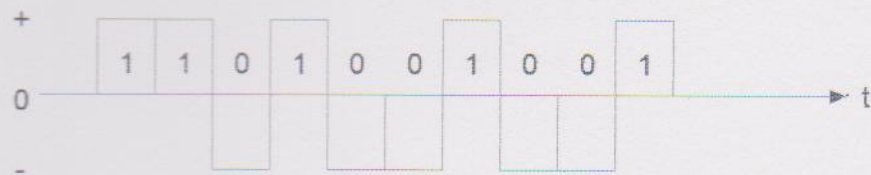
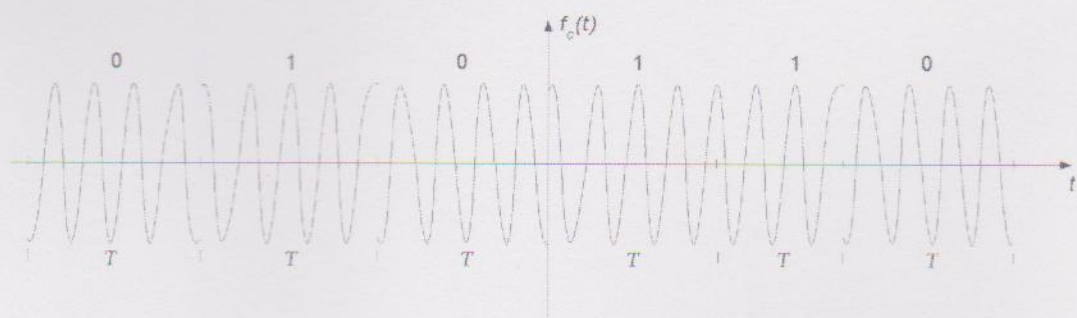


sebagai bentuk gelombang persegi, dengan angka 1 dalam arus biner pita dasar sesuai dengan polaritas positif, dan angka 0 dengan polaritas negatif. Jadi pada dasarnya sinyal PSK sesuai dengan suatu arus biner sinyal tak kembali-ke-nol (NRZ, *Non Return-To-Zero*) polar (Gambar 2-6a), ditranslasi dalam frekuensi. Suatu contoh ditunjukkan dalam Gambar 2-6b. transisi-transisi fasa yang tak kontinu yang ditunjukkan pada awal dan akhir setiap selang bit, bilamana suatu transisi dari 1 ke 0 atau dari 0 ke 1 terjadi, sebetulnya dilicinkan (*smooth*) selama transmisi karena pemilihan bentuk yang dipergunakan. Tetapi informasi mengenai polaritas dipertahankan di pusat setiap celah, sehingga penguraian kode di penerima umumnya diatur dilakukan disekitar pusat.



(a)



(b)

Gambar 2-6 (a) Sinyal tak kembali-ke-nol (NRZ, *Non Return-To-Zero*),

(b) Sinyal PSK

2.2.2.4. Kunci Tergeser Fase Kuaterner (QPSK, *Quaternary Phase Shift Keying*)

QPSK memberikan 4 kemungkinan pergeseran fasa *carrier*, misalnya, 45° , 135° , 225° dan 315° . Dalam sistem modulasi ini setiap 2 bit informasi diubah menjadi satu simbol. Jadi untuk sinyal data dengan bit rate 2400 bps, maka kecepatan modulasinya menjadi 1200 baud. Masing-masing simbol ini merupakan kombinasi dari 2 bit yaitu 00, 01, 10 dan 11. Tiap-tiap simbol akan menggeser fasa *carrier* dengan 4 kemungkinan nilai seperti yang telah disebutkan diatas. Dengan QPSK lebar band transmisi yang diperlukan berkurang menjadi setengah dari BPSK (*Binary Phase Shift Keying*).



