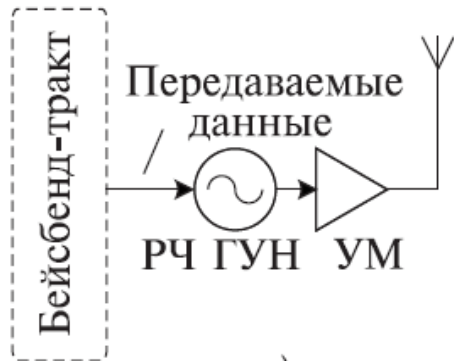
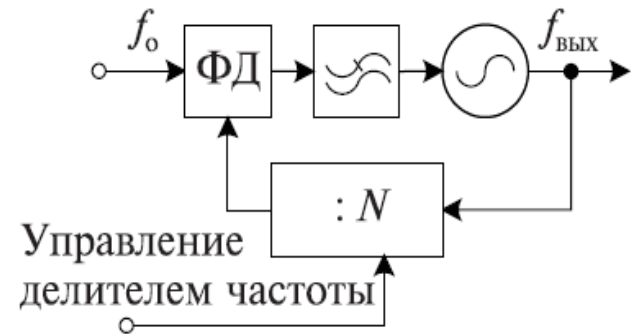
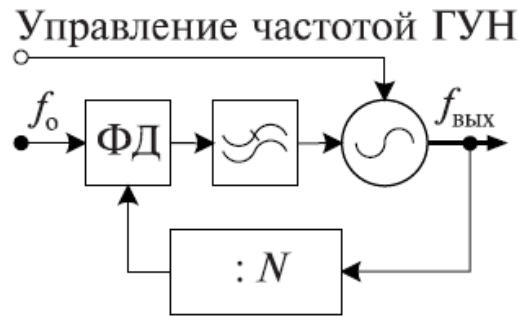


Лекция 12. Схемы РПДУ цифровых СМС



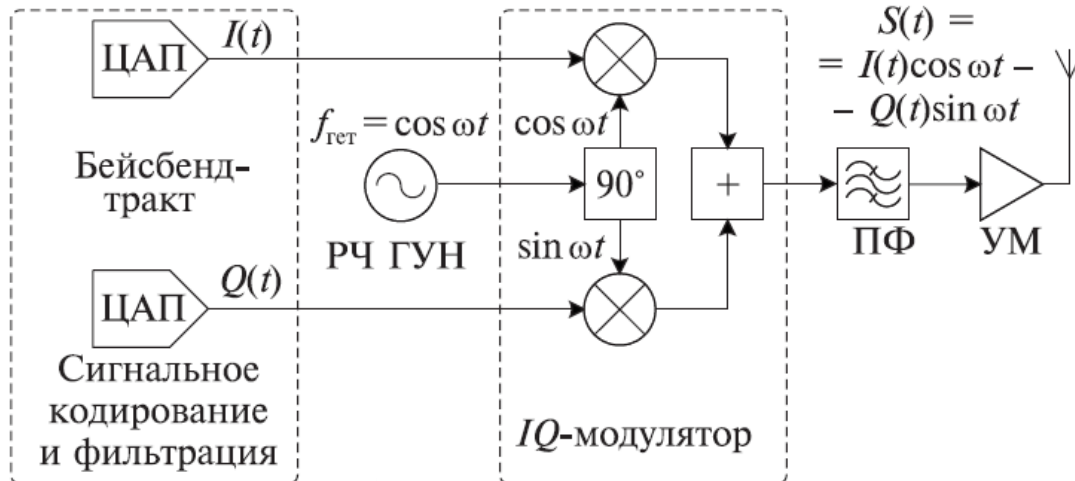
Общая схема

с прямой модуляцией РЧ генератора



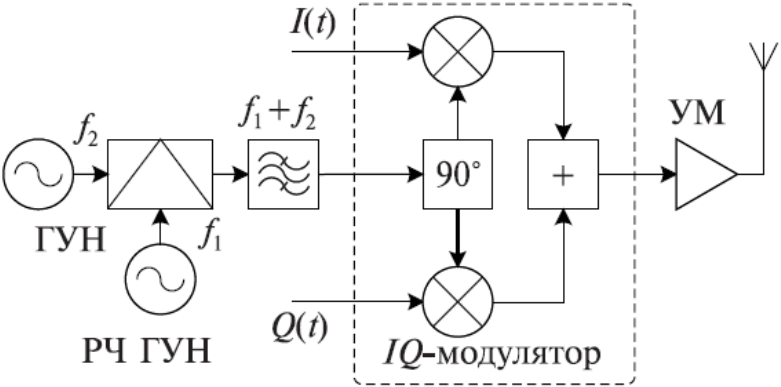
Схемы с угловой модуляцией в петлях ИФАПЧ

с прямой квадратурной модуляцией

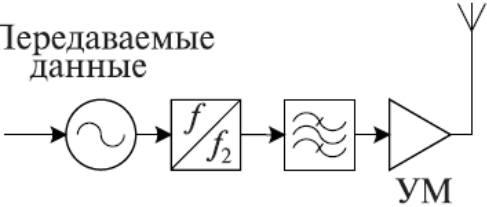


- + простота, технологичность, малые масса, габариты, потребляемая мощность; нет побочных составляющих из-за преобразования частот
- затягивание частоты ГУН, влияние УМ и нагрузки на качество сигнала. Просачивание сигнала ГУН на вых. в схеме с квадр. модуляцией

