

Тенденции развития современных радиорелейных систем распространенных диапазонов

10, октябрь 2014

Ругайн Ю. В.

УДК: 621.396.43

Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана

yury.rugayn@gmail.com

Введение

Радиорелейные линии (РРЛ) передачи данных на данный момент являются наиболее гибким методом обеспечения включения цифровых каналов связи. Значительное количество корпоративных и государственных коммуникаций построены на РРЛ, или имеют в своем составе участки РРЛ, что обусловлено приемлемыми экономическими показателями организованных линий, высокой скоростью строительства, удобным масштабированием РРЛ сетей и возможностью организации каналов связи на местности со сложным рельефом. В некоторых случаях труднодоступной местности (болота, реки, горная местность), РРЛ является единственным экономически оправданным методом предоставления пользователю цифрового канала связи. Современное РРЛ оборудование отличается небольшими габаритами, низким энергопотреблением, длительным периодом работы без обслуживания и возможностью монтажа на существующей инфраструктуре (трубы котельных, мачты других видов связи и здания, находящиеся на нужных точках рельефа), что уменьшает затраты на организацию канала и ускоряет строительство РРЛ линий связи.

Особенно важное значение РРЛ приобрели для компаний – операторов сотовой связи, поскольку возможность масштабирования и легкость наращивания каналов РРЛ в любой местности, позволяет обеспечить современной связью максимальное количество пользователей и, следовательно, принести компании максимальную прибыль.

Особенностью проектирования и строительства современных РРЛ линий является наличие значительного количества поставщиков оборудования. Компании - производители, как правило, не раскрывают часть характеристик поставляемого оборудования в интересах соблюдения коммерческой тайны и пользуются различными техническими решениями при создании своих РРЛ линий. Но в результате более чем 60 летней истории развития РРЛ и стремления производителей обеспечить максимально возможные характеристики своего оборудования все чаще происходит совпадение характеристик предлагаемых решений по наиболее значимым показателям.

Для подтверждения предположения о сближении наиболее важных характеристик современных РРС (радиорелейных систем), произведем сравнение энергетических характеристик оборудования, представленного в 2014 году различными производителями.

1. Теоретическое обоснование:

Прежде чем перейти к непосредственному анализу характеристик РРЛ, остановимся на определении «важности» некоторых характеристик современного оборудования:

В реальных условиях производственной деятельности современной индустрии связи, основные географические параметры РРЛ зависят от возможностей аренды конкретной технологической площадки или позиции на существующей площадке. После заключения договора на аренду географические характеристики РРЛ остаются неизменными по экономическим соображениям, за исключением случаев потери пригодности интервалом РРЛ. Так же, неизменными остаются и характеристики оплаченного частотного ресурса, выделяемого государственным регулятором.

С учетом способности всех современных РРС к работе в разных режимах модуляции, при низком уровне атмосферных осадков и значительном запасе энергетического бюджета полученных РРЛ, становится чрезвычайно важно, с точки зрения экономической эффективности и использования оплаченного частотного ресурса, обеспечить максимальную скорость передачи данных в созданной РРЛ и увеличить спектральную эффективность передачи информации.

Из теоретических работ, описывающих механизм передачи информации в РРЛ [1] известно, что максимальной помехоустойчивостью и, следовательно, максимальным запасом энергетического бюджета РРЛ обладает при работе в режимах BPSK (двухкратной фазовой манипуляции) и QPSK (четырёхкратной фазовой манипуляции). BPSK в современных РРС применяется крайне редко и наиболее помехозащищенным режимом обычно выступает QPSK.

Однако режим QPSK обеспечивает низшую скорость передачи данных, из доступных для оборудования РРС при неизменности географических параметров, заданного диапазона и антенной части РРС.

Производители современных РРС реализуют задачу обеспечения максимальной скорости передачи данных в созданной РРЛ, как правило, путем использования видов модуляции высокого порядка и адаптивной модуляции. На заре развития цифровых беспроводных систем передачи данных использовались простые методы модуляции. В основном модуляция GMSK, которая позволяет передавать один бит информации за одну посылку

Адаптивная модуляция позволяет мобильной системе приспосабливать схему модуляции сигнала в зависимости от уровня отношения сигнал-шум (SNR) в радиоканале. Если радиоканал имеет высокое качество, то используется самая высокая схема модуляции, давая системе дополнительную емкость. С затуханием сигнала, система может изменить схему модуляции на более помехоустойчивую, чтобы поддержать качество обслуживания и стабильность канала рисунок 5. Эта особенность позволяет системе преодолевать изби-

рательное затухание. Ключевая особенность адаптивной модуляции в том, что она увеличивает диапазон так, что может использоваться более высокая схема модуляции, т.е. система может изменять фактические условия затухания, в отличие от фиксированной схемы, которая планируется для наихудшего случая /2/.