Gambar 2.7. Kumpulan-kumpulan sinyal QPSK

Dari empat pasangan biner 00, 01, 10 dan 11 dipergunakan untuk memicu suatu gelombang sinus frekuensi tinggi dengan empat fasa yang mungkin, satu untuk setiap pasangan biner. Jelaslah ini adalah perluasan keempat fasa transmisi PSK biner, sinyal ke- i , dari empat yang mungkin dapat ditulis sebagai ;

$$s_i(t) = \cos(\omega_c t + \theta_i) \quad i = 1, 2, 3, 4 \quad \left[-\frac{T}{2} \leq t \leq \frac{T}{2}\right] \dots\dots\dots (2-8)$$

untuk mudahnya dengan pengandaian pembentukan empat persegi panjang. Jadi ini memperluas representasi PSK biner (2-7).

Dua pilihan yang mungkin untuk sudut fasa adalah ;

$$\theta_i = 0, \pm \frac{\pi}{2}, \pi \dots\dots\dots (2-9a)$$

$$\theta_i = \pm \frac{\pi}{4}, \pm \frac{3\pi}{4} \dots\dots\dots (2-9b)$$

Dalam kedua kasus fasa-fasa disipasi sejauh $\pi/2$ radian. Sinyal tipe inilah dinamakan sinyal-sinyal PSK berempat atau *kuatener* (*Quaternary PSK* atau QPSK).

Seperti yang diketahui n pulsa biner berturutan disimpan dan salah satu dari $M = 2^n$ simbol dikeluarkan. Jika laju biner adalah R bit/detik, setiap selang pulsa biner adalah $1/R$ detik panjangnya. Maka simbol luaran yang bersesuaian adalah $T = n/R$ detik panjangnya. Sinyal-sinyal (2-8) dapat dinyatakan, dengan uraian ilmu ukur segitiga, dalam bentuk berikut :

$$s_i(t) = a_i \cos \omega_c t + b_i \sin \omega_c t \quad \left[-\frac{T}{2} \leq t \leq \frac{T}{2}\right] \dots\dots\dots (2-10)$$

Untuk kasus (2-9a), pasangan (a_i, b_i) diberikan, berturut-turut sesuai dengan sudut $\theta_i = 0, -\pi/2, \pi$ dan $\pi/2$, oleh :

$$(a_i, b_i) = (1, 0), (0, 1), (-1, 0), (0, -1) \dots\dots\dots (2-11)$$

kelompok (a_i, b_i) sesuai dengan (2-9b) diberikan oleh

$$(\sqrt{2} a_i, \sqrt{2} b_i) = (1, 1), (-1, 1), (-1, -1), (1, -1) \dots\dots\dots(2-12)$$

transmisi tipe ini sering dinamakan *transmisi kuadratur*, dengan dua pembawa dalam kuadratur fasa satu sama lain ($\cos \omega_c t$ dan $\sin \omega_c t$) ditransmisi serentak melalui saluran yang sama.

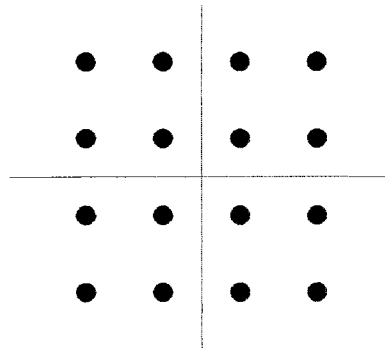
Ini perlu menyatakan sinyal-sinyal (2-10) dalam suatu diagram dua dimensi dengan melokasi bermacam-macam titik (a_i, b_i) . Sumbu-sumbu horizontal sesuai dengan kedudukan a_i dinamakan *sumbu sephasa (inphase)*. Sumbu vertikal, disepanjang mana b_i diletakkan, dinamakan *sumbu kuadratur*. Dengan demikian empat sinyal (2-11) nampak seperti ditunjukkan Gambar 2-7a, sinyal (2-12) dalam Gambar 2-7b. titik sinyal dikatakan menyatakan *suatu kumpulan (konstelasi) sinyal*.

