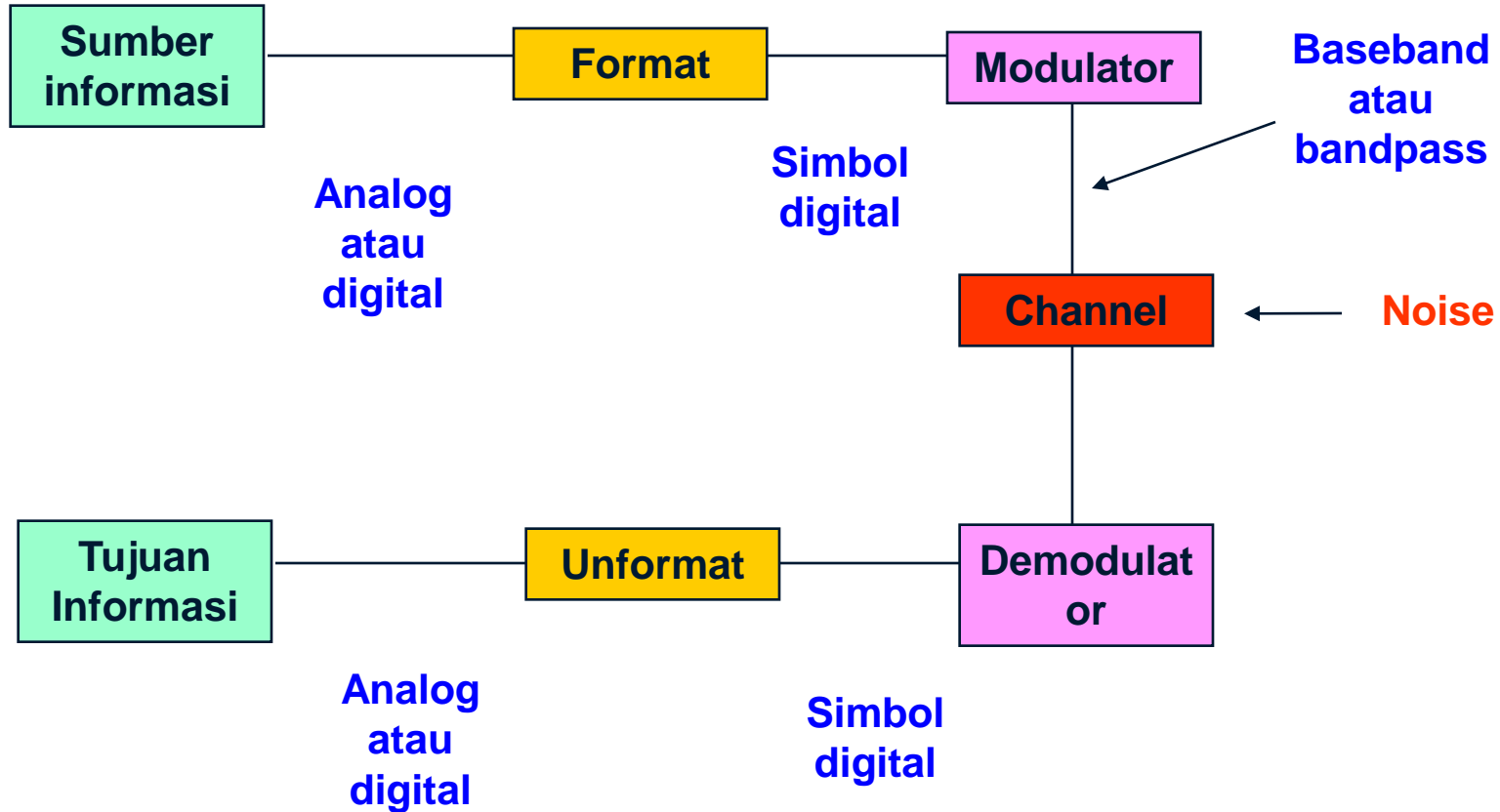


# **Modulasi Digital**

---

**Levy Olivia Nur, MT**

# Model Komunikasi Digital



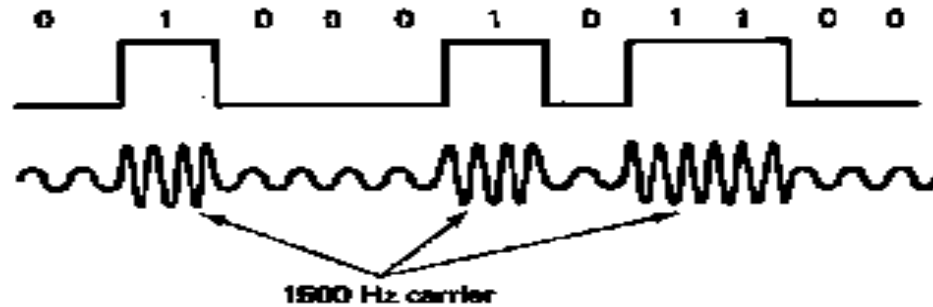
# Dasar Modulas Digital

---

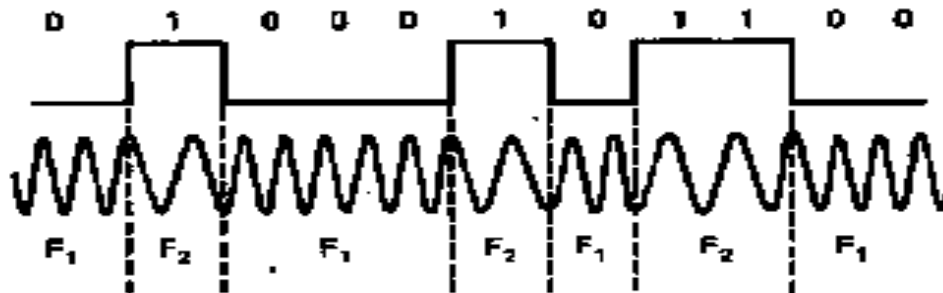
- Untuk dapat dikirimkan secara elektrik pada satu kanal, setiap bit direpresentasikan dengan dua bentuk sinyal yang berbeda, dapat disebut sebagai simbol :  $s_0(t)$  dan  $s_1(t)$
- Proses ini dilakukan setiap  $T$  detik, salah satu simbol dikirimkan sesuai dengan bit yang akan ditransmisikan
- Pemilihan bentuk  $s_0(t)$  dan  $s_1(t)$  bergantung pada jenis modulasi digital yang digunakan

# Jenis Modulasi Digital

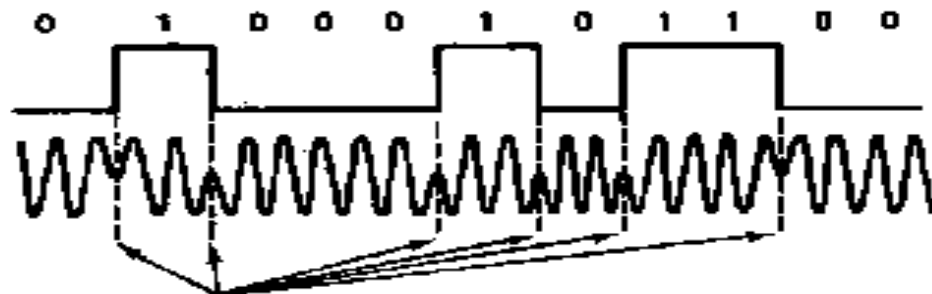
Modulasi amplitudo  
(ASK)



Modulasi Frekuensi  
(FSK)



Modulasi Fasa  
(PSK)



Perubahan fasa  $180^\circ$

# Amplitude shif keying

- ASK disebut juga OOK merupakan bentuk modulasi yang paling sederhana
- Misalkan bit pertama yang akan dikirimkan =  $b_1$  , yang akan dikirimkan pada interval bit pertama, yaitu  $0 \leq t \leq T$

- Pada modulasi OOK :

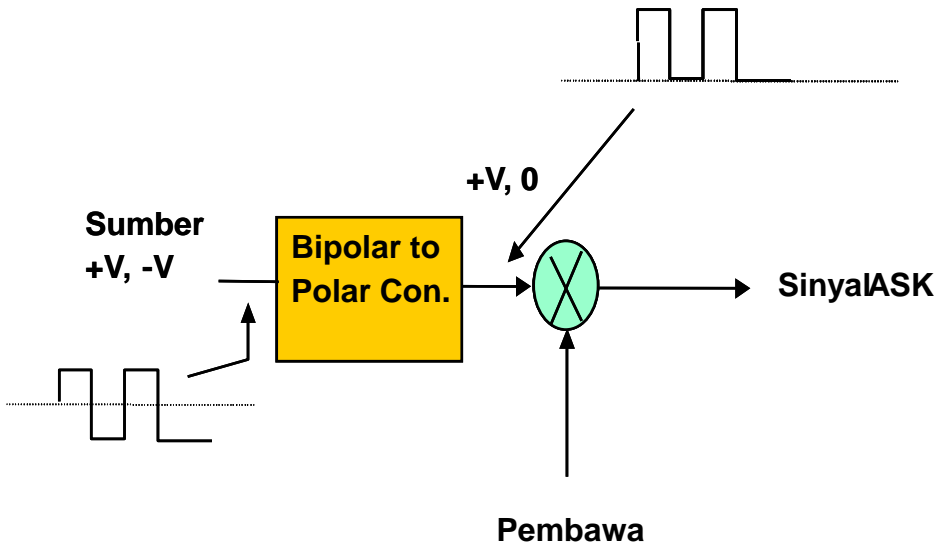
$$s_0(t) = 0 , \quad 0 \leq t \leq T$$

$$s_1(t) = A \sin (2\pi f_c t) , \quad 0 \leq t \leq T$$

dimana  $A$  adalah amplituda sinyal ,  $f_c$  adalah frekuensi carrier

- Dengan OOK kita mengirimkan “burst” sinusoidal apabila  $b_1 = 1$  dan tidak mengirimkan sinyal apapun apabila  $b_1 = 0$

