

# **SISTEM KOMUNIKASI**

## ***MODULASI ANALOG:***

***PM (Phase Modulation) &  
FM (Frequency Modulation)***

**PRODI D3 TT  
TELKOM UNIVERSITY**



# PENDAHULUAN

---

- Lahirnya Konsep modulasi frekuensi diturunkan dari konsep modulasi sudut/fasa
  - Apa itu Modulasi Sudut (Angle modulation)?
  - Apa kaitannya dengan Modulasi Frekuensi (FM) dan Phase Modulation (PhM)?
-

# Apa itu modulasi sudut ?

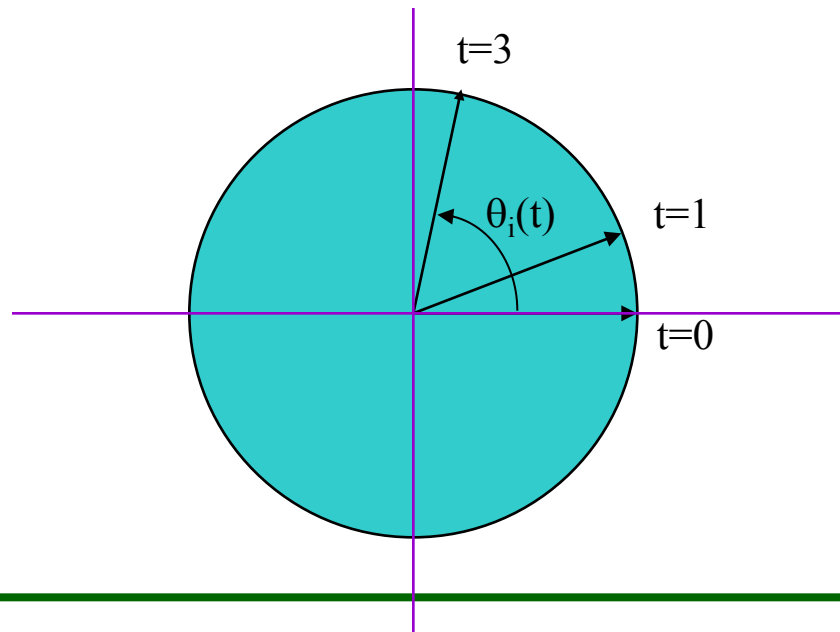
- Pada modulasi sudut, informasi terkandung pada bagian sudut dari sinyal pembawa (carrier).
- Kita definisikan sinyal pembawa yang telah termodulasi :
- Pada bidang kompleks (fasor) :

$$V_c(t) = A_c \cos 2\pi f_c t$$

$$s(t) = A_c \cos \left( \underbrace{2\pi f_c t + \phi_c}_{\theta_i(t)} \right)$$

$$s(t) = A_c \cos(\theta_i(t))$$

Phasor berputar dengan kecepatan non uniform



# Kecepatan Angular

- Jika fasa berubah secara nonuniform terhadap waktu, kita definisikan kecepatan perubahan (kecepatan Angular = kecepatan sudut) adalah :

$$\omega = 2\pi f = \frac{d\theta(t)}{dt}$$

- Yang kita definisikan sebagai frekuensi adalah :

$$s(t) = A_c \cos \left( \underbrace{2\pi f_c t + \phi_c}_{\theta_i(t)} \right) \Rightarrow \frac{d\theta_i(t)}{dt} = 2\pi f_c$$

# Frekuensi Sesaat

---

- **Frekuensi sinyal carrier** keluaran osilator adalah tetap dari waktu ke waktu.
- Pada modulasi FM frekuensi sinyal termodulasi (keluaran modulator) dapat berubah terhadap waktu.
- Sehingga kita bisa mendefinisikan frekuensi sesaat dari suatu sinyal yaitu :

$$f_i(t) = \frac{1}{2\pi} \frac{d\theta_i(t)}{dt}$$

# Contoh : Frekuensi sesaat

- Sinyal AM :

$$S_{AM-DSB-FC}(t) = A_c [1 + k_a \cdot m(t)] \cos 2\pi f_c t$$

- Pada kasus sinyal AM, amplitudo sesaat dari sinyal AM adalah berubah dari waktu ke waktu sesuai dengan sinyal informasi (pemodulasi), tetapi frekuensi sesaat dari sinyal AM adalah tetap dari waktu ke waktu dan sama dengan frekuensi sinyal AM itu sendiri.
- Pada kasus sinyal FM, frekuensi sesaat dari sinyal FM adalah berubah dari waktu ke waktu sesuai dengan amplitudo sinyal informasi (pemodulasi), tetapi mempunyai amplitudo yang tetap dari waktu ke waktu dan sama dengan amplitudo sinyal FM itu sendiri.

