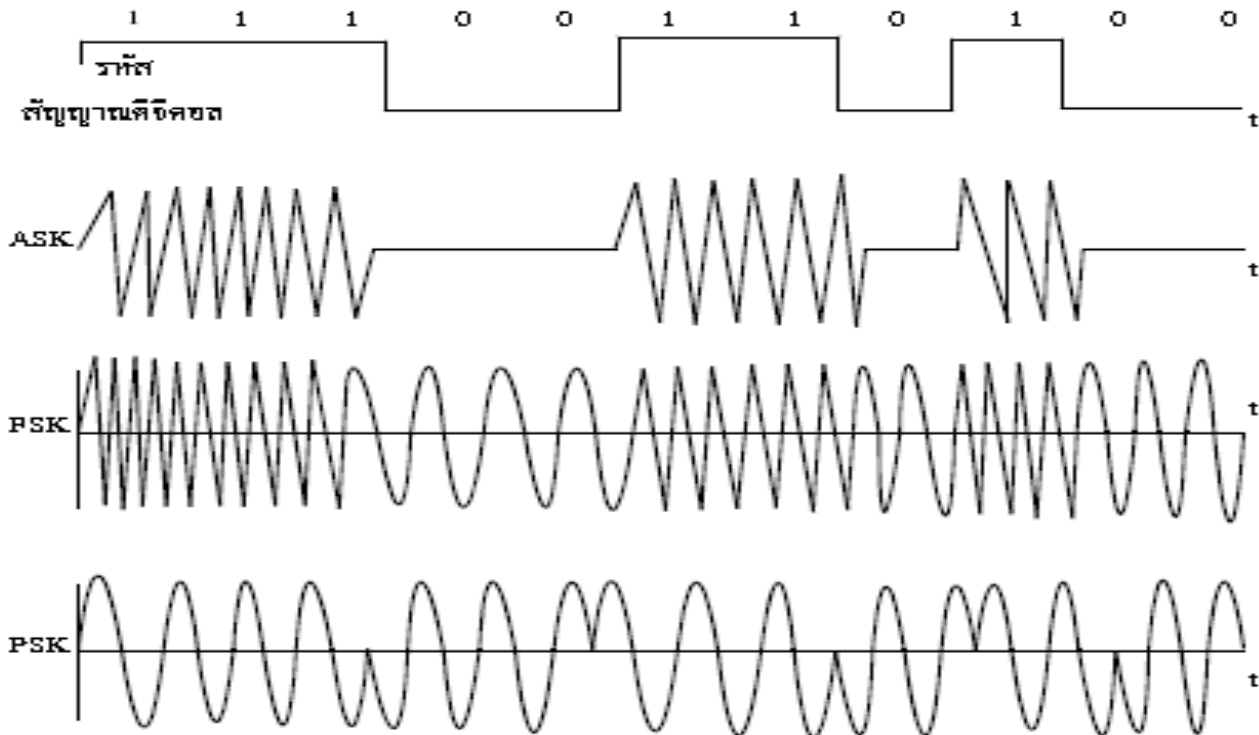


# ບົດທີ 5 ເທັກນິກການປະສົມສັນຍານ ແລະ ການໂຮມຊ່ອງ ສັນຍານ (MODULATION AND MULTIPLEXING TECHNIQUE)

ສັນຍານຂໍ້ມູນທີ່ຈະສົ່ງຜ່ານສື່ກາງທຸກຄັ້ງຕ້ອງມີການປະສົມສັນຍານ (Modulation) ກໍ່ຄືການນຳສັນຍານຂໍ້ມູນມາປະສົມກັບສັນຍານຄື້ນພາຫະ (Carrier) ແລ້ວຈຶ່ງທຳການສົ່ງອອກໄປ.

## 1. ຫຼັກການມຸ່ງເລດສັນຍານດິຈິຕອນ



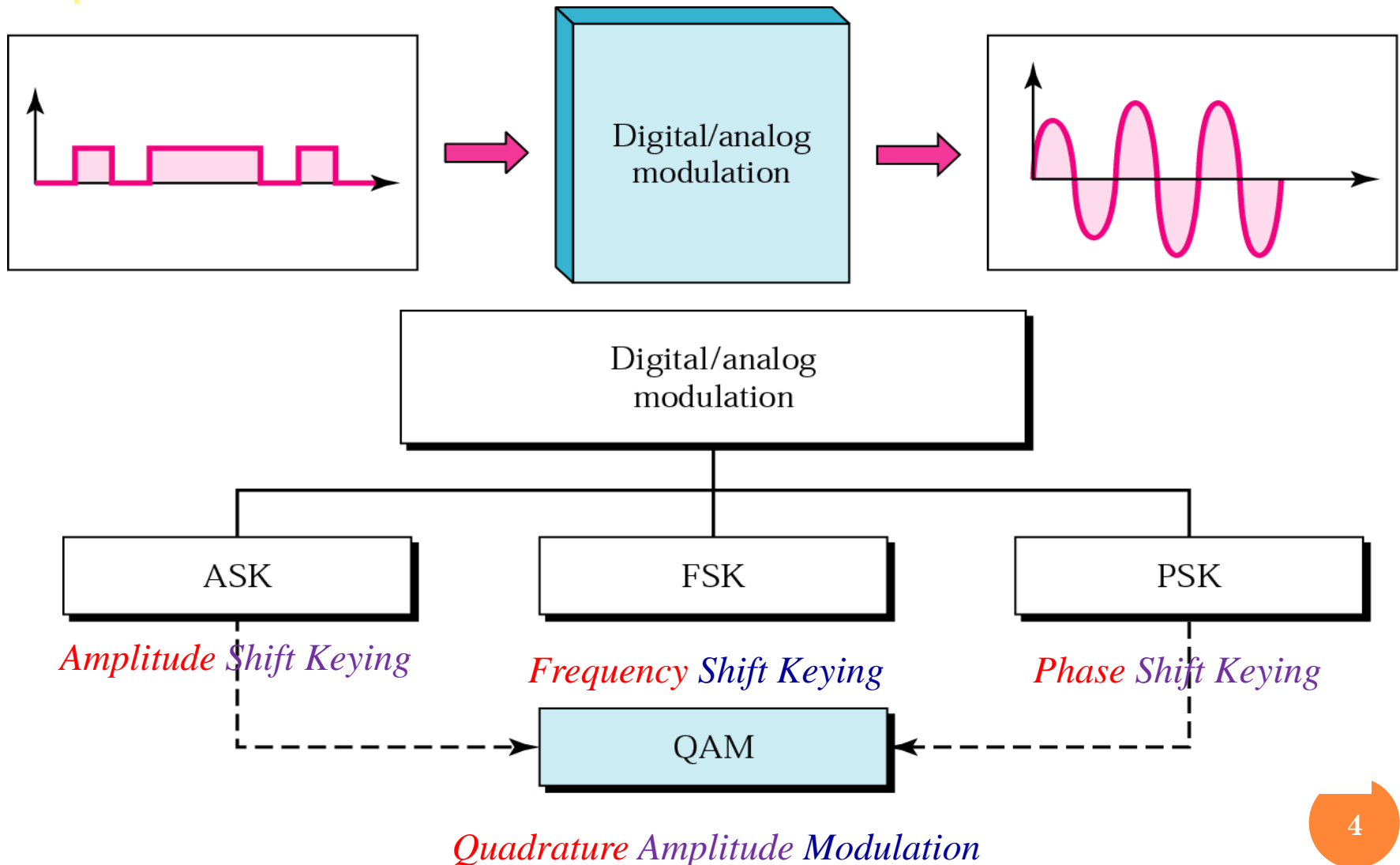
ສໍາລັບການມໍດູເລດຂອງສັນຍານດິຈິຕອນແບ່ງອອກໄດ້ 3 ແບບຄື:

- *ASK (Amplitude Shift Keying)*
- *FSK (Frequency Shift Keying)*
- *PSK (Phase Shift Keying)*
- *QAM (Quadrature Amplitude Modulation)*

ສົມທຽບການມໍດູເລດສັນຍານແບບດິຈິຕອນ ແລະອະນາລັອກ

ການມໍດູເລດແບບດິຈິຕອນ	ການມໍດູເລດແບບອະນາລັອກ
ASK	AM
FSK	FM
PSK	PM

## Figure *Digital-to-Analog Modulation*



ການສົ່ງສັນຍານດິຈິຕອນໄປຕາມ Transmission Network ມີຄວາມຈຳເປັນຕ້ອງ  
ປ່ຽນສັນຍານດິຈິຕອນໄປເປັນສັນຍານອະນາລັອກເສຍກ່ອນ ແລະວິທີດັ່ງກ່າວກຳນົດໄດ້  
ໂດຍ

$$\text{ຄື້ນພາຫະ} = A \cos(2\pi f_c T + \sigma)$$

A ແອມພິຈູດ

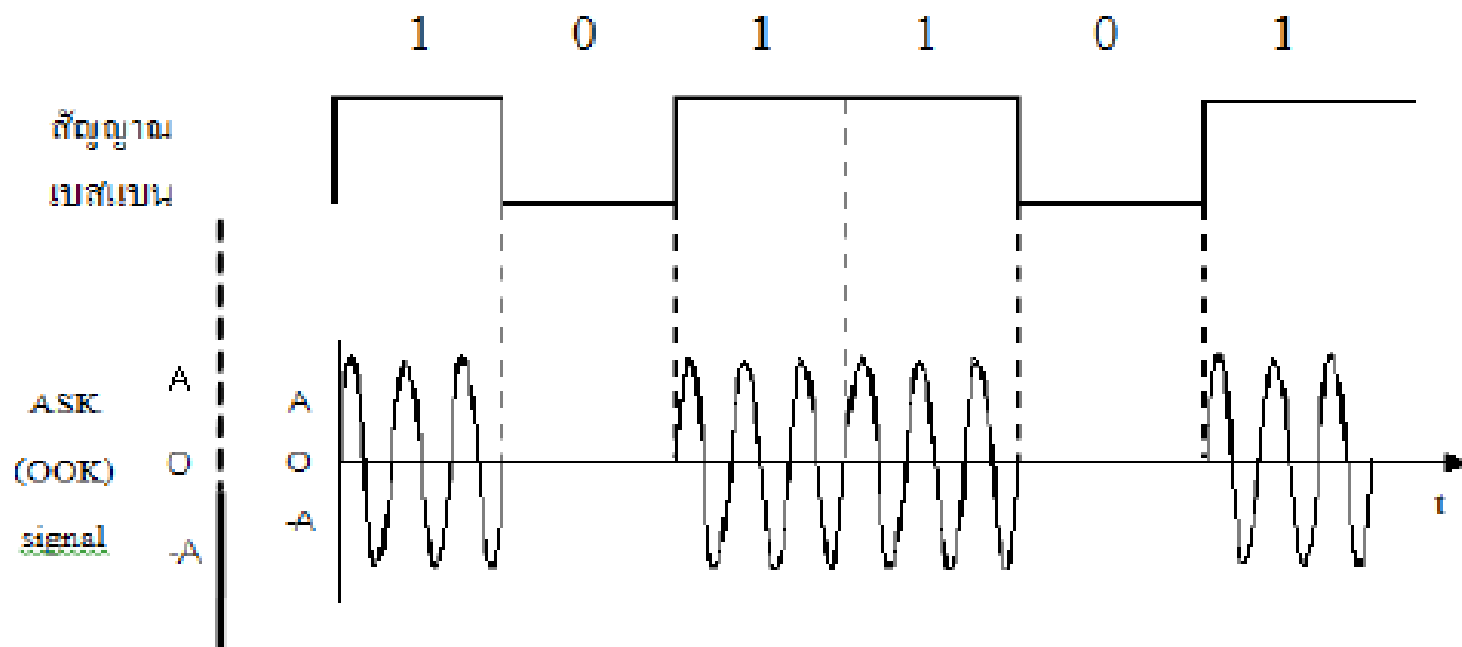
$f_c$  ຄວາມຖີ່ຄື້ນພາຫະ

$\sigma$  initial phase

## 1.1 ແບບ Amplitude Shift Keying (ASK)

ASK ເປັນການມໍດູເລດທີ່ຄື້ນພົບກ່ອນລະບົບດິຈິຕອນມໍດູເລດອື່ນ ໂດຍອາໄສ  
ຫຼັກການຂອງແອມພິຈູດ ທີ່ອາໄສການປ່ຽນແປງແອມພິຈູດຂອງຄື້ນພາຫະໄປຕາມສັນຍານທີ່  
ເຂົ້າມາ ການມໍດູເລດແບບ ASK ມີຊື່ອີກຢ່າງໜຶ່ງວ່າ OOK (on-off Keying) ເນື່ອງ  
ຈາກວ່າຄື້ນພາຫະດັ່ງກ່າວຖືກສະວິດດ້ວຍການ on/off ຕາມສັນຍານທີ່ເປັນ 1 ຫຼື 0 ຖ້າ  
ຄື້ນພາຫະເປັນ  $A \cos(2\pi f_c T + \sigma)$  ດັ່ງນັ້ນ ສັນຍານ ASK ຈະໄດ້ເປັນ

$$S(t) = \begin{cases} A \cos 2\pi f_c t & \text{ເມື່ອສັນຍານເປັນ 1} \\ 0 & \text{ເມື່ອສັນຍານເປັນ 0} \end{cases}$$

