Maka bilangan binernya adalah 1111.

Contoh lain: Ubah bilangan decimal 251 ke dalam bentuk bilangan biner.

Jawab:

$251:2 = 125$ sisa 1

$125:2 = 62$ sisa 1

$62:2 = 31$ sisa 0

$31:2 = 15$ sisa 1

$15:2 = 7$ sisa 1

$7:2 = 3$ sisa 1

$3:2 = 1$ sisa 1

Maka bilangan binernya adalah 11111011

Biner-decimal

Contoh konversi bilangan biner ke bilangan decimal adalah sebagai berikut:

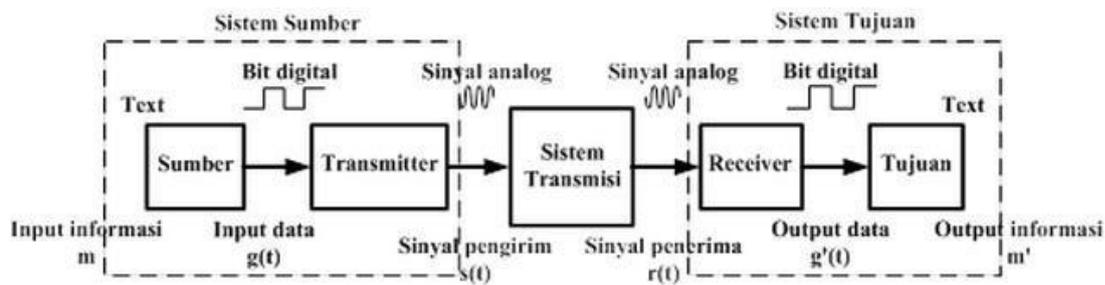
Ubah bilangan biner 1010 ke bilangan decimal.

Jawab:

$1010 (b) = (1 \times 2^3) + (0 \times 2^2) + (1 \times 2^1) + (0 \times 2^0)$

1010 (b) = 10 (d) → (b) menunjukkan bilangan biner, (d) menunjukkan bilangan decimal.

Blok diagram komunikasi data dapat dilihat pada gambar berikut:



(a) Blok diagram model komunikasi data secara umum



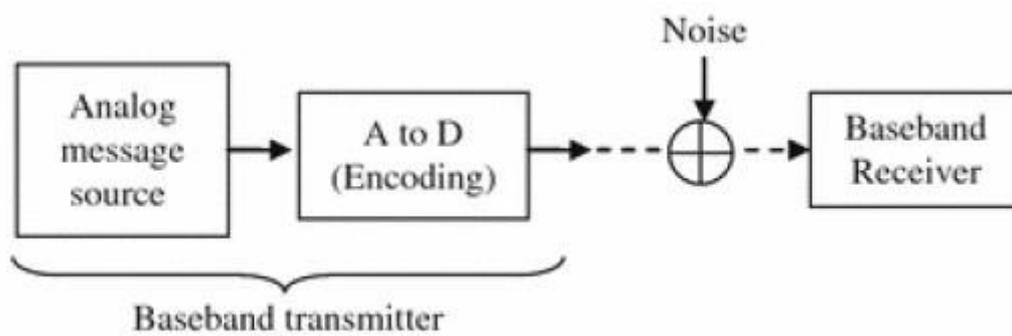
Keterangan untuk gambar di atas adalah sebagai berikut: Informasi yang akan ditukar adalah sebuah pesan yang memiliki nilai m . Informasi ini diwakili sebagai data g ditujukan ke sebuah transmitter dalam bentuk sinyal yang berubah terhadap waktu, yaitu sinyal $g(t)$. Sinyal $g(t)$ ditransmisikan, namun harus terlebih dahulu diubah ke sinyal $s(t)$ agar sesuai dengan karakteristik medium transmisi. Setelah diubah menjadi $s(t)$, sinyal ditransmisikan melalui medium transmisi. Di sisi receiver, sinyal $r(t)$ yang identik dengan $s(t)$, diterima. Sinyal ini kemudian diubah oleh pesawat penerima ke dalam bentuk yang sesuai untuk output. Sehingga, receiver akan menampilkan pesan perkiraan yang diterimanya, bernama m' . Komunikasi data berhasil dilakukan apabila $m = m'$.

Pada gambar di atas, selain ada sumber, transmitter, penerima, dan medium transmisi, juga terdapat sebuah aturan yang disebut sebagai protokol. Protokol ini adalah sebuah aturan atau tata cara yang telah disepakati oleh pengirim dan penerima, agar komunikasi data dapat berlangsung sesuai dengan yang diinginkan kedua belah pihak.

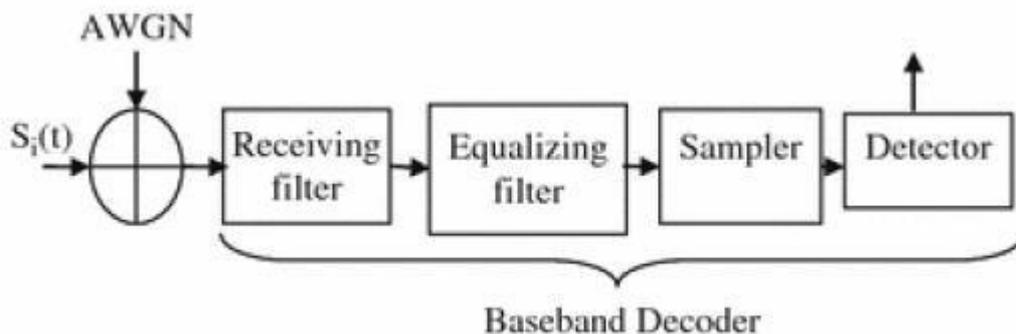
Digital Baseband Receiver

Transmisi sinyal baseband didefinisikan sebagai transmisi data digital tanpa teknik modulasi apapun. Jika sebuah data ditransmisikan melalui sebuah kanal ke sebuah receiver/penerima, maka komunikasi ini disebut sebagai komunikasi baseband.

Blok diagram dasar dari sebuah sistem komunikasi baseband adalah sebagai berikut:



Dalam sub-bab ini hanya akan dibahas blok bagian penerimanya (Baseband Receiver). Blok diagram untuk baseband receiver atau baseband decoder adalah sebagai berikut:



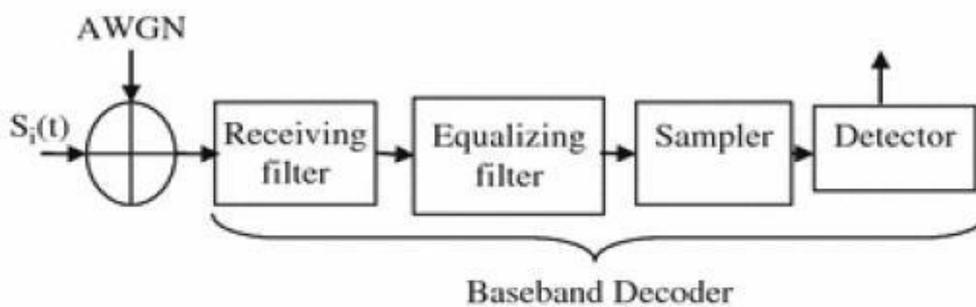
Lebih jelasnya mengenai ke-empat komponen dari baseband receiver adalah sebagai berikut:

1. Receiving Filter (Filter Penerima): Berguna untuk mengembalikan sinyal-sinyal baseband dengan nilai SNR (Signal-to-Noise Ratio) terbaik dari yang ada. Filter optimum yang digunakan adalah matched filter atau correlator.
2. Equalizing Filter (Filter Penyama): Filter ini bersifat opsional. Dikarenakan sifat menyebar yang dimiliki oleh kanal transmisi, salah satu efek yang mungkin terjadi terhadap simbol yang diterima dinamakan Inter Symbol Interference (ISI). Equalizer adalah filter yang digunakan untuk menghilangkan efek dari ISI.
3. Sampler: Dalam komponen ini terdapat informasi waktu dari transmisi dengan detail, contohnya: blok yang dibutuhkan untuk sinkronisasi bit dan frame. Pada setiap akhir perioda simbol T_s , output dari sampler adalah sampel $Z(T_s)$, yang mana adalah nilai tegangan yang berhubungan langsung dengan simbol yang ditransmisi dan daya noise.

4. Detector: Pada tahap deteksi, fungsi utamanya adalah untuk mengeluarkan digital logic dari nilai yang disampel. Detector didesain dengan menggunakan beberapa teorema dan algoritma pendeteksian.

Tugas

1. Jelaskan apa yang anda ketahui tentang data, transmisi, dan signalling! Jelaskan dengan kata-kata sendiri, dilarang copy-paste dari slide!
2. Berikut adalah blok diagram untuk baseband receiver:



Jelaskan ke-empat komponen blok tersebut!

3. Mengacu pada tabel ASCII, konvert karakter "TELKOM" ke dalam kode biner!

Daftar Pustaka

- Couch, Leon, (2012). *Digital and analog communication systems*. Prentice Hall.
- Hsu, Hwei, (2005). *Komunikasi analog dan digital*. Jakarta: Erlangga.
- Lathi, B.P, (1998). *Modern digital and analog communication system*. Oxford University Press. 3rd Edition..
- Roden, Martin, (1996). *Analog and digital communication systems*. Prentice Hall.
- Simon S. Haykin and Michael Moher, (2006). *An introduction to analog and digital communications*. Wiley.



MODUL STANDAR PERKULIAHAN

Telekomunikasi Analog & Digital

Noise Dan Error Pada Transmisi Digital

Fakultas
FAKULTAS TEKNIK

Program Studi
TEKNIK ELEKTRO

Tatap Muka
11

Kode MK
14045

Disusun Oleh
Ketty Siti Salamah, ST, MT

Abstract

Pada sistem komunikasi manapun, sinyal yang diterima akan selalu berbeda dari sinyal yang dikirim. Terdapat tiga hal yang mengakibatkan hal tersebut, yaitu atenuasi (pelemahan sinyal), distorsi oleh sinyal, dan noise.

Kompetensi

Mahasiswa/i dapat mengerti cara konsep noise dan error pada transmisi digital.

Pembahasan

Noise dan Error Pada Transmisi Digital

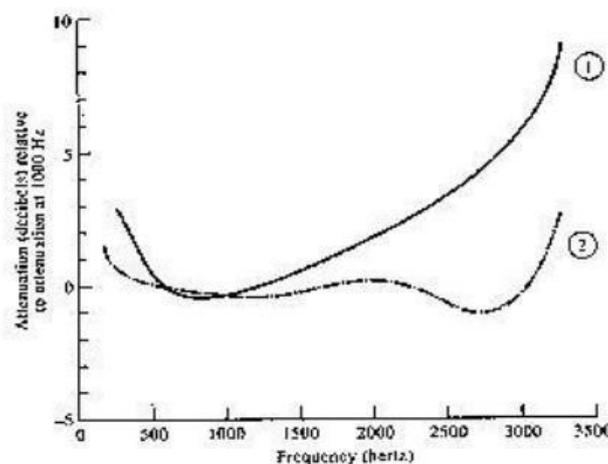
1. Atenuasi

Atenuasi adalah kondisi dimana kekuatan sinyal melemah. Melemahnya kekuatan sinyal dapat disebabkan oleh jarak antara pengirim dan penerima yang terlalu jauh meskipun melalui medium transmisi apapun. Tiga hal yang menjadi pertimbangan dalam melakukan perancangan transmisi adalah sebagai berikut :

- Sinyal yang diterima harus memiliki energi yang cukup sehingga penerima dapat mendeteksi dan mengartikan sinyal tersebut sesuai dengan sinyal yang telah dikirimkan.
- Sinyal harus mencapai suatu level yang cukup tinggi daripada noise agar diterima tanpa error. Dengan kata lain, nilai SNR (Signal to Noise Ratio) harus setinggi mungkin.
- Atenuasi adalah suatu fungsi dari frekuensi, sehingga atenuasi dapat muncul di berbagai rentang frekuensi.

Hal pertama dan kedua dapat diatasi dengan menggunakan sinyal dengan energi yang tinggi dengan menempatkan beberapa amplifier atau repeater sehingga walaupun jarak antara pengirim dan penerima cukup jauh, energi sinyal tetap tinggi. Hal ketiga dapat diatasi dengan menggunakan teknik untuk meratakan atenuasi melalui suatu band frekuensi dan juga menggunakan amplifier yang memperkuat frekuensi tinggi daripada frekuensi rendah.

Gambar di bawah mengilustrasikan contoh atenuasi:



Gambar 1. Efek Atenuasi.

Grafik di atas adalah atenuasi tanpa equalisasi (perataan), yaitu frekuensi tinggi mengalami pelemahan lebih besar daripada frekuensi rendah. Sedangkan grafik nomor 2 adalah atenuasi dengan equalisasi.

2. Distorsi Oleh Delay

Delay distorsi terjadi akibat kecepatan sinyal yang melalui medium berbeda-beda sehingga tiba pada penerima dengan waktu yang berbeda. Hal ini merupakan hal yang kritis bagi data digital yang dibentuk dari sinyal-sinyal dengan frekuensi-frekuensi yang berbeda-beda sehingga menyebabkan *intersymbol interference*.

3. Noise

Noise adalah suatu gangguan yang berupa munculnya sinyal yang tidak diinginkan pada sisi transmisi maupun penerima.

