



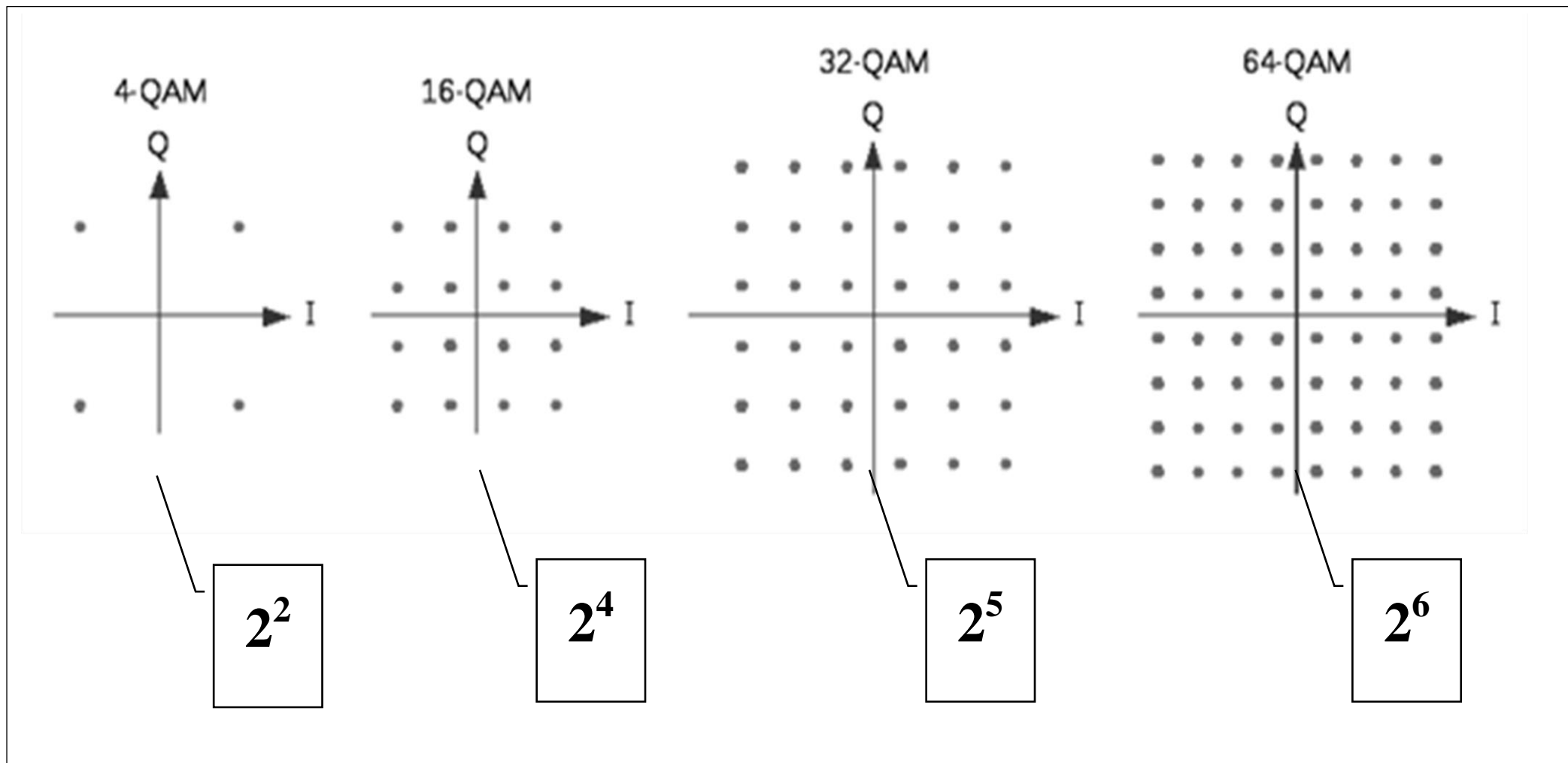
Омский Государственный
ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

СПОСОБ ВЫСОКОПОМЕХОУСТОЙЧИВОЙ
КВАДРАТУРНОЙ ВНУТРИИМПУЛЬСНОЙ
ФАЗОВОЙ МОДУЛЯЦИИ
(КВИФМ)

Д.т.н., профессор ОмГТУ Хазан Виталий Львович

В настоящее время в различного рода системах связи широко используется способ квадратурной амплитудной модуляции (КАМ)

СОЗВЕЗДИЯ КАМ

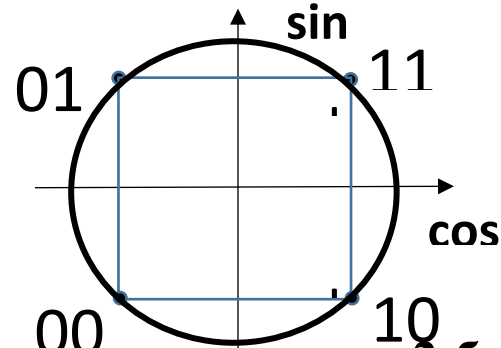


НЕДОСТАТКИ КАМ

- 1. Так как при передаче сообщений амплитуда сигнала все время меняется от максимального до минимального значения, то это приводит к энергетическим потерям в среднем порядка 6 дБ.**
- 2. При передаче сообщений с высокой скоростью существенно возрастает вероятность ошибок, поскольку с увеличением скорости передачи сообщения уменьшается векторное расстояние между соседними вершинами сигнального созвездия.**
- 3. Одиночные импульсы с КАМ невозможно передавать в режиме ППРЧ, поскольку для декодирования информации при КАМ необходимо знать начальную фазу радиоимпульса, которая в каждом одиночно принимаемом импульсе является неопределенной. В системах с КАМ для определения начальной фазы предварительно всегда необходимо передавать преамбулу, которая содержит информацию о начальной фазе несущего колебания.**

У КВИФМ ОТСУТСТВУЮТ ВСЕ ЭТИ НЕДОСТАТКИ!

