

МОДУЛЯЦИЯ ПЕРВИЧНЫХ СИГНАЛОВ



АМПЛИТУДНАЯ МОДУЛЯЦИЯ



ФОРМИРОВАНИЕ КАНАЛЬНЫХ СИГНАЛОВ

Переносчики канальных сигналов в FDM - гармонические колебания различных частот

(несущее колебание):

$$\Psi(t) = U_{\omega} \cos(2\pi ft + \varphi_{\omega}) = U_{\omega} \cos(\omega t + \varphi_{\omega}) \quad \omega = 2\pi f$$

Первичный сигнал:

$$C(F) = 0; F \notin [F_1, F_2]$$

$$\Delta F = F_2 - F_1 \quad \Omega = 2\pi F$$

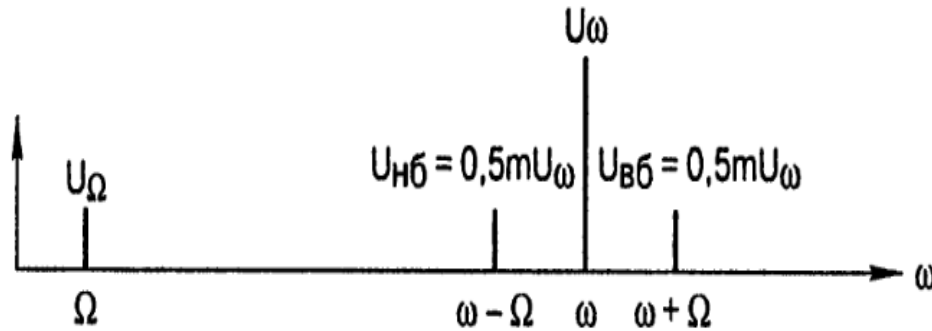
Канальный сигнал (амплитудно-модулированный сигнал):

$$S(t) = U_{\omega} (1 + m \cos(\Omega t + \varphi_{\Omega})) \cos(\omega t + \varphi_{\omega})$$

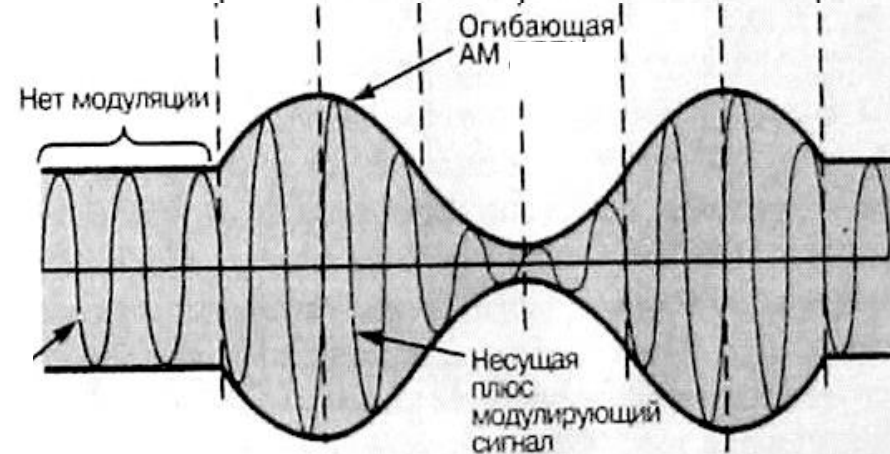
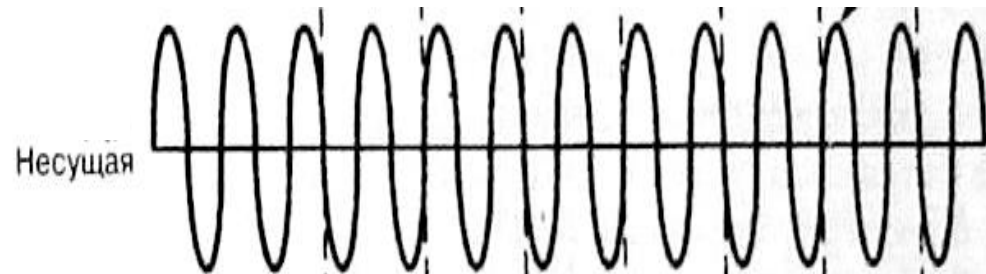
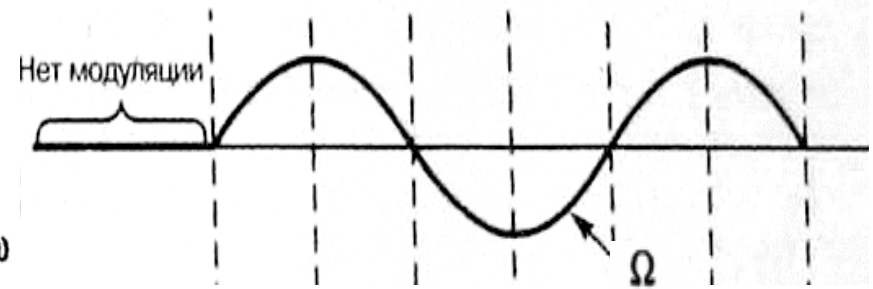
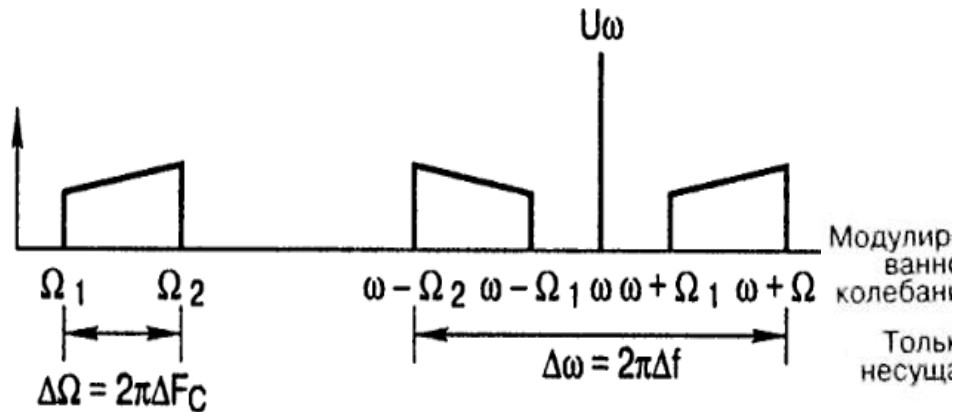
Коэффициент глубины модуляции:

$$\frac{U_{\Omega}}{U_{\omega}} = m$$

АМ СИГНАЛ



$U_\phi = \frac{m}{2} U_\omega$ - амплитуда боковых частот



ПРИМЕР

АМ сигналы.

Несущая частота 500 кГц с амплитудой 20В модулируется сигналом с частотой 10 кГц и амплитудой 7.5 В.

Определить: верхнюю и нижнюю боковые частоты;

$$f_{\text{ВБЧ}} = 500 + 10 = 510 \text{ кГц};$$

$$f_{\text{НБЧ}} = 500 - 10 = 490 \text{ кГц}$$

коэффициент модуляции;

$$m = 7.5 / 20 = 0.375 \text{ (37.5\%)}$$

$$\frac{U_{\Omega}}{U_{\omega}} = m$$

ПРИМЕР

АМ сигналы.

Несущая частота 500 кГц с амплитудой 20В модулируется сигналом с частотой 10 кГц и амплитудой 7.5 В.

Определить:

напряжение боковых частот;

$$U_{ВБЧ} = U_{НБЧ} = m \cdot U_{\omega} / 2 = 0.375 \cdot 20 / 2 = 3.75$$

$$U_{\phi} = \frac{m}{2} U_{\omega}$$

максимальное и минимальное значения огибающей;

$$U_{max} = U_{\omega} + U_{\Omega} = 20 + 7.5 = 27.5 \text{ В}$$

$$U_{min} = U_{\omega} - U_{\Omega} = 20 - 7.5 = 12.5 \text{ В}$$

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ АМ СИГНАЛА

$$W_{AM} = W_{\omega} + W_{\omega - \Omega} + W_{\omega + \Omega} = W_{\omega} + 2 W_{\delta}.$$

$$W_{\omega} = \frac{U_{\omega}^2}{2R} \quad U_{\delta} = \frac{m}{2} U_{\omega} \quad W_{\delta} = \frac{U_{\omega}^2}{8R} m^2$$

Отношение мощности боковых частот к мощности несущего колебания равно

$$\frac{W_{\delta}}{W_{\omega}} = \frac{U_{\omega}^2}{8R} m^2 \bigg/ \frac{U_{\omega}^2}{2R} = \frac{1}{4} m^2$$

$$W_{AM} = W_{\omega} (1 + 0,5m^2) \leq 1,5W_{\omega}$$

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ АМ СИГНАЛА

Пример. АМ сигнал.

