

---

# E5-3: Modulationsteori

## SE-kursus

Søren Holdt Jensen

[shj@kom.aau.dk](mailto:shj@kom.aau.dk)

---

# Modulationsteori

---

Lærebog: S. Haykin, "Communication Systems, 4. udg., Wiley 2001

Hjælpelærere: Hans Lauerberg/Jesper Højvang Jensen

1. mm: Amplitudemodulation

2. mm: Frekvensmodulation

3. mm: Sampling, pulsamplitude- og pulskodemodulation

4. mm: Digital modulation

5. mm: Spredt spektrum teknik, frekvens/tids/kodeopdelt multipleks

Eksamen i januar 2006

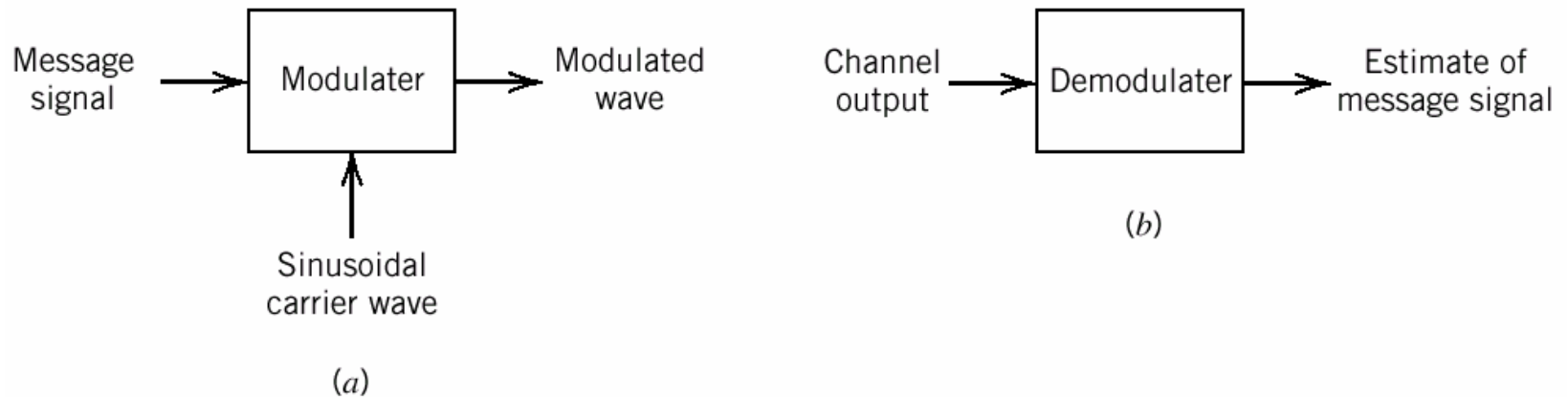
# Modulation

---

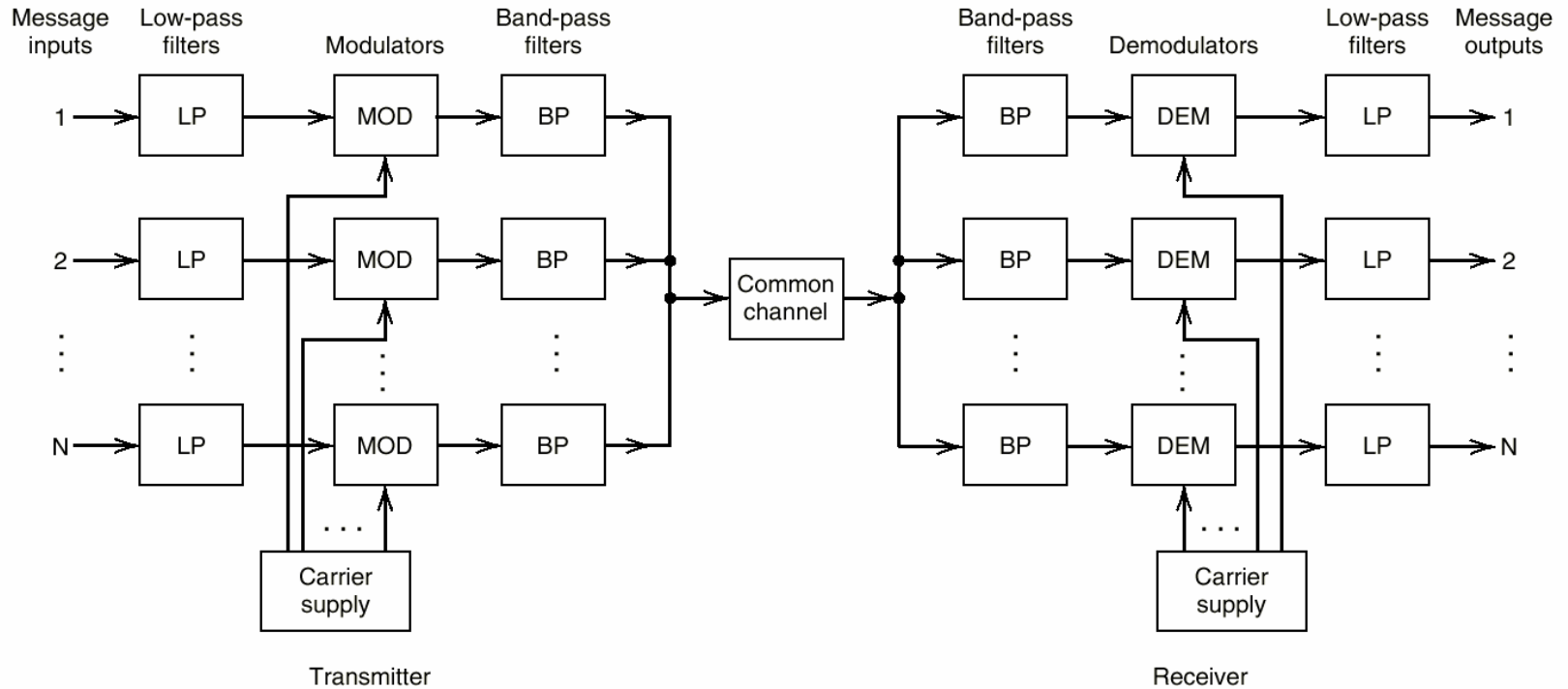
Komponenter i et modulation system:

(a) Sender (eng. Transmitter)

