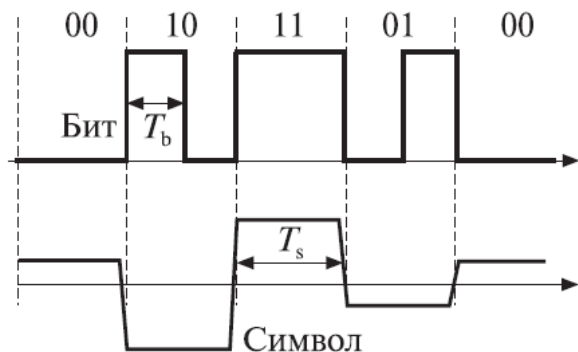


Лекция 11. Модуляция в цифровых СМС

При **комбинированных** видах модуляции, применяемых в современных СМС, одновременно могут изменяться и амплитуда, и фаза несущей.

в **цифровых системах** связи для обозначения процесса модуляции используется термин <<**манипуляция**>> (Keying)

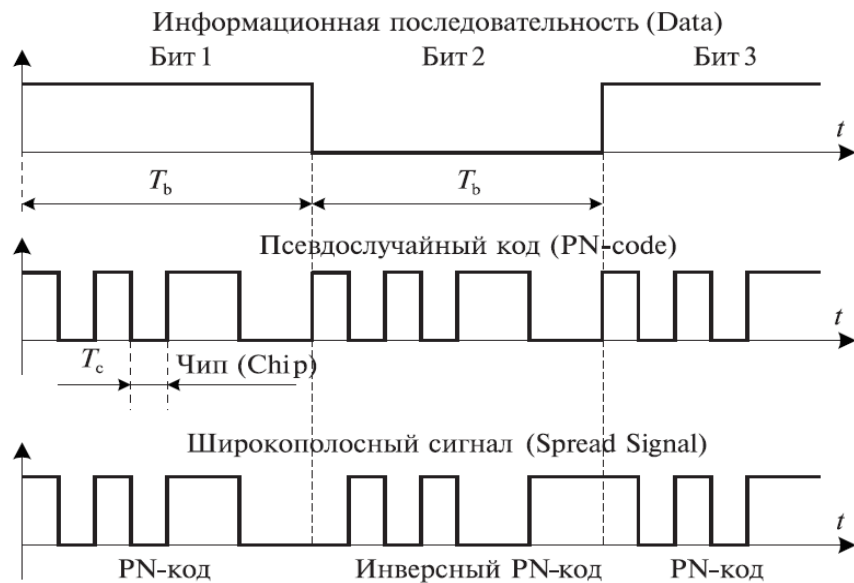


При многопозиционной цифровой модуляции с помощью каждого **символа** передается несколько **информационных битов**

QPSK сигнал (последовательность 0010110100)

$M = 2^N$ или $N = \log_2 M$, где M — число точек **сигнального созвездия**; N — число **бит/символ**.

В технологии **расширения спектра** (Spreading) методом прямой последовательности DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) на каждый бит с помощью псевдослучайного кода формируется несколько более мелких *элементарных символов*, для обозначения которых используется термин <<**чип**>> (chip).



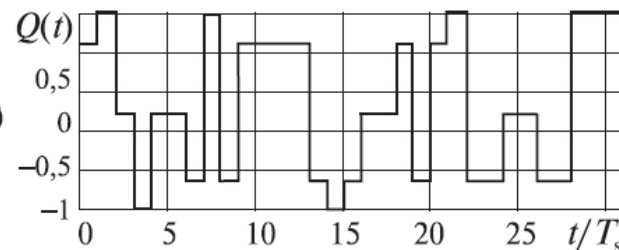
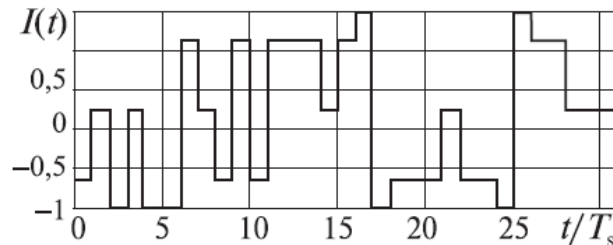
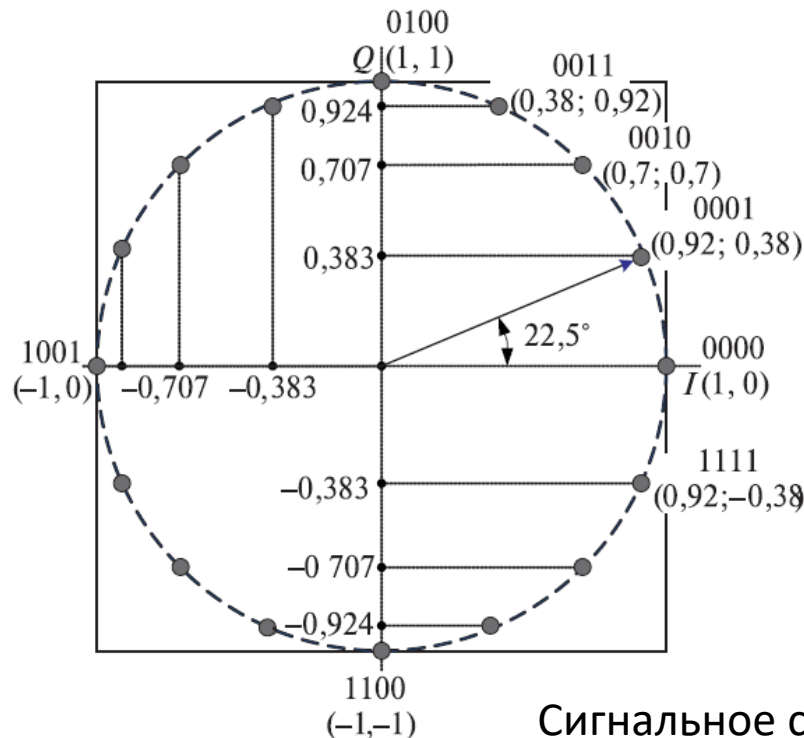
Квадратурное (векторное)

представление сигналов.

Проекции вектора сигнала $S(t)$ на оси I (In-phase) и Q (Quadrature).