Амплитуда немодулированной несущей $U_{\omega}=10\text{В}$,

сопротивление нагрузки $R=10\text{ Ом}$;

коэффициенте модуляции $m=1$

Определить: мощности несущей, ВБП и НБП;
общую мощность БП; общую мощность АМ сигнала;
изобразить спектр мощности.

$$W_{\omega}=10^2/(2*10)=5\text{ Вт}; \quad W_{\omega} = \frac{U_{\omega}^2}{8R} m^2$$

$$W_{\text{нбп}}=W_{\text{вбп}}=10^2*1/(8*10) =1.25\text{ Вт};$$

$$2W_{\omega}=2.5\text{ Вт}$$

$$W_{\text{ам}}=5+2.5=7.5\text{ Вт}$$

ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ

Достоинства:

- ✓ относительно простое получение исходного сигнала на приеме;
- ✓ относительно простое оконечное передающее и приемное оборудование: несложные канальные фильтры;
- ✓ не требуется в приемном оборудовании генератора несущей частоты.

Недостатки:

- ✓ увеличение ширины полосы частот канального сигнала по сравнению с шириной полосы частот исходного информационного сигнала;
- ✓ для уменьшения амплитуд паразитных продуктов преобразования коэффициент модуляции обычно выбирается значительно меньше 1.

ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ

Недостатки:

- ✓ необходимо применять мощные канальные усилители.

Область применения:

- ✓ одноканальная система передачи АВУ (абонентская высокочастотного уплотнения);
- ✓ для передачи сигналов, спектр которых начинается от нулевой частоты и занимает неширокую полосу частот.

ПОЛОСА ЧАСТОТ, ОТВОДИМАЯ ДЛЯ ОДНОГО КАНАЛЬНОГО СИГНАЛА

F_2 - наивысшая частота спектра первичного сигнала

Методы передачи АМ сигналов:

передача двух боковых полос и несущей частоты: $\Delta f = 2F_2$;

передача двух боковых полос частот без несущей: $\Delta f = 2F_2$;

передача одной боковой полосы частот и несущей: $\Delta f = F_2$;

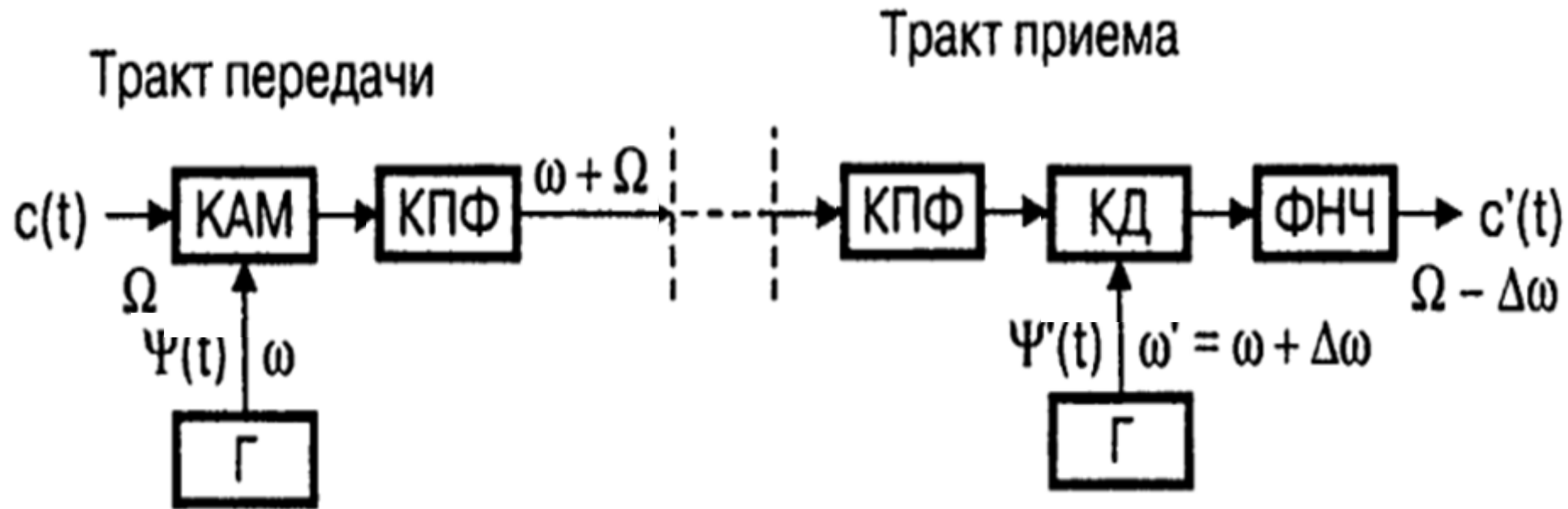
передача одной боковой полосы частот без несущей: $\Delta f = \Delta F$
(полосе частот первичного сигнала);

передача одной боковой полосы частот, несущей и части
второй боковой полосы частот: $\Delta f \approx 1.2F_2$

ПЕРЕДАЧА ОДНОЙ БОКОВОЙ ПОЛОСЫ



ПЕРЕДАЧА ОДНОЙ БОКОВОЙ ПОЛОСЫ



Генераторы должны быть синхронными и синфазными

ПЕРЕДАЧА ОДНОЙ БОКОВОЙ ПОЛОСЫ

Сигнал на выходе КПФ: $s(t) = U_{\omega + \Omega} \cos (\omega + \Omega) t$

Сигнал на выходе КД:
$$U_{\omega + \Omega} U_{\omega} \cos(\omega + \Omega)t \cos \omega t$$
$$= \frac{1}{2} U_{\omega + \Omega} U_{\omega} \cos \Omega t + \frac{1}{2} U_{\omega + \Omega} U_{\omega} \cos (2\omega + \Omega)t$$

Асинхронность: $\omega' = \omega \pm \Delta\omega$

$U_{\Omega} \cos (\Omega \pm \Delta\omega) t$ - изменение частот ПС

Асинфазность:

$$\psi'(t) = U_{\omega} \cos (\omega t \pm \Delta\varphi) \quad \blacksquare \quad c'(t) = U_{\Omega} \cos (\Omega t \pm \Delta\varphi)$$

- изменение фазы всех составляющих исходного сигнала на одну и ту же величину

ПЕРЕДАЧА ОДНОЙ БОКОВОЙ ПОЛОСЫ

Достоинства:

обеспечивает наименьшую возможную ширину спектра канального сигнала, равную ширине спектра исходного сигнала;

высокая помехоустойчивость;

возможность использования групповых усилителей;

расхождение фаз несущих частот тракта передачи и тракта приема вызывает изменение фаз всех составляющих исходного сигнала на одну и ту же величину, что несущественно для приема сообщений.

ПЕРЕДАЧА ОДНОЙ БОКОВОЙ ПОЛОСЫ

Недостатки:

изменение частоты приводит к сдвигу частоты в канале;

отсутствие синхронности и синфазности несущих частот генераторов тракта передачи и тракта приема при недостаточном подавлении второй боковой полосы частот приводит к колебанию остаточного затухания канала;

сложные приемники и сложность настройки.

Область применения: широко применяется в МСП дальнего и ближнего действия.