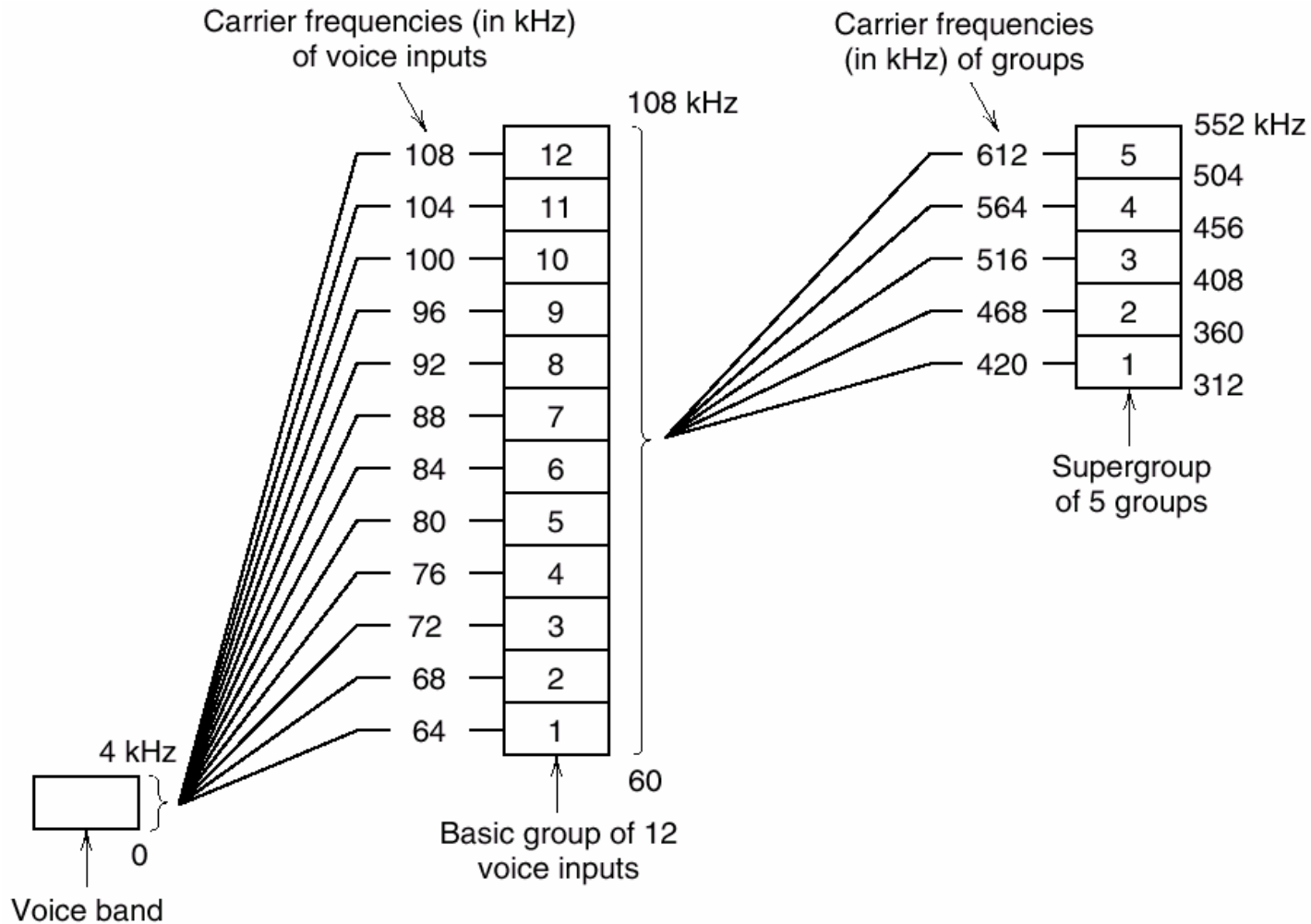
(b) Modtager (eng. Receiver)



# Blokdiagram af-FDM system



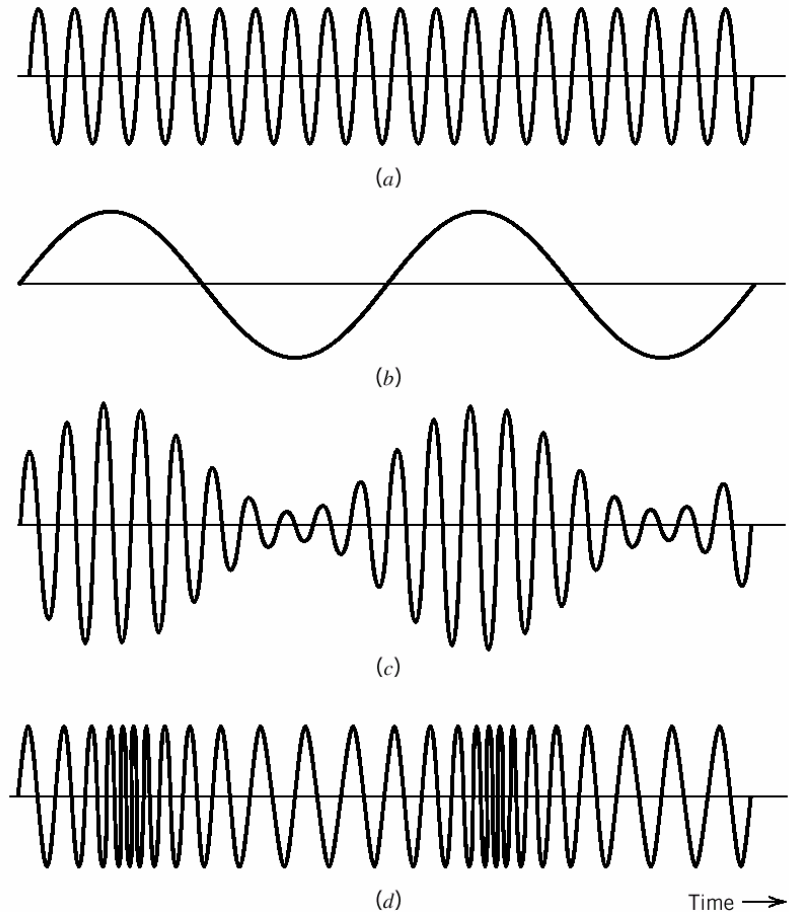
# Modulationstep i et FDM-system (tale)