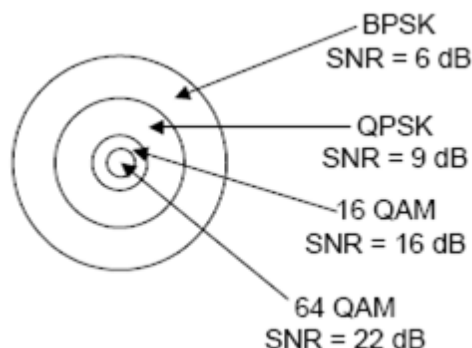


Рисунок 1: Предпочтительный метод модуляции в зависимости от отношения сигнал/шум

Важным инструментом повышения эффективности использования радиоспектра служат измерение качества канала и автоматическое управление мощностью сигнала.

Часто, в силу ограниченности частотного ресурса, невозможно достичь больших пропускных способностей за счет увеличения ширины полосы частот. Применение высокоуровневых схем модуляции позволяет увеличить скорость передачи радиоканалов, но в то же это приводит к ухудшению энергетических характеристик радиотрактов и, следовательно, к меньшей надежности.

Вместо использования фиксированной схемы модуляции, с целью предоставления гарантированной пропускной способности и необходимых показателей надежности при любых погодных условиях, индексы модуляции, а соответственно и пропускная способность, увеличиваются, когда это позволяют сделать условия на тракте. В случае типового радиоканала это означает, что будет доступна большая пропускная способность в течение 99,5% времени.

Адаптивная модуляция означает динамическое изменение индексов модуляции с целью увеличения пропускной способности радиоканала в зависимости от условий на тракте.

За счет использования менее помехоустойчивых схем модуляции высокого уровня, доступный запас на замирание может быть преобразован в большую пропускную способность. В этом и заключается суть адаптивной модуляции, динамически подстраивающей модуляцию под условия на тракте;

При использовании адаптивной модуляции совместно с функциями QoS и приоритезации трафика, имеется возможность устанавливать высокий приоритет важному трафику, передача которого тем самым будет осуществляться с максимальной надежностью при любых условиях; ухудшение условий будет сказываться только на низкоприоритетном трафике.

Современные РРС предусматривают использование 16 - 1024QAM для обеспечения максимальной скорости передачи данных.

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 градусов. Компонента I (incident) модулирует несущую без сдвига фазы. Компонента Q (quadrature) модулирует несущую со сдвигом 90 градусов (Рисунок 2).

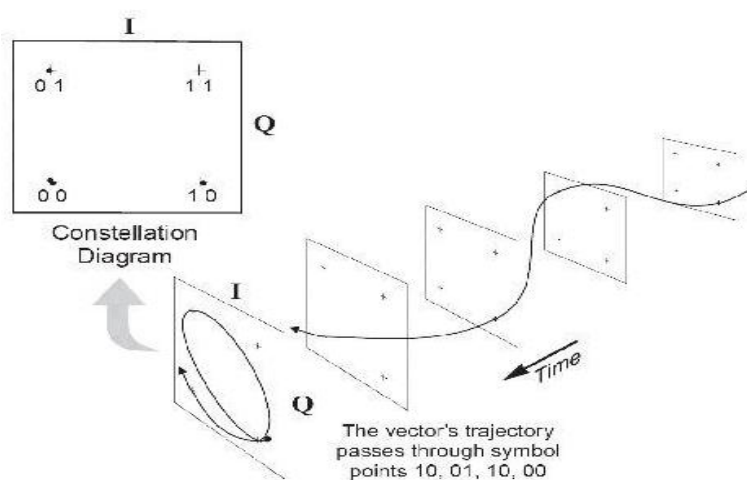


Рисунок 2 : Канстелляционная диаграмма отображающая I/Q вектор. Траектория вектора, описывая кривую во времени, проходит через точки 10, 01, 10, 00.

Следует отметить, что QPSK – (QuadraturePhaseShiftKeying – Кодирование методом Квадратичного Фазового Сдвига) – это простейшая форма QAM (также известная как 4-QAM). QPSK использует две несущие одинаковой частоты, сдвинутые на 90 градусов, и два возможных уровня амплитуды. Один уровень амплитуды соответствует 0, другой – 1 (смотри Рисунок 2.2).

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 Рис. 3). Канстелляционная диаграмма в этой матрице образуется из горизонтальных и вертикальных линий, 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 в течение одного цикла. 64-QAM диаграмма представлена на Рисунке 3.

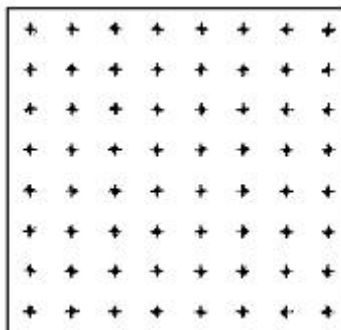


Рисунок 3: 64-QAM Конstellационная диаграмма.

Достоинство высоких значений номера QAM – это повышенная скорость передачи данных, поскольку таким образом большее количество битов информации может быть передано в течение 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).

Вывод: Увеличение порядка модуляции позволяет осуществить передачу данных на увеличенной скорости, но ведет к росту сигнатуры и уменьшению эффективного запаса энергетического бюджета РРЛ, что ведет к ухудшению характеристик помехозащищенности.