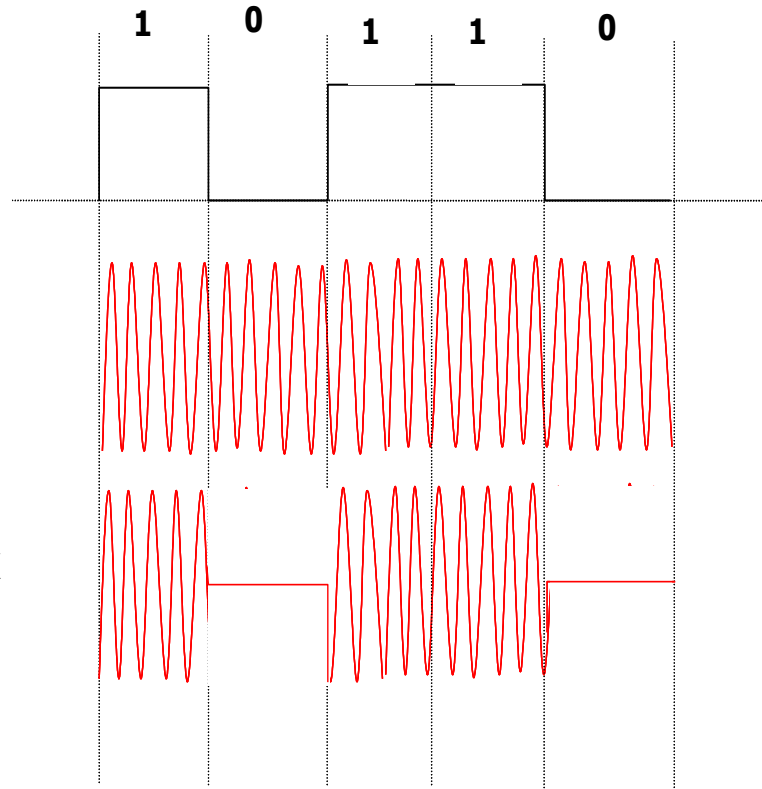
# Pembangkitan ASK



**Sumber**

**Pembawa**

**Sinyal ASK**



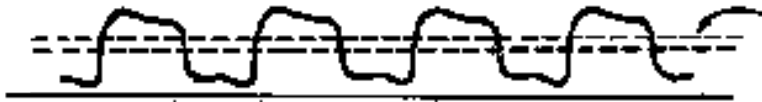
# Deteksi ASK



Sinyal yang diterima



Rectifier



Low Pass Filter



Decision circuit

0 1 0 1 0 1 0 1

# Kinerja ASK

- Deteksi ASK dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu :

## 1. Detektor koheren

$$P_e = Q\left(\sqrt{\frac{E_b}{\eta}}\right)$$

$E_b$  : Energi bit sinyal  
 $A$  : amplitudo sinyal  
 $\eta$  : level daya noise  
 $N_0$  : rapat spektral daya noise

## 2. Detektor non-koheren

$$P_e \approx \frac{1}{2} \exp\left(-\frac{A^2}{8N_0}\right), A^2 \gg N_0$$



# Frekuensi Shift Keying

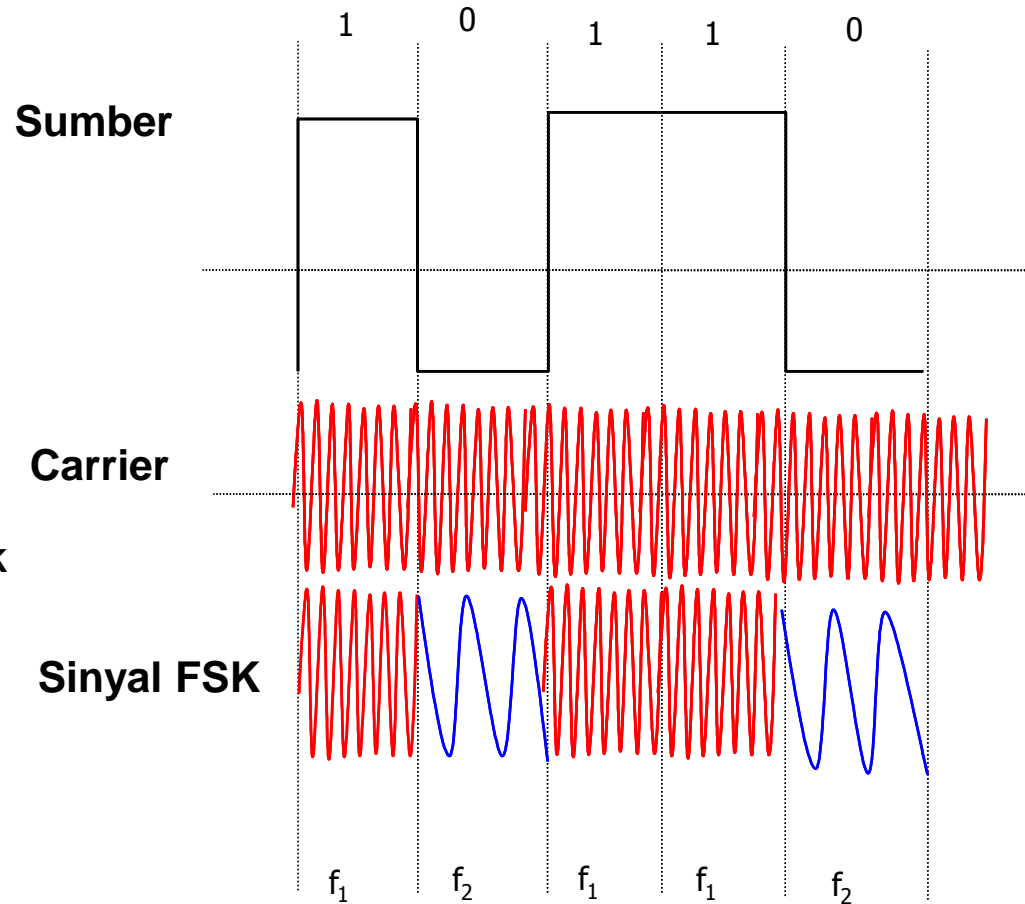
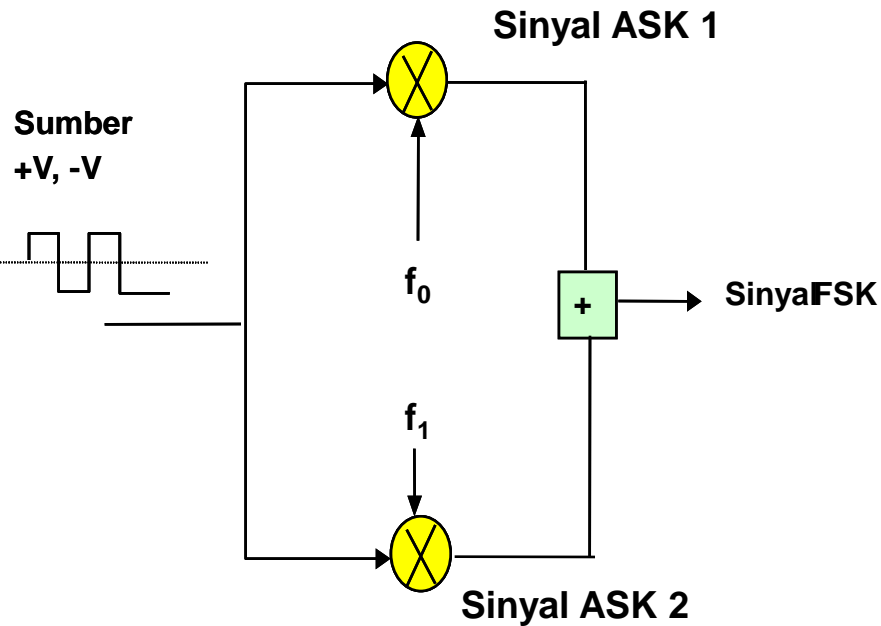
---

- Seperti pada FM, sinyal FSK dihasilkan akibat pengaruh informasi terhadap frekuensi carrier.
- Sinyal informasi pada FSK berupa digit biner dengan lebar bit  $T_b$ .
- Frekuensi carrier mempunyai 2 harga, misalnya :
  - $f_0$  untuk bit “1”
  - $f_1$  untuk bit “0”

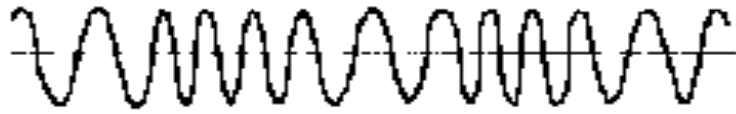
# Pembangkitan FSK

$$s_0(t) = A \sin(2\pi f_0 t), \quad 0 \leq t \leq T$$

$$s_1(t) = A \sin(2\pi f_1 t), \quad 0 \leq t \leq T$$



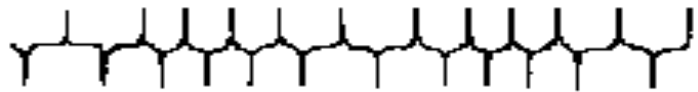
# Deteksi FSK



Sinyal yang diterima



Limiter



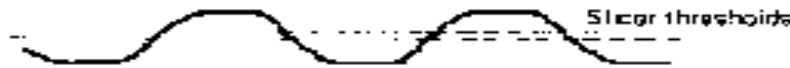
Differentiator



Rectifier



Pulse generator



Low Pass Filter



Decision circuit

# Kinerja FSK

- Deteksi ASK dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu :

1. Detektor koheren

$$P_e = Q \left[ \sqrt{1.21 \frac{E_b}{\eta}} \right]$$

2. Detektor non-koheren

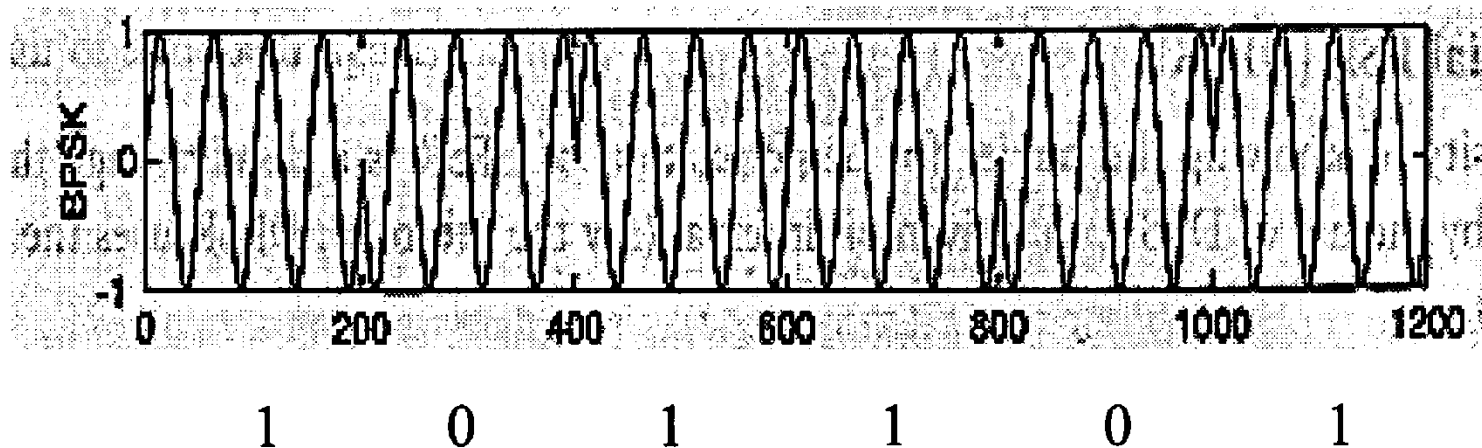
$$P_e = \frac{1}{2} e^{-\frac{E_b}{2\eta}}$$

