

Transmission of Analog Signal

Лекц 5

Аналог дохио дамжуулал

Агуулга:

- **Аналог өгөгдлийг аналог дохионд хувиргах аргууд**
 - Агууригийн модуляц
 - Давтамжийн модуляц
 - Фазын модуляц
- **Тоон өгөгдлийг аналог дохионд хувиргах аргууд**
 - Агууриг солих модуляц
 - Давтамж солих модуляц
 - Фаз солих модуляц
 - Агууриг ба фаз солих модуляц

Өгөгдлийг дохионд хувиргах

Өгөгдөл	Дохио	Арга
Тоон	Тоон	Кодлол
Аналог	Тоон	Кодлол
Тоон	Аналог	Модуляц
Аналог	Аналог	Модуляц

Яагаад модуляц хийх хэрэгтэй вэ?

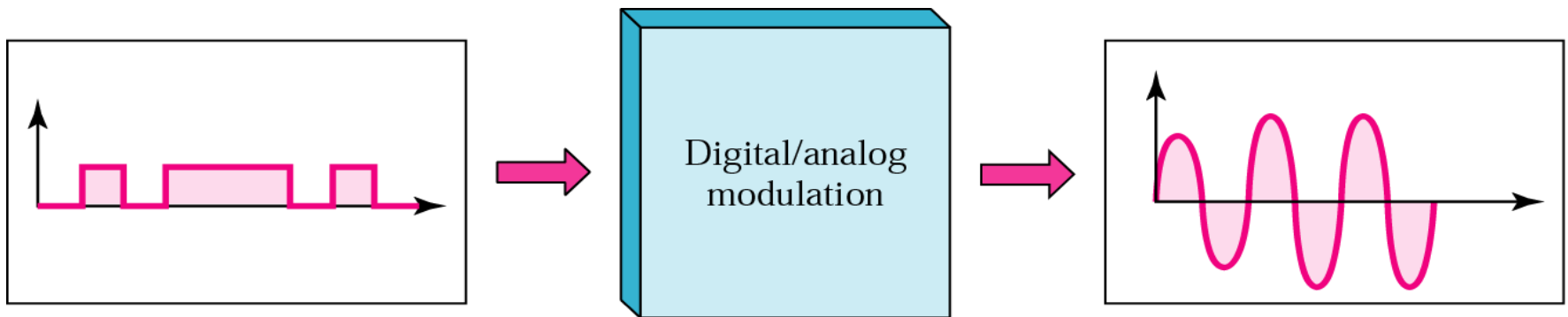
- Frequency translation : Дохиог дамжуулахын тулд давтамжийн нэг хязгаараас өөр хязгаарт хувиргана.
- Practical size of antenna : Модуляц нь нам давтамжтай baseband дохиог өндөр давтамжтай дохионд хувиргаснаар антеннаар дамжих боломжтой bandpass дохионд хувирна.
- Narrowbanding : Нам болон өндөр давтамжтай дохионууд нэгтгэгдэж дамжигдана

$$\begin{array}{l} 20\text{Hz}, 20\text{KHz} \Rightarrow 1\text{MHz дохиогоор зөөхөд :} \\ 10^6+20 \quad 20*10^3+10^6 \Rightarrow 0.019 \end{array}$$

- Multiplexing : Модуляц хийх нь олон давтамжийг нягтруулах боломжтой болно

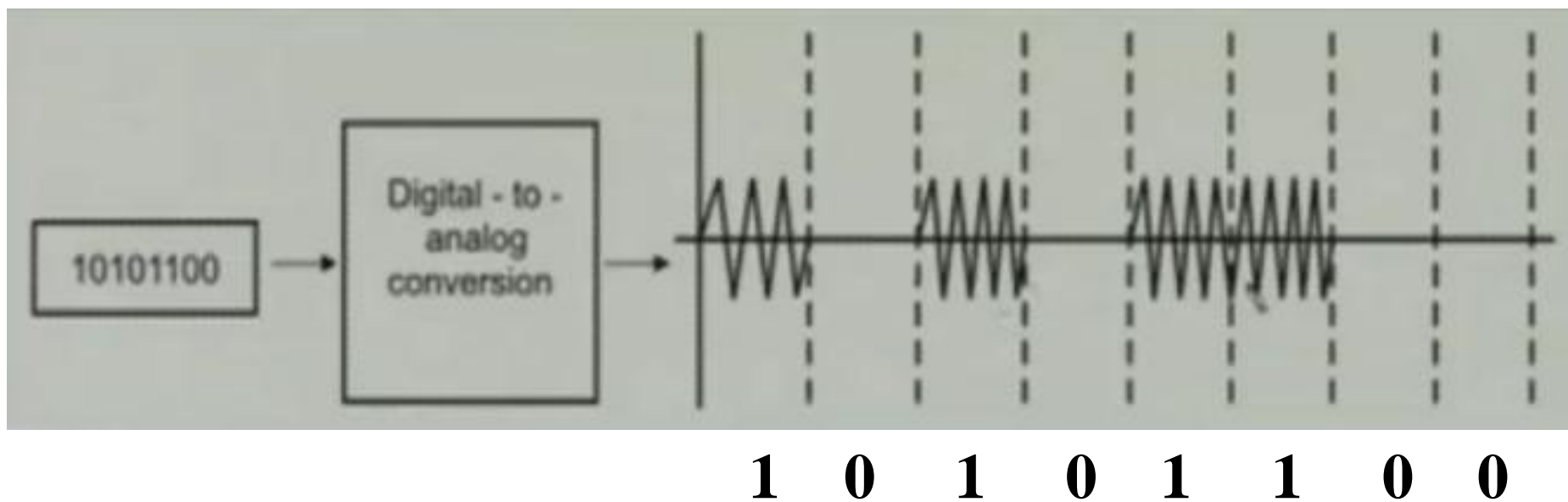
Тоон өгөгдөл – Аналог дохио

- Тоон өгөгдлийг аналог дамжуулах орчноор дамжуулна

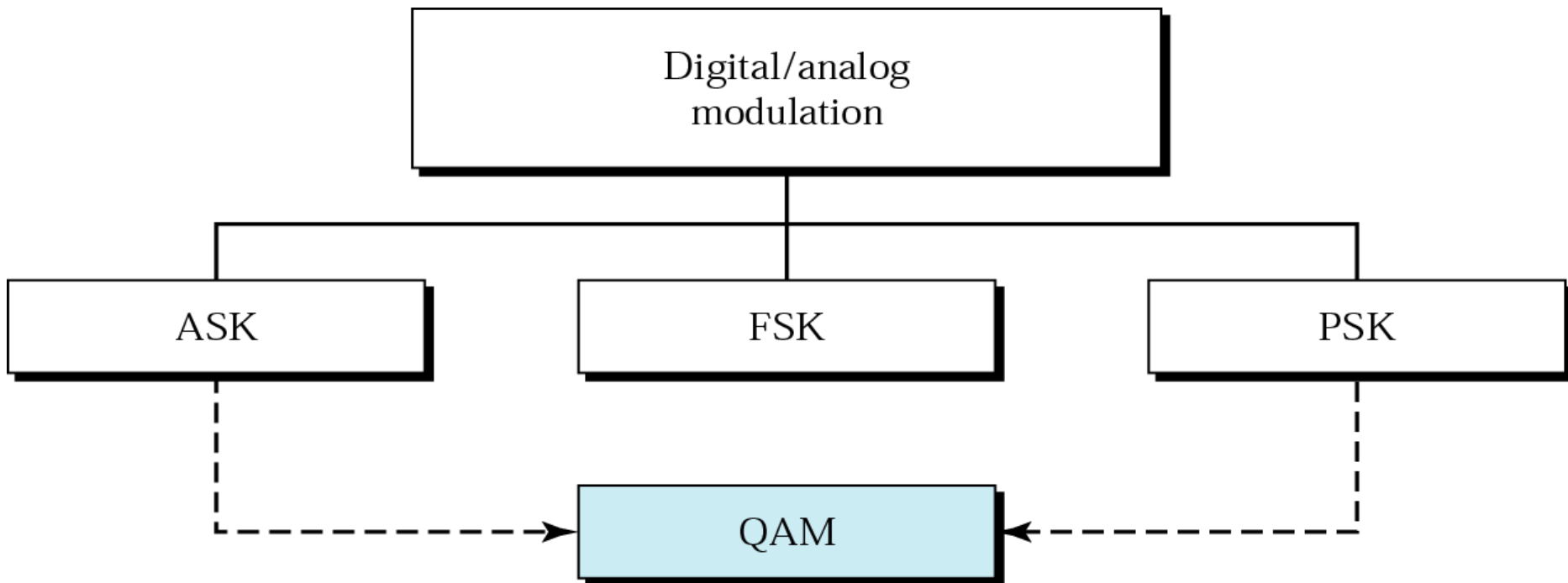


Мэдээлэл агуулсан тоон импульсийг зөөгч дохионы аль нэг параметрийг өөрчилж аналог дохионд хувиргана.

Тоон өгөгдөл – Аналог дохио



Тоон өгөгдлийг аналог дохионд хувиргах модуляцын аргууд



- *Агууриг солих модуляц*
- *Давтамж солих модуляц*
- *Фаз солих модуляц*
- *Арууриг ба фаз солих модуляц*

Зөөгч дохио

- Анолог дамжууллын үед нам давтамжийн дохиог өндөр давтамжийн дохиогоор зөөнө.*
- Энэ дохиог зөөгч дохио ба зөөгч давтамж гэж нэрлэнэ.*
- Тоон мэдээллийг анолог дамжууллаар дамжуулахдаа зөөгч дохионы агууриг, давтамж, фазыг өөрчилж модуляцална.*

Bit rate ба Baud rate

Bit rate – 1 секунд дэх битийн тоо (bps)

*Baud rate – 1 секунд дэх дохионы нэгжсийн тоо
өөрөөр хэлбэл 1 секунд дэх дохионы
элементийн тоо (baud per sec)*

*Bit rate = Baud rate * нэг элементэд харгалзах
битийн тоо*

Bit rate \geq Baud rate

Relationship Data rate (bit rate) \Rightarrow
Signal rate (baud rate)

For digital transmission: Signal element

$$S = N * 1/r \text{ [baud]}$$

N-data rate [bps]

r-number of data elements

For analog transmission: $r = \log^2 L$

L-type of signal element

Example 1: An analog signal carries 4 bits per signal element. If 1000 signal elements are sent per second, find the bit rate.

Solution: $r=4$, $S=1000$, $N=?$

$$S=N*1/r \Rightarrow N=S*r=1000*4=4000\text{bps}$$

Example 2:

An analog signal has a bit rate of 8000 bps and a baud rate of 1000 baud. How many data elements are carried by each signal element? How many signal elements do we need?

Solution:

$S = 1000$, $N = 8000$, and r and L are unknown. We find first the value of r and

then the value of L .

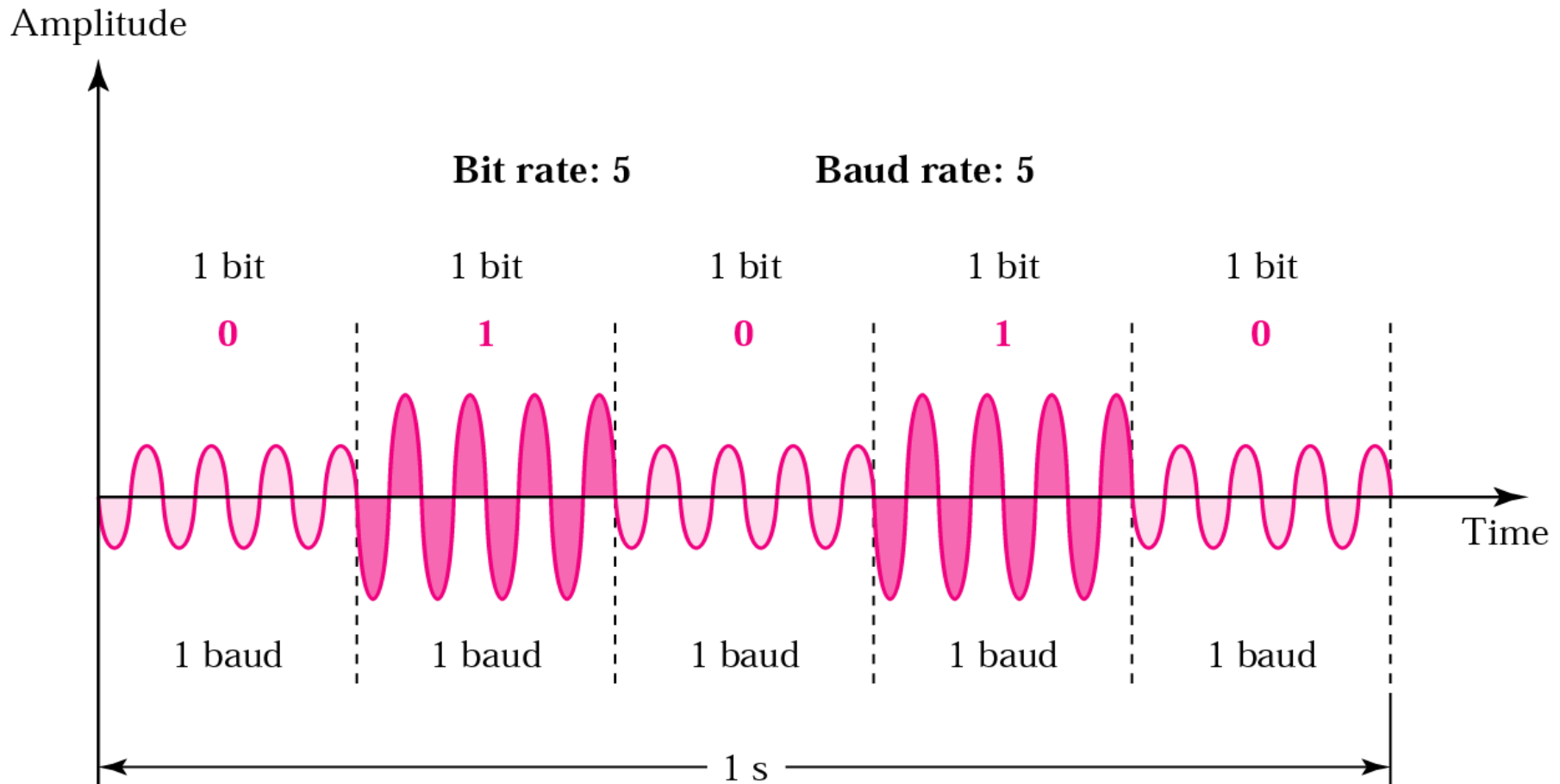
$$S=N*1/r \Rightarrow r=N/S=8000/1000=8\text{bits/baud}$$