Representasi sephasa (cosinus) dan kuadratur (sinus) sinyal-sinyal QPSK $s_i(t)$ menyarankan satu cara yang mungkin pembangkitan sinyal-sinyal tersebut : dua pulsa masukan biner berurutan disimpan dan pasangan bilangan (a_i, b_i) , diambil setiap $T = 2/R$ detik, dipergunakan untuk memodulasi dua suku pembawa kuadratur, $\cos \omega_c t$ dan $\sin \omega_c t$.

2.2.2.4. Modulasi Amplitudo Kuadratur (QAM, *Quadrature Amplitude Modulation*)

Tipe-tipe lebih umum skema pensinyalan multisimbol dapat dibangkitkan dengan membuat a_i dan b_i dalam (2-10) mengambil harga-harga kelipatan mereka sendiri. Sinyal-sinyal yang dihasilkan dinamakan sinyal-sinyal *modulasi amplitudo kuadratur (Quadrature Amplitude Modulation* atau QAM). Konstelasi untuk suatu kelompok sinyal QAM berkeadaan-16 nampak di Gambar 2-8. Perhatikan bahwa

sinyal ini dapat dipandang sebagaimana dibangkitkan oleh dua sinyal dimodulasi amplitudo dalam kuadratur. Karena empat tingkatan amplitudo dipergunakan pada setiap pembawa, seringkali sinyal dinamakan sebagai suatu sinyal QAM bertingkat empat. Semua titik dalam konstelasi adalah sama. Dari gambar 2-8 konstelasi QAM, semakin tinggi level modulasi QAM, semakin banyak titik pada diagram konstelasi maka kemungkinan titik untuk saling berimpit pada diagram konstelasi semakin besar, sehingga sinyal informasi yang diterima tidak lagi sesuai dengan yang dikirim.



Gambar 2-8 Konstelasi QAM empat tingkatan (16-simbol)

Ini nampak bahwa sinyal QAM umum juga dapat ditulis;

$$s_i(t) = r_i \cos(\omega_c t + \theta_i) \dots\dots\dots (2-13)$$

dengan amplitudo r_i dan sudut fasa θ_i diberikan oleh gabungan-gabungan yang tepat (a_i, b_i). Maka suatu gabungan penemu tingkatan amplitudo dengan penemu fasa juga dapat dipergunakan untuk menyadap informasi digital.

Suatu sinyal pada saat t ,

$$s_i(t) = \sum_n \left[a_n h \left(t - \frac{n}{T} \right) \cos \omega_c t + b_n h \left(t - \frac{n}{T} \right) \sin \omega_c t \right] \dots (2-14)$$

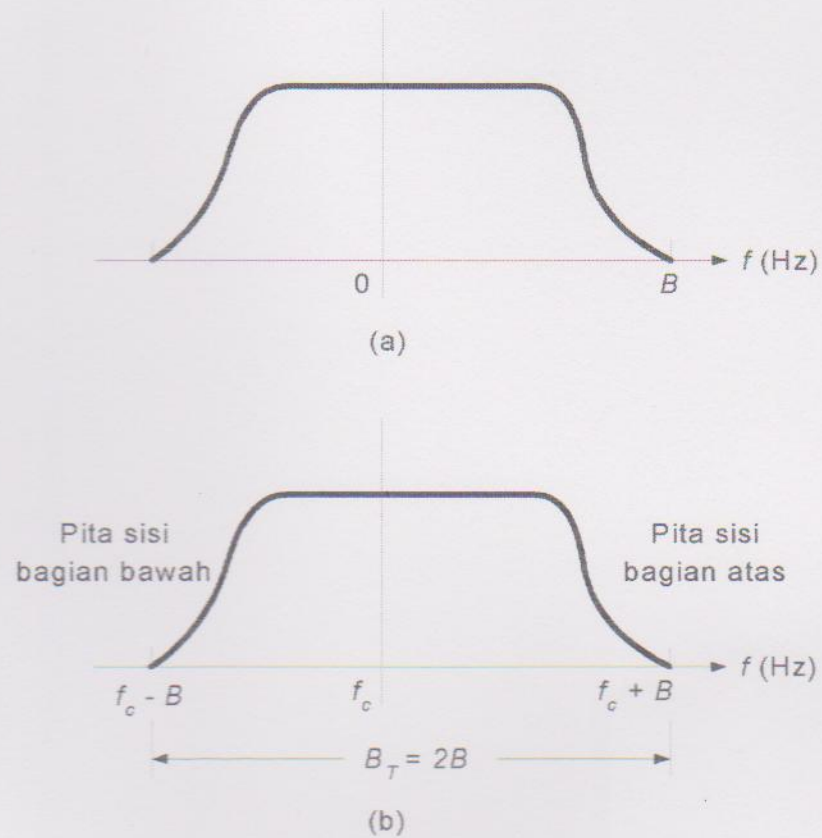
dengan memisalkan $t = 0$ (pusat selang) adalah titik pencuplikan sinyal, $h(-n/T)$, $n \neq 0$, harus nol agar interferensi antar simbol tak ada. Jika $h(-n/T) \neq 0$, persamaan (2-14) dapat dipergunakan untuk menentukan luas interferensi antarsymbol. $h(t)$ menyatakan impuls filter pembentukan. Lebar tanggapan waktu ditentukan dengan banyaknya harga n , positif dan negatif, yang harus dimasukkan ke dalam penjumlahan yang ditunjukkan.

