

Основы передачи QAM

QAM – (Quadrature Amplitude Modulation – Модуляция методом Квадратичных Амплитуд) – это технология передачи цифрового информационного потока в виде аналогового сигнала. Это достигается путем разделения несущей волны на две несущие одинаковой частоты сдвинутые относительно друг-друга на 90° , каждая из которых промодулирована по одному из двух или более дискретных уровней амплитуды. Комбинация всех уровней амплитуды на этих двух несущих представляет собой бинарную битовую картину.

I и **Q** компоненты – это две половины битовой картины цифрового потока передаваемые одновременно, как уровни напряжения двух идентичных частотных несущих сдвинутых на 90° . Компонента **I** (incident) модулирует несущую без сдвига фазы. Компонента **Q** (quadrature) модулирует несущую со сдвигом 90° (смотри Рисунок 1).

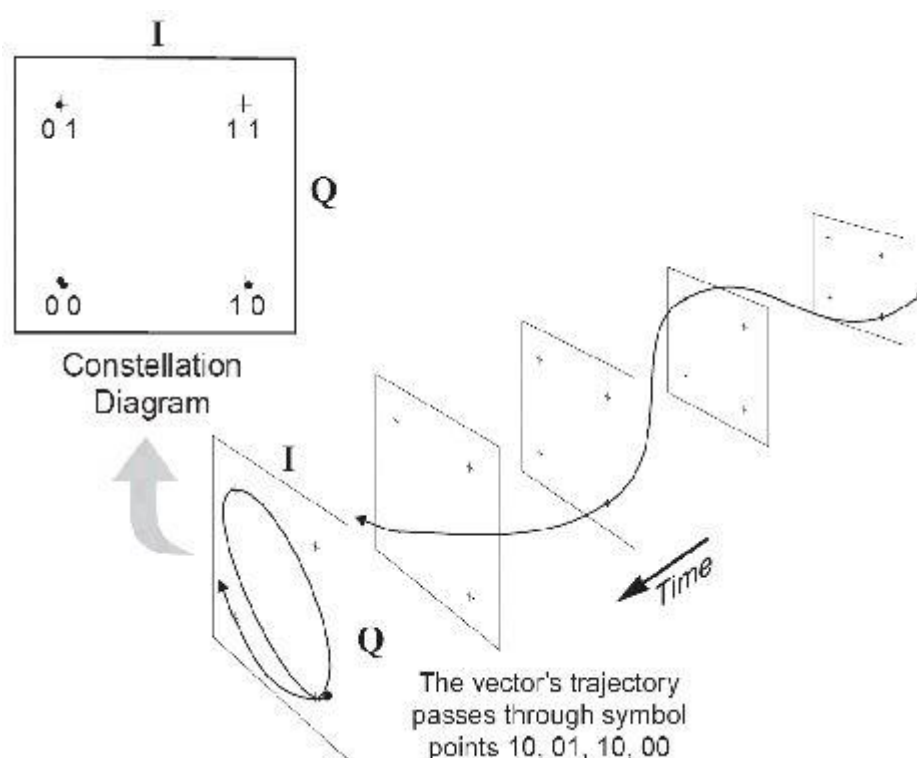


Рисунок 1: Канстелляционная диаграмма отображающая I/Q вектор. Траектория вектора, описывая кривую во времени, проходит через точки 10, 01, 10, 00.

QPSK – (Quadrature Phase Shift Keying – Кодирование методом Квадратичного Фазового Сдвига) – это простейшая форма QAM (также известная как **4-QAM**). QPSK использует две несущие одинаковой частоты, сдвинутые на 90° , и два возможных уровня амплитуды. Один уровень амплитуды соответствует 0, другой – 1 (смотри Рисунок 1).

Канстелляционная диаграмма (или диаграмма-созвездие) – это карта, или квадратная матрица, в которой уровни амплитуды **I** и **Q** компонент QAM сигнала отображены в виде значащих точек в квадратной системе координат **I** x **Q**.

Координата **I** определяет горизонтальную позицию точки, а **Q** – вертикальную (смотри Рисунок 2). Канстелляционная диаграмма в этой матрице образуется из горизонтальных и

вертикальных линий (будь то прорисованных или же просто воображаемых) соединяющих возможные значения компонент **I** и **Q**. Целочисленное значение каждой полученной точки определяется ячейкой матрицы в которую она попадает. Ошибка определяется как выпадение измеренной точки из ячейки.