$$r = \log^2 L \Rightarrow L=2^r=2^8=256$$

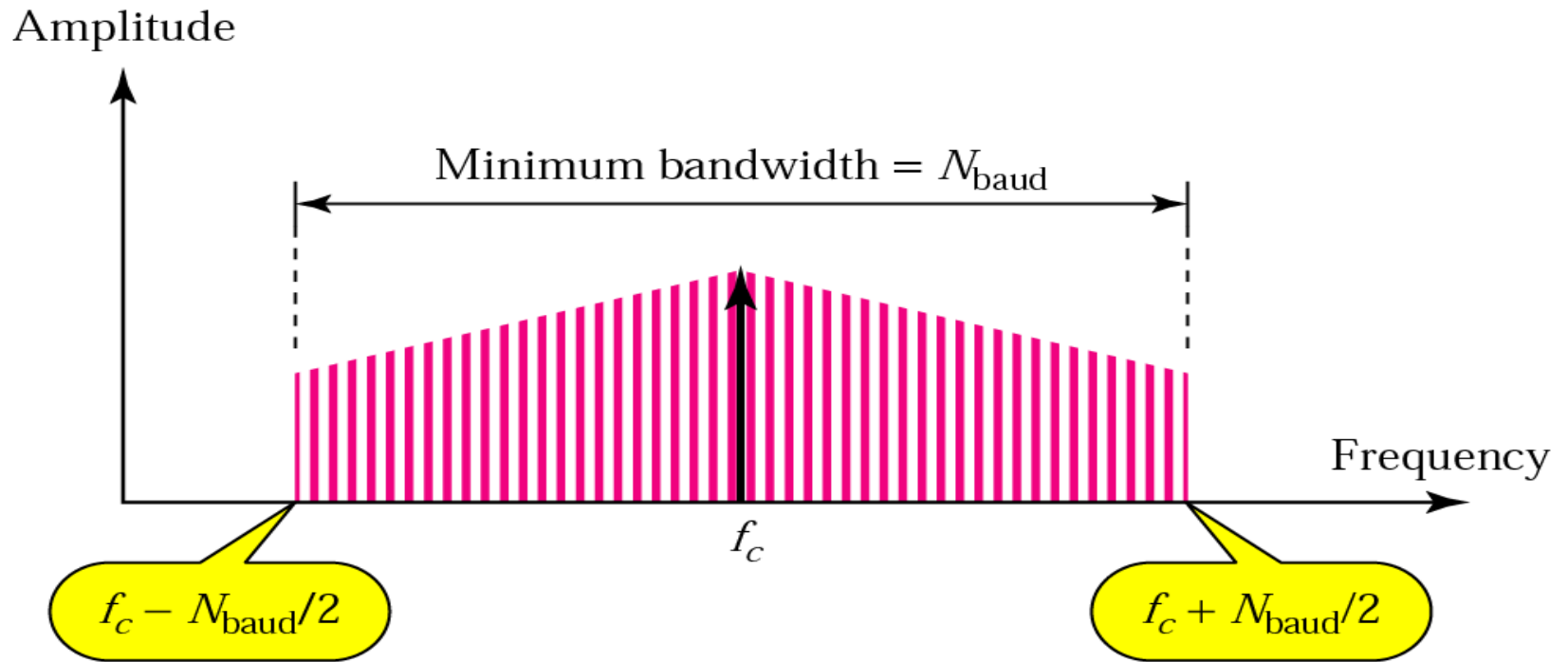
Агууриг солих модуляц (ASK)

Мэдээг илэрхийлсэн тоон цувааны өөрчлөлтийн хуулиар зөөгч хэлбэлзлийн агууригийг өөрчлөхийг хэлнэ.

$$S(\text{baud})=N(\text{bps})$$



АСМ дохионы зурвасын өргөн



$$\text{Bandwidth} = (1+d) * S$$

S – Модуляцын хурд

d - is value between 0 and 1

Example 1 ASK хийгдсэн дохионы зурвасын өргөн 3000 Гц бол baud rate ба bit rate-ыг ол.

ASK : Baud rate = Bandwidth = 5000 baud/s
Baud rate = Bit rate = 5000 bps

Example 2

We have an available bandwidth of 100 kHz which spans from 200 to 300 kHz. What are the carrier frequency and the bit rate if we modulated our data by using ASK with $d = 1$?

Solution

The middle of the bandwidth is located at 250 kHz. This means that our carrier frequency can be at $f_c = 250$ kHz. We can use the formula for bandwidth to find the bit rate (with $d = 1$ and $r = 1$).

$$B = (1 + d) \times S = 2 * N * 1/r = 2 * N = 100 \text{ kHz} \rightarrow N = 50 \text{ kbps}$$

Жишээ Full-duplex дамжууллын горимтой тоон дохиог ASK хийхэд зурвасын өргөн 10,000 Гц (1000 to 11,000 Гц) байсан бол очих урсгал болон буцах урсгалын зөөгч давтамжийг тодорхойл.

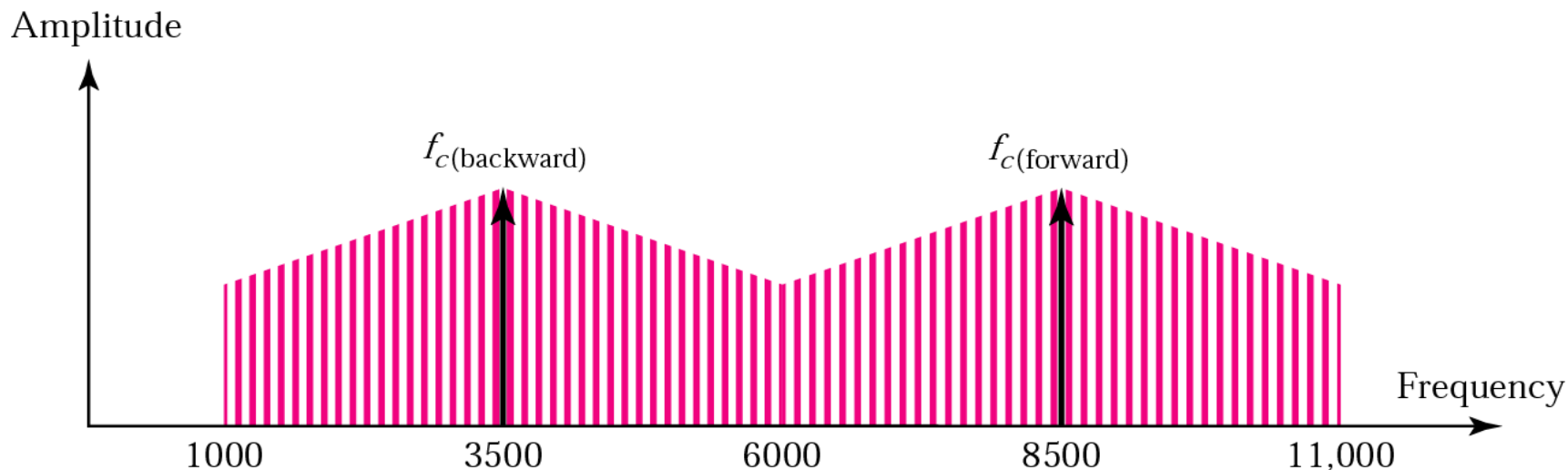
Full-duplex ASK-ын үед нэг чиглэлийн зурвасын өргөн

$$BW = 10000 / 2 = 5000 \text{ Гц}$$

Зөөгч давтамж нь зурвасын өргөний хагаст сонгогдоно

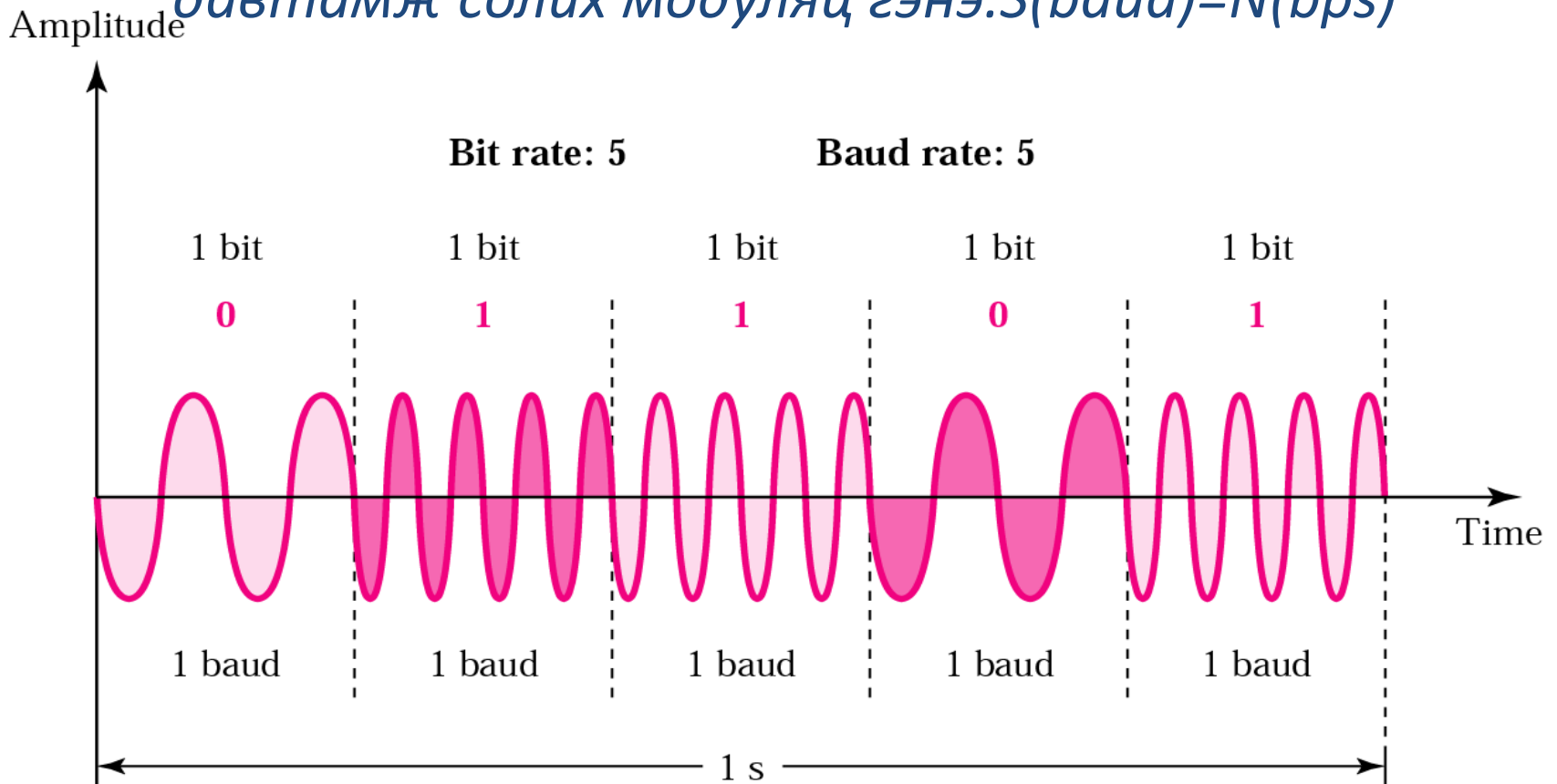
$$f_c \text{ (очих)} = 1000 + 5000/2 = 3500 \text{ Гц}$$