Модуляторы для цифровых СМС

выполняются, как правило, с использованием квадратурных схем

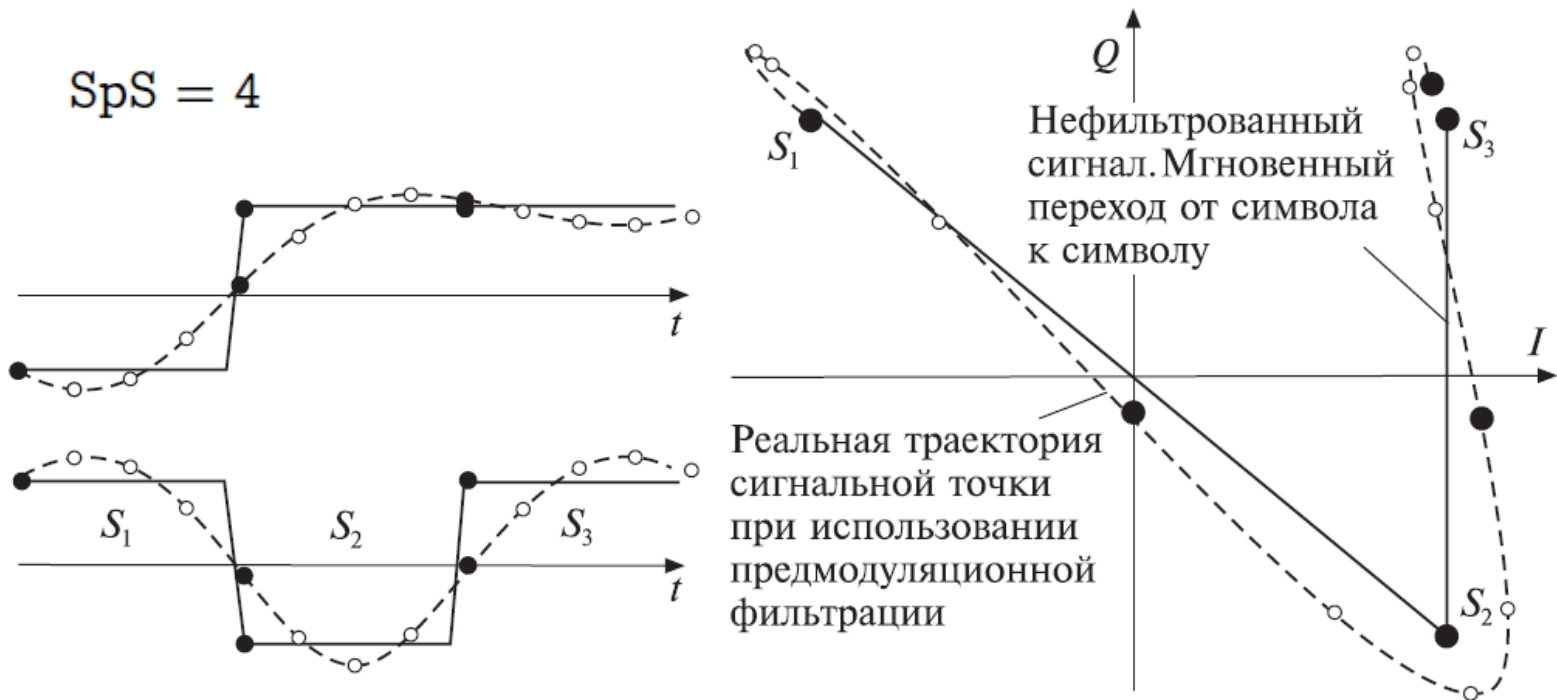


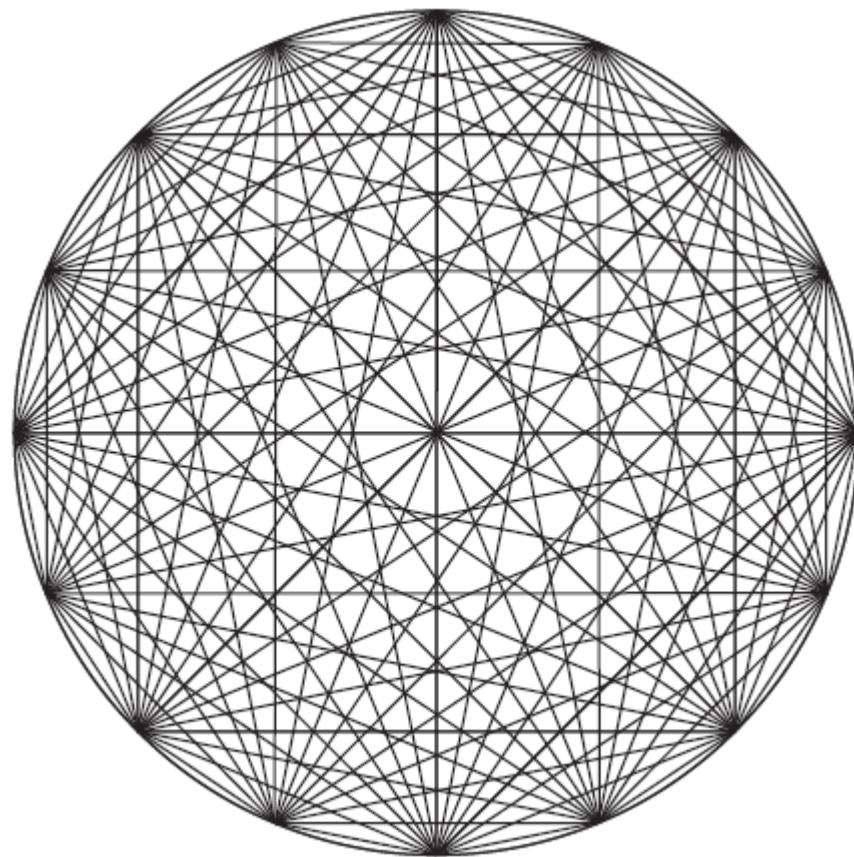
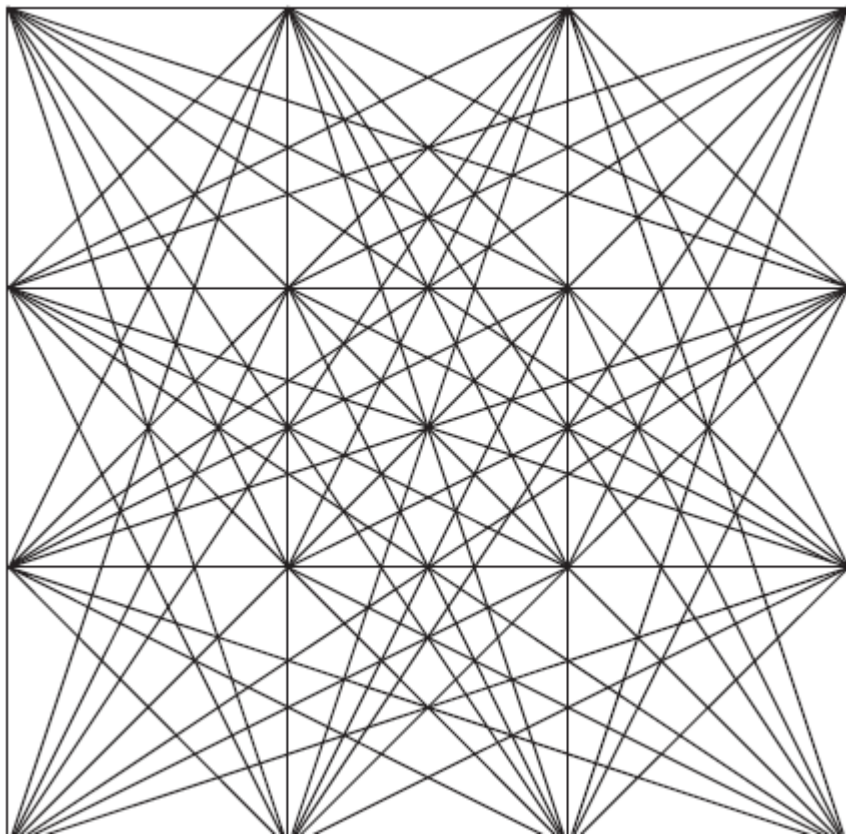
фазовая
манипуляция
ФМ (Phase Shift
Keying, PSK)