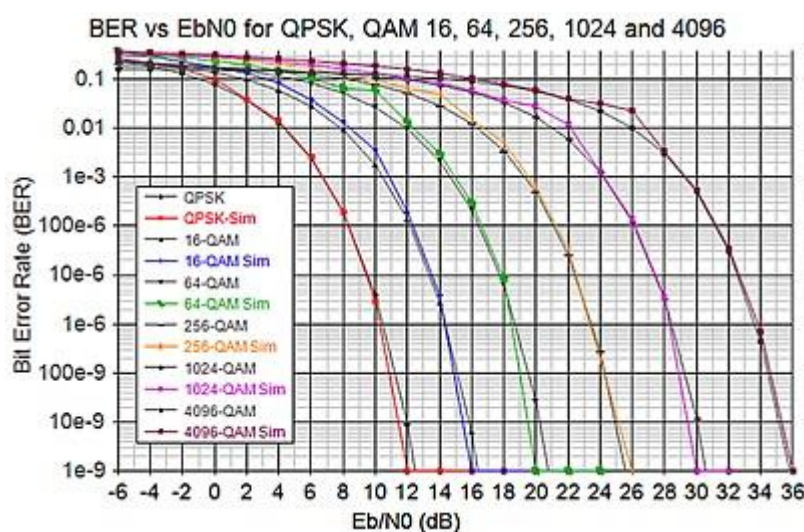


Рисунок 4: Экспериментальные и расчетные графики BER к. E_b/N_0 в канале с аддитивным белым гауссовским шумом (AWGN channel) [3/

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-х. 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 Гауссового 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 5).

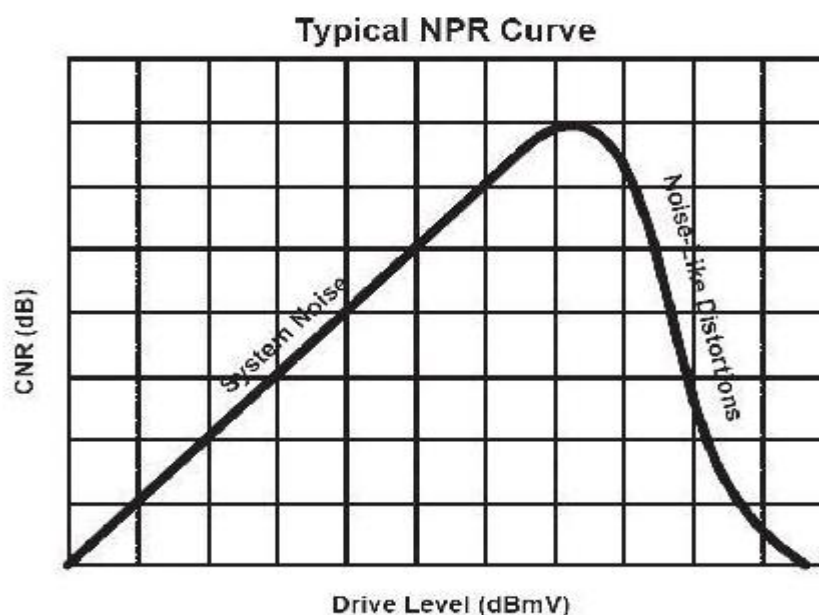


Рисунок 5: Типичный вид кривой NPR.

FEC (Forward Error Correction – Упреждающая Коррекция Ошибок) – это программная технология для определения и устранения ошибок в цифровой передаче данных. Решаемая задача – упреждать потерю битов.

MER (Modulation Error Ratio – Отношение Модуляция/Ошибка) – это величина отклонения полученной модуляции (по амплитуде и/или фазе) от переданной (смотри рисунок 6).

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 передачи все еще будет приемлемым, затем наступит сбой.

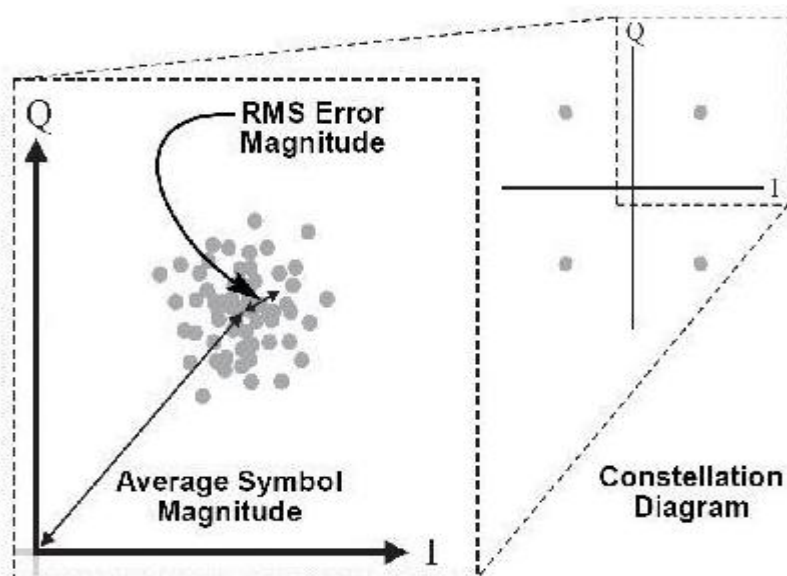


Рисунок 6: Определение MER.