16-QAM диаграмма – это 4x4 матрица, в которой каждая из 16 ячеек представляет одну из 16 возможных бинарных комбинаций. Вертикальное и горизонтальное положение каждой точки соответствует **I** и **Q** уровням амплитуды сигнала переданного за течение одного цикла. **64-QAM** диаграмма представлена на Рисунке 2.

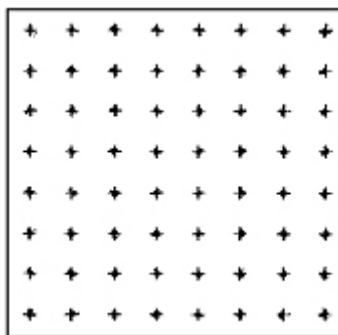
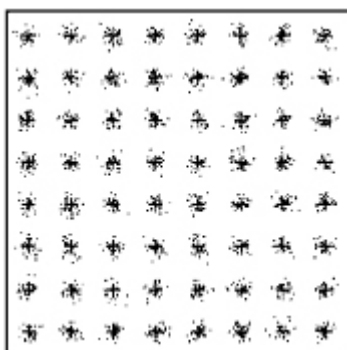


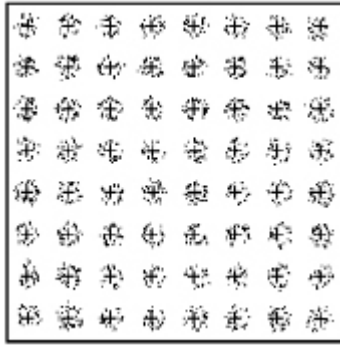
Рисунок 2: 64-QAM Конstellяционная диаграмма.

Анализ Конstellяционной диаграммы QAM

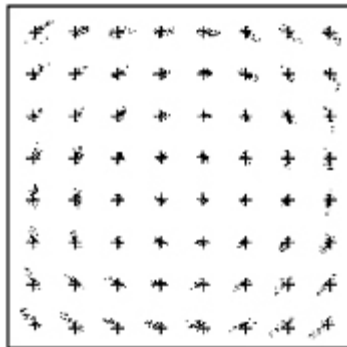
Внешний вид значащих точек в ячейках конstellяционной диаграммы может дать ключевую информацию о том что происходит при передаче сигнала. Далее приведен перечень типичных диаграмм и соответствующий им диагностика.



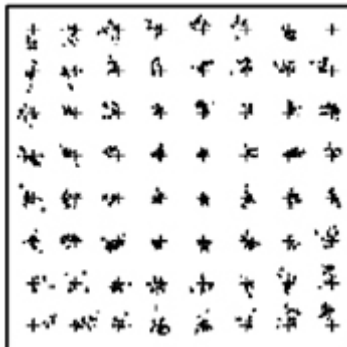
Плохое отношение Сигнал/Шум – картинка пока отличная, но дальнейшая деградация сигнала приведет к полной потере картинки. Расплывчатый образ точки занимает практически всю ячейку.



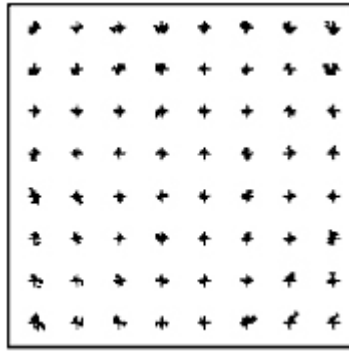
Интермодуляционная картина («шумы ингрессии») – по причине когерентного шума в каждой ячейке образуются концентрические картиннки.



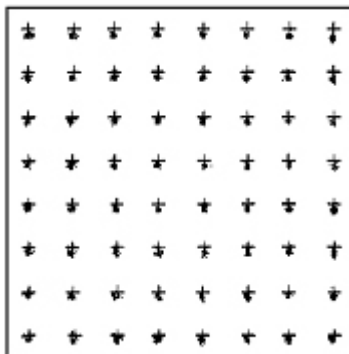
Фазовый Сдвиг – возникает из-за остаточных радиочастотных помех, которые обычно являются проблемой головного оборудования. Точки в ячейках искажены таким образом что возникает визуальный эффект сферической симметрии относительно центра диаграммы.



Нелинейность амплитудной характеристики – вызвана нелинейностью промежуточных и высокочастотных усилителей, фильтров, конвертеров и эквалайзеров. Точки сдвинуты относительно центра ячейки по осям **I** и **Q** пропорционально расстоянию ячейки от центра диаграммы.