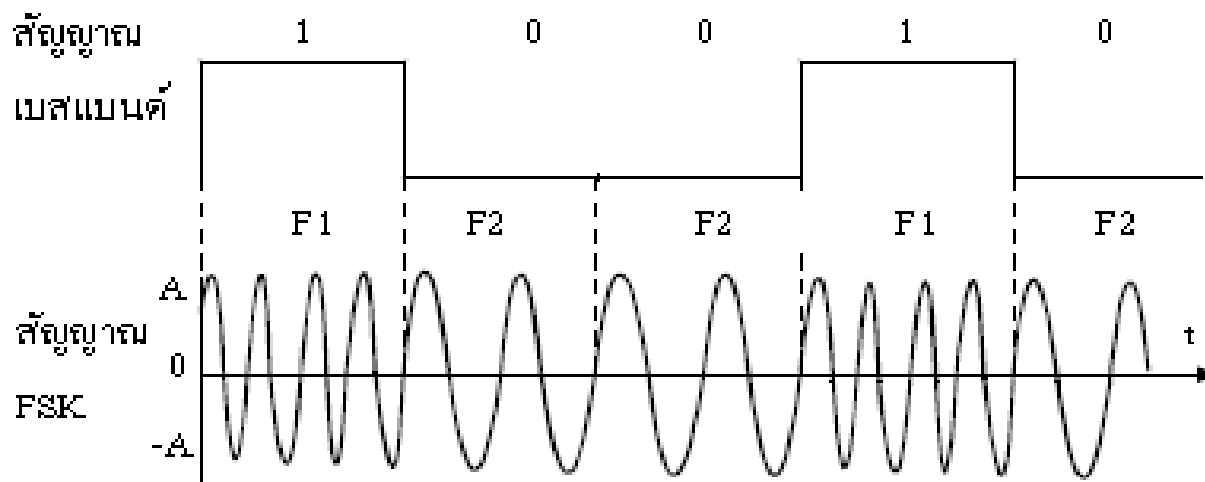


$$S(t) = \begin{cases} A \cos 2\pi f_c t & \text{for 1} \\ 0 & \text{for 0} \end{cases}$$

## 1.2 ແບບ Frequency Shift Keying (FSK)

FSK ເປັນການມຸ່ງເລືອກທີ່ອາໄສການປ່ຽນແປງຄວາມຖີ່ຂອງຄື້ນພາຫະໄປຕາມສັນຍານເບສແບນພັນ PCM ໂດຍທົ່ວໄປ FSK ມັກໃຊ້ການສົ່ງຂໍ້ມູນທີ່ອັດຕາຄວາມໄວຕໍ່າ. ການມຸ່ງເລືອກແບບ FSK ຄວາມຖີ່ຂອງຄື້ນພາຫະຈະມີຄວາມຖີ່ 2 ຄວາມຖີ່ຄືຄວາມຖີ່  $f_1$  ເມື່ອສັນຍານທີ່ເປັນ 1 ແລະຄວາມຖີ່  $f_2$  ເມື່ອສັນຍານເປັນ 0

$$S(t) = \begin{cases} A \cos 2\pi f_1 t & \text{ເມື່ອສັນຍານເປັນ 1} \\ A \cos 2\pi f_2 t & \text{ເມື່ອສັນຍານເປັນ 0} \end{cases}$$



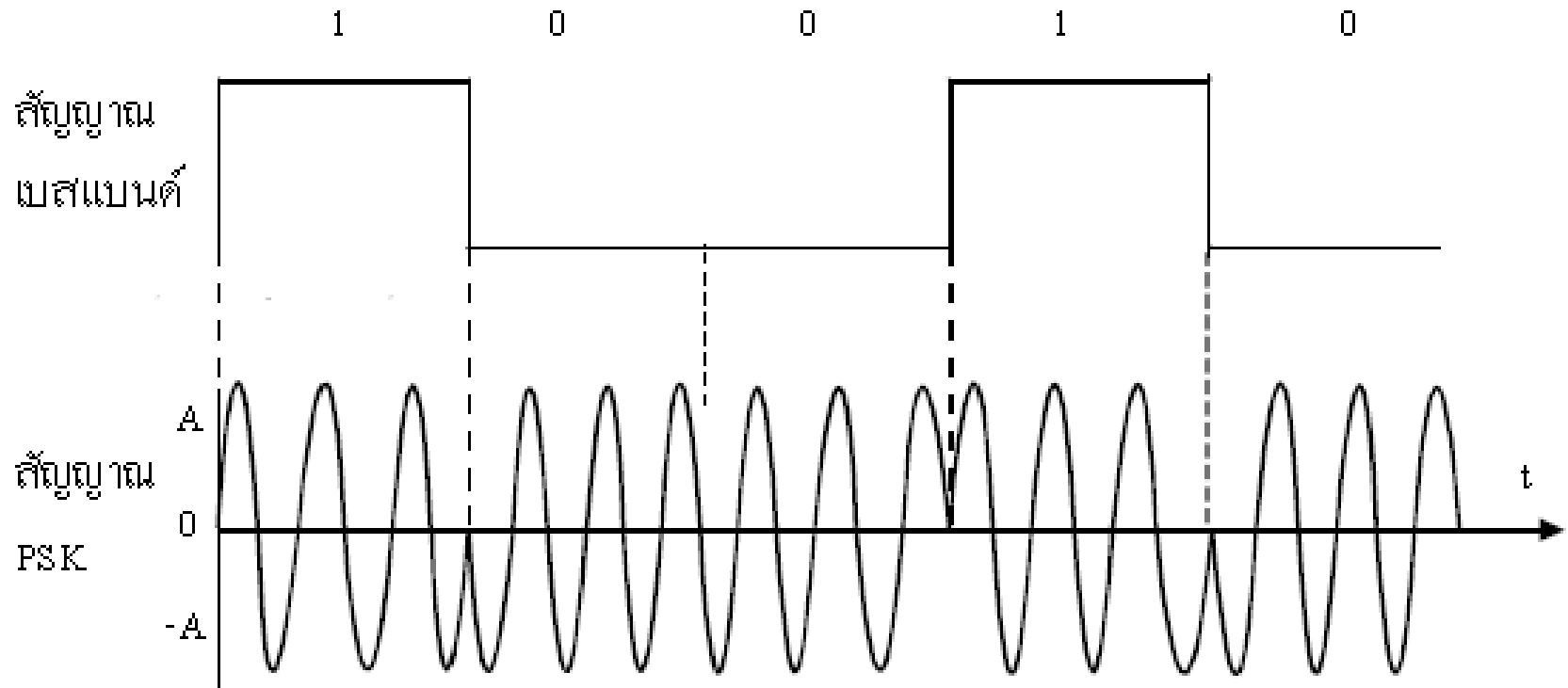
### 1.3 ແບບ Phase Shift Keying (PSK)

ເປັນການມຸ່ງເລືອກທີ່ອາໄສການປ່ຽນແປງເຟສຂອງຄື້ນພາຫະໄປຕາມສັນຍານທີ່ເຂົ້າມາ ຫາກສັນຍານທີ່ເຂົ້າມາມີ  $m$  ລະດັບ ຈະສາມາດແບ່ງເຟສຂອງຄື້ນພາຫະໄດ້ເປັນ  $m$  ສ່ວນ ເອີ້ນວ່າ:  $m$ -PSK ເຊິ່ງການມຸ່ງເລືອກແບບ PSK ແອມພິຈູດ ແລະ ຄວາມຖີ່ຈະຄົງທີ່ ແຕ່ initial phase ຈະຕ່າງກັນ ສຳລັບສັນຍານທີ່ເປັນ 1 ແລະ 0 ຄື ເຟສຂອງຄື້ນພາຫະ  $A\cos(2\pi f_c T + \sigma)$  ຈະປ່ຽນໄປຕາມລັກສະນະຂອງສັນຍານເຊັ່ນ  $\sigma$  ເປັນ 0 ກໍລະນີສັນຍານມີສະຖານະເປັນ 1 ແລະມີເຟສ  $\sigma$  ເປັນ  $\pi$  ກໍລະນີສັນຍານມີສະຖານະເປັນ 0.

$$S(t) = \begin{cases} A\cos 2\pi f_c T & \text{ເມື່ອສັນຍານເປັນ 1} \\ A\cos(2\pi f_c T + \pi) & \text{ເມື່ອສັນຍານເປັນ 0} \end{cases}$$



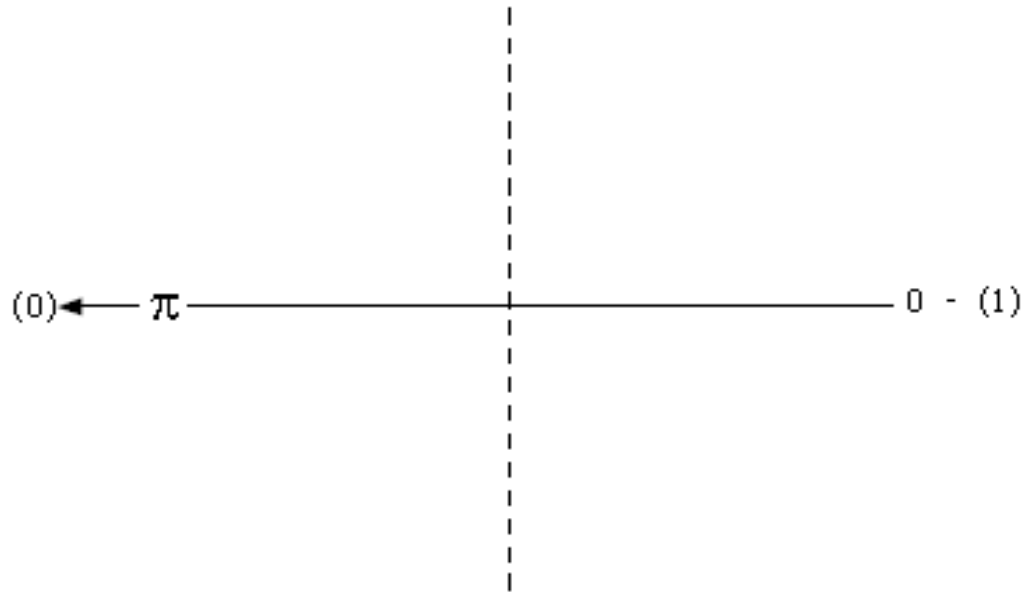
# PHASE SHIFT KEYING



## 2. ເທັກນິກການເລື່ອນເຟສ

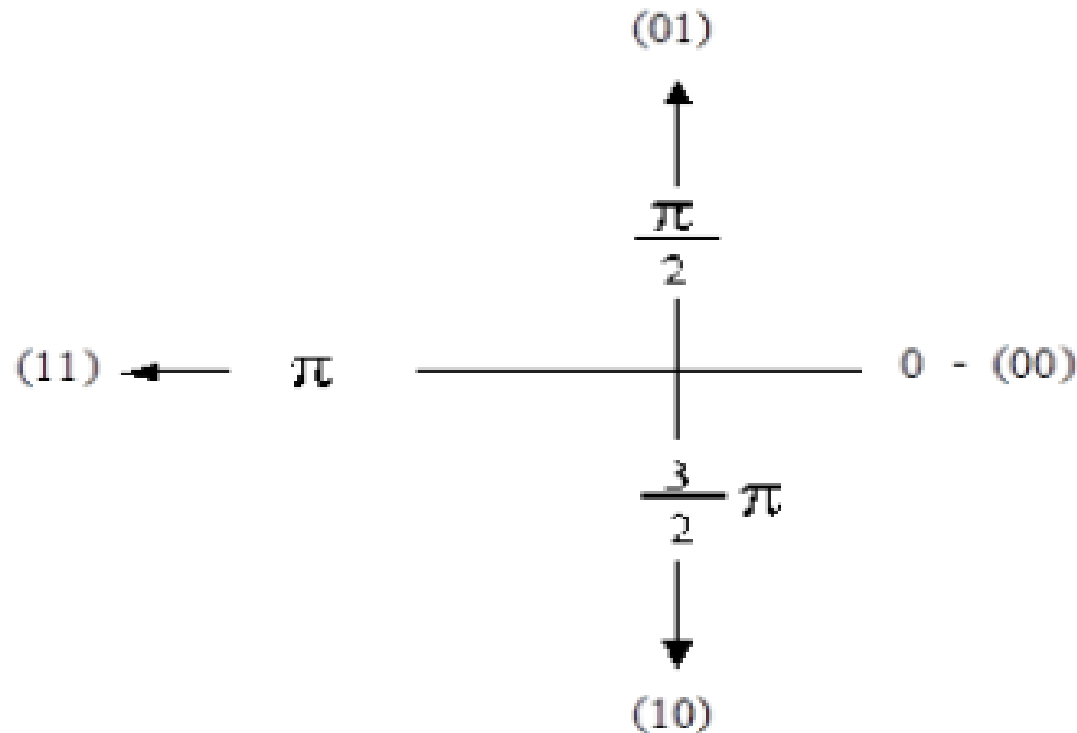
### 2.1 ແບບ Binary Phase Shift Keying

ເນື່ອງຈາກວ່າລະບົບດິຈິຕອນໃຊ້ລະຫັດ Binary ສັນຍານດິຈິຕອນສາມາດສົ່ງໄດ້ໂດຍໃຊ້ 2 initial phase ເອີ້ນວ່າ Binary PSK ເປັນເຟສ 0 ສໍາລັບລະຫັດ 1 ແລະ ເປັນເຟສ  $\pi$  ສໍາລັບລະຫັດ 0