В общем случае в цифровых системах передачи признаком аварии является пропадание сигнала или превышение критически допустимой величины коэффициентом ошибок BER. Например, во многих цифровых системах связи, это значение $BER \geq 10^{-3}$. В качестве порога предупредительной сигнализации в этих же системах выбрана величина 10^{-6} , достижение которой еще не воспринимается пользователем как критическое состояние.

Способность поддержки той или иной модуляции зависит от многих параметров связи, и в первую очередь, от энергетических параметров системы.

Анализируя диаграммы созвездия модуляции QAM рисунок 1, чем выше тип модуляции, тем меньше по амплитуде и фазе отличаются векторы соседних значений передаваемого символа. Тем самым, для безошибочного приема символа требуется более мощный сигнал, а точнее, более высокое отношение мощности сигнала к шуму.

Каждый тип модуляции для передачи символа с уровнем ошибок, не превышающего определенного максимального значения, требует определенного минимального значения отношения уровня сигнала к шуму Signal/ NoiseRatio. Помимо SNR часто используется практически идентичное обозначение данного отношения - CNR Carrier/NoiseRatio.

Каждый тип модуляции характеризуется требуемым уровнем отношения сигнала к шуму SNR, необходимому для передачи бит информации с ошибками BitErrorRate BER не выше некоторого допустимого уровня.

В рассматриваемых ниже PPC BER 10^{-3} определяется как порог распознавания кодирования и BER 10^{-6} , как порог рабочего диапазона канала.

2. Сравнительный анализ PPC

На основе данных, предоставленных производителями современных PPC, сравним пороги чувствительности приемников в зависимости от вида модуляции [dBm] при зна-

чениях BER 10⁻³ и 10⁻⁶ наиболее распространенных частотных диапазонов 7, 15 и 23 GHz.

Таблица 1. Исходные данные

Диапа- зон	Тип радио- блока	Ширина полосы (MHz)	Вид модуля- ции	Номиналь- ная мощ- ность ПРД(dBm)	Чувстви- тельность при BER 10 ⁻³ (dBm)	Чувстви- тель- ность при BER 10 ⁻⁶ (dBm)
7 GHz	RAU2X/4/ Ericsson	28	4QAM	29	-87	-86
		28	16QAM	27	-82	-81
		28	32QAM	27	-79	-78
		28	64QAM	26	-76	-75
		28	128QAM	26	-73	-72
		28	256QAM	25	-70	-69
		28	512QAM	25	-67	-66
		28	1024QAM	24	-64	-63
15 GHz	RAU2X	28	4QAM	24	-86	-85
		28	16QAM	22	-81	-80
		28	32QAM	22	-78	-77
		28	64QAM	21	-75	-74
		28	128QAM	21	-72	-71
		28	256QAM	20	-69	-68
		28	512QAM	20	-66	-65
		28	1024QAM	19	-63	-62
23 GHz	RAU2X	28	4QAM	21	-85	-84
		28	16QAM	19	-80	-79
		28	32QAM	19	-77	-76
		28	64QAM	18	-74	-73
		28	128QAM	18	-71	-70
		28	256QAM	17	-68	-67
		28	512QAM	17	-65	-64
		28	1024QAM	16	-62	-61
7 GHz	MPT-XP ALU/5/	28	QPSK	32,0	-87,5	-87,0
		28	16QAM	31,5	-80,5	-80,0

		28	32QAM	31,5	-77,0	-76,5
		28	64QAM	31,0	-74,5	-74,0
		28	128QAM	31,0	-71,0	-70,5
		28	256QAM	30,0	-68,5	-68,0
		28	512QAM	26,0	-65,5	-65,0
		28	1024QAM	26,0	-61,5	-61,0
15 GHz	MPT-XP	28	QPSK	25,0	-86,8	-86,3
		28	16QAM	23,0	-80,2	-79,7
		28	32QAM	23,0	-76,6	-76,1
		28	64QAM	22,0	-74,0	-73,5
		28	128QAM	22,0	-70,5	-70,5
		28	256QAM	20,0	-67,8	-67,3
		28	512QAM	17,0	-64,5	-64,0
		28	1024QAM	17,0	-60,5	-60,0
23 GHz	MPT-XP	28	QPSK	20,0	-87,0	-86,5
		28	16QAM	19,0	-80,0	-79,5
		28	32QAM	19,0	-76,5	-76,0
		28	64QAM	17,0	-74,0	-73,5
		28	128QAM	17,0	-70,5	-70,0
		28	256QAM	17,0	-68,0	-67,5
		28	512QAM	14,0	-63,5	-63,0
		28	1024QAM	14,0	-59,5	-59,0
7 GHz	RTN 620 Huawei/6/	28	QPSK	30	-91	-89,00
		28	16QAM	28	-84	-82,00
		28	32QAM	28	-81	-79,00
		28	64QAM	26	-77,5	-75,50
		28	128QAM	26	-74,5	-72,50
		28	256QAM	24	-71,5	-69,50
		28	512QAM	24	-69,5	-67,50
		28	1024QAM	23	-66	-64,00
15 GHz	RTN 620	28	QPSK	25	-90,50	-88,50
			16QAM	24	-83,50	-81,50
			32QAM	24	-80,50	-78,50
			64QAM	23	-77,00	-75,00
			128QAM	23	-74,00	-72,00