IQ нестабильность – связана с проблемами усилителей несущей частоты, фильтров и цифровых модуляторов головных станций.



Уход несущей – является следствием дисбаланса в смесителе модулятора или наличия паразитного постоянного тока в системе передачи. Вся картинка сдвинута в одном направлении.

Требования к отношению Сигнал/Шум при высокой скорости передачи

Достоинство высоких значений номера QAM – это повышенная скорость передачи данных, поскольку таким образом большее количество битов информации может быть передано в течении одного цикла. Однако, с другой стороны, в этом случае большее число уровней амплитуды сигнала располагаются близко друг к другу, повышая тем самым вероятность неразличимости двух уровней, и как следствие – повышая чувствительность системы к шуму. Таким образом, высокие значения номера QAM более требовательны к параметру CNR (Carrier Noise Ratio – Отношение Сигнал/Шум). На рисунке 3 представлено отношение параметра CNR к другому параметру – BER (Bit Error Rate – Отношение Бит/Ошибка)

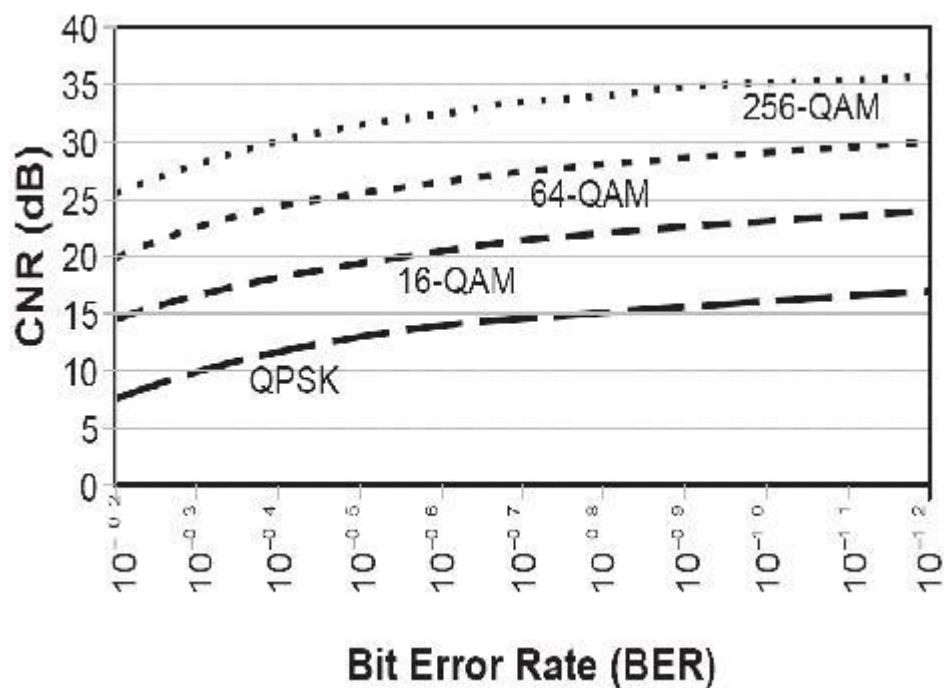


Рисунок 3: Отношение CNR к BER.

BER, NPR, FEC, MER

BER (Bit Error Rate – Отношение Бит/Ошибка) – это подсчет неправильно полученных битов информации. Если точнее – это количество ошибочно принятых битов разделенное на общее количество переданных битов. Оно может быть выражено и в дБ, но обычно выражается в формате 10^{-x} . Например, 10^{-9} означает что один ошибочный бит был принят в при получении потока информации объемом в 1 миллиард битов.

NPR (Noise Power Ratio – Отношение Шум/Мощность) – это технология измерения соотношения Сигнал/Шум в аналоговых устройствах, работающих в режимах QAM или QPSK. Поскольку эти режимы имеют частотный спектр в виде Гауссова шума, NPR-тест производится путем подмены сигнала эквивалентной полосой белого шума. Ближе к середине полосы эта шумовая «зарубка» (обычно 4 МГц) опускается. Когда полоса шума пускается через устройство, глубина «зарубки» определяется несколькими факторами: термическим шумом, «шумоподобными продуктами» сигнала и т.п. (смотри рисунок 4).