# Binary Phase Shift Keying

$$s_0(t) = A \sin(2\pi f_c t + p), \quad 0 \leq t \leq T$$

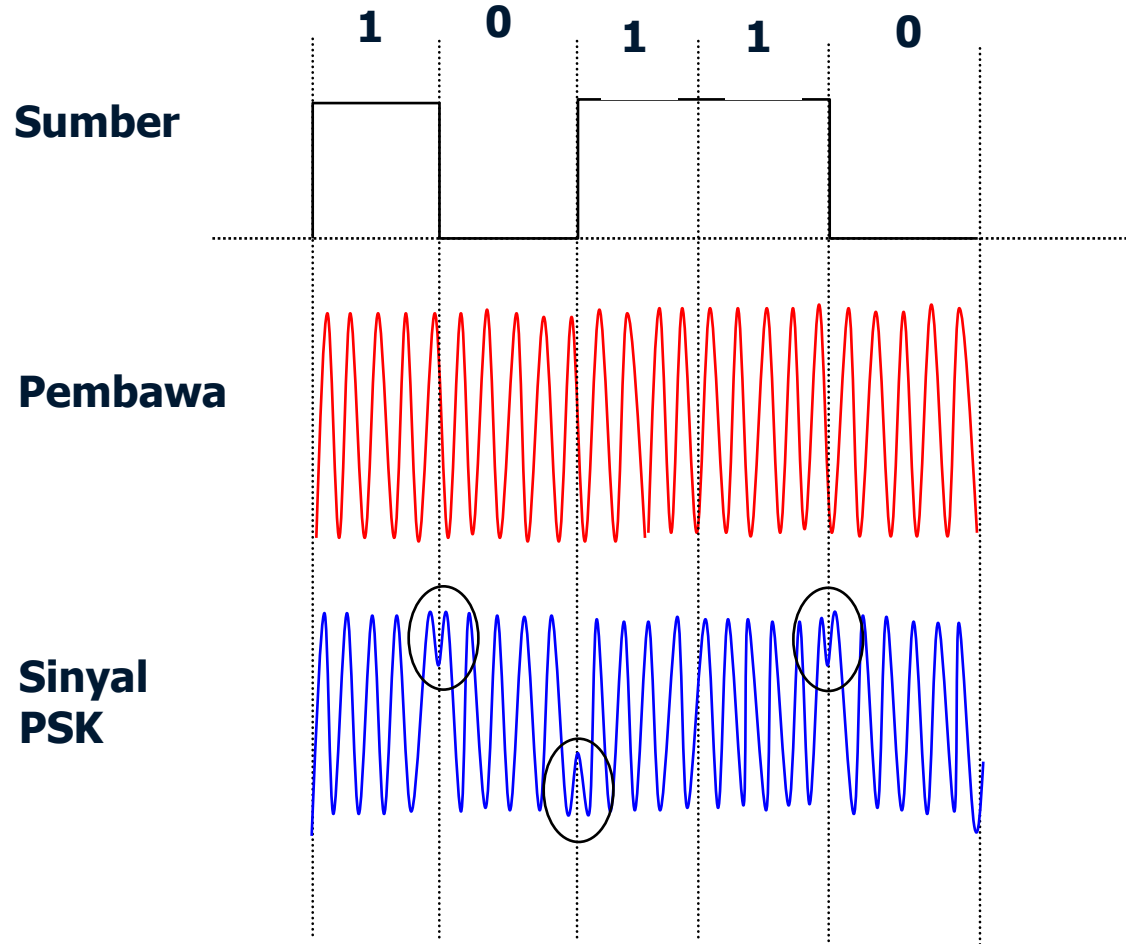
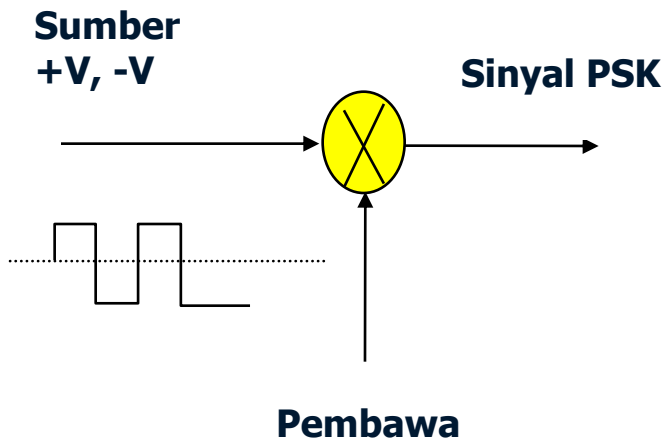
$$s_1(t) = A \sin(2\pi f_c t), \quad 0 \leq t \leq T$$

- Dengan demikian, untuk mengirimkan bit “0” fasa dari gelombang carrier dimajukan sebesar  $p$  radian



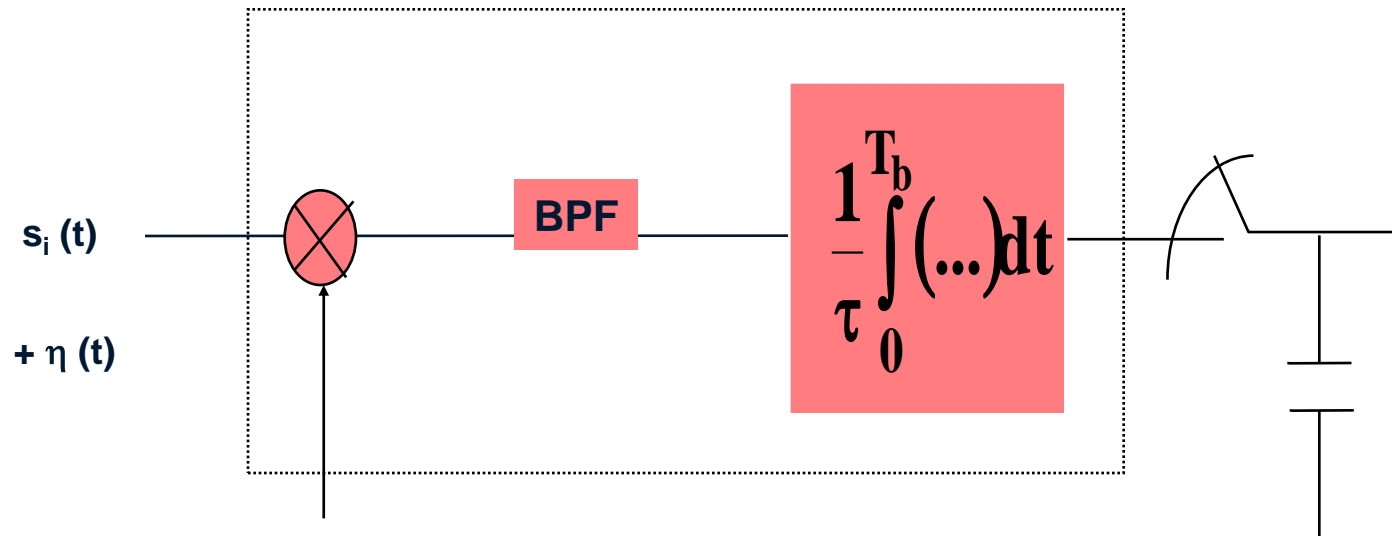
# Pembangkitan BPSK

- Mengubah fasa sinyal carrier oleh sinyal informasi digital
- Deskripsi :



# Deteksi BPSK

KORELATOR



$$2A \cos w_0 t = s_1(t) - s_2(t)$$

# Kinerja BPSK

- Deteksi BPSK dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu :

1. Detektor koheren

$$P_e = Q\left[\sqrt{\frac{2E_b}{\eta}}\right]$$

2. Detektor non-koheren

$$P_e = \frac{1}{2} \exp\left(-\frac{A^2 T_b}{2\eta}\right)$$



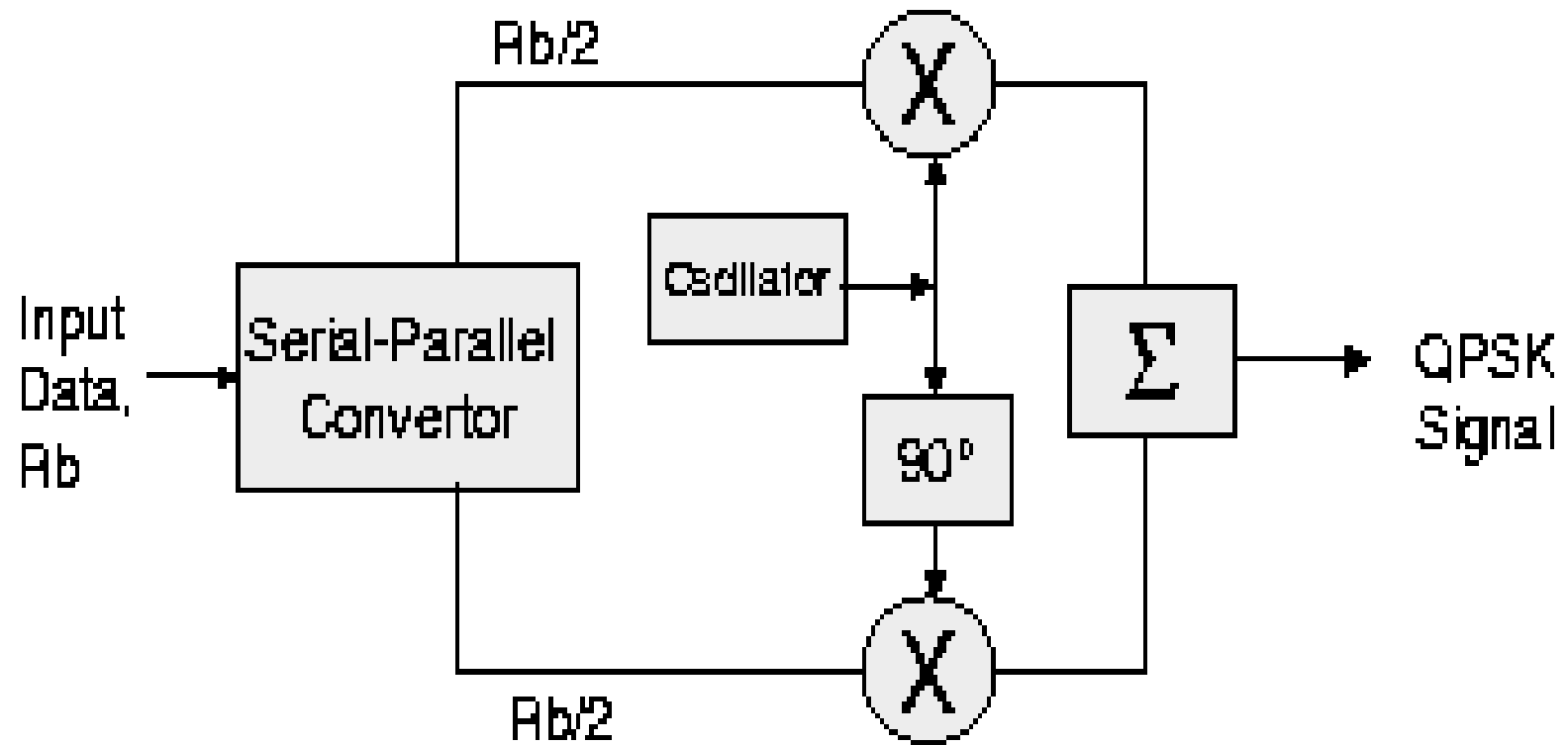
# Modulasi Tingkat Tinggi (M-Ary)

- Pada sistem Modulasi M-Ary ( $M > 2$ ) satu simbol digunakan untuk mewakili lebih dari satu bit.
- Untuk memasukkan 2-bit dalam satu simbol misalnya, maka jumlah simbol yang digunakan harus sama dengan  $2^2 = 4$  ---->  $M = 4$
- Dengan memilih M-amplituda carrier yang berbeda , M fasa carrier yang berbeda atau M frekuensi carrier yang berbeda, atau M-kombinasi amplituda/frekuensi/fasa berbeda, daapt dibentuk satu sistem modulasi digital “M-state”.