# AM- og FM-signaler produceret af tone

---

- (a) Bærebølge:  $A_c \cos(2\pi f_c t)$
- (b) Modulerende signal.
- (c) Amplitudemoduleret (AM) signal.
- (d) Frekvensmoduleret (FM) signal



# Angle Modulation

---

Vinkelmoduleret signal:  $s(t) = A_c \cos[\theta_i(t)]$

$A_c$  er bærebølgeamplitude og  $\theta_i(t)$  varieres!

- I *Phase Modulation* (PM) varieres  $\theta_i(t)$  lineært som funktion af signalet  $m(t)$ :

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

$2\pi f_c$  repræsenterer den unmodulerede bærebølge og  $k_p$  repræsenterer modulatorens *fasesensiviteten*

# Angle Modulation

---

Vinkelmoduleret signal:  $s(t) = A_c \cos[\theta_i(t)]$

$A_c$  er bærebølgeamplitude og  $\theta_i(t)$  varieres!

- I *Frequency modulation* (FM) varieres øjebliksfrekvensen  $f_i(t)$  lineært som funktion af signalet  $m(t)$ :

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

$f_c$  er frekvensen af den unmodulerede bærebølge og  $k_f$  er modulatorens *frekvenssensitivitet*.



# AM- og FM-signaler produceret af tone

- (a) Bærebølge:  $A_c \cos(2\pi f_c t)$
- (b) Modulerende signal  $m(t)$
- (c) AM-signal
- (d) PM-signal
- (e) FM-signal