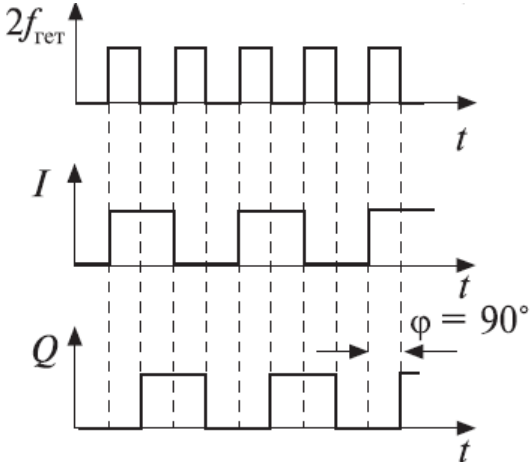
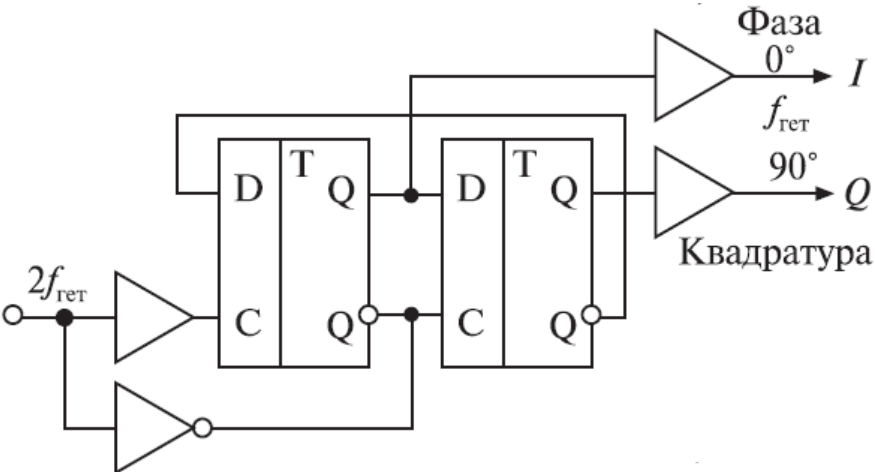
Схемы с преобразованием частоты



Сдвиг частоты ГУН



Модуляция на удвоенной частоте с делением (только для угловой модуляции)



Использование ГУН с $f = 2f_{\text{гет}}$ для формирования квадратур на частоте $f_{\text{гет}}$

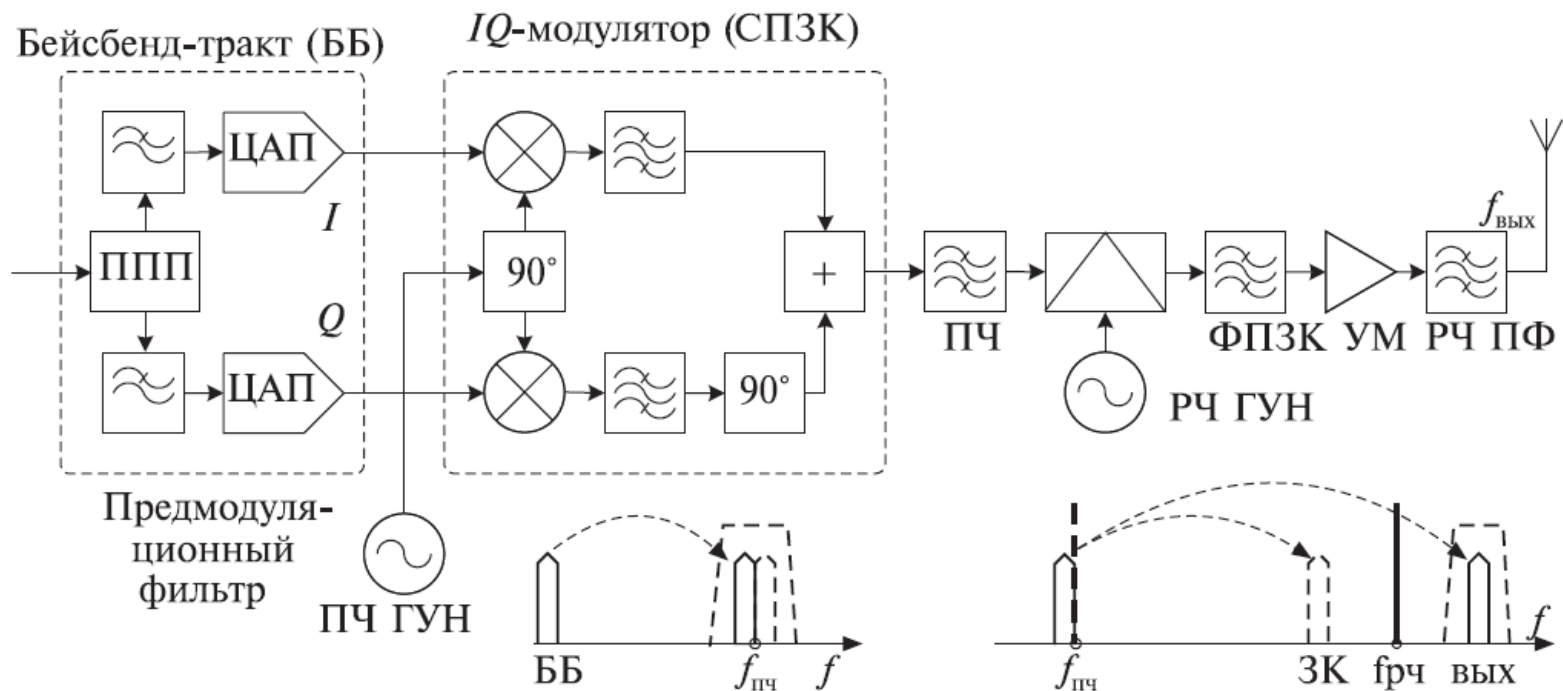
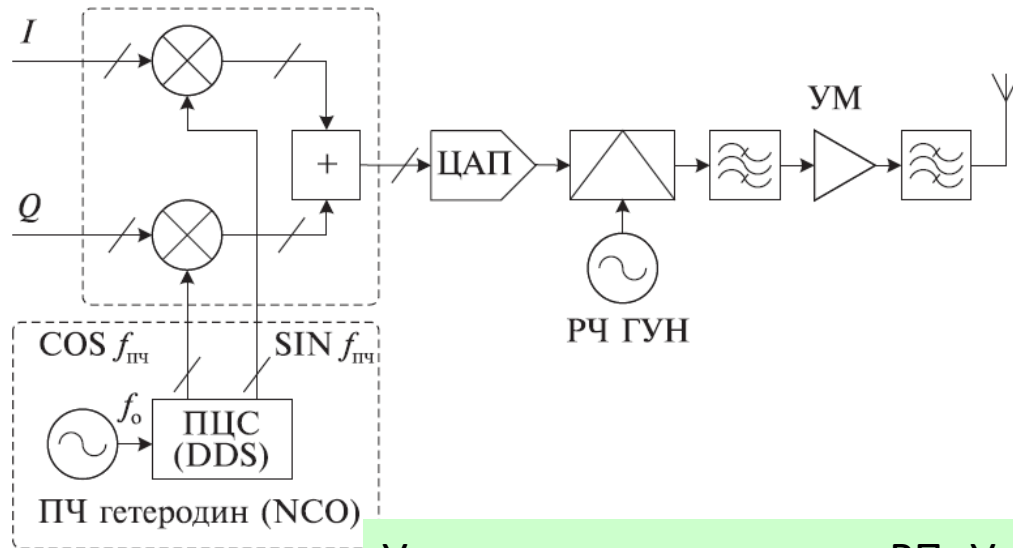