# Quadrature Phase Shift Keying

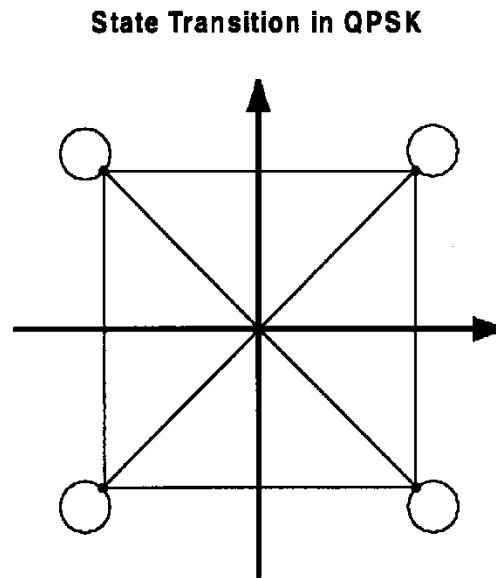
- **Pembangkitan QPSK :**
- **Urutan bit ...11000111... misalnya, dikelompokkan menjadi urutan pasangan bit ... 11 , 00 , 01 , 11 , ....**
- **Bit pertama digunakan untuk memodulasi BPSK carrier in-phase  $A \cos(2\pi f_c t)$**
- **Bit kedua digunakan untuk memodulasi BPSK carrier quadrature  $A \sin(2\pi f_c t)$**
- **Kedua tegangan sinyal BPSK in-phase dan quadrature dijumlahkan untuk membentuk sinyal QPSK**
- **Perubahan simbol terjadi setiap pemrosesan dua-bit ----> Symbol Interval = 2 x Bit Interval**

# Pembangkitan QPSK



# Konstelasi dan State Transisi pada QPSK

- Jumlah state (dinyatakan dalam fasa carrier yang berbeda)  $M = 4$  dengan kemungkinan transisi sebagai berikut :



- Apabila terjadi loncatan fasa 180 derajat akan muncul gejala “carrier-null”

# Offset QPSK (OQPSK)

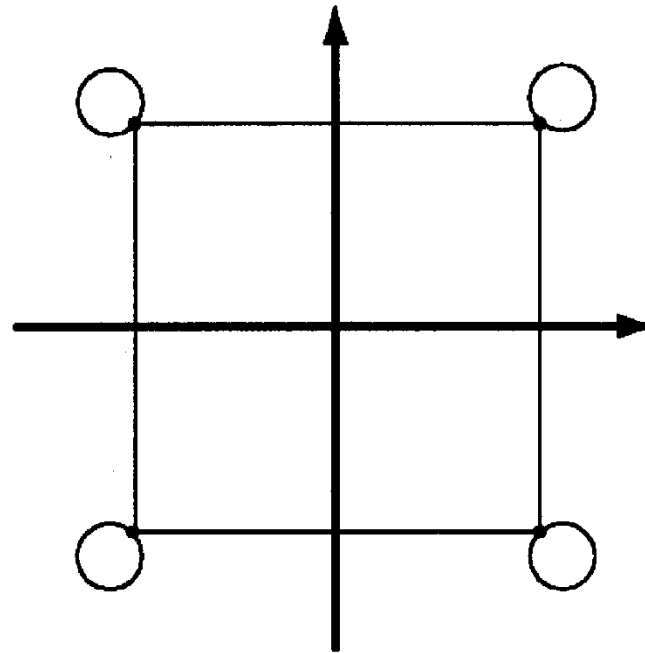
---

- Pada sistem modulasi Offset QPSK sinyal quadrature BPSK diperlambat satu Bit Interval relatif terhadap sinyal In-phase BPSK
- Dengan demikian transisi simbol kedua sinyal BPSK tidak pernah terjadi pada saat yang sama, sehingga tidak pernah terjadi loncatan fasa sebesar 180 derajat -----> tidak akan ada “carrier null”

# Konstelasi dan State Transisi pada OQPSK

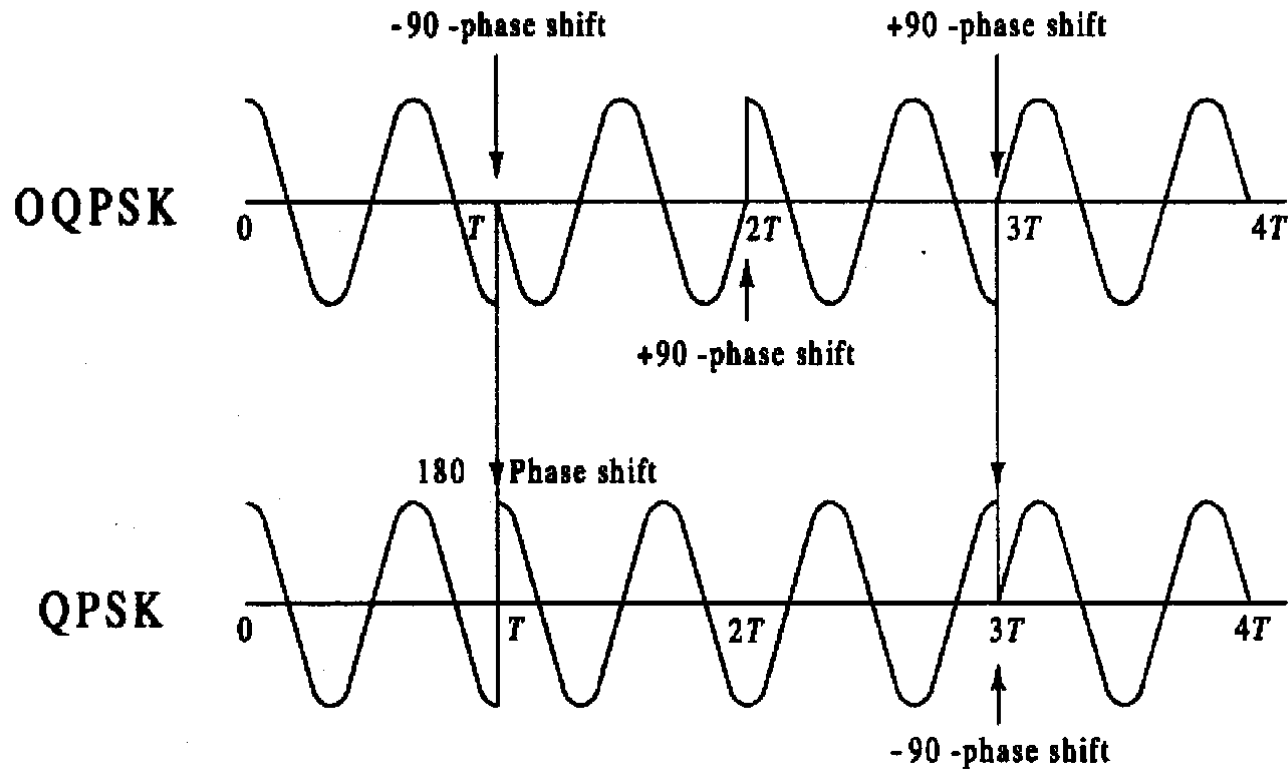
- Pada sinyal OQPSK tidak pernah terjadi transisi fasa 180 mderajat.

**OQPSK State Transition**



# Sinyal QPSK dan OQPSK

## QPSK and OQPSK Signaling



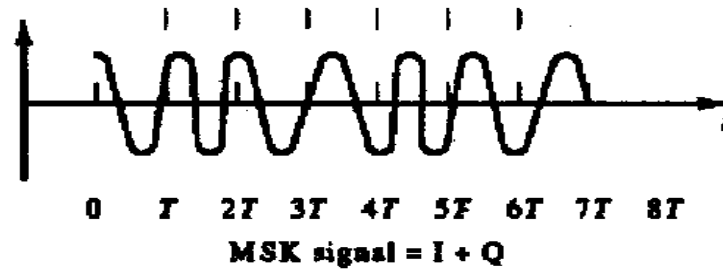
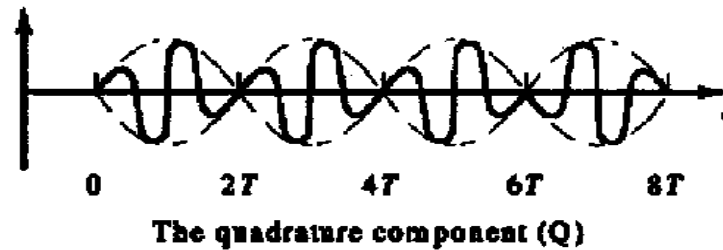
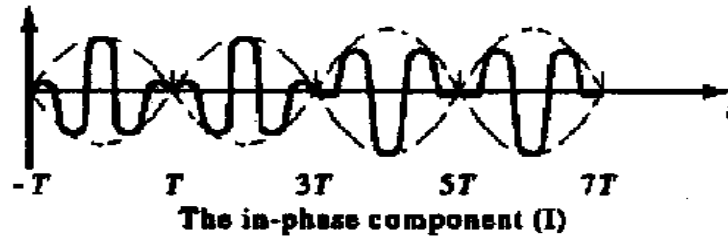
# Keuntungan OQPSK

- **Sinyal QPSK ideal akan memiliki amplituda konstan; tetapi dalam prakteknya dibatasi spektrumnya oleh filter bandpass, sehingga terjadi variasi amplituda. Apabila terjadi transisi fasa 180 derajat, hal ini akan menyebabkan gejala carrier-null.**
- **Hal-hal diatas dapat menimbulkan masalah apabila sinyal diperkuat oleh penguat daya yang selalu memiliki karakteristik non-linier sehingga terjadi gejala AM-AM dan AM-PM**