Sumber noise dapat dikelompokkan dalam tiga sumber, yaitu:

1. Sumber intrinsik. Yaitu sumber yang muncul dari fluktuasi acak di dalam suatu sistem komunikasi. Contoh noise yang berasal dari dalam ini adalah *thermal noise* dan *shot noise*.
2. Sumber noise ekstrinsik, atau dengan kata lain sumber noise yang merupakan hasil dari buatan manusia. Contoh yang termasuk sumber noise ekstrinsik adalah motor, *switch*, dan elektronika digital.
3. Sumber noise yang berasal dari alam. Misalnya apabila terjadi petir dan bintik matahari sehingga mengganggu proses komunikasi .

Beberapa Jenis-jenis Noise adalah sebagai berikut:

- *Correlated noise*: Noise ini adalah noise yang hanya muncul karena adanya sinyal. Jika pada suatu sistem sedang tidak dialiri oleh sinyal, maka noise ini tidak akan muncul.
- *Uncorrelated noise*: Noise yang dapat muncul baik saat ada maupun tidak ada sinyal. *Uncorrelated noise* dalam kategori ini dapat dibagi lagi menjadi dua kategori umum, yaitu :
 1. Eksternal Noise: Eksternal noise adalah jenis noise yang dihasilkan dari luar sistem. Noise tidak disebabkan oleh komponen fisik di dalam sistem tersebut. Tiga sumber utama dari noise eksternal adalah sebagai berikut:

- a. *Atmospheric noise*: Noise ini adalah noise yang terjadi karena faktor alam. Atau dengan kata lain noise ini disebabkan oleh hal-hal yang berkaitan dengan iklim atau atmosfer bumi. Noise atmosfer biasanya disebut juga *static electricity*. Static electricity adalah sinyal-sinyal listrik yang berbentuk impuls yang menyebar ke dalam energi sepanjang lebar frekuensi. Contoh sumber noise ini adalah kilat dan badai matahari.
- b. *Ekstraterrestrial noise*: Noise ini adalah noise yang terdiri dari sinyal-sinyal elektrik yang dihasilkan dari luar angkasa atau luar atmosfer bumi. Oleh karena itu, noise ini juga dikenal sebagai *deep-space noise*. Contoh sumber dari noise ekstraterrestrial adalah dari galaksi kita sendiri yaitu Bima Sakti, galaksi yang lain, dan juga dapat berasal dari matahari. Noise ini dibagi lagi menjadi 2 kategori, yaitu *solar* dan *cosmic noise*. Lebih jelasnya sebagai berikut:
1. *Solar noise*: Solar noise adalah jenis noise yang dihasilkan oleh aktifitas panas matahari. Salah satu kondisi terjadinya solar noise adalah di mana intensitas radiasi sedang berada pada nilai konstan dan tinggi. Contohnya adalah pada saat aktivitas *sun-spot* dan *solar flare-ups*. Besar gangguan ini bergantung pada aktivitas sun spot mengikuti pola perputaran yang berulang setiap 11 tahun.
 2. *Cosmic noise*: Cosmic noise adalah jenis noise yang didistribusikan secara berkelanjutan pada sebuah galaksi. Intensitas noise cenderung kecil, hal ini dikarenakan sumber noise terletak lebih jauh dari matahari. Cosmic noise sering juga disebut *black-body noise*.
- c. *Man-made noise*: Secara harafiah berarti sebagai noise yang dibuat oleh manusia. Sumber utama dari noise ini adalah mekanisme *spark-producing*, contohnya adalah komutator dalam motor elektrik, sistem pembakaran kendaraan bermotor, *alternator*, dan aktivitas peralihan alat oleh manusia. Contoh yang terjadi pada kehidupan sehari-hari misalnya, setiap saat di rumah, penghuni sering mematikan dan menyalakan lampu melalui saklar, kegiatan ini dapat mengakibatkan munculnya arus listrik secara tiba-tiba. Tegangan dan arus listrik yang berubah-ubah secara mendadak, akan mengakibatkan lebar frekuensi yang cukup besar. Pembesaran frekuensi ini akan memancar/menyebarkan dari saklar atau listrik rumah, yang dapat berfungsi sebagai miniatur penghantar dan antena. Noise karena aktivitas

manusia ini disebut juga *impulse noise*. Dinamakan impulse noise karena bersumber dari aktivitas on/of atau hidup/mati secara mendadak. Spektrum noise cenderung besar dan lebar, rentang frekuensinya dapat mencapai 10 MHz. Sesuai kondisi-nya, noise jenis ini lebih sering terjadi pada daerah padat penduduk.

2. Internal Noise: Internal noise adalah gangguan listrik yang dihasilkan oleh komponen fisik di dalam suatu sistem komunikasi. Ada tiga jenis noise yang dihasilkan secara internal, yaitu:

- a. *Thermal noise*: Thermal noise ini adalah jenis noise yang selalu ada pada sistem komunikasi. Thermal noise ini pertama kali ditemukan oleh Robert Brown saat sedang mengamati perpindahan partikel alami dalam penyerbukan biji padi. Thermal noise berhubungan dengan perpindahan elektron yang cepat dan acak dalam alat konduktor. Hal ini disebabkan karena elektron-elektron tersebut akan selalu bergerak selama temperaturnya berada di atas 0 Kelvin (suhu mutlak). Perpindahan random elektron pertama kali dikenal tahun 1927 oleh JB. Johnson di Bell Telephone Laboratories. Johnson membuktikan bahwa energi thermal noise akan berbanding lurus dengan dengan bandwidth dan temperatur.

Secara matematis, kekuatan noise adalah:

$$N = KTB$$

- N = kekuatan noise (noise power)
- K = Boltzmann's proportionality constant (1.38×10^{-23} joules per Kelvin)
- T = Temperatur absolute
- B = bandwidth

- b. *Shot noise*: Shot noise muncul disebabkan adanya penyampaian sinyal yang tidak beraturan pada keluaran alat elektronik yang digunakan pada sistem komunikasi, contohnya pada transistor dua kutub. Pada alat elektronik, jumlah partikel pembawa energi (elektron) yang terbatas menghasilkan arus elektrik konduktor yang fluktuatif (naik-turun). Shot noise juga bisa terjadi pada alat optik, contohnya adalah apabila terjadi keterbatasan foton pada alat optik. Seperti pada thermal noise, pada shot noise penyampaian sinyal tidak bergerak secara kontinu dan beraturan, melainkan bergerak berdasarkan

garis edar yang acak. Oleh karena itu, gangguan yang dihasilkan juga akan acak dan berlapis sesuai dengan sinyal yang ada.

Ketika shot noise semakin tinggi pengaruhnya, suara yang ditimbulkan noise ini akan seperti suara butir logam yang jatuh di atas genteng timah. Dari sekian kemungkinan munculnya shot noise, noise ini tidak muncul pada kawat logam, hal ini dikarenakan hubungan antar elektron pada kawat logam dapat menghilangkan fluktuasi acak.

- c. *Transit-time noise*: Noise ini muncul akibat arus sinyal yang dibawa melintasi sistem masukan dan keluaran pada alat elektronik, misalnya dari *emitter* ke *collector* pada transistor, sehingga menghasilkan noise yang acak. Transit-time noise biasanya muncul pada frekuensi tinggi ketika sinyal bergerak melintasi semikonduktor dan satu perputaran sinyalnya membutuhkan waktu yang banyak. Transit-time noise pada transistor ditentukan oleh pergerakan data yang ditransmisikan, bias tegangan, dan konstruksi transistor. Contohnya, jika transmisi data tertunda dengan frekuensi yang tinggi saat perlintasan semikonduktor, maka noise akan lebih banyak dibandingkan dengan sinyal aslinya.

Efek noise

Contoh efek gangguan pada sistem komunikasi yang disebabkan noise adalah sebagai berikut:

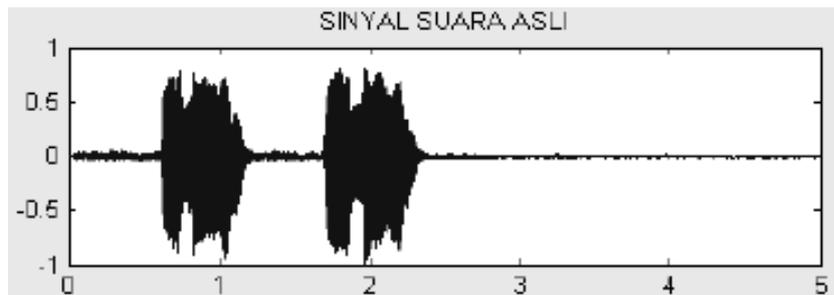
1. Penerima atau pendengar tidak mengerti dengan sinyal asli yang disampaikan. Contohnya sinyal yang diterima hanya setengah-nya atau bahkan tidak mengerti seluruh sinyal yang diterima.
2. Penerima dapat mengalami kegagalan dalam menerima sinyal.
3. Sistem menjadi tidak efisien karena noise yang terlalu banyak.

Sistem komunikasi bertujuan selain untuk mengirimkan data sebanyak mungkin, juga harus sesuai dengan waktu yang direncanakan, bandwidth yang cukup, power yang cukup, dan menempati channel yang sesuai. Apabila noise memberi efek gangguan yang luar biasa pada sistem, misalnya karena kesalahan penerimaan sinyal maupun kegagalan sistem secara keseluruhan, maka perancang dan pengguna sistem harus mengganti keseluruhan sistem tersebut.

Salah satu cara untuk mengatasi noise adalah dengan mengaplikasikan filter untuk supaya sinyal yang dikirim tidak terganggu oleh noise. Walaupun dapat diatasi, noise tetap mengakibatkan ke-tidak efisienan suatu sistem karena membutuhkan biaya dan upaya yang tidak sedikit dalam menanggulangi noise tersebut.

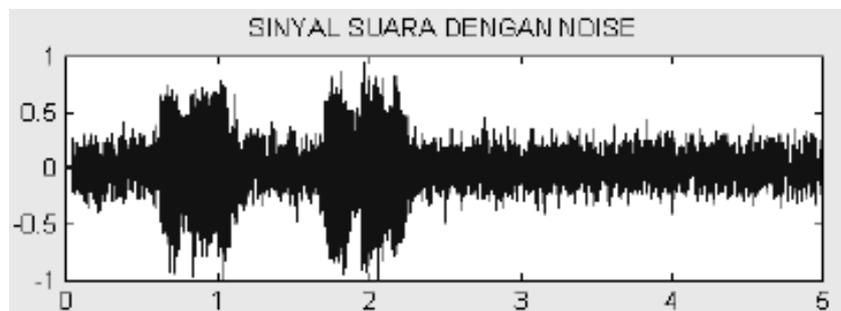
Contoh adalah penggunaan Filter Finite Impulse Response (FIR) untuk menghilangkan noise pada suara manusia. Hasil aplikasi adalah sebagai berikut:

Sinyal suara asli:



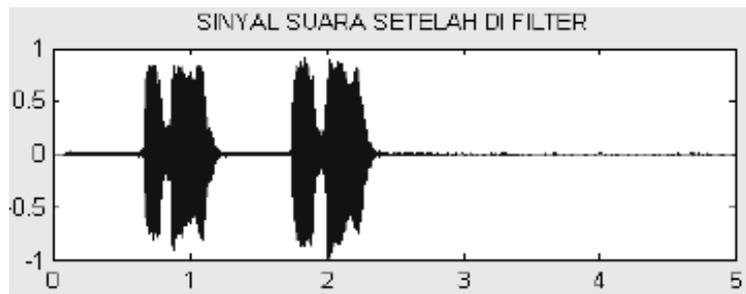
Gambar 2. Sinyal Suara Asli. Yeffry Handoko Putra, John Adler, dan Gugun Gunawan (2012). Aplikasi filter finite impulse response (fir) untuk menghilangkan noise pada suara manusia menggunakan graphical user interface (gui) pemrograman matlab. Unikom. Bandung.

Sinyal suara yang telah terkena noise:



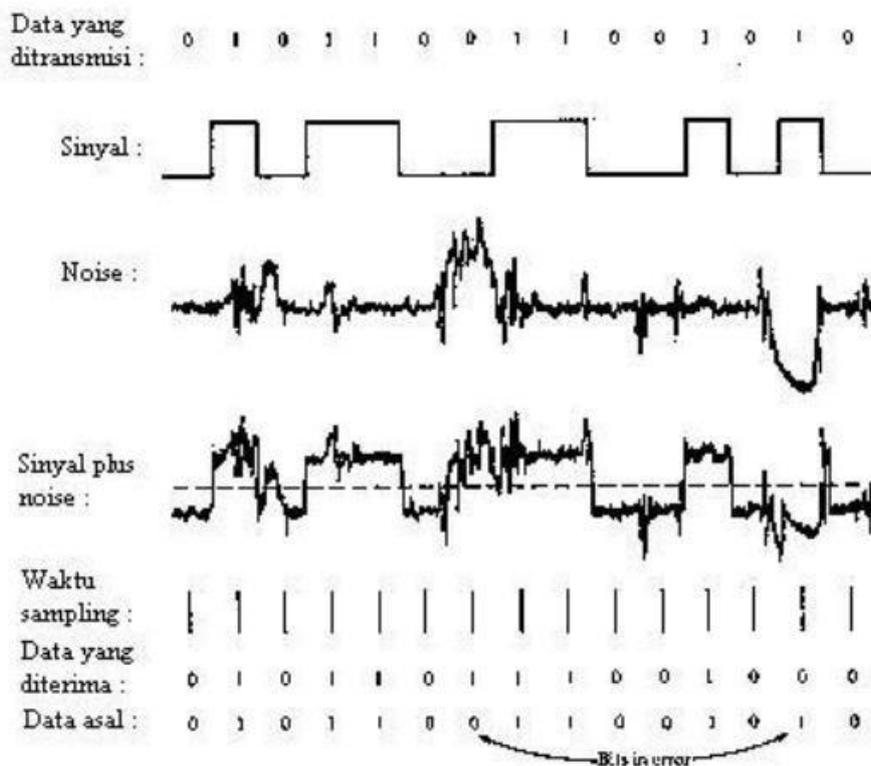
Gambar 3. Sinyal Suara Setelah Terkena Noise. Yeffry Handoko Putra, John Adler, dan Gugun Gunawan (2012). Aplikasi filter finite impulse response (fir) untuk menghilangkan noise pada suara manusia menggunakan graphical user interface (gui) pemrograman matlab. Unikom. Bandung.