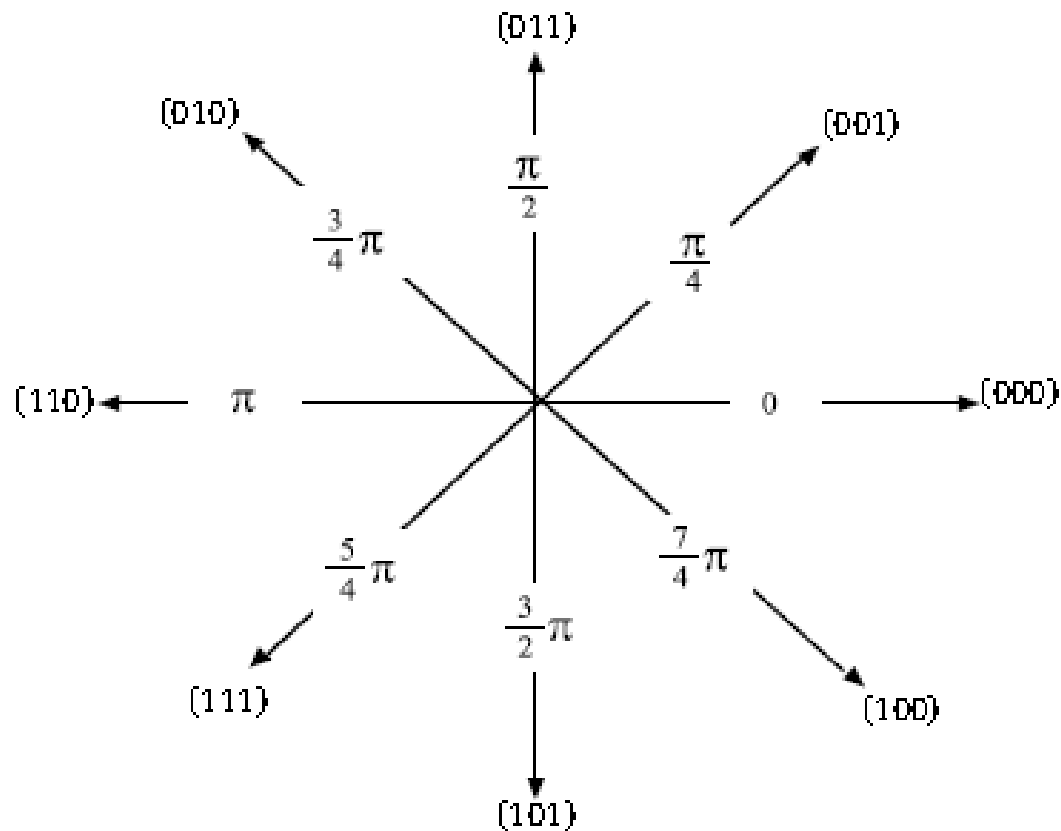
## 2.2 របប Quadrature Phase Shift Keying (QPSK)

របប PSK ທີ່ໃຊ້ 4 ເຟສເອີ້ນວ່າ Quadrature PSK ເຟສ 0 ສໍາລັບ 00, ເຟສ  $\pi/2$  ສໍາລັບ 01, ເຟສ  $\pi$  ສໍາລັບ 11 ແລະເຟສ  $3\pi/2$  ສໍາລັບ 10



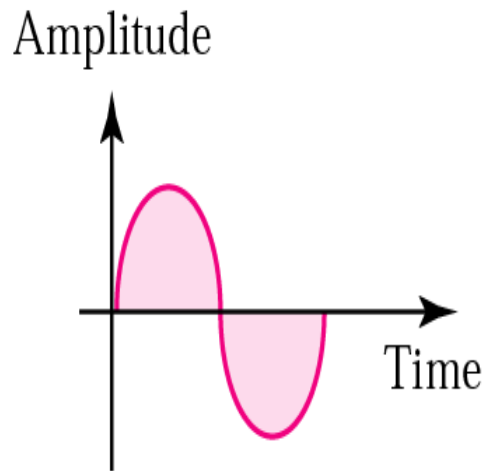
## 2.3 ແບບ Eight-Phase Shift Keying (8PSK)

ຖ້າຫາກຕ້ອງການສົ່ງສັນຍານ 3 ບິດພ້ອມໆກັນຈະມີ  $2^3=8$  combination ຂອງລະຫັດສັນຍານ 8PSK ດັ່ງກ່າວຈະຕ້ອງຖືກນຳມາໃຊ້ ເຊິ່ງເມື່ອຈຳນວນເຟສເພີ່ມຂຶ້ນຈຳນວນບິດທີ່ຕ້ອງການສົ່ງແຕ່ລະຄັ້ງກໍ່ຫຼາຍ ແຕ່ກໍ່ລະນີນີ້ຄຸນນະພາບຂອງສັນຍານທາງດ້ານຮັບຈະຕໍ່າລົງ

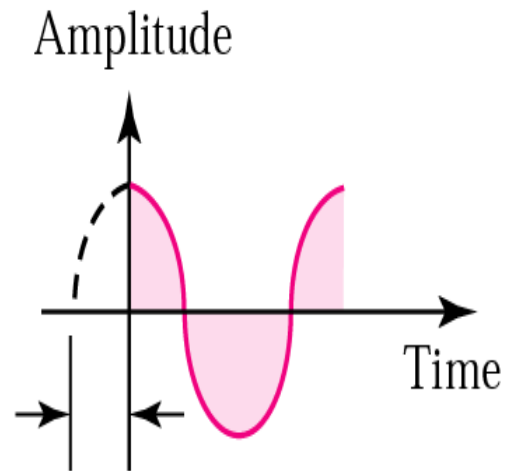




NOTE:

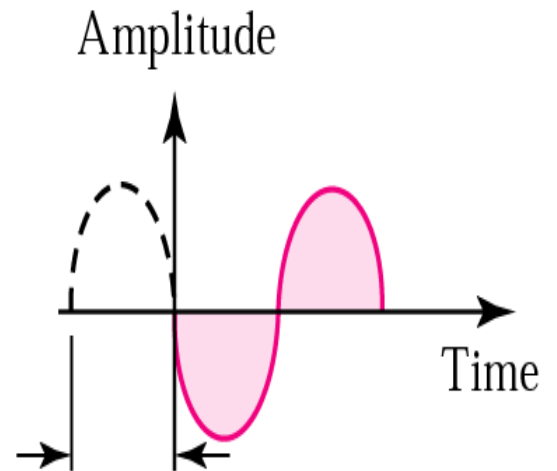


a.  $0^\circ$



1/4 cycle

b.  $90^\circ$

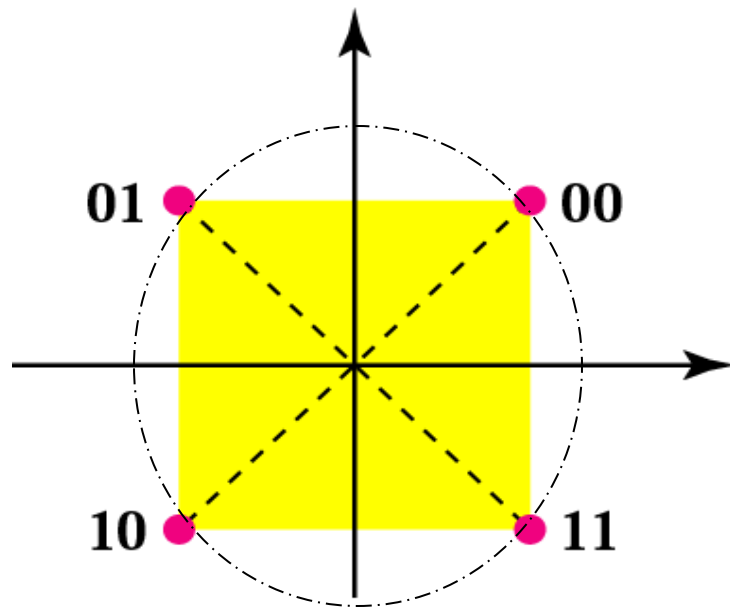


1/2 cycle

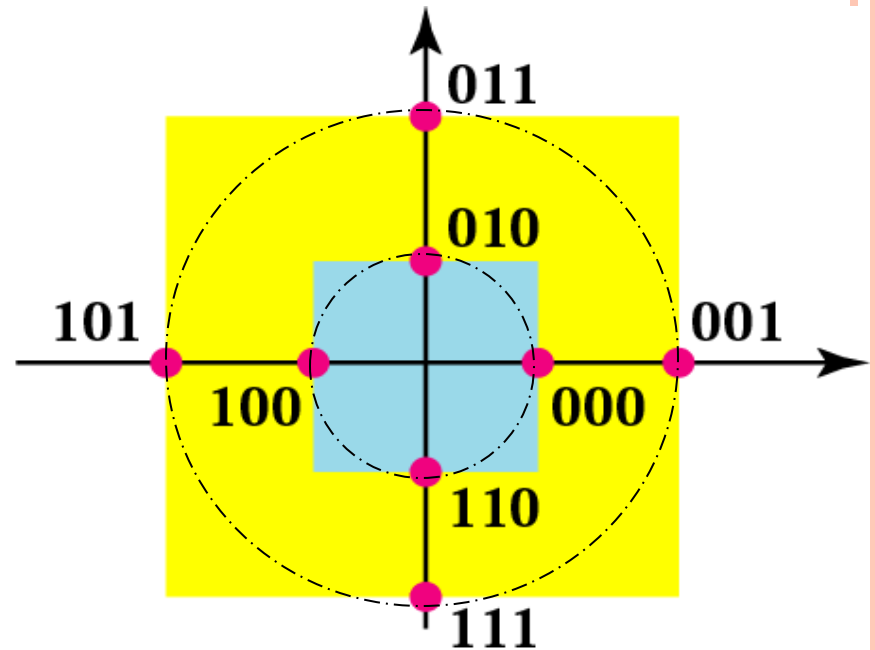
c.  $180^\circ$

# QAM (QUADRATUR AMPLITUDE MODULATION)

*The 4-QAM and 8-QAM constellations*



4-QAM  
1 amplitude, 4 phases

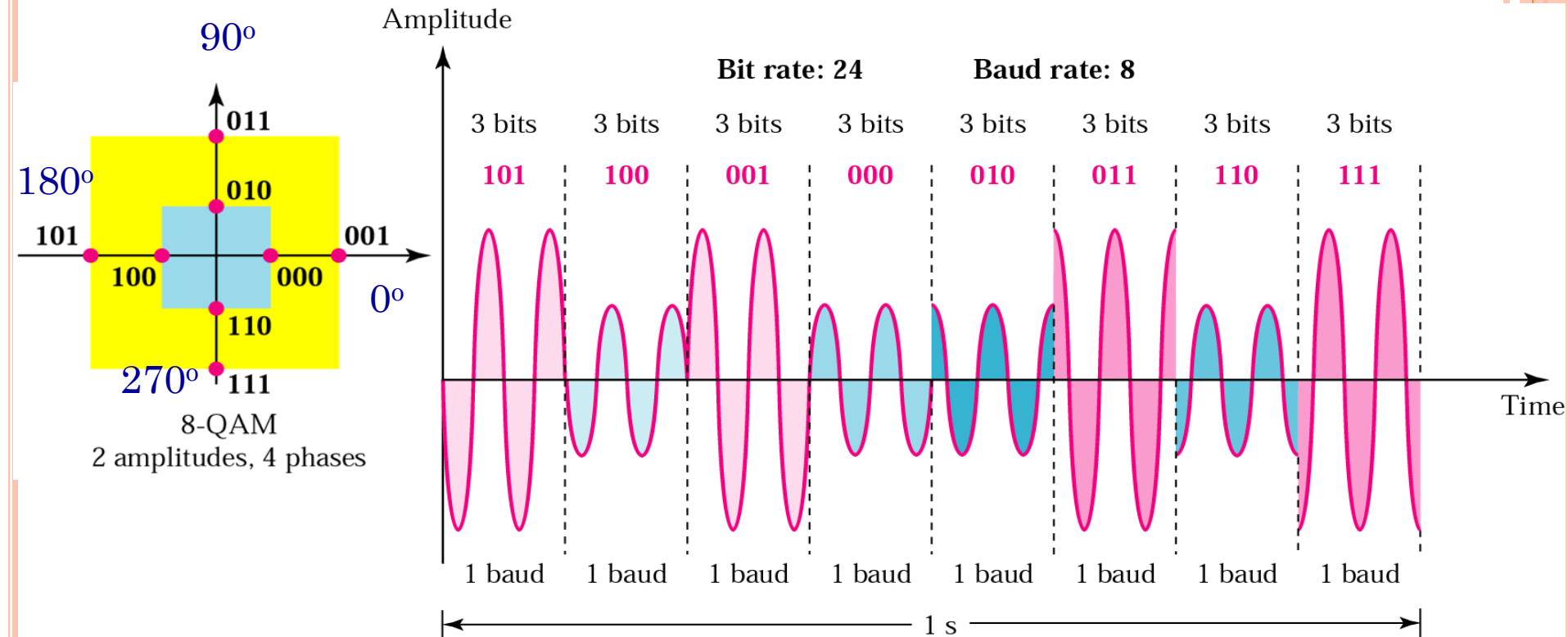


8-QAM  
2 amplitudes, 4 phases

Figure Time domain for an 8-QAM signal

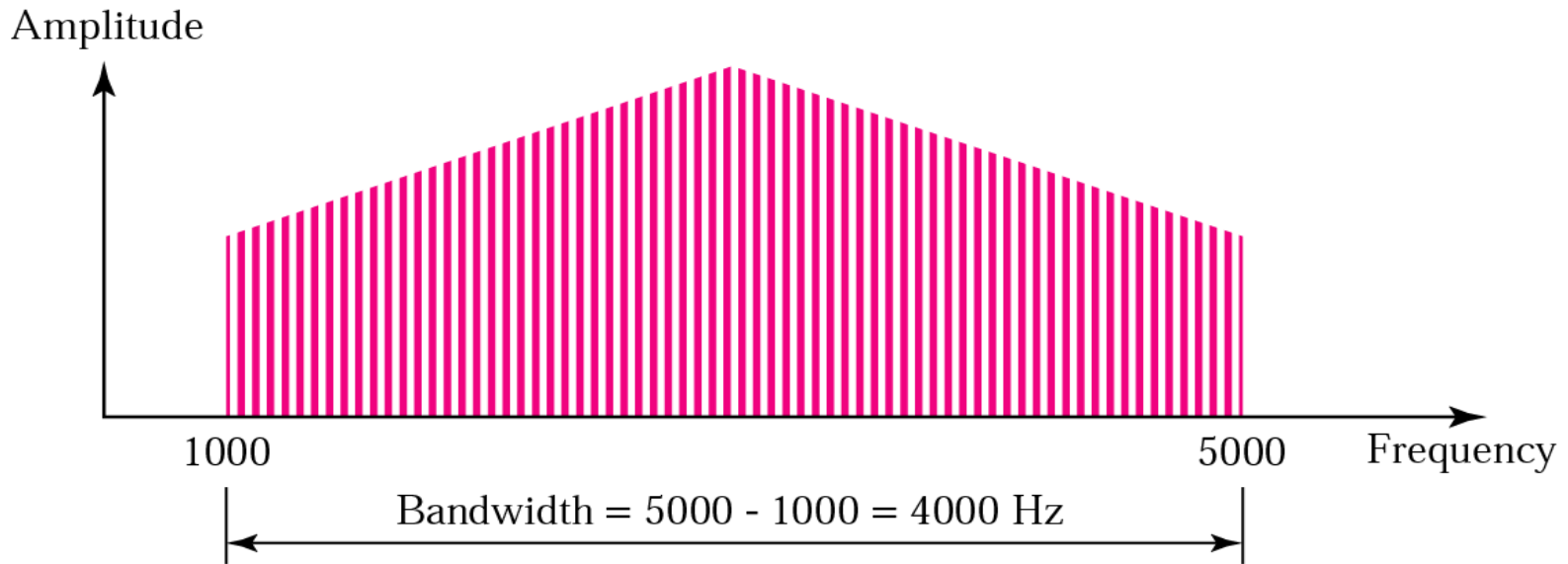
$$8\text{-QAM} = 2^n\text{-QAM} = 2^3\text{-QAM}$$

$$\text{Bit rate} = n \times \text{Baud rate}$$





## NOTE



Bandwidth (BW) = High Frequency – Lowest Frequency

$$B = f_h - f_l$$





## NOTE

- ແບນວິດຂອງສັນຍານອະນາລັອກສົ່ງຜ່ານສື່ກາງຈະແດງໃນ  
ຫົດໜ່ວຍ *hertz (Hz)*;
- ແບນວິດຂອງສັນຍານດິຈິຕອນແມ່ນມີຄ່າໃນຫົວໜ່ວຍບິດຕໍ່  
ວິນາທີ *bits per second (bps)*.