$$f_c \text{ (буцах)} = 11000 - 5000/2 = 8500 \text{ Гц}$$

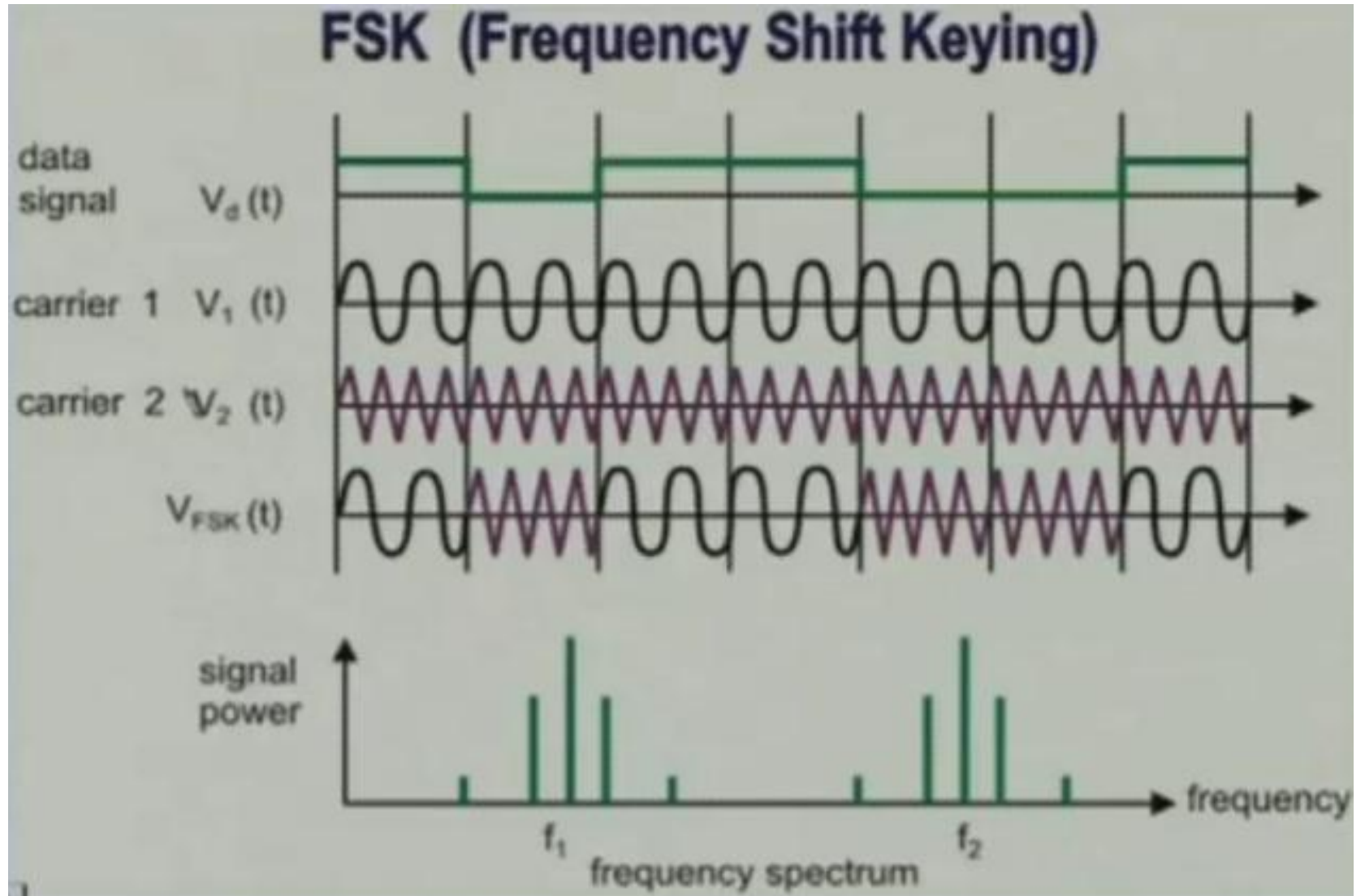


Давтамж солих модуляц (FSK)

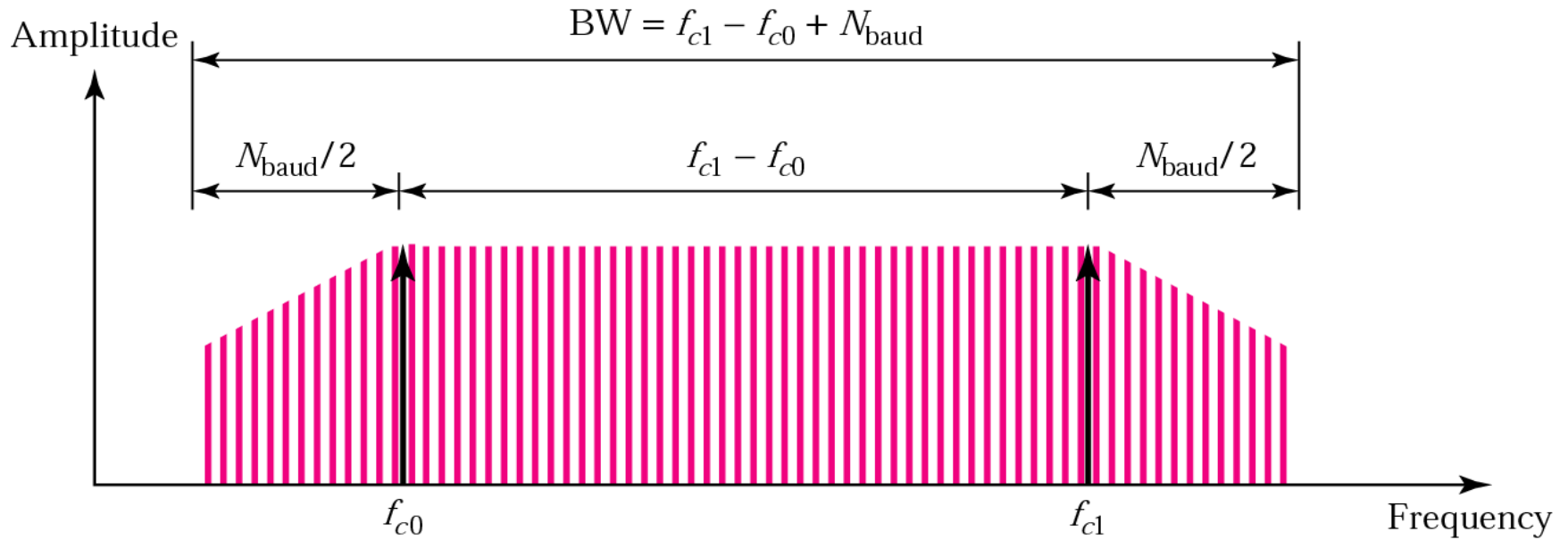
Мэдээг илэрхийлсэн тоон цувааны өөрчлөлтийн хуулиар зөөгч хэлбэлзлийн давтамжийг өөрчлөхийг давтамж солих модуляц гэнэ. $S(\text{baud})=N(\text{bps})$



Давтамж солих модуляц



Зураг 5.7 *FSK-тай дохионы зурвасын өргөн*



Bandwidth = $(f_{c1} - f_{c0}) + \text{Baud rate}$

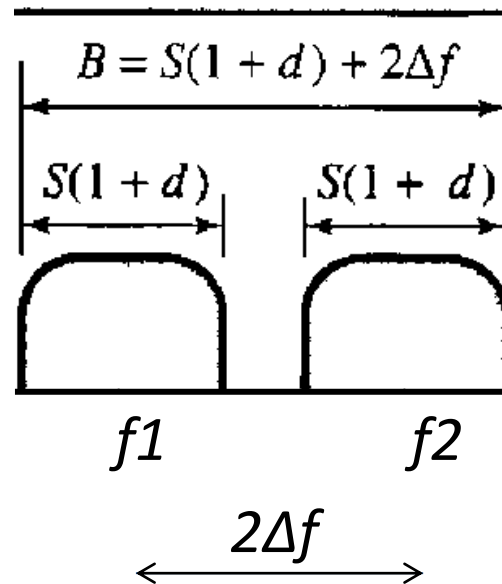
f_{c1} - '1'

f_{c0} - '0'

Binary FSK (BFSK)

Binary FSK (or BFSK) is to consider two carrier frequencies f_1 and f_2 . We use the first carrier if the data element is 0; we use the second if the data element is 1. Normally the carrier frequencies are very high, and the difference between them is very small.

$$r=1 \quad S=N \quad B=(1+d)S+2\Delta f$$



Bandwidth for BFSK

Дохионы зөөгч давтамж нь зөвхөн энгийн синусойд дохиог тасралтгүй үргэлжилсэн нийлмэл дохионууд болгон хувиргахдаа давтамж нь $f_1 \Rightarrow f_2$ хооронд өөрчлөгддөг. Тэгвэл энэ хоёр давтамжийн хоорондох зурвасын өргөн нь дараах томъёогоор илэрхийлэгдэнэ.

$$B = (l+d) * S + 2\Delta f$$

Example

We have an available bandwidth of 100 kHz which spans from 200 to 300 kHz. What should be the carrier frequency and the bit rate if we modulated our data by using FSK with $d = 1$?

Solution

The midpoint of the band is at 250 kHz. We choose $2\Delta f$ to be 50 kHz; this means

$$B = (1 + d) \times S + 2\Delta f = 100 \rightarrow 2S = 50 \text{ kHz}$$

$$S = 25 \text{ kbaud}, N = 25 \text{ kbps}$$

Фаз солих модуляц (PSK)

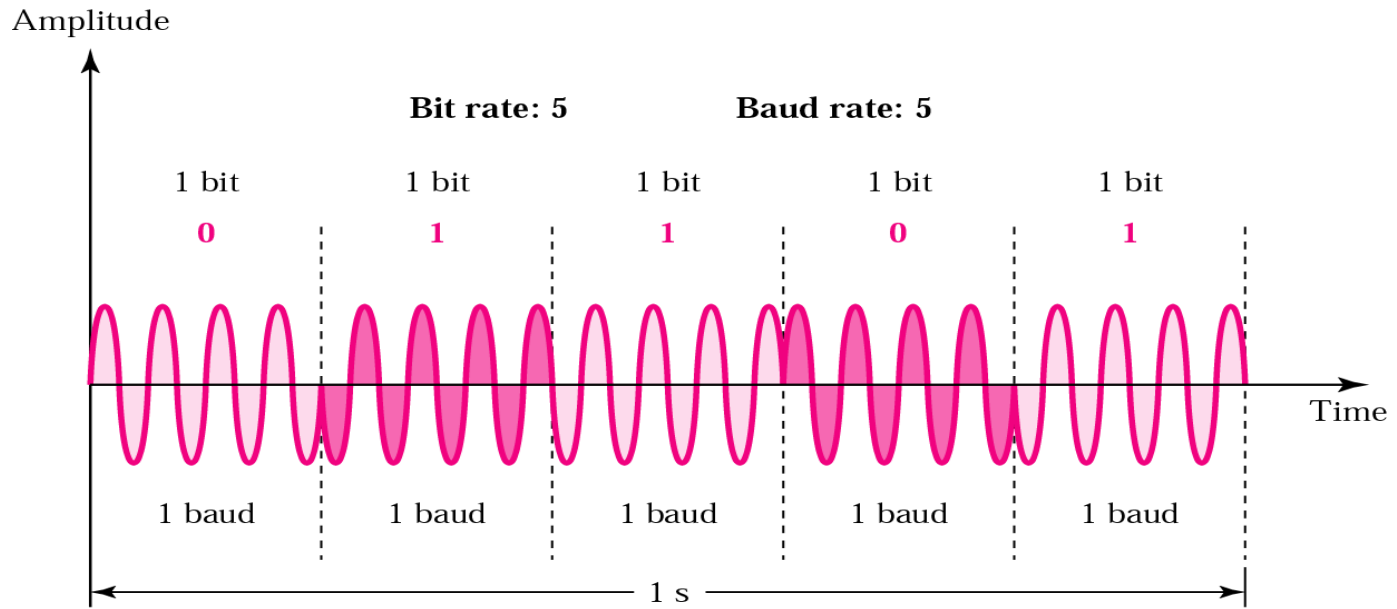
Мэдээг илэрхийлсэн тоон цувааны өөрчлөлтийн хуулиар зөөгч хэлбэлзлийн фазыг өөрчлөхийг фаз солих модуляц гэнэ.

2-PSK, 4-PSK, 8-PSK, 16-PSK ...