Sinyal suara setelah di-filter:



Gambar 4. Sinyal Suara Setelah Dilakukan Pemfilteran. Yeffry Handoko Putra, John Adler, dan Gugun Gunawan (2012). Aplikasi filter finite impulse response (fir) untuk menghilangkan noise pada suara manusia menggunakan graphical user interface (gui) pemrograman matlab. Unikom. Bandung.

Contoh efek noise pada sinyal digital dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 5. Efek Noise

Dapat terlihat pada gambar di atas, noise dapat mengganggu penerimaan suatu sinyal. Terlihat bahwa terjadi bits error pada bit ke-7 dan bit ke-14. Walaupun hanya mengganggu pada dua bit saja, namun penerima dapat salah mengartikan sinyal yang diterima-nya tersebut.

Tugas

1. Jelaskan cara mengatasi atenuasi!
2. Jelaskan yang saudara ketahui tentang intersymbol interference (ISI)! Jelaskan dengan kata-kata sendiri, dilarang menyalin apa yang ada di slide!
3. Jelaskan efek gangguan yang dihasilkan noise! Jelaskan juga cara mengatasi noise! Jelaskan dengan kata-kata sendiri!

Daftar Pustaka

- Couch, Leon, (2012). *Digital and analog communication systems*. Prentice Hall.
- Hsu, Hwei, (2005). *Komunikasi analog dan digital*. Jakarta: Erlangga.
- Lathi, B.P, (1998). *Modern digital and analog communication system*. Oxford University Press. 3rd Edition..
- Roden, Martin, (1996). *Analog and digital communication systems*. Prentice Hall.
- Simon S. Haykin and Michael Moher, (2006). *An introduction to analog and digital communications*. Wiley.
- Yeffry Handoko Putra, John Adler, dan Gugun Gunawan (2012). *Aplikasi filter finite impulse response (fir) untuk menghilangkan noise pada suara manusia menggunakan graphical user interface (gui) pemrograman matlab*. Unikom. Bandung.



MODUL STANDAR PERKULIAHAN

Telekomunikasi Analog & Digital

Bandpass Sinyal Dan Bandpass Noise

Fakultas
FAKULTAS TEKNIK

Program Studi
TEKNIK ELEKTRO

Tatap Muka
12

Kode MK
14045

Disusun Oleh
Ketty Siti Salamah, ST, MT.

Abstract

Sebuah sinyal bandpass adalah sinyal yang berisi sebuah band frekuensi dari nol frekuensi, seperti sinyal yang keluar dari bandpass filter. Sebuah bandpass filter yang ideal akan memiliki passband benar-benar datar (misalnya dengan keuntungan tidak / redaman sepanjang) dan benar-benar akan menghaluskan semua frekuensi di luar passband tersebut. Selain itu, keluar transisi passband akan seketika pada frekuensi.

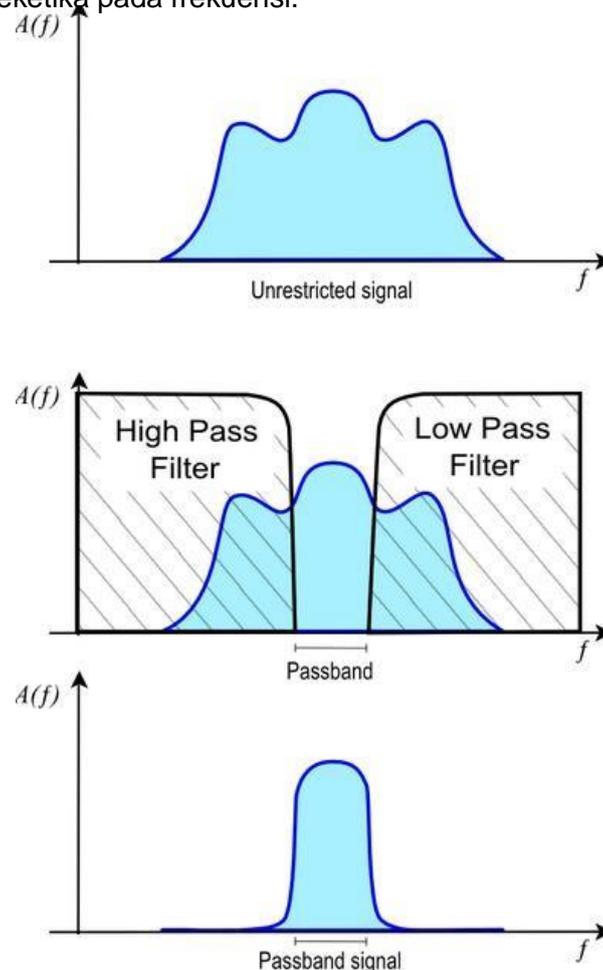
Kompetensi

Mahasiswa/i dapat mengerti dan menjelaskan konsep Bandpass Signal dan Bandpass Noise.

Pembahasan

Bandpass Signal

- Sebuah sinyal bandpass adalah sinyal yang berisi sebuah band frekuensi dari nol frekuensi, seperti sinyal yang keluar dari bandpass filter.
- Sebuah bandpass filter yang ideal akan memiliki passband benar-benar datar (misalnya dengan keuntungan tidak / redaman sepanjang) dan benar-benar akan menghaluskan semua frekuensi di luar passband tersebut. Selain itu, keluar transisi passband akan seketika pada frekuensi.



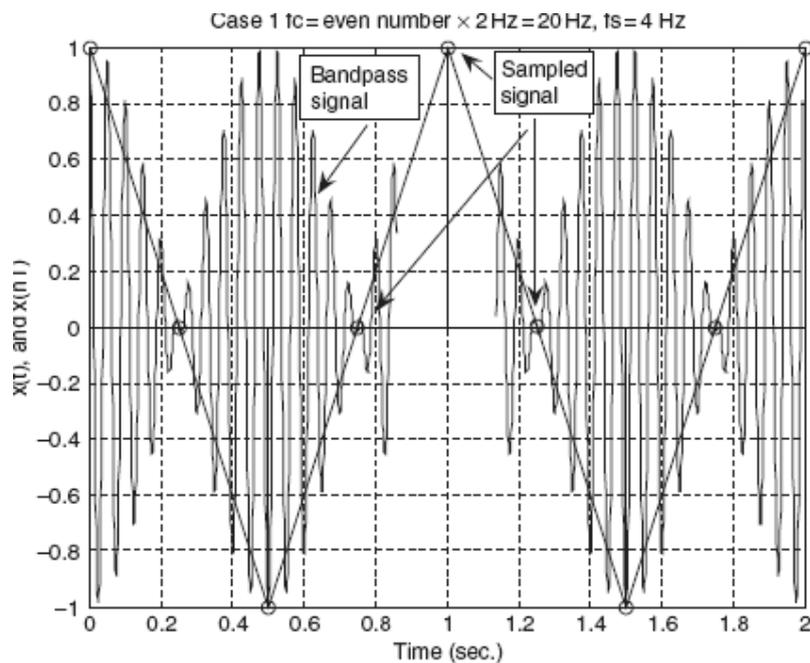
Gambar 1. Sinyal Bandpass

- Dalam prakteknya, tidak ada bandpass filter yang ideal. Filter ini tidak melemahkan semua frekuensi di luar rentang frekuensi yang dikehendaki benar-benar, pada khususnya, ada wilayah di luar passband diinginkan di mana frekuensi yang dilemahkan, tetapi tidak ditolak. Ini dikenal sebagai filter roll-off, dan biasanya dinyatakan dalam dB redaman per oktaf atau dekade frekuensi. Umumnya, desain filter berusaha untuk membuat roll-off sesempit mungkin, sehingga memungkinkan

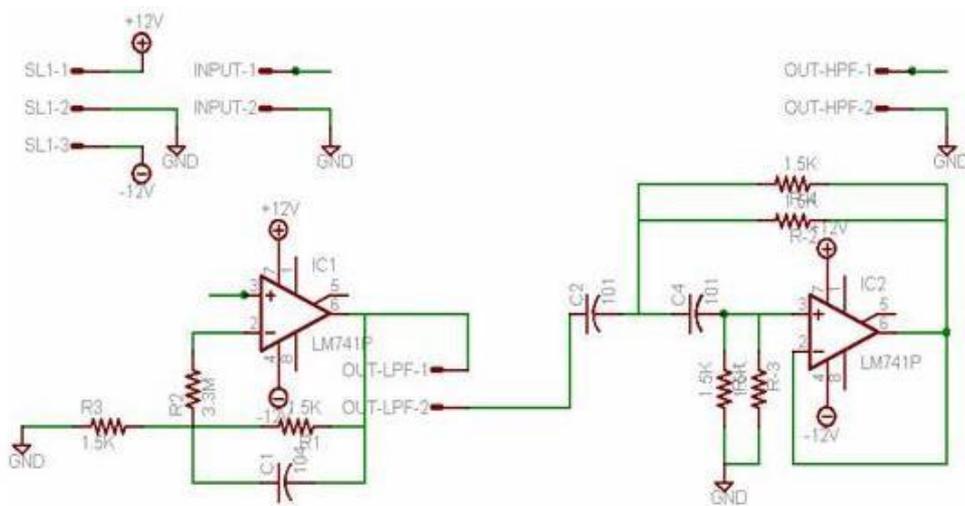
filter untuk melakukan sedekat mungkin dengan desain yang diinginkan. Seringkali, ini dicapai dengan mengorbankan pass-band atau riak stop-band.

- Bandwidth filter hanya perbedaan antara frekuensi cutoff atas dan bawah. Faktor bentuknya adalah rasio bandwidth diukur dengan menggunakan dua nilai redaman yang berbeda untuk menentukan frekuensi cutoff, misalnya, faktor bentuk 2:01 pada 30 / 3 dB berarti bandwidth diukur antara frekuensi pada redaman 30 dB adalah dua kali yang diukur antara frekuensi pada 3 dB redaman.

Ilustrasi sinyal yang disampel dengan bandpass signal-nya:

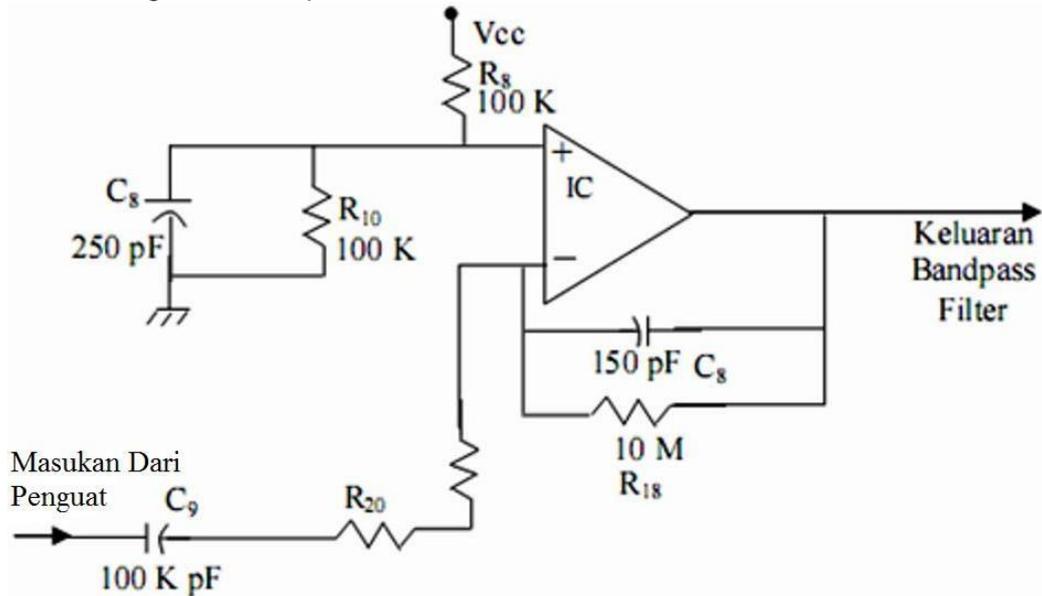


Gambar 2. Sinyal Hasil Sampel Dengan Bandpass Signal



Gambar 3. Contoh rangkaian bandpass filter

Contoh rangkaian bandpass filter:



Gambar 4. Contoh rangkaian bandpass filter.

Bandpass Noise

Noise yang terdapat pada sinyal bandpass sama saja dengan noise-noise pada sinyal yang lainnya. Hal ini sudah dibahas pada modul 10.

