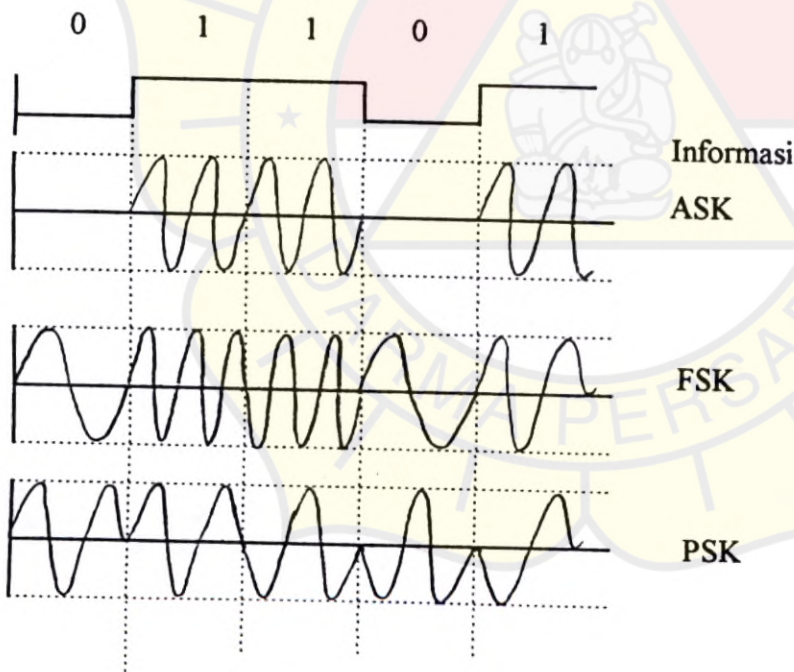


BAB II

DASAR MODEM FSK

2.1 Modulasi Digital

Pada dasarnya dikenal 3 (tiga) prinsip atau sistem modulasi digital, yaitu : Amplitude Shift Keying (ASK), Frekuensi Shift Keying (FSK), dan Phase Shift Keying (PSK), yang bentuk kurva modulasinya terlihat seperti gambar di bawah ini :



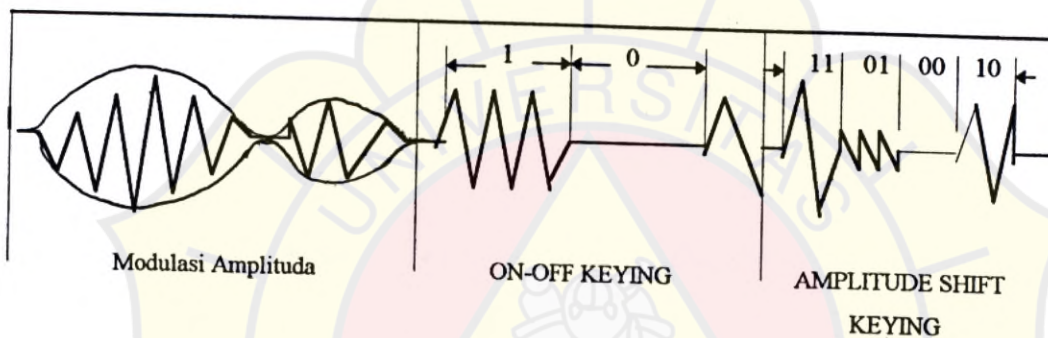
Gambar 2.1. Sinyal Modulasi Digital



2.1.1 Amplitude Shift Keying

Amplitude Shift Keying (ASK) atau pengiriman sinyal berdasarkan pergeseran amplitudo, merupakan suatu metode modulasi dengan mengubah-ubah amplitudo. Dalam proses modulasi ini, kemunculan frekuensi gelombang pembawa tergantung pada ada atau tidak adanya sinyal informasi digital.

Kurva berikut memperlihatkan modulasi ASK :



Gambar 2.2 Metode Amplitude Shift Keying

Dari gambar terlihat bahwa 3 level yang besarnya positif dalam ketiadaan gelombang pembawa digunakan untuk menghasilkan 4 kombinasi logika. Karena 2 kode bit mewakili 4 kombinasi, maka hal ini dapat dipahami sebagai 2 kata (words) bit.

Keuntungan yang diperoleh dari metode ini adalah bit per Baud (kecepatan digital) lebih besar. Sedangkan kesulitannya adalah dalam menentukan level acuan yang dimilikinya, yakni setiap sinyal yang diteruskan melalui saluran transmisi jarak jauh, selalu dipengaruhi oleh redaman dan distorsi lainnya. Oleh sebab itu metode ASK hanya menguntungkan bila dipakai untuk hubungan jarak dekat saja.