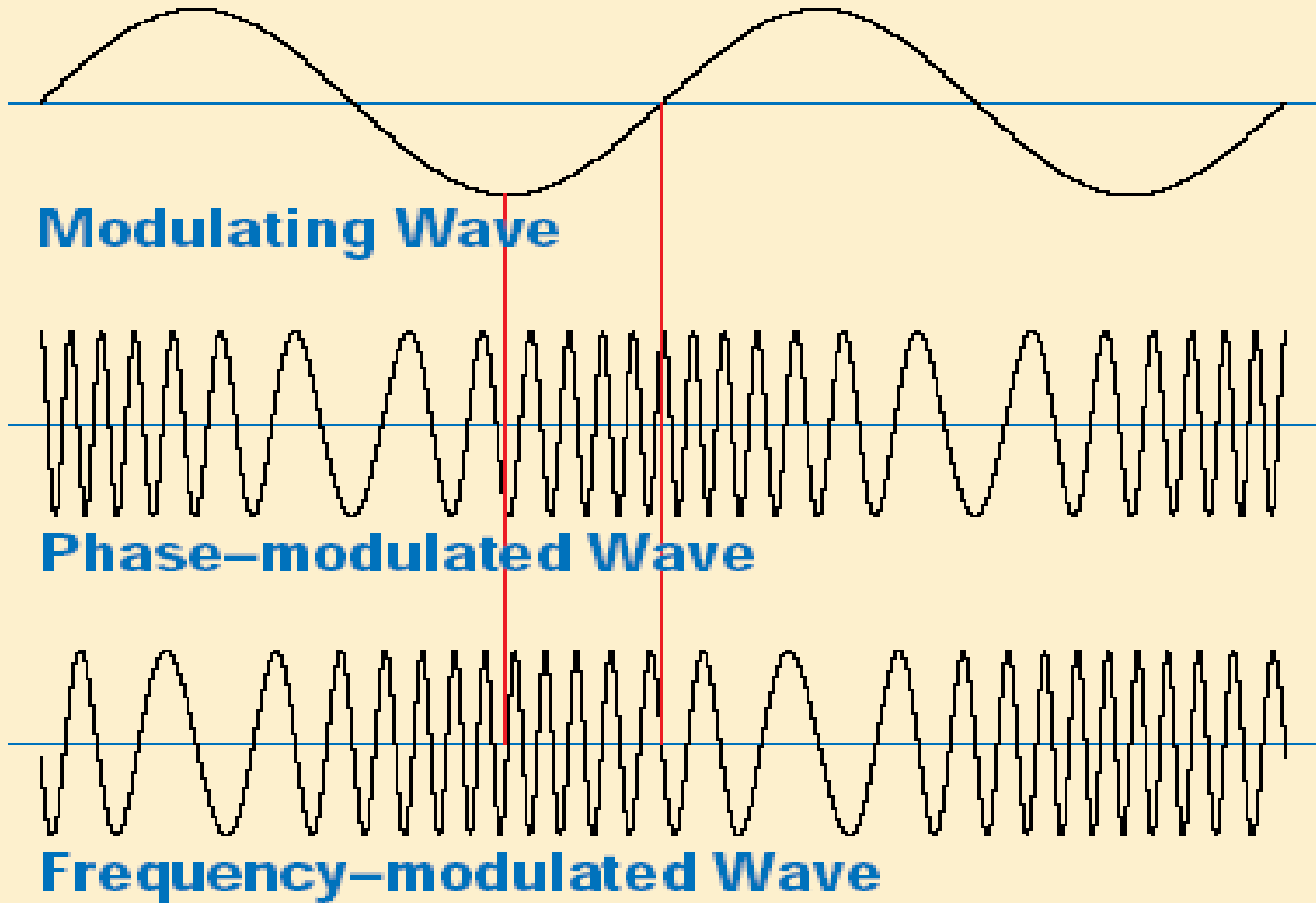
$$S_{FM}(t) = A_c \cos \left[ 2\pi f_c t + 2\pi k_f \int_0^t m(t) dt \right]$$

# Modulasi Phasa dan Modulasi Frekuensi

---

- Proses penumpangan sinyal informasi pada sinyal carrier :
    - Menumpangkan Info ke komponen ***phasa*** dari sinyal carrier → **Phase Modulation (PM)**
    - Menumpangkan Info ke komponen ***frekuensi*** dari sinyal carrier → **Frequency Modulation (FM)**
-

Berikut adalah gambar sinyal termodulasi sudut





# Modulation Phasa (PM)

---

- Pada PM, Phasa sinyal carrier berubah secara linear terhadap sinyal informasi :

$$s(t) = A_c \cos(\theta_i(t)) = A_c \cos(2\pi f_c t + k_p m(t))$$

- Dimana :
    - $2\pi f_c$  = Frekuensi Angular dari sinyal carrier
    - $k_p$  = Sensitivitas phasa (phase sensitivity) dalam radians/volt
    - $m(t)$  = Sinyal informasi (pemodulasi)
-

# Modulasi Frekuensi (FM)

---

- Pada FM, Frekuensi sesaat sinyal termodulasi berubah secara linear terhadap sinyal informasi

$$f_i(t) = f_c + k_f m(t)$$

- Dimana  $k_f$  = Sensitivitas frekuensi (Hz/volt)
-

# Sinyal FM

- Frekuensi sesaat adalah turunan dari sudut (phasa) sesaat :

$$f_i(t) = \frac{1}{2\pi} \frac{d\theta_i(t)}{dt}$$

- Sehingga sudut (fasa) sesaat merupakan integral dari frekuensi sesaat:

$$\theta_i(t) = 2\pi \int_0^t f_i(t) \cdot dt = 2\pi \int_0^t [f_c + k_f m(t)] \cdot dt$$

$$\theta_i(t) = 2\pi \cdot f_c t + 2\pi \cdot k_f \int_0^t m(t) \cdot dt$$

➔ 
$$S_{FM}(t) = A_c \cos \left[ 2\pi f_c t + 2\pi k_f \int_0^t m(t) dt \right]$$

Persamaan umum  
Sinyal FM

# Modulasi Frekuensi Untuk Sinyal info Single Tone

- Misal sinyal info sinusoidal single tone (1 buah sinyal sinusoidal):