Dari bentuk (2-14) ini nampak bahwa sinyal QAM umum harus mempunyai suatu spektrum berpusat disekitar frekuensi pembawa $f_c = \omega_c/2\pi$. Dalam spektrum ada pita-pita sisi bagaian atas dan bagian bawah yang membentang masing-masing suatu lebar pita B hertz, di atas dan di bawah frekuensi pembawa, sesuai dengan sinyal pita dasar digeser ke frekuensi f_c . pembentukan pita-pita sisi bergantung pada filter pembentukan $h(t)$. suatu contoh nampak di Gambar 2-9. lebar pita transmisi B_T adalah $2B$ hertz, seperti yang ditunjukkan. Jadi suatu sinyal QAM dengan $M = 2^n$ simbol atau keadaan yang mungkin, laju bit yang diperbolehkan adalah $nB_T / (1+r)$ bit/det, atau lebar pita transmisi $n/(1+r)$ bit/det/Hz. Dengan n adalah jumlah *bit* dan r adalah faktor menggelinding. Beberapa contoh laju bit yang diperbolehkan yang nampak di Tabel 2-1.

Tabel 2-1 Laju bit yang diperbolehkan, transmisi QAM

M (banyak keadaan)	Faktor menggelinding, r			
	0,1	0,25	0,5	1
2	0,9	0,8	0,67	0,5
4	1,8	1,6	1,33	1,0
8	2,7	2,4	2,0	1,5
16	3,6	3,2	2,67	2,0
64	5,4	4,8	4,0	3,0
256	7,2	6,4	5,3	4,0

Sebagai contoh, suatu saluran dengan suatu lebar pita 2,4-kHz akan memperbolehkan transmisi $2.400 \times 1,8 = 4.300$ bit/det jika QAM empat-keadaan (ekuivalen dengan PSK empat-fasa atau QPSK; lihat Gambar 2-7) dipergunakan, dan pembentukan pulsa dengan faktor menggelinding 10 persen dipergunakan.



Gambar 2-9 Spektrum QAM. (a) Spektrum pita dasar. (b) Spektrum QAM

BAB II

TEORI

2.1. Modulasi dan demodulasi

Modulasi adalah suatu proses penumpangan informasi/sinyal (f_m , frekuensi modulasi) kedalam informasi lain yang mempunyai frekuensi lebih tinggi sebagai frekuensi pembawa (f_c , *carrier frequency*); dan sebaliknya demodulasi adalah suatu proses pemisahan informasi modulasi dari informasi pembawanya. Proses modulasi dilakukan dengan cara mengubah-ubah variabel pembawa (Amplitudo, frekuensi atau fase) sesuai dengan perubahan dari variabel informasi. Perangkat/peralatan elektronik yang berfungsi melakukan proses modulasi disebut modulator, dan sebaliknya disebut demodulator. Sedangkan perangkat elektronik yang melakukan proses keduanya (modulasi dan demodulasi) adalah “modem”. Pengertian modulasi dalam istilah modem diartikan sebagai proses pengubahan sinyal data digital menjadi sinyal analog. Sedangkan proses demodulasi adalah kebalikan dari proses modulasi, yaitu mengubah sinyal analog menjadi digital.