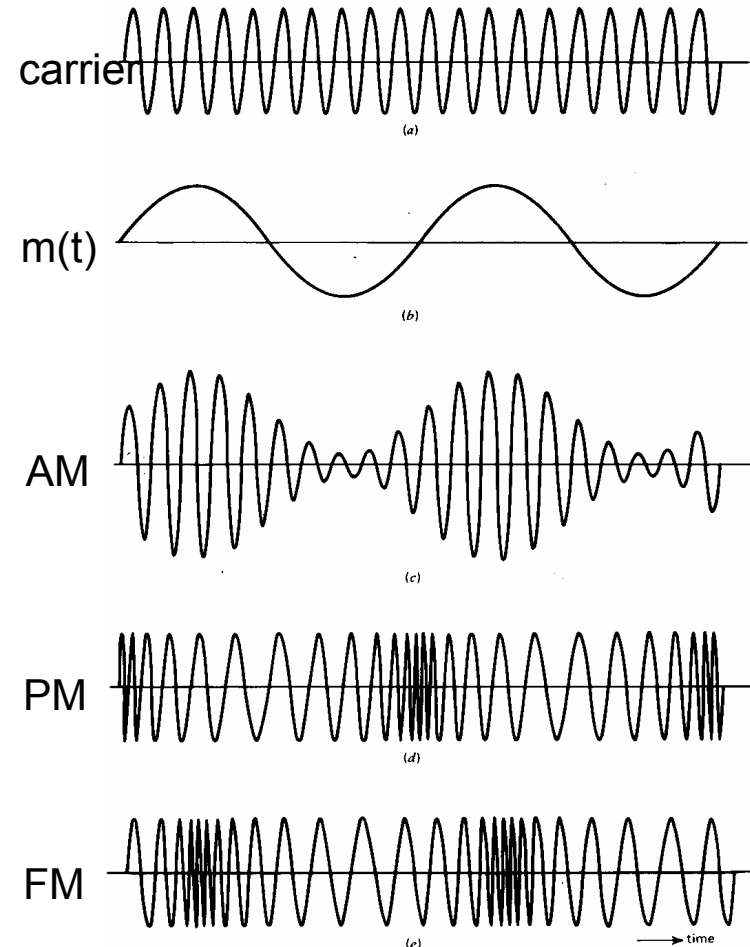


Figure 3.29 Illustrating AM, PM, and FM signals produced by a single tone. (a) Carrier wave. (b) Sinusoidal modulating signal. (c) Amplitude-modulated