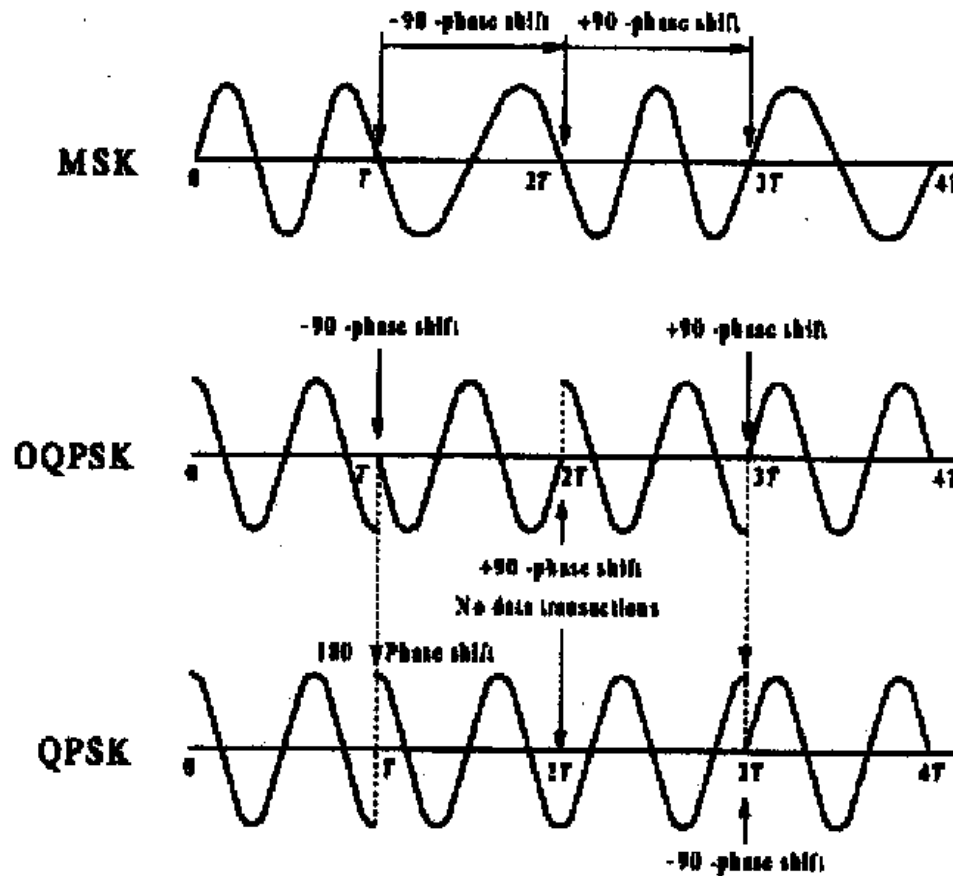
# Minimum Shift Keying (MSK) dari OQPSK

## MSK Signal as OQPSK Signal



# Perbandingan QPSK, OQPSK, dan MSK

## QPSK, OQPSK and MSK Signal Comparison

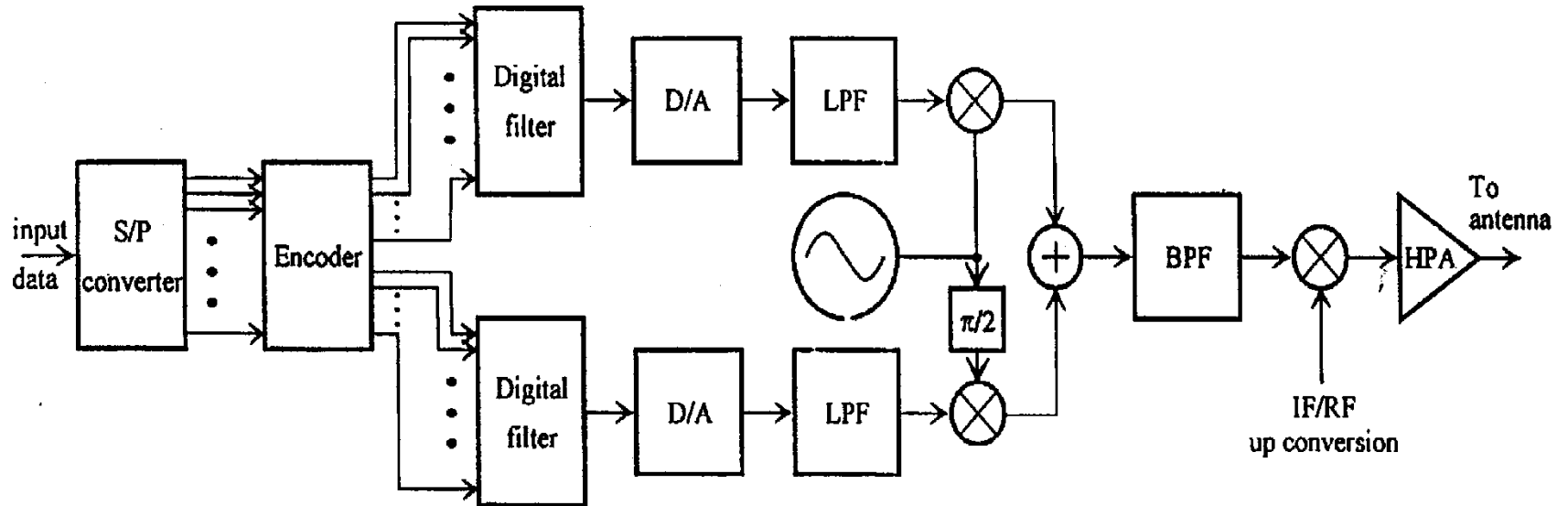


# Gaussian MSK

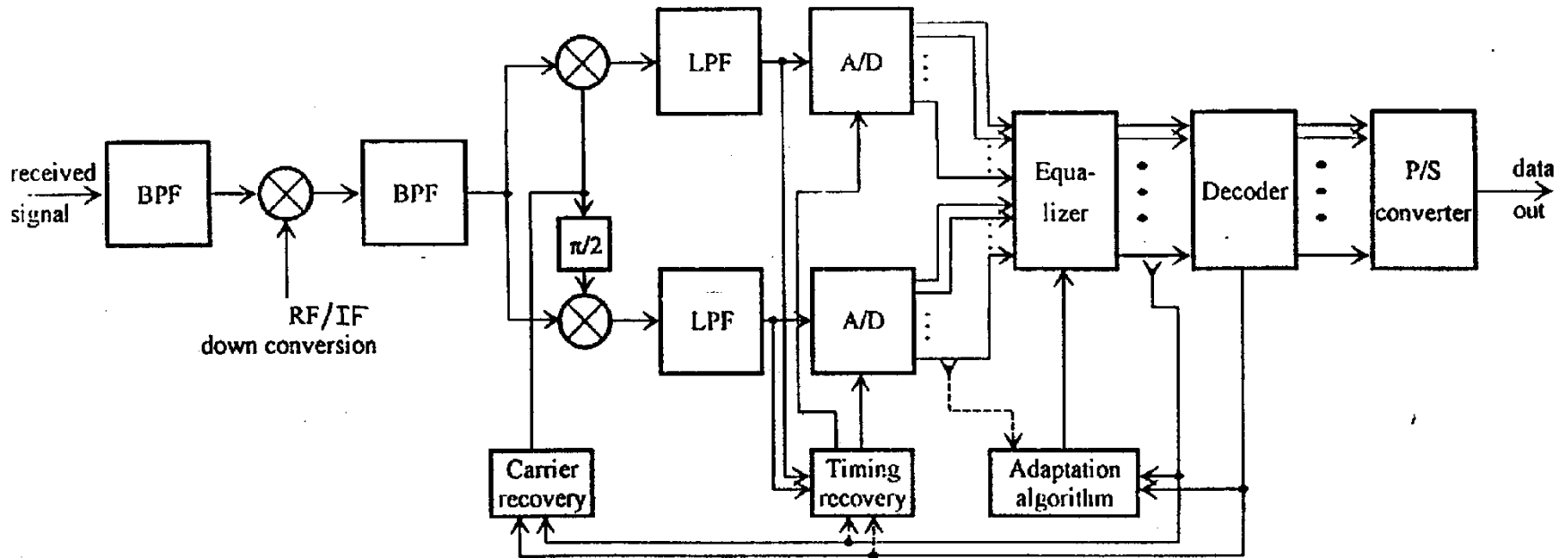
---

- **Sinyal pemodulasi pada GMSK difilter lowpass dahulu sebelum dimasukkan ke modulator MSK**
- **Dengan respons filter Gaussian, spektrum sinyal lebih sempit dibandingkan dengan MSK**

# Modulator GMSK

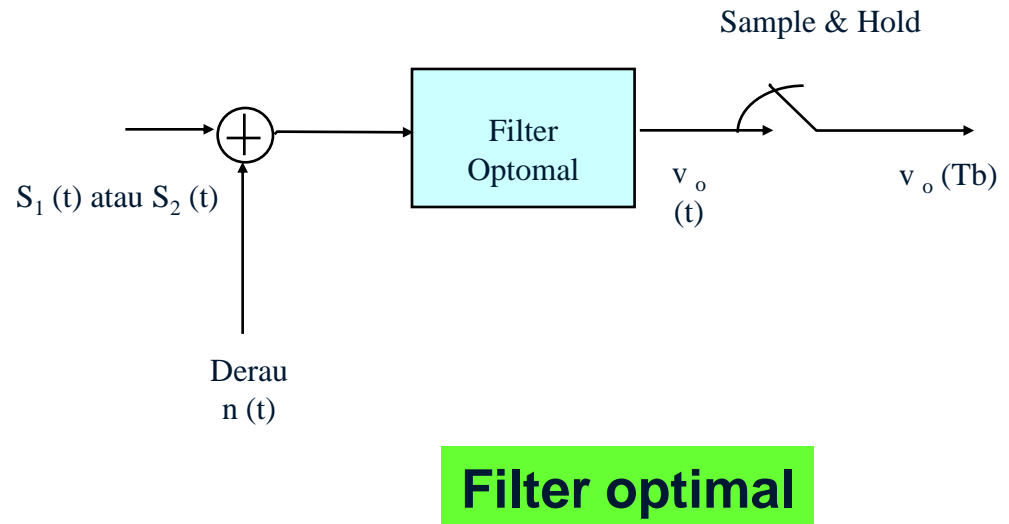
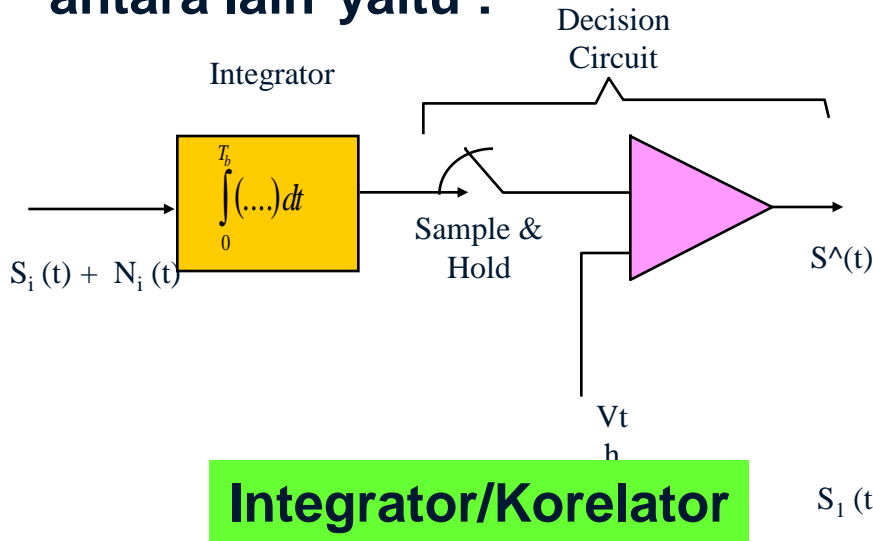