SNR dan Error Rate

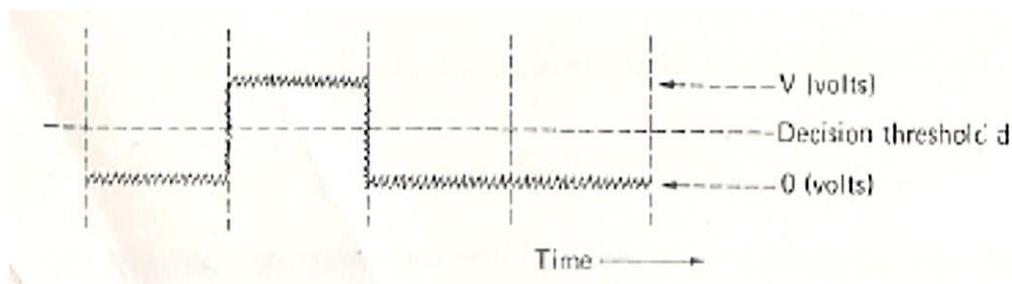
Hampir keseluruhan noise sinyal adalah hasil dari sejumlah gangguan yang tidak berhubungan satu sama lain. Thermal noise, shot noise dan crosstalk yang muncul akibat dari sistem transmisi yang berdekatan telah mendapatkan perhatian penuh. Ketiga noise tersebut dapat menimbulkan gangguan yang bersifat acak. Frekuensi relative dari munculnya amplitude sebuah noise x dapat didekati dengan persamaan distribusi gauss $p(x)$ sebagai berikut:

$$p(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp \left(-\frac{x^2}{2\sigma} \right)$$

di mana parameter σ adalah nilai amplitudo rata-rata dari noise signal $n(t)$.

Efek noise pada sistem transmisi digital agak berbeda dengan efek noise pada sistem komunikasi lain. Pada transmisi digital, yang perlu diketahui adalah apakah sebuah pulsa ada atau tidak ada selama interval waktu T yang telah ditentukan, Bentuk gelombang menjadi tidak signifikan untuk diamati. Sehingga dapat disimpulkan bahwa kemungkinan munculnya kontribusi noise yang signifikan selama perioda/interval tertentu perlu dianalisa.

Suatu batas keputusan d harus ditentukan sehingga menunjukkan bahwa sebuah pulsa hadir/ada jika amplitudonya melewati batas tersebut. Suatu pesan digambarkan dalam domain waktu serta efek noise-nya diperlihatkan pada pada gambar 5.



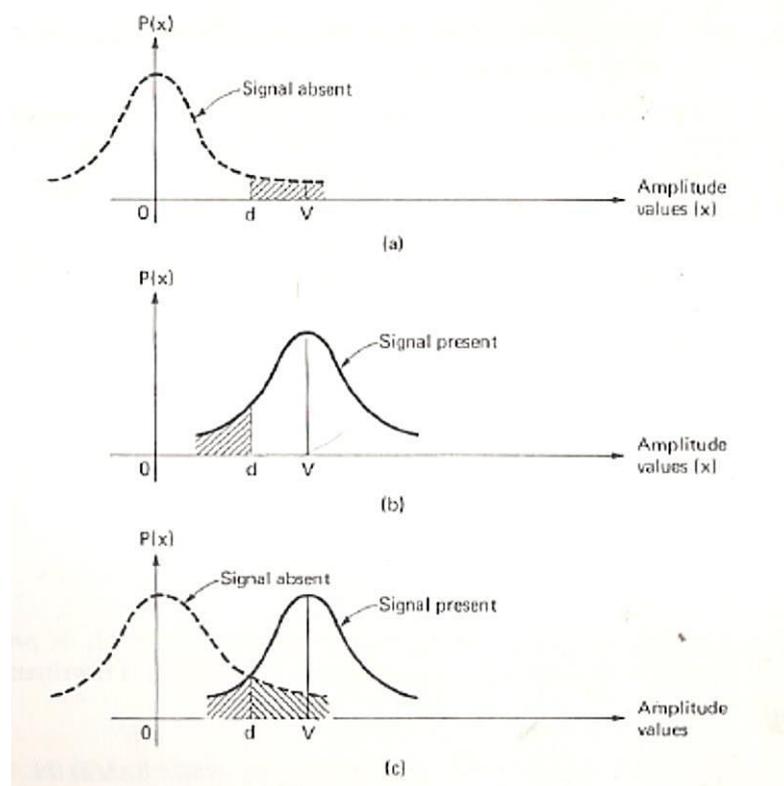
Gambar 5. Deteksi pulsa biner

Fungsi kepadatan peluang untuk kondisi di mana suatu pulsa muncul atau tidak diperlihatkan pada gambar 6a. dan 6b. Kondisi di mana suatu pulsa tidak muncul terdapat pada daerah yang diarsir pada kurva probability. Meskipun pulsa tidak ada tetapi disana ada kemungkinan bahwa terjadinya interpretasi yang salah. Kondisi di mana sebuah pulsa ada dan interpretasi yang salah terjadi, seperti terlihat pada gambar 6b, disebut *false dismissal*.

Nilai amplitude pulsa yang biasa terjadi ketika suatu pulsa ada adalah V , lebih besar atau lebih kecil mungkin terjadi akibat munculnya efek Gaussian noise. Ketika pulsa yang diterima lebih kecil dari d maka interpretasi yang salah terjadi, dan kemungkinan ini diberikan oleh daerah yang diarsir pada gambar 6b.

Kemungkinan total error total ditunjukkan pada dua daerah yang diarsir pada gambar 6a dan 6b. dan penjumlahan dari dua area yang diarsir tersebut akan mencapai nilai terendah ketika persamaan berikut terpenuhi:

$$d = \frac{V}{2}$$



Gambar 6. Fungsi kepadatan peluang, yang berkaitan dengan hadirnya pulsa.

Pada sistem yang sebenarnya, ada dua faktor yang memengaruhi posisi ideal dari threshold, kedua faktor tersebut adalah:

1. Pulsa yang terkirim dianggap pulsa biner yang memiliki amplitude tetap V , durasi T , dalam analisa diatas. Pada faktanya perlakuan secara umum valid untuk pulsa dari bentuk apapun yang diganggu oleh noise Gaussian. Disini kita tidak memperhitungkan efek echo, interferensi intersymbol atau error penentuan threshold.
2. Kita sudah menjelaskan bahwa sinyal digital dikwantisasi baik pada amplitudonya maupun waktunya. Analisa diatas tidak memperhitungkan variable waktu.

Jika kita memperlakukan semua factor-faktor diatas lebih ketat maka kita akan menghasilakn threshold yang optimum, yaitu sekitar 44 sampai 46 % dari tinggi maximum pulsa.

Dalam terminology perbandingan power sinyal terhadap noise (SNR), power sinyal rata-rata S untuk sinyal biner yang mempunyai nilai sebesar V volts (pulsa dalam kondisi ada), dan 0 volts (pulsa tidak ada), atau dapat dituliskan dalam persamaan berikut:

$$S = \frac{V^2}{2}$$

Dengan substitusi akan didapatkan:

$$S = 2d^2$$

Rata-rata power noise N diberikan oleh definisi sebagai,

$$N = \sigma^2$$

Jadi rasio power sinyal terhadap noise diberikan oleh,

$$SNR = 2(d/\sigma)^2$$

Rasio SNR dan error rate (multilevel)

Hampir seluruh sistem transmisi menggunakan sinyal multilevel orde tinggi dibandingkan pulsa biner on-off. Sinyal transmisi untuk tipe ini dapat menyebabkan pemilihan energi SNR yang cocok untuk bandwidth yang ada sesuai dengan limit yang diberikan oleh hukum Hartley-shannon.

Contoh, apabila terdapat sistem transmisi pulsa yang menggunakan sejumlah L level kode transmisi, kemudian diasumsikan bahwa level terjadi dengan probability error yang sama, dan secara rata terbedai antara $+V$ dan $-V$ volts.

Maka pemisahan antar level Δv akan diberikan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\frac{2V}{L-1}$$

Suatu error akan terjadi pada level yang paling tinggi dan level paling bawah setiap kali amplitude noise melewati level $\Delta v/2$. Namun, error juga dapat terjadi pada level

pertengahan, yaitu ketika amplitude noise melewati $\Delta v/4$. Dalam kondisi ini, total probability error untuk transmisi multilevel P_{ME} harus dihitung dua tahap sebagai berikut:

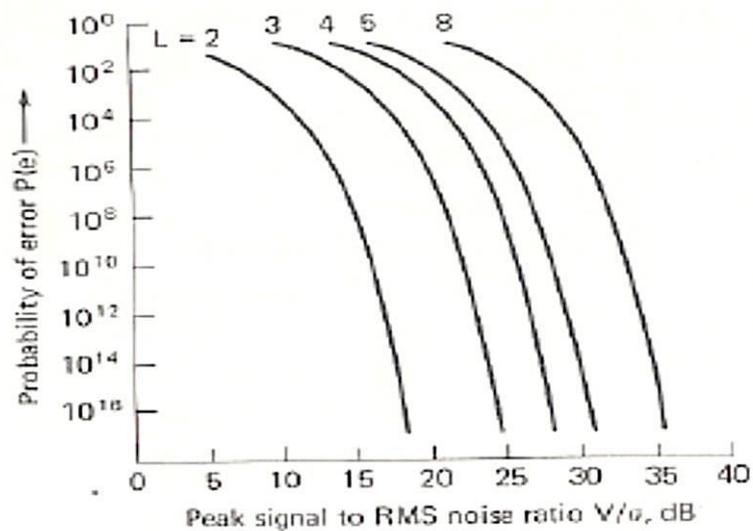
$$P_{ME} = \Sigma P_{OE} + P_{1E}$$

Di mana P_{OE} = probability error pada level yang paling luar dan P_{1E} = probability error pada level pertengahan (intermediet)

Dengan menggunakan argument yang sama seperti diatas maka dapat diperlihatkan bahwa:

$$P_{ME} = 2 \frac{L-1}{L} \operatorname{erfc} \frac{1}{L-1} \frac{V}{2\sigma}$$

Persamaan di atas digambarkan pada gambar di bawah ini dalam bentuk rasio puncak sinyal terhadap sinyal noise rms V/σ diukur dalam dBs.



Gambar 7. Probability error sebagai fungsi dari rasio SNR untuk beberapa level transmisi berbeda L.

Tugas

1. Jelaskan yang anda pahami tentang bandpass signal!
2. Jelaskan bagaimana karakteristik bandpass filter yang mampu didapatkan dalam dunia sebenarnya!
3. Jelaskan eksternal dan internal noise yang mungkin muncul pada bandpass signal!

Daftar Pustaka

Couch, Leon, (2012). *Digital and analog communication systems*. Prentice Hall.

Hsu, Hwei, (2005). *Komunikasi analog dan digital*. Jakarta: Erlangga.

Lathi, B.P, (1998). *Modern digital and analog communication system*. Oxford University Press. 3rd Edition..

Roden, Martin, (1996). *Analog and digital communication systems*. Prentice Hall.

Simon S. Haykin and Michael Moher, (2006). *An introduction to analog and digital communications*. Wiley.



MODUL STANDAR PERKULIAHAN

Telekomunikasi Analog & Digital

Modulasi Digital

Fakultas
FAKULTAS TEKNIK

Program Studi
TEKNIK ELEKTRO

Tatap Muka
13

Kode MK
14045

Disusun Oleh
Ketty Siti Salamah, ST, MT.

Abstract

Dalam modulasi digital, suatu sinyal analog di-modulasi berdasarkan aliran data digital. Perubahan sinyal pembawa dipilih dari jumlah terbatas simbol alternatif. Teknik yang umum dipakai adalah ASK, FSK, dan FSK.

Kompetensi

Mahasiswa/i dapat mengerti dan menjelaskan modulasi-modulasi digital.

·
·

Pembahasan

Pendahuluan

Modulasi adalah teknik untuk mengatur parameter sinyal carrier (sinyal pembawa) yang memiliki frekuensi tinggi yang bersesuaian dengan sinyal pemodulasi (sinyal informasi) yang memiliki frekuensi lebih rendah. Tujuannya adalah agar sinyal pemodulasi tersebut dapat ditransmisikan melalui transmisi fisik (kabel, optical fiber) maupun transmisi udara (gelombang radio).

Beberapa keuntungan proses modulasi adalah:

- Meminimalkan terjadinya interferensi sinyal karena frekuensi yang berdekatan.
- Memudahkan implementasi antena.
- Sinyal termodulasi dapat di-multiplexing sehingga dapat ditransmisikan melalui sebuah saluran transmisi.
- Memudahkan proses pemancaran sinyal.
- Mempermudah sisi penerima untuk menerima sinyal yang sesuai dengan bentuk aslinya.

Telah disebutkan bahwa modulasi adalah proses mengubah-ubah parameter sinyal carrier, oleh karena itu, untuk modulasi digital, sinyal carrier tersebut akan dirubah sehingga bentuknya memiliki ciri dari sinyal digital/bit stream yang bernilai 0 atau 1. Dengan mengamati sinyal carrier-nya, dapat diketahui urutan bit stream beserta clock-nya (contoh: timing & sinkronisasi).

Dilihat dari jenis parameter yang diubahnya, modulasi digital dapat dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu:

1. ASK (Amplitude Shift Keying) → Dengan mengubah-ubah amplitudo.
2. FSK (Frequency Shift Keying) → Dengan menentukan frekuensi tertentu untuk sinyal digital 1 atau 0.
3. PSK (Phase Shift Keying) → Dengan menentukan beda fasa dan nilai tegangan tertentu untuk sinyal digital 1 atau 0.