- 0 фазтай дохиог 0 битээр илэрхийлбэл фазыг 180 градусаар эргүүлж, 1 битийг илгээнэ. Нэгж битийн үргэлжлэх хугацааны туршид дохионы фаз тогтмол, 0 ба 1 битийн төлөвтэй.
- Давтамжийн нэг тогтмол утгаас нөгөөд шилжих өөрчлөлтийн үед зөвхөн нэг битийн өөрчлөлт хийгддэг учир PSK-н үед бод хурд ба бит хурд тэнцүү байна.

Binary PSK (BPSK) – 2 түвшинт фаз солих модуляц

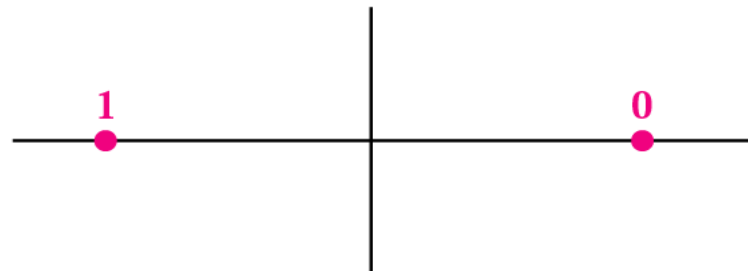
$S(\text{baud})=N(\text{bps})$



'1' үед $s(t) = A \cos(2\pi f_c t + \pi)$
 '0' үед $s(t) = A \cos(2\pi f_c t)$

Bit	Phase
0	0
1	180

Bits

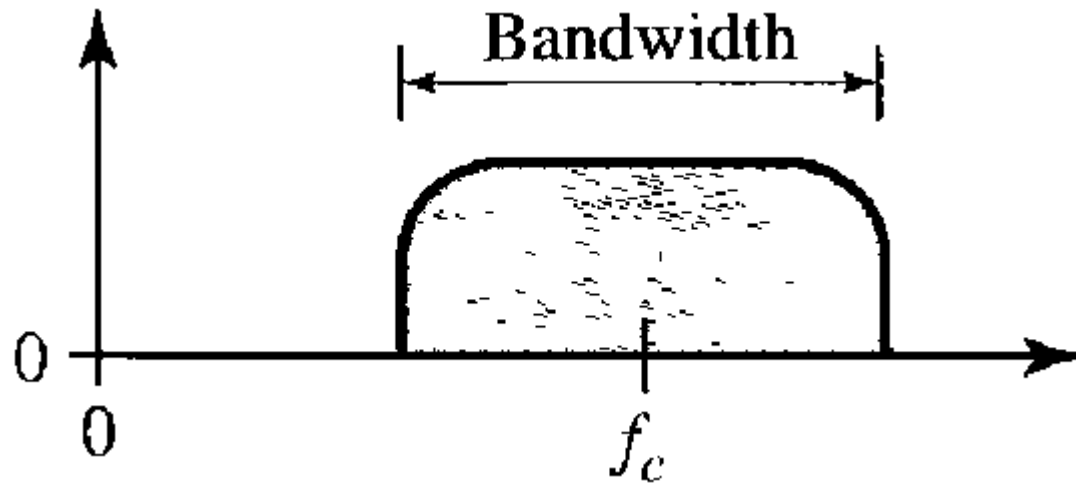


Constellation diagram

The bandwidth for BPSK

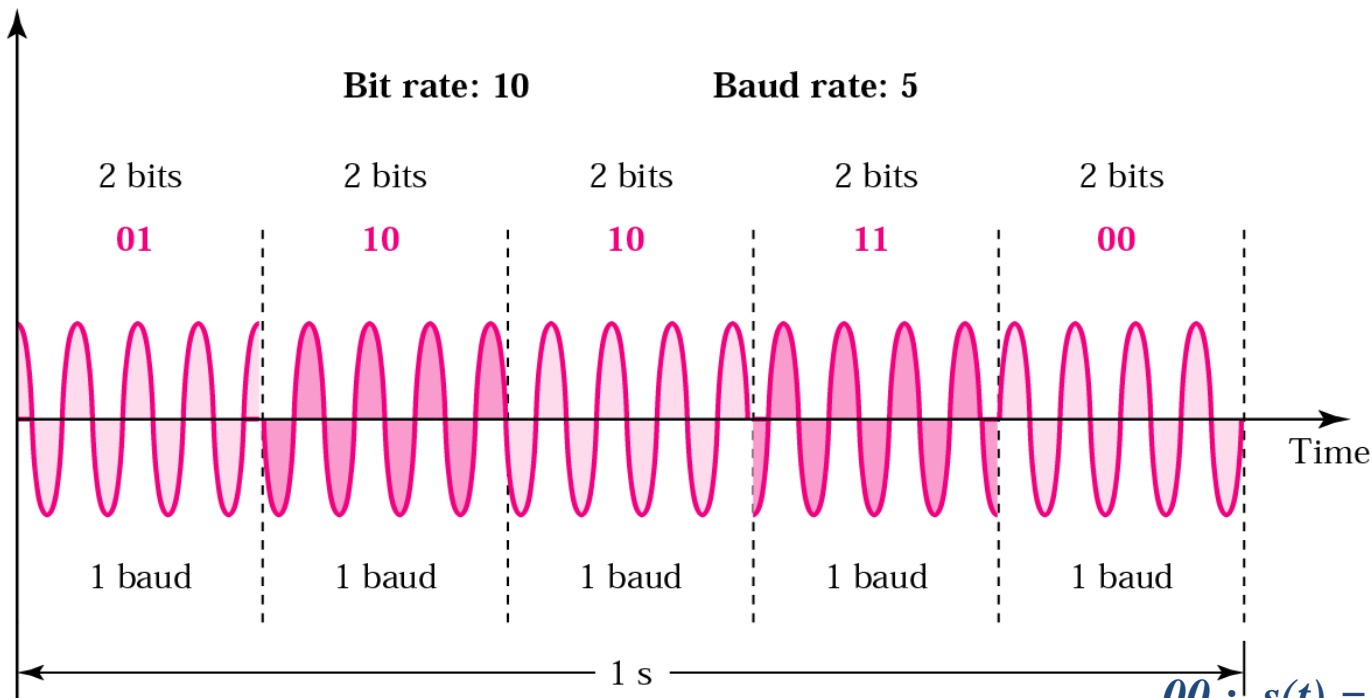
The bandwidth is the same as that for binary ASK, but less than that for BFSK. No bandwidth is wasted for separating two carrier signals.

$$r=1 \quad S=N \quad B=(1+d)S$$



4-PSK – 4 түвшинт фаз солих модуляц

Amplitude



$$00 : s(t) = A \cos(2\pi f_c t)$$

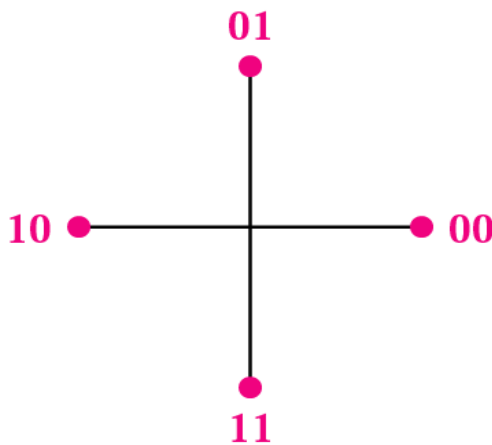
$$01 : s(t) = A \cos(2\pi f_c t + 90)$$

$$10 : s(t) = A \cos(2\pi f_c t + 180)$$

$$11 : s(t) = A \cos(2\pi f_c t + 270)$$

Dibit	Phase
00	0
01	90
10	180
11	270

Dibit
(2 bits)



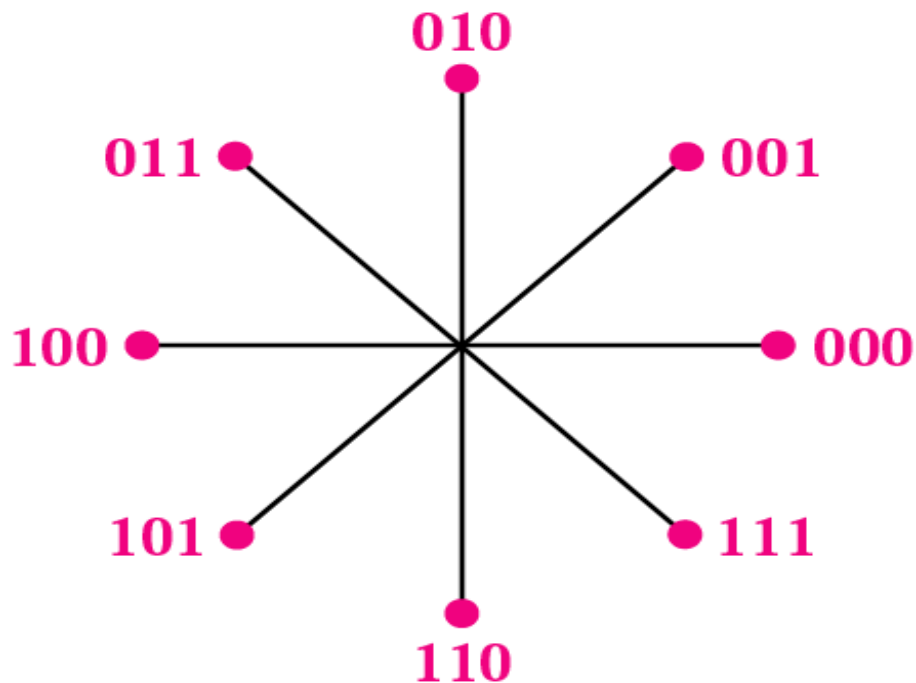
Constellation diagram

Одон диаграмаас харахад фазын 0 градусыг 00 битээр илэрхийлэхэд л аль ч тал руугаа 90 градус эргэх үед л фазын өөрчлөлт хийгдэнэ./Дибит/ $2^2=4$

8-PSK – 8 түвшинт фаз солих модуляц

Tribit	Phase
000	0
001	45
010	90
011	135
100	180
101	225
110	270
111	315

Tribits
(3 bits)

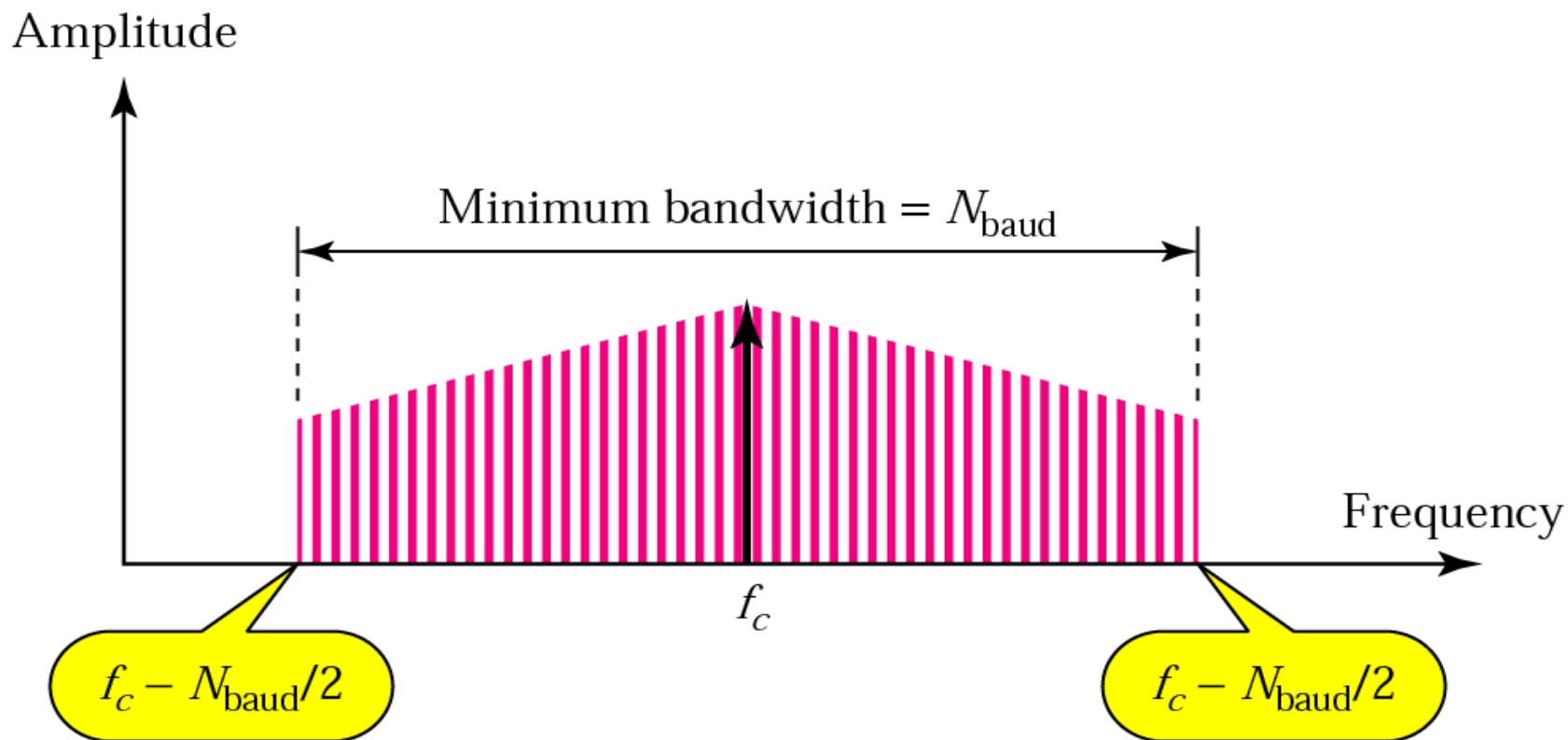


Constellation diagram

- 8 фазын шилжилттэй
- Фазын шилжилт 45°

Энэ фазын 0 фазтай дохиог 000 битээр илэрхийлж, 0-ээс 90 градус, 90-135 градуст фазын өөрчлөлт хийгдэж яг тэр хэмжээний хугацаа өнгөрсний дараа 270, 315 градуст фазаа өөрчилнө.
/Трибит/ $2^3=8$

PSK дохионы зурвасын өргөн



$$\text{Bandwidth}_{\min} = \text{Baud rate} = \text{Bit Rate}$$

Жишээ Half-duplex дамжууллын горимтой ФСМ дохионы өгөгдөл дамжуулах хурд 2000 bps. Зурвасын өргөнийг ол.