ДВОЙНАЯ ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ФАЗОВАЯ МАНИПУЛЯЦИЯ (ДОФМ) СООТВЕТСТВУЕТ ПЕРВОМУ СОЗВЕЗДИЮ КАМ (2^2)



При ДОФМ одним радиоимпульсом передается 2 бита сообщения. Это возможно благодаря тому, что один бит передается манипуляцией фазы одной квадратуры текущего радиоимпульса относительно начальной фазы этой квадратуры предыдущего радиоимпульса, а второй бит передается манипуляцией фазы второй квадратуры этого радиоимпульса относительно начальной фазы этой квадратуры предыдущего радиоимпульса.

Однако посредством ДОФМ индивидуальным одиночным радиоимпульсом невозможно передать ни одного бита сообщения, поскольку не известна начальная фаза колебания. В связи с этим, методом ДОФМ передавать сообщение в режиме ППРЧ возможно лишь в виде кодовых комбинаций с первым опорным элементом, что приводит к определенным энергетическим потерям и снижению скорости передачи сообщения.

Нужно отметить также тот факт, что в каналах с переменными параметрами минимально допустимая скорость передачи сообщений методом ДОФМ ограничена. В КВ каналах связи при передаче сообщений методом ОФМ и ДОФМ обычно используется скорость манипуляции выше 100 Бод. Если необходимо передавать сообщение по каналу связи с переменными параметрами с высокой помехоустойчивостью то на низких скоростях манипуляции (ниже 100 Бод) обычно используется метод частотной манипуляции. При этом в режиме ППРЧ на отдельно взятой частоте, как правило, передается одна, или большее количество отдельно взятых кодовых комбинаций.

ПРЕИМУЩЕСТВА КВИФМ

При КВИФМ, в отличие от КАМ и ДОФМ, одним индивидуальным радиоимпульсом (с внутриимпульсной фазовой манипуляцией) возможно передавать достаточно большое количество бит с высокой достоверностью. Это возможно благодаря тому, что передача каждого импульса производится с одной и той же максимально возможной амплитудой а фильтр основной избирательности рассчитан на длительность самого радиоимпульса и имеет предельно возможную узкую полосу пропускания.

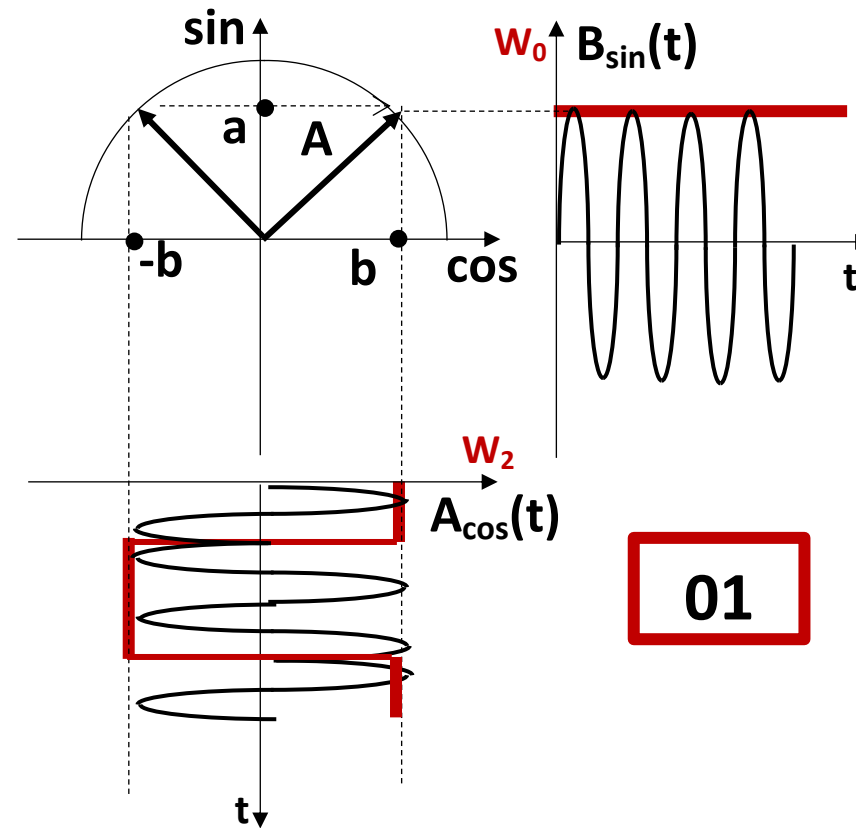
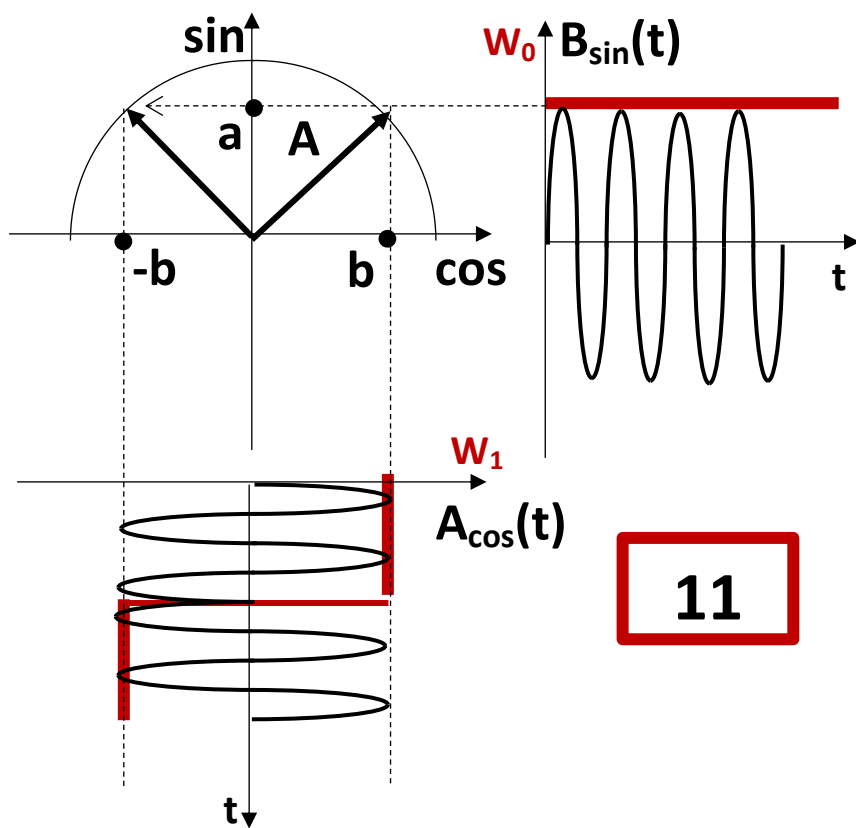
Каждый отдельный радиоимпульс содержит в себе передаваемую информацию, которая закладывается в конкретные формы взаимно ортогональных бинарных последовательностей, манипулирующих начальными фазами квадратур передаваемого радиоимпульса. Используя КВИФМ возможно одним радиоимпульсом передавать достаточно большое количество бит, которые могут представлять собой отдельные кодовые комбинации.