# Demodulasi dan Deteksi Digital



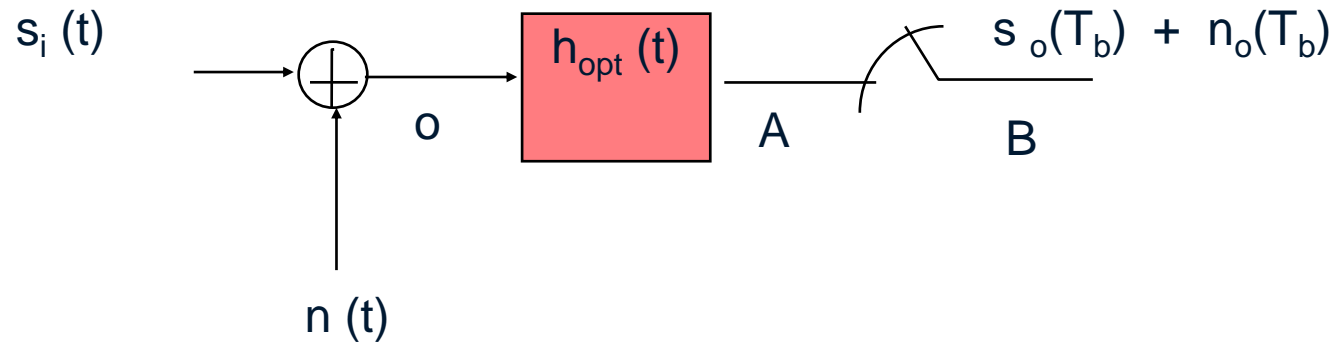
# Deteksi Koheren

- Deteksi sinyal digital koheren direalisasikan dengan berbagai metoda, antara lain yaitu :



Filter didesain untuk nose yang bukan AWGN

# Deteksi Koheren



**Matched filter**

Filter didesain untuk noise AWGN

# Catatan untuk Deteksi

---

- **PSK dan FSK tidak sensitif terhadap distorsi amplituda pada kanal**
- **Deteksi koheren memerlukan informasi eksak mengenai frekuensi dan fasa dari sinyal carrier ----> perlu Carrier Recovery**
- **Untuk OOK dapat digunakan detektor AM**
- **Awal dan akhir satu Symbol Interval harus diketahui ---> perlu bantuan rangkaian Symbol Timing Recovery**

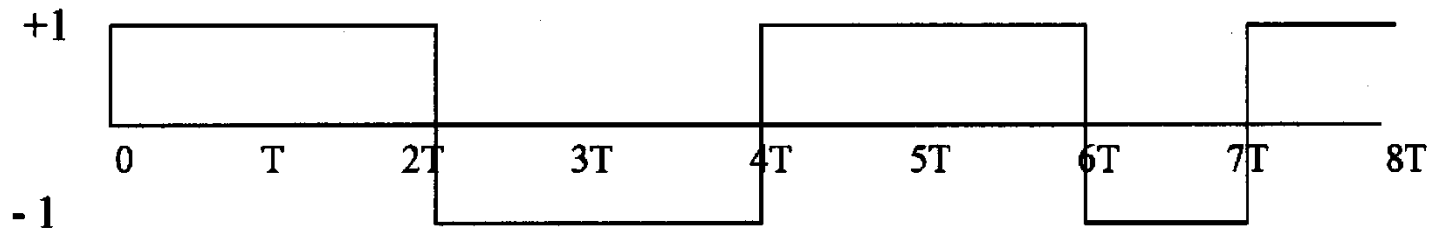


# Kebutuhan Bandwidth dan Spektrum Frekuensi

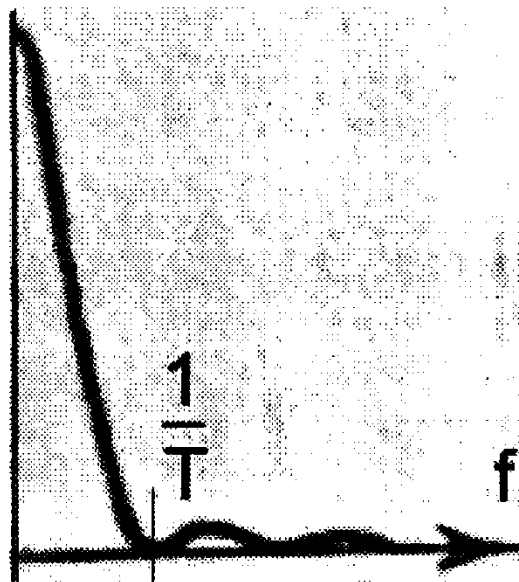
---

- **Bandwidth dari kanal transmisi akan membatasi symbol rate sinyal yang disalurkan**
- **Selanjutnya apabila kanal juga menyebabkan gangguan noise, maka kemungkinan ada kesalahan deteksi**
- **Laju kesalahan dinyatakan dalam BER (Bit Error Rate)**