## Example

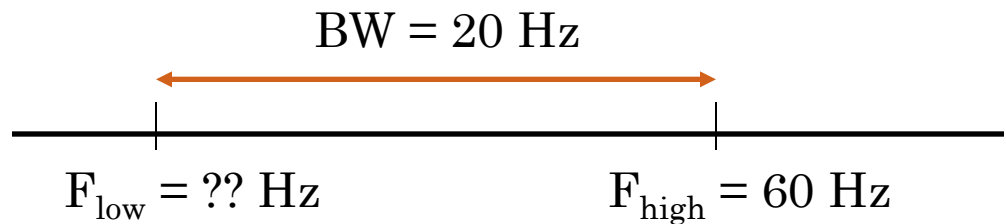
ສັນຍານທີ່ມີແບນວິດ of 20 Hz. ຄວາມຖີ່ສູງສຸດແມ່ນ 60 Hz. ຖາມວ່າຄວາມຖີ່ຕໍ່າສຸດມີເທົ່າ?

## Solution

$$B = f_h - f_l$$

$$20 = 60 - f_l$$

$$f_l = 60 - 20 = 40 \text{ Hz}$$



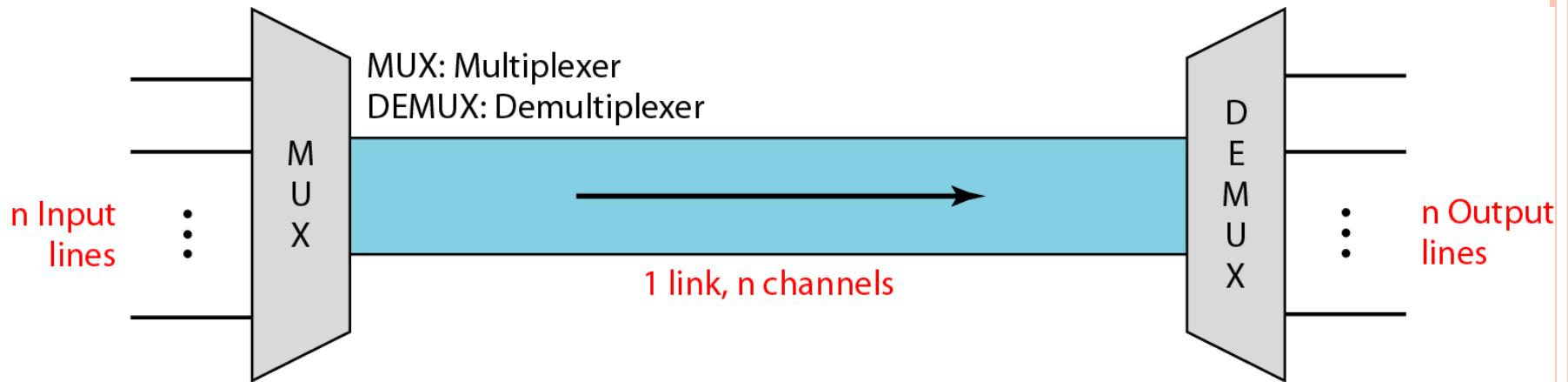
### 3. ການໂຮມຊ່ອງສັນຍານ (Multiplexing)

ເມື່ອໃດກໍຕາມແບນວິດຂອງສັນຍານເຊື່ອມຕໍ່ລະຫວ່າງສອງອຸປະກອນ ແມ່ນຈະຕ້ອງມີແບນວິດຫຼາຍກວ່າແບນວິດຂອງອຸປະກອນ ການເຊື່ອມຕໍ່ຈຶ່ງສາມາດໃຊ້ຮ່ວມກັນໄດ້.

ການມັນຕິເພັກແມ່ນເທັກນິກທີ່ອະນຸຍາດໃຫ້ສັນຍານທີ່ໃຊ້ແທນຂໍ້ມູນຈາກຫຼາຍແຫຼ່ງຂໍ້ມູນສາມາດສົ່ງຜ່ານຊ່ອງສັນຍານດຽວກັນເພື່ອໃຊ້ງານຮ່ວມກັນໄດ້ໂດຍທີ່ໃຊ້ສາຍເພື່ອເຊື່ອມຕໍ່ໃຫ້ມີຈຳນວນນ້ອຍ.

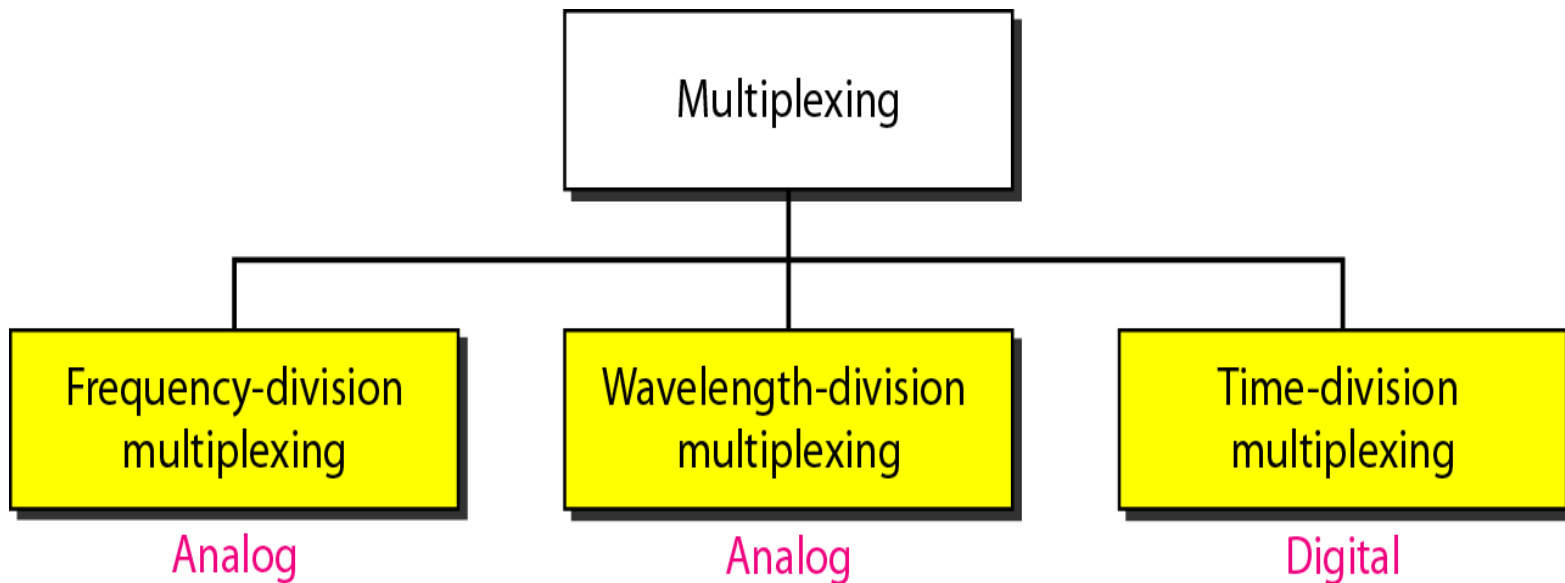
ເທັກນິກການໂຮມສັນຍານ (Multiplexing) ປະກອບມີ

- Frequency-Division Multiplexing (FDM)
- Wavelength-Division Multiplexing (WDM)
- Time Division Multiplexing (TDM)
  - Synchronous Time-Division Multiplexing (Synchronous TDM)
  - Statistical Time-Division Multiplexing (Statistical TDM)



- Multiplexing (MUX): ແມ່ນເຮັດໜ້າທີ່ລວມຫຼາຍສັນຍານຂໍ້ມູນເຂົ້າດ້ວຍກັນແລ້ວສົ່ງຜ່ານສື່ກາງອັນດຽວກັນ
- Demultiplexing (DEMUX): ແມ່ນເຮັດໜ້າທີ່ແຍກສັນຍານທີ່ເຂົ້າມາອອກຈາກກັນ