Сигнальное созвездие и I - и Q -Компоненты для 16-PSK

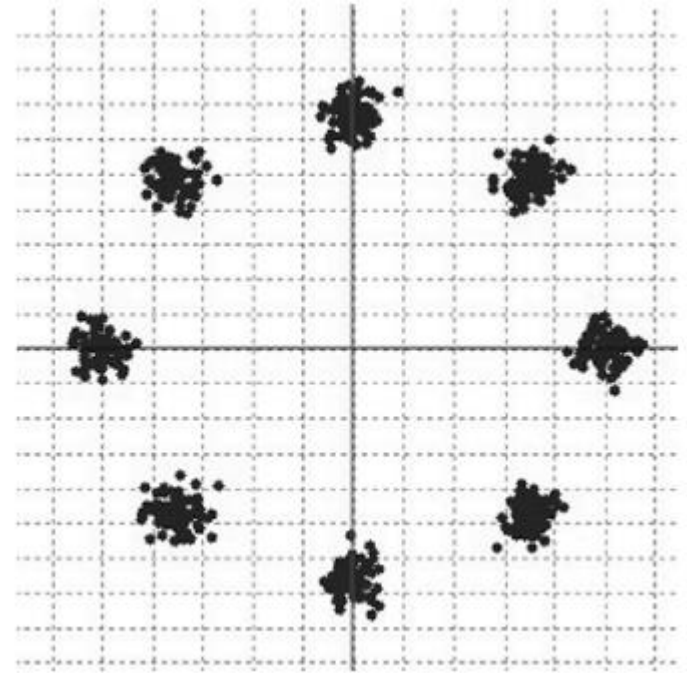
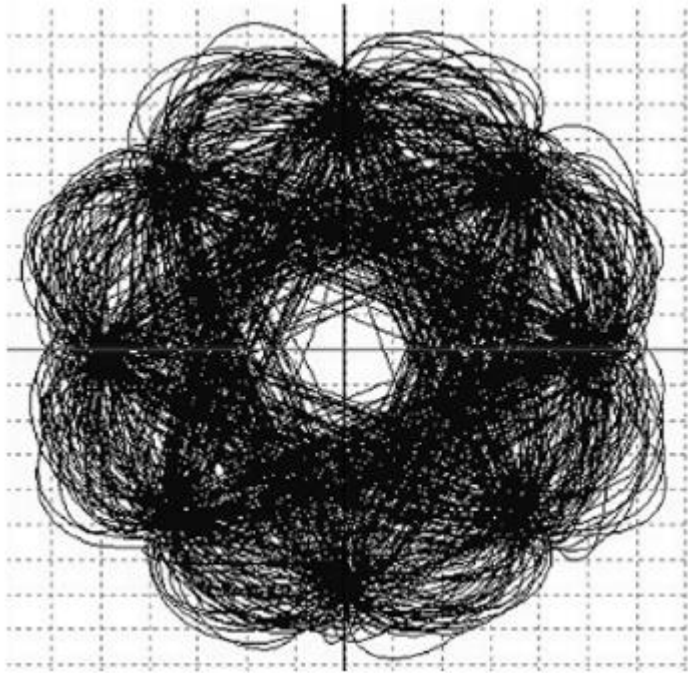
Каждый символ сигнала — его I/Q -компоненты — обычно представляются определенным числом **отсчетов (выборок)** на символ (SpS , Samples per Symbol).

На **векторной диаграмме** (Vector Diagram), называемой иногда **полярной** (Polar Diagram) диаграммой отображается перемещение во времени сигнальной точки на фазовой I/Q -плоскости для последовательности символов.





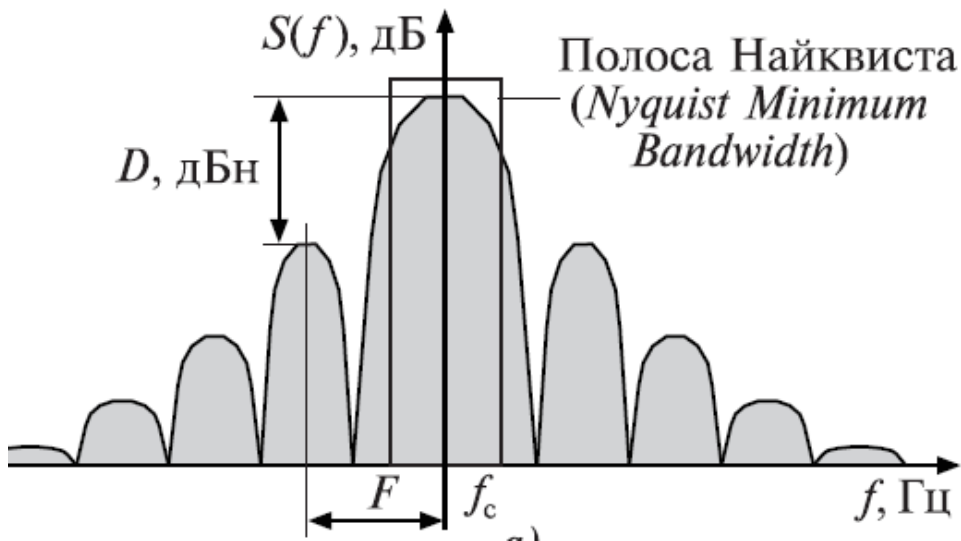
Исходные (канонические) векторные диаграммы 16QAM и 16PSK сигналов без предмодуляционной фильтрации