Dalam hal ini, faktor derau harus diperhitungkan dengan teliti, seperti juga pada sistem AM. Derau menindih puncak bentuk-bentuk gelombang yang berlevel

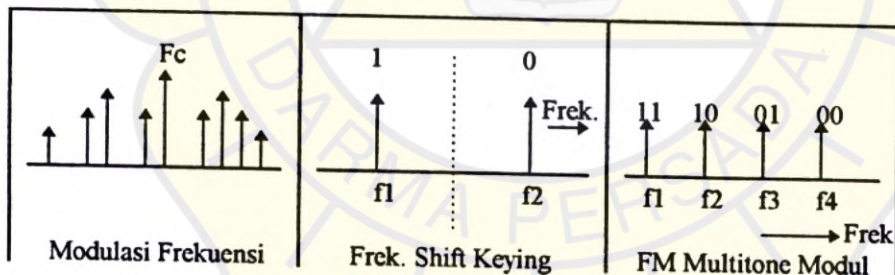
banyak dan membuat mereka sukar mendeteksi dengan tepat menjadi level ambangnya.

2.1.2 Frekuensi Shift Keying

Frekuensi Shift Keying (FSK) atau pengiriman sinyal melalui penggeseran frekwensi. Metode ini merupakan suatu bentuk modulasi yang memungkinkan gelombang modulasi menggeser frekuensi output gelombang pembawa. Penggeseran ini terjadi antara harga-harga yang telah ditentukan semula dengan gelombang output yang tidak mempunyai fasa terputus-putus.

Dalam proses modulasi ini, besarnya frekuensi gelombang pembawa berubah-ubah sesuai dengan perubahan ada atau tidak adanya sinyal informasi digital.

Bagan berikut memperlihatkan proses modulasi FSK :



Gambar 2.3. Metode Frekuensi Shift Keying

FSK merupakan metode keying modulasi yang paling populer. Dalam proses ini gelombang pembawa digeser ke atas dan ke bawah untuk memperoleh bit 1 dan bit 0. Kondisi ini masing-masing disebut space dan mark. Keduanya merupakan standar transmisi data yang sesuai dengan rekomendasi CCITT (Consultative Committee of International Telegraph and Telephone).

FSK juga tidak tergantung pada teknik on-off pemancar, sebagai telah ditentukan sejak mula. Kehadiran gelombang pembawa dideteksi untuk menunjukkan bahwa pemancar telah siap.

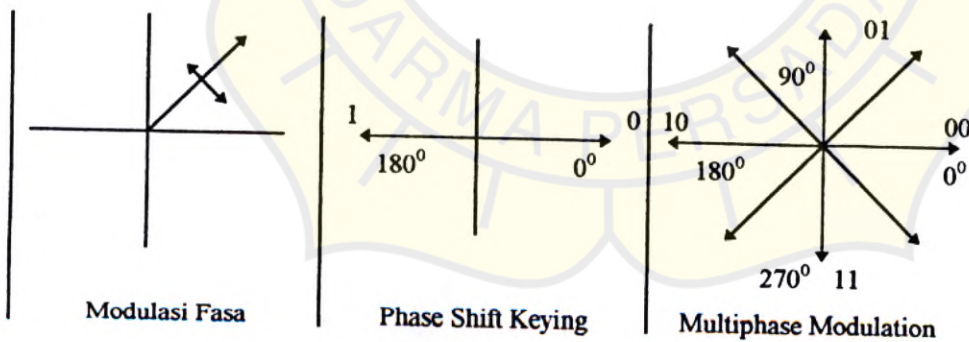
Dalam hal penggunaan pemancar banyak (multi transmitters), masing-masingnya dapat dikenal dengan frekwensinya. Prinsip pendeteksian gelombang pembawa umumnya dipakai untuk mendeteksi kegagalan sistem bekerja.

2.1.3 Phase Shift Keying

Phase Shift Keying (PSK) atau keying pengeseran fasa. Metoda keying ini merupakan suatu bentuk modulasi fasa yang memungkinkan fungsi pemodulasi menggeser fasa gelombang termodulasi, di antara nilai-nilai diskrit yang telah ditetapkan sebelumnya.

Dalam proses modulasi ini, fasa dari frekwensi gelombang pembawa berubah-ubah, sesuai dengan perubahan status sinyal informasi digital.

Bagan berikut memperlihatkan proses modulasi PSK :



Gambar 2.4. Metode Phase Shift Keying

Dari gambar terlihat bahwa fasa bergeser antara 0 sampai 180 derajat yang digunakan untuk menandakan bit 1 atau 0. Sudut fasa harus mempunyai acuan

kepada pemancar dan penerima. Akibatnya, amat diperlukan stabilitas frekuensi pada pesawat penerima.