ЦИФРОВЫЕ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ



ЦИФРОВЫЕ М-УРОВНЕВЫЕ МЕТОДЫ МОДУЛЯЦИИ

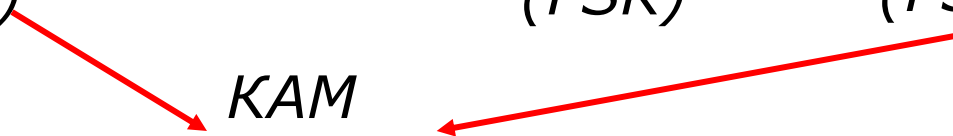
$$s_m(t) = A_m(t) \cos(2\pi(f_0 + \Delta f_m(t))t + \varphi_m(t))$$

АММ
(ASK)

ЧММ
(FSK)

ФММ
(PSK)

КАМ
(QAM)



ASK — Amplitude-Shift Keying

FSK — Frequency-Shift Keying

PSK — Phase-Shift Keying

QAM — Quadrature Amplitude Modulation

КВАДРАТУРНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ СИГНАЛОВ

М-уровневые сигналы, постоянны в пределах
тактового интервала

$$\Delta f_m(t); \quad \varphi_m(t); \quad A_m(t)$$

$$\begin{aligned} s_m(t) &= A_m(t) \cos(2\pi(f_0 + \Delta f_m(t))t + \varphi_m(t)) \\ &= A_m(t) \cos(\varphi_m(t) + 2\pi\Delta f_m t) \cos(2\pi f_0 t) \\ &\quad - A_m(t) \sin(\varphi_m(t) + 2\pi\Delta f_m t) \sin(2\pi f_0 t) \end{aligned}$$

КВАДРАТУРНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ СИГНАЛОВ

Синфазная составляющая модулирующего сигнала:

$$I(t) = A_m(t) \cos(\varphi_m(t) + 2\pi\Delta f_m t)$$

Квадратурная составляющая модулирующего

сигнала: $Q(t) = -A(t)_m \sin(\varphi_m(t) + 2\pi\Delta f_m t)$

Узкополосный модулированный сигнал :

$$s_m(t) = I(t) \cos(2\pi f_0 t) + Q(t) \sin(2\pi f_0 t)$$

Перенос спектра сигнала с нулевой промежуточной частоты осуществляется при помощи домножения сигнала на комплексную экспоненту

АМПЛИТУДНЫЕ ВИДЫ МОДУЛЯЦИИ

OOK (On-Off Keying) - Включено-Выключено

$$s_m(t) = A_m(t) \sin(2\pi f_0 t)$$

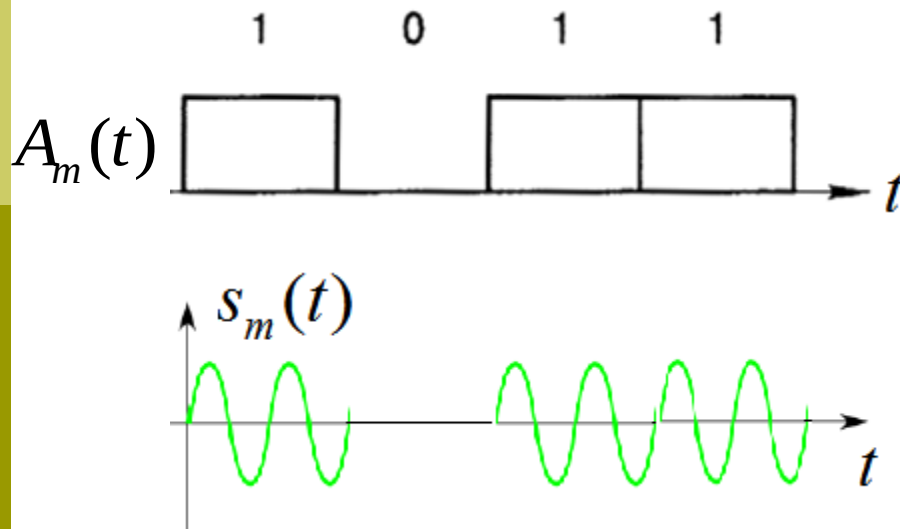
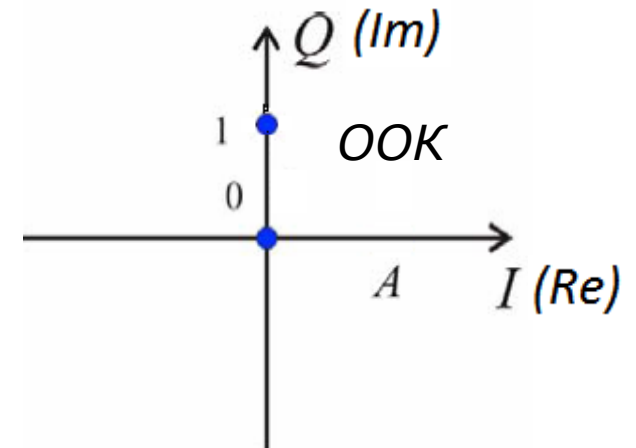


Диаграмма состояний
(сигнальные созвездия)



M-ASK (AMPLITUDE SHIFT KEYING) – АМПЛИТУДНАЯ МАНИПУЛЯЦИЯ

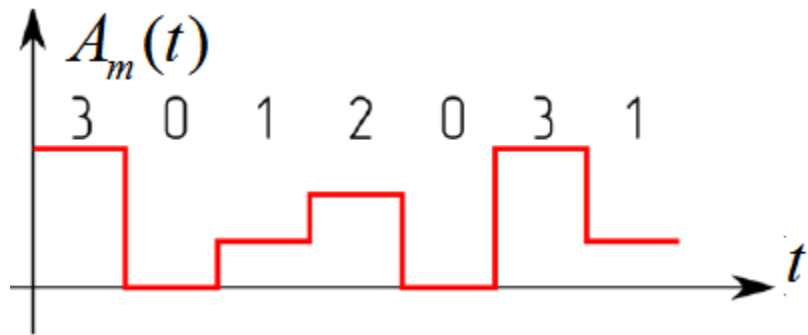
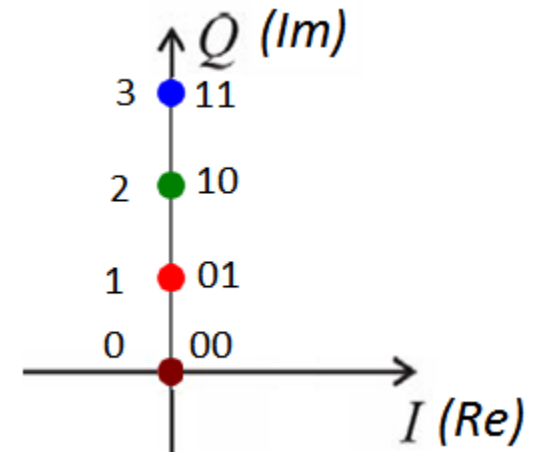
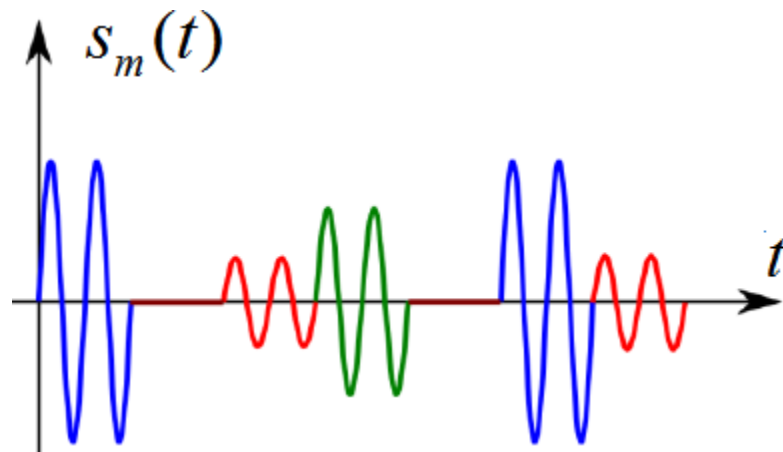


Диаграмма состояний
(сигнальные созвездия)