Векторная диаграмма и сигнальное созвездие реального сигнала $\pi/4$ DQPSK при наличии шума в канале

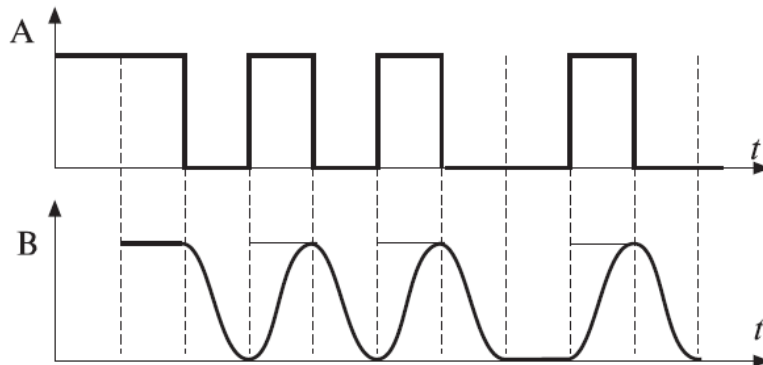
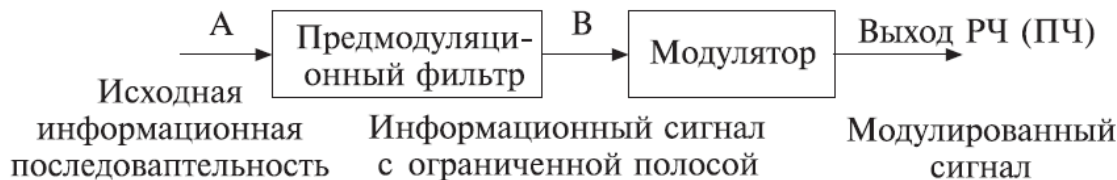
На диаграмме **сигнального созвездия** или просто «созвездия» (Constellation Diagram, Constellation) для каждого символа на фазовой плоскости отображается только одна точка, соответствующая точке принятия решения.

Спектральные характеристики



Минимальную полосу частот, в которой может быть передан и восстановлен цифровой сигнал, называют **полосой Котельникова** или **Найквиста** (Nyquist Minimum Bandwidth).

Помехи в соседнем канале (ACI, Adjacent Channel Intereference) можно уменьшить применением при формировании сигнала **предмодуляционной фильтрации** (в цифровом бейсбэнд-тракте)

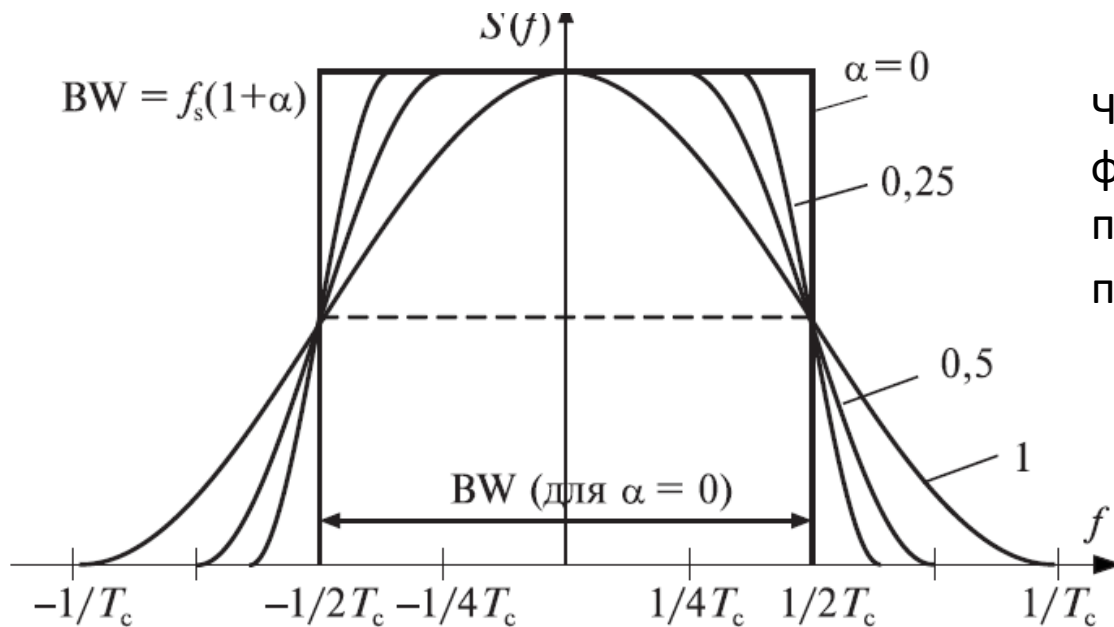


Наиболее часто используются :

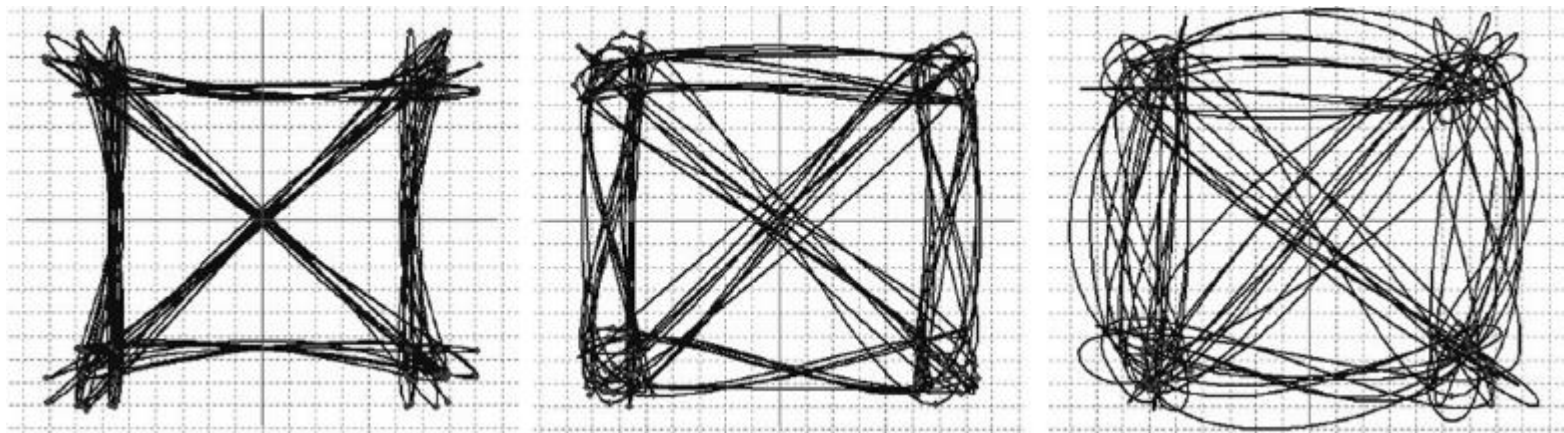
- **гауссовский** (Gaussian) фильтр (GMSK);
- **приподнятый косинус**, или косинус на пьедестале (Root Raised Cosine, RRC);
- фильтр с **косинусоидальным сглаживанием** (Raised cosine, RC).