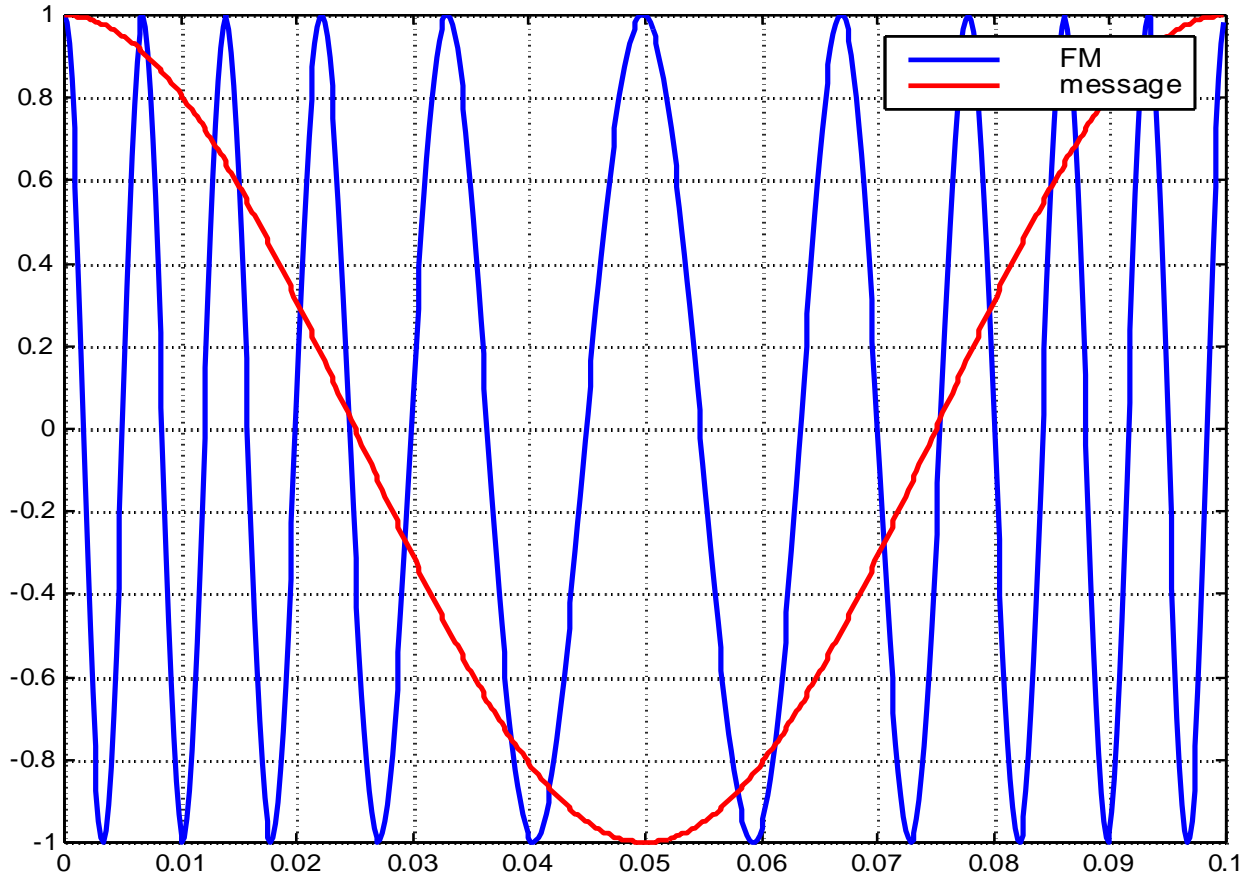
$$m(t) = A_m \cos(2\pi f_m t)$$

- Maka frekuensi sesaat sinyal FM setelah proses modulasi FM :

$$\begin{aligned} f_i(t) &= f_c + k_f m(t) \\ &= \underbrace{f_c}_{\text{Frekuensi carrier}} + k_f A_m \cos(2\pi f_m t) \end{aligned}$$

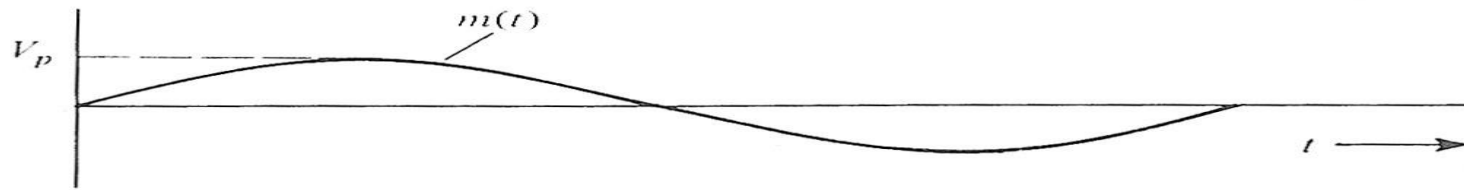
- Frekuensi sesaat sinyal FM =  $f_i(t)$  berubah –ubah terhadap waktu mengikuti amplituda sinyal informasi