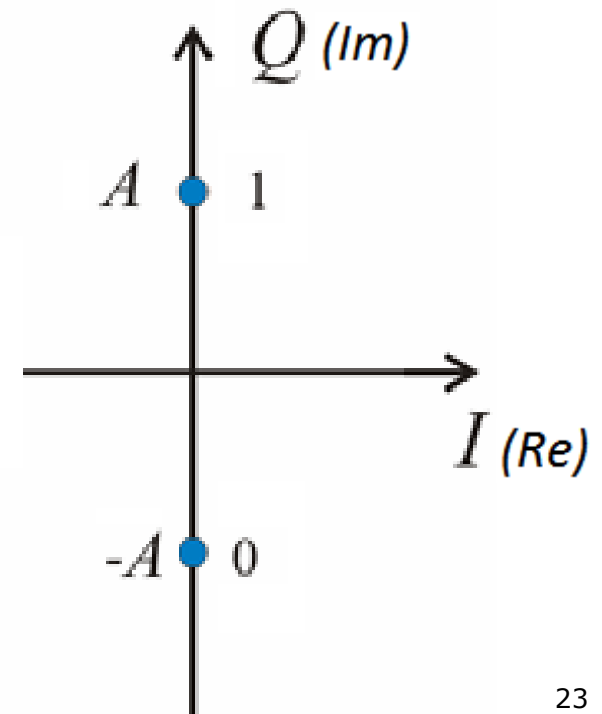
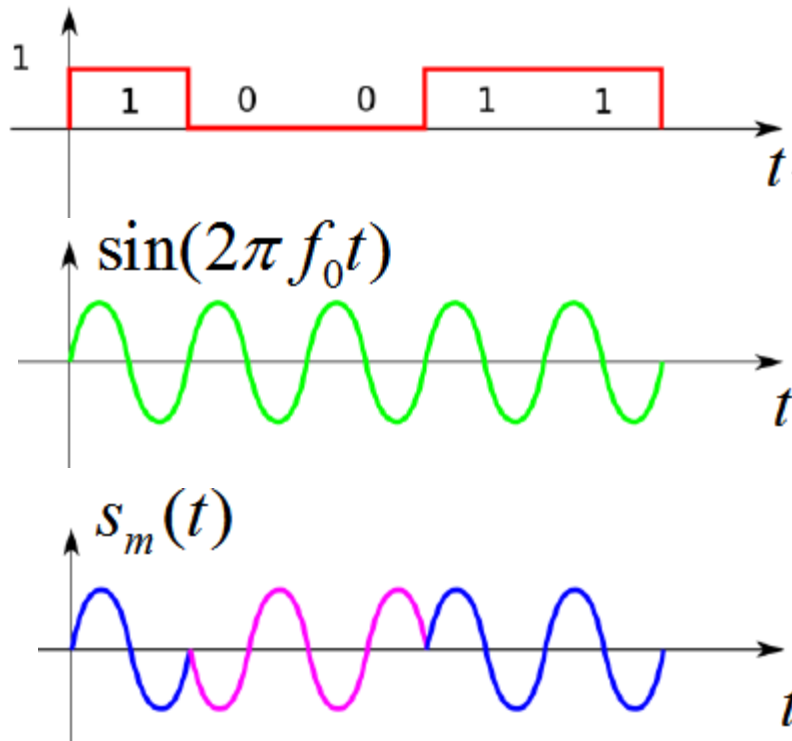
$$s_m(t) = A_m(t) \sin(2\pi f_0 t)$$



ДВОИЧНАЯ ФАЗОВАЯ МАНИПУЛЯЦИЯ (BPSK)

BPSK – Binary Phase Shift Keying

$$s_m(t) = A \sin(2\pi f_0 t + \varphi_m(t))$$

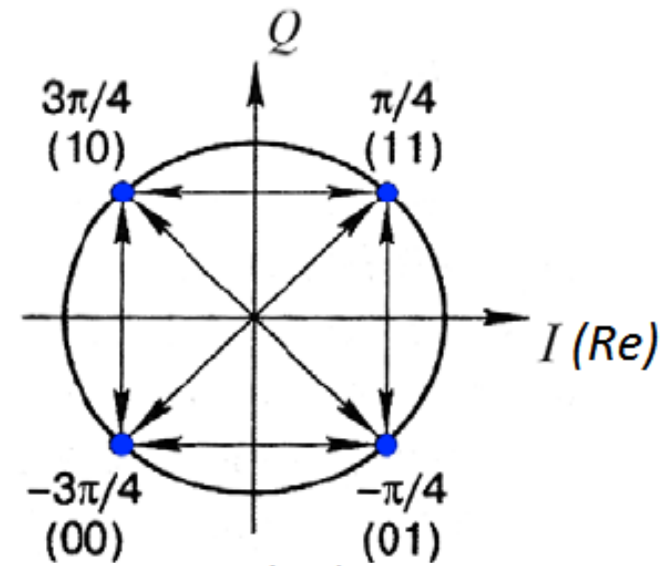


ФАЗОВЫЕ ВИДЫ МОДУЛЯЦИИ (QPSK, M-PSK)

$$s_m(t) = A \sin(2\pi f_0 t + \varphi_m(t))$$

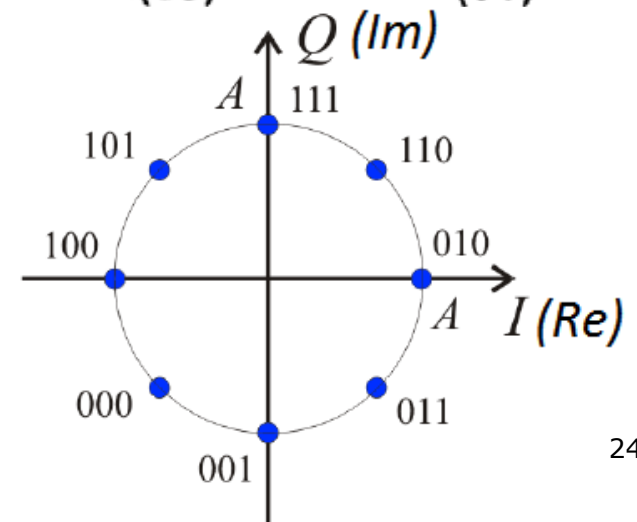
Квадратурная фазовая
модуляция (QPSK – Quadrature
Phase Shift Keying)

$$M=4$$

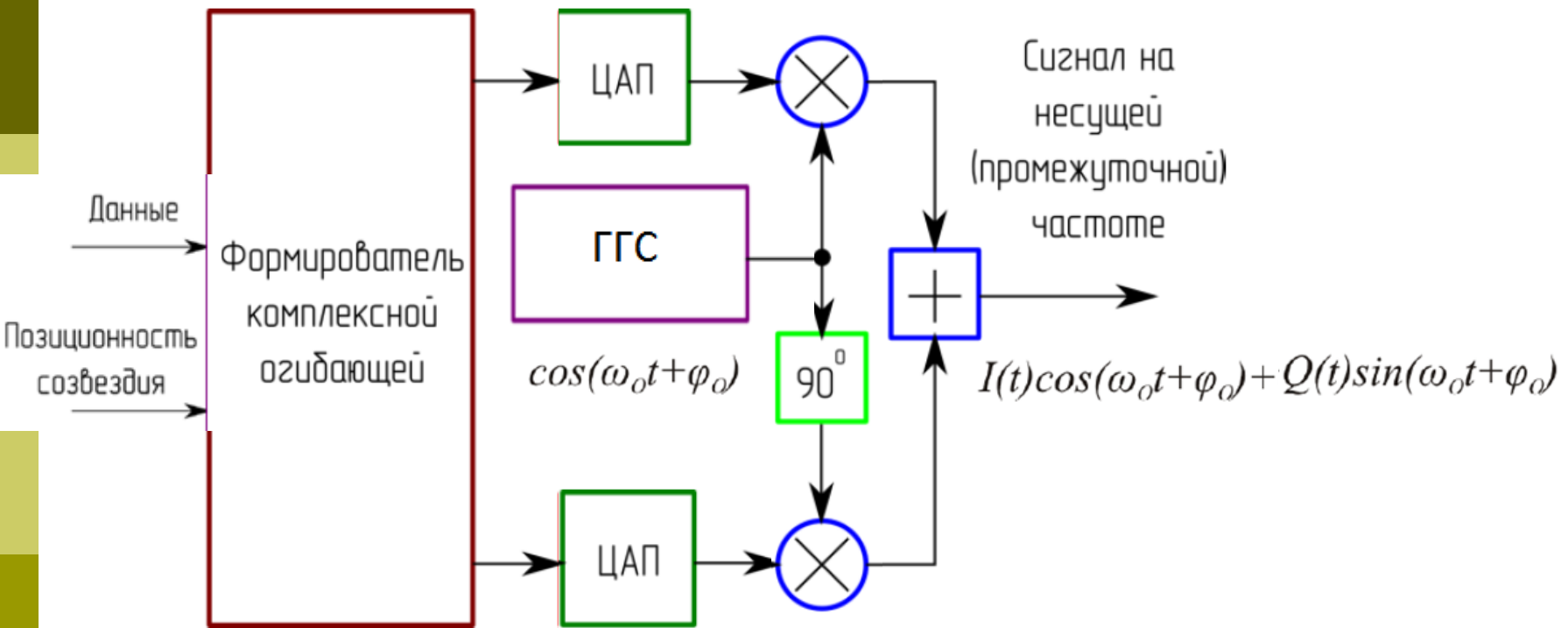


Многопозиционная фазовая
модуляция (M-PSK)