Например, одним радиоимпульсом возможно передавать 8 и большее количество бит. Если, например, с помощью КАМ модема передавать одним радиоимпульсом 8 бит, то необходимо использовать сигнальное созвездие, которое имеет $2^8=256$ вершин. **В этом случае КВИФМ модем выигрывает энергетически у КАМ модема, как будет показано ниже, более 20 дБ!!!**

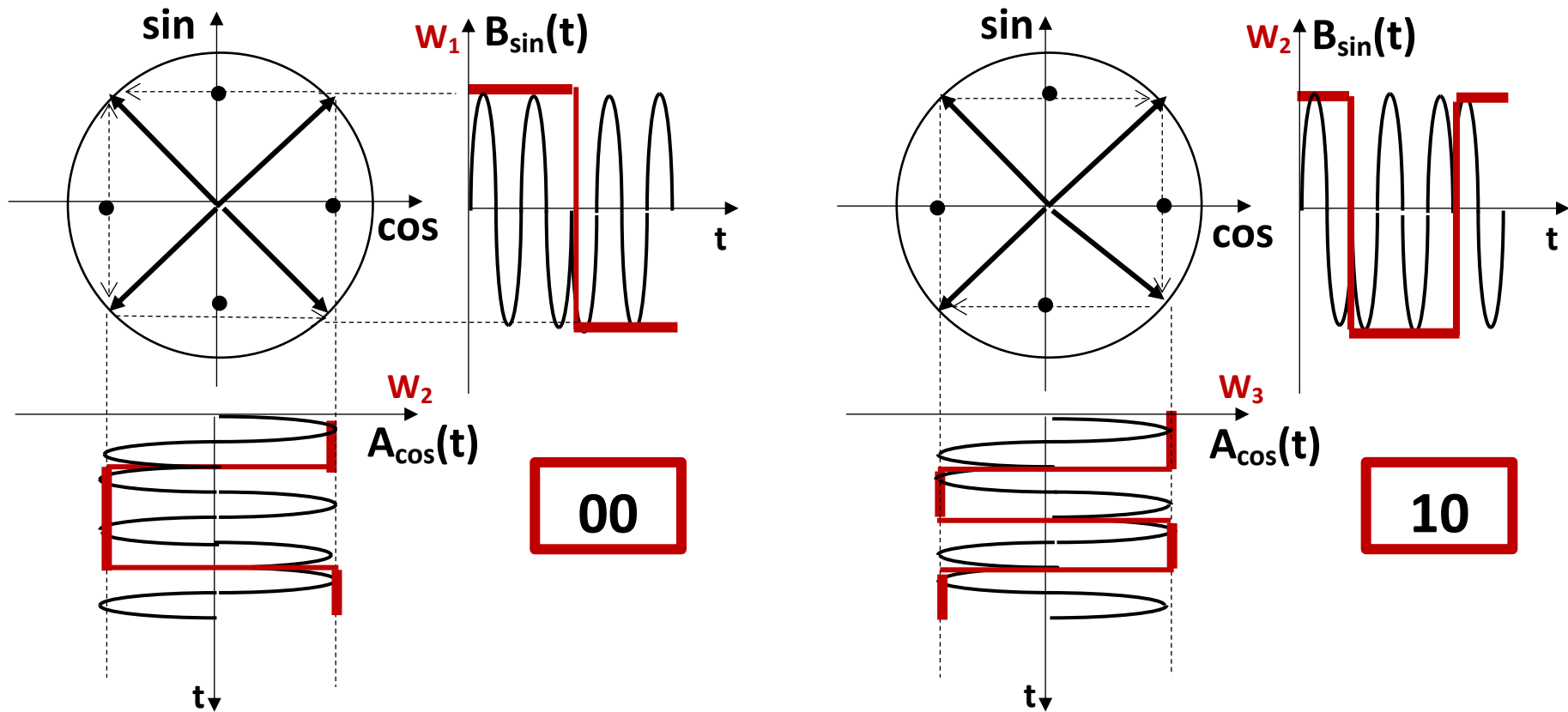
МЕТОД КОДИРОВАНИЯ СООБЩЕНИЯ В КВИФМ МОДЕМЕ

Элементы кодовой комбинации передаются различными видами взаимно ортогональных бинарных последовательностей, используемых для внутриимпульсной манипуляции фаз квадратур (например, функциями Уолша различных порядков).

ПРИМЕР КОДИРОВАНИЯ 2-Х ЭЛЕМЕНТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФУНКЦИЙ УОЛША 0-го, 1-го, 2-го и 3-го ПОРЯДКОВ