# Ilustrasi Sinyal FM Domain Waktu

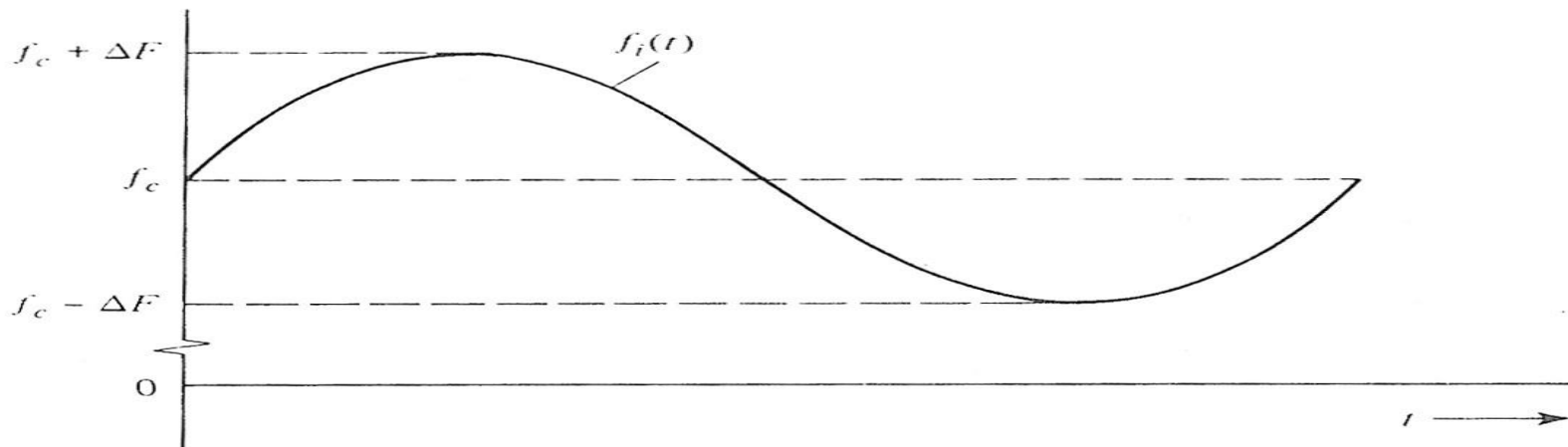


Frekuensi sesaat sinyal FM berubah mengikuti amplituda sinyal info

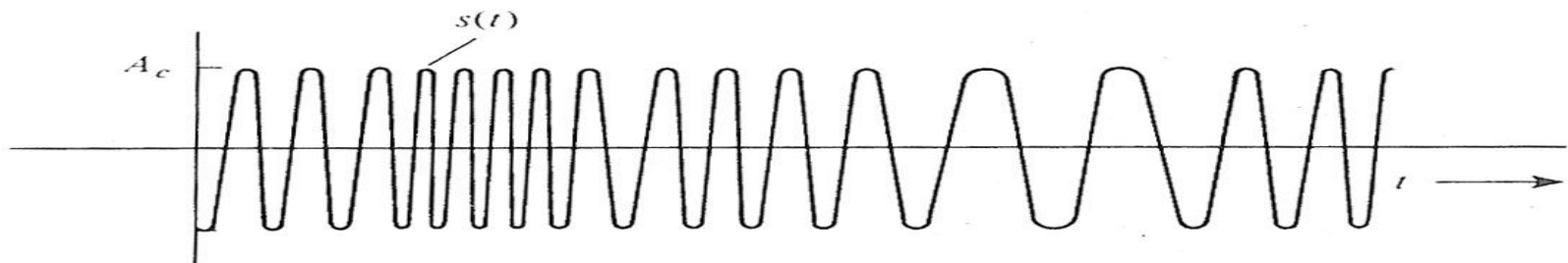
# Ilustrasi Sinyal FM



(a) Sinusoidal Modulating Signal



(b) Instantaneous Frequency of the Corresponding FM Signal



(c) Corresponding FM Signal

# Deviasi Frekuensi Sinyal FM

- Frekuensi sinyal FM mempunyai nilai maksimum dan minimum yang dibatasi oleh

$$f_i(t) = f_c + k_f A_m \cos(2\pi f_m t)$$

$$f_i(t) = f_c + \Delta f \cos(2\pi f_m t)$$

dimana :

$$\Delta f = \text{deviasi frekuensi} = k_f A_m$$

sehingga :

$$f_i|_{\max} = f_c + \Delta f$$

$$f_i|_{\min} = f_c - \Delta f$$

# Index Modulasi FM

- Seperti pada AM, modulasi FM mempunyai index modulasi =  $\beta$  atau disebut juga *deviation ratio*.
- Index modulasi merepresentasikan seberapa besar perubahan frekuensi sinyal carrier terhadap bandwidth sinyal informasi (base band)

$$\beta = \frac{\Delta f}{\underbrace{W}_{\text{base band}}} = \frac{\Delta f}{\underbrace{f_m}_{\text{tone}}} = \frac{k_f A_m}{f_m}$$



# Persamaan sinyal FM untuk info Single Tone

- Persamaan sinyal FM untuk info single tone :

$$s(t) = A_c \cos \left[ 2\pi f_c t + 2\pi k_f \int_0^t m(t) dt \right]$$

$$s(t) = A_c \cos \left[ 2\pi f_c t + 2\pi k_f \int_0^t A_m \cos(\omega_m t) dt \right]$$

$$s(t) = A_c \cos \left[ 2\pi f_c t + \frac{k_f A_m}{f_m} \sin(\omega_m t) \right]$$