$$M=8$$



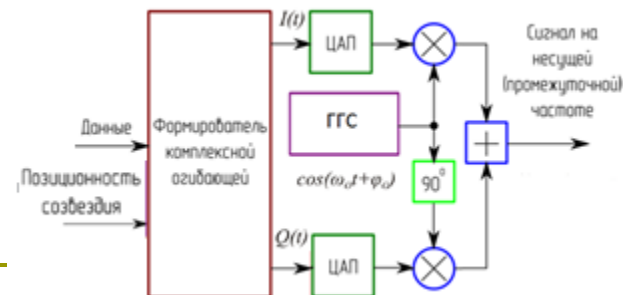
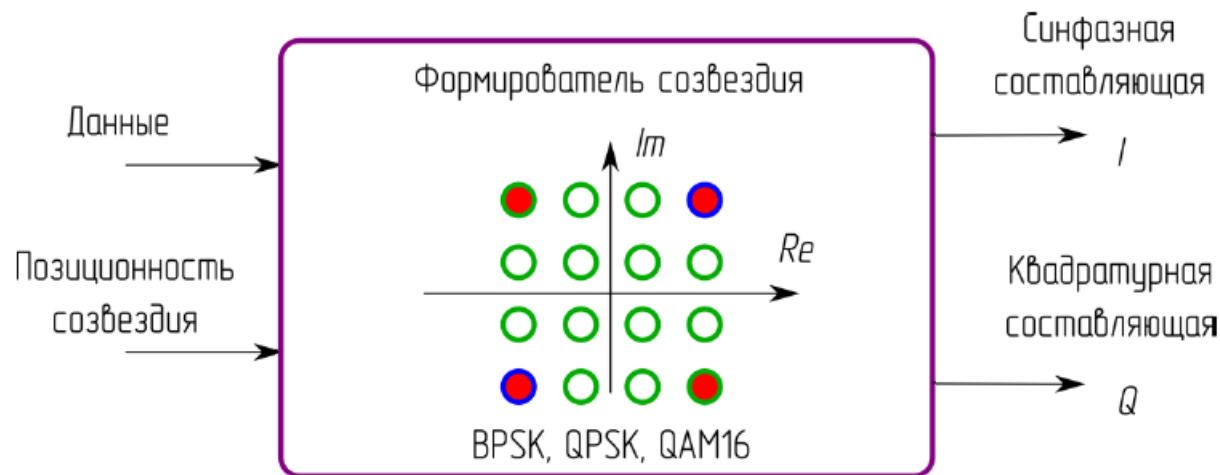
АРХИТЕКТУРА ПЕРЕДАЮЩЕЙ ЧАСТИ ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЫ СВЯЗИ С АНАЛОГОВЫМ КВАДРАТУРНЫМ МОДУЛЯТОРОМ



Достоинство. Относительно низкие частоты тактирования квадратурных ЦАП, поскольку преобразование осуществляется на низкой частоте.

Недостаток. Аналоговая квадратурная обработка сигнала, которая не позволяет создать смесители с одинаковыми характеристиками, строгую разность фаз выходов квадратурного гетеродина²⁵ и т. д.

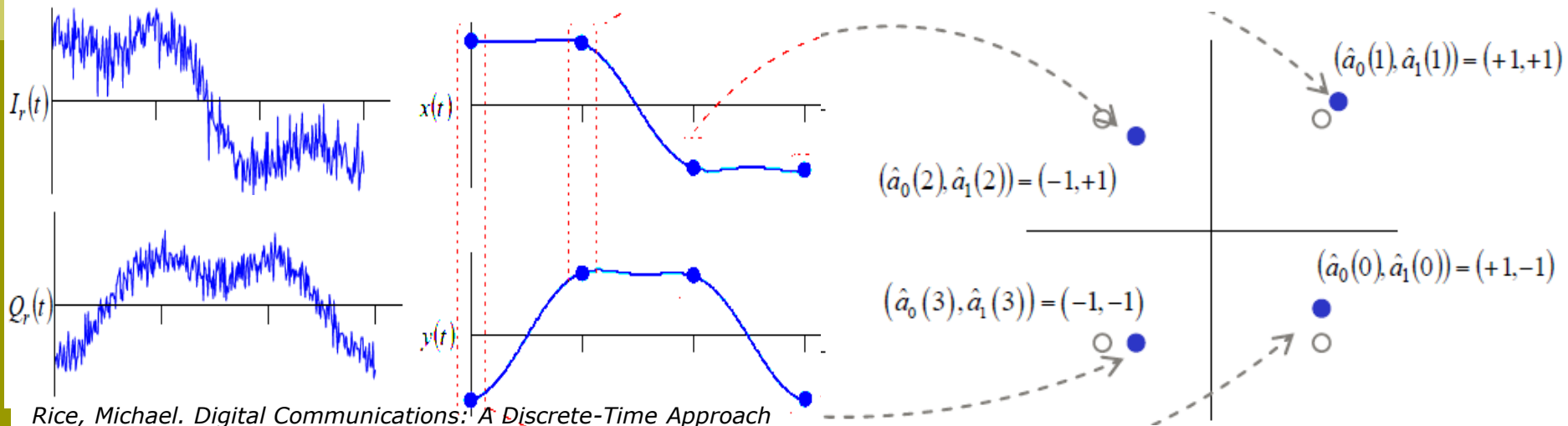
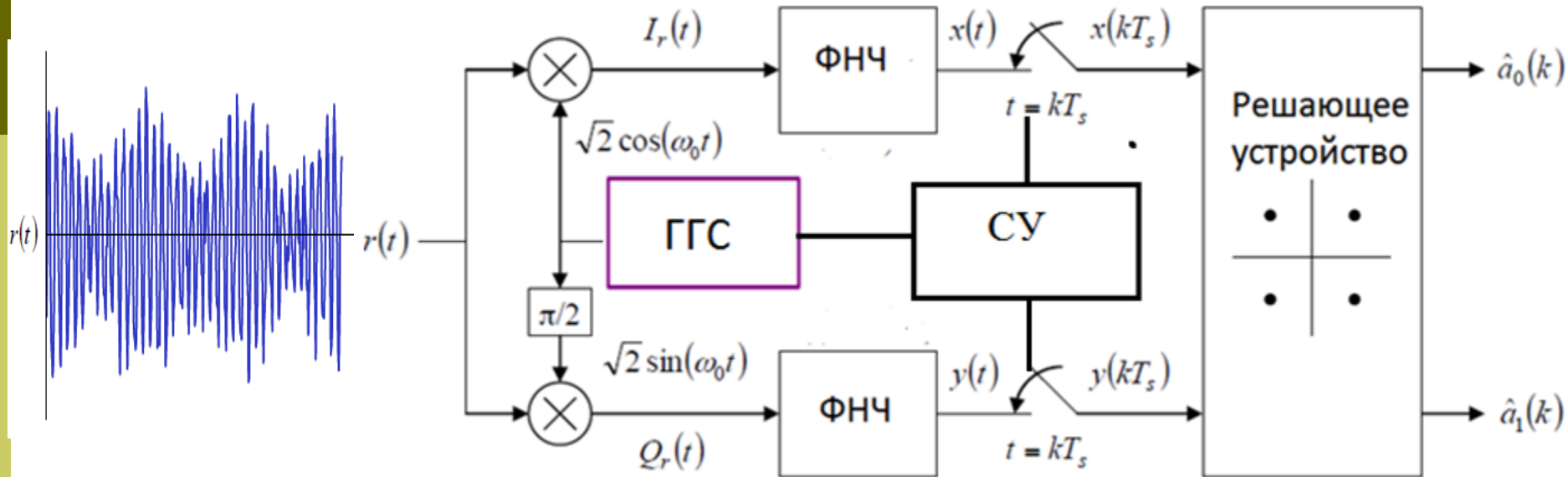
ФОРМИРОВАТЕЛЬ КОМПЛЕКСНОЙ ОГИБАЮЩЕЙ СИГНАЛА