$$A = \sqrt{a^2 + b^2}$$



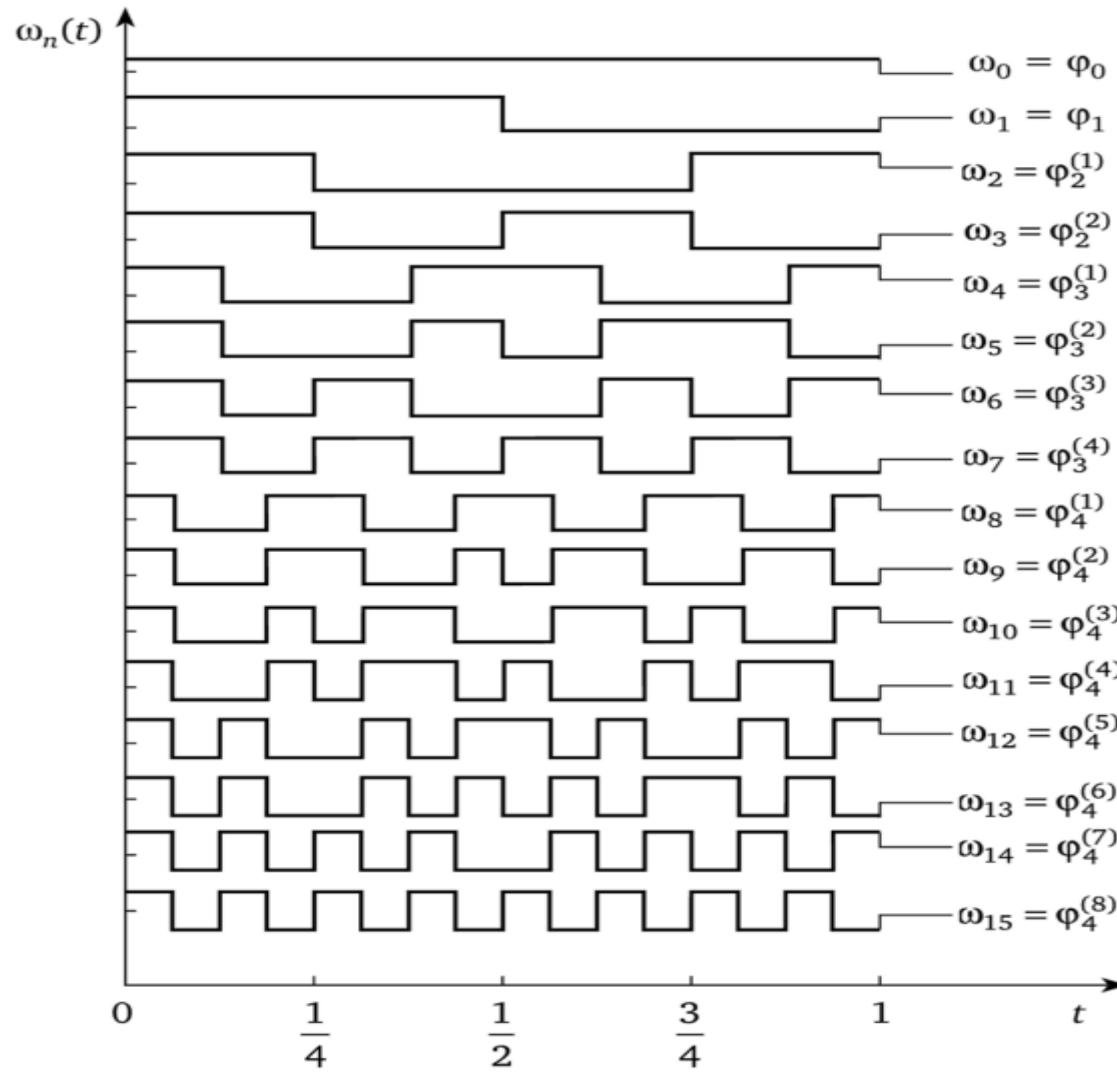
Число сочетаний из 4-х по 2 равно 6.

2 ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ КОМАНДЫ:

(W_0, W_3) – «СТАРТ»

(W_1, W_3) – «СТОП».

ФУНКЦИИ УОЛША



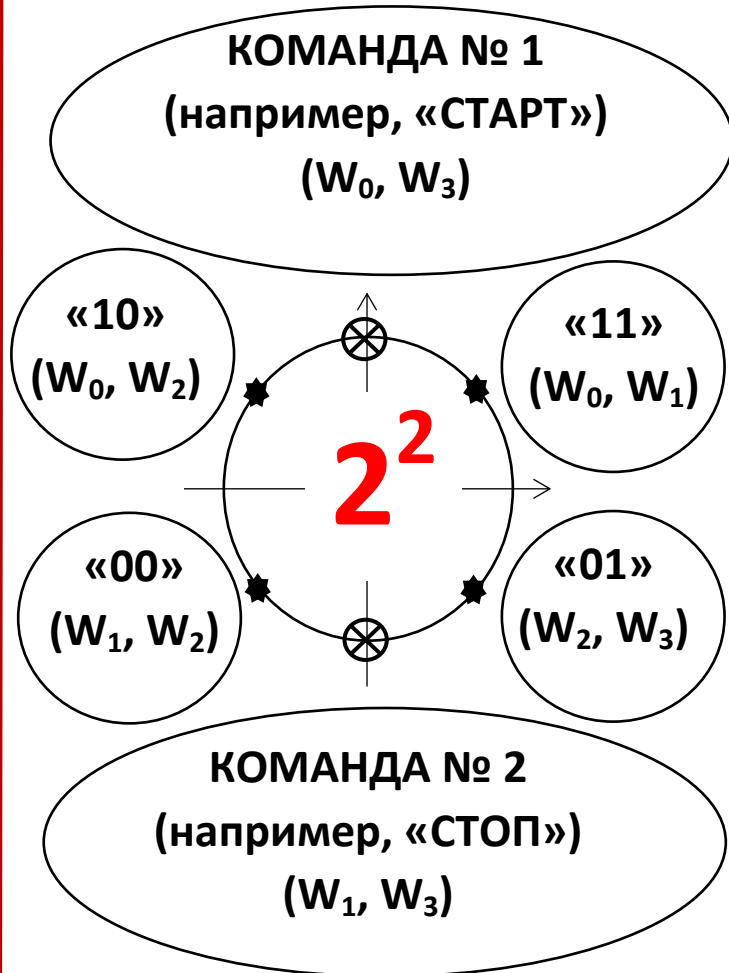
**ЗАВИСИМОСТЬ ТРЕБУЕМОГО МАКСИМАЛЬНОГО ПОРЯДКА
ФУНКЦИЙ УОЛША ОТ КОЛИЧЕСТВА ЭЛЕМЕНТОВ N ,
ПЕРЕДАВАЕМЫХ ОДНИМ РАДИОИМПУЛЬСОМ**