## ໝວດຂອງການມັ່ນຕີເພັກ (CATEGORIES OF MULTIPLEXING)

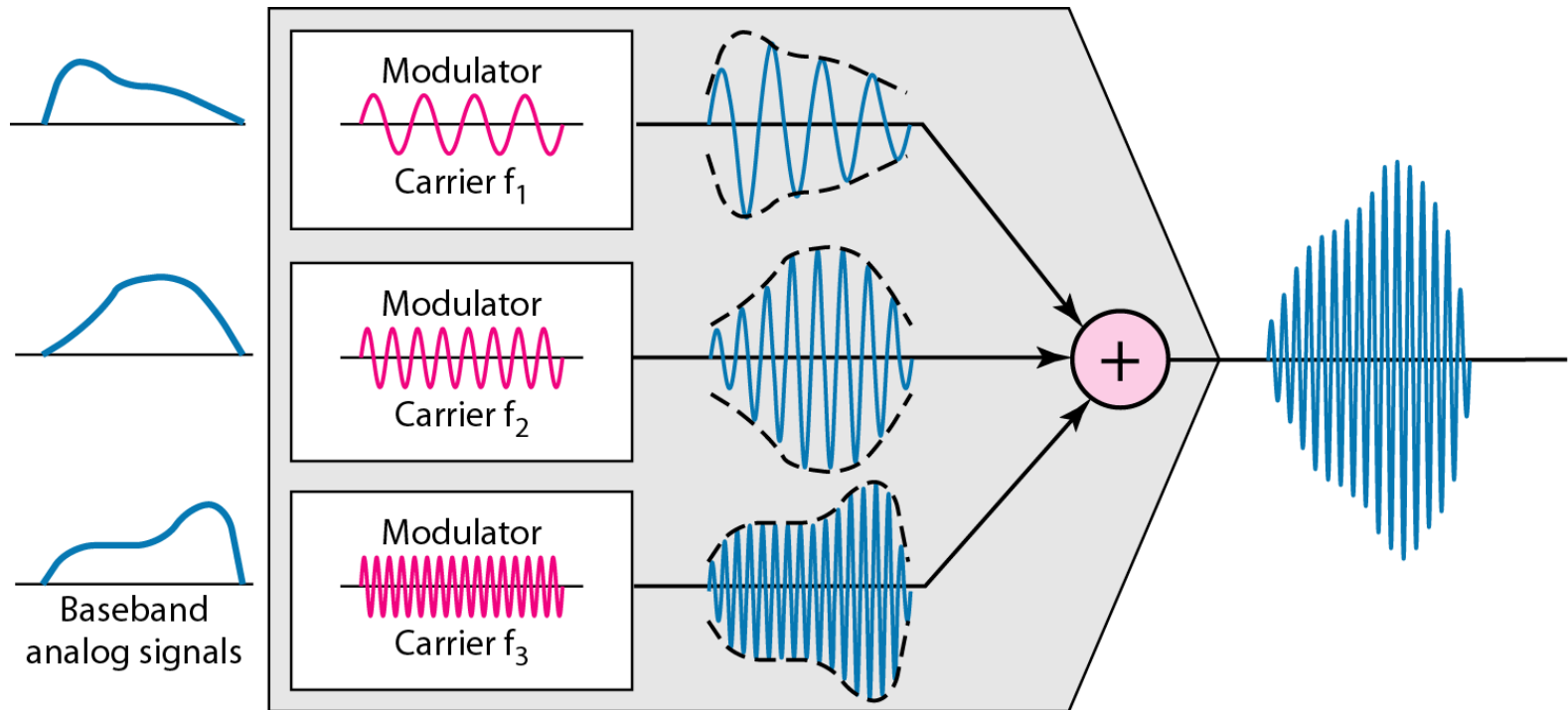


## *Frequency-division multiplexing (FDM)*

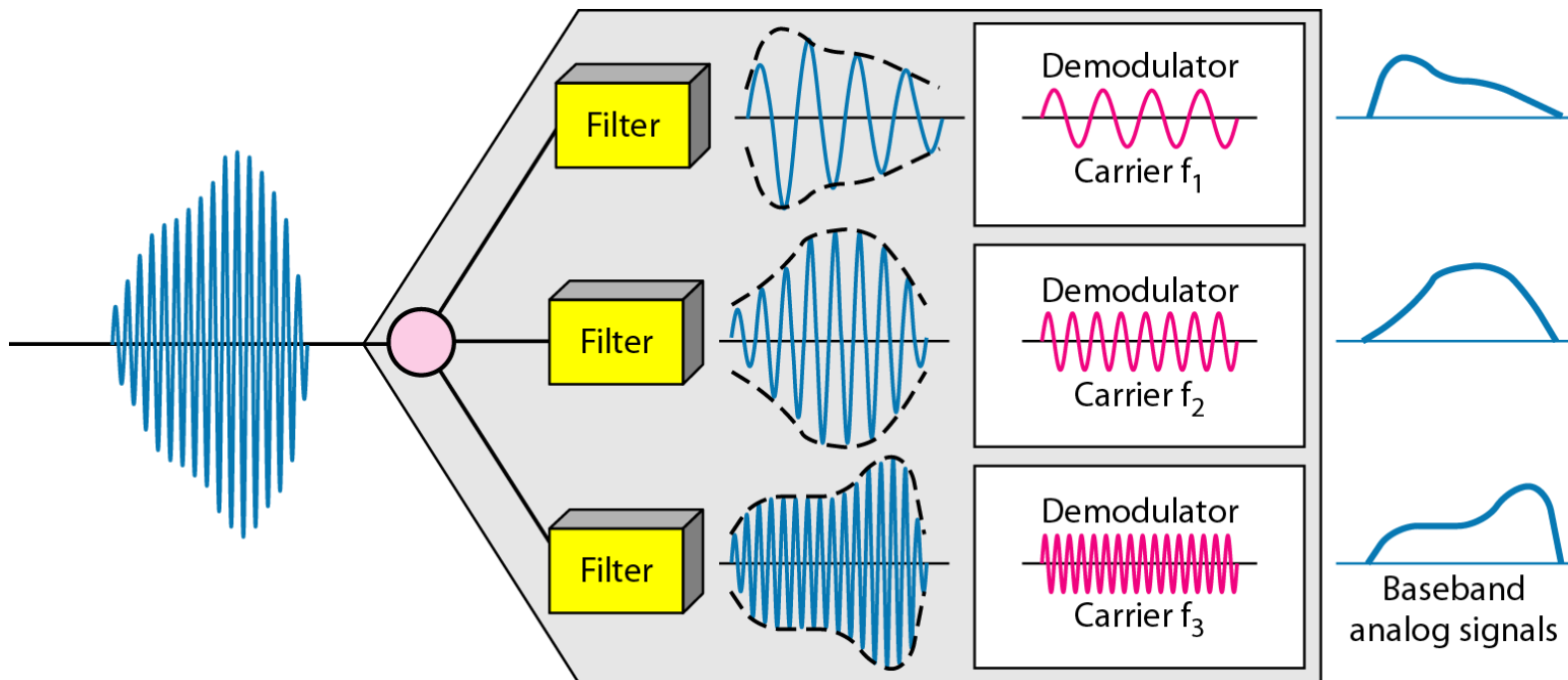


ການໂຮມສັນຍານແບບແບ່ງຄວາມຖີ່ຈະອະນຸຍາດໃຫ້ຜູ້ສົ່ງ ຫຼືສະຖານີສົ່ງ ຈຳນວນຫຼາຍໆສະຖານີ ແລະສະຖານີຮັບສາມາດສື່ສານຮ່ວມກັນຢູ່ເທິງສາຍ ສັນຍານດຽວກັນໄດ້ ດ້ວຍຄວາມຖີ່ທີ່ຕ່າງກັນກໍ່ຄື ແບນວິດຂອງການເຊື່ອມຕໍ່ຈະມີ ການແບ່ງສ່ວນເປັນຍ່ານຄວາມຖີ່ຍ່ວຍ (Sub channel) ໃຫ້ພຽງພໍກັບແບນວິດທີ່ ມີຢູ່ ແລະ ມີຄວາມຖີ່ Guard Band ເພື່ອບໍ່ໃຫ້ແຕ່ລະຊ່ອງສັນຍານເກີດການ ແຊກແຊງກັນ.

# MULTIPLEXING



# DEMULTIPLEXING





## Example 1

ຊ່ອງສັນຍານສຽງມີຂະໜາດແບນວິດ 4KHz ຖ້າຫາກພວກເຮົາຕ້ອງການລວມສາມຊ່ອງສັນຍານສຽງເຂົ້າດ້ວຍກັນ ເຊິ່ງແບນວິດຂອງລຶ້ງແມ່ນເທົ່າກັບ 12KHz , ຄວາມຖີ່ຈາກຊ່ວງ 20-32KHz. ຈຶ່ງສະແດງໃຫ້ເຫັນການແບ່ງຄວາມຖີ່ໃນຮູບແບບ FDM ຢ່າງເໝາະສົມ ໂດຍທີ່ບໍ່ໃຊ້ຄວາມຖີ່ Guard Bands

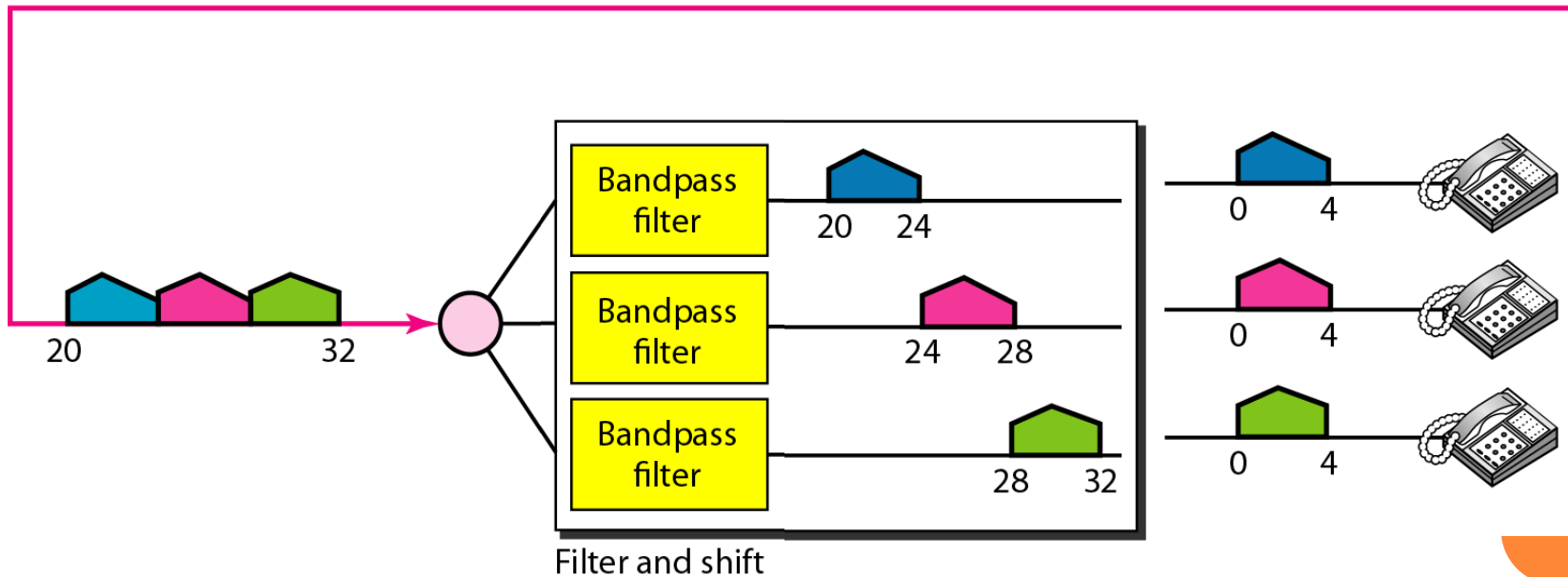
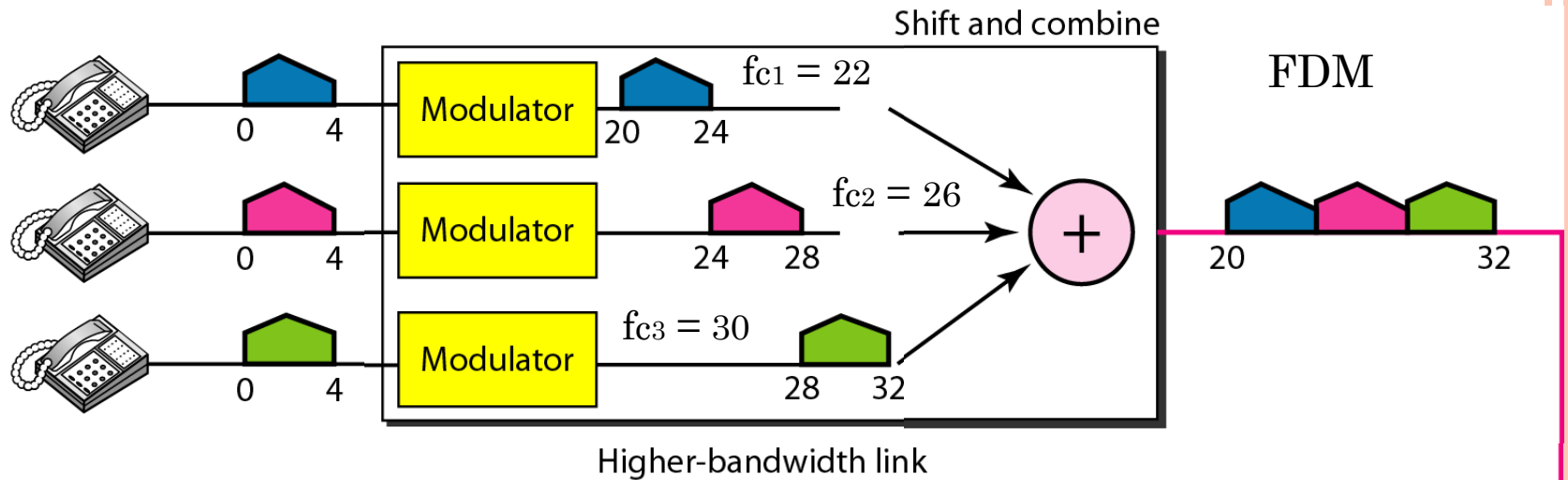
### *ບົດແກ້ (Solution)*

ພວກເຮົາທຳການ Shift ສາມຊ່ອງສັນຍານສຽງຕາມຄວາມຖີ່ທີ່ຫາໃຫ້ມາທີ່ມີແບນວິດແຕກຕ່າງກັນໄດ້ຄື:

Channel 1 = 20-24 KHz

Channel 2 = 24-28 KHz

Channel 3 = 28-32 KHz



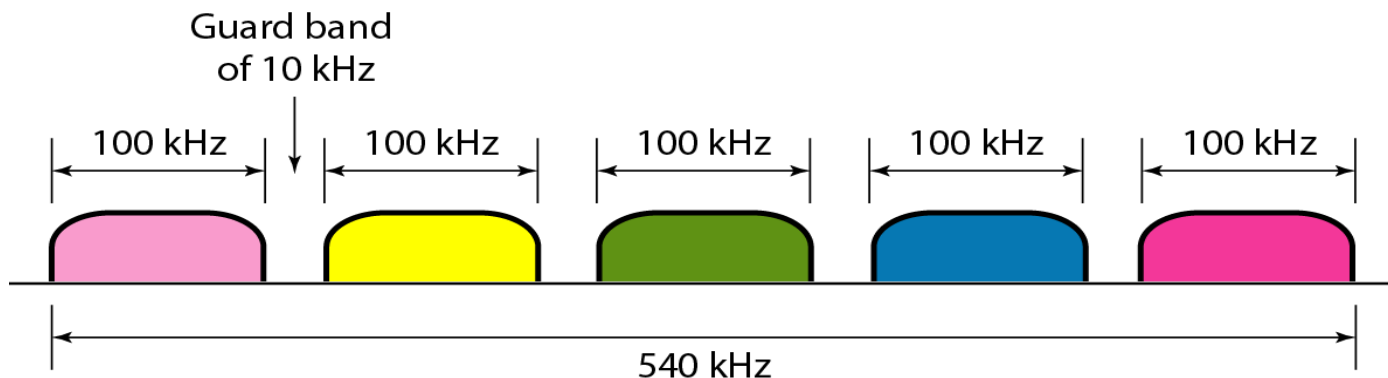
## Example 2

ເຮົາຕ້ອງການລວມຊ່ອງສັນຍານ 5 ຊ່ອງສັນຍານແບບ FDM ໂດຍແຕ່ລະຊ່ອງສັນຍານແມ່ນມີແບນວິດ 100KHz. ຖາມວ່າແບນວິດນ້ອຍສຸດທັງໝົດຂອງການລວມຊ່ອງສັນຍານມີເທົ່າໃດຖ້າຫາວ່າເຮົາຕ້ອງການໃສ່ Guard bands 10KHz ເພື່ອປ້ອງກັນການແຊກແຊງກັນລະຫວ່າງຊ່ອງສັນຍານ.