Guna memudahkan untuk memperoleh stabilitas pada penerima, kadangkala dipakai suatu teknik yang koheren dengan PSK yang berbeda-beda. Hubungan antara dua sudut fasa yang dikirim digunakan untuk memelihara stabilitas. Dalam keadaan seperti ini, fasa yang ada dapat dideteksi, bila fasa sebelumnya telah diketahui. Hasil dari perbandingan ini dipakai sebagai patokan (referensi).

2.2 Karakteristik Frequency Shift Keying (FSK)

Berikut ini akan ditinjau dua hal yang turut menentukan karakteristik dari sinyal FSK, yaitu :

1. Bandwidth
2. Noise Performance

1. Bandwidth

Didefinisikan bahwa bit '1' diwakilkan oleh frekuensi f_1 dan bit '0' oleh frekuensi f_0 . Sekarang akan didefinisikan parameter lain, yaitu :

tone spacing = $2 \Delta f$ dimana : $\Delta f = (f_0 - f_1)/2$

frekuensi tengah f_c dimana : $f_c = (f_0 + f_1)/2$

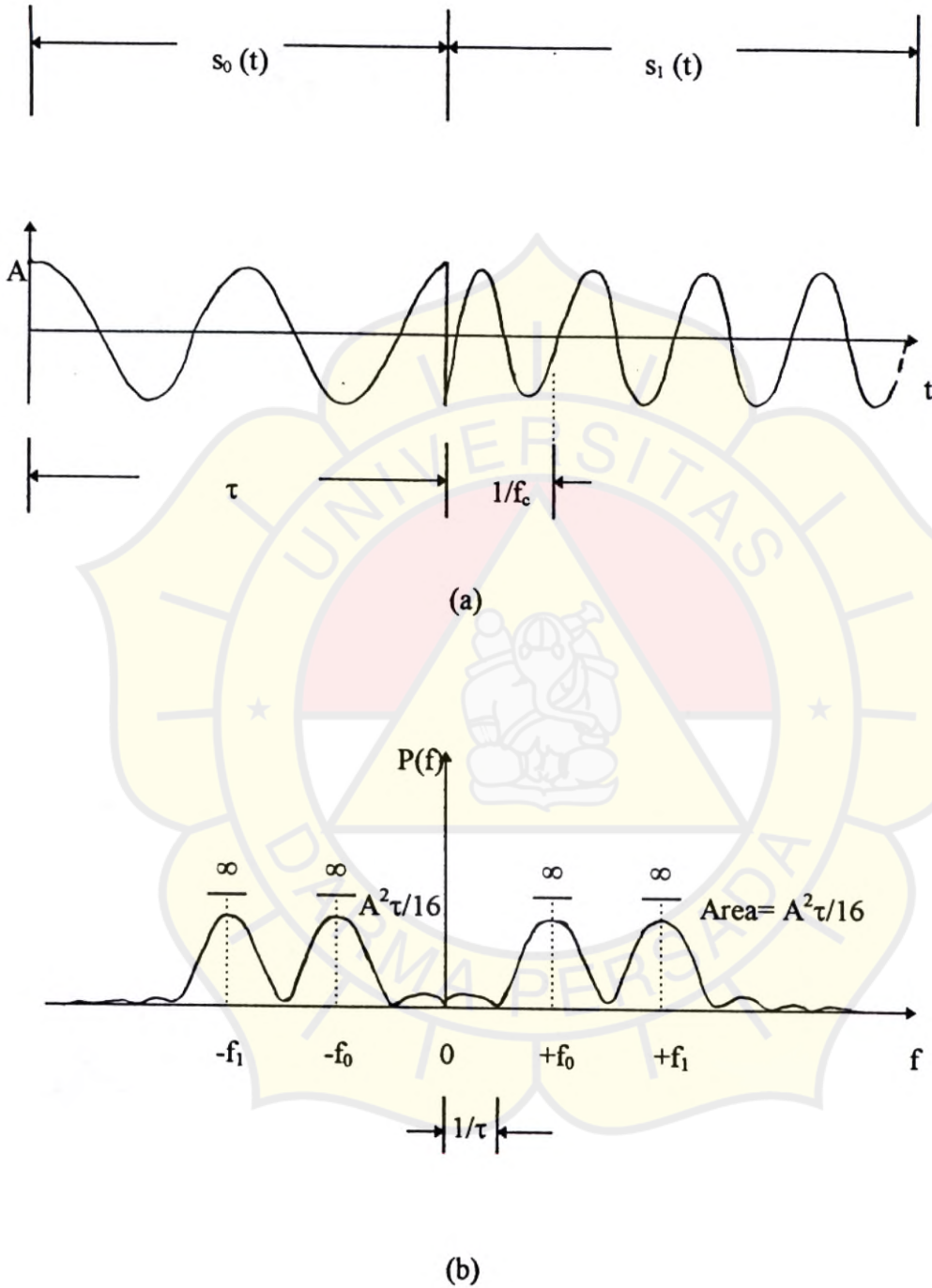
Maka bandwidth dari sinyal FSK sesuai dengan power-spectrumnya seperti yang diberikan oleh gambar berikut ini :

$$BW = 2(1/T) + 2 \Delta f$$

dimana: BW = Bandwidth

T = Periode

Δf = Penyimpangan frekuensi



Gambar 2.5.



dengan anggapan bahwa $1/T$ adalah komponen frekuensi tertinggi = f_m , dan bahwa komponen frekuensi di luar bandwidth adalah cukup kecil dan dapat diabaikan.