$$S(t) = A_c \cos \left[ 2\pi f_c t + \beta \sin(\omega_m t) \right]$$

# Bandwidth FM

---

- Jika diasumsikan info adalah single tone, maka persamaan FM

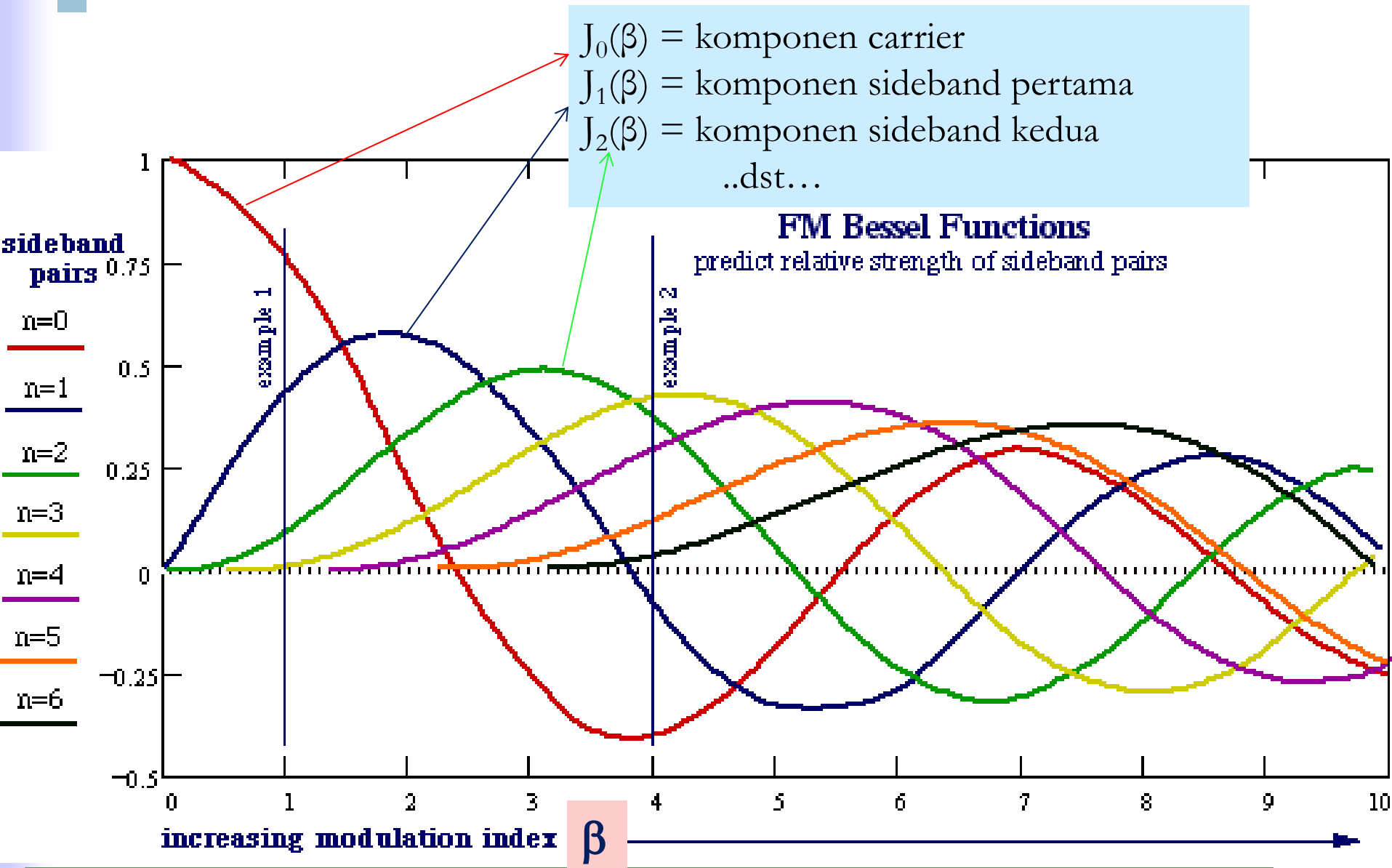
$$S(t) = A_c \cos[2\pi f_c t + \beta \sin(2\pi f_m t)]$$

- Persamaan tsb dapat dijabarkan menjadi sbb :

$$S(t) = A_c \sum_{n=-\infty}^{+\infty} J_n(\beta) \cos(2\pi f_c + n2\pi f_m)t$$

- Dimana  $J_n(\beta)$  adalah fungsi besseel jenis pertama dan sudah disediakan dalam bentuk grafik dan tabel
-

# Grafik Fungsi Bessel



# Tabel fungsi Bessel:

$\beta$	$J_0(\beta)$	$J_1(\beta)$	$J_2(\beta)$	$J_3(\beta)$	$J_4(\beta)$	$J_5(\beta)$
2	0.224	0.577	0.353	<u>0.129</u>	0.034	0.007
2,4	0	0.52	0.43	0.20	0.06	0.02
3	-0.260	0.339	0.486	0.309	<u>0.132</u>	0.043
4	-0.397	-0.066	0.364	0.430	0.281	<u>0.132</u>

# Tabel fungsi Bessel:

**TABLE A6.5** *Table of Bessel functions<sup>a</sup>*

		$J_n(\beta)$								
$n \setminus \beta$	0.5	1	2	3	4	6	8	10	12	
0	0.9385	0.7652	0.2239	-0.2601	-0.3971	0.1506	0.1717	-0.2459	0.0477	
1	0.2423	0.4401	0.5767	0.3391	-0.0660	-0.2767	0.2346	0.0435	-0.2234	
2	0.0306	0.1149	0.3528	0.4861	0.3641	-0.2429	-0.1130	0.2546	-0.0849	
3	0.0026	0.0196	0.1289	0.3091	0.4302	0.1148	-0.2911	0.0584	0.1951	
4	0.0002	0.0025	0.0340	0.1320	0.2811	0.3576	-0.1054	-0.2196	0.1825	
5	—	0.0002	0.0070	0.0430	0.1321	0.3621	0.1858	-0.2341	-0.0735	
6		—	0.0012	0.0114	0.0491	0.2458	0.3376	-0.0145	-0.2437	
7			0.0002	0.0025	0.0152	0.1296	0.3206	0.2167	-0.1703	
8			—	0.0005	0.0040	0.0565	0.2235	0.3179	0.0451	
9				0.0001	0.0009	0.0212	0.1263	0.2919	0.2304	
10				—	0.0002	0.0070	0.0608	0.2075	0.3005	
11					—	0.0020	0.0256	0.1231	0.2704	
12						0.0005	0.0096	0.0634	0.1953	
13						0.0001	0.0033	0.0290	0.1201	
14						—	0.0010	0.0120	0.0650	



# Bandwidth FM

---

- Fungsi Bessel merepresentasikan sideband – sideband yang ditempatkan diantara frekuensi carrier dan terletak pada frekuensi informasi dan kelipatannya.
  - Jumlah sideband pada fungsi Bessel tak hingga.
  - Pada sinyal FM, fungsi Bessel menentukan amplituda sinyal carrier dan amplituda sidebandnya.
  - Sideband yang amplitudanya kurang dari 1% amplituda carrier, dapat diabaikan.
-