2.2. Jenis-jenis Modulasi

Berdasarkan dari jenis informasi pembawanya, modulasi dibagi menjadi dua; modulasi analog/sinus yaitu suatu modulasi informasi dengan pembawanya berbentuk sinus, dan modulasi digital/pulsa yaitu pembawanya berbentuk pulsa. Yang termasuk dalam sistem modulasi sinus adalah,

1. Modulasi Amplitudo (AM, *Amplitude Modulation*),
2. Modulasi Frekuensi (FM, *Frequency Modulation*),

3. Modulasi Fasa (PM, *Phase Modulation*);

dan yang termasuk dalam sistem modulasi pulsa adalah,

1. Modulasi Amplitudo Pulsa (PAM, *Pulse Amplitude Modulation*),
2. Modulasi Lebar Pulsa (PWM, *Pulse Width Modulation*),
3. Modulasi Posisi Pulsa (PPM, *Pulse Position Modulation*);

Teknik modulasi yang sering digunakan pada perangkat modem adalah,

1. Kunci Tergeser Amplitudo (ASK, *Amplitude Shift Keying*),
2. Kunci Tergeser Frekuensi (FSK, *Frequency Shift Keying*),
3. Kunci Tergeser Fase (PSK, *Phase Shift Keying*),
4. Kunci Tergeser Fase Kuatener (QPSK, *Quaternary Phase Shift Keying*),
5. Modulasi Amplitudo Kuadratur (QAM, *Quadrature Amplitude Modulation*).

Teknik-teknik modulasi dalam suatu modem tergantung dari laju transmisi data. Umumnya semakin tinggi laju transmisi, maka memerlukan teknik modulasi yang lebih kompleks.

2.2.1. Sistem Modulasi Sinus

2.2.1.1. Modulasi Amplitudo (AM, *Amplitude Modulation*)

Modulasi Amplitudo yaitu suatu proses modulasi yang dilakukan dengan cara mengubah-ubah amplitudo dari gelombang pembawa sesuai dengan sinyal informasi. Proses modulasi dapat dilihat pada gambar 2-1 berikut ini.

karena sinyal informasi pada sinyal FM diwujudkan dengan pergeseran frekuensi *carrier*, maka sistem ini memiliki kualitas yang lebih baik dibandingkan AM. Hal ini dimungkinkan karena gangguan-gangguan transmisi pada umumnya dominan pada komponen amplitudo, dapat diatasi dengan *limiter*. Pemotongan amplitudo dengan *limiter* pada sistem sinyal FM, tidak mempengaruhi sinyal (kandungan) informasinya. Namun jika ditinjau dari sisi pemakaian bandwidth, maka FM yang lebih besar dibandingkan sinyal AM.

Bandwidth dan Indeks Modulasi FM

Modulator FM mempunyai parameter sensitivitas K_o , yang dinyatakan dalam Hz/volt. Dengan sensitivitas tersebut, jika suatu sinyal sinusoidal dengan amplitudo V_m volt dimodulasikan, maka diperoleh deviasi frekuensi puncak $\Delta f_c = K_o \times V_m$

Indeks Modulasi FM didefinisikan :

$$m_f = \frac{\Delta f_c}{f_m} \dots\dots\dots (2-1)$$

dengan,

m_f : indeks modulasi FM,

Δf_c : deviasi frekuensi puncak,

f_m : frekuensi sinyal informasi.