Таблицы соответствий для различных видов манипуляции

Название манипуляции	Позиционность созвездия	Данные для передачи				Выход формирователя комплексной огибающей			
BPSK	2	0	1			-3-3j		+3+3j	
QPSK	4	0	1			-3+3j		+3+3j	
		2	3			+3-3j		-3-3j	
QAM16	16	0	1	2	3	-3+3j	-1+3j	+1+3j	+3+3j
		4	5	6	7	-3+1j	-1+1j	+1+1j	+3+1j
		8	9	10	11	-3-1j	-1-1j	+1-1j	+3-1j
		12	13	14	15	-3-3j	-1-3j	+1-3j	+3-3j

QPSK ДЕМОДУЛЯТОР

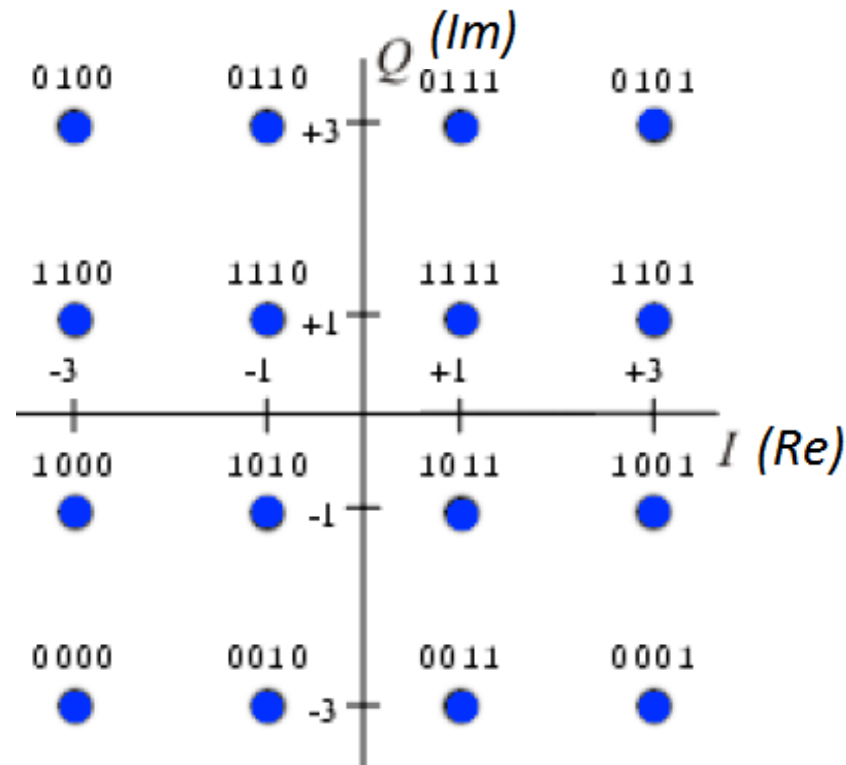


АМПЛИТУДНО-ФАЗОВЫЕ ВИДЫ МОДУЛЯЦИИ

Квадратурная амплитудная модуляция

$$s_m(t) = A_m(t) \cos(2\pi f_0 t + \varphi_m(t))$$

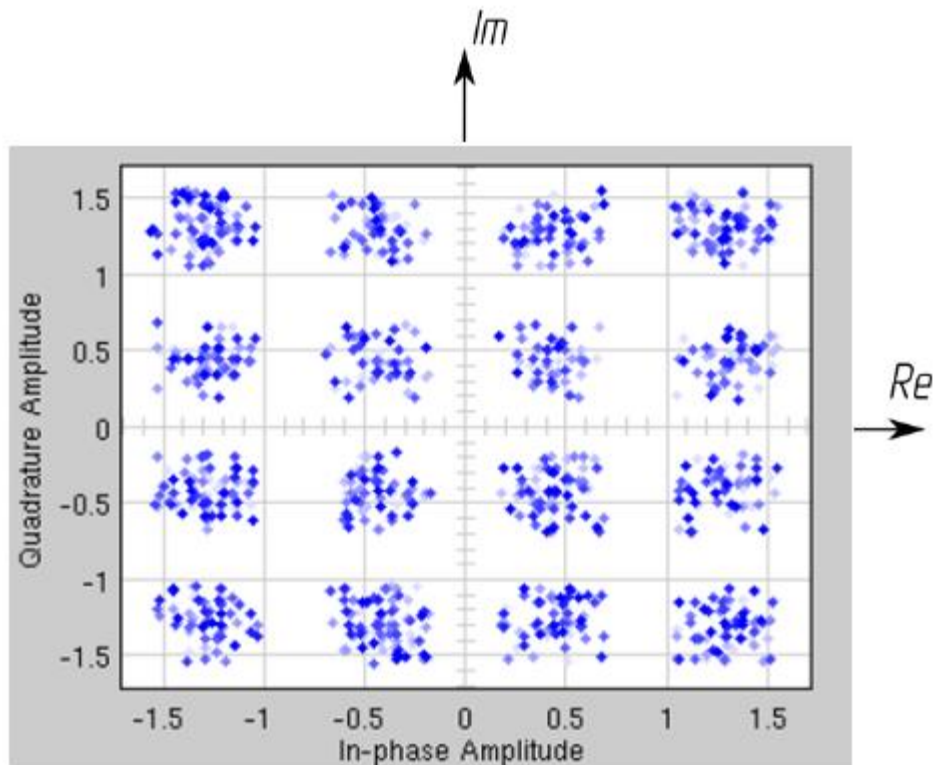
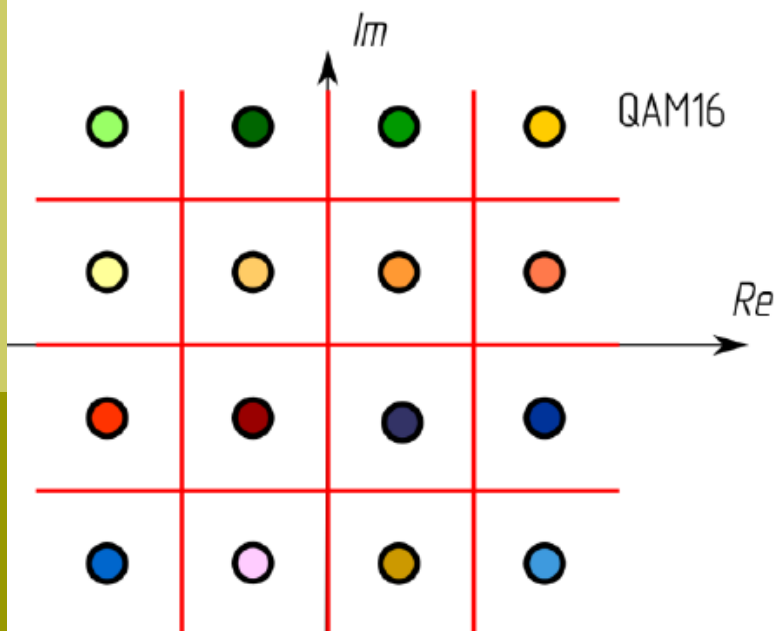
16QAM (16КАМ)