signal. (d) Phase-modulated signal. (e) Frequency-modulated signal.

# FM / PM

---

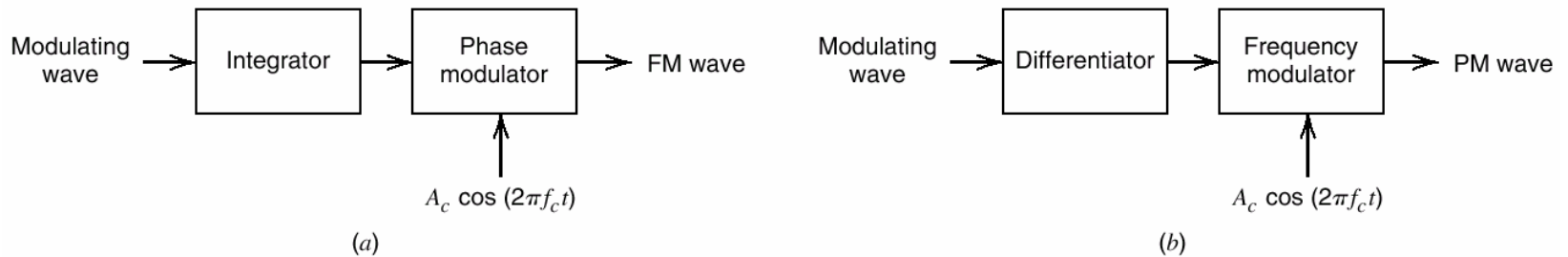
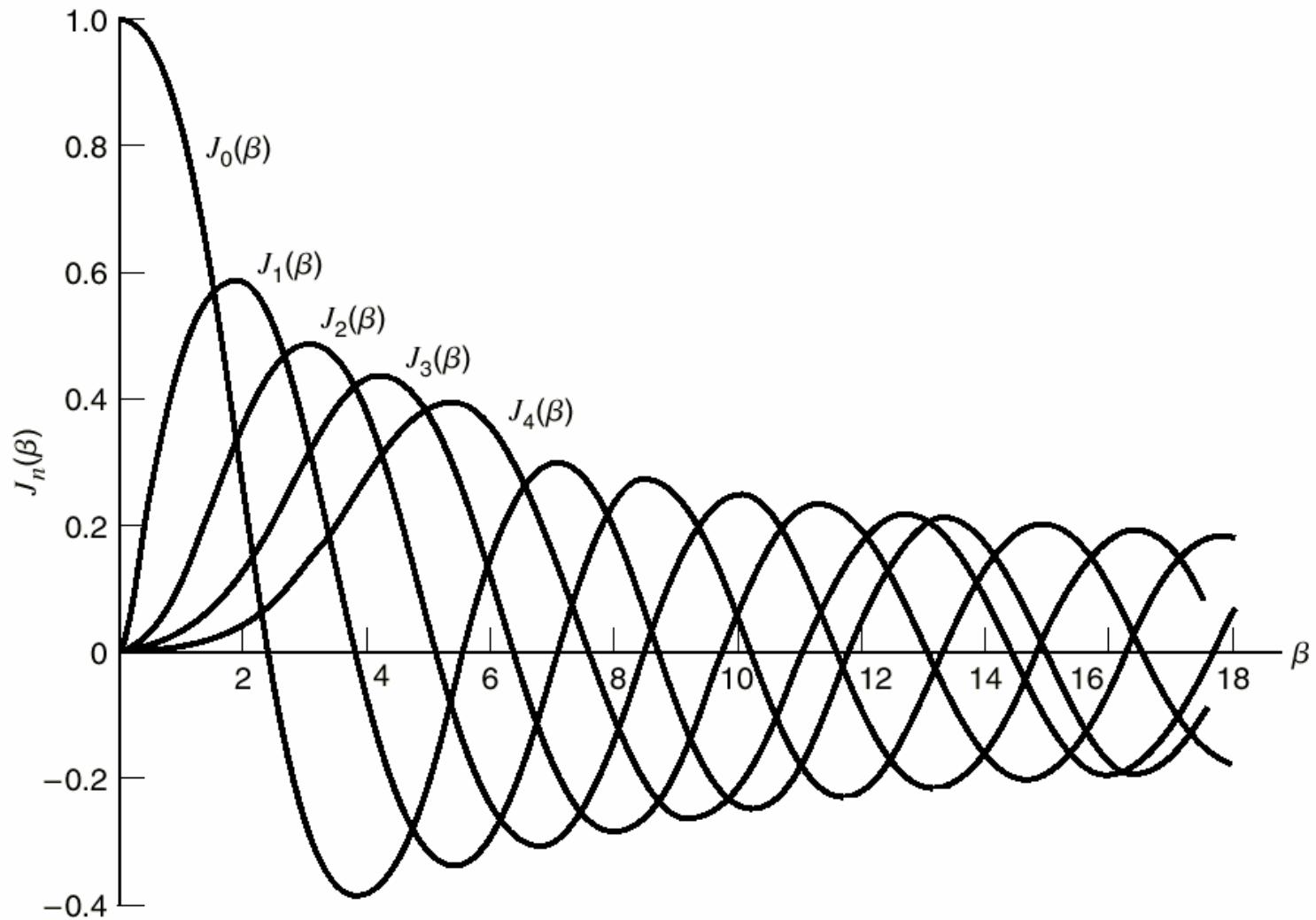