Схема с двойным преобразованием по частоте

- + модуляция на фиксированной ПЧ (обычно несколько сотен МГц). При умеренном энергопотреблении - высокая идентичность каналов I и Q , высокое качество сформированных сигналов;
- ↙ утечка сигналов гетеродинов. Нет затягивания частоты гетеродина
- использование внешних полосовых фильтров для подавления побочных составляющих. Не технологична - нельзя выполнять РЧ блок в виде ИМС;
- хуже спектр из-за недостаточного подавления побочных сигналов - продуктов ПЧ;
- необходим дополнительный гетеродин и вторая петля ФАПЧ с низкими фазовыми шумами.

Передатчики с цифровой ПЧ (Digital IF Transmitter)



Модуляция и перенос сигнала на частоту производятся в цифровой форме.

Гетеродин - прямой цифровой синтезатор (ПЦС) частот **DDS** (Direct Digital frequency Synthesizer),

+ возможность формирования сигналов с очень сложными видами модуляции при высоком качестве.

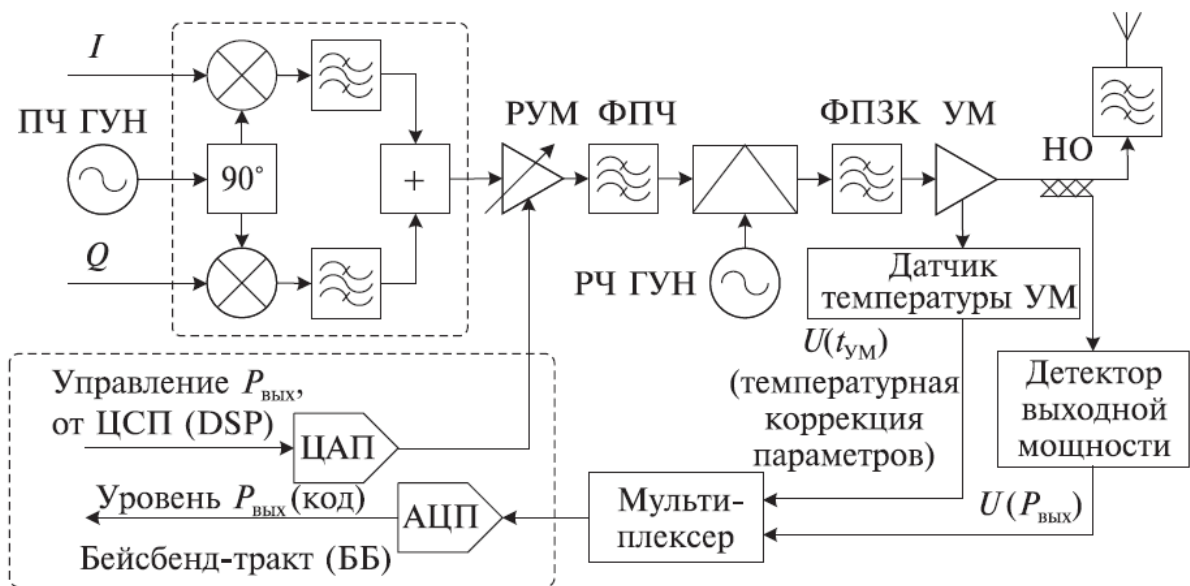
-- ↑ массогабаритные показатели, стоимость и энергопотребление.

Управление мощностью РПДУ

Стандарт/технология	Модуляция	Ширина канала, МГц	$P_{\text{вых}}$, дБм/Вт	Диапазон регулировки $P_{\text{вых}}$, дБ
AMPS	FM	0,03	28/0,63	25
ANSI-136	$\pi/4$ -DQPSK	0,03	28/0,63	35
GSM	GMSK	0,20	33/2	30
GPRS	GMSK	0,20	33/2	30
EDGE	$3\pi/8$ -8PSK	0,20	27/0,5	30
UMTS	HPSK	5		80
WCDMA	HPSK	3,84	24/0,25	80
IS-95B	OQPSK	1,23	24/0,25	73
cdma2000	HPSK	1,25	24/0,25	80
Bluetooth	GFSK	1	20/0,1	—
802.11b	QPSK	11	20/0,1	—
802.11a/g	OFDM	18	20/0,1	25
WiMax	Адаптивная	1,5...20		50
LTE	Адаптивная	1,4...20	61; 64 (BC); 23 (MC)	20 (BC); 63 (MC)
Tetra	$\pi/4$ -DQPSK	0,025	36	45

Мощности РПДУ в СМС пошагово изменяются под управлением базовых станций в заданном диапазоне

диапазон управления должен превышать требуемый на 10...12 дБ для компенсации вариации параметров при изменении температуры, частоты, режима работы