### *ບົດແກ້ (Solution)*

ສໍາລັບ 5 ຊ່ອງສັນຍານ, ພວກເຮົາຈະຕ້ອງໃຊ້ 4 Guard bands. ດັ່ງນັ້ນ ໝາຍຄວາມວ່າເຮົາຈະຕ້ອງໃຊ້ແບນວິດນ້ອຍສຸດແມ່ນ:

$$(5 \times 100 \text{ KHz}) + (4 \times 10 \text{ KHz}) = 540 \text{ KHz}$$



### Example 3

ເຮົາມີ 4 ຊ່ອງສັນຍານຂໍ້ມູນດິຈິຕອນ ແຕ່ລະຊ່ອງສັນຍານສົ່ງຂໍ້ມູນໃນອັດຕາ 1Mbps. ໂດຍການສື່ສານຜ່ານດາວທຽມຄວາມຖີ່ 1MHz

+ ຈົ່ງພິຈາລະນາອອກແບບການໂຮມສັນຍານດ້ວຍເທັກນິກຂອງ FDM

#### *ບົດແກ້ (Solution)*

- ຊ່ອງສັນຍານດາວທຽມແມ່ນໃຊ້ສັນຍານອານາລັອກ
- ພວກເຮົາແບ່ງຊ່ອງສັນຍານອອກເປັນ 4 ຊ່ອງສັນຍານແຕ່ລະຊ່ອງມີແບນວິດ 250KHz
- ແຕ່ລະຊ່ອງສັນຍານດິຈິຕອນ 1Mbps ເຮົາຈະທຳການມໍດູເລດສັນຍານແບບ (16-QAM)

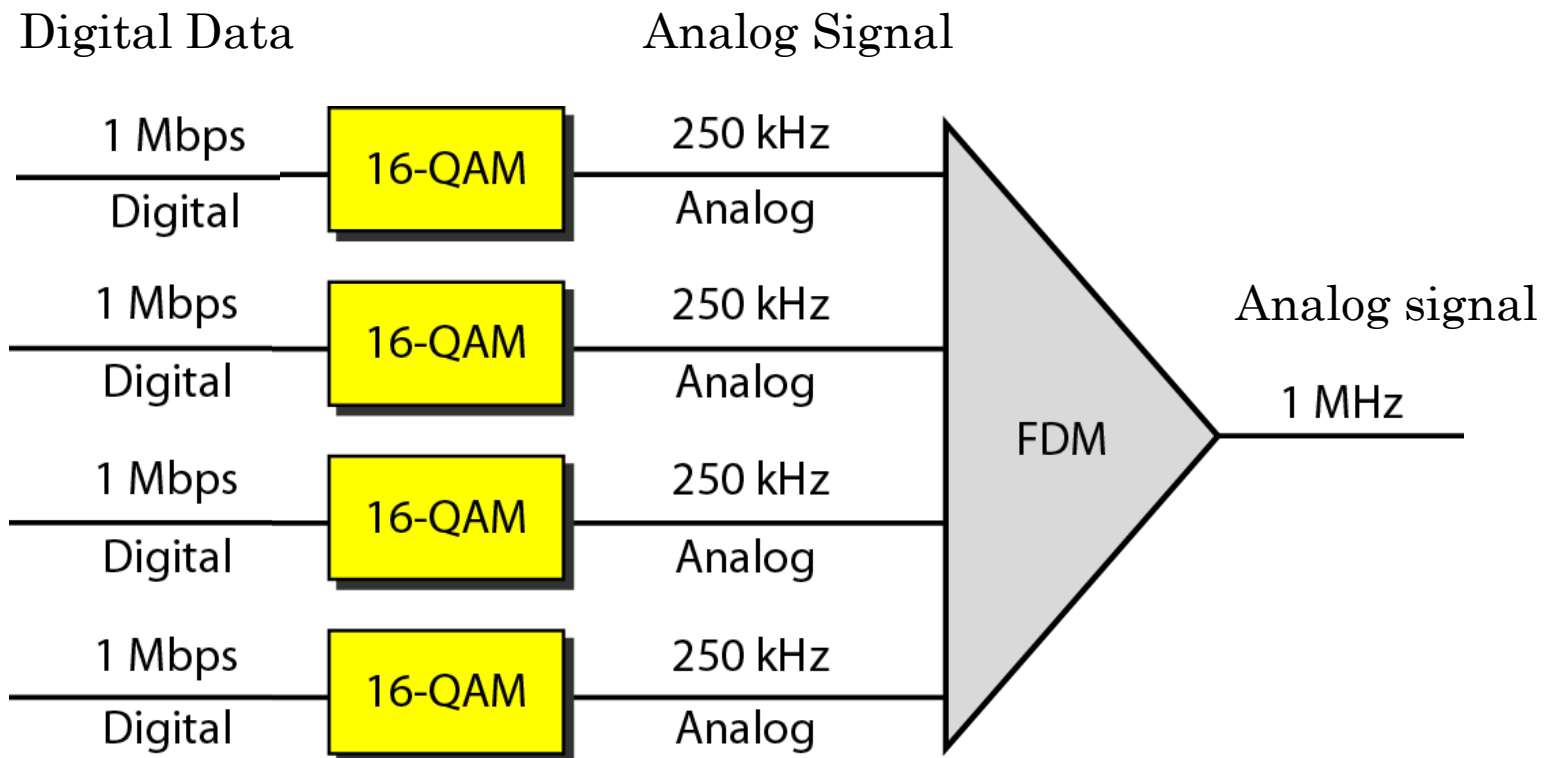
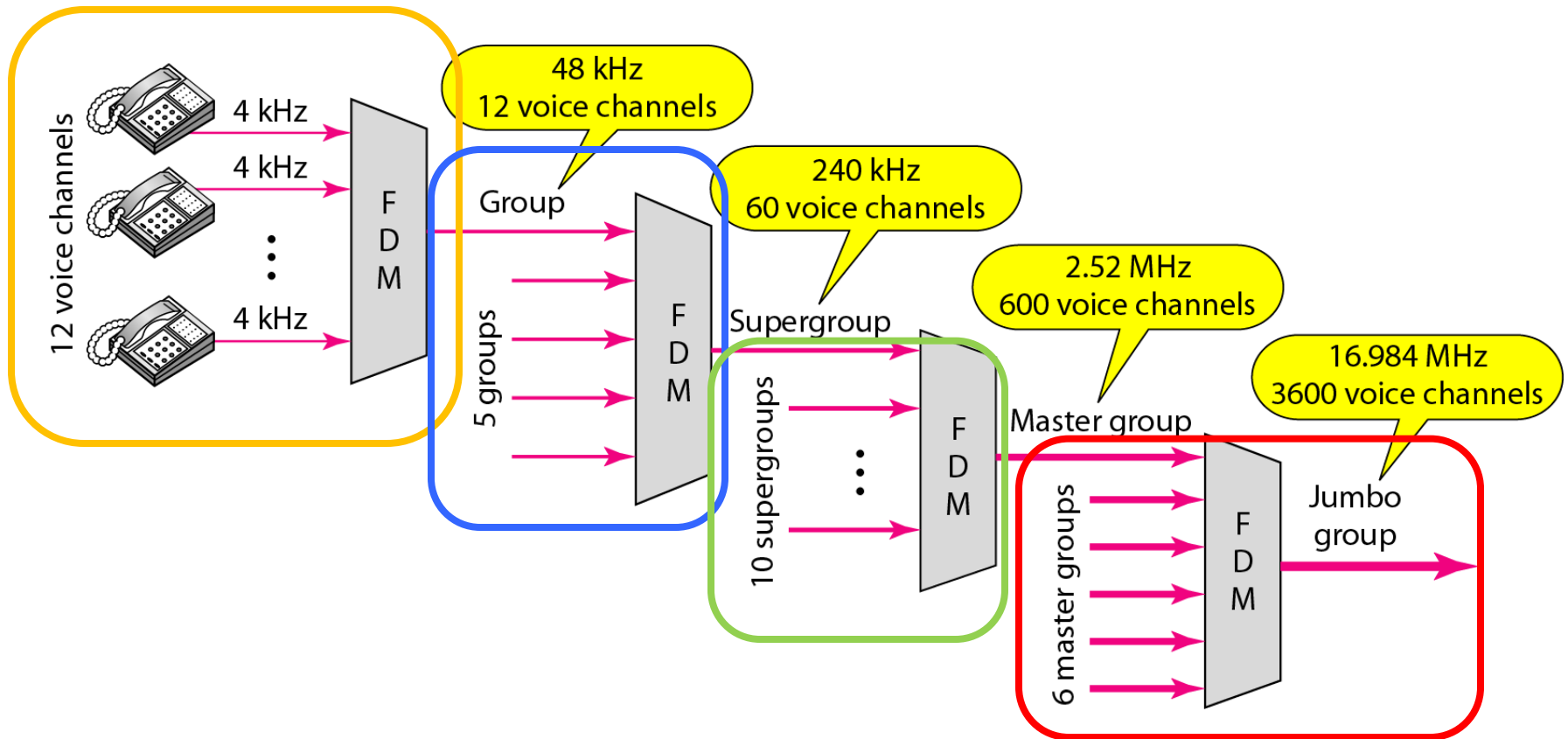
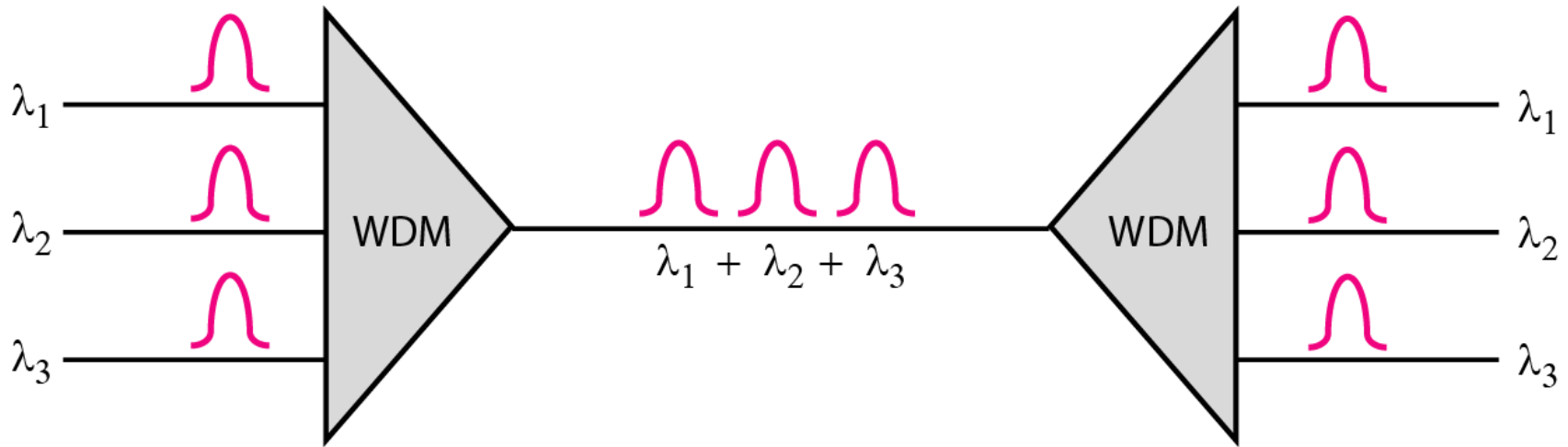


Figure: ການຈັດລະບົບໂຮມສັນຍານແບບອະນາລັອກຂອງໂທລະສັບ

*Analog hierarchy*

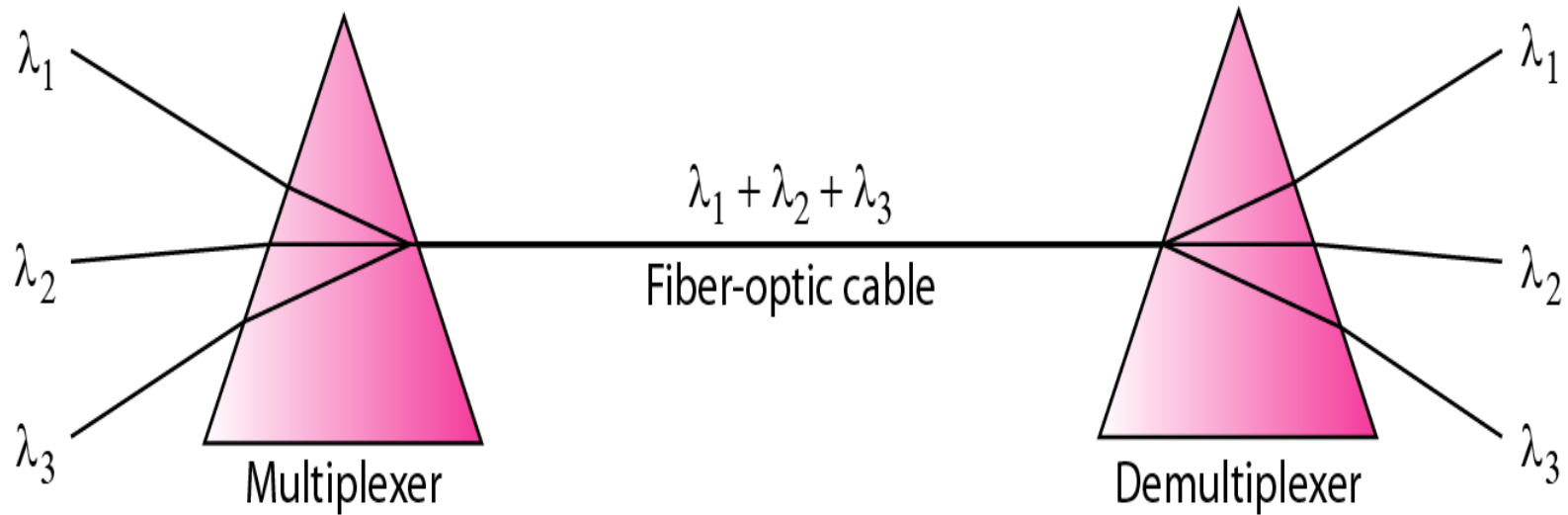


# WAVELENGTH-DIVISION MULTIPLEXING (WDM)



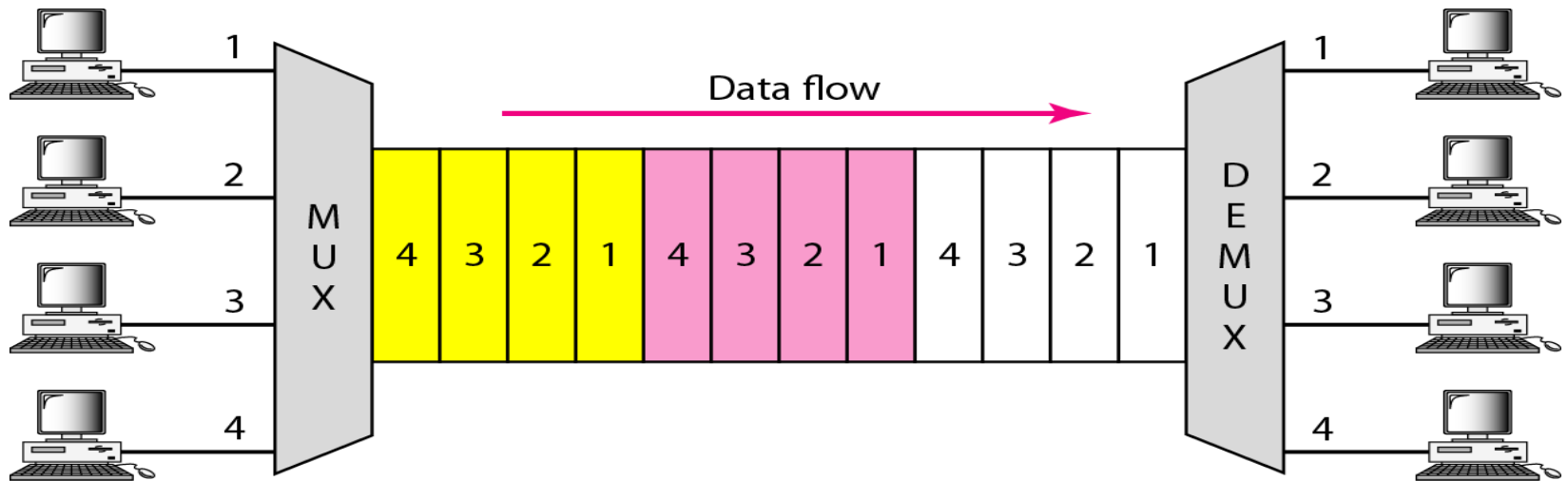
WDM ແມ່ນເປັນເທັກນິກການໂຮມສັນຍານແບບອະນາລັອກທີ່ໃຊ້ໂຮມສັນຍານທີ່ເປັນສັນຍານແສງ WDM ໃຊ້ສຳລັບການໂຮມສັນຍານການສື່ສານຜ່ານສາຍໃຍແກ້ວນຳແສງ