QAM16 ДЕМОДУЛЯЦИЯ

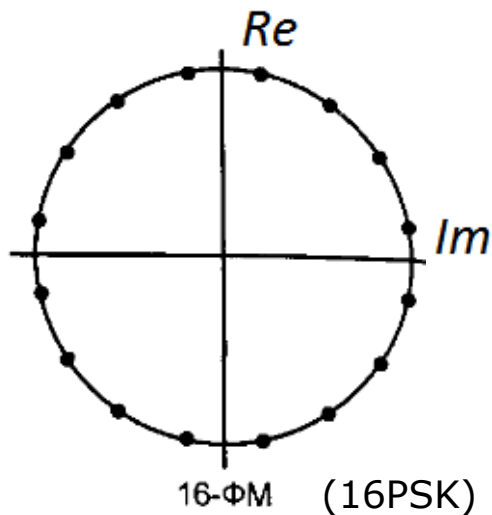
Зоны принятия решения

Диаграмма рассеяния



СРАВНЕНИЕ МНОГОПОЗИЦИОННОЙ ФАЗОВОЙ МОДУЛЯЦИИ И КВАДРАТУРНОЙ АМПЛИТУДНОЙ МОДУЛЯЦИИ

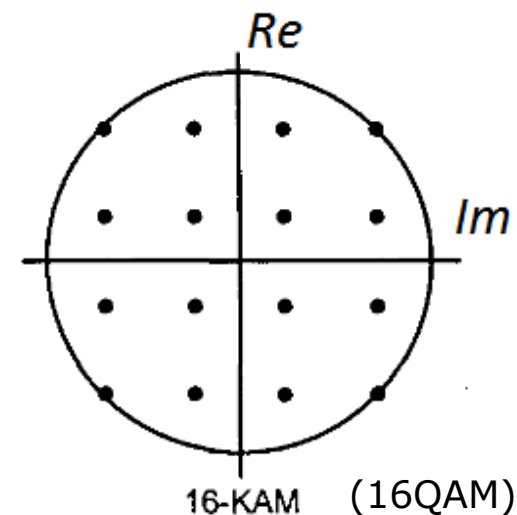
Одинаковая максимальная мощность. $N = 16$



$$d_1 = 0.39$$

$$d_1 = 2 \sin \frac{\pi}{N}$$

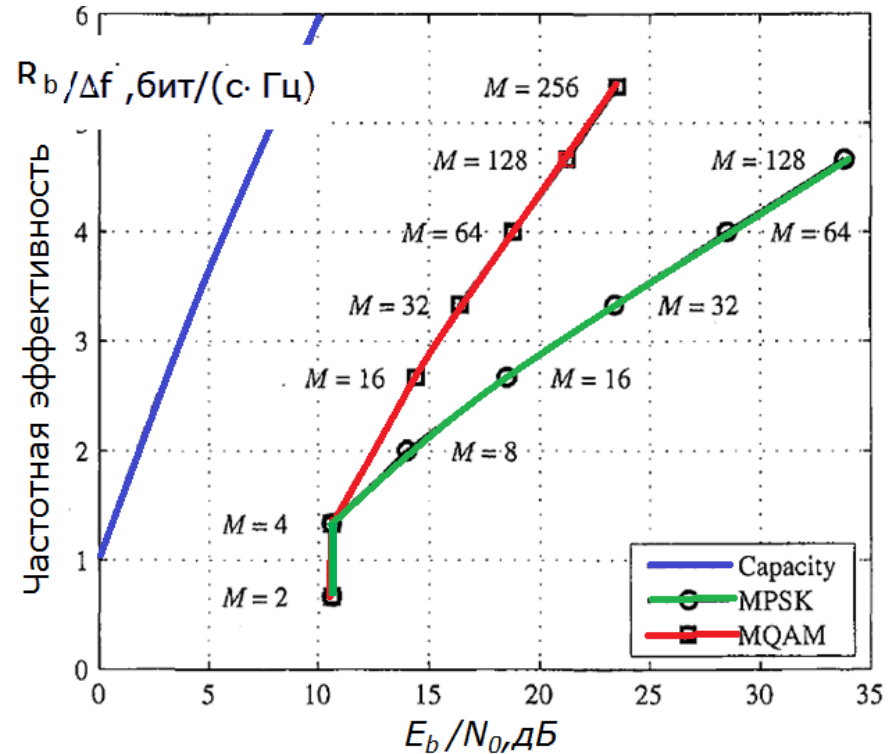
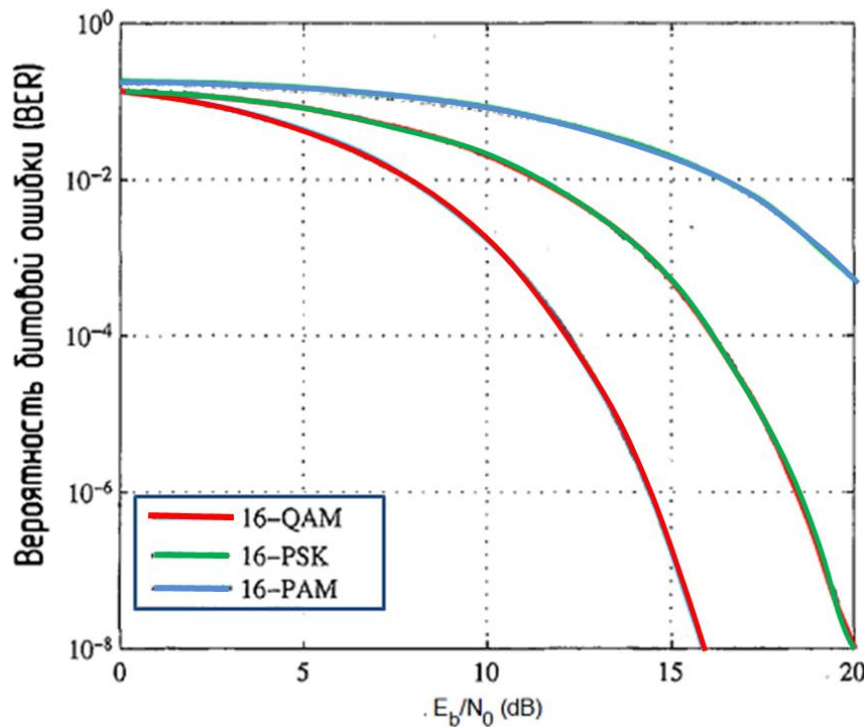
$$d_2 = \sqrt{2} / (\sqrt{N} - 1)$$



$$d_2 = 0.47$$

При одинаковой максимальной мощности М-QAM имеет преимущество над М-PSK по расстоянию и по средней мощности

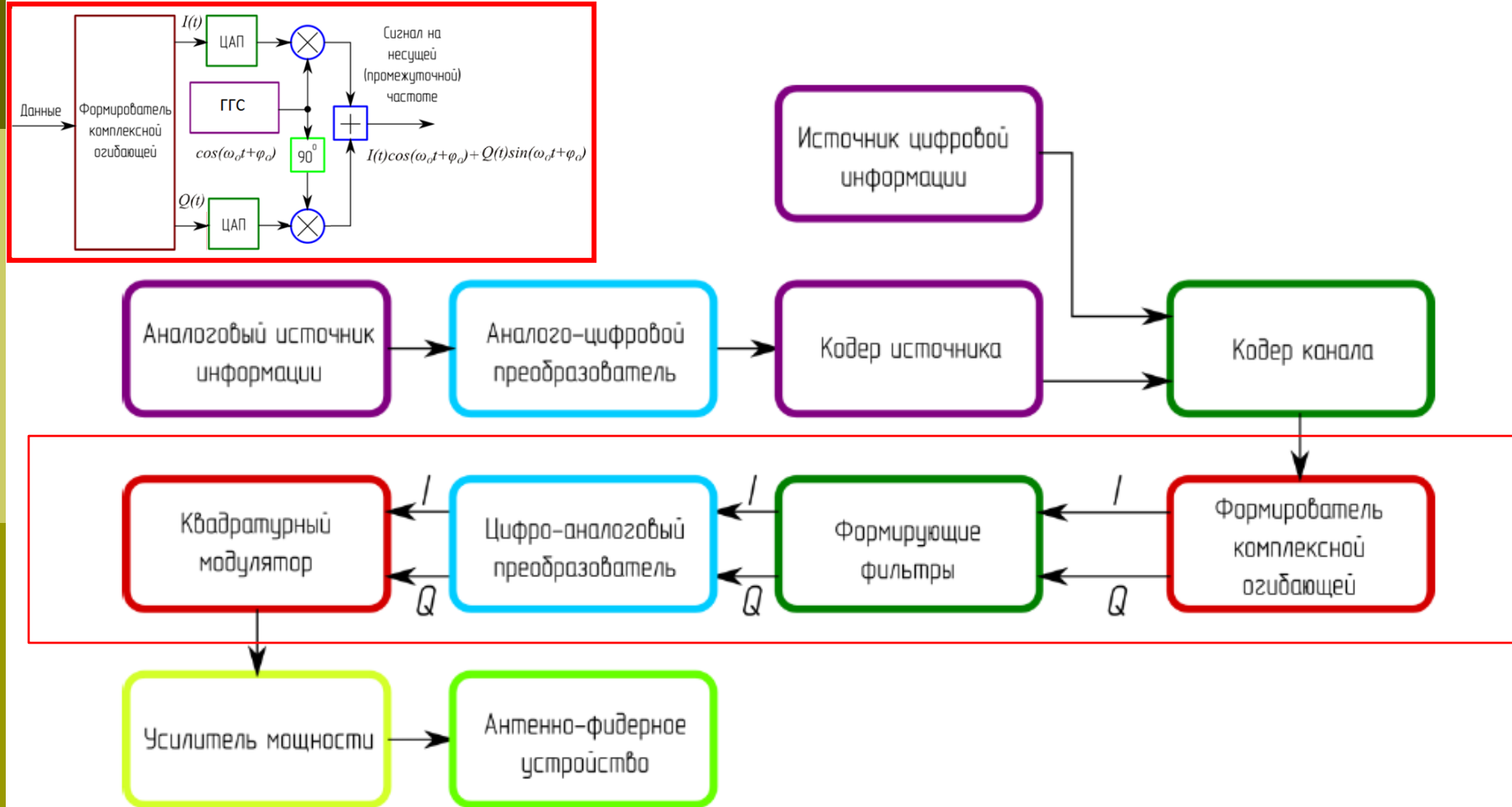
ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ЦИФРОВОЙ МОДУЛЯЦИИ