Untuk menghitung lebar band yang diduduki oleh suatu sinyal FM, perlu dilakukan perhitungan-perhitungan matematis yang kompleks, yaitu dengan fungsi Bessel. Namun secara garis besar dapat diketahui bahwa *bandwidth* sinyal FM sangat ditentukan besar indeks modulasinya. Semakin besar modulasi, semakin lebar bandwidth yang diduduki.

kelebihan modulasi amplitudo,

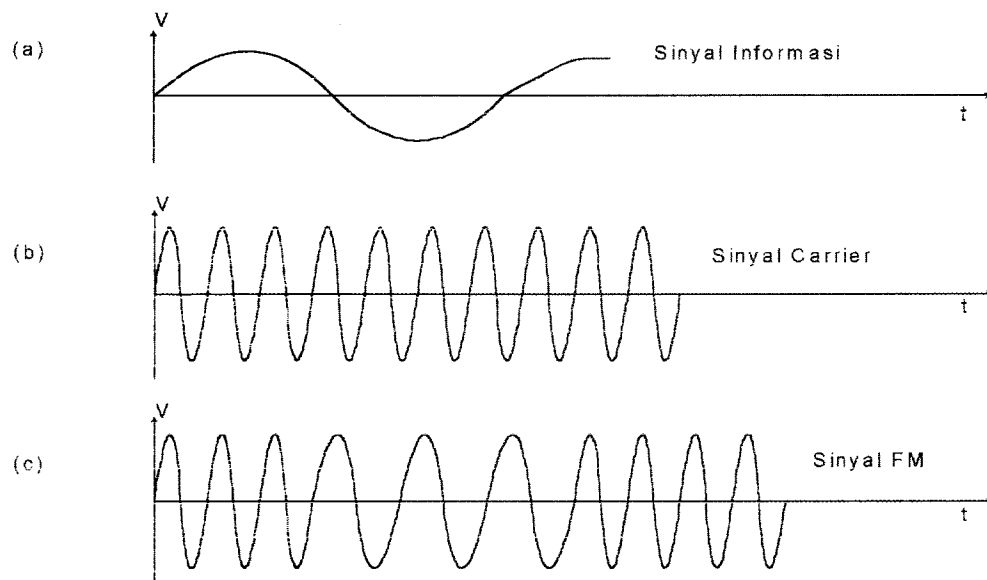
- Proses demodulasinya sederhana,
- Bandwidth yang digunakan relatif sempit,

kelemahan modulasi amplitudo,

- Karena kandungan informasi sinyal AM berada pada amplitudo *carrier*, maka sistem ini rawan terhadap *noise*. Dan apabila ada *noise* pada amplitudonya, sulit untuk dihilangkan.

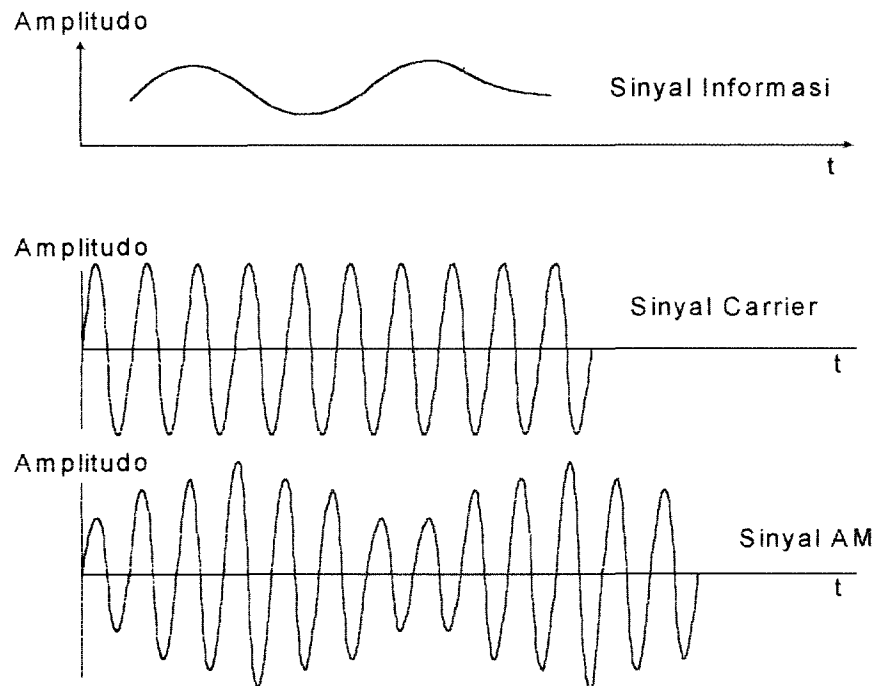
2.2.1.2. Modulasi Frekuensi (FM, *Frequency Modulation*)