			256QAM	21	-71,00	-69,00
			512QAM	21	-69,00	-67,00
			1024QAM	19	-65,50	-63,50
23 GHz	RTN 620	28	QPSK	24	-90,00	-88,00
			16QAM	23	-83,00	-81,00
			32QAM	23	-80,00	-78,00
			64QAM	22	-76,50	-74,50
			128QAM	22	-73,50	-71,50
			256QAM	19,5	-70,50	-68,50
			512QAM	19,5	-68,50	-66,50
			1024QAM	18	-65,00	-63,00
7 GHz	ODU600 AVIAT/7/	28	QPSK	27,5	-86	-85,5
		28	16QAM	25,5	-79	-78,5
		28	32QAM	25,5	-76,25	-75,75
		28	64QAM	24	-74,25	-73,75
		28	128QAM	24	-71	-70,5
		28	256QAM	22,5	-68	-67,5
		28	512QAM	21,5	-65	-64,5
		28	1024QAM	20,5	-62,5	-62
15 GHz	ODU600 AVIAT	28	QPSK	24,5	-85	-84,5
		28	16QAM	22,5	-78	-77,5
		28	32QAM	22	-75,25	-74,75
		28	64QAM	20	-73,25	-72,75
		28	128QAM	20	-70	-69,5
		28	256QAM	18	-67	-66,5
		28	512QAM	17	-64	-63,5
		28	1024QAM	15	-60	-59,5
23 GHz	ODU600 AVIAT	28	QPSK	20,5	-85	-84,5
		28	16QAM	18,5	-78	-77,5
		28	32QAM	18,5	-75,25	-74,75
		28	64QAM	17	-73,25	-72,75
		28	128QAM	17	-70	-69,5
		28	256QAM	14	-67	-66,5
		28	512QAM	13	-64	-63,5

		28	1024QAM	12	-61,5	-61
7 GHz	RFU-C Ceragon	28	QPSK	26	-89	-88,5
		28	16 QAM	25	-82	-81,5
		28	32 QAM	24	-78,5	-78
		28	64 QAM	24	-75,5	-75
		28	128 QAM	24	-72,5	-72
		28	256 QAM	24	-69,5	-69
		28	512 QAM	22	-67,5	-67
		28	1024L QAM	22	-64	-63,5
15 GHz	RFU-C Ceragon	28	QPSK	24	-89,5	-89
		28	16 QAM	23	-82,5	-82
		28	32 QAM	22	-79	-78,5
		28	64 QAM	22	-76	-75,5
		28	128 QAM	22	-73	-72,5
		28	256 QAM	22	-70	-69,5
		28	512 QAM	20	-68	-67,5
		28	1024L QAM	20	-64,5	-64
23 GHz	RFU-C Ceragon	28	QPSK	22	-88	-87,5
		28	16 QAM	21	-81	-80,5
		28	32 QAM	20	-77,5	-77
		28	64 QAM	20	-74,5	-74
		28	128 QAM	20	-71,5	-71
		28	256 QAM	20	-68,5	-68
		28	512 QAM	18	-66,5	-66
		28	1024L QAM	18	-63	-62,5

Построим по исходным данным график зависимости чувствительностей приемников PPC [dBm] диапазона 7 GHz от типа модуляции для BER10-3 и BER10-6: Рисунок 7.

Как видно из Рис. 7, чувствительность [dBm] для BER10-3 и BER10-6 являются взаимозависимыми параметрами и изменяются строго синхронно (с погрешностью не превышающей 4 dBm - погрешность измерения интервала РПЛ). Для упрощения картины, в дальнейшем при построении графиков будем использовать зависимость чувствительности приемников PPC диапазонов 7, 15 и 23 GHz от типа модуляции только при BER10-6.