Illustration af sammenhæng mellem frekvensmodulation og fasemodulation

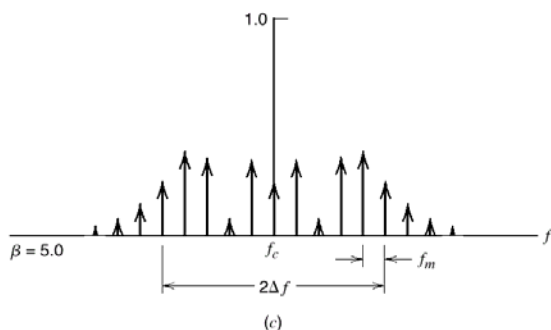
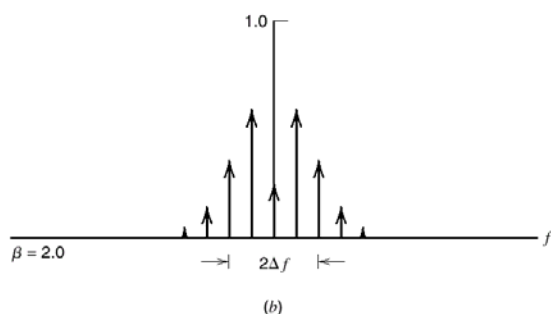
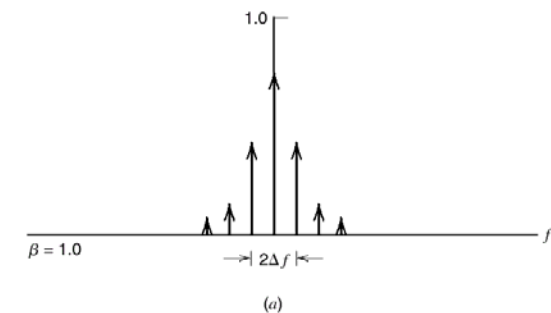
(a) Generering af FM-signal vha. fasemodulator