ASK (Amplitude Shift Keying)

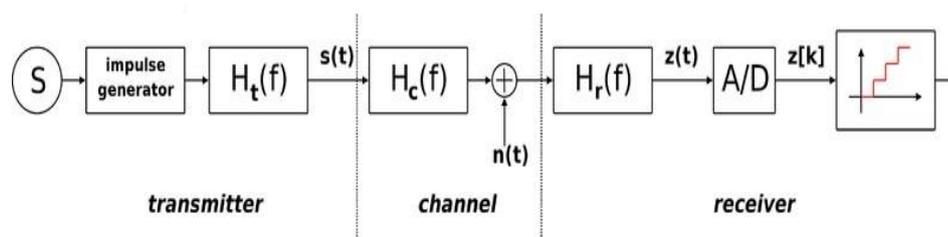
ASK adalah suatu bentuk modulasi yang merepresentasikan sinyal digital sebagai variasi amplitudo dari sinyal carrier. Dengan kata lain, pengiriman sinyal digital-nya bergantung pada pergeseran amplitudo (dengan merubah-ubah amplitudo). Amplitudo pembawa sinyal analog bervariasi sesuai dengan bit stream-nya (frekuensi dan fase tetap konstan). Bit stream 1 atau 0 dapat dianalogikan oleh sinyal carrier sebagai ON atau OFF. Dalam sinyal termulasi, logika 1 diwakili oleh adanya carrier, atau keadaan ON, dan logika 0 diwakili oleh tidak adanya carrier, sehingga memberikan keadaan OFF.

ASK adalah modulasi yang linier dan sensitif terhadap distorsi, kondisi propagasi pada rute yang berbeda pada jaringan PSTN, dll. Teknik ASK biasanya digunakan untuk mengirimkan data digital melalui serat optik. Sebagai contoh, untuk pemancar LED, bit 1 diwakili oleh adanya pulsa pendek cahaya dan bit 0 dengan tidak adanya cahaya. Pemancar laser biasanya mampu memancarkan tingkat cahaya rendah. Tingkat rendah ini mewakili bit 0, sementara lightwave dengan amplitudo yang lebih tinggi mewakili bit 1.

Bentuk yang paling umum dan sederhana dari ASK adalah sebuah saklar, yang menggunakan kehadiran gelombang pembawa untuk menunjukkan bit 1 dan bit 0 sebagai penanda tidak adanya gelombang pembawa. Jenis modulasi on-off keying ini biasa digunakan pada frekuensi radio untuk mengirimkan kode Morse.

Skema pengkodean yang lebih canggih telah dikembangkan yang merepresentasikan data dalam kelompok dengan menggunakan tingkat amplitudo tambahan. Sebagai contoh, tingkat pengkodean skema empat mampu mewakili dua bit pada setiap terjadinya perubahan amplitudo. Contoh lain adalah skema tingkat delapan yang dapat mewakili tiga bit, dan sebagainya. Beberapa bentuk ASK memerlukan SNR yang tinggi untuk pemulihannya.

Berikut ini adalah diagram yang menunjukkan model yang ideal untuk sistem transmisi menggunakan modulasi ASK:



Gambar 1. Sistem Modulasi ASK

Komponen yang membentuk ketiga blok pada diagram di atas adalah sebagai berikut:

Blok pertama merupakan pemancar, blok kedua adalah model linier efek saluran/kanal, dan blok ketiga menunjukkan struktur penerima. Keterangan notasi-nya adalah sebagai berikut:

- $h_i(f)$ adalah sinyal carrier untuk transmisi
- $h_c(f)$ adalah respons impuls dari saluran
- $n(t)$ adalah noise diperkenalkan oleh channel
- $h_r(f)$ adalah filter pada penerima
- L adalah jumlah tingkat yang digunakan untuk transmisi
- T_s adalah waktu antara generasi dari dua simbol

Pada modulasi ASK ini, kehadiran frekuensi sinyal carrier tergantung pada hadirnya sinyal informasi digital. Keuntungannya adalah kecepatan digital (bit per baud) menjadi lebih besar.

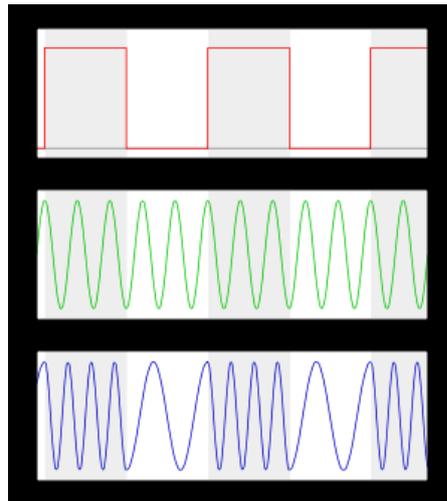
Sedangkan kesulitannya dalam mengaplikasikan ASK adalah dalam menentukan level acuan. Hal ini disebabkan setiap sinyal yang diteruskan melalui saluran transmisi jarak jauh akan selalu terpengaruh oleh noise, redaman, dan distorsi lainnya. Oleh karena itu, ASK hanya menguntungkan bila aplikasikan untuk transmisi jarak dekat saja. Kesimpulannya adalah noise dan distorsi harus diperhitungkan dengan benar pada saat mengaplikasikan ASK.

FSK (Frequency Shift Keying)

FSK adalah skema modulasi di mana frekuensi tertentu menyatakan bit stream tertentu, contoh: frekuensi 1500 Hz merepresentasikan bit 1, dan frekuensi 2500 Hz merepresentasikan bit 0. Dalam FSK, besarnya frekuensi sinyal carrier berubah-ubah tergantung dari ada atau tidaknya sinyal informasi digital.

Teknik FSK yang paling sederhana adalah *Bit FSK* (BFSK). BFSK secara harafiah berarti menggunakan sepasang frekuensi diskrit untuk mengirimkan digit biner atau bit stream (bit 0 atau 1). Dengan menggunakan BFSK, digit biner "1" disebut frekuensi tanda dan digit biner "0" disebut frekuensi ruang.

Contoh sinyal yang menggunakan modulasi FSK dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2. Contoh Modulasi FSK

Modulasi FSK biasanya diaplikasikan pada komunikasi data dengan bit rate (kecepatan transmisi) rendah, contohnya pada teknologi Telex dan Modem-Data dengan bit rate yang kurang dari 2.4 kbps.

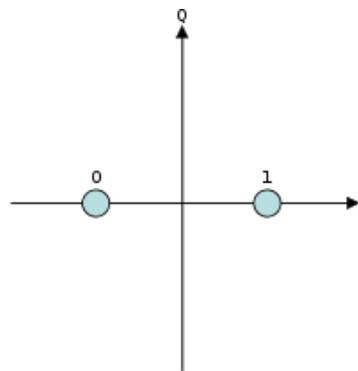
PSK (Phase Shift Keying)

PSK adalah skema modulasi di mana beda fasa dan tegangan tertentu akan merepresentasikan bit tertentu. Contoh: tegangan 5 volt dan beda fasa 90° merepresentasikan bit 1, tegangan 1 volt dan beda fasa 270° merepresentasikan bit 1. Untuk pengaplikasian yang lebih rumit, perbedaan fasa yang dipergunakan bisa lebih banyak lagi.

Setiap skema modulasi digital menggunakan hingga beberapa sinyal yang berbeda untuk mewakili bit stream. PSK menggunakan sejumlah fase yang terbatas, di mana masing-masing fase diberi pola digit bit yang unik. Contoh: setiap fase di-encode dengan jumlah bit yang sama. Setiap pola bit membentuk simbol yang diwakili oleh fase tertentu. Demulator dirancang khusus untuk mengerti simbol-set yang digunakan oleh modulator. Demodulator berfungsi untuk menentukan fase dari sinyal yang diterima dan memetakan kembali ke simbol yang diwakilinya, sehingga mampu memulihkan data sesuai yang asli. Hal ini mengharuskan penerima untuk dapat membandingkan fase dari sinyal yang diterima menjadi sinyal referensi - sistem seperti ini disebut koheren (dan disebut sebagai CPSK).

Alternatif lain, daripada menggunakan pola-pola bit untuk mengatur fase gelombang, pola-pola bit tersebut dapat digunakan untuk mengubah fase dengan jumlah tertentu. Demodulator kemudian menentukan perubahan fase dari sinyal yang diterima daripada fase itu sendiri. Karena skema ini tergantung pada perbedaan antara fase yang berurutan, maka teknik ini disebut sebagai differential phase-shift keying (DPSK). DPSK secara signifikan lebih sederhana untuk diaplikasikan daripada PSK biasa karena tidak membutuhkan demodulator atau dengan kata lain sinyal yang diterima akan selalu sama dengan sinyal yang dikirimkan..

Contoh jenis PSK adalah Bit PSK (BPSK). Seperti dapat dilihat pada diagram berikut:



Gambar 3. Diagram contoh untuk BPSK

BPSK (juga kadang-kadang disebut PRK, Tahap Pemulihan Keying, atau 2-PSK) adalah bentuk sederhana dari PSK. Sistem ini menggunakan dua tahap yang dipisahkan oleh 180° . Sistem ini tidak mempedulikan di mana titik-titik konstelasi ditempatkan. Modulasi ini adalah yang paling kuat dari semua jenis PSK yang lain karena mengambil tingkat kebisingan tertinggi untuk membuat demodulator mencapai keputusan yang salah. Namun demikian, sistem ini hanya mampu memodulasi 1 bit / simbol sehingga tidak cocok untuk diaplikasikan pada aplikasi yang memiliki data-rate tinggi ketika bandwidth terbatas.

Implementasi

Bentuk umum untuk persamaan BPSK adalah sebagai berikut:

$$s_b(t) = \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos(2\pi f_c t + \pi(1 - i)), i = 0, 1.$$

Dalam bentuk tertentu, data bit sering disampaikan dengan sinyal berikut:

$$s_0(t) = \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos(2\pi f_c t + \pi) = -\sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos(2\pi f_c t)$$

Persamaan di atas untuk bit "0"

$$s_1(t) = \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos(2\pi f_c t)$$

Persamaan di atas untuk bit "1"

Di mana f_c adalah frekuensi gelombang-carrier.

Oleh karena itu, sinyal-ruang dapat diwakili oleh satu fungsi dasar

$$\phi(t) = \sqrt{\frac{2}{T_b}} \cos(2\pi f_c t)$$

di mana 1 adalah yang diwakili oleh $\sqrt{E_b}\phi(t)$ dan 0 diwakili oleh $-\sqrt{E_b}\phi(t)$.

Bit error rate

Bit error rate (BER) dari BPSK dalam AWGN dapat dihitung sebagai :

$$P_b = Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right) \text{ atau } P_b = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{E_b}{N_0}}\right)$$

Karena hanya ada satu bit per simbol, maka persamaan di atas juga merupakan simbol error rate.

Tugas

1. Jelaskan bagaimana proses modulasi untuk sinyal digital!
2. Jelaskan perbedaan mendasar antara ASK, FSK, dan PSK!
3. Mengapa BPSK dikatakan sebagai bentuk modulasi yang paling baik? Jelaskan dengan kata-kata sendiri!

Daftar Pustaka

- Couch, Leon, (2012). *Digital and analog communication systems*. Prentice Hall.
- Hsu, Hwei, (2005). *Komunikasi analog dan digital*. Jakarta: Erlangga.
- Lathi, B.P, (1998). *Modern digital and analog communication system*. Oxford University Press. 3rd Edition..
- Roden, Martin, (1996). *Analog and digital communication systems*. Prentice Hall.
- Simon S. Haykin and Michael Moher, (2006). *An introduction to analog and digital communications*. Wiley.



MODUL STANDAR PERKULIAHAN

Telekomunikasi Analog & Digital

Modulasi Gabungan (Hybrid)

Fakultas
FAKULTAS TEKNIK

Program Studi
TEKNIK ELEKTRO

Tatap Muka
14

Kode MK
14045

Disusun Oleh
Ketty Siti Salamah, ST, MT.

Abstract

Modulasi Hybrid adalah teknik modulasi yang merupakan gabungan dari dua atau lebih teknik modulasi yang bertujuan untuk menggabungkan keunggulan masing-masing teknik. Pulse-code modulation (PCM), Pulse-width modulation (PWM), dan Pulse-amplitude modulation (PAM) adalah contoh dari modulasi gabungan/hybrid.

Kompetensi

Mahasiswa/i dapat mengerti dan menjelaskan beberapa konsep modulasi gabungan/hybrid yaitu Pulse-code modulation (PCM), Pulse-width modulation (PWM), dan Pulse-amplitude modulation (PAM).

.
.

Pembahasan

Pendahuluan

Pada modulasi pulsa, sinyal yang membawa informasi berbentuk deretan pulsa-pulsa. Pembawa ini kemudian di-modulasi oleh sinyal informasi sedemikian hingga parameternya akan berubah bergantung pada besarnya amplitudo sinyal informasi. Beberapa jenis modulasi pulsa diantaranya adalah:

1. PCM (Pulse Code Modulation)
2. PWM (Pulse Width Modulation)
3. PAM (Pulse Amplitude Modulation)

Beberapa keunggulan modulasi pulsa dibandingkan yang lain adalah:

1. Mampu tahan terhadap derau.
2. Komponen-nya lebih murah.
3. TDM (Time Division Multiplexing) dengan sinyal lain dapat dilakukan.
4. Dapat menempuh jarak transmisi yang lebih jauh.
5. Dapat menyimpan deretan pulsa digital.