# Bandwidth FM

---

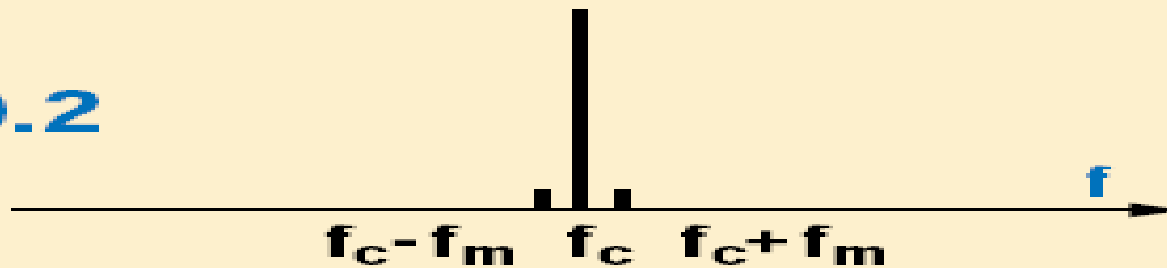
- Secara teoritis, bandwidth sinyal FM adalah tak hingga. Hal ini akibat dari fungsi bessel
- Untuk pendekatan, maka bandwidth FM didekati dengan BANDWIDTH CARSON :

$$BW = 2 (\Delta f + f_m) = 2f_m(\beta + 1)$$

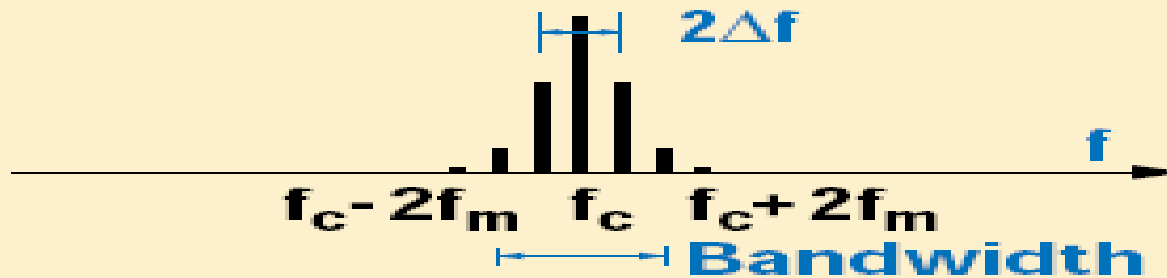
- Pada BANDWIDTH CARSON kandungan energi sinyal FM adalah 99 % dari kandungan energi total sinyal FM
  - $\Delta f$  = deviasi frekuensi maksimum (untuk informasi sinyal sembarang)
  - $\Delta f$  = deviasi frekuensi (untuk informasi sinyal single tone)
  - $f_m$  = frekuensi pemodulasi/informasi maksimum (untuk informasi sinyal sembarang)
  - $f_m$  = frekuensi pemodulasi/informasi (untuk informasi sinyal single tone)
-

# Spektrum Frekuensi FM

$$\beta = 0.2$$



$$\beta = 1$$



$$\beta = 5$$



$$\beta = 10$$







# Spektrum Frekuensi FM

---

<b>Index Modulasi</b>	<b>Jumlah Sideband yang Significant</b>	<b>Bandwidth dalam <math>f_m</math></b>
<b>0.1</b>	<b>2</b>	<b>2</b>
<b>0.3</b>	<b>4</b>	<b>4</b>
<b>0.5</b>	<b>4</b>	<b>4</b>
<b>1.0</b>	<b>4</b>	<b>4</b>
<b>2.0</b>	<b>6</b>	<b>6</b>
<b>5.0</b>	<b>12</b>	<b>12</b>
<b>10.0</b>	<b>22</b>	<b>22</b>
<b>20.0</b>	<b>42</b>	<b>42</b>
<b>30.0</b>	<b>62</b>	<b>62</b>

---

# Latihan soal:

---

1. Hitung index modulasi dan bandwidth sinyal FM, jika deviasi frekuensi FM = 75 KHz dan sinyal pemodulasi ber-frekuensi 15 khz
  
  2. Suatu modulator FM mempunyai sinyal pembawa  $V_c(t) = 20 \cos(2\pi \cdot 10^8 t)$  volt. Sinyal FM yang terjadi akan mengalami "**Null Carrier pertama**" jika diberi informasi  $V_s(t) = 2 \cos(\pi \cdot 10^4 t)$  volt.
    - a. Hitung deviasi frekuensi ( $\Delta f$ ), Bandwidth Carlson (**BWc**) dan daya sinyal FM pada kondisi tersebut!
    - b. Gambarkan (sketsalah) spektrum frekuensi sinyal FM di atas!

Jika pemodulasi/informasi diubah menjadi  $V_s'(t) = 4 \cos(24\pi \cdot 10^3 t)$ .

    - c. Hitung deviasi frekuensi maksimum ( $\Delta f$ ), indeks modulasi  $\beta$  (maksimum), Bandwidth Carlson (**BWc**) dan daya sinyal FM!
    - d. Gambarkan (sketsalah) spektrum frekuensi sinyal FM pd point c.!
-

# Wideband vs. narrowband FM

---

- NBFM is defined by the condition
    - $\Delta f \ll W$  (fm)  $\longrightarrow B_{FM} = 2W = 2 \cdot \Delta f$
    - This is just like AM. No advantage here
  - WBFM is defined by the condition
    - $\Delta f \gg W$  (fm)  $\longrightarrow B_{FM} = 2 \Delta f$
    - This is what we have for a true FM signal
-