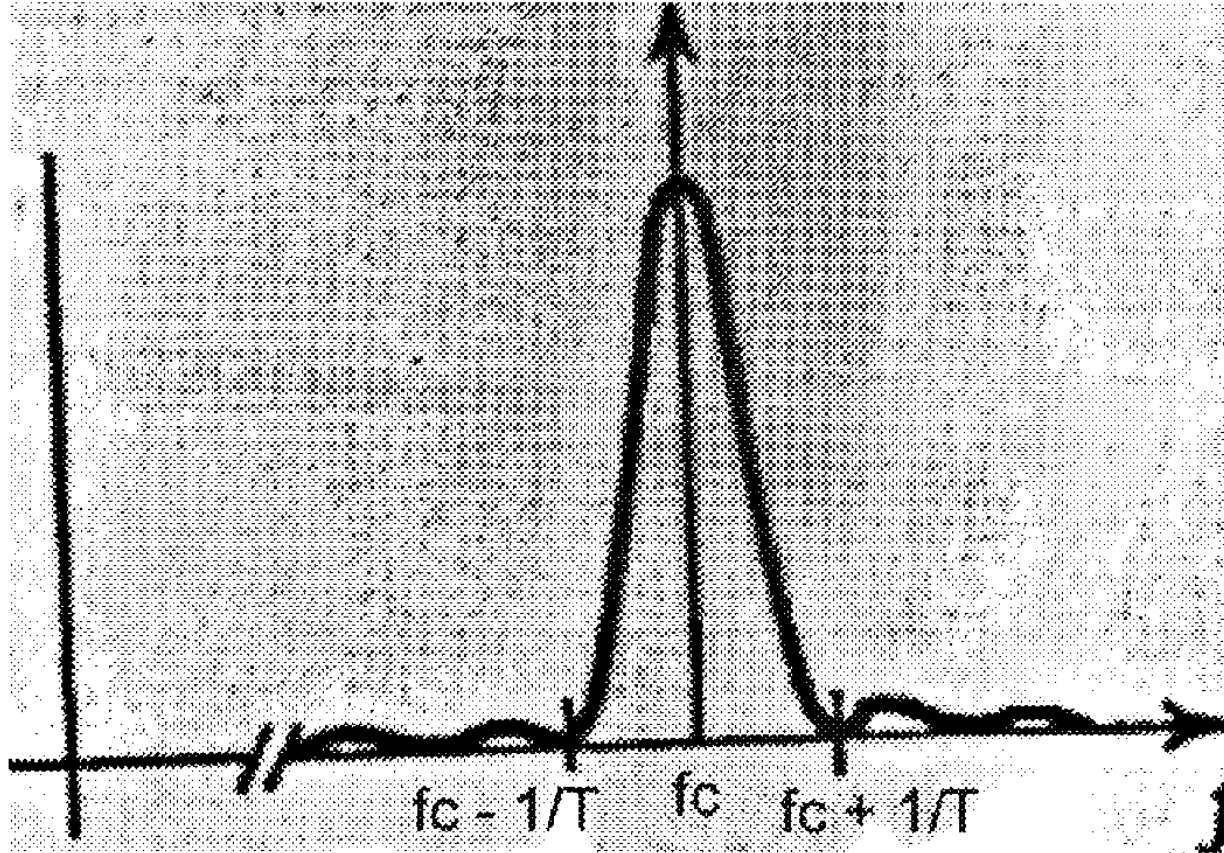
# Spektrum Sinyal Base Band



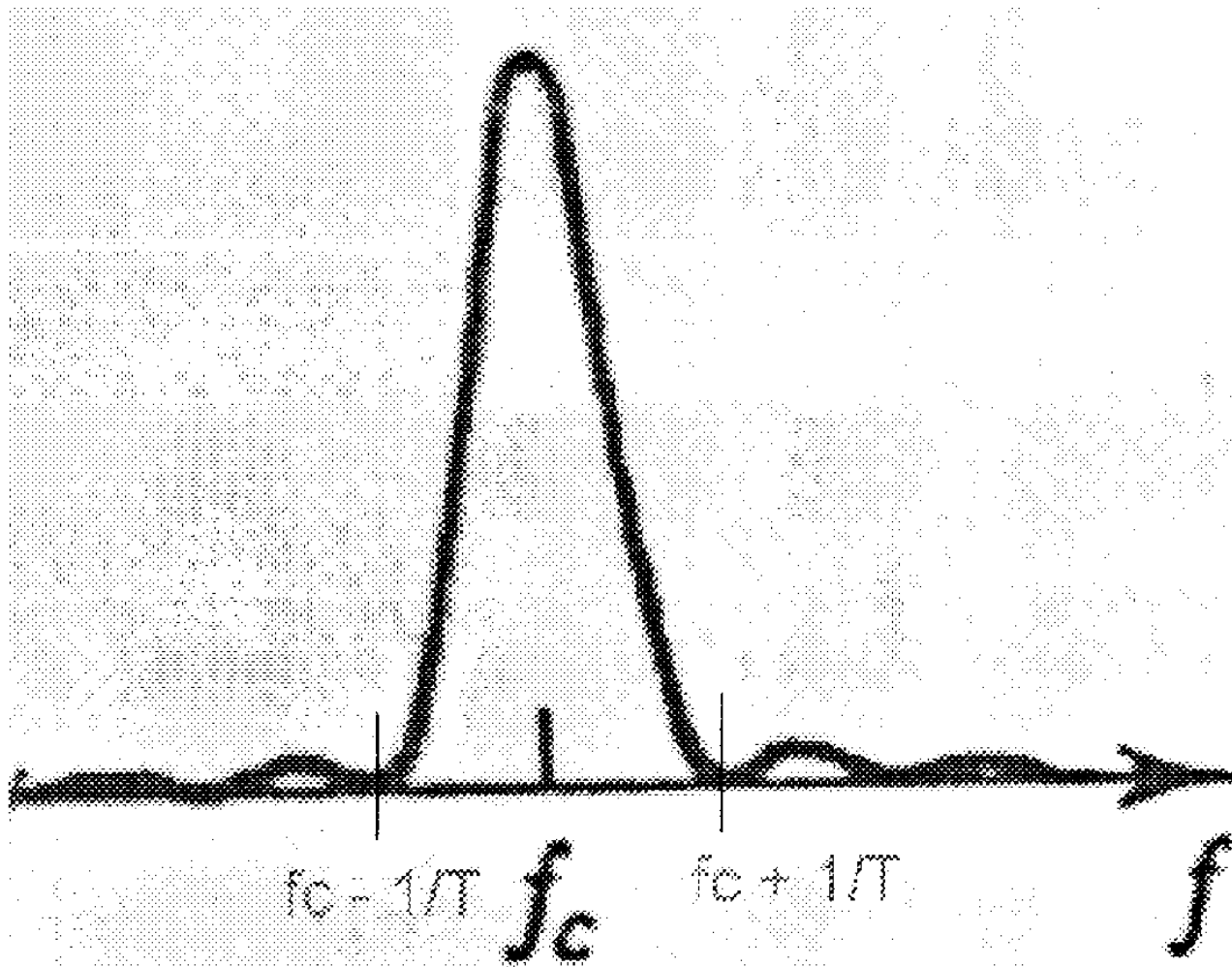
Spectrum:



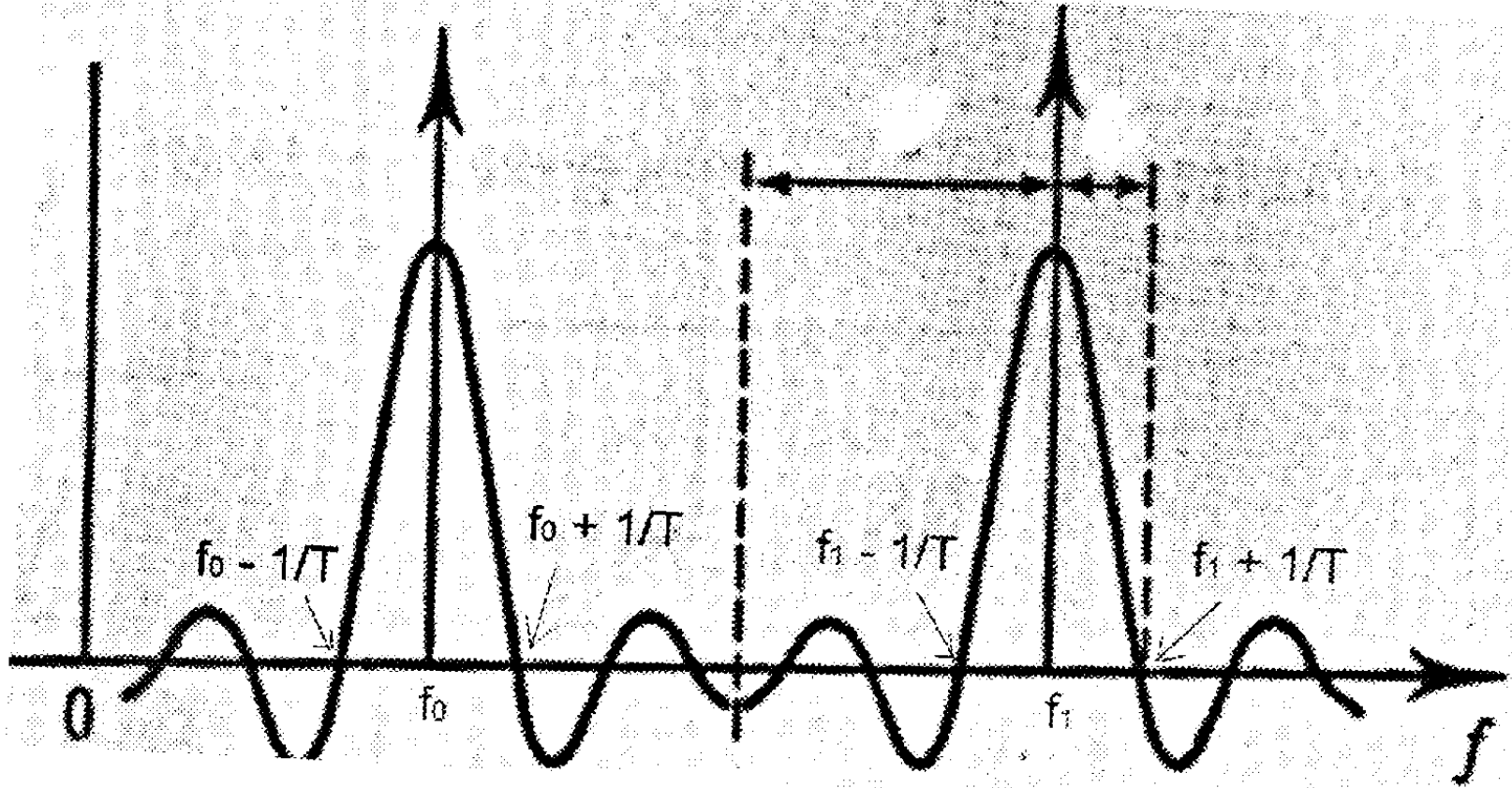
# Spektrum ASK atau OOK



# Spektrum BPSK



# Spektrum FSK



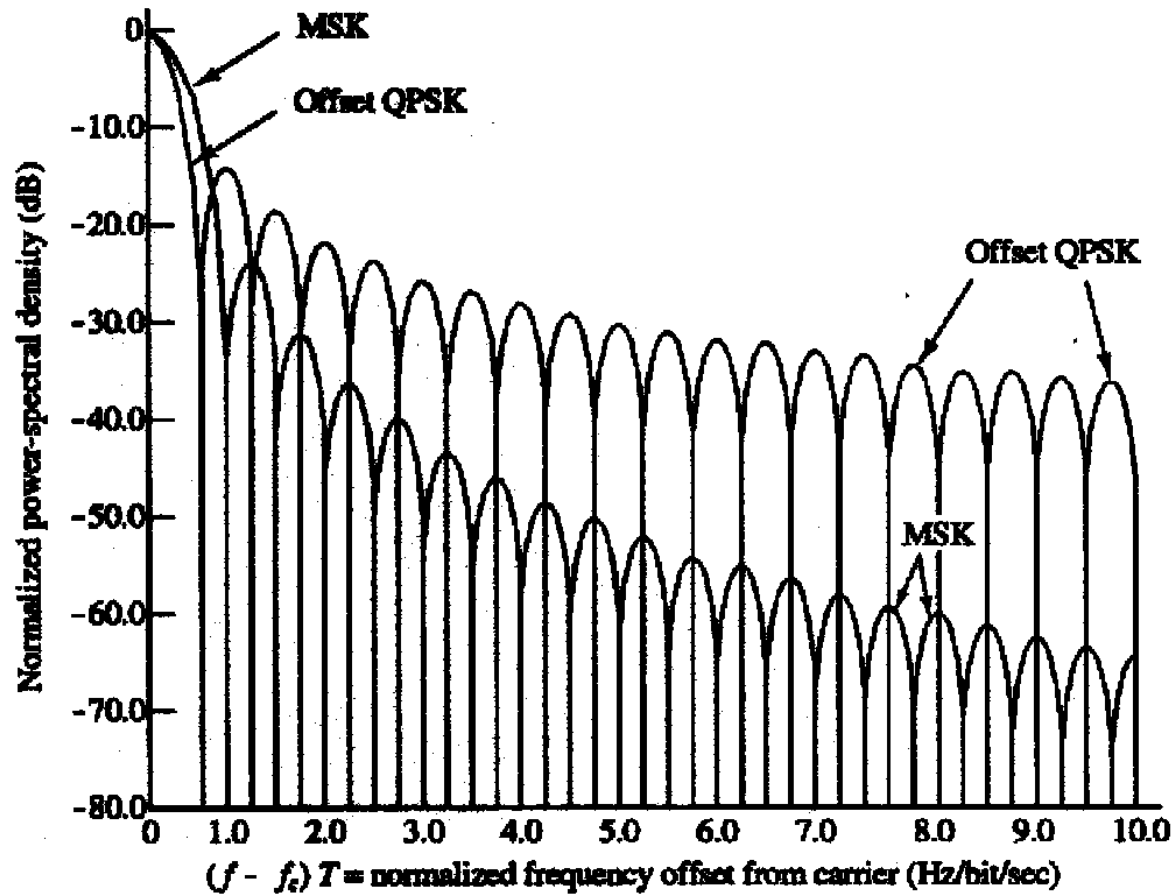
# Efisiensi Spektral Frekuensi

**Efisiensi Spektral = Bit Rate/Transmission Bandwidth**

Waveform	Theoretical (bit/Hz)	Practical (bit/Hz)	BER = $1 \times 10^{-4}$	
			$E_b/N_0$ theoretical (dB)	$E_b/N_0$ practical (dB)
OOK (detector coherent)	1	0.8	11.4	12.5
QAM	2	1.7	8.4	9.5
FSK	1	0.8	12.5	11.8
BPSK (detector coherent)	1	0.8	8.4	9.4
QPSK	2	1.9	8.4	9.9
8-ary PSK	3	2.6	11.8	12.8
16-ary PSK	4	2.9	16.2	17.2
16-ary APK (4-QAM)	4	3.1	13.1	13.4
32-ary APK (8-QAM)	6	4.5	17.8	18.4
64-ary APK (16-QAM)	8		22.4	