Shaping Filter — формирующий фильтр

Коэффициент скругления (roll-off factor) альфа (Alpha) характеризует форму фильтра Найквиста с частотной характеристикой «приподнятый косинус»

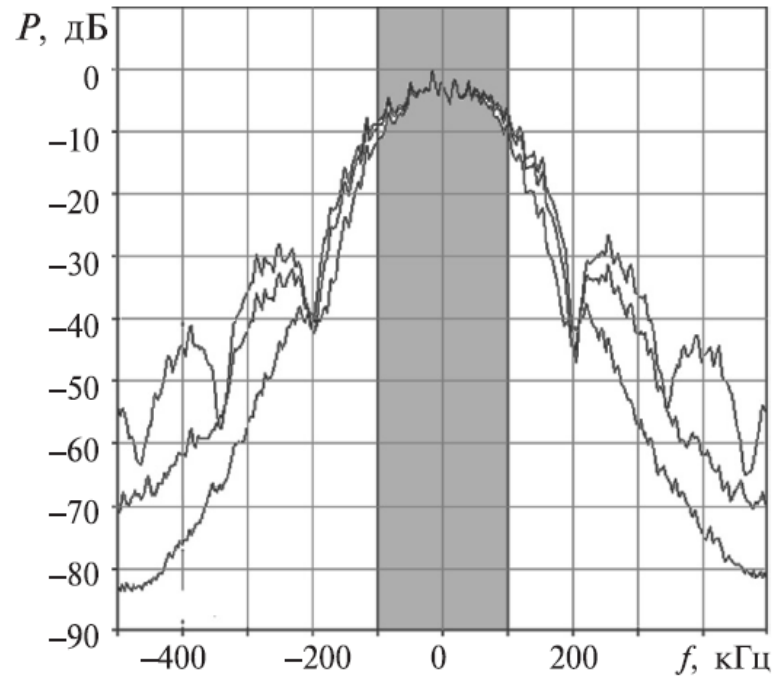
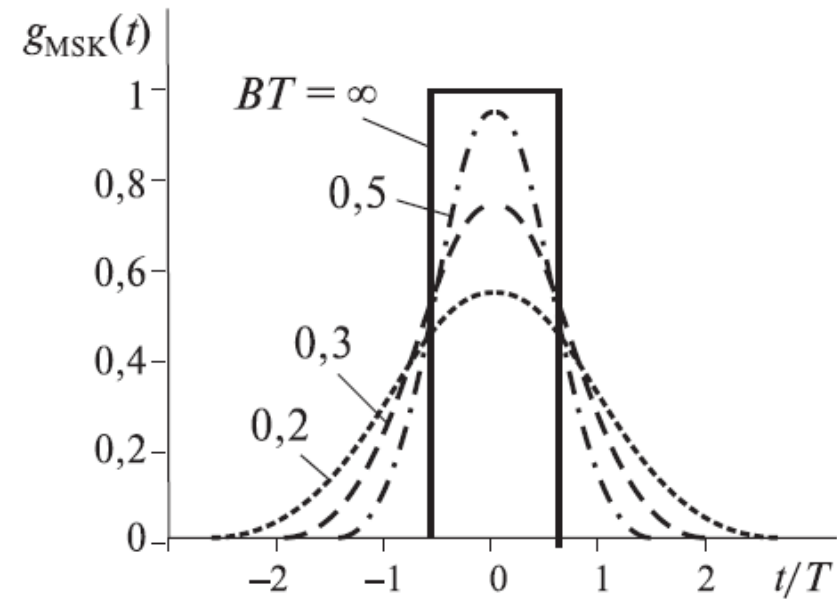


Частотная характеристика фильтра с характеристикой приподнятого косинуса при различных α



векторная диаграмма QPSK сигнала при $\alpha = 0,8; 0,5; 0,3$

Гауссовский фильтр



Влияние BT на полосу частот GMSK-сигнала (GSM)

Характеризуется произведением BT , где B — ширина полосы фильтра по уровню 3 дБ, T — длительность битовой посылки.

Для реально используемых в СМС гауссовских фильтров используются значения BT , лежащие между 0,22 до 0,5. Например, для GSM — $BT = 0,3$, для DECT и Bluetooth — $BT = 0,5$.

Частотная манипуляция - ЧМ (**FSK** -Frequency Shift Keying):

двоичная (бинарная, двухпозиционная) - 2ЧМ, **BFSK** (Binary Frequency Shift Keying) или 2FSK, четырехпозиционная, или четырехуровневая (четырёхчастотная) - 4ЧМ (**4FSK**)

с минимальным сдвигом – **MSK** (Minimum Shift Keying). Сигнал с непрерывной фазой (continuous phase frequency-shift keying, **CPFSK**), при которой в момент манипуляции нет скачков (разрывов) фазы, а изменение частоты происходит в моменты, когда мгновенное значение РЧ сигнала равно нулю.

Гауссовская манипуляция с минимальным сдвигом **GMSK** (Gaussian Minimum Shift Keying) — это **MSK**, в которой используется предмодуляционная гауссовская фильтрация

Фазовая манипуляция – ФМ - **PSK** (Phase Shift Keying):

BPSK (два значения), **QPSK** (четыре значения), **8PSK** (восемь значений), **16PSK** и т. д. (от числа возможных значений фазы сигнала - числа точек в сигнальном созвездии)

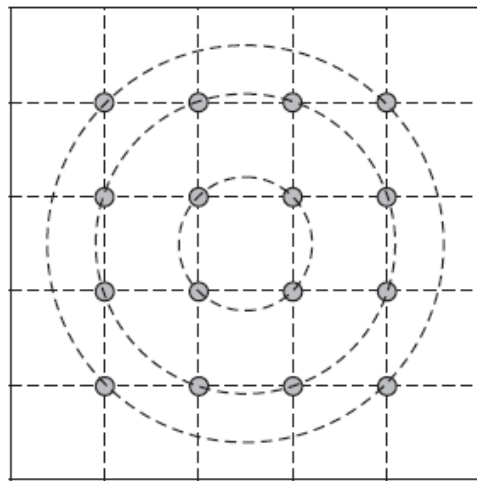
относительная (дифференциальная, фазоразностная) ФМ - ОФМ (**DPSK** - Differential Phase Shift Keying)