Modulasi frekuensi adalah teknik modulasi dengan cara proses mengubah-ubah frekuensi dari *carrier* sesuai dengan sinyal informasi. Bentuk gelombang dari sinyal FM adalah seperti gambar berikut;



Gambar 2-3 bentuk gelombang (a) Sinyal Informasi,

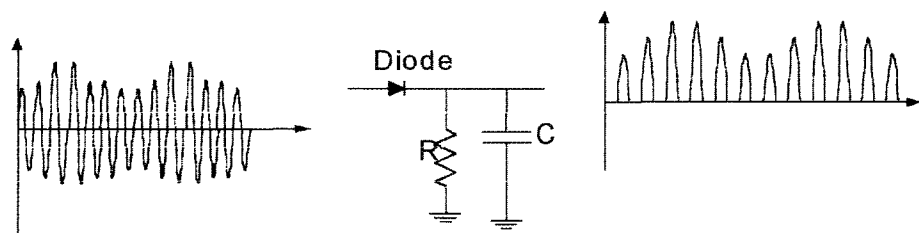
(b) Carrier, dan (c) Sinyal FM



Gambar 2-1 Modulasi Amplitudo

Demodulasi sinyal AM

Cara yang paling sederhana untuk mendemodulasikan sinyal AM dengan detektor amplitudo atau *rectifier*.



Gambar 2-2 Prinsip demodulasi AM

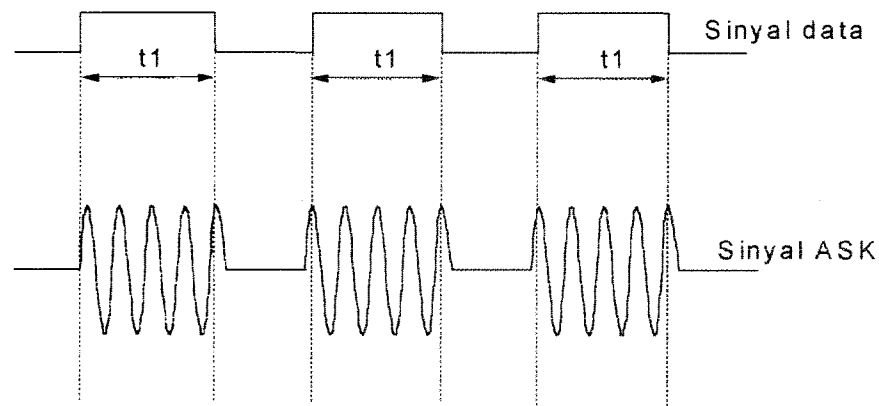
Demodulasi Sinyal FM

Output dari demodulator FM adalah tegangan yang besarnya proporsional dengan frekuensi sesaat dari sinyal inputnya. Jika sebuah sinyal FM diproses oleh demodulator, maka tegangan output demodulator sesuai dengan deviasi frekuensi pada sinyal informasi aslinya.

2.2.2. Sistem Modulasi Pulsa

2.2.2.1. Kunci Tergeser Amplitudo (ASK, *Amplitude Shift Keying*)

Pada sistem modulasi ini, amplitudo *carrier* berubah-ubah sesuai dengan bit-bit dari sinyal data yang dimodulasikan.