# Boundary

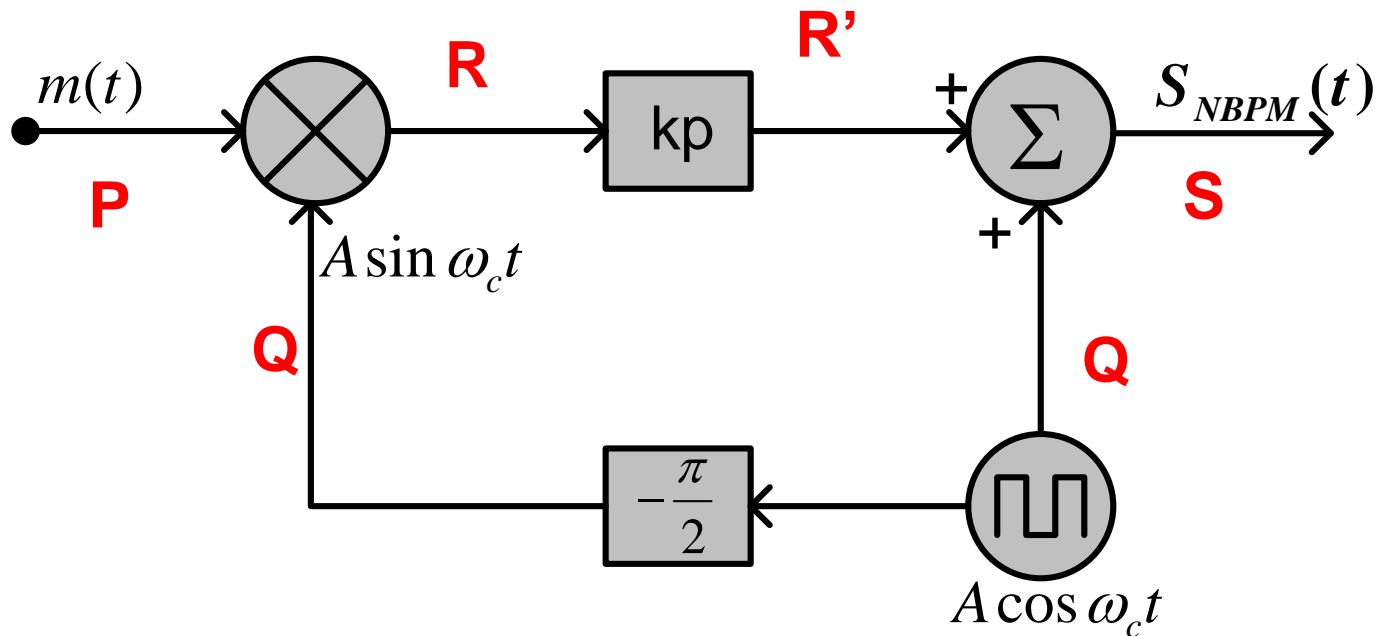
---

## between narrowband and wideband FM

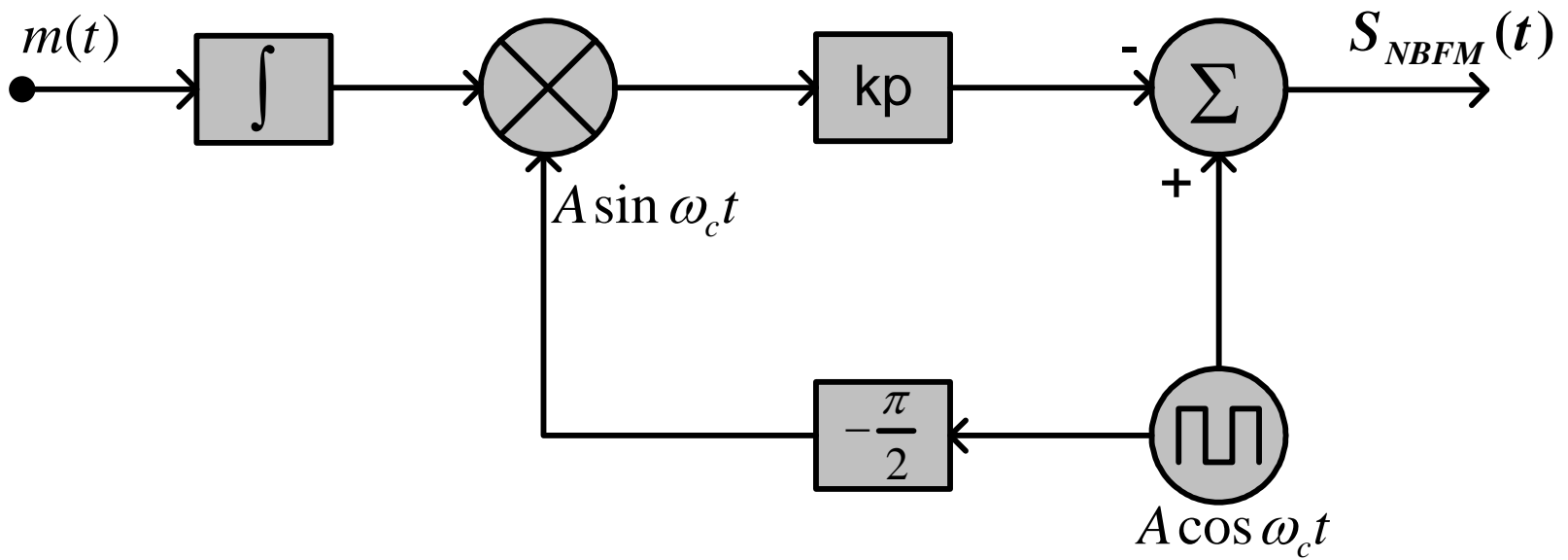
- This distinction is controlled by  $\beta$ 
    - If  $\beta \geq 1 \rightarrow$  WBFM
    - If  $\beta < 1 \rightarrow$  NBFM
  - Needless to say there is no point for going with NBFM because the signal looks and sounds more like AM
-