DPSK со сдвигом, кратным $\pi/4$ - **$\pi/4$ -DQPSK** формируется с использованием двух созвездий QPSK, наложенными со сдвигом 45° (восемь точек сигнального созвездия). Символы выбираются поочередно из этих созвездий)

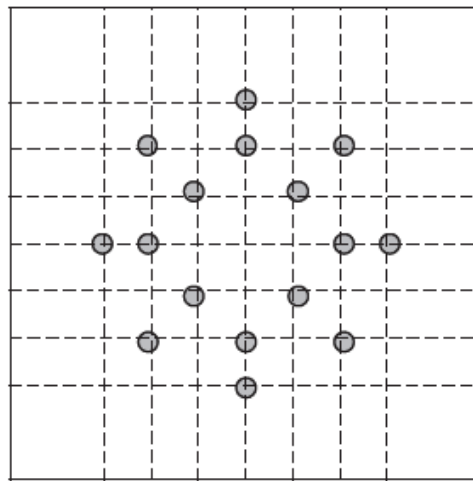
Сдвиговая, или офсетная модуляция (Offset modulation) - постоянный посимвольный сдвиг (смещение) сигнальной точки на фазовой диаграмме - **ротация** (Rotation)

Многоуровневая модуляция (Multi-level, M-ary)

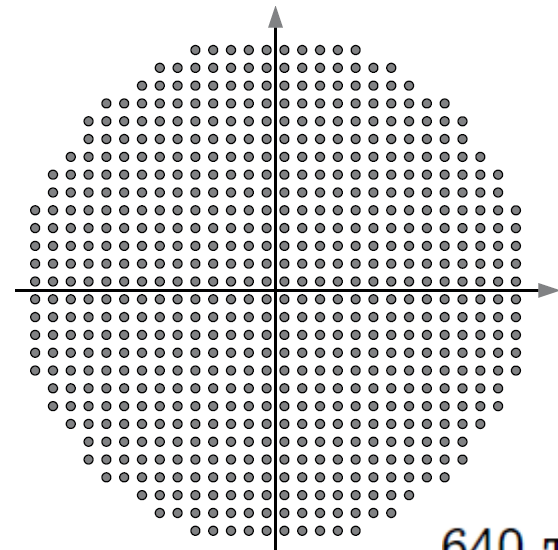
комбинация фазовых и амплитудных видов модуляции- **mQAM, mAPSK** . Растёт число битов за символ (являются более спектрально-эффективными)



16QAM(4,8,4)



16APK



640 точек

С \uparrow m \downarrow помехоустойчивость \uparrow требования к линейности РЧ трактов, что \downarrow к.п.д.

Ортогональное частотное мультиплексирование **OFDM** – формируются в цифровом виде в ВВ трактах. На m поднесущих используются модуляция типа **mQAM**. В РЧ тракте – сигнал близок к аналоговому с большим пикфактором. Те же недостатки.

Модуляторы цифровых СМС

Модулятор — блок, осуществляющий изменение одного или нескольких параметров (амплитуды, фазы, частоты) несущего колебания в соответствии с подаваемой на его вход информационным сигналом.

Число градаций изменяемого (состояний) параметра (параметров) несущей должно быть равно числу символов S_n в используемом ансамбле сигналов (числу точек сигнального созвездия)

Прямая модуляция ГУН на РЧ. Для создания сигналов **FSK, MSK, GMSK**

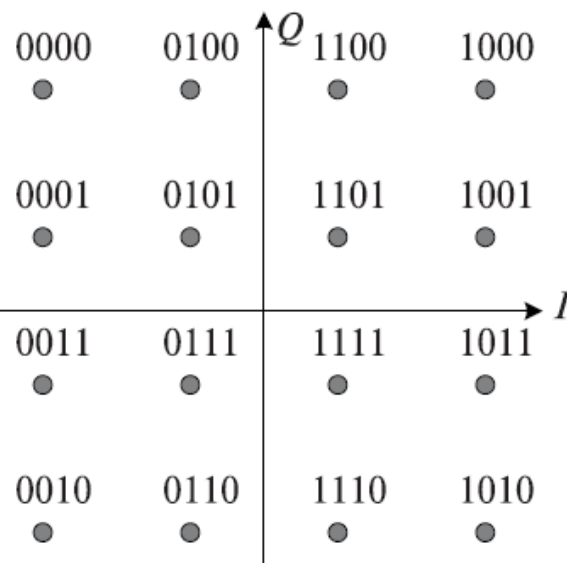
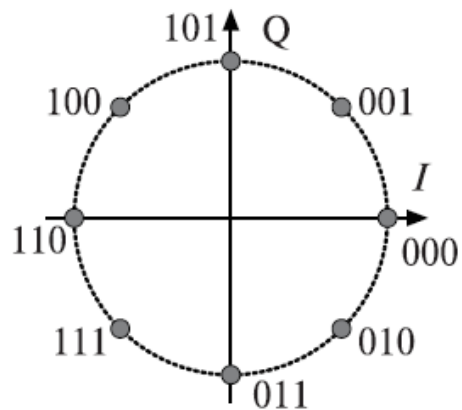
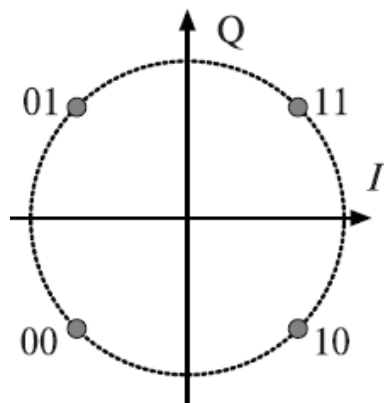
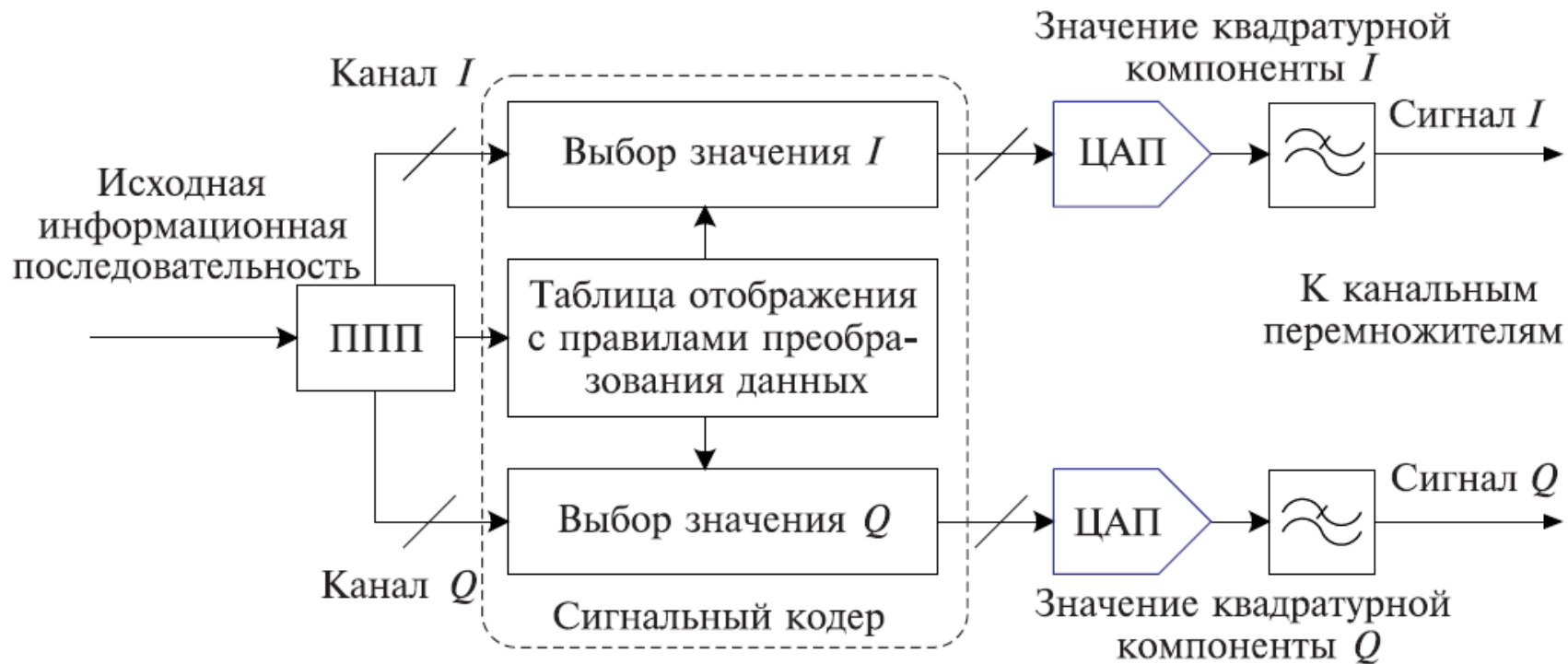
Предмодуляционная фильтрация может быть в цифровом виде в ВВ, после ЦАП и далее на варикапы ГУН. Точность мала. Используют в простых СМС (DECT, BT и т.п.)