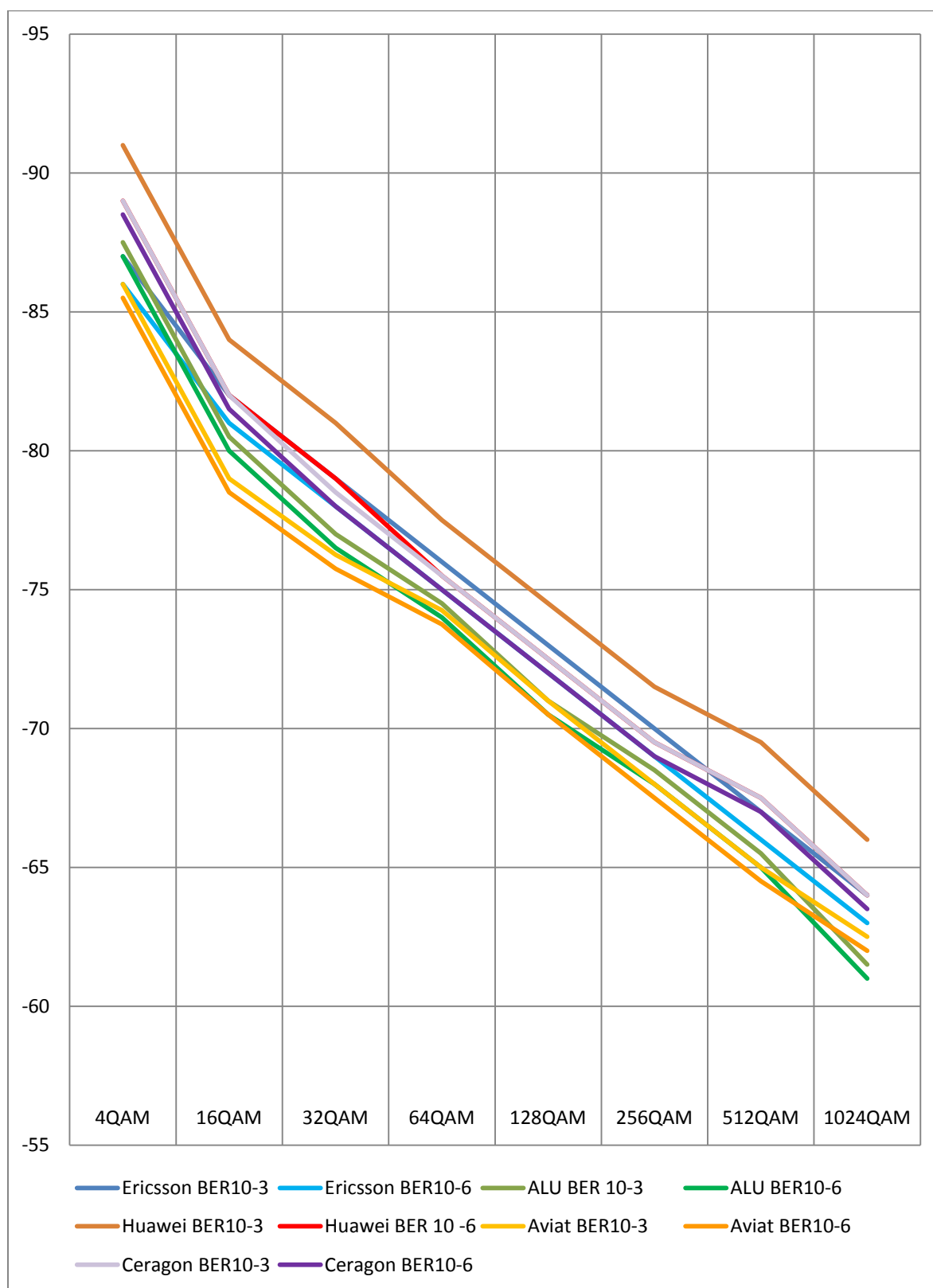


Рисунок 7 Зависимость чувствительности приемников PPC [dBm] диапазона 7 GHz от типа модуляции для BER10-3 и BER10-6.