2. Noise Performance

Jika diperhatikan, suatu sinyal FSK itu bekerja dengan amplitudo yang konstan. Dengan perkataan lain, informasi tidak dibawa oleh amplitudonya, melainkan sekali dengan sinyal AM.

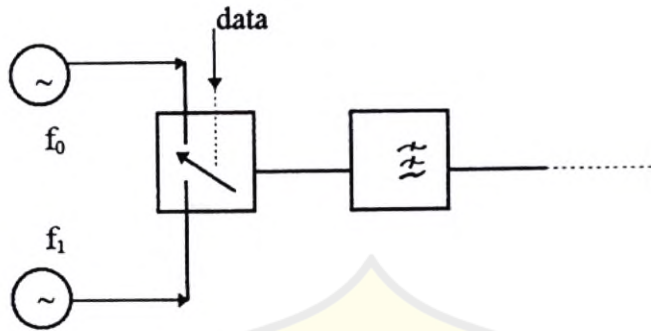
Pada FSK, informasi dibawa oleh zero-crossing dari gelombang pembawanya, yaitu saat-saat dimana gelombang pembawa menyeberang sumbu 0. Dengan demikian, amplitudo dari gelombang pembawanya sendiri tidak lagi menarik perhatian, sehingga distorsi amplitudo yang ditimbulkan oleh saluran yang sangat mengganggu pada sistem AM, tidak lagi memberi efek pada deteksi dari sinyal FM (ingat bahwa FSK adalah juga sinyal FM). Juga hadirnya noise yang merupakan momok bagi sistem AM, karena dapat merusak informasi yang dibawa oleh amplitudo gelombang pembawanya, pada sistem FM tidaklah memberikan efek yang sekritis itu.

Kesimpulan dapat diambil bahwa sinyal FM itu memberikan ketahanan/kekebalan terhadap noise dan distorsi saluran yang lebih baik dari sinyal AM atau sinyal basebandnya sendiri, dengan perbandingan bandwidth saluran yang sedikit lebih besar.

2.3 Modulator FSK

Pada prinsipnya ada dua jenis modulator FSK :

Jenis pertama ialah modulator yang menggunakan dua buah oscillator, masing-masing dengan frekuensi f_0 dan f_1 .

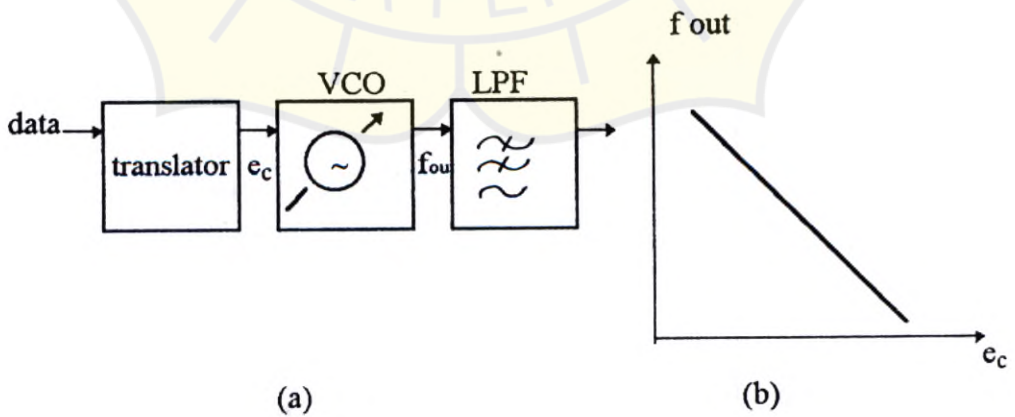


Gambar 2.6

Gambar (2.6) menunjukkan diagram blok dari modulator jenis ini.

Sinyal FSK didapat, dengan melakukan switching diantara kedua oscillator tersebut. Mekanisme switching digerakkan oleh data yang memodulasi. Switch yang digunakan biasanya berupa suatu analog switch, misalnya dengan menggunakan FET (Field Effect Transistor) yang dikendalikan oleh sinyal biner pemodulasi. Lowpass filter disini digunakan untuk membatasi bandwidth dari sinyal FSK yang dihasilkan.