1 baud = 1 bit

ФСМ дохионы хувьд: **Baud rate = Bandwidth = 2000 Гц**

Жишээ 16-ФСМ дохионы өгөгдсөн зурвасын өргөн 5000 Гц бол өгөгдлийн хурд ба модуляцын хурдыг тооцоол.

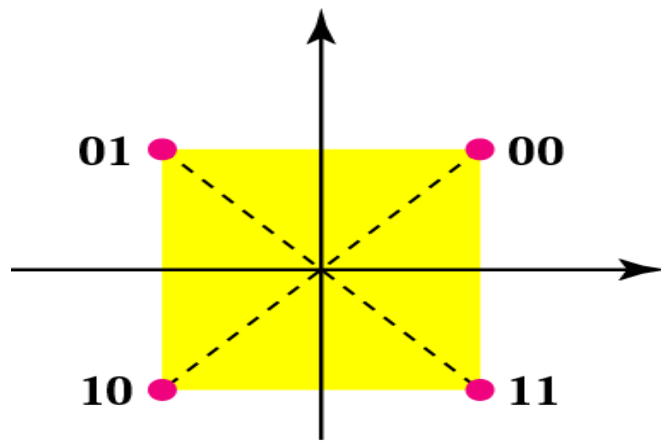
ФСМ дохионы хувьд: **Baud rate = Bandwidth = 5000 Гц**

16-ФСМ үед нэг дохионы элемент (baud) нь 4 битээр илэрийлэгдэх тул : **Bit rate = 20,000**

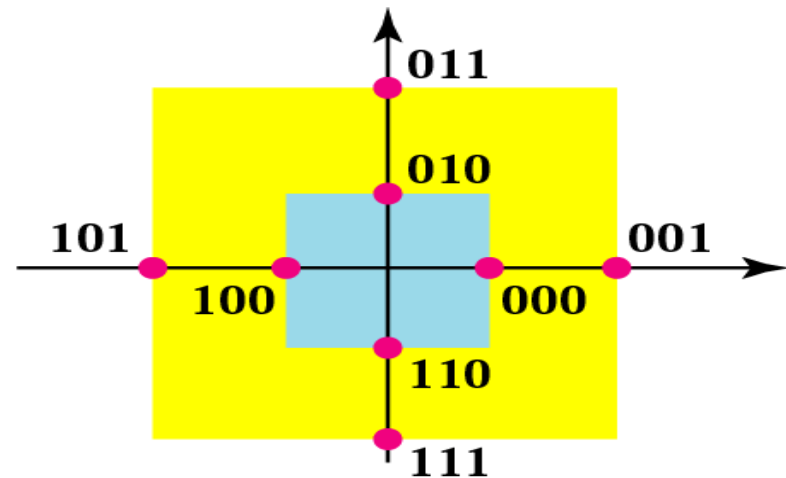
Агууриг ба Фаз солих модуляц (QAM)

- Мэдээг илэрхийлсэн тоон цувааны өөрчлөлтийн хуулиар зөөгч хэлбэлзлийн агууриг ба фазыг өөрчлөх модуляцийг хэлнэ.
- Бага фазын шилжилтээр илүү өндөр хурдтай өгөгдлийг дамжуулна.
- КАМ нь АСМ ба ФСМ хоёрын нэгдэлээс үүснэ.

4-КАМ, 8-КАМ, 16-КАМ, 32-КАМ, 64-КАМ, 128-КАМ, 256-КАМ

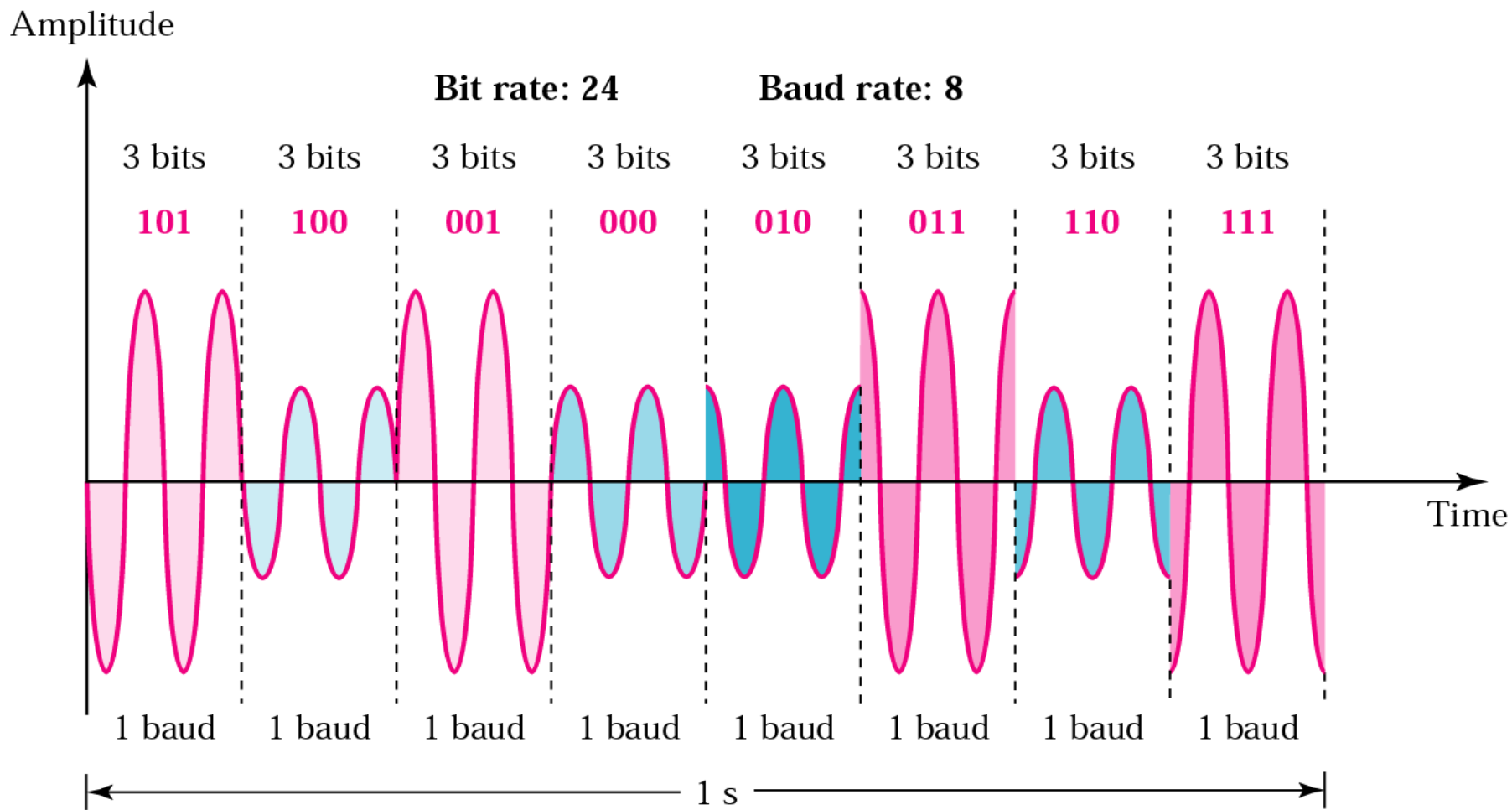


4-QAM
1 amplitude, 4 phases



8-QAM
2 amplitudes, 4 phases

8-QAM сигналын хугацааны диаграмм

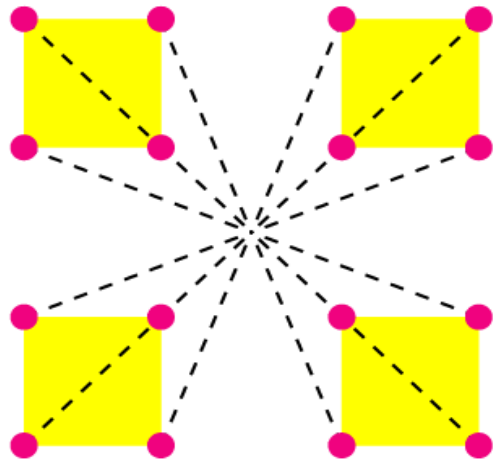


Constellation Diagram

A **constellation diagram** can help us define the amplitude and phase of a signal element, particularly when we are dealing with multilevel ASK, PSK, or QAM (see next section). In a constellation diagram, a signal element type is represented as a dot. The bit or combination of bits it can carry is often written next to it. The diagram has two axes. The horizontal X axis is related to the in-phase carrier; the vertical Y axis is related to the quadrature carrier.

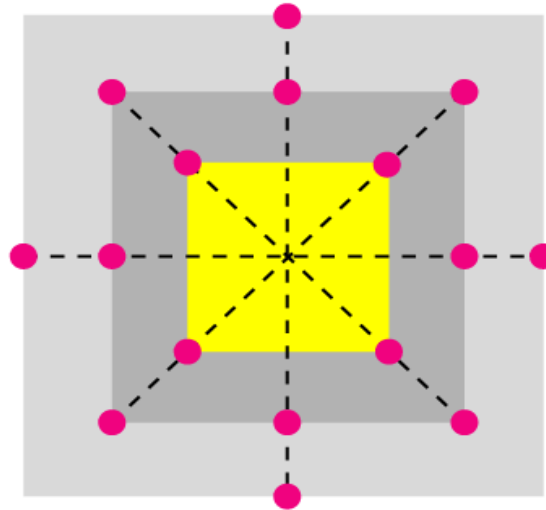
16-QAM дохионы агууриг ба фазын өөрчлөлтийн хамаарал