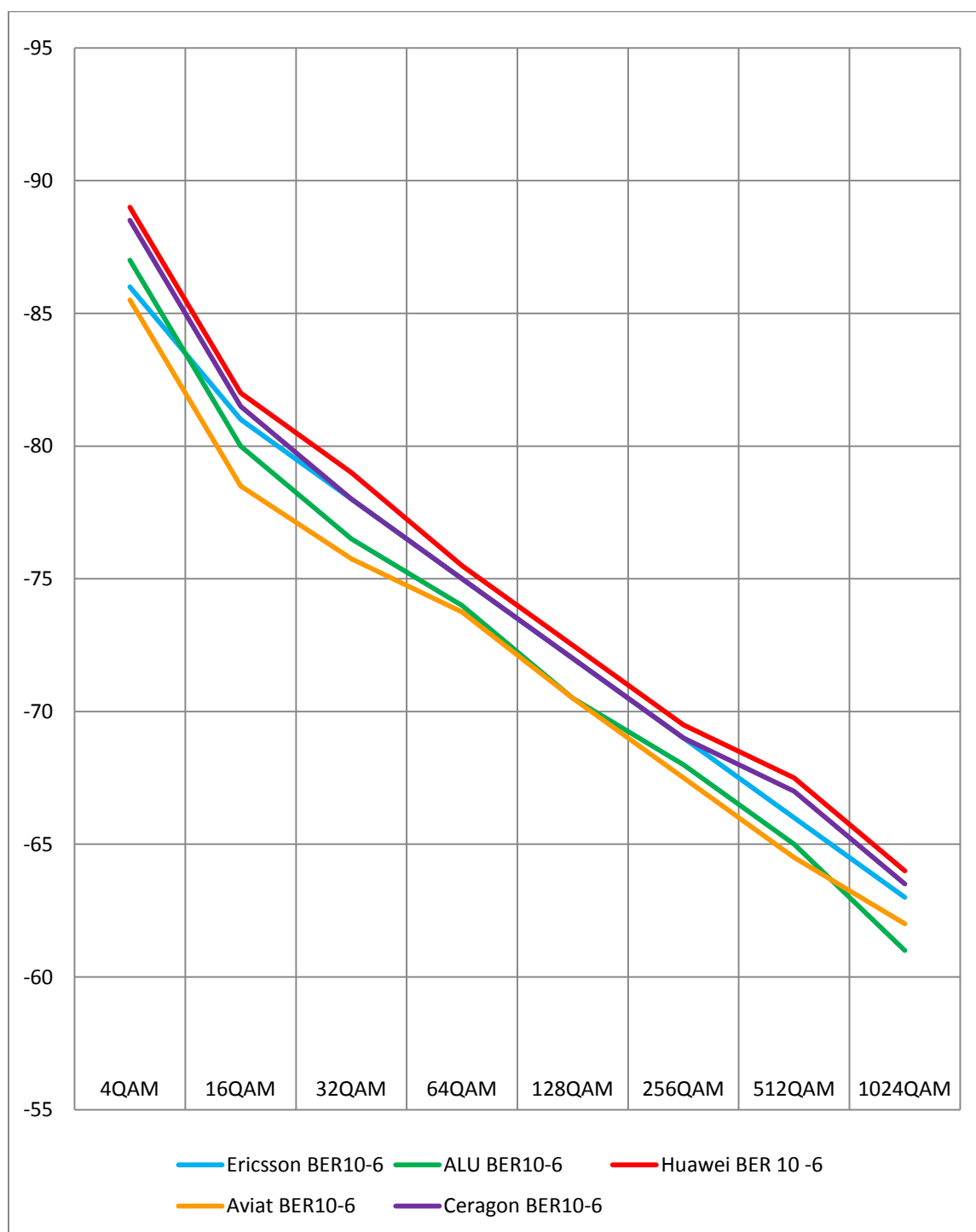


Рисунок 8 Зависимость чувствительности пр-в PPC [dBm] диапазона 7 GHz от типа модуляции для BER10-6.