Modulator jenis kedua menggunakan sebuah Voltage-controlled Oscillator (VCO) seperti yang terlihat pada gambar (2.7).



(a)

(b)

Gambar 2.7

Frekwensi output dari suatu VCO, mempunyai karakteristik yang linier terhadap tegangan pada control-inputnya, seperti yang diperlihatkan oleh gambar (2.7).

Oleh blok TRANSLATOR, pulsa '1' diterjemahkan menjadi level tegangan v_1 , yang menghasilkan frekwensi f_1 pada output dari VCO, demikian juga pulsa '0' diterjemahkan menjadi level v_0 , yang menghasilkan frekwensi f_0 pada output VCO.

Lowpass filter seperti juga pada modulator jenis pertama, digunakan membatasi spektrum/bandwith dari sinyal FSK yang dihasilkan.

Hasil sinyal FSK dari kedua modulator tersebut, mempunyai perbedaan pada fasa di titik transisi antara bit '0' dan bit '1'. Pada yang jenis pertama, secara umum, fasa pada titik transisi tersebut adalah diskontinyu, jadi terjadi loncatan fasa. Sedangkan pada jenis yang kedua, fasa pada titik transisi bersifat kontinyu, tidak terjadi loncatan fasa.

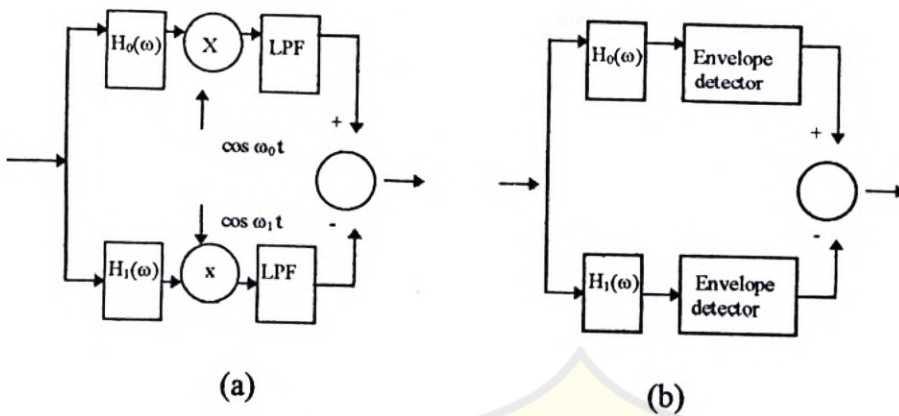
2.4 Demodulator FSK

Berikut ini akan kita tinjau beberapa macam demodulasi FSK, masing-masing mempunyai tujuan akhir yang sama, yaitu mendapatkan kembali data yang terkandung di dalam sinyal FSK.

1. Deteksi Dengan Filter

Deteksi yang menggunakan filter dapat dibedakan atas dua macam :

- a) Deteksi Sinkronous
- b) Deteksi Non-koheren



Gambar 2.8

a. Deteksi Sinkronous

Diagram blok untuk deteksi semacam ini adalah seperti yang terlihat pada gambar (2.8 a). Deteksi semacam ini hanya dapat digunakan, bila modulatornya menggunakan dua buah free running oscillator seperti yang dijelaskan pada paragraf 2.2.2. Karena seperti yang terlihat pada diagram blok-nya, deteksi memerlukan dua buah local-oscillator yang sinkron dengan masing-masing oscillator yang bersangkutan yang ada di modulator (pengirim).

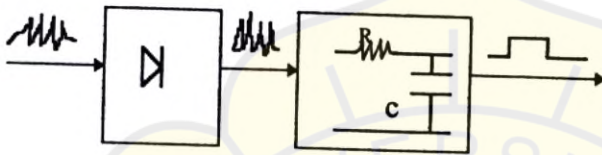
Pada prinsipnya, kerja dari demodulator ini adalah sebagai berikut : Sinyal FSK yang masuk akan dipisahkan menjadi dua sesuai dengan frekuensinya dengan menggunakan dua buah narrowband filter $H_0(\omega)$ dan $H_1(\omega)$, kemudian masing-masing akan mengalami proses deteksi sinkronous sebagai berikut :

$$\cos\omega t \times A \cos\omega t = A + A \cos 2\omega t$$

yang setelah melalui low pass filter (LPF) akan diperoleh komponen DC-nya saja. Kedua sinyal hasil deteksi kemudian dijumlahkan kembali setelah polaritas untuk jalur f_0 dibalik. Sehingga output dari detektor ini adalah dalam format polar.

b. Deteksi Non-koheren

Diagram blok untuk sistem deteksi ini adalah seperti gambar (2.8 b). Pada prinsipnya, detektor ini sama dengan detektor sinkronus di atas. Perbedaannya ialah bahwa detektor ini tidak memerlukan local oscillator untuk deteksinya, disini digunakan envelope-detector seperti yang diperlihatkan oleh gambar (2.9) yang cara kerjanya adalah sebagai berikut :