3 amplitudes, 12 phases



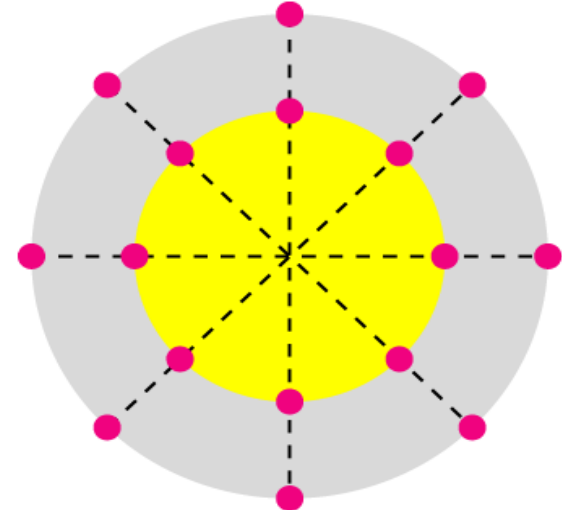
16-QAM

4 amplitudes, 8 phases



16-QAM

2 amplitudes, 8 phases



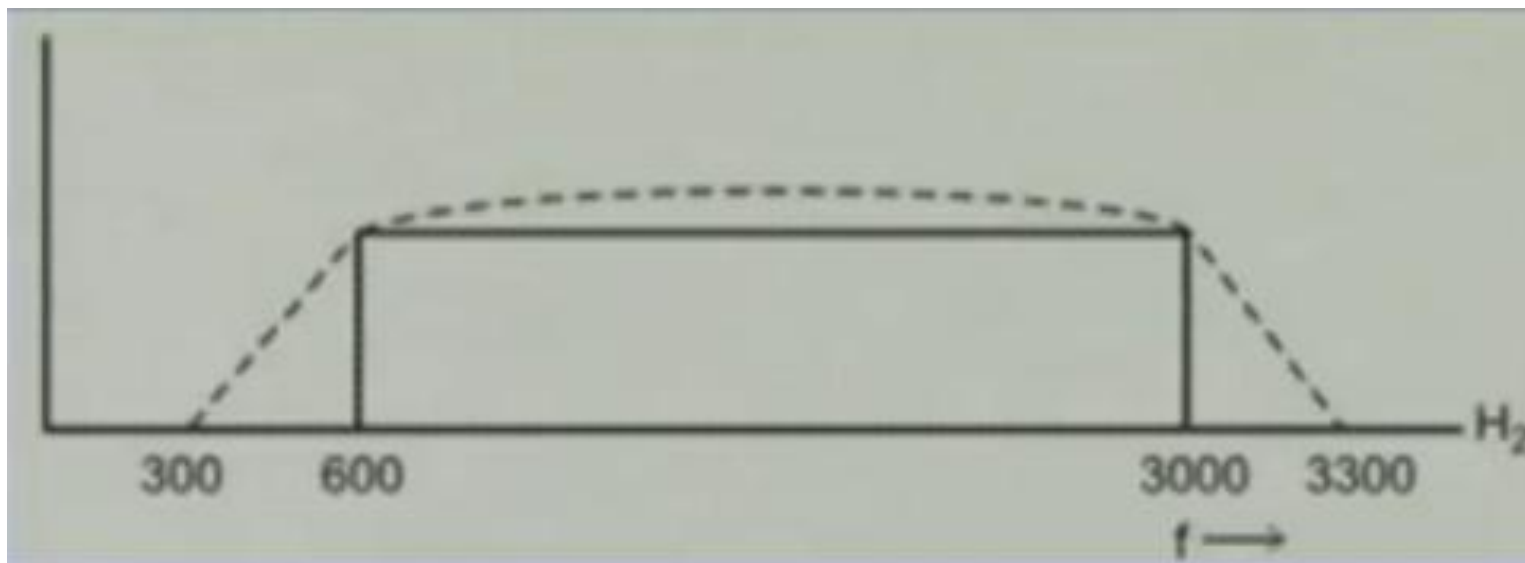
16-QAM

Bit rate / Baud rate

Modulation	Units	Bits/Baud	Baud rate	Bit Rate
ASK, FSK, 2-PSK	Bit	1	S	N
4-PSK, 4-QAM	Dibit	2	S	2N
8-PSK, 8-QAM	Tribit	3	S	3N
16-QAM	Quadbit	4	S	4N
32-QAM	Pentabit	5	S	5N
64-QAM	Hexabit	6	S	6N
128-QAM	Septabit	7	S	7N
256-QAM	Octabit	8	S	8N

Тоон өгөгдлийг аналог дамжууллаар дамжуулах

- MODEM : Modulator + DEModulator
- Тоон өгөгдлийг аналог дамжууллаар дамжуулна
- АСМ, ДСМ, ФСМ, КАМ ашиглана
- Чухал параметр :
 - Дамжууллын хурд(baud rate, bit rate)
 - Зурвасын өргөн
(Дуу = 3000Hz, Өгөгдөл = 2400Hz)



Жишээ Тойргийн 8 цэгт фазын өөрчлөлтийг дүрсэлсэн өгөгдөл дамжуулах хурд нь 4800 bps бол модуляцын хурд ба зурвасын өргөнийг тооцоол.

Фазын хазайлт 8 цэгээр дүрслэгдсэн учир 8-ФСМ болно. Иймээс өнцгийн хазайлт нь 45° .

1 baud = 3 bits

Baud rate = $4800 / 3 = 1600$ baud

Baud rate = Bandwidth = 1600 Гц

Жишээ 72,000 bps хурдтай тоон өгөгдлийг 64-КАМ-аар
аналог дохионд хувиргасан бол зурвасын өргөнийг
тооцоол.

64-КАМ дохионы нэгж сигналын элементэд дамжих бит

$$\log_2 64 = 6$$

Эндээс,

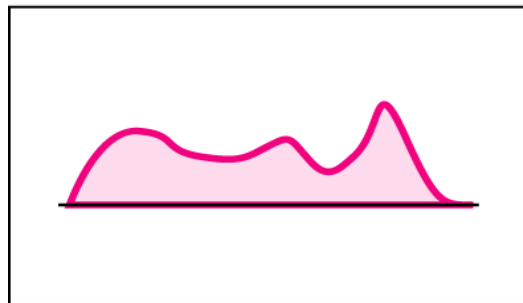
$$\text{Baud rate} = 72000 / 6 = 12000 \text{ baud/s}$$

$$\text{Baud rate} = \text{Bandwidth} = 12000 \text{ Hz}$$

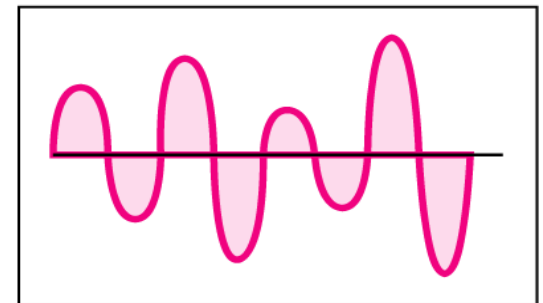
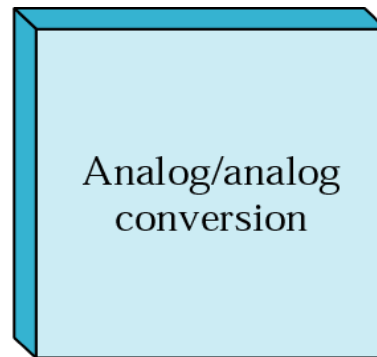
Аналог → аналог

Аналог модуляц

Мэдээг илэрхийлсэн нам давтамжийн тасралтгүй дохионы хуулиар өндөр давтамжтай зөөгч дохионы аль нэг параметрийг өөрчлөхийг Аналог модуляц гэнэ.



Аналог өгөгдөл



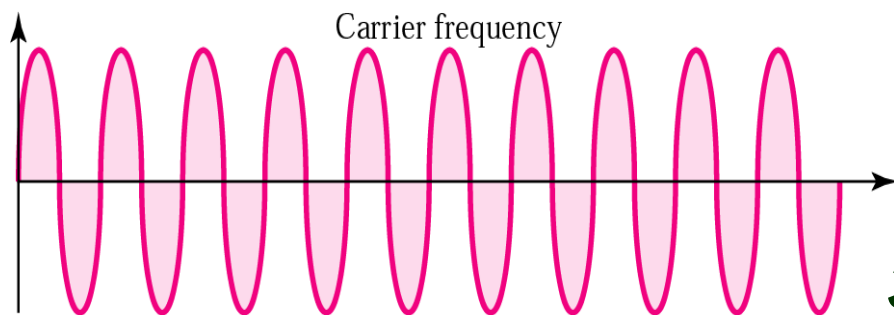
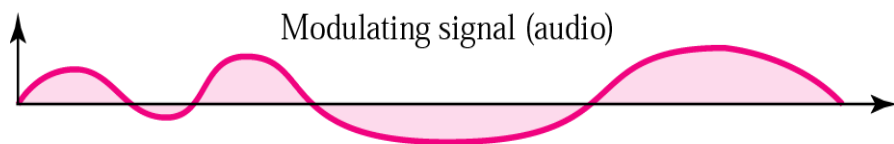
Аналог дохио

Аналог өгөгдлийн аналог дохионд хувиргах модуляцын аргууд

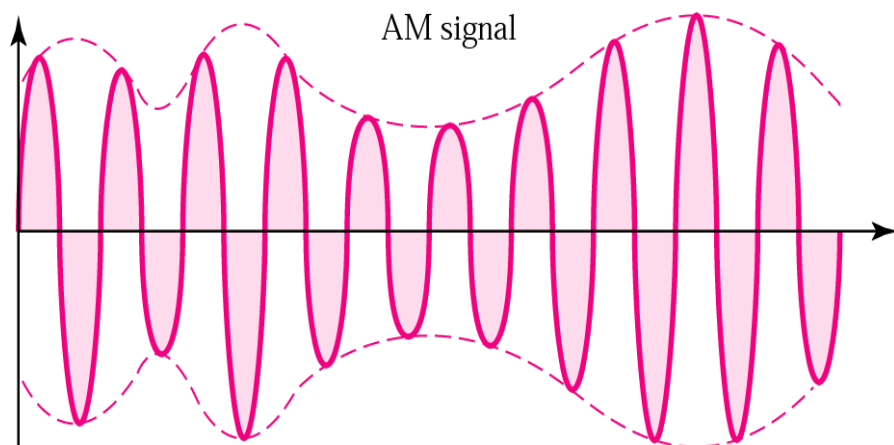
- Amplitude Modulation (AM)
- Frequency Modulation (FM)
- Phase Modulation (PM)

Агууригийн модуляц (AM)

Мэдээг илэрхийлсэн нам давтамжтай тасралтгүй дохионы хуулиар өндөр давтамжтай зөөгч дохионы агууригийг өөрчлөх модуляцийг хэлнэ.



Зөөгч дохио



Модуляцлагдсан дохио

Агууригийн модуляц хийгдэх синус дохионы тооцоо

- Модуляц хийгдэх дохио : $e_m(t) = E_m \cos(2\pi f_m t)$
- Зөөгч дохио : $e_c(t) = E_c \cos(2\pi f_c t + \varphi_c)$
- Модуляцлагдсан дохио : $s(t) = (E_c + E_m \cos 2\pi f_m t) \cos 2\pi f_c t$

- Модуляцын индекс буюу ' m ' параметр :

$$E_{max} = E_c + E_m, \quad E_{min} = E_c - E_m \text{ гэвэл}$$

$$m = (E_{max} - E_{min}) / (E_{max} + E_{min}) = E_m / E_c$$

$$s(t) = E_c (1 + m \cos 2\pi f_m t) \cos 2\pi f_c t$$

$m < 1$ үед зөв модуляцлагдсан дохио

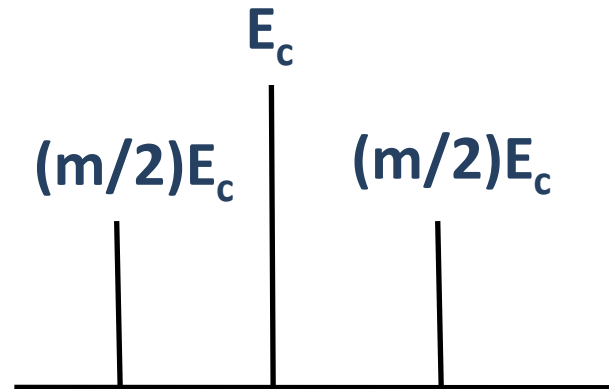
$m = 1$ үед $E_c = E_m$ боломжит максимум модуляц

$m > 1$ үед үндсэн дохиог сэргээх боломжгүй

AM дохионы давтамжийн спектр

AM дохионы давтамжийн спектр :

$$\begin{aligned} s(t) &= E_c (1 + m \cos 2\pi f_m t) \cos 2\pi f_c t \\ &= E_c \cos 2\pi f_c t + m E_c \cos 2\pi f_m t \cos 2\pi f_c t \\ &= E_c \cos 2\pi f_c t + m/2 E_c \cos 2\pi (f_c - f_m) t + \\ &\quad + m/2 E_c \cos 2\pi (f_c + f_m) t \end{aligned}$$



АМ дохионы давтамжийн спектр

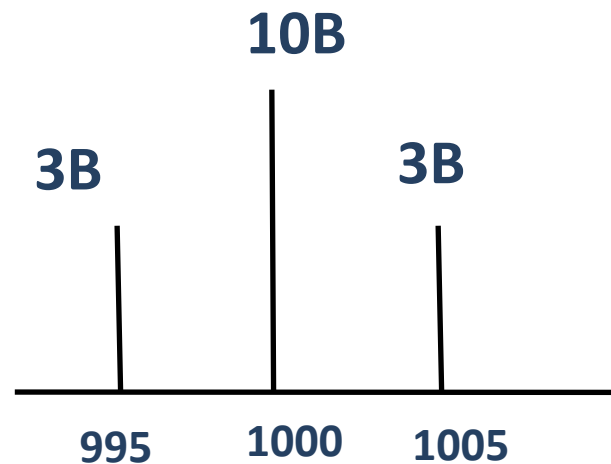
Жишээ: 1МГц давтамж, 10В агууригтай зөөгч дохио нь мэдээг илэрхийлсэн 5КГц давтамж, 6В агууригтай дохиогоор модуляцлагдсан гэвэл модуляцлагдсан дохионы давтамжийн спектр ба модуляцын индексийг ол.