Квадратурные модуляторы.

Универсальные устройства, для создания сигналов **FSK, GMSK, PSK, QAM, OFDM** и т. д. Сигналы имеют хорошие качественные показатели (малые амплитудные и фазовые погрешности) допустимые для современных СМС.

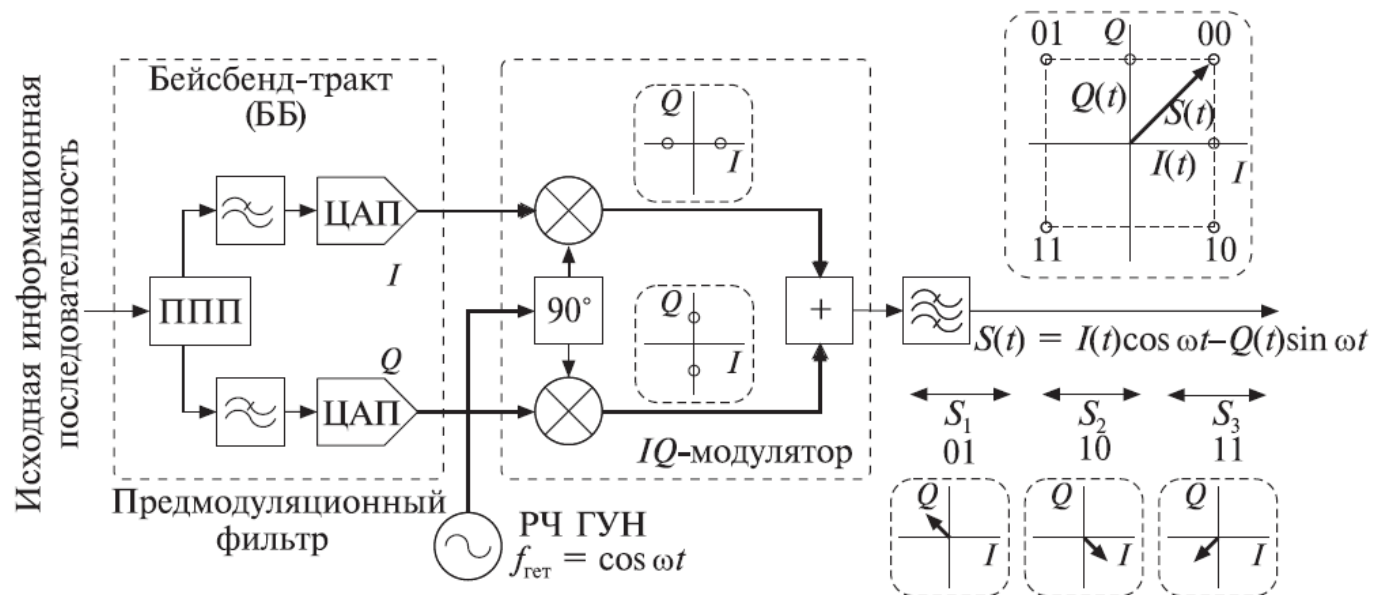
На входы I и Q модулятора подаются две информационные последовательности сформированные в цифровых блоках (ВВ) из исходного информационного потока с помощью последовательно-параллельного преобразователя ППП

Сигнальное кодирование, или преобразование данных (Mapping) — нахождение значений I - и Q -компонент для каждой комбинации входной битовой последовательности (для каждого символа S_n)

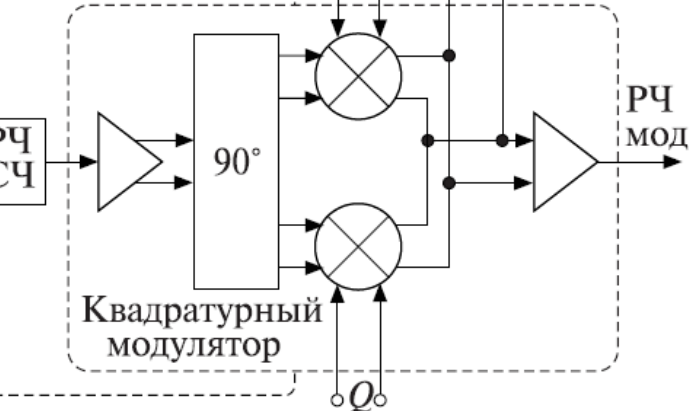


Сигнальные созвездия для **QPSK**, **8PSK** и **16-QAM** при использовании кодов Грея