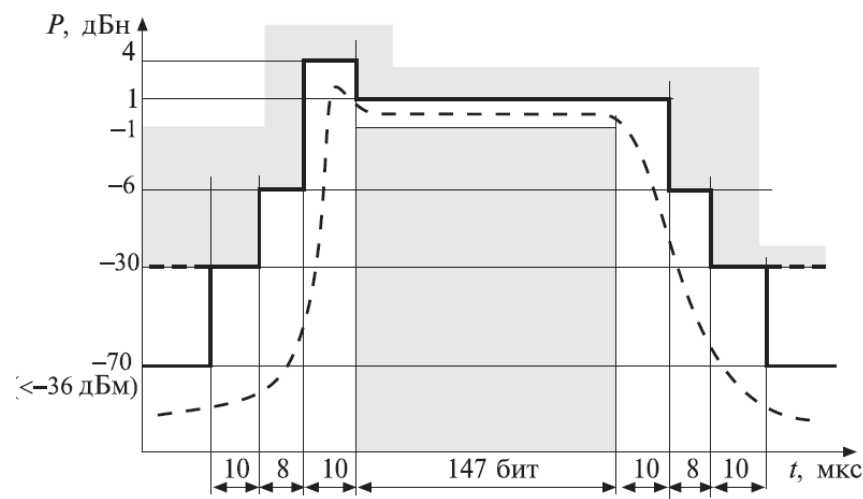


Управление выходной мощностью передатчика СМС

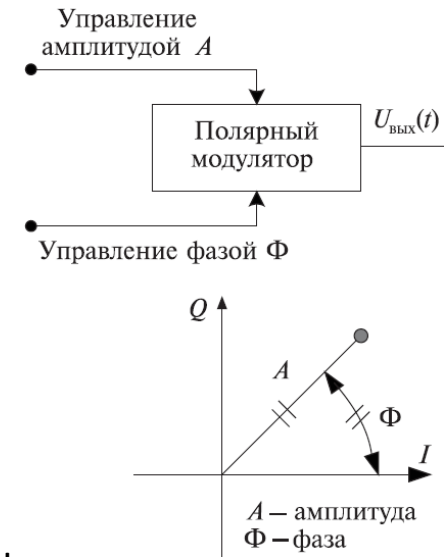
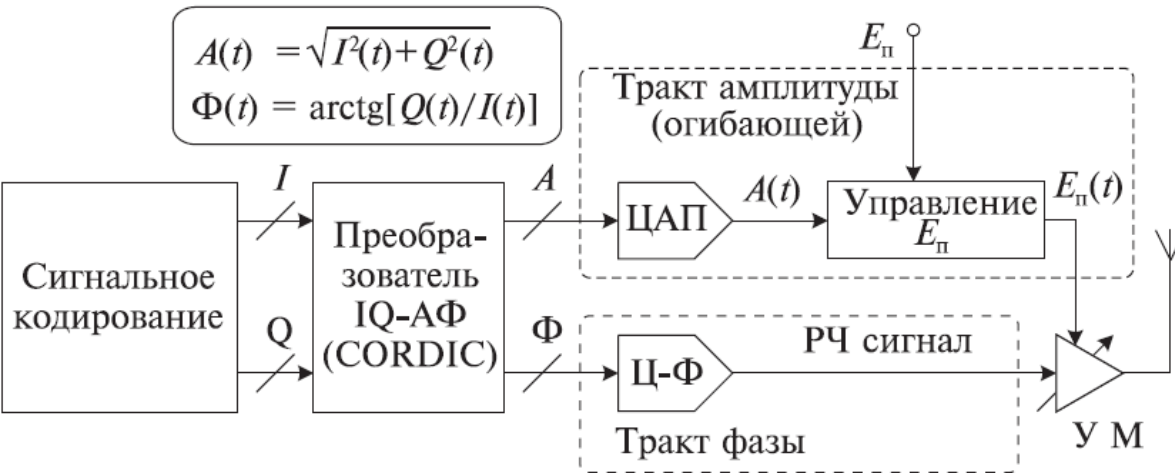
Динамическая регулировка (Dynamic Control) выходной мощности передатчика в СМС с **TDMA**

путем плавной коммутации или *рампинга* (Ramping) усилителя мощности передатчика

Временная маска сигнала БС системы GSM

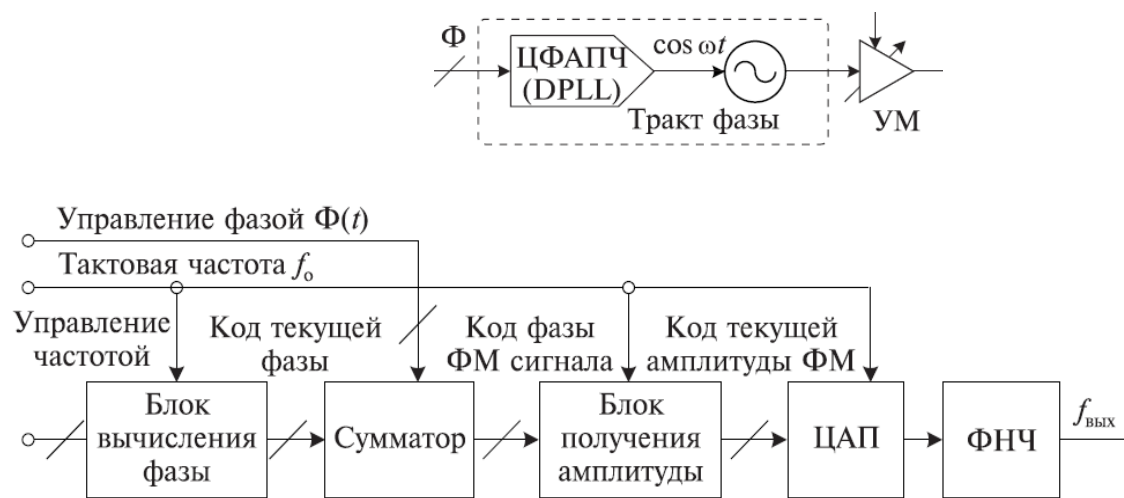
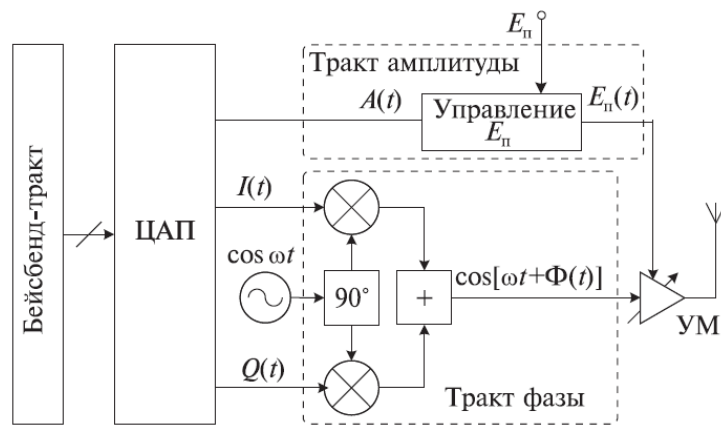