## WDM MULTIPLEXING AND DEMULTIPLEXING





# TIME DIVISION MULTIPLEXING (TDM)



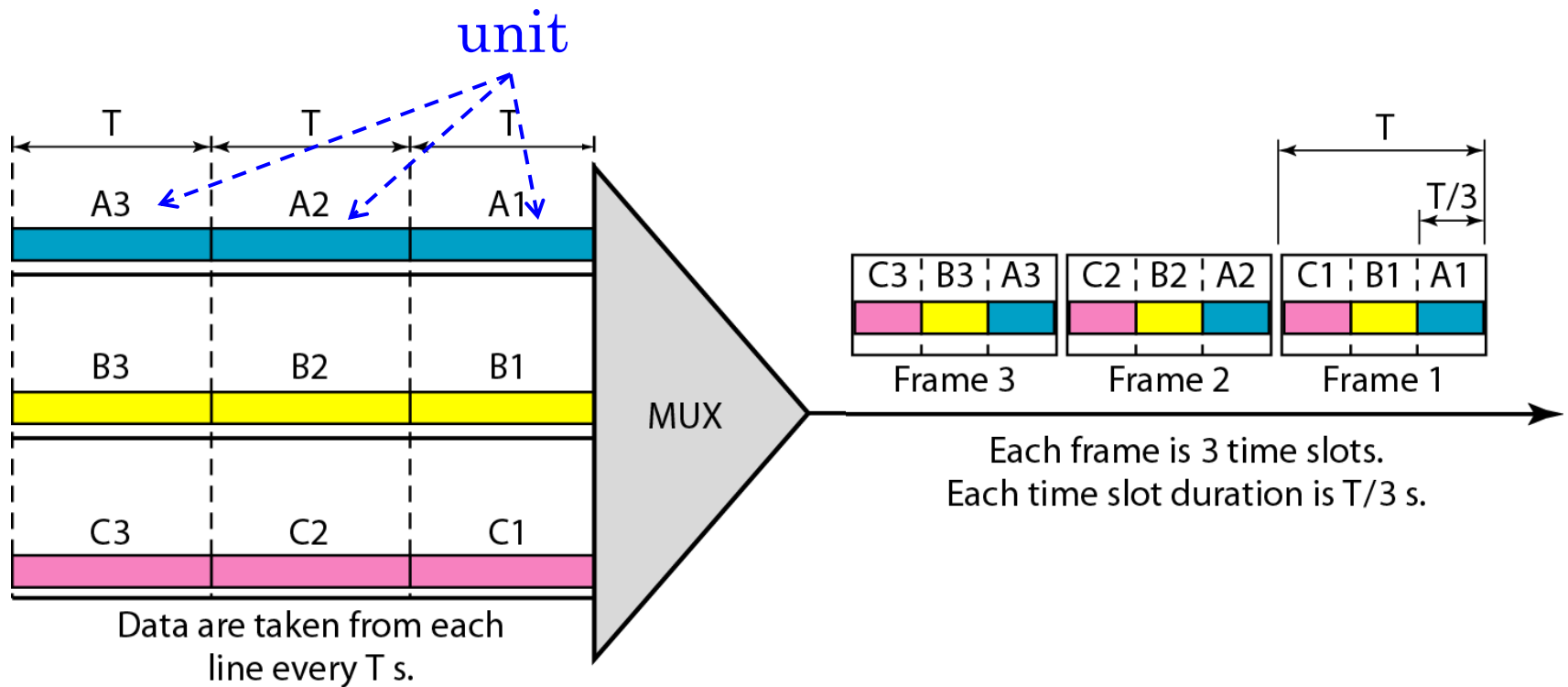
TDM ແມ່ນເຕັກນິກການໂຮມສັນຍານຂໍ້ມູນດິຈິຕອນຈາກຫຼາຍສະຖານີທີ່ແຕກຕ່າງກັນລວມເຂົ້າດ້ວຍກັນດ້ວຍການແບ່ງເລວາທີ່ແຕກຕ່າງກັນ

Analog data ແມ່ນສາມາດປ່ຽນເປັນ Digital data ແລ້ວທຳການໂຮມສັນຍານແບບ TDM ໄດ້

TDM ສາມາດແບ່ງອອເປັນ

- Synchronous Time-Division Multiplexing (Synchronous TDM)
- Statistical Time-Division Multiplexing (Statistical TDM)

# Synchronous *Time-Division Multiplexing*



### Example 4

ເຮົາໄດ້ທຳການໂຮມສັນຍານ 4 ຊ່ອງສັນຍານໂດຍໃຊ້ເທັກນິກ TDM. ແຕ່ລະຊ່ອງສັນຍານສົ່ງຂໍ້ມູນ 100bytes/s ແລະພວກເຮົາໂຮມສັນຍານ 1 byte ຕໍ່ຊ່ອງສັນຍານ. ຈົ່ງຊອກຫາ: ຂະໜາດຂອງເຟຣມ, ຊ່ວງເວລາລະຫວ່າງເຟຣມ, ອັດຕາຂອງເຟຣມ ແລະອັດຕາຂໍ້ມູນ.

#### *ບົດແກ້ (Solution)*

1. ແຕ່ລະຊ່ອງສັນຍານມີ 1 byte ດັ່ງນັ້ນ **ຂະໜາດຂອງເຟຣມ**ແມ່ນ 4 bytes ຫຼື 32bits
2. **ຊ່ວງເວລາລະຫວ່າງເຟຣມ**ແມ່ນ  $1/100 = 0.01s$
3. ເພາະວ່າແຕ່ລະຊ່ອງສົ່ງຂໍ້ມູນ 100 bytes/s ແລະແຕ່ລະເຟຣມມີ 1byte ຂອງແຕ່ລະຊ່ອງສັນຍານ ດັ່ງນັ້ນ **ອັດຕາຂອງເຟຣມ**ຈະຕ້ອງແມ່ນ 100 frame/s
4. **ອັດຕາຂໍ້ມູນ**ແມ່ນ  $100 \times 32$  ຫຼື 3200 bps