$$n = \text{ent}[\log_2(C_{N+1}^2)]$$

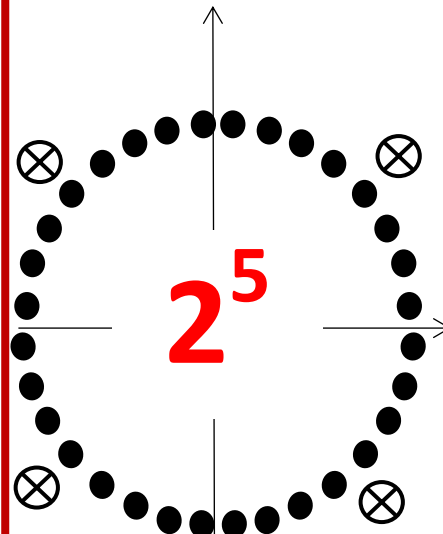
Здесь N -порядок функции Уолша,
 $\text{ent}[*]$ – целая часть числа.

Количество элементов, передаваемых одним радиоимпульсом (В скобках количество дополнительных команд)	2 (+2)	3 (+2)	4 (+5)	5 (+4)	6 (+2)	7 (+4)	8 (+20) Б А Й Т
Максимальный порядок функций Уолша N	3	4	6	8	11	16	23