$$m = E_m/E_c = 6/10 = 0.6 < 1$$

$$f_h = 10^6 + 5 * 10^3 = 1005 \text{ КГц}$$

$$f_l = 10^6 - 5 * 10^3 = 995 \text{ КГц}$$

$$A = 0.6 * 10/2 = 3 \text{ В}$$

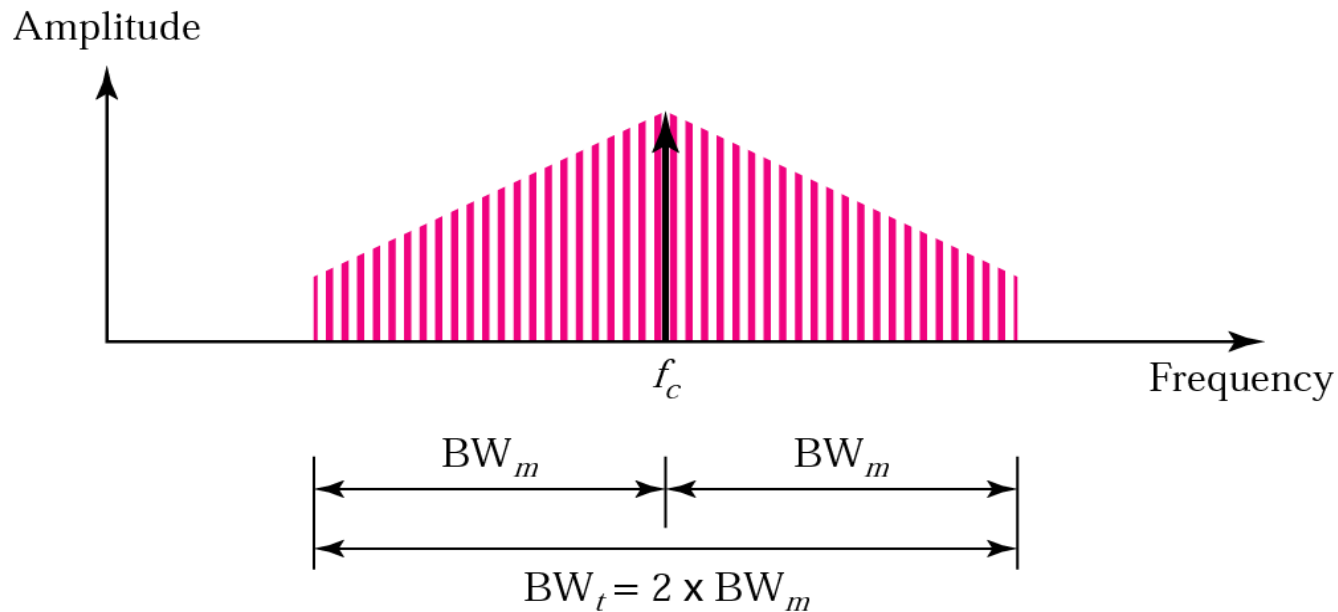


АМ дохионы зурвасын өргөн

BW_m = bandwidth of the modulating signal (audio)

BW_t = total bandwidth (radio)

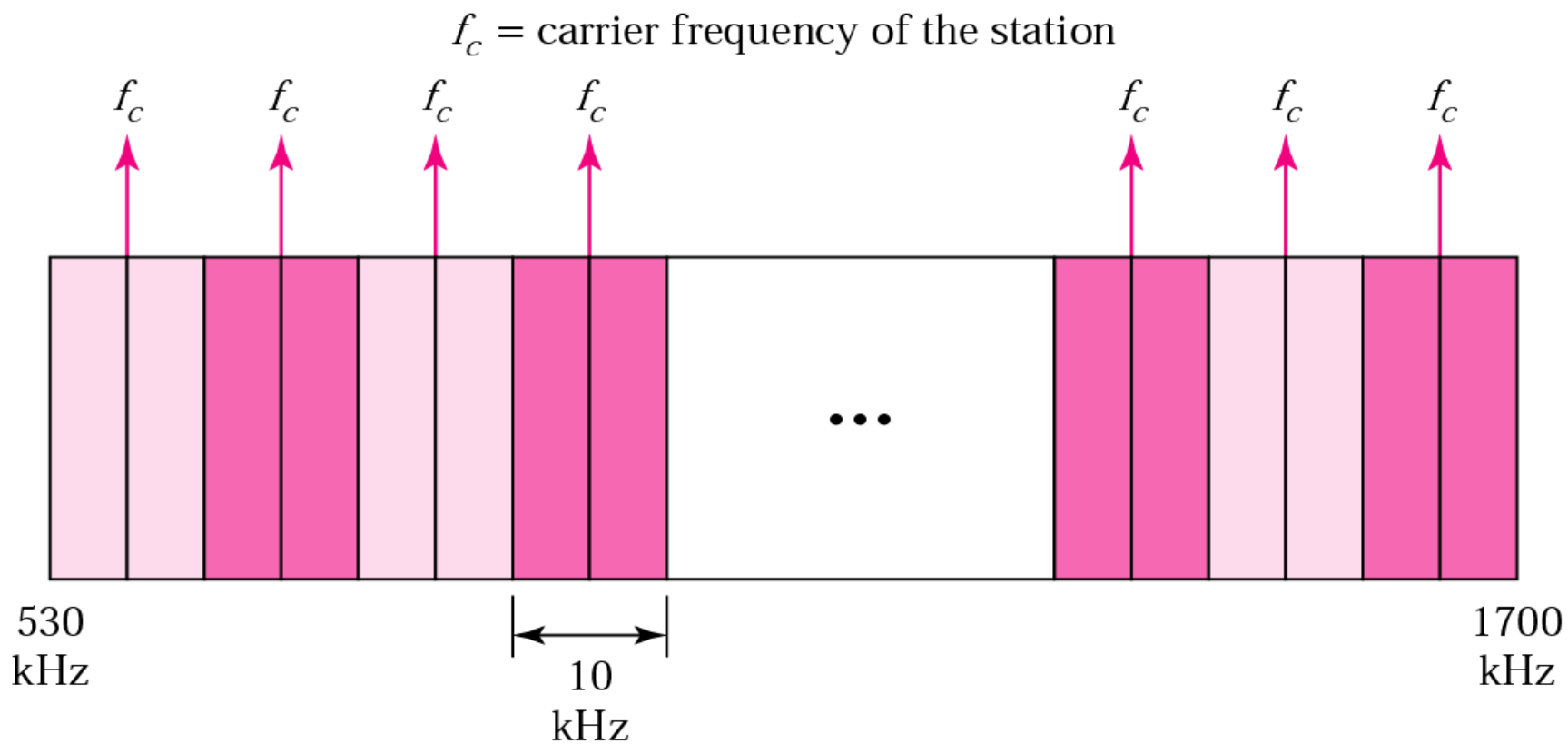
f_c = frequency of the carrier



АМ-тай дохионы зурвасын өргөнийг үндсэн дохионы зурвасын өргөнийг хоёр дахин авснаар тооцно.

$$\text{Bandwidth} = 2 \times \text{Bandwidth}_{\text{audio}}$$

АМ зурвасын хуваарилалт



АМ дохионы чадлын тооцоо

- *АМ зөөгч дохионы чадал шугамын эсэргүүцэл (R)-ээр тооцоологдоно:*

$$P_c = E_c^2 / 2R$$

- *Хажуугийн давтамж дээр :*

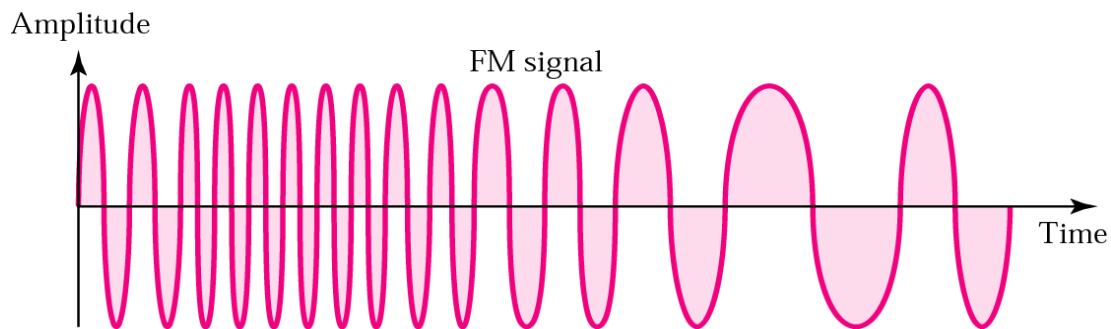
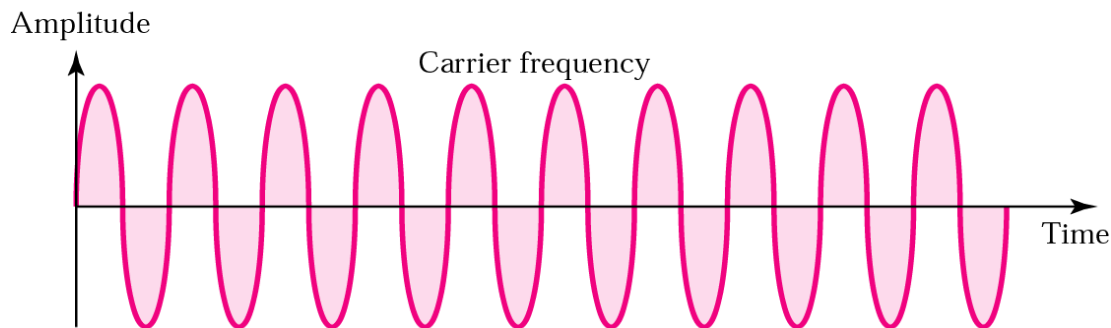
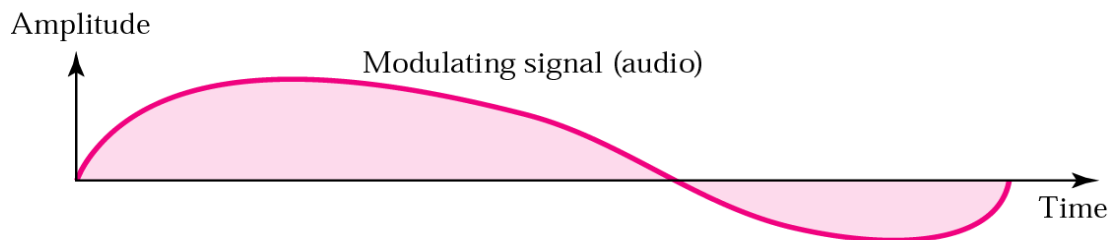
$$P_{SF} = (mE_c / 2)^2 / 2R = P_c m^2 / 4$$

- *Нийт чадал = $P_c (1 + 2(m^2/4)) = P_c (1 + m^2/2)$*

Аналог модуляцын аргууд

- Amplitude Modulation (AM)
- Frequency Modulation (FM)
- Phase Modulation (PM)

Давтамжийн модуляц (FM)



*Мэдээг илэрхийлсэн
нам давтамжтай
тасралтгүй дохионы
хуулиар өндөр
давтамжтай зөөгч
дохионы
давтамжийг өөрчлөх
модуляцийг хэлнэ.*

Давтамжийн модуляц

- Модуляц хийгдэх дохио : $e_m(t)$ нь хувьсах зөөгч давтамжийг ашиглана
- Давтамжийн өөрчлөлт нь давтамжийн хазайлтын коэффициент 'k'(Гц/В)-оос шууд хамааралтай, $ke_m(t)$
- Модуляцлагдсан дохионы агшин зуурын давтамж :

$$f_i(t) = f_c + k e_m(t)$$

- Модуляцлагдсан дохио :

$$e_m(t) = E_m \cos 2\pi f_m t ,$$

$$\begin{aligned} f_i(t) &= f_c + k e_m(t) = f_c + k E_m \cos 2\pi f_m t \\ &= f_c + \Delta f \cos 2\pi f_m t \end{aligned}$$