## Example

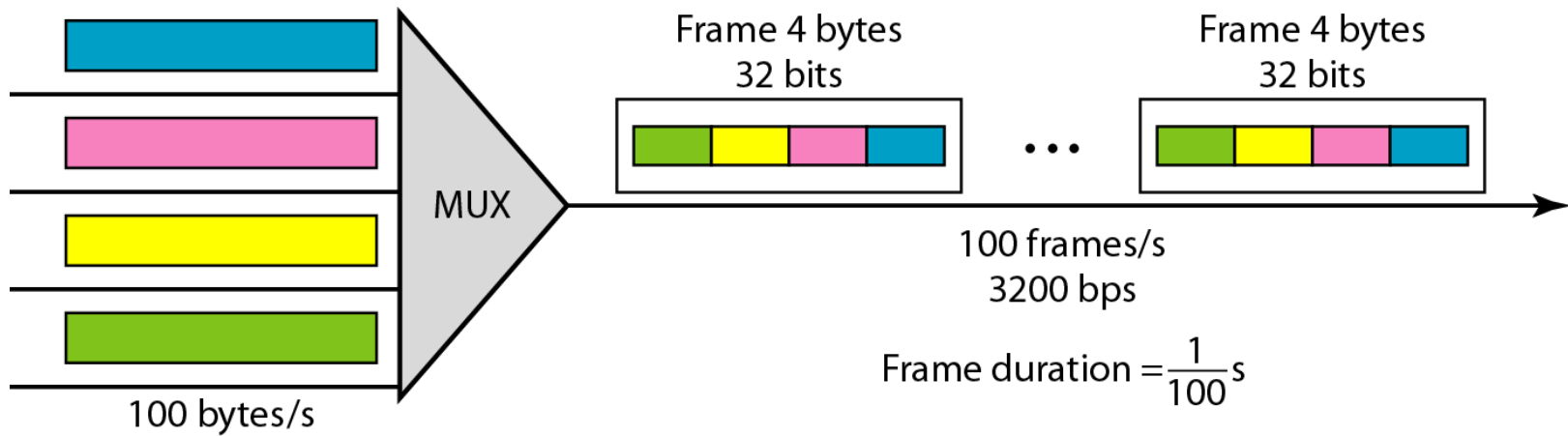


Figure: *Empty slots*

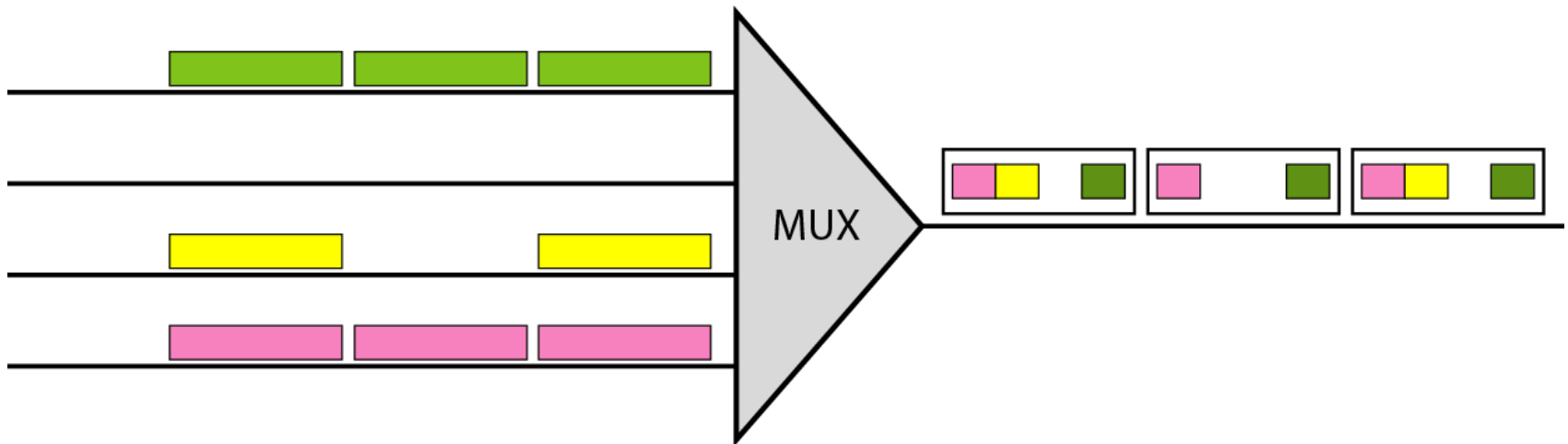


Figure *Multilevel multiplexing*

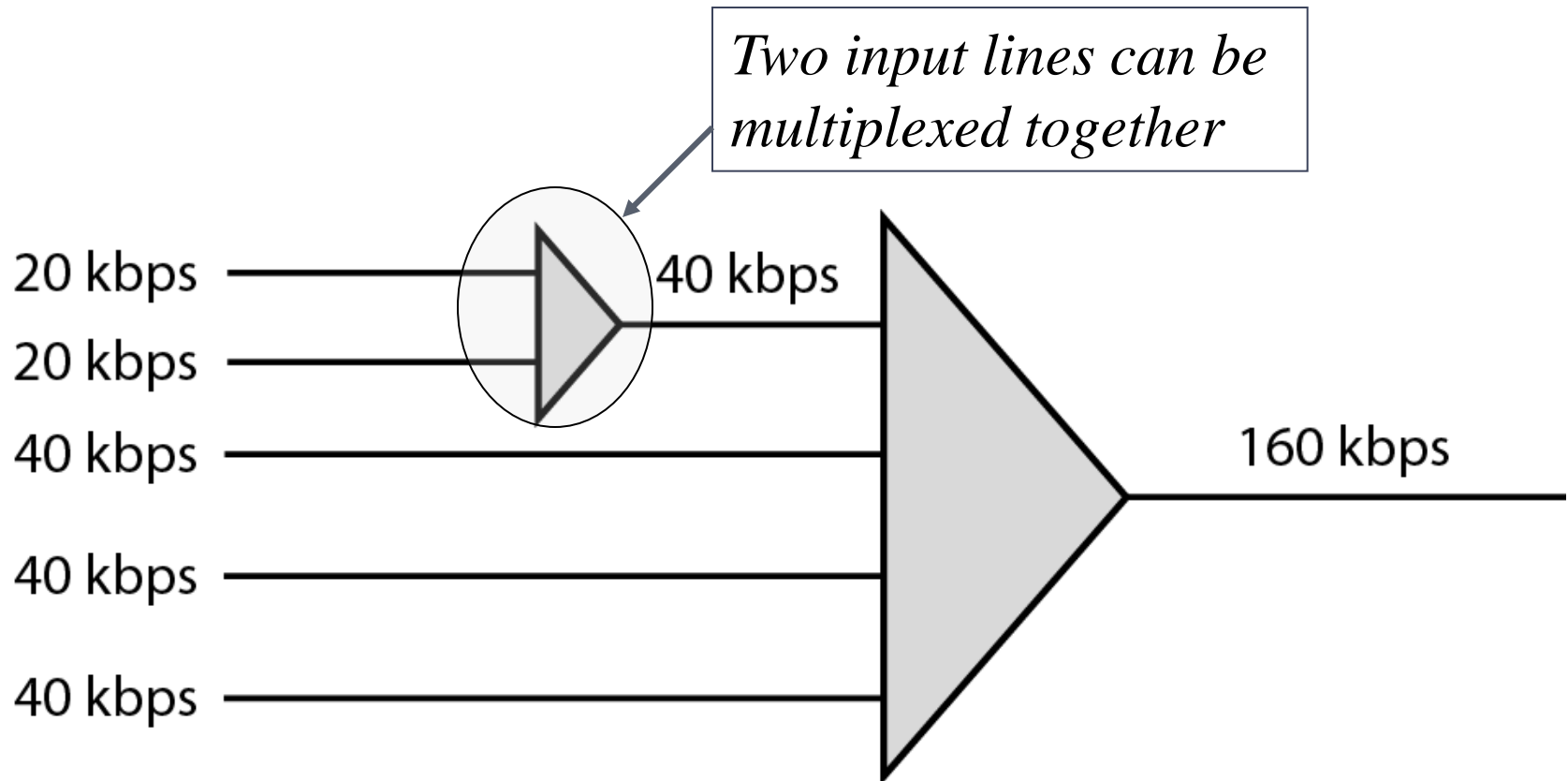


Figure *Multiple-slot multiplexing*

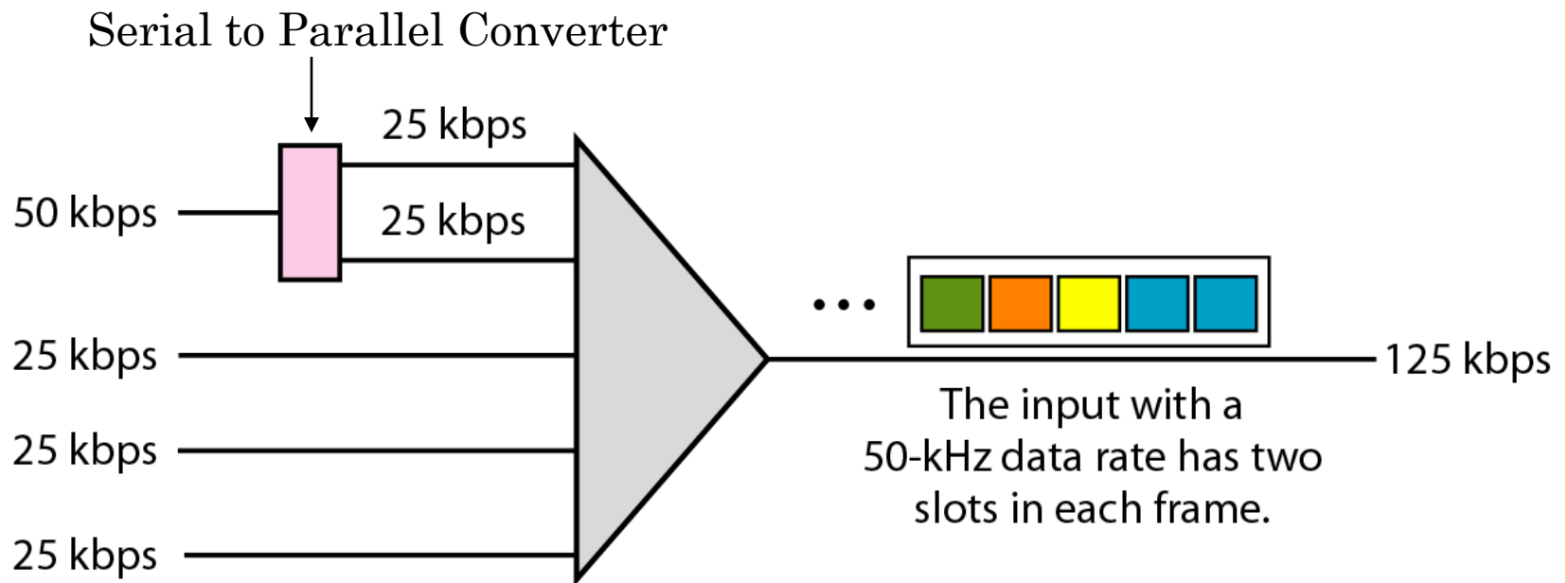


Figure *Pulse stuffing*

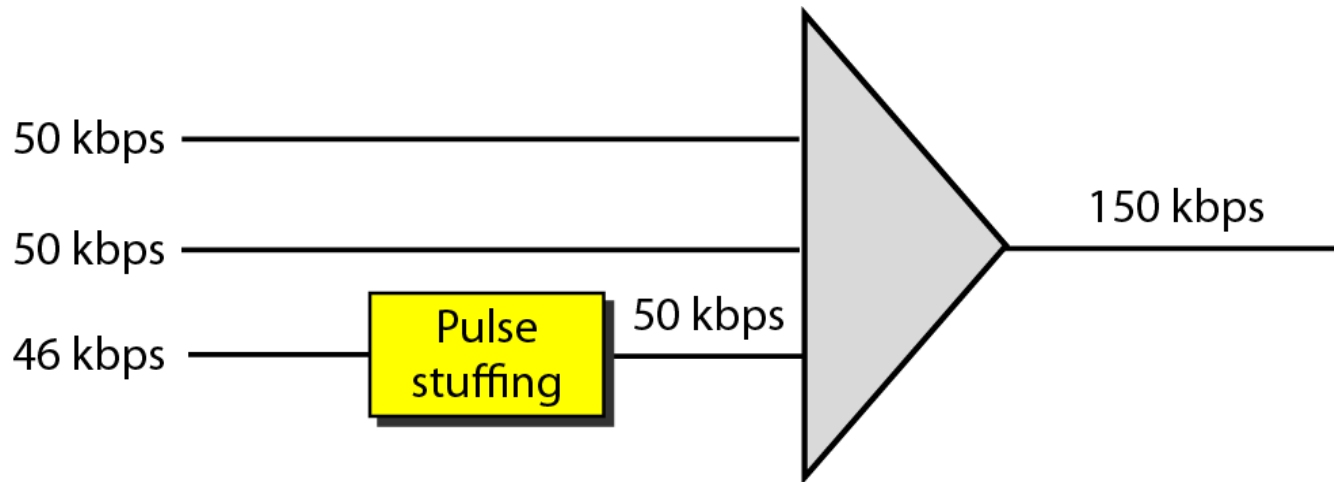




Figure *Interleaving*

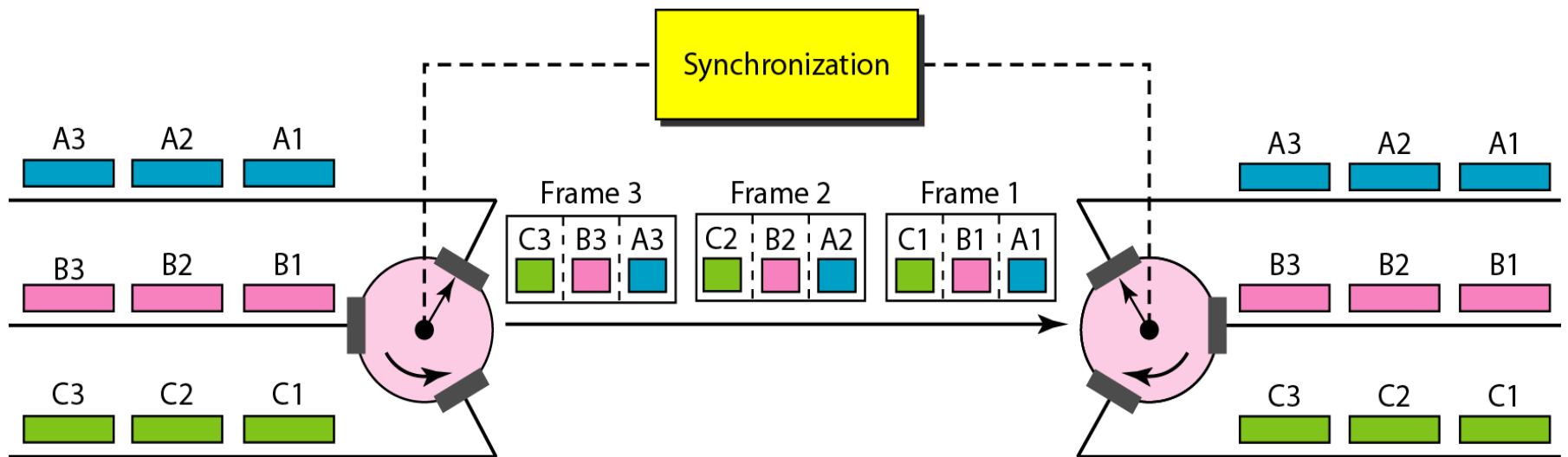
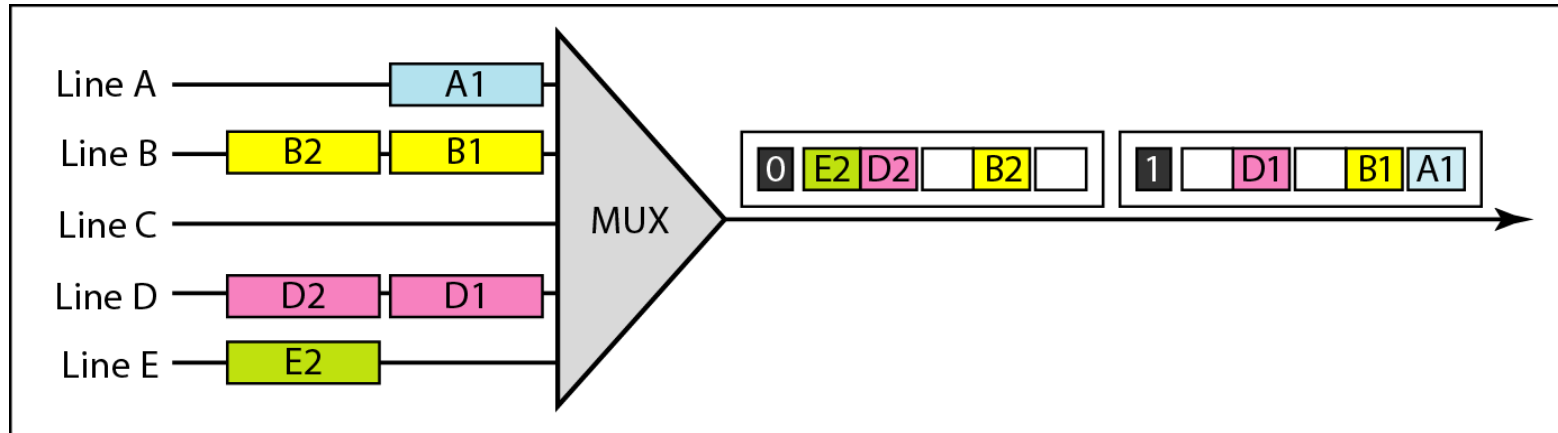
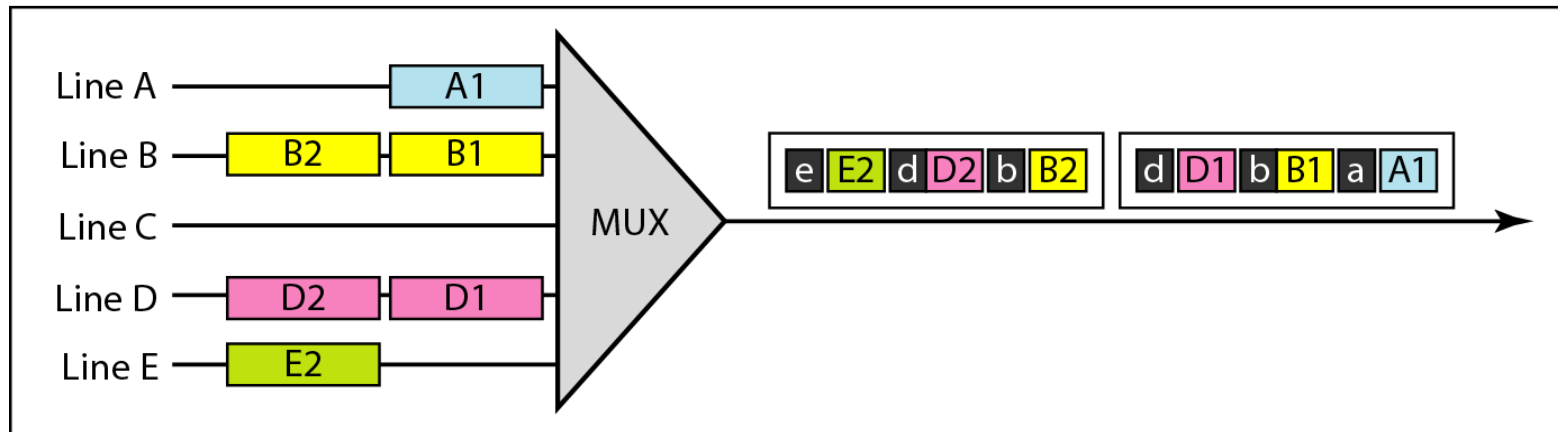


FIGURE 6.26 *TDM SLOT COMPARISON*



a. Synchronous TDM



b. Statistical TDM