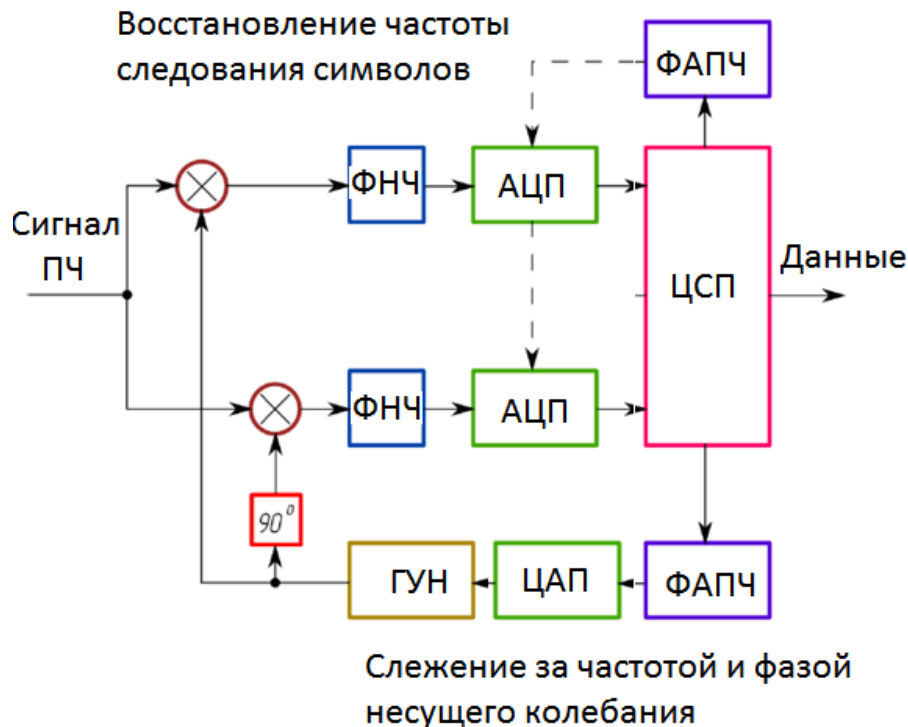
PAM - Амплитудно-импульсная модуляция (Pulse Amplitude Modulation)
PSK — Фазовая модуляция (Phase-Shift Keying)
QAM — Квадратурная амплитудная модуляция (Quadrature Amplitude Modulation)

27.04.2022

ОБЩАЯ СТРУКТУРА ПЕРЕДАЮЩЕЙ ЧАСТИ ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЫ СВЯЗИ



АРХИТЕКТУРА ПРИЕМНИКОВ ЦИФРОВОЙ СВЯЗИ ПЕРВОГО ПОКОЛЕНИЯ



ГУН – генератор, управляемый напряжением

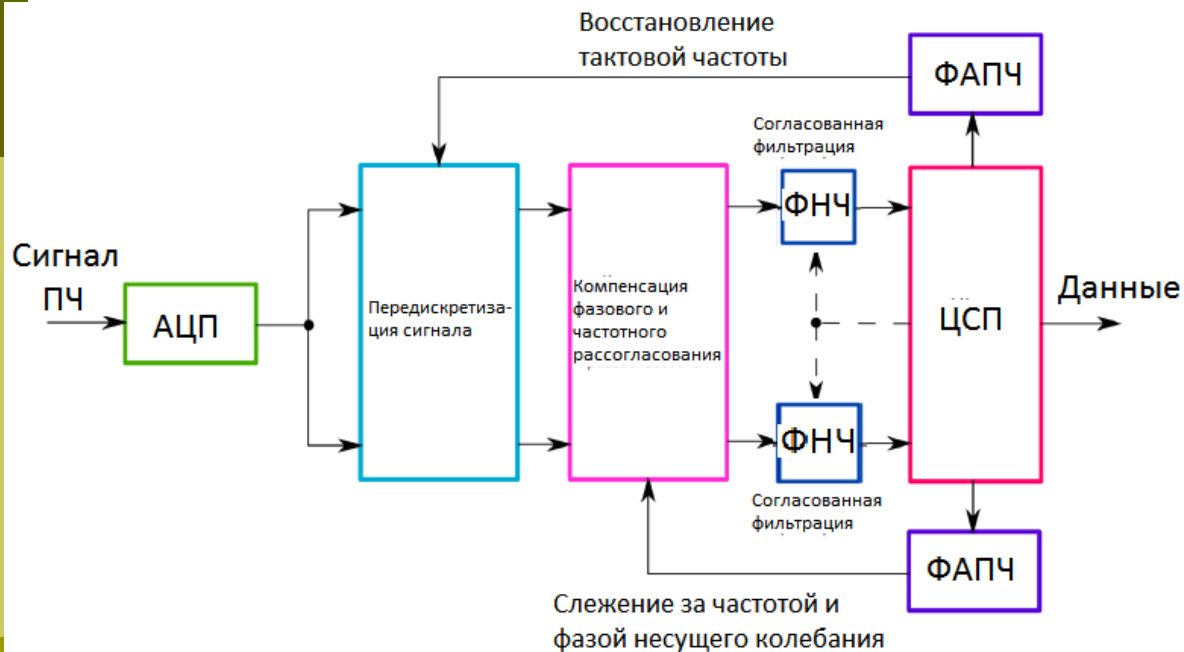
Недостатки архитектуры: аналоговая квадратурная обработка; аналоговое восстановление несущей частоты; аналоговая подстройка частоты следования импульсов

1. Согласованная фильтрация выполняется парой аналоговых ФНЧ

2. Сигнал преобразуется в цифровой вид при помощи двух АЦП, работающих на символьной частоте

3. Для слежения за символьной частотой и за несущей частотой сигнала используются аналоговые петли ФАПЧ, детекторы которых выполняются в цифровом виде.

АРХИТЕКТУРА ПРИЕМНИКОВ ЦИФРОВОЙ СВЯЗИ ТРЕТЬЕГО ПОКОЛЕНИЯ



1. Отсутствует аналоговая обработка

2. Аналого-цифровое преобразование осуществляется на промежуточной или несущей частоте в так называемом свободном режиме (частота тактирования АЦП никак не подстраивается и не отслеживается).

3. Квадратурный перенос спектра на нулевую промежуточную частоту осуществляется при помощи схемы прямого цифрового синтеза полностью в цифровом виде