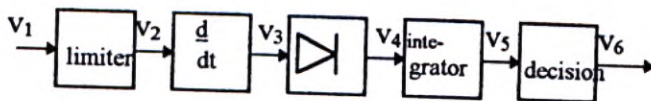


Gambar 2.9

Sinyal AC dari narrowband filter disearahkan, setelah itu dilewatkan pada suatu integrator (LPF), maka akan diperoleh suatu level DC. Bila tidak ada sinyal AC, maka tidak akan diperoleh level DC tersebut. Prose selanjutnya adalah sama seperti deteksi sinkronous.

2. Deteksi Zero-crossing

Diagram blok dari detektor jenis ini adalah seperti yang diperlihatkan oleh gambar (2.10) berikut.

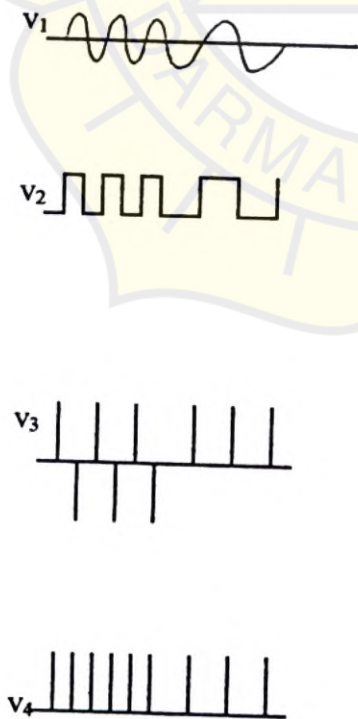


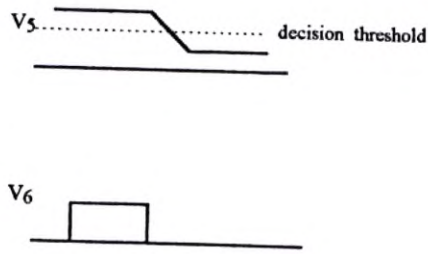
Gambar 2.10

Sinyal FSK yang diterima, dilewatkan pada suatu limiter yang merubah gelombang sinus menjadi square. Gelombang square ini kemudian dilewatkan pada suatu differensiator sehingga dihasilkan luncipan-luncipan (spikes) pada saat-saat yang sesuai dengan titik zero-crossings. Luncipan-luncipan ini kemudian disearahkan fullwave. Hasil penyearahan ini kemudian diberikan pada suatu integrator yang memberikan level DC yang tingginya sesuai dengan banyaknya luncipan pada suatu interval. Makin banyak luncipan (makin tinggi frekuensi), makin besar level DC yang didapat, dan sebaliknya.

Untuk mendapatkan bentuk yang lebih baik, level DC tadi diberikan kepada rangkaian "slicer" yang mempunyai threshold sama dengan tengah-tengah antara level DC untuk '0' dan '1'.

Apabila data '0' direpresentasikan oleh frekuensi yang lebih tinggi dari '1', maka di belakang blok terakhir pada gambar (2.10) harus ditambah dengan satu blok terakhir yang berfungsi sebagai inverter. Gambar (2.11) memperlihatkan bentuk sinyal output dari tiap blok pada gambar (2.10).

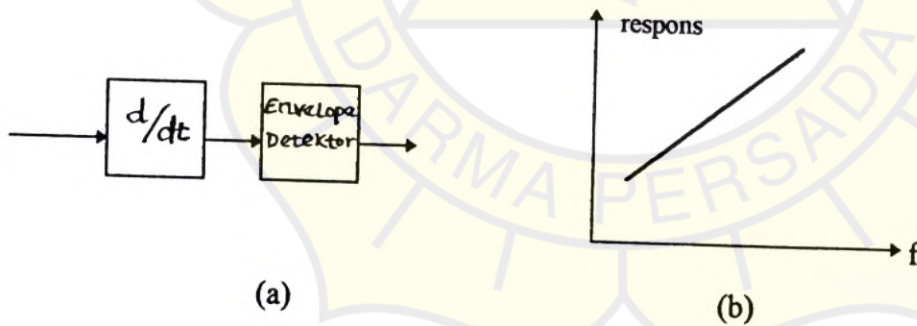




Gambar 2.11

3. Deteksi Linear Discriminator

Prinsip kerja dari detektor jenis ini ialah dengan melakukan differensial terhadap sinyal FM/FSK yang diterimanya.