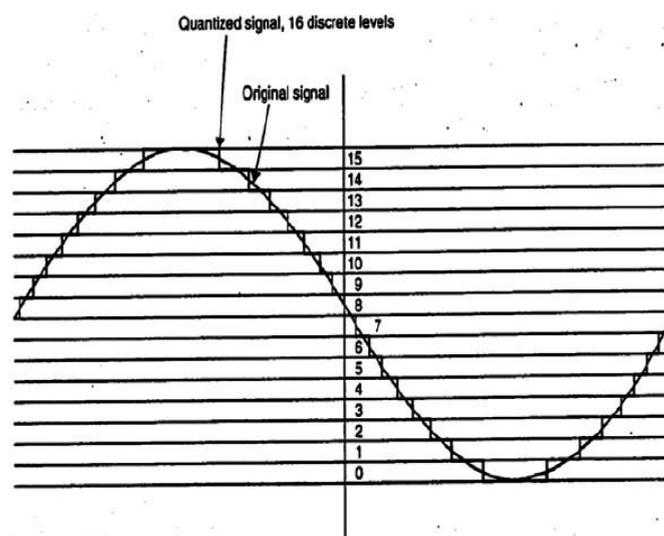
Penjelasan lebih lengkap mengenai PCM, PWM, dan PAM akan diberikan sebagai berikut:

PCM (Pulse Code Modulation)

- Sinyal informasi akan dicuplik dan juga dikuantisasi sehingga membuat derau tidak terlalu memengaruhi bentuk sinyal (lebih tahan terhadap derau).
- Setelah kedua proses di atas, dilanjutkan proses penyandian (coding) yang menggunakan kode biner. Proses ini akan membentuk sinyal PCM. Sinyal ini dapat direpresentasikan dengan pulsa-pulsa yang menyatakan kode-kode biner untuk setiap hasil cuplikan.
- Kuantisasi merupakan proses pengelompokan sinyal yang berada pada selang-selang (interval) tertentu. Istilah untuk besarnya selang kuantisasi disebut juga step size. Faktor yang memengaruhi banyaknya selang adalah banyaknya bit yang akan digunakan untuk proses penyandian. Sebagai contoh, sebuah komponen A/D

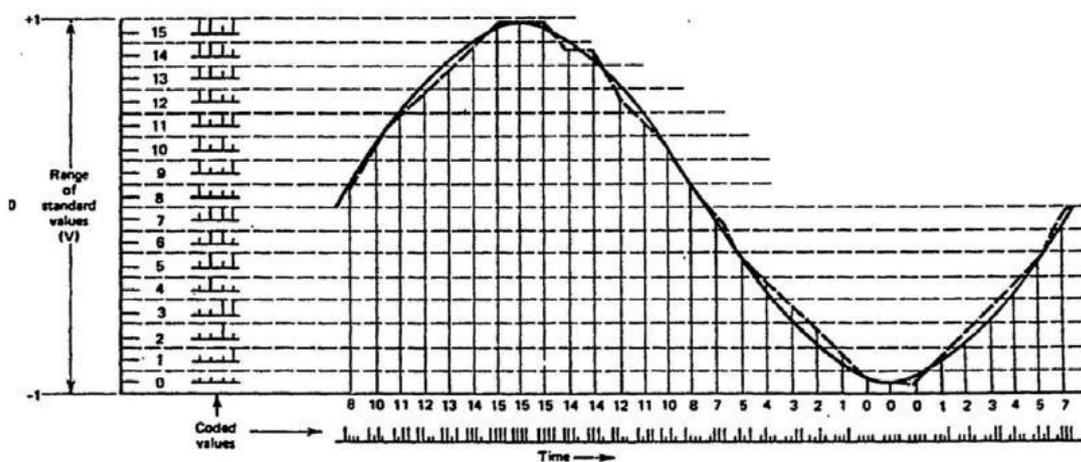
memiliki jumlah bit sebesar n bit, maka sinyal analog akan dikuantisasikan sebanyak 2^n selang. Ilustrasi bagaimana kuantisasi sinyal analog sebanyak 16 selang (jumlah bit = $n = 4$) dapat dilihat pada gambar di bawah.

- Telah disebutkan bahwa banyaknya jumlah selang ditentukan oleh jumlah bit yang akan digunakan pada proses penyandian, sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin besar jumlah bit n , maka semakin besar pula jumlah selang yang digunakan. Jumlah selang main besar, maka besar selang akan menjadi semakin kecil. Seiring dengan semakin kecilnya selang interval, maka proses pemodulasian akan menjadi lebih teliti, sehingga sinyal yang diperoleh akan merepresentasikan sinyal aslinya.



Kuantisasi sinyal analog menjadi 16 selang (interval)

Gambar 1. Hasil Kuantisasi Sinyal Analog Menjadi Memiliki Interval 16



Proses pembentukan sinyal PCM dengan penyandian 4 bit

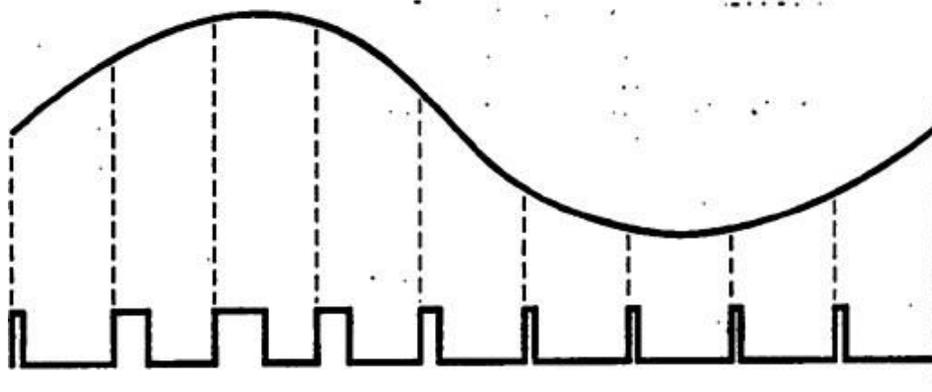
Gambar 2. Proses Pembentukan Sinyal PCM

- Contoh aplikasi yang menggunakan PCM adalah Compact Disc (CD) dan telepon digital.

PWM (Pulse Width Modulation)

- Pada teknik PWM, lebar pulsa sinyal carrier akan diubah-ubah sesuai dengan besarnya tegangan sinyal pemodulasi. Besar tegangan akan sebanding dengan lebar pulas yang dihasilkan, atau dengan kata lain, semakin besar tegangan sinyal pemodulasi maka pulsa yang dihasilkan akan semakin lebar.

Ilustrasi PWM dapat dilihat di gambar berikut:



Gambar 3. Ilustrasi Sinyal PWM

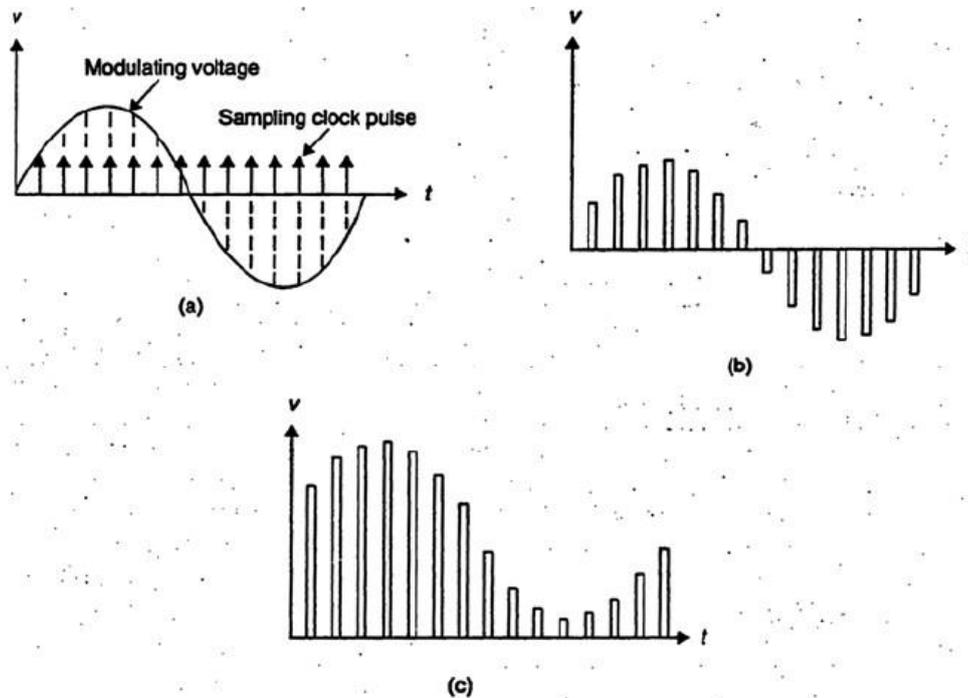
- PWM banyak digunakan untuk mengendalikan power supply ke devais-devais elektronik.

PAM (Pulse Amplitude Modulation)

- Konsep dasar PAM adalah mengubah amplitudo pembawa yang berupa deretan pulsa (diskrit) mengikuti bentuk amplitudo dari sinyal informasi yang akan dikirimkan
- Sinyal informasi yang dikirim tidak seluruhnya tapi hanya sampelnya saja (sampling sinyal).
- Pada teknik PAM, amplitudo dari pulsa-pulsa sinyal carrier akan dimodulasi oleh sinyal pemodulasi. Besar amplitudo pulsa-pulsa pembawa akan sebanding dengan besarnya amplitudo sinyal pemodulasi. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin besar amplitudo sinyal pemodulasi maka amplitudo pulsa pembawa akan menjadi semakin besar juga.

- Sinyal termodulasi PAM dapat dihasilkan dengan proses sampling. Proses sampling berarti mengalikan sinyal pencuplik dengan sinyal informasi. Hasil dari proses ini adalah pulsa pada saat pencuplikan yang besarnya sesuai dengan sinyal informasi.

Ilustrasi pembentukan sinyal PAM adalah sebagai berikut:



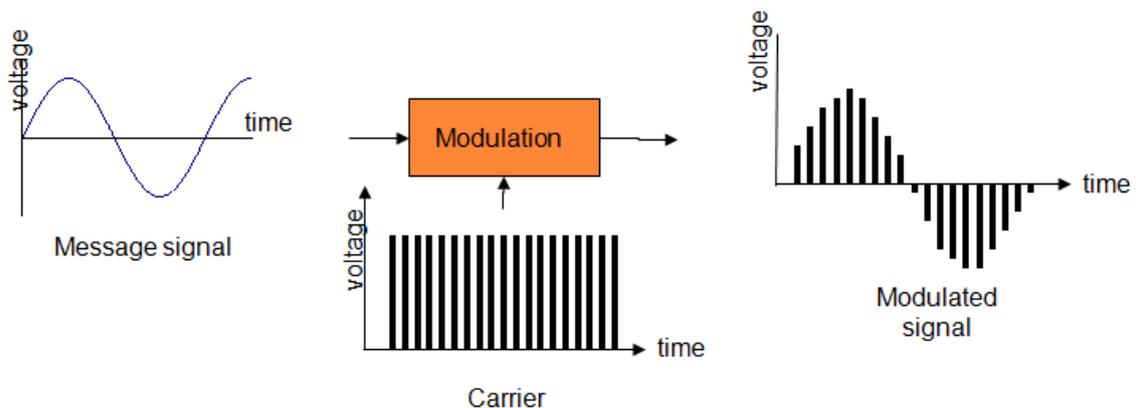
Gambar 4. Ilustrasi Proses PAM

Keterangan lebih lanjut adalah sebagai berikut:

4.a = adalah gambar sinyal asli.

4.b = adalah bentuk sinyal dengan PAM polaritas ganda.

4.c = adalah bentuk sinyal dengan PAM polaritas tunggal.



Gambar 5. Ilustrasi Proses PAM

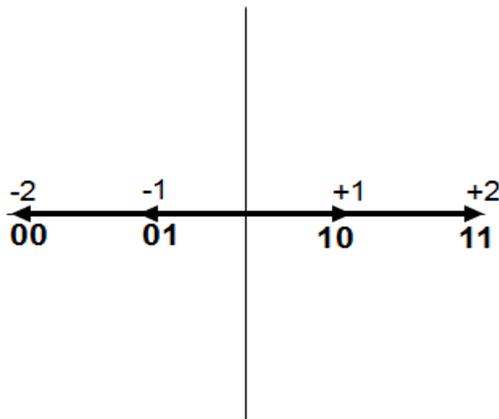
- Hal yang perlu diperhatikan pada proses modulasi ini adalah tidak boleh berkurangnya kandungan informasi pada sinyal pemodulasi. Untuk mencegah berkurangnya kandungan informasi, maka proses sampling memiliki syarat yang harus dipenuhi, yaitu harus dilakukan dengan frekuensi minimal dua kali frekuensi maksimum sinyal pemodulasi ($2.f_m$), syarat ini lazim disebut sebagai syarat Nyquist. Contohnya, jika frekuensi dari sinyal pencuplik adalah sebesar f_s dan frekuensi maksimum sinyal pemodulasi adalah sebesar f_m , maka syarat Nyquist untuk dapat dilakukan proses sampling adalah:

$$f_s \geq 2.f_m$$

- Contoh penggunaan PAM ada pada beberapa Ethernet.