СИГНАЛЬНЫЕ СОЗВЕЗДИЯ КВИФМ

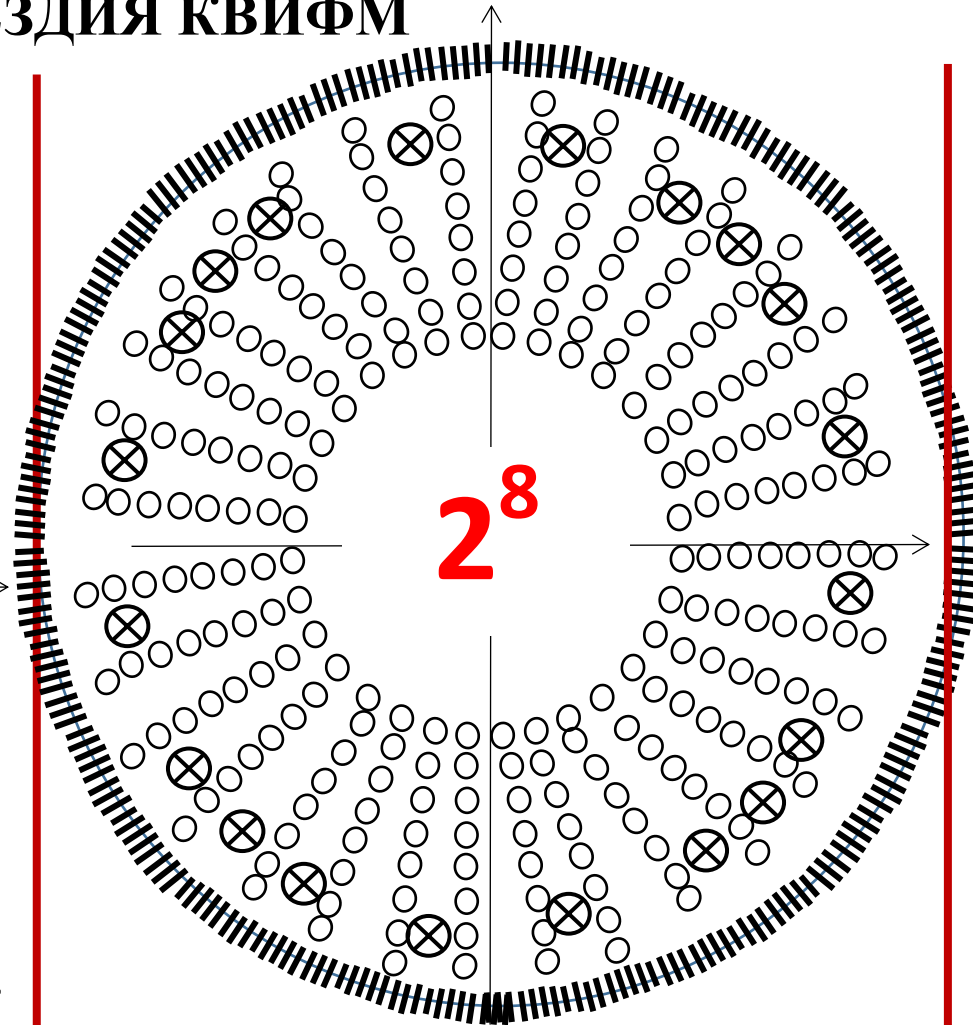


КВИФМ (4+2)
4 функции Уолша



- -5-элементные кодовые комбинации
- ⊗ -команды управления

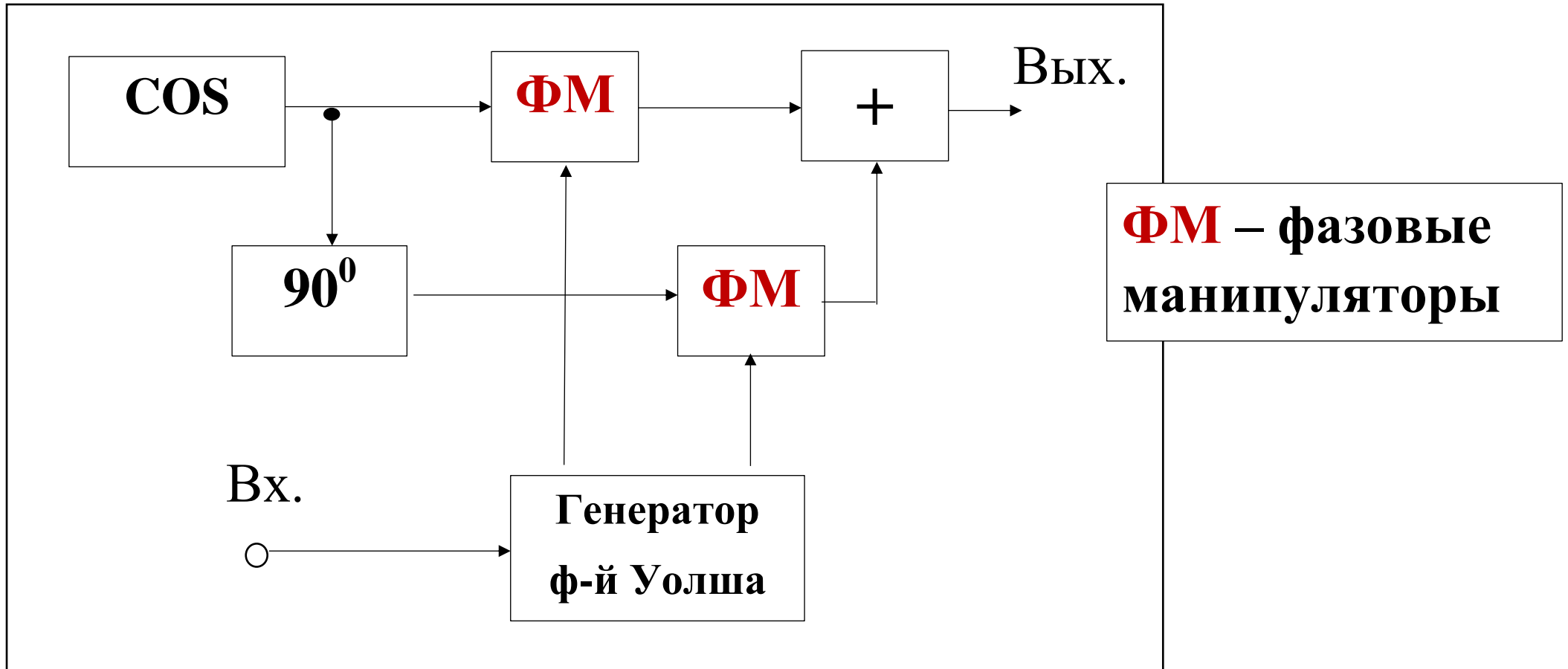
КВИФМ (32+4)
9 функций Уолша



- ⊗ и ○ -8-элементные кодовые комбинации

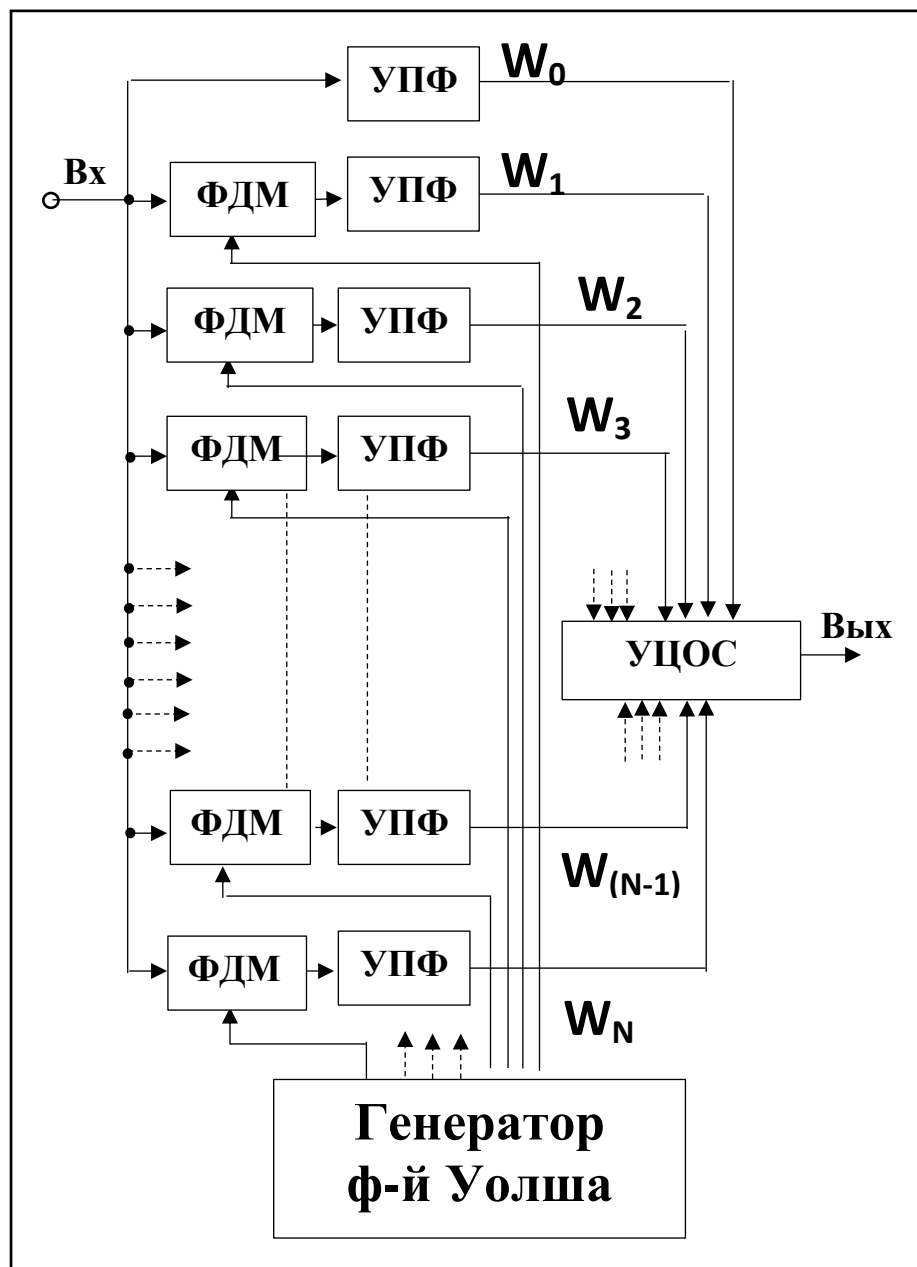
КВИФМ (256+20)
24 функции Уолша

БЛОК-СХЕМА МОДУЛЯТОРА КВИФМ



$$u(t) = W_i(t) \cdot 0.707A \cdot \cos(2\pi ft + \varphi_0) + \\ + W_j(t) \cdot 0.707A \cdot \sin(2\pi ft + \varphi_0).$$

БЛОК-СХЕМА ДЕМОДУЛЯТОРА КВИФМ



ФДМ – фазовые деманипуляторы;
УПФ – узкополосные фильтры;
УЦОС – устройство цифровой обработки сигнала.