Gambar 2.12

Suatu sinyal FM mempunyai bentuk :

$$v(t) = A_c \cos \theta$$

dengan $\theta = \omega_c t + k \int f(t) dt$



dimana : A_c = amplitudo pembawa

ω_c = frekuensi sudut

θ = modulasi sudut

k = konstanta

$f(t)$ = sinyal pemodulasi/sinyal pita dasar/sinyal baseband yang hendak diturunkan.

Apabila sinyal FM tersebut kita lewatkan pada suatu differensiator, maka akan diperoleh output :

$$\begin{aligned} \frac{dv}{dt} &= -A_c \sin \frac{d\theta}{dt} \\ &= -A_c \{ \omega_c + k f(t) \} \sin \theta(t) \dots\dots (2.1) \end{aligned}$$

dimana : θt = perubahan phase

Persamaan (2.1) menunjukkan suatu gelombang yang termodulasi amplitudonya. Jadi apabila kita gunakan suatu envelope detector, maka akan diperoleh sinyal :

$$\omega_c + k f(t) \approx f(t)$$

Dan dengan sedikit proses tambahan, akan didapat kembali sinyal baseband yang diinginkan.

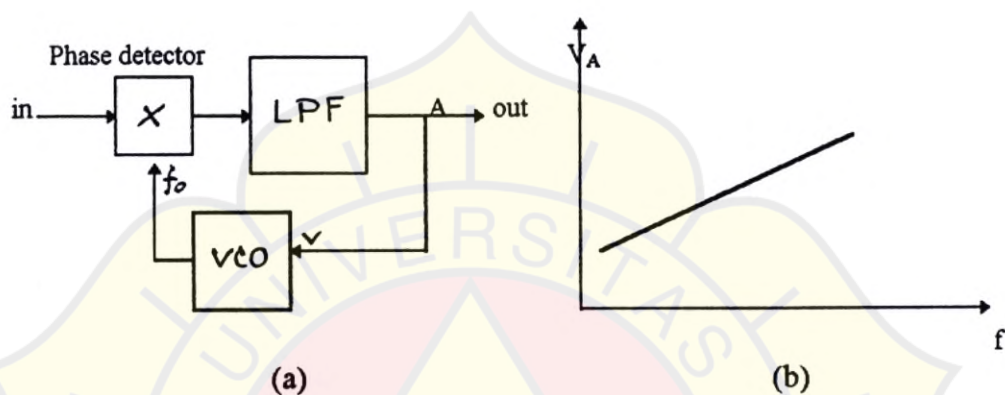
Gambar (2.12) a dan b masing-masing menunjukkan diagram blok dan karakteristik output terhadap frekuensi input dari detektor jenis ini.

Hal yang penting diperhatikan pada detektor ini adalah amplitudo dari sinyal FM yang masuk harus betul-betul konstan untuk menghindarkan munculnya dA_c/dt . Ini dapat dicapai dengan memberikan suatu limiter di depan differensiator.

4. Deteksi Dengan Phase Locked Loop (PLL)

Suatu Phase Locked Loop (PLL) dapat digunakan sebagai Demodulator FM/FSK. Berikut ini akan dijelaskan secara matematis bagaimana sebenarnya proses tersebut terjadi.

Gambar 2.13 a berikut ini menunjukkan diagram blok suatu PLL yang digunakan sebagai FM-demodulator.



Gambar 2.14

Misalkan pada suatu saat frekuensi dari sinyal input yang masuk sama dengan frekuensi VCO. Dan misalkan sinyal yang masuk adalah :

$$v(t) = A_c \cos \{ \omega_c t + \varnothing(t) \}$$

dan sinyal output dari VCO adalah :

$$v_0(t) = A_0 \sin \{ \omega_c t + \varnothing_0(t) \}$$

dimana : $v(t)$ = sinyal input

$v_0(t)$ = sinyal output

$$\omega_c = 2\pi f_c$$

$\varnothing t$ = sudut phase gelombang pembawa

f_c = frekuensi pembawa

t = waktu

A_0 = amplitudo keluaran

\varnothing_0 = sudut phase sinyal keluaran

Untuk keperluan analisa matematis, umumnya phase detector (PD) dianggap sebagai suatu multiplier, sehingga output dari PD adalah :

$$1/2 A_c A_o [\sin \{2\omega_c t + \phi(t) + \phi_o(t)\} + \sin\{\phi_o(t) - \phi(t)\}]$$

Oleh low pass filter (LPF), komponen frekwensi ganda akan dihilangkan sehingga tinggal komponen DC :

$$\sin \{\phi_o(t) - \phi(t)\}$$

untuk beda fasa yang cukup kecil, sinyal error di atas dapat dianggap sebagai : $\phi_o(t) - \phi(t)$. Sinyal error inilah yang digunakan untuk mengatur VCO sedemikian rupa sehingga :

$$\phi_o(t) = \phi(t)$$

pada saat mana dikatakan terjadi "lock". Pada keadaan lock ini setiap perubahan fasa sesaat dari sinyal input akan selalu diikuti oleh VCO. Yang berarti pula bahwa kecepatan perubahan fasa sesaat sinyal input harus sama dengan kecepatan perubahan fasa dari output VCO. Kecepatan perubahan fasa sesaat sinyal input yang berupa sinyal FM diberikan oleh persamaan :

$$\frac{d\phi}{dt} = \omega_c + k f(t)$$

dimana $f(t)$ adalah sinyal baseband yang hendak diturunkan.