Передатчики с полярной модуляцией



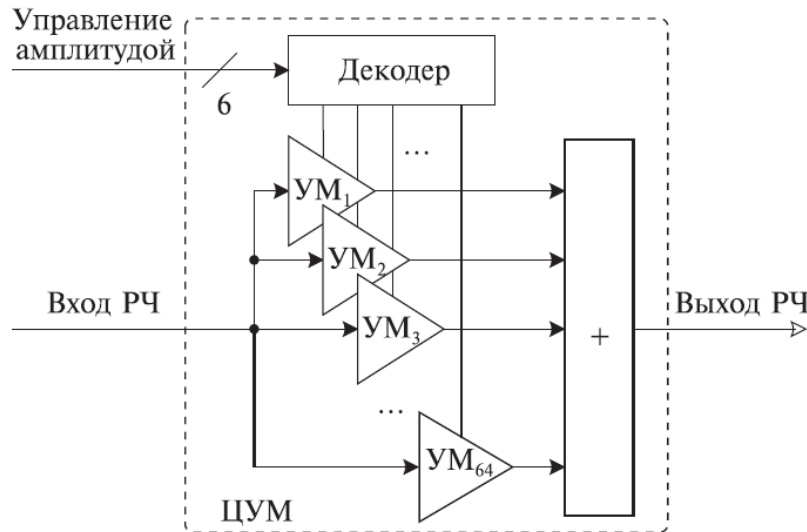
Обобщенная схема передатчика с полярной модуляцией (Polar transmitter)

модификация метода Кана - исключения и восстановления огибающей (Envelope Elimination and Restoration, EER). Возможность получения высоких значений **КПД** и линейности



Фазовый модулятор на основе ПЦС

Цифровые усилители мощности ЦУМ, Digital Power Amplifier, DPA)



Используются как ячейки равного усиления, так и бинарные (двоичные) ячейки - суммируется ряд мощностей $P, 2P, 4P, 8P$ и т. д.

Пример.

битовые комбинации:

от $\{A5, A4, A3, A2, A1, A0\} = \{000000\} - P_{\text{вых}}=0$

До $\{A5, A4, A3, A2, A1, A0\} = \{111111\} - P_{\text{вых}}=\text{max}$
(включены все 64 усилителя).

Цифровой термальный код - *термокод* (Digital Thermal Code, DTC):

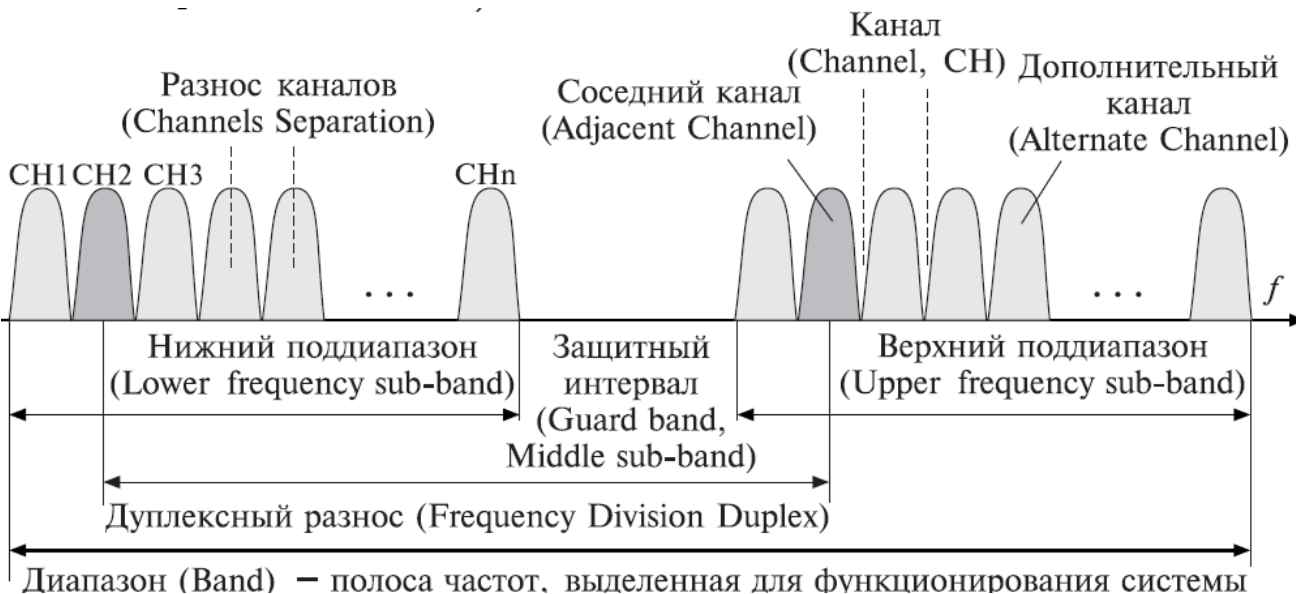
«1» в выходном коде увеличивается, начиная с младшего разряда, по мере увеличения выходной мощности:

- 0 Вт — 00000;
- 0,1 Вт — 00001;
- 0,2 Вт — 00011;
- 0,3 Вт — 00111; и т. д

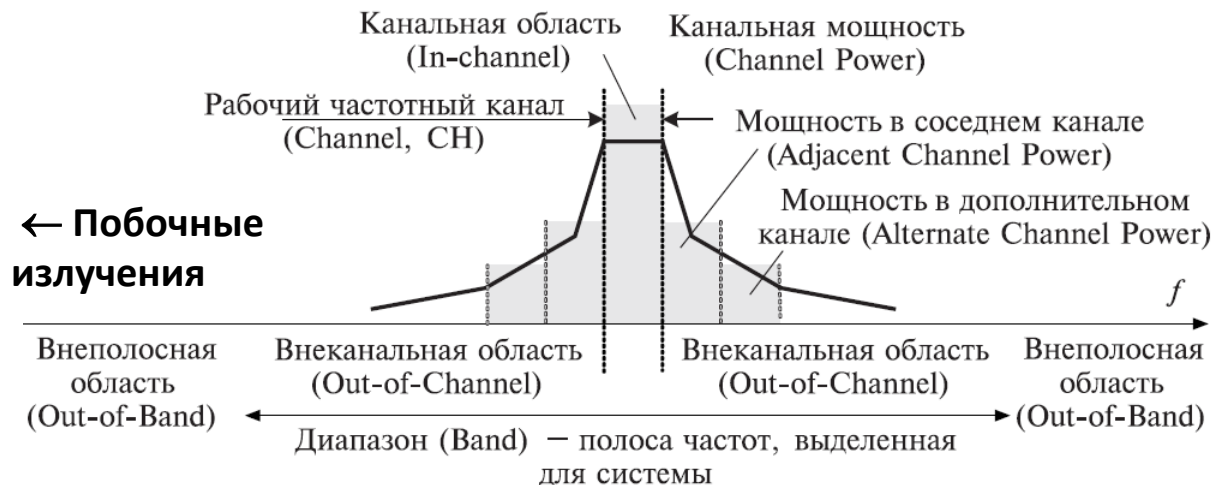
Преимущество - при повышении выходной мощности, подключенный элементарный усилитель остается в таком состоянии — однажды появившаяся в соответствующем разряде единица не меняется. Минимум коммутаций и помех.

Основные показатели качества передатчиков мобильной связи

Частотные и спектральные характеристики

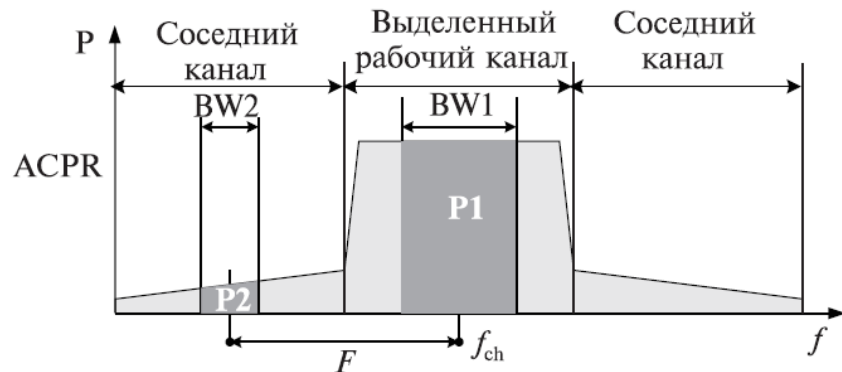


Определены нормативными документами
Международного союза электросвязи (ITU),
документами 3GPP,
стандартами ETSI



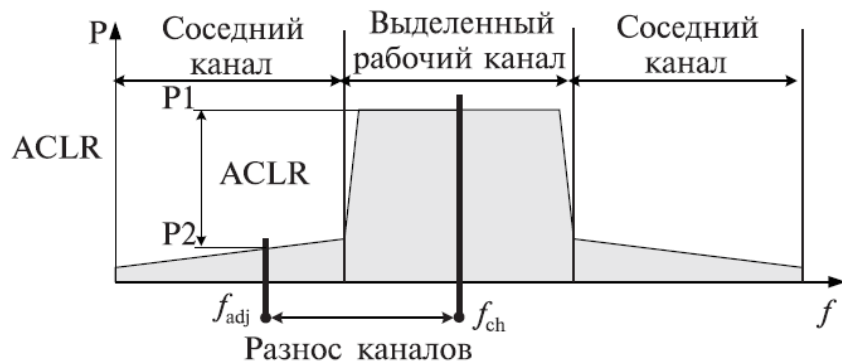
Побочное излучение
(Spurious emissions) –
излучения на высших гармониках
и паразитные излучения,
интермодуляционные
продукты и продукты
преобразования частот
(не
включают внеполосное излучение).

Коэффициенты ACPR и ACLR

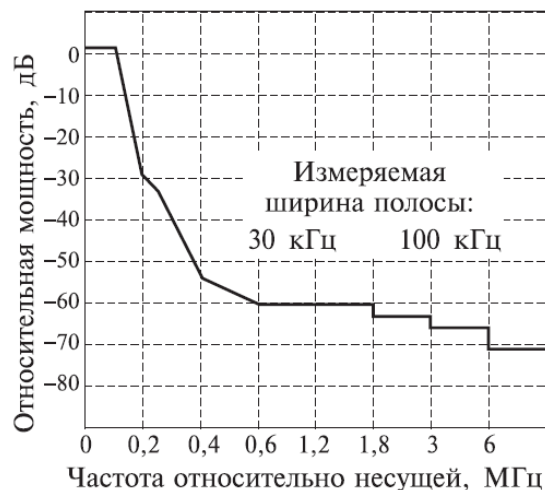


ACPR (Adjacent Channel Power Ratio)— мера расширения спектра формируемого сигнала, паразитного попадания сигнала в соседние каналы.

Мера совокупного эффекта нелинейности, фазового шума, помех, наводок и т.д., приводящих к расширению спектра.



ACLR (Adjacent Channel Leakage power Ratio)— (отношение) мощности, просачивающейся в соседний канал. В 3GPP стандартах WCDMA