НА ВЫХОДЕ ДЕМАНИПУЛЯТОРОВ ФАЗЫ (ФДМ) ИМЕЮТ МЕСТО СИГНАЛЫ

$$u_{\text{ДМ}}(t) = W_i(t) \cdot W_j(t) \cdot K_{\text{атт}} A \cos(2\pi f t + \varphi_{\text{пр}})$$

Известно, что произведение функций Уолша является новой функцией Уолша

$$\text{Если } i \neq j: \quad W_i * W_j = W_k;$$

$$\text{Если } i = j: \quad W_i * W_i = W_0.$$

Если умножить гармоническое колебание на функцию Уолша W_0 , то на входе УПФ будет не манипулированное гармоническое колебание, которое свободно проходит на выход УПФ, в то время, как манипулированные по фазе функциями Уолша радиоимпульсы на выходе узкополосных фильтров не вызывают никакой реакции.

Важно заметить, что число сочетаний из 24 по 2 равно $C_{24}^2 = 276$, что на 20 больше требуемого для передачи 8-элементной кодовой комбинации числа 256. Количество 20 избыточных комбинаций может быть использовано в радиолинии для адаптации ее к условиям связи, например, закреплением за некоторыми избыточными комбинациями функций Уолша команд типа: «СТАРТ», «СТОП», «ПОВТОР», «СМЕНА РЕЖИМА ПЕРЕДАЧИ СООБЩЕНИЯ» и т. п.

ОЦЕНКА ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ МОДЕМА С КФМ

Известно, что помехоустойчивость модема ЧМ при некогерентном приеме в присутствии аддитивного белого шума рассчитывается по формуле:

$$P_{\text{ош}} = \frac{1}{2} e^{-\frac{h^2}{2}}.$$

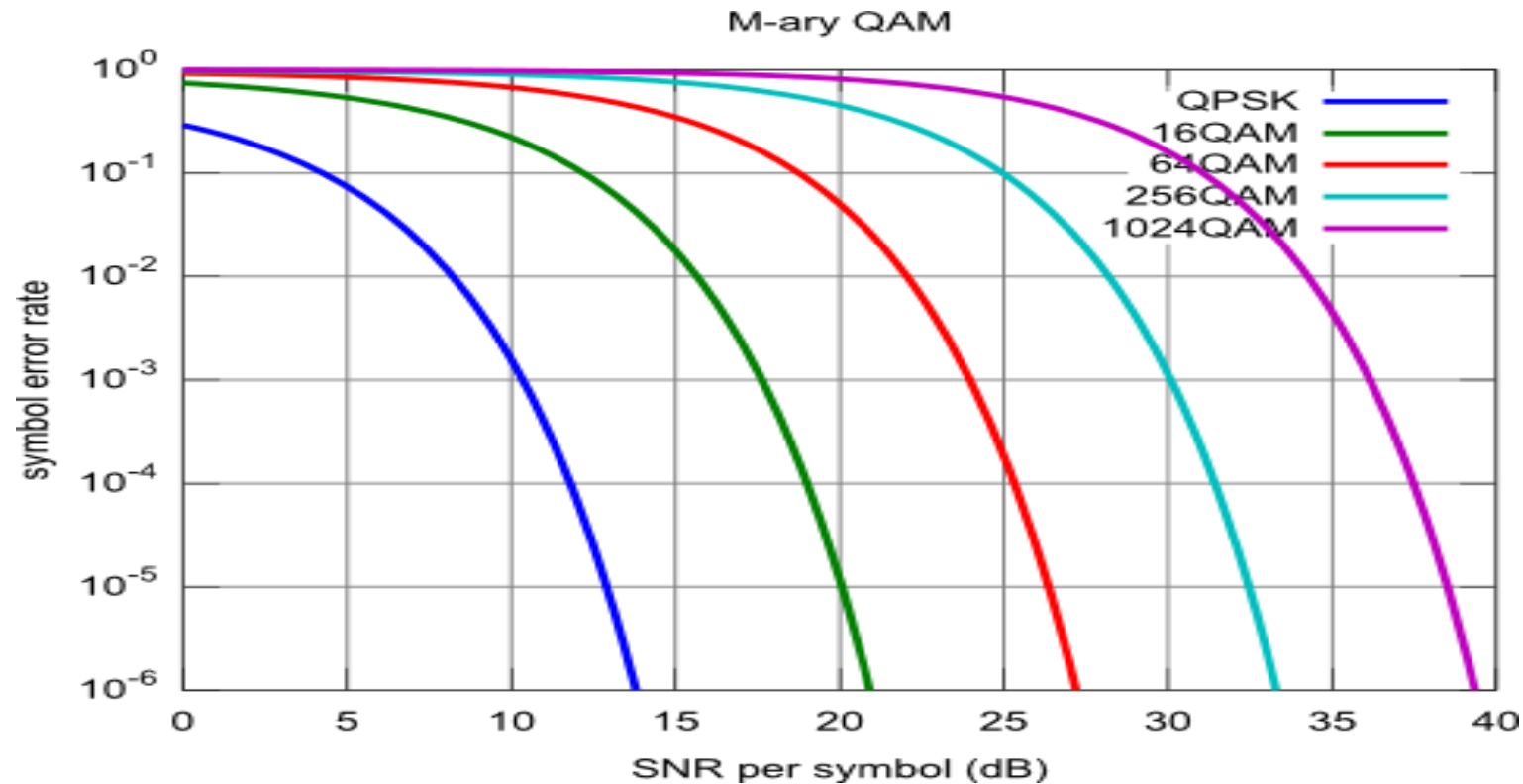
h^2 – отношение мощностей сигнала и шума на выходе фильтра основной селекции.