Gambar 2-4 Modulasi ASK

Pada umumnya sistem ini tidak dapat digunakan pada saluran telepon disebabkan variasi redaman yang cukup besar sehingga sulit untuk menentukan *threshold* (ambang) antara bit 1 dan bit 0. *bandwidth* dari sinyal ASK adalah dua kali dari *bandwidth* sinyal datanya. Artinya untuk menyalurkan data dengan kecepatan 110 baud, diperlukan *bandwidth* transmisi 220 Hz dengan ASK. ASK rentan terhadap

perubahan bati (gain) yang terjadi tiba-tiba serta merupakan teknik modulasi yang tidak terlalu efisien. Pada jalur derajat-suara, biasanya hanya digunakan sampai 1200 bps.

2.2.2.2. Kunci Tergeser Frekuensi (FSK, Frequency Shift Keying)

Sistem ini serupa dengan modulasi frekuensi, jika dikirimkan bit 0 frekuensi *carriernya* adalah f_0 , sedangkan jika bit 1, frekuensi *carriernya* menjadi f_1 . Dari kondisi tersebut dapat diartikan bahwa frekuensi carrier f_c digeser-geser menjadi f_0 dan f_1 sesuai dengan sinyal datanya.

Besarnya frekuensi carrier,

$$f_c = f_0 + \frac{f_1 - f_0}{2} \dots\dots\dots(2-2)$$

dan deviasi frekuensi,

$$\Delta f = \frac{f_1 + f_0}{2} \dots\dots\dots(2-3)$$

Indeks modulasi (β) didefinisikan,

$$\beta = \frac{\Delta f}{BW} \dots\dots\dots(2-4)$$

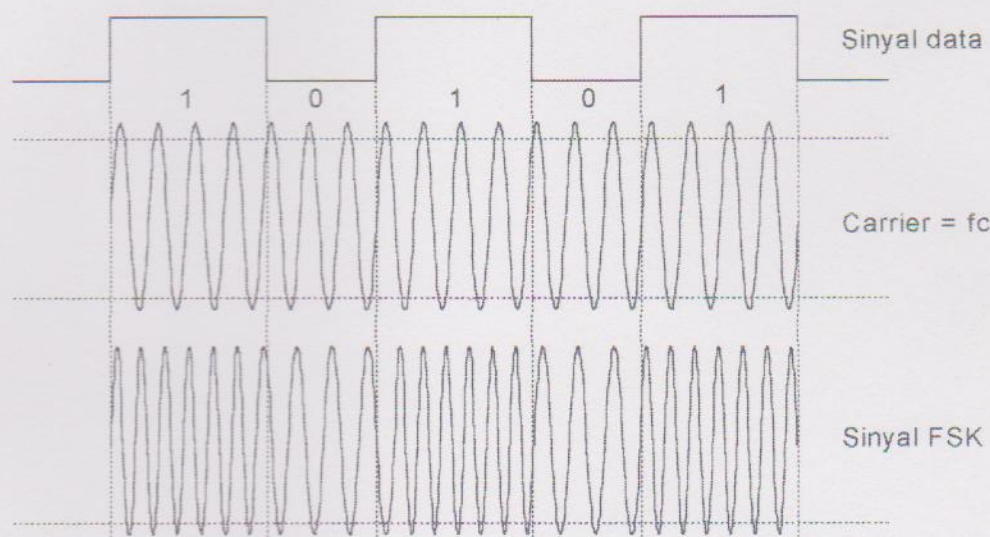
dimana bandwidth sinyal data,

$$BW = \frac{1}{t_1} \dots\dots\dots(2-5)$$

dengan definisi tersebut maka *bandwidth* dari sinyal FSK adalah :

$$B_w (\text{FSK}) = 2 B (1 + \beta) \dots\dots\dots (2-6)$$

Perhitungan *bandwidth* ini sama dengan rumus *Carson* pada sinyal FM.



Gambar 2-5 Modulasi FSK

2.2.2.3. Kunci Tergeser Fase (PSK, *Phase Shift Keying*)

PSK merupakan suatu sistem modulasi dimana fasa dari carrier bergeser sesuai dengan sinyal data. Sinyal pembawa PSK didefinisikan sebagai berikut;

$$f_c(t) = \pm \cos \omega_c t \quad \left[-\frac{T}{2} \leq t \leq \frac{T}{2} \right] \dots\dots\dots (2-7)$$