(b) Generering af PM-signal vha. frekvensmodulator

# Bessel-funktion



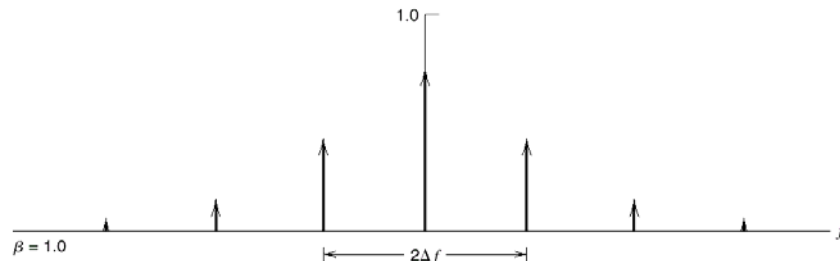
# FM - eksempel



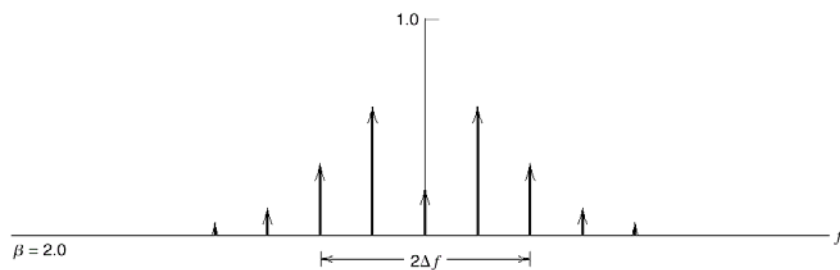
Diskret amplitudespektrum af et FM-signal, normaliseret mht. bærebølgeamplitude, for tilfældet sinusmodulation med fastholdt frekvens and varierende amplitude.

(Kun spectrum af positive frekvenser er vist)

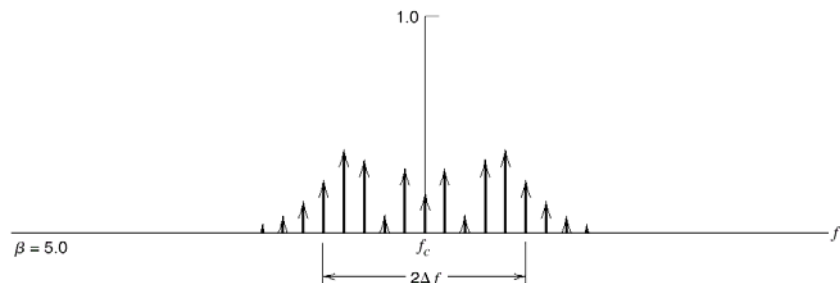
# FM - eksempel



(a)



(b)



(c)

Diskret amplitudespektrum af FM-signal, normaliseret mht. bærebølgeamplitude, for tilfældert sinusmodulation med varierende frekvens og fastholdt amplitude.

(Kun spectrum af positive frekvenser er vist)

# Transmission af FM-signal

---

- FM-signal indeholder et uendeligt antal sidefrekvenser. Dvs. uendelig båndbreddekrav!
- I praksis er FM-signal begrænset til et endelig antal betydelige sidefrekvenser ...
- Transmissionsbåndbredde (empirisk) af FM-signal genereret af en tone med frekvensen  $f_m$ :

$$B_T = 2\Delta f + 2f_m = 2\Delta f \left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$$

$\beta$  er modulationsindex og  $\Delta f$  er frekvenssving.

- Empirisk formel er kendt som *Carson's rule*.

# FM - båndbredde

---

Universalkurve til evaluering af 1% båndbredde af FM-signal