Kecepatan perubahan fasa sesaat VCO adalah frekwensi sesaat dari VCO yang sebanding dengan tegangan pada control-inputnya, yaitu v_A yang sesuai dengan karakteristik VCO (lihat gambar 2.14 b).

$$\text{Jadi : } v_A = \omega_c + k f(t)$$

Dari persamaan tersebut, jelaslah bahwa dengan mengambil sinyal pada titik A, maka dengan suatu proses tambahan, akan diperoleh kembali sinyal baseband yang dicari.

Disamping itu, PLL mempunyai segi kebaikan yaitu bahwa deteksi sinyal FSK yang menggunakan PLL tidak sensitif terhadap perubahan-perubahan yang terjadi pada oscillator pengirim (modulator), hal ini disebabkan karena PLL memiliki sifat-sifat "tracking" sehingga ia dapat mengikuti perubahan-perubahan yang terjadi akibat ketidak-stabilan frekuensi oscillator pengirim. Juga dengan telah dibuatnya IC serba guna dari PLL, maka penggunaan PLL sebagai demodulator FSK akan membuat rangkaian menjadi lebih sederhana dan murah.

2.5 Interface Antara Modem Dengan DTE

Modem di satu pihak berhadapan dengan saluran dan di lain pihak modem berhadapan dengan terminal (DTE). Di samping sinyal data biner, antara modem dan terminal juga terdapat sinyal-sinyal lain untuk keperluan kontrol dan sinkronisasi. Semua sinyal-sinyal yang digunakan untuk komunikasi antara terminal dan modem inilah yang disebut Interface.

2.6 Perbandingan FSK Dengan Teknik Modulasi Lain

2.6.1. Bandwidth

Dalam hal bandwidth, memang terlihat bahwa FSK lebih tidak efisien dibandingkan dengan OOK ataupun PSK. FSK memerlukan bandwidth kira-kira dua kali bandwidth OOK .

Untuk bit-rate yang tinggi, pemakaian FSK memang akan menjadi tidak efisien, karena bit-rate yang tinggi memerlukan tone-spacing yang lebih besar, untuk menekan error-rate. Pada umumnya, diusahakan tone-spacing yang kira-kira sama dengan bit-rate.

2.6.2 Efisiensi Power

Untuk ini perlu dilihat kembali gambar power spectrum dari OOK, FSK dan PSK seperti yang diberikan pada awal bab II di depan. Dari gambar-gambar tersebut terlihat bahwa power spectrum dari OOK dan FSK mempunyai komponen spektrum garis yang besarnya separuh dari power yang dibawanya, ini berarti bahwa dari keseluruhan power yang dibawanya, hanya setengahnya yang bersifat informatif. Sedangkan pada power spektrum dari PSK tidak terdapat komponen spektrum garis, berarti seluruh power yang dibawanya bersifat informatif. Jadi kesimpulannya, PSK memberikan efisiensi power yang terbaik.

Walaupun FSK mempunyai efisiensi power yang sama dengan OOK, tapi seperti yang dijelaskan di depan, FSK lebih baik dibandingkan dengan OOK, sehingga dengan demikian memberikan kemungkinan kesalahan (error-rate) yang lebih kecil dibanding OOK.

2.6.3 Implementasi Peralatan

OOK memberikan implementasi peralatan yang paling sederhana. Deteksinya hanya memerlukan envelope-detector.

PSK memberikan implementasi peralatan yang paling rumit, untuk deteksinya diperlukan rangkaian khusus untuk menurunkan gelombang pembawa (carrier) dari sinyal PSK yang diterima.

FSK mengkompensasikan kekurangan-kekurangan dari kedua sistem di atas, peralatannya tidak serumit untuk PSK, apalagi jika yang diterapkan adalah deteksi yang menggunakan PLL, dimana untuk sistem PLL-nya dapat digunakan IC yang berukuran relatif kecil dan murah dengan sedikit komponen-komponen external.

Dari ketiga aspek yang kita tinjau di atas, dapatlah diambil kesimpulan bahwa untuk bit-rate yang sedang atau rendah (≤ 1200 bps), pemakaian FSK

adalah lebih praktis, ekonomis dan dapat diandalkan. Karena itulah sebagian besar modem yang dibuat untuk saluran telepon dengan kecepatan rendah dan sedang memakai FSK.