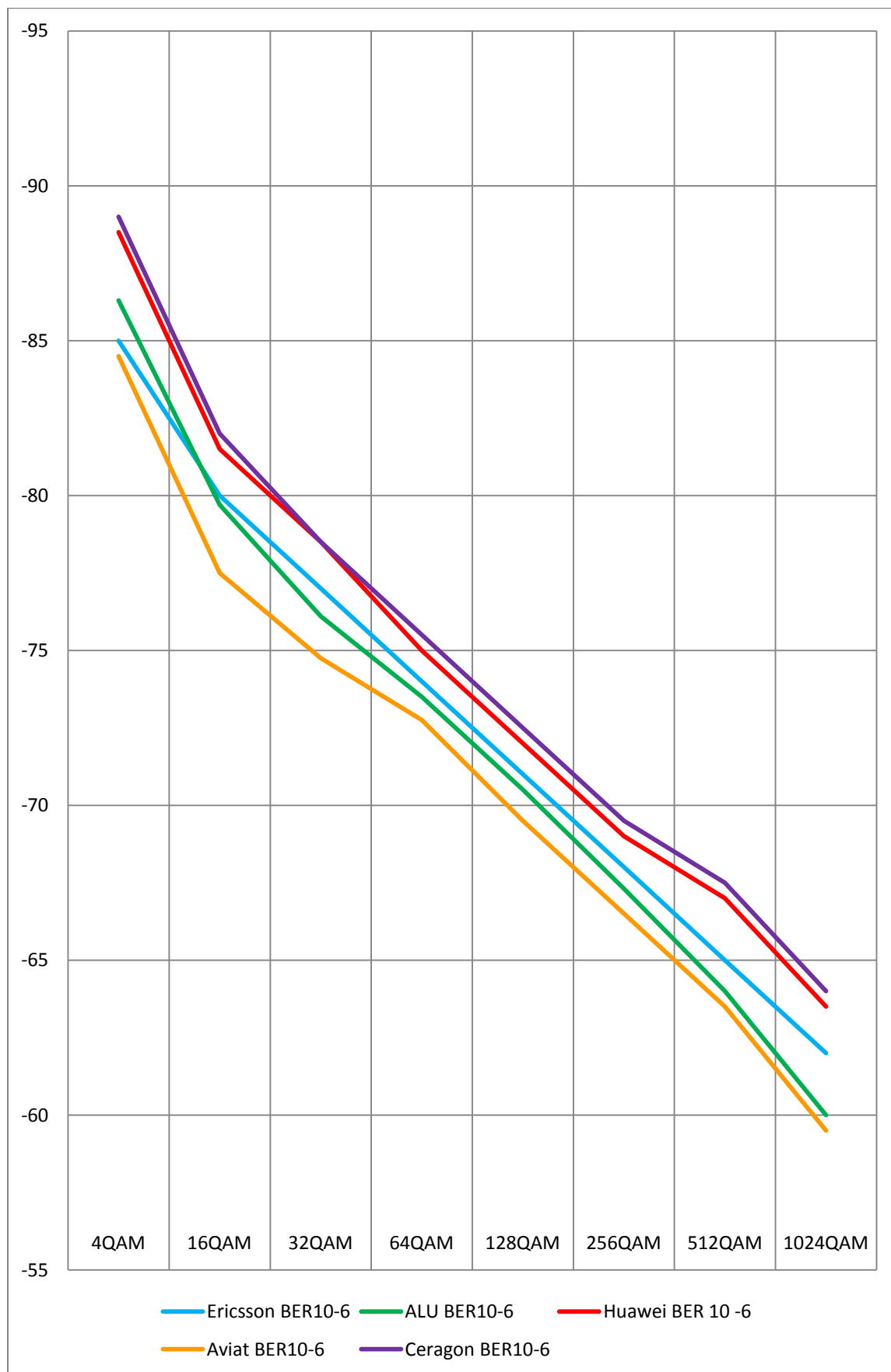


Рисунок 9 Зависимость чувствительности пр-в PPC [dBm] диапазона 15 GHz от типа модуляции для BER10-6.

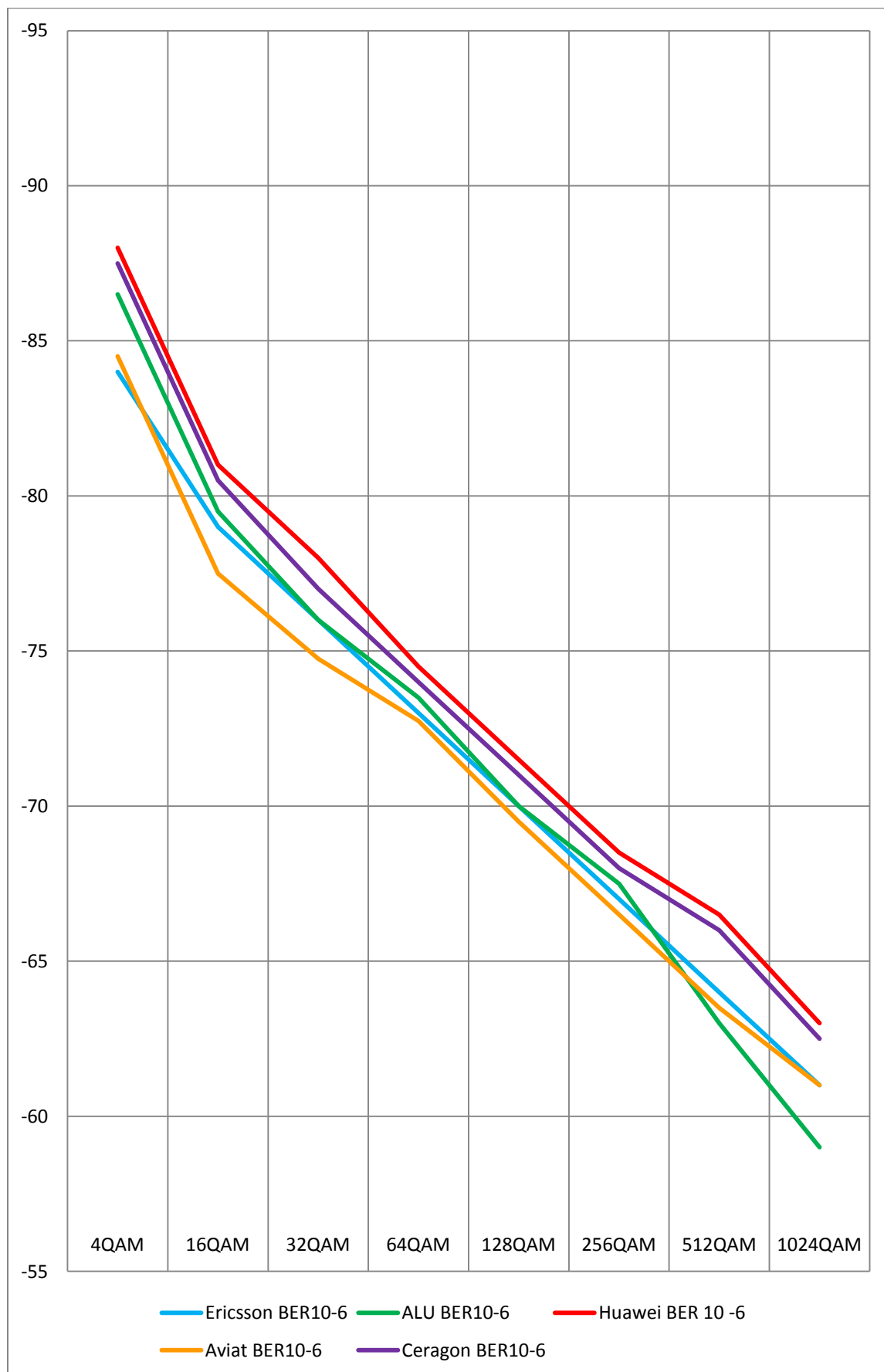


Рисунок 10 Зависимость чувствительности пр-в PPC [dBm] диапазона 23 GHz от типа модуляции для BER10-6.

Дополнительно рассмотрим сравнительные характеристики чувствительности приемников PPC всех трех диапазонов совместно на примере PPC производителя ALU: см Рис. 11.