Поскольку КВИФМ демодулятор имеет после деманипуляции сигнала на приемном конце радиолинии фильтр основной селекции с полосой пропускания в n раз меньшей по сравнению с полосой пропускания фильтра основной селекции обычного ЧМ демодулятора, то, с учетом того, что квадратуры сигнала имеют уровень 0.707 по отношению к амплитуде сигнала, а СКО шума квадратур тоже меньше СКО шума на входе демодулятора, эквивалентное отношение мощностей сигнал/шум можно оценить как $h_{\text{КВИФМ}} = nh_{\text{ЧМ}}/2$.

В таком случае вероятность ошибочного приема фрагмента сообщения, содержащего n бит информации при КФМ манипуляции, можно рассчитать по формуле:

$$P_{\text{ош}} = \left(1 - \left(1 - \frac{1}{2} e^{-\frac{nh^2}{4}} \right)^{2(N-1)} \right)$$

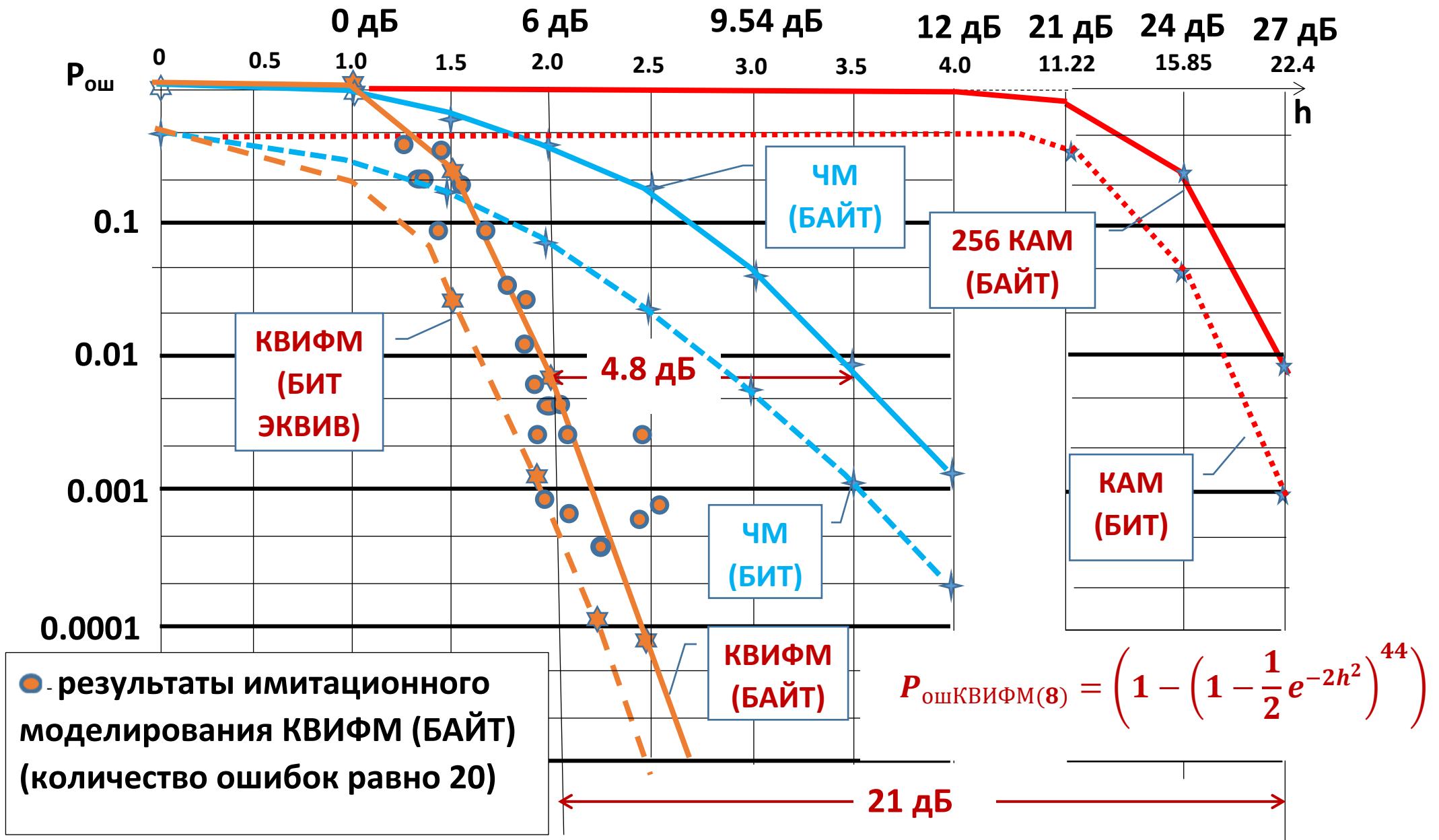
ЗАВИСИМОСТЬ ВЕРОЯТНОСТИ ОШИБОК В КАНАЛЕ СВЯЗИ С КАМ



https://yandex.ru/images/search?text=qam%20256&stype=image&lr=66&source=wiz&p=5&pos=220&rpt=simage&img_url=https%3A%2F%2Fpbs.twimg.com%2Fmedia%2FDwXk1KvUcAA0B8V.jpg

https://www.bing.com/images/search?view=detailV2&ccid=rhgdDscC&id=5CEDFE2D9C7C518B4CCB6A3E2BF4C18C76DE1510&thid=OIP.rhgdDscClltkjwThpUICnQHaGW&mediaurl=https%3a%2f%2fwww.dsprelated.com%2fblogimages%2fMarkusNen twig%2fsn_QAM%2fBER1.png&exph=412&expw=480&q=ber%20n&simid=608018625712360123&ck=74DB492E6642D3AC0CA44CD020D14722&selectedindex=166&form=IRPRST&ajaxhist=0&first=1&scenario=ImageBasicHover

ГРАФИКИ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ КАМ, ЧМ И КВИФМ МОДЕМОВ



Учитывая тот факт, что при КВИФМ автономный одиночный радиоимпульс способен передавать целиком один знак сообщения, можно утверждать, что этот метод модуляции при использовании режима ППРЧ в канале связи с переменными параметрами будет наиболее помехоустойчивым по сравнению со всеми другими известными методами модуляции.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ

КОНТАКТ:

E-mail: vlhazan@yandex.ru

Моб. тлф.: 8-962-038-92-94

Хазан Виталий Львович