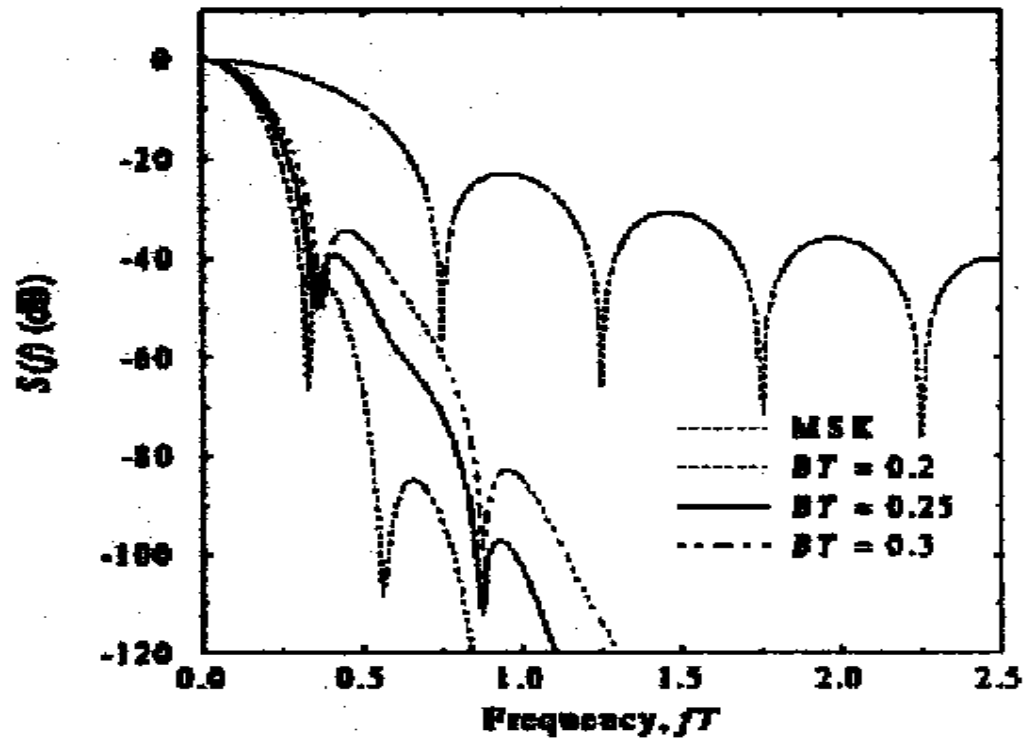
# Spektral OQPSK dan MSK

## Power Spectral Density of OQPSK and MSK



# Spektrum GMSK

## GMSK Spectrum

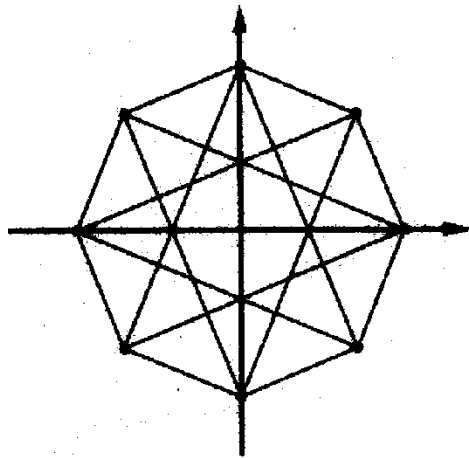




# Diferensial PSK (DPSK)

- Perubahan fasa carrier (dari 0 ke  $\pi$ ) dan sebaliknya terjadi apabila ada transisi bit dari 0 ke 1 maupun sebaliknya
- Salah satu bentuk DPSK adalah  $\pi/4$ -Shift QPSK

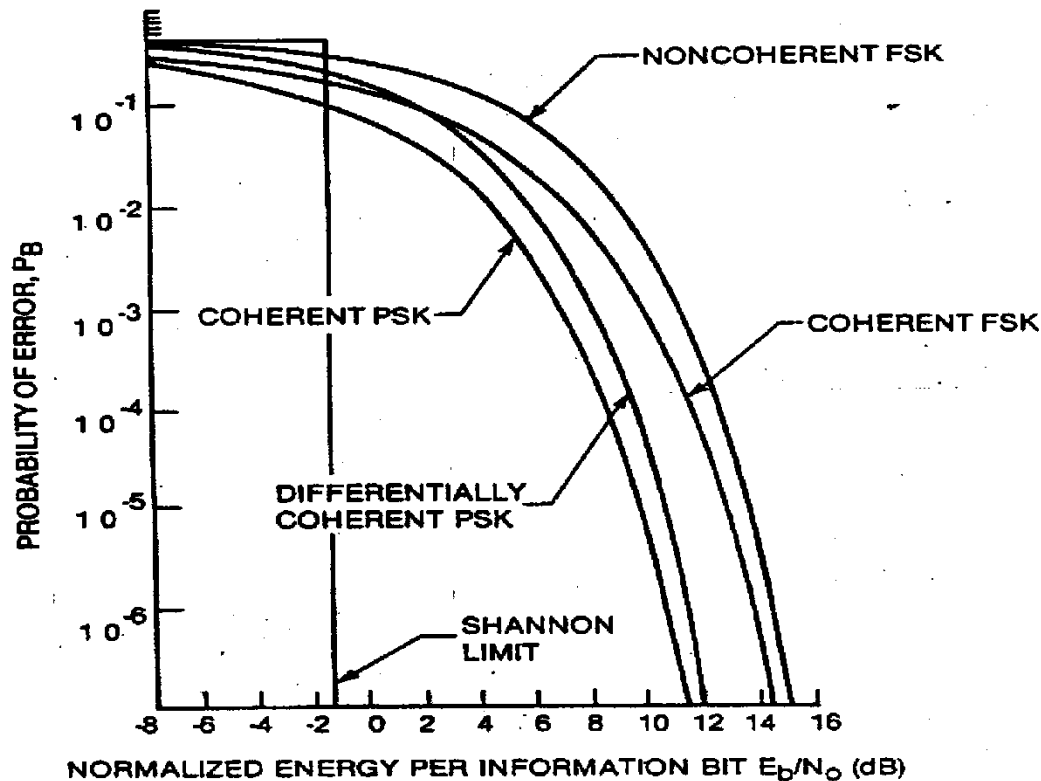
$\pi/4$ -Shift QPSK: Phase-Transition Diagram



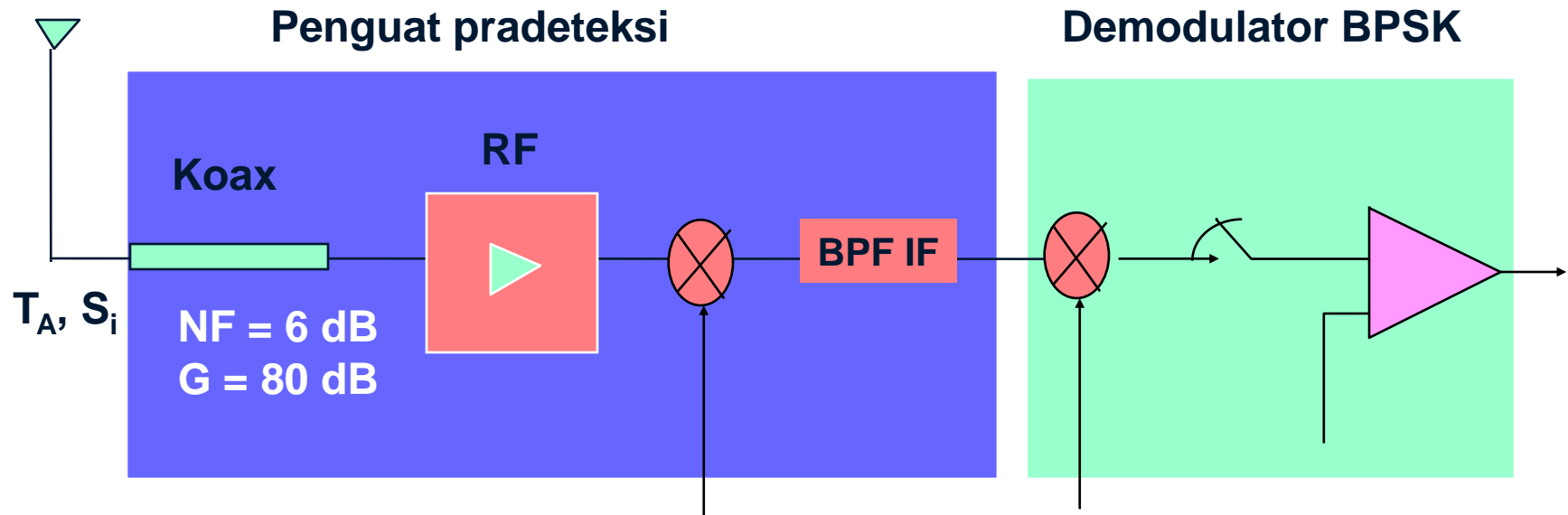
Information bits	Phase shift
11	$\pi/4$
01	$3\pi/4$
00	$-3\pi/4$
10	$-\pi/4$

# Kinerja BER Sistem Digital

- Dinyatakan sebagai harga Bit Error Rate sebagai fungsi dari  $E_b/N_0$  (Energi-per-bit terhadap Noise Density)



# Contoh Disain Sistem Digital



Diketahui

$T_A$  : 2000<sup>0</sup>K  
Sinyal BPSK : 100 kbps  
Impedansi masukan : 1 Ohm

- Jika  $BER = 10^{-5}$ , hitung daya sinyal masukan  $S_i$ , asumsi filter low pass ideal
- Berapa  $S_i$  jika lebar pita derau ekivalen = 1,4 harga idealnya

# Jawab (1)

a. Lebar pita derau ekivalen LPF (ideal, Nyquist filter) :

$$= \frac{B_R}{2} = \frac{100}{2} = 50 \text{ kbps}$$

$$\text{BER} = P_e = Q \left[ \sqrt{\frac{2E_b}{\eta}} \right]$$

$\eta$  : rapat spektral derau di keluaran antena (input koax)

$$\begin{aligned} \eta &= k [T_A + T_e] \\ &= 1,38 \cdot 10^{-23} [2000 + (10^{-6} - 1) \cdot 290] \\ &= 3,96 \times 10^{-20} \text{ watt/Hz} \end{aligned}$$

$$\text{BER} = 10^{-5} \Rightarrow \sqrt{\frac{2E_b}{\eta}} = 4,25$$

Dari Tabel bit error rate

## Jawab (2)

$$\frac{2E_b}{\eta} = 18,0625$$

$$E_b = \frac{(18,0625)(3,96 \times 10^{-20})}{2} = 3,58 \times 10^{-19} \text{ Joule}$$

$$\begin{aligned} \text{Jadi } S_i &= \frac{E_b}{T_b} = E_b B_r = 3,58 \times 10^{-19} \cdot 10^5 = 3,5 \times 10^{-14} \text{ Watt} \\ &= -104,5 \text{ dBm} \end{aligned}$$

Jadi daya sinyal masukan  $S_i$  yang diperlukan adalah -104,5 dBm

- b. Bila lebar pita derau ekuivalen naik menjadi 1,4 x BW idealnya, maka tegangan efektif derau di input decision circuit naik  $\sqrt{1,4}$  kali

## Jawab (3)

$$10^{-5} = Q\left[\frac{v}{\sigma_c}\right] \Rightarrow \frac{v}{\sigma_c} = 4,25$$

$$\frac{v}{\sqrt{1,4} \sigma_c} = \frac{4,25}{\sqrt{1,4}} = 3,59$$

$$\text{Sehingga BER} = 2 \times 10^{-4}$$

Dari tabel

Sehingga dengan adanya kenaikan lebar pita derau ekivalen akan mengakibatkan kenaikan harga BER, performansi menjadi turun.