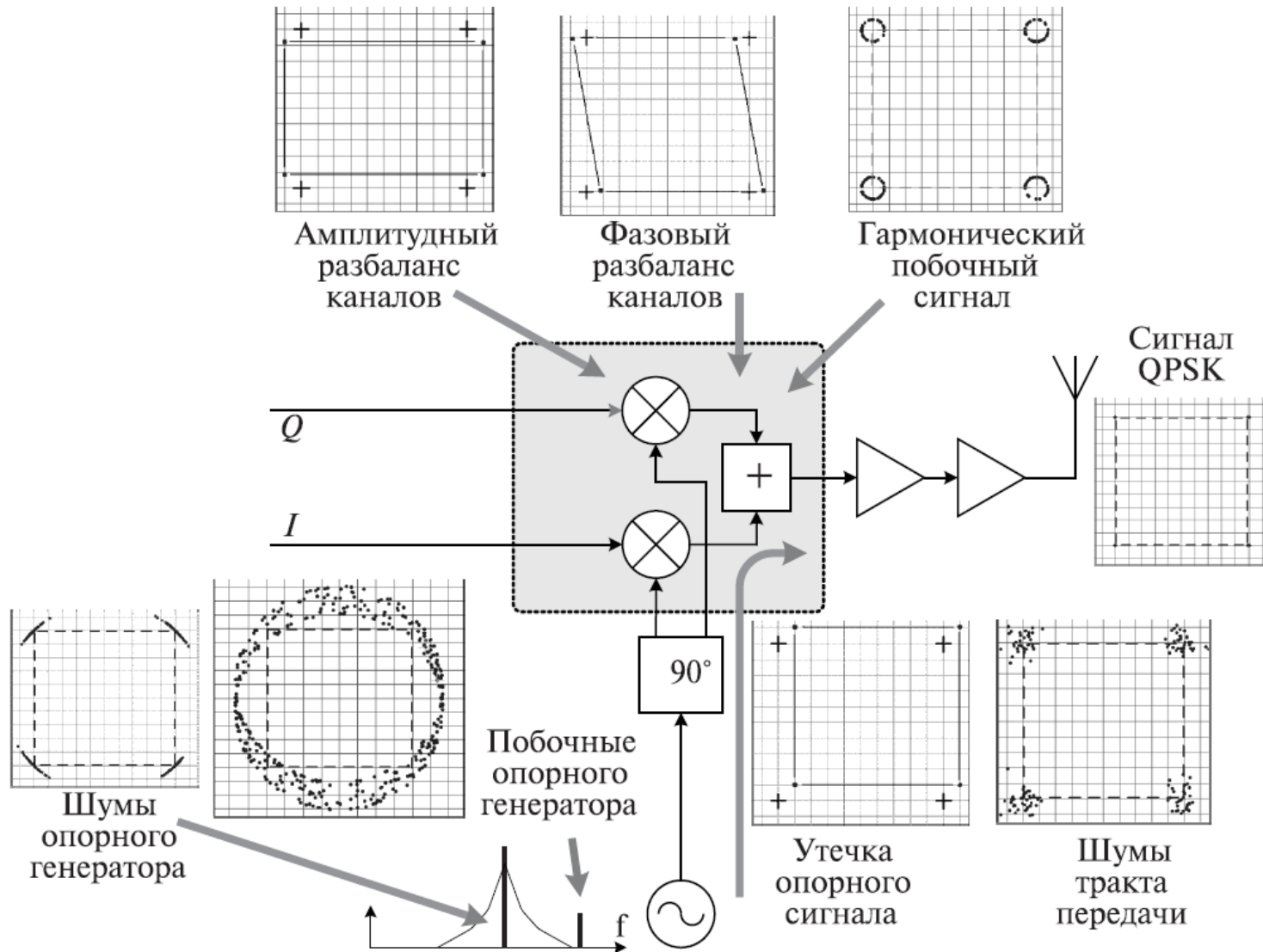


Спектральная маска передатчика (Spectral Mask, Spectrum Emission Mask, SEM) определяет предельный уровень мощности при определенных расстройках (сдвигах) относительно центральной (канальной) частоты, в децибелах относительно уровня сигнала на несущей [дБн, dBc] или относительно максимального уровня сигнала в канале.

← Пример **Спектральной маски** для стандарта GSM

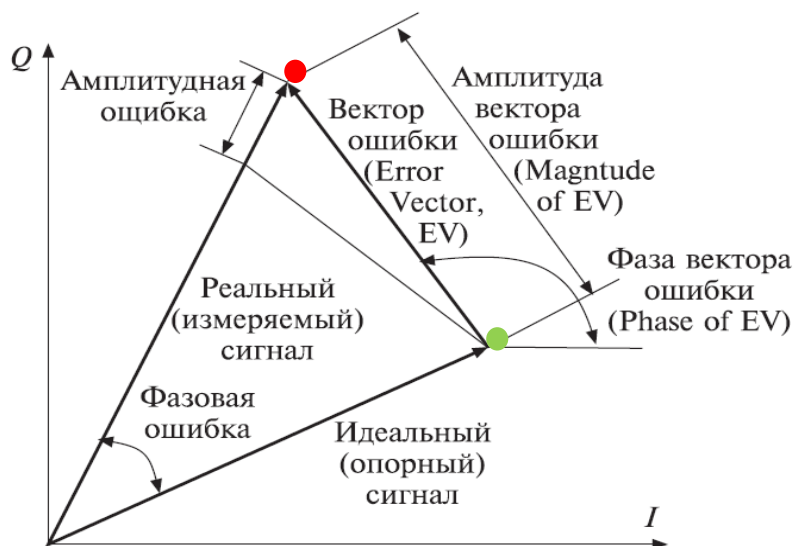
Оценка качества модулированных сигналов

любое нарушение в работе трактов формирования и обработки модулированного сигнала, приводит к нарушениям вида (целостности) сигнального созвездия



Оценка качества модулированных сигналов

Количественным показателем качества модуляции в цифровых СМС является величина вектора ошибки **EVM** (Error Vector Magnitude)



Так как амплитуда векторов в сигнальном созвездии может быть различной, EVM нормализуется относительно средне-квадратичного значения (root-mean-square, rms) мощности символа

$$\text{EVM} = \frac{\text{rms(вектора ошибки)} \times 100 \%}{\text{rms(мощности символа)}}$$

Регулярные искажения созвездия: смещение постоянной составляющей, амплитудный и фазовый разбаланс и т. п. при измерении величины EVM не должны учитываться, т.к. могут быть скомпенсированы

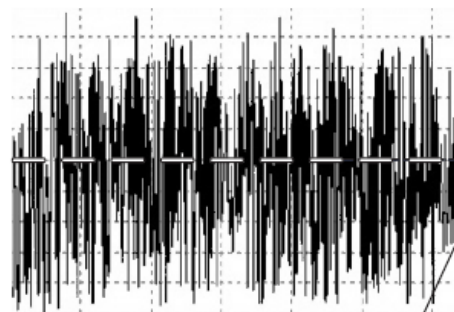
Стандарт	RMS EVM, %	Интервал измерений	Документ
GSM (EDGE) UMTS	Для мобильных станций < 9; для базовых станций < 7 < 17,5	200 пакетов Один таймслот	ETSI EN 300 910 (GSM 05.05), 4.8.2.1, Annex G Раздел 6.8.2.1 в 3GPP TS 25.102, TS 25.104; TS 34.122, B.2.7.1
Tetra 802.11a	< 10 Пиковое значение: 30 5,6...56 (зависит от скорости передачи данных, см.	Пакет По крайней мере, 20 кадров	ETSI EN 300 392-2, 6.6.1.2 IEEE Standard 802.11a, Part 11
ZigBee (802.15.4)	< 35	1000 чипов	IEEE Standard 802.15.4-2003, 6.7.3