- Модуляцын индекс $\beta = \Delta f / f_m$

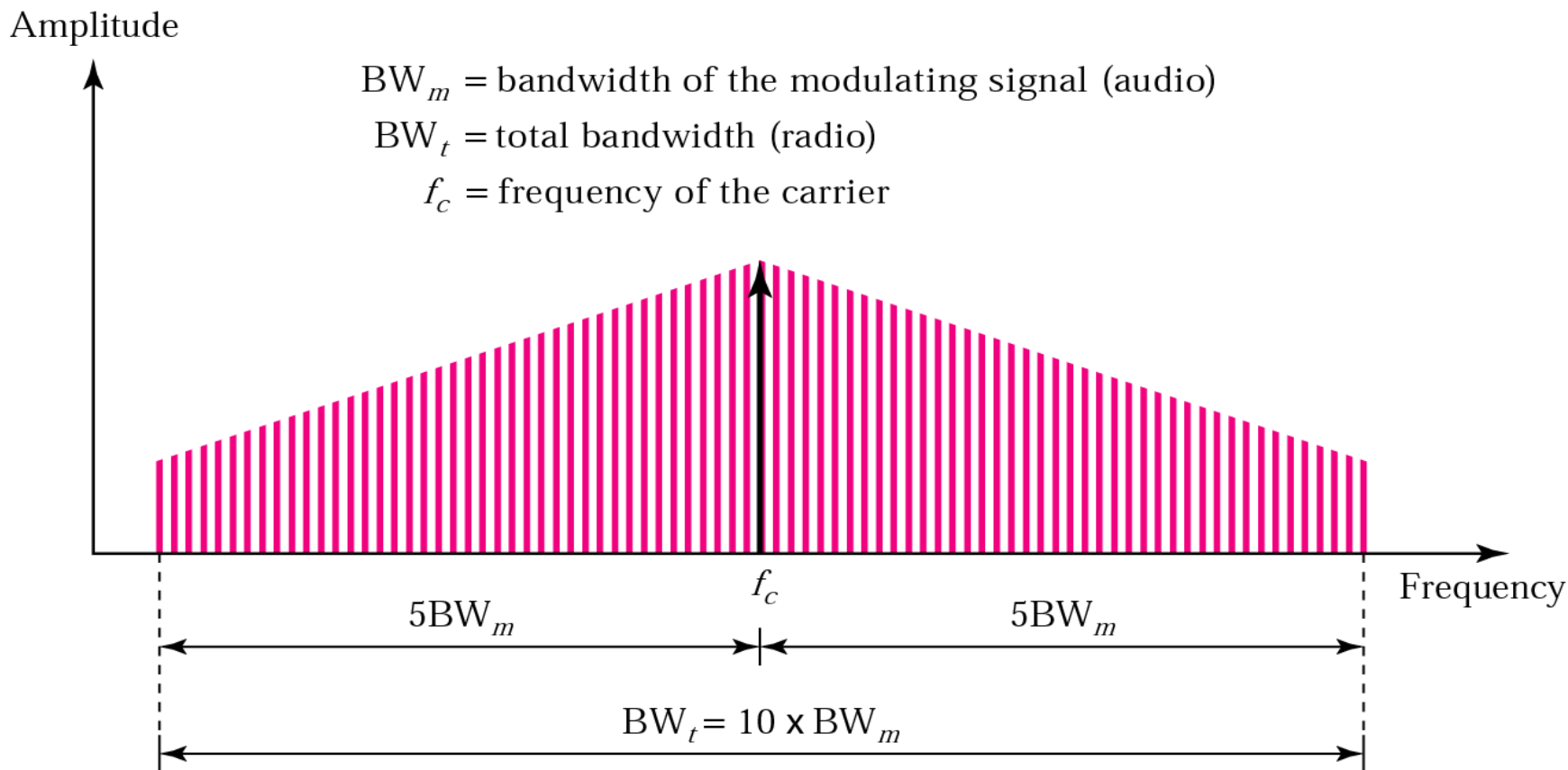
$$s(t) = E_c \cos (2\pi f_c t + \beta \sin 2\pi f_m t)$$

ДМ дохионы зурвасын өргөн

- *ДМ дохио нь : $f_c + f_m$, $f_c + 2f_m$ давтамжуудыг агуулна*
- *ДМ дохионы зурвасын өргөн : $B_{FM} = 2(1 + \beta)B$*

*ДМ дохио нь АМ дохионоос их зурвасын өргөн
шаардагдана*

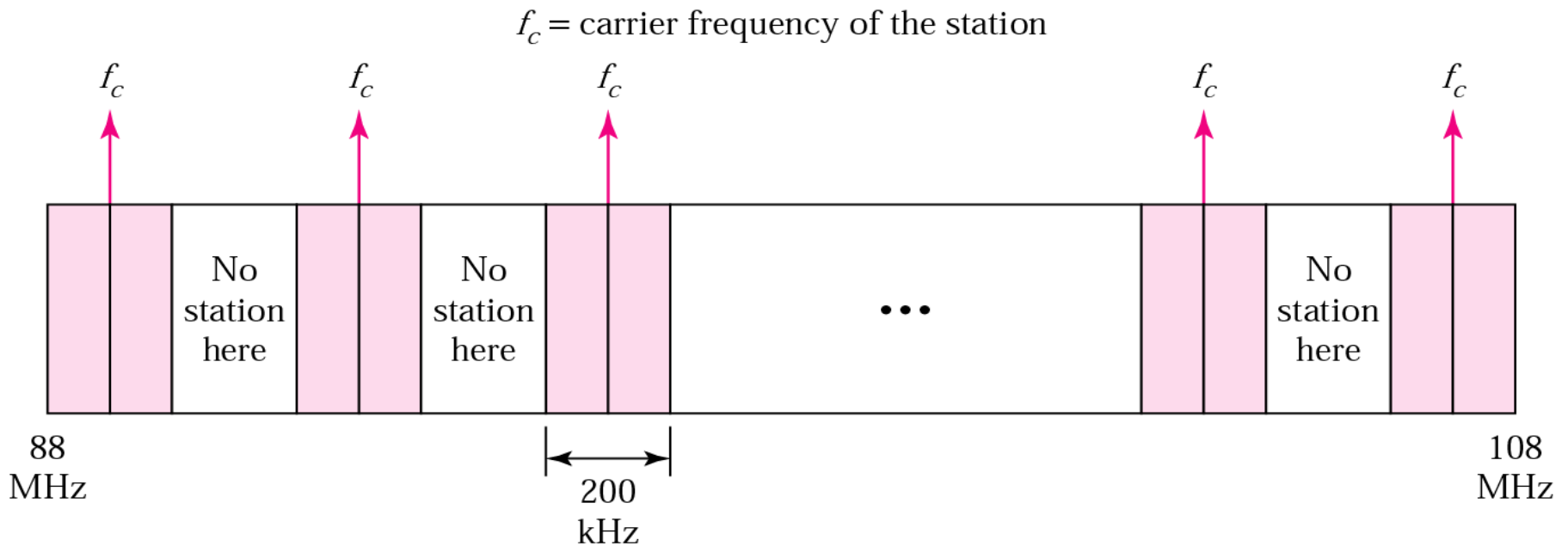
Давтамжийн модуляцтай дохионы зурвасын өргөн



Давтамжийн модуляцтай дохионы зурвасын өргөнийг үндсэн дохионы зурвасын өргөнийг арав дахин авснаар тооцно.

$$\mathbf{Bandwidth = 10 \times Bandwidth_{audio}}$$

FM зурвасын хуваарилалт



Өргөн зурвасын стерео дохионы зурвасын өргөнийг практикт 15кГц гэж үздэг. FM станцуудад 150кГц зурвасын өргөнийг зөвшөөрдөг.

ДМ дохионы чадлын тооцоо

- *Агууриг тогтмол учир чадал үндсэн дохионы чадалтай тэнцүү байна*

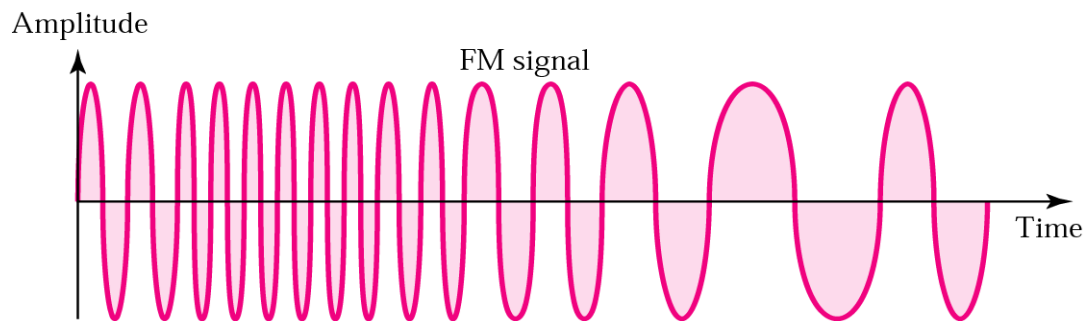
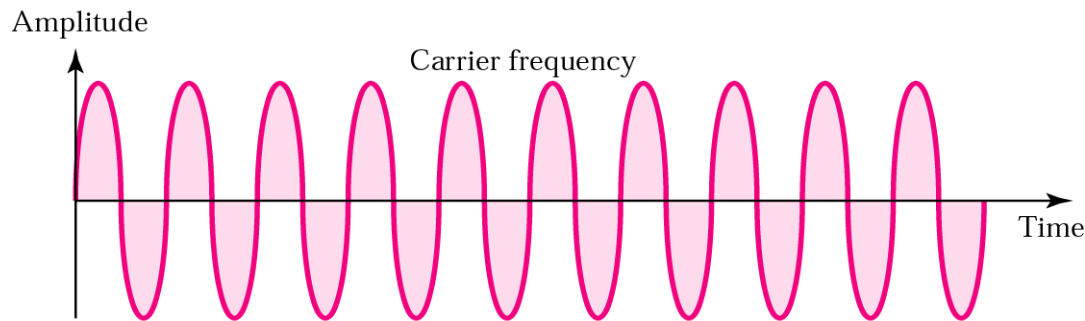
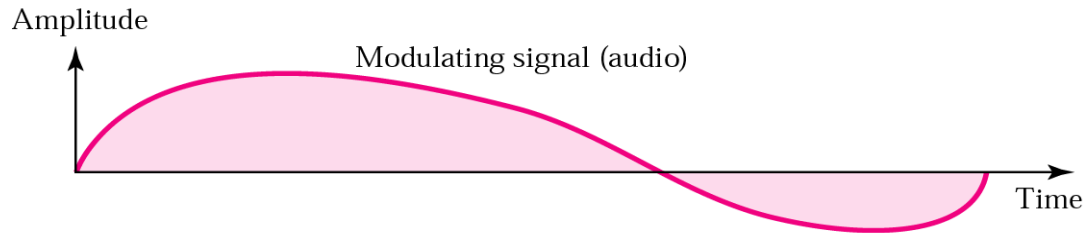
$$P = A_c^2 / 2$$

- *Үндсэн дохионы агууриг A_m нь давтамж ихсэхэд өөрчлөлтгүй*
- *ДМ дохионы дамжууллын чадал нь зурвасын өргөн ихсэхэд багасна.*

Аналог модуляцын аргууд

- Amplitude Modulation (AM)
- Frequency Modulation (FM)
- Phase Modulation (PM)

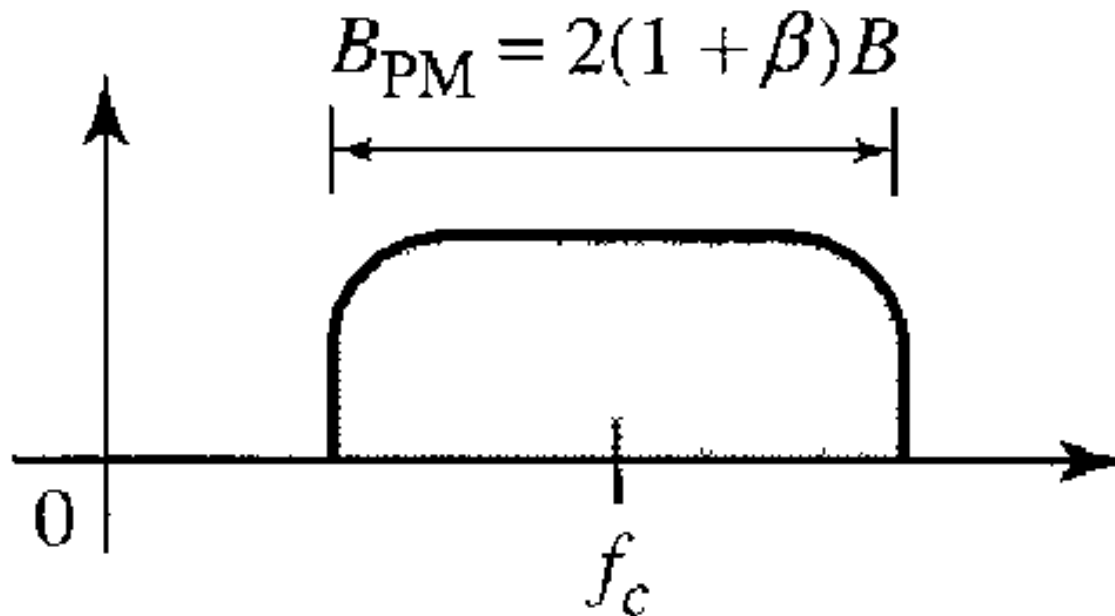
Фазын модуляц (PM)



*Мэдээг илэрхийлсэн
нам давтамжтай
тасралтгүй дохионы
хуулиар өндөр
давтамжтай зөөгч
дохионы
давтамжийг өөрчлөх
модуляцийг хэлнэ.*

- Модуляцлагдсан дохио : $s(t) = A_c \cos [(w_c t + \varphi(t))]$
- Модуляцын индекс n_p гэвэл : $\varphi(t) = n_p m(t)$

Фазын модуляцтай дохионы зурвасын өргөн



The actual bandwidth is difficult to determine exactly, but it can be shown empirically that it is several times that of the analog signal. Although, the formula shows the same bandwidth for FM and PM, the value of β is lower in the case of PM (around 1 for narrowband and 3 for wideband).

Анхаарал тавьсанд баярлалаа