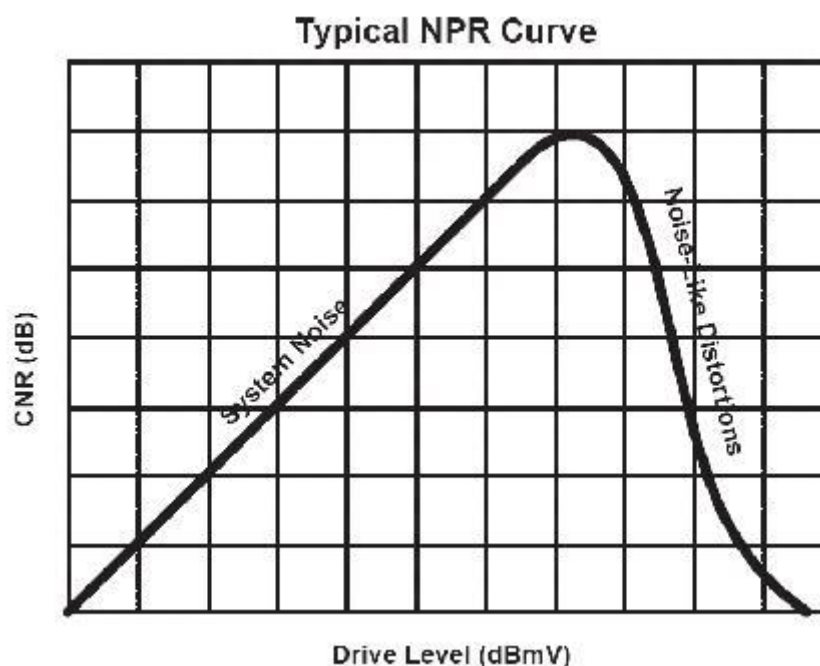


Рисунок 4: Типичный вид кривой NPR.

FEC (Forward Error Correction – Упреждающая Коррекция Ошибок) – это программная технология для определения и устранения ошибок в цифровой передаче данных. Это сложная и затратоёмкая (по мощности процессора), однако необходимая задача – упреждать потерю битов информации – позволяет улучшить качество картинки.

MER (Modulation Error Ratio – Отношение Модуляция/Ошибка) – это величина отклонения полученной модуляции (по амплитуде и/или фазе) от переданной (смотри рисунок 5).

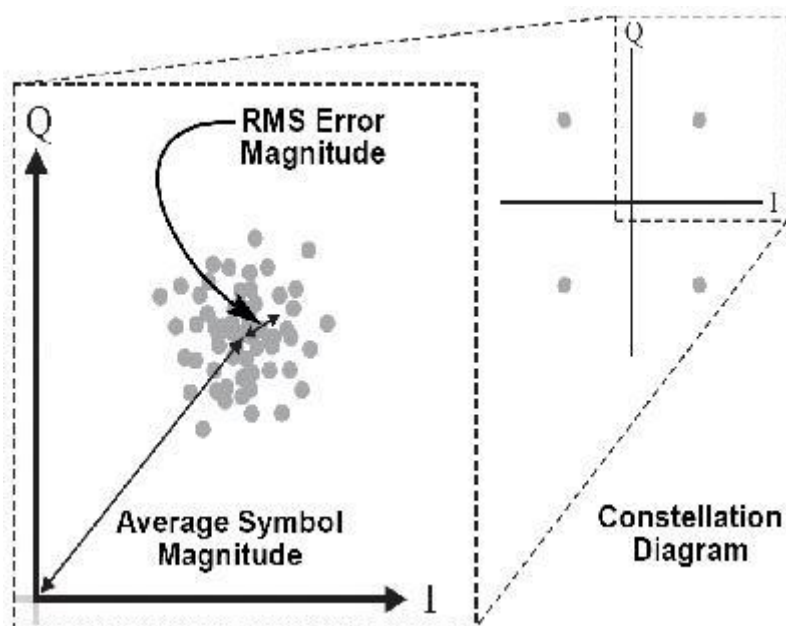


Рисунок 5: Определение MER.

При увеличении MER до величины при которой точки попадают на границы ячейки или за них, BER резко возрастает. Далее, когда BER превысит способность FEC

корректировать ошибки, произойдет сбой передачи. Практически на точке срыва, качество картинки все еще будет отличным, не предвещая близящийся сбой. Это явление известно как «эффект срыва», когда все хорошо вплоть до того . Это характерная сложность для неожиданного момента, когда все уже плохо цифровой передачи – когда вы смотрите на картинку, невозможно знать когда произойдет срыв.