Двухточечный и одноточечный методы измерения EVM



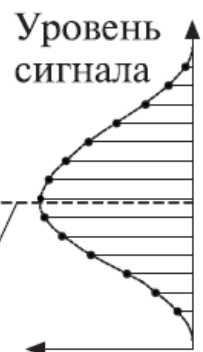
Статистические характеристики и параметры РЧ сигналов

Временное представление сигнала



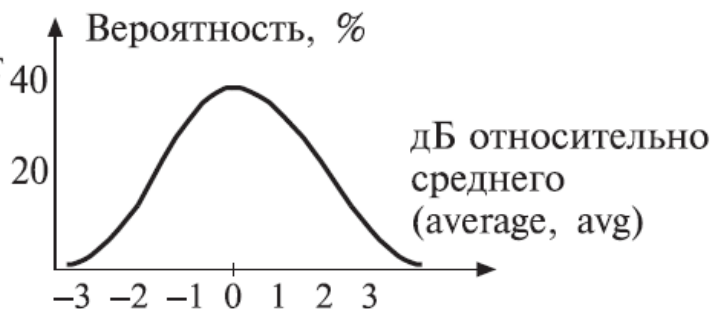
Средний уровень сигнала (average, avg)

Гистограмма

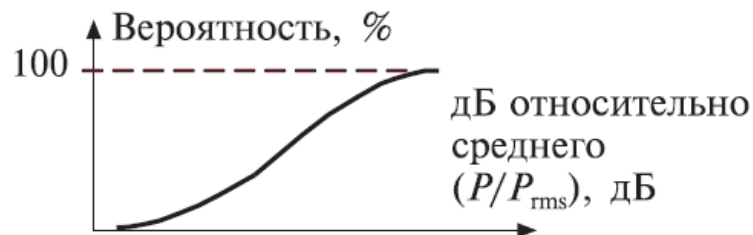


Поворот

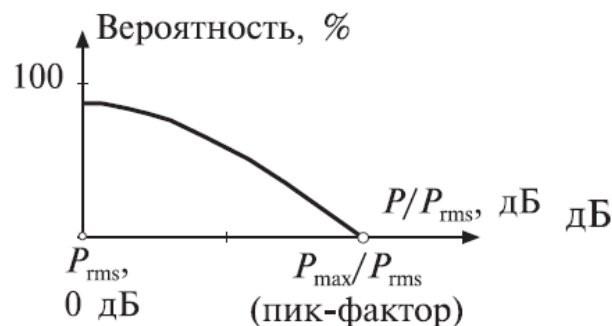
Функция плотности вероятности PDF (Probability Density Function)



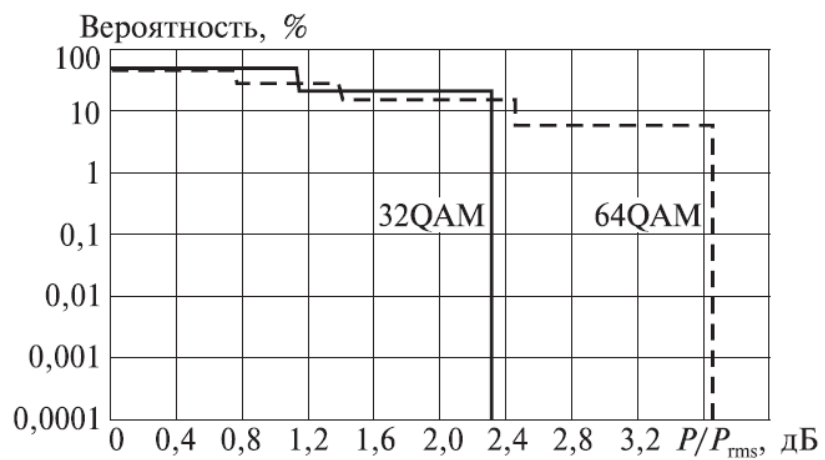
$$\int \text{PDF, дБ} = \begin{cases} \text{Интегральная функция распределения} \\ \text{CCDF} \end{cases}$$



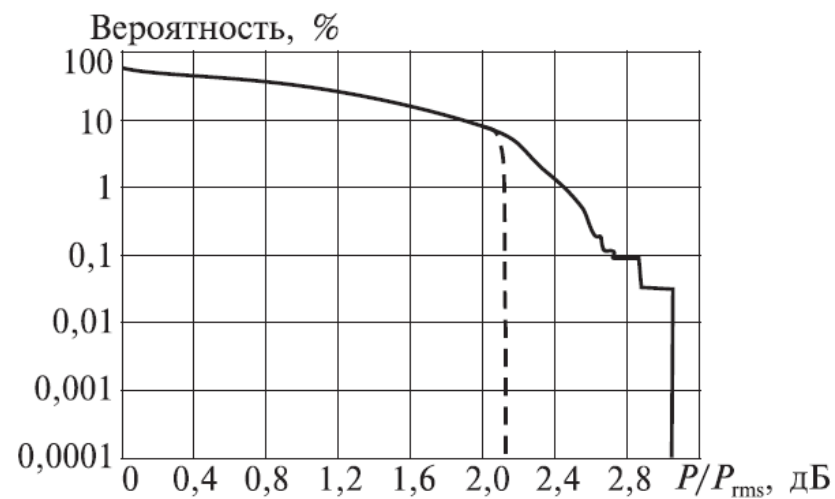
$$1 - \text{PDF} = \begin{cases} \text{Дополняющая (комплиментарная) интегральная функция распределения} \\ \text{CCDF} \end{cases}$$



Дополняющая (комплиментарная) интегральная функция распределения **CCDF** (Complementary Cumulative Distribution Function) показывает процент времени, в течение которого мгновенная мощность сигнала превышает средний уровень мощности на заданное число дБ



CCDF для 32QAM и 64QAM без
предмодуляционной фильтрации



CCDF - оценка нелинейности УМ
(ограничения) QPSK-сигнала