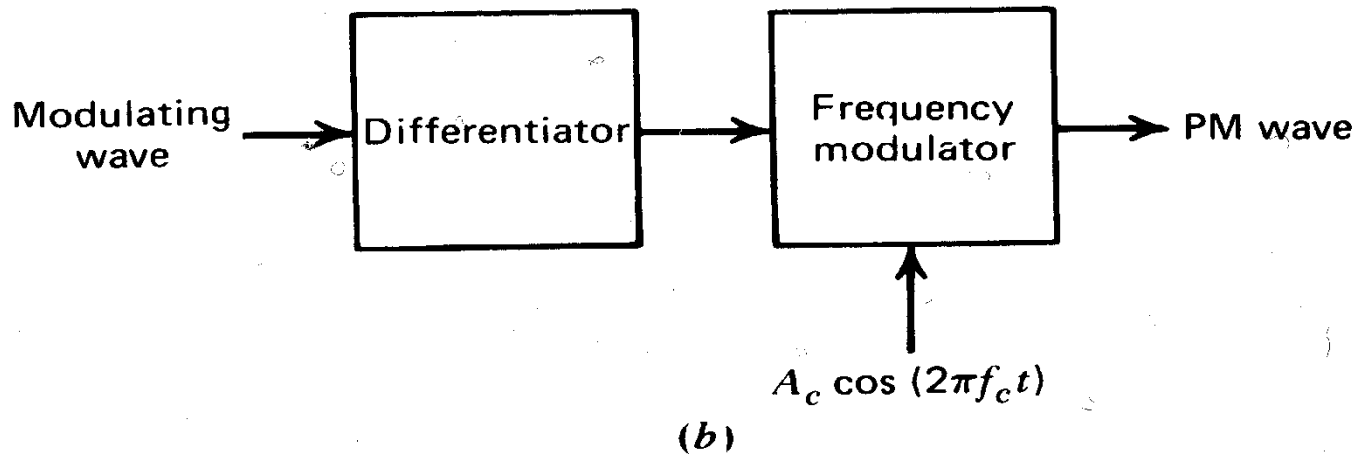
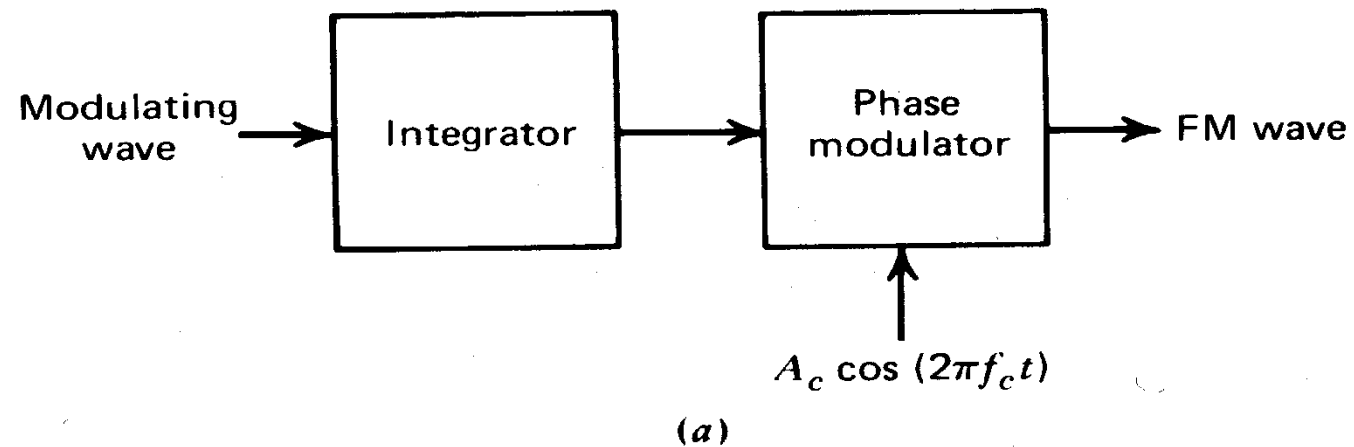
# PEMBANGKITAN SINYAL TERMODULASI SUDUT

- Modulasi sudut pita sempit
  - Narrow Band PM



□ Narrow Band FM



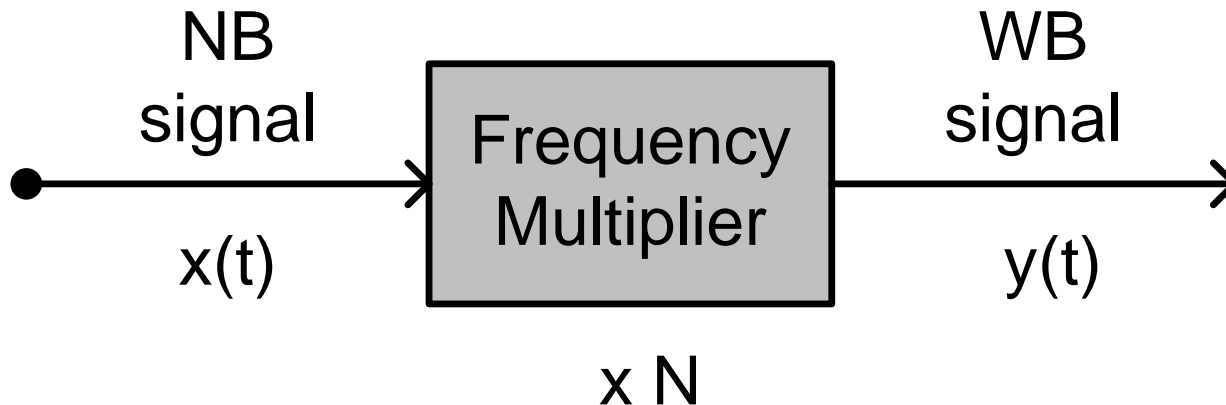


**Figure 3.30** Illustrating the relationship between frequency modulation and phase modulation. (a) Scheme for generating an FM wave by using a phase modulator. (b) Scheme for generating a PM wave by using a frequency modulator.

# Modulasi Sudut Pita Lebar

## □ Indirect Method

Pada metode ini, sinyal termodulasi sudut pita sempit yang telah diproduksi dikalikan  $n$  oleh sebuah multiplier, sehingga diperoleh sinyal termodulasi sudut pita lebar







---

## □ Direct Method

Sinyal pemodulasi (informasi) secara langsung mengontrol sinyal *carrier*, contohnya adalah dengan menggunakan *Voltage Controlled Oscillator (VCO)*

---