4-Pulse Amplitude Modulation (4-PAM)

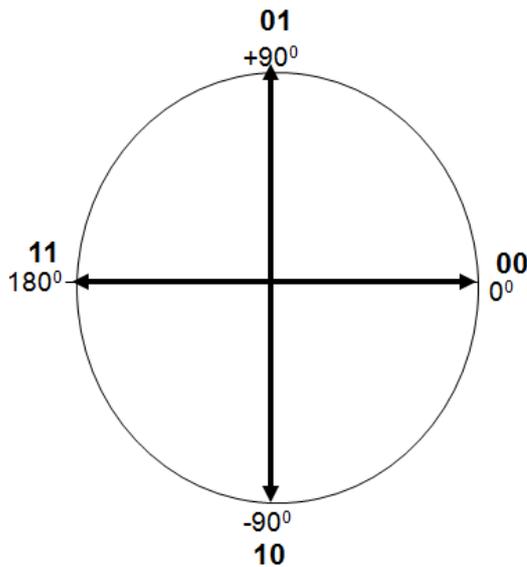
- Modulasi 4-PAM berarti sinyal direpresentasikan dengan 4 nilai besaran amplitudo dari gelombang carreier. Ilustrasi sinyal-nya adalah:



Bit value	Amplitude
00	-2
01	-1
10	+1
11	+2

- Bentuk lain dari modulasi 4-PAM adalah sinyal direpresentasikan dengan 4 status pergeseran phase dari gelombang pembawa. Ilustrasinya adalah:



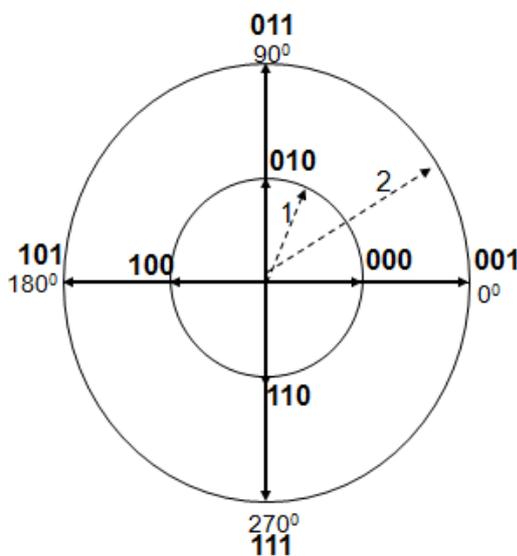


Bit value	Phase shift
00	0°
01	$+90^\circ$
10	-90°
11	180°

Quadrature Amplitude Modulation (QAM)

- Modulasi QAM adalah modulasi yang merupakan kombinasi antara amplitude modulation (AM) dan phase shift keying (PSK).
- Sinyal pada QAM direpresentasikan dalam kombinasi besaran amplitudo (2 besaran) dan pergeseran phase (4 status).
- Hal ini memungkinkan kecepatan yang lebih tinggi untuk bandwidth yang ditentukan. Dan juga Lebih tahan terhadap noise.

Ilustrasi dari QAM adalah:



Bit value	Amplitude	Phase shift
000	1	0°
001	2	0°
010	1	90°
011	2	90°
100	1	180°
101	2	180°
110	1	270°
111	2	270°

Contoh:

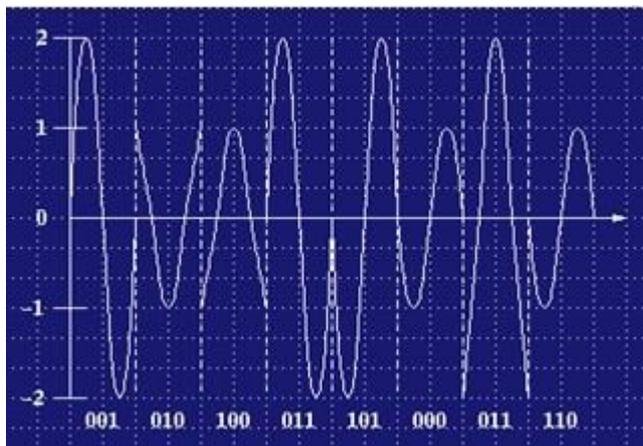
Terdapat bit stream sinyal sebagai berikut : 001010100011101000011110

Kemudian dibagi dalam kelompok, masing-masing 3 bit: 001-010-100-011-101-000-011-110

Tabel perubahan amplitudo dan phase:

Bit value	Amplitude	Phase shift
001	2	0°
010	1	90°
100	1	180°
011	2	90°
101	2	180°
000	1	0°
011	2	90°
110	1	270°

Bentuk gelombang modulasi:



Tugas

1. Jelaskan bagaimana proses dari modulasi pulsa!
2. Jelaskan mengapa PCM lebih kebal terhadap derau dibandingkan modulasi yang lain!
3. Jelaskan hubungan antara jumlah bit yang digunakan untuk proses penyandian dengan banyaknya interval kuantisasi pada teknik PCM!
4. Jelaskan cara agar kandungan informasi pada sinyal pemodulasi pada teknik PAM tidak boleh berkurang!

Daftar Pustaka

- Couch, Leon, (2012). *Digital and analog communication systems*. Prentice Hall.
- Hsu, Hwei, (2005). *Komunikasi analog dan digital*. Jakarta: Erlangga.
- Lathi, B.P, (1998). *Modern digital and analog communication system*. Oxford University Press. 3rd Edition..
- Roden, Martin, (1996). *Analog and digital communication systems*. Prentice Hall.
- Simon S. Haykin and Michael Moher, (2006). *An introduction to analog and digital communications*. Wiley.
- Susilawati, Indah (2009). *Kuliah 5 – Modulasi Pulsa*. Universitas Mercu Buana. Jakarta.



MODUL STANDAR PERKULIAHAN

Telekomunikasi Analog & Digital

Lanjutan Modulasi Gabungan (Hybrid)

Fakultas
FAKULTAS TEKNIK

Program Studi
TEKNIK ELEKTRO

Tatap Muka
15

Kode MK
14045

Disusun Oleh
Ketty Siti Salamah, ST, MT

Abstract

Modulasi Hybrid adalah teknik modulasi yang merupakan gabungan dari dua atau lebih teknik modulasi yang bertujuan untuk menggabungkan keunggulan masing-masing teknik. Pulse-position modulation (PPM) dan Pulse-density modulation (PDM) adalah contoh dari modulasi gabungan/hybrid.

Kompetensi

Mahasiswa/i dapat mengerti dan menjelaskan konsep modulasi gabungan/hybrid yaitu Pulse-position modulation (PPM) dan Pulse-density modulation (PDM).

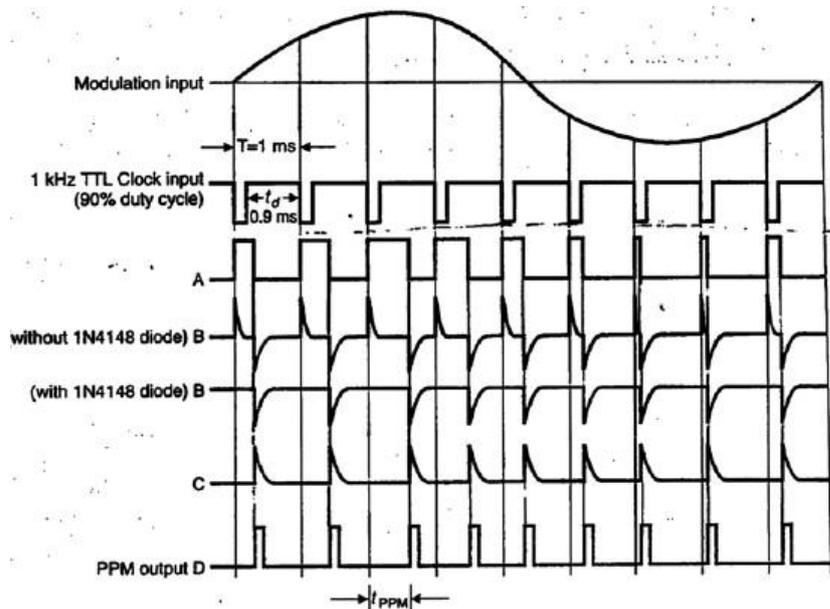
.
.

Pembahasan

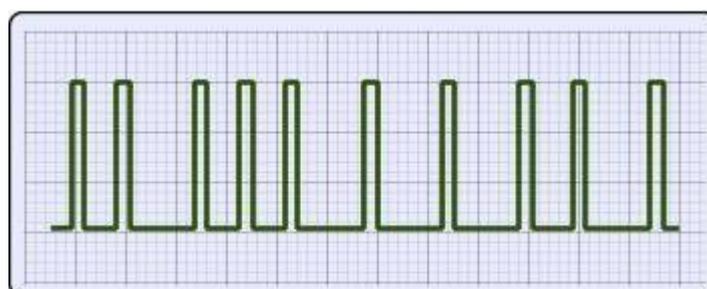
PPM (Pulse Position Modulation)

- Modulasi Pulse Position Modulation (PPM) adalah modulasi pulsa yang mengubah-ubah posisi pulsa dari posisi tak termodulasinya. Perubahan posisi pulsa harus sesuai dengan besarnya tegangan sinyal pemodulasi. Pada proses PPM, semakin besar tegangan sinyal pemodulasi, maka posisi pulsa PPM-nya menjadi semakin jauh dari posisi pulsa tak termodulasinya.

Ilustrasi dari PPM dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



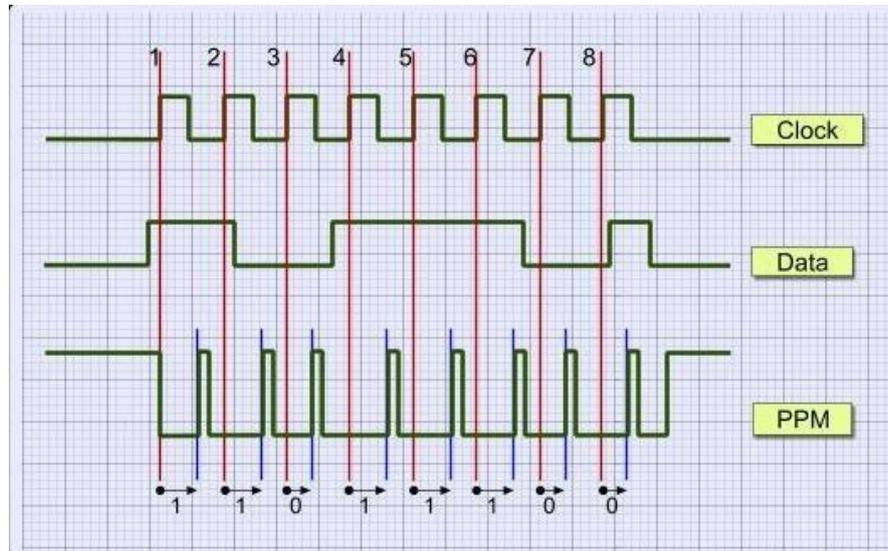
Gambar 1. Ilustrasi Sinyal PPM



Gambar 2. Ilustrasi Sinyal PPM-2

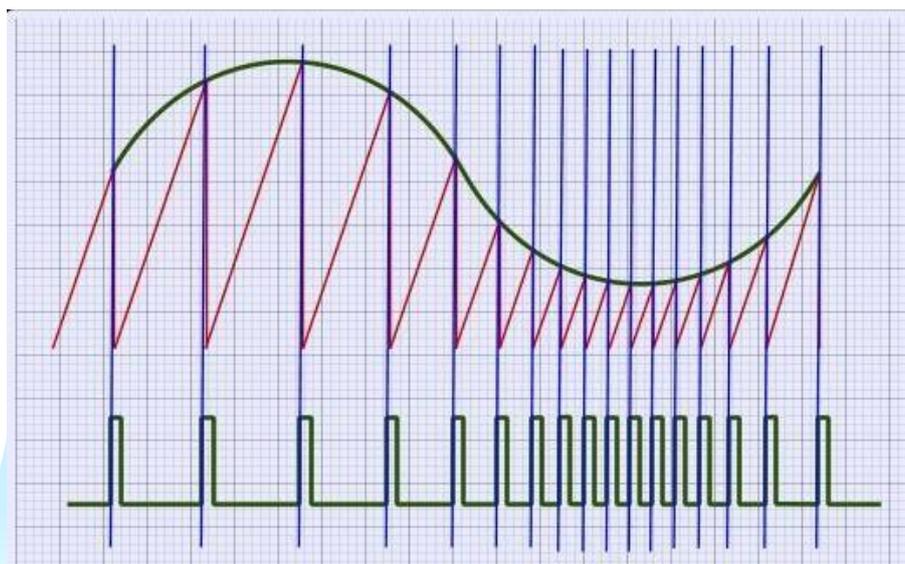
- Dari gambar ke-dua di atas dapat dilihat bahwa PPM mentransmisikan data dengan pulsa-pulsa yang pendek. Semua pulsa tersebut terlihat memiliki amplitude yang sama, hanya saja delay di antara tiap-pulsa berubah-ubah.
- Memodulasi sinyal digital ke posisi pulsa sangat mudah. Jika diasumsikan durasi antara pulsa akan merepresentasikan bit 1 atau 0. Kemudian durasi yang panjang

direpresentasikan dengan 1, sementara durasi pendek direpresentasikan dengan 0. Durasi ini tidak standar untuk semua sistem, dapat bervariasi tergantung dari kebutuhan sistem. Contoh, sebuah remote control IR TV keluaran Sony menggunakan PPM. Delay 1.2 ms merepresentasikan bit 0, dan delay 1.8 ms merepresentasikan bit 1. Berikut adalah ilustrasi dari 8-bit transmisi data remote control tersebut:



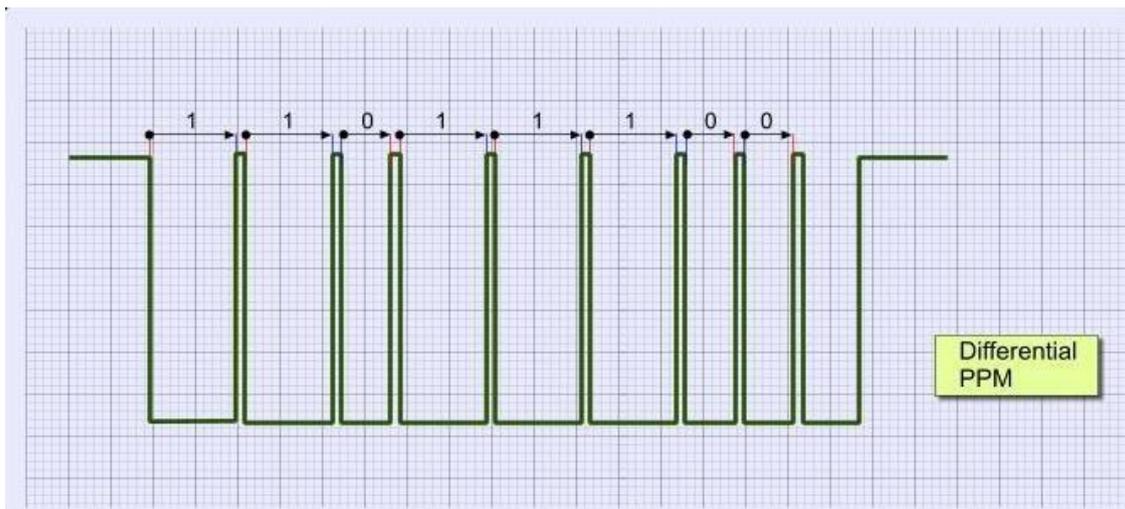
Gambar 3. Ilustrasi 8-Bit Transmisi Data Remote Control

- Proses encoding dari sebuah sinyal analog dalam PPM adalah dengan membandingkan sinyal analog tersebut dengan sebuah gelombang berbentuk gergaji. Kemudian ditetapkan seperti berikut: Jika setiap amplitudo dari kedua gelombang tersebut sama, maka pulsa-nya akan ditransmisikan. Ilustrasinya adalah sebagai berikut:



Gambar 4. Ilustrasi Proses Enkoding Dalam PPM

- Kesulitan utama apabila ingin mengimplementasikan PPM adalah sisi penerima harus tersinkronisasi sehingga dapat menyelaraskan local clock dengan awal dari setiap simbol. Oleh karena itu, terkadang modulasi ini diimplementasikan sebagai *differential pulse-code modulation*. Differential pulse-code modulation berarti setiap posisi pulsa akan di-encode terhadap pulsa sebelumnya, sehingga sisi penerima hanya perlu membandingkan waktu kedatangan tiap-tiap pulsa tersebut. Ilustrasi dari differential pulse-code modulation dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 5. Ilustrasi Differential PPM

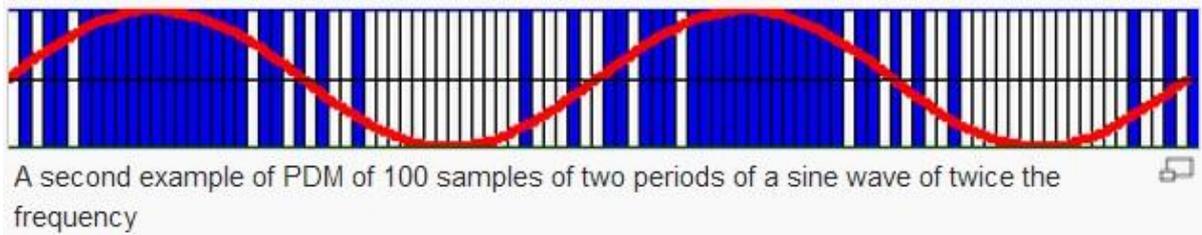
- Satu lagi kelemahan PPM adalah modulasi ini sensitif terhadap gangguan berupa interferensi multipath. Interferensi multipath ini muncul pada kanal sehingga sinyal yang diterima akan terdiri dari beberapa gema dari sinyal yang dikirimkan. Hal ini tentu akan mempersulit dalam penentuan posisi pulsa yang sebenarnya karena informasi-informasi tersebut di-encode sesuai dengan waktu kedatangannya. Metode yang digunakan untuk mengatasi interferensi multipath ini adalah dengan mengandalkan proses sinkronisasi yang baik sehingga memungkinkan untuk menentukan rentang posisi di mana munculnya gema yang mengganggu.
- Aplikasi yang menggunakan PPM pertama digunakan di tahun 1960an, sebagai radio kontrol dari model pesawat terbang, perahu, dan mobil. Keuntungan menggunakan PPM adalah peralatan elektronik untuk mendekod sinyal sangat sederhana, sehingga unit dekoder-nya juga kecil dan sederhana.

Contoh:

Fungsi sinus dengan dua perioda dan memiliki frekuensi yang lebih tinggi merepresentasikan:

01011011111111111111101101010010000000000001000100110111011111111111111101101010010000000000000100101.

Ilustrasinya:

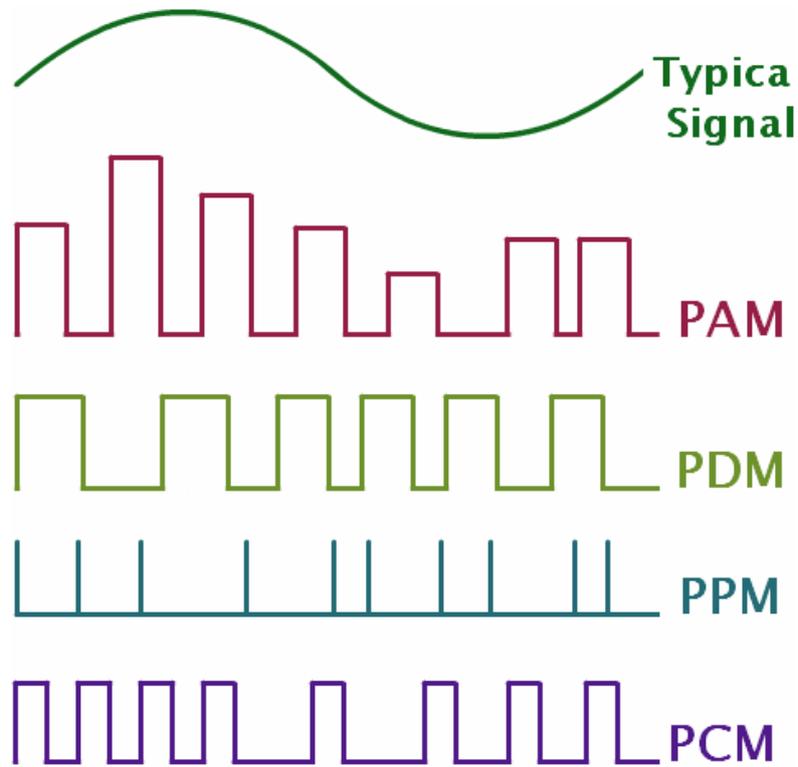


Gambar 7 Contoh Sinyal PDM Pada 2 Periode Sinyal Sinusoidal

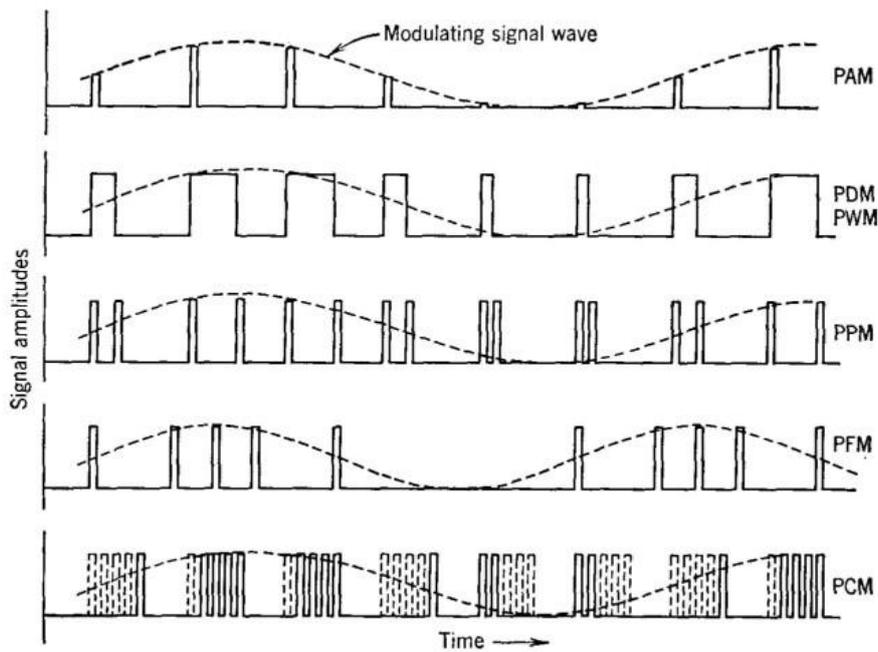
- Pada modulasi PDM, puncak atas gelombang sinus berarti kerapatan bitstream 1 yang tinggi, sedangkan puncak bawah gelombang sinus berarti kerapatan bitstream 1 yang rendah.
- Bitstream PDM di-encode dari sebuah sinyal analog melalui proses modulasi yang bernama modulasi delta-sigma. Modulasi delta-sigma menggunakan 1 bit quantizer yang akan membangkitkan bit 1 atau 0 tergantung dari amplitudo sinyal analognya. Umumnya ditentukan bahwa bit 1 merepresentasikan sinyal naik sedangkan bit 0 merepresentasikan sinyal turun.
- Proses untuk men-dekode sinyal PDM menjadi sinyal analog dengan cara melewati sinyal PDM melalui Low Pass Filter (LPF). Hal ini dapat dilakukan karena fungsi dasar dari LPF adalah untuk meratakan sinyal. Amplitudo rata-rata dari pulsa-pulsa tersebut didapatkan dengan cara mengukur kerapatan pulsa-pulsa tersebut terhadap waktu.
- PDM digunakan pada format Super Audio CD (SACD) yang dikeluarkan Sony dengan nama Direct Stream Digital.



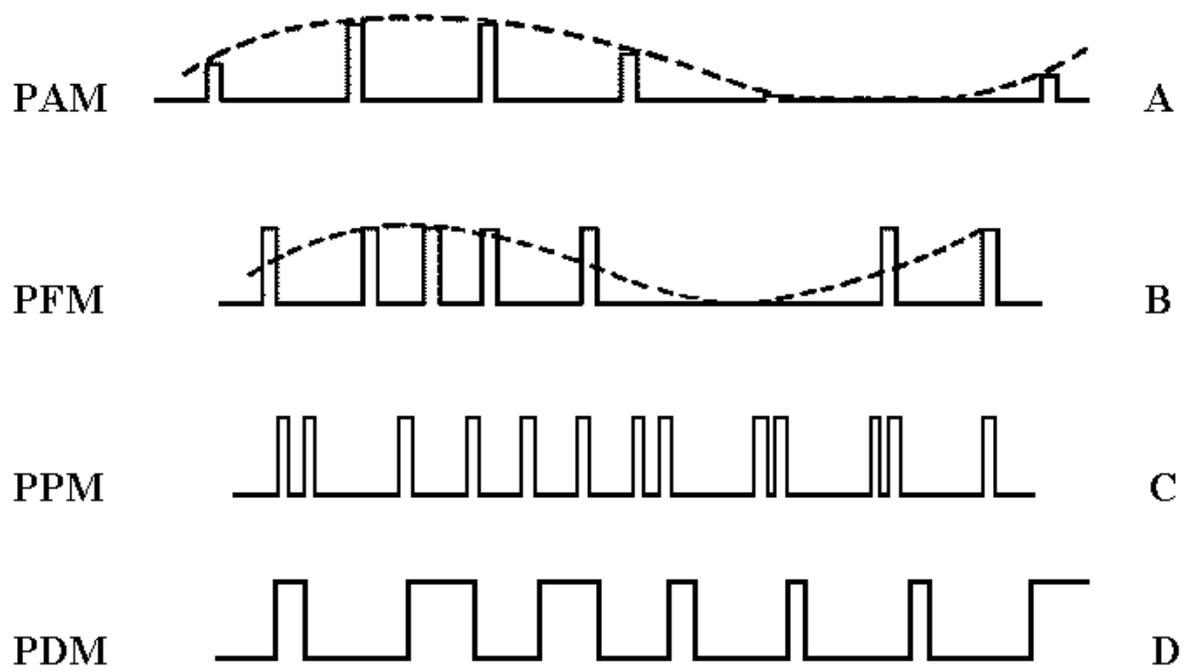
Perbandingan sinyal yang dihasilkan beberapa modulasi pulsa dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 8. Ilustrasi Perbandingan Keluaran Sinyal Pada Beberapa Modulasi Pulsa



Gambar 9. Ilustrasi Perbandingan Keluaran Sinyal Pada Beberapa Modulasi Pulsa-2



Gambar 10. Ilustrasi Perbandingan Keluaran Sinyal Pada Beberapa Modulasi Pulsa-3

Tugas

1. Jelaskan cara modulasi sinyal digital ke posisi pulsa!
2. Jelaskan proses encoding sebuah sinyal analog dalam PPM!
3. Jelaskan perbedaan mendasar antara PDM dengan PCM!

Daftar Pustaka

- Couch, Leon, (2012). *Digital and analog communication systems*. Prentice Hall.
- Hsu, Hwei, (2005). *Komunikasi analog dan digital*. Jakarta: Erlangga.
- Lathi, B.P, (1998). *Modern digital and analog communication system*. Oxford University Press. 3rd Edition..
- Roden, Martin, (1996). *Analog and digital communication systems*. Prentice Hall.
- Simon S. Haykin and Michael Moher, (2006). *An introduction to analog and digital communications*. Wiley.
- Susilawati, Indah (2009). *Kuliah 5 – Modulasi Pulsa*. Universitas Mercu Buana. Jakarta.