Функциональная схема квадратурного модулятора



Полифазный квадратурный генератор



Перемножающая ячейка Гильберта – разновидность дифференциального усилителя со связанными эмиттерами

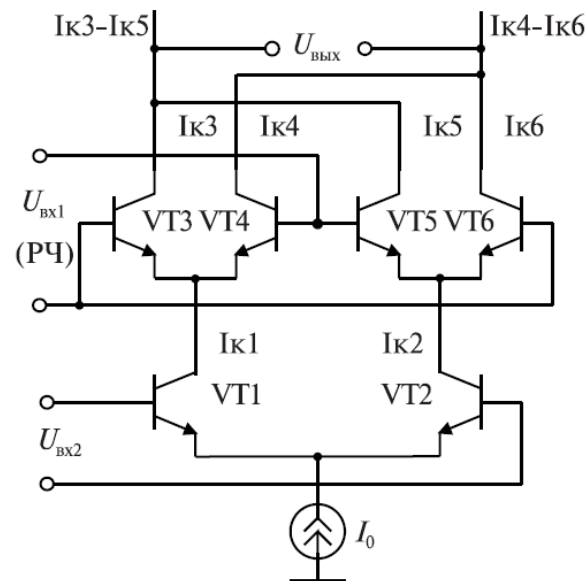
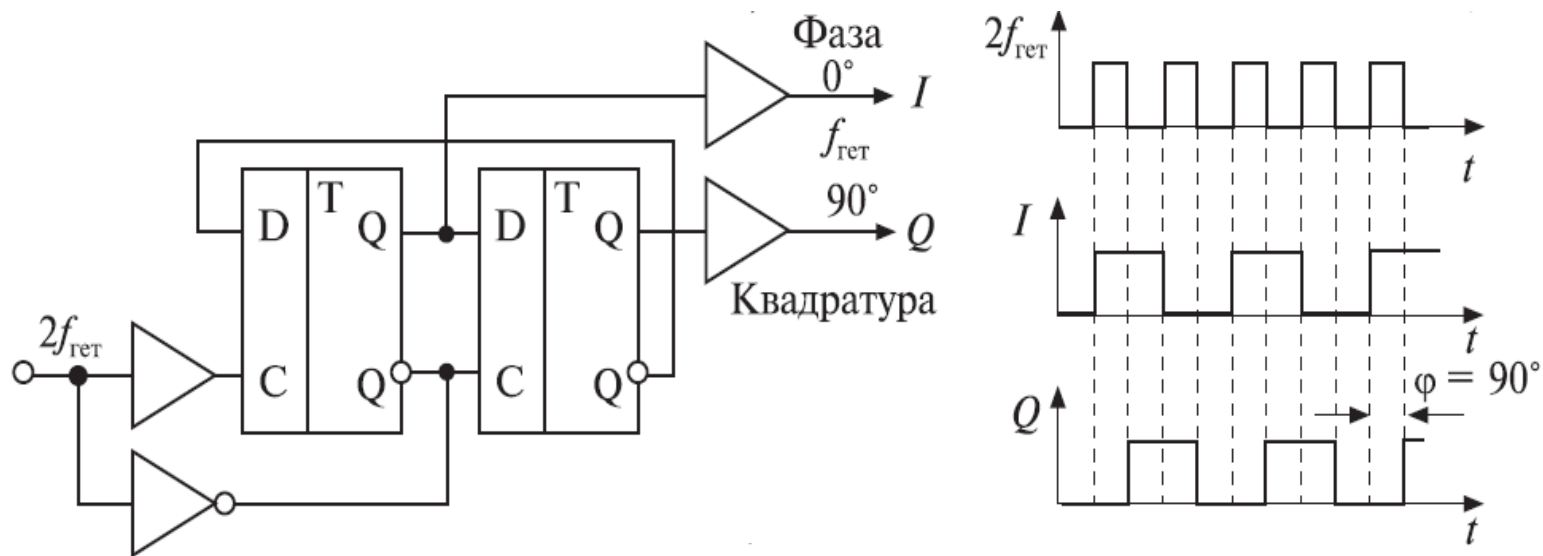


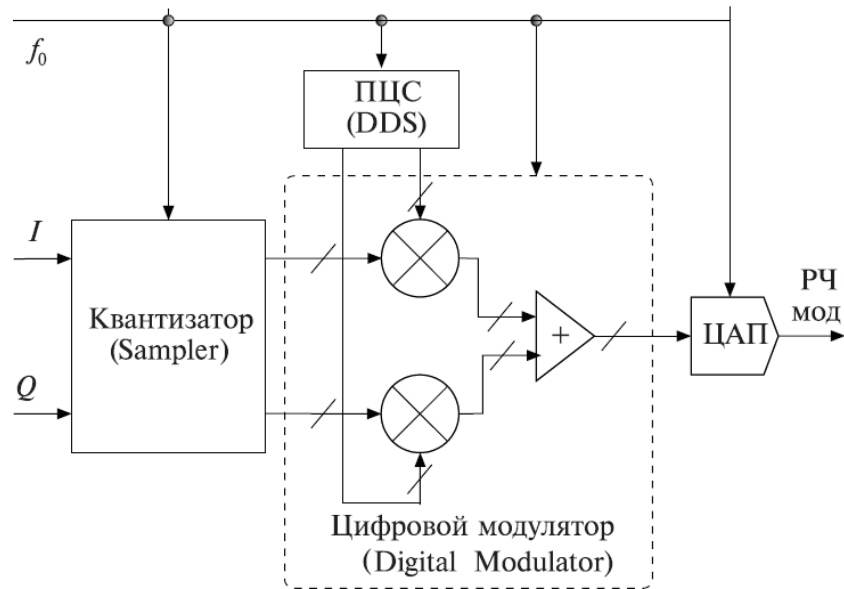
схема квадратурного балансного модулятора

Схема ячейки Гильберта

Формирования квадратур на частоте $f_{\text{гет}}$ с использование ГУН с $f = 2f_{\text{гет}}$



Цифровые квадратурные модуляторы (цифровой смеситель с переносом сигнала вверх по частоте (Quadrature Digital Upconverter, QDUC))



+ очень высокое качество выходного модулированного сигнала в широком диапазоне рабочих частот

— Те же, что у ПЦС. Не высокая частота на вых. Большое энергопотребление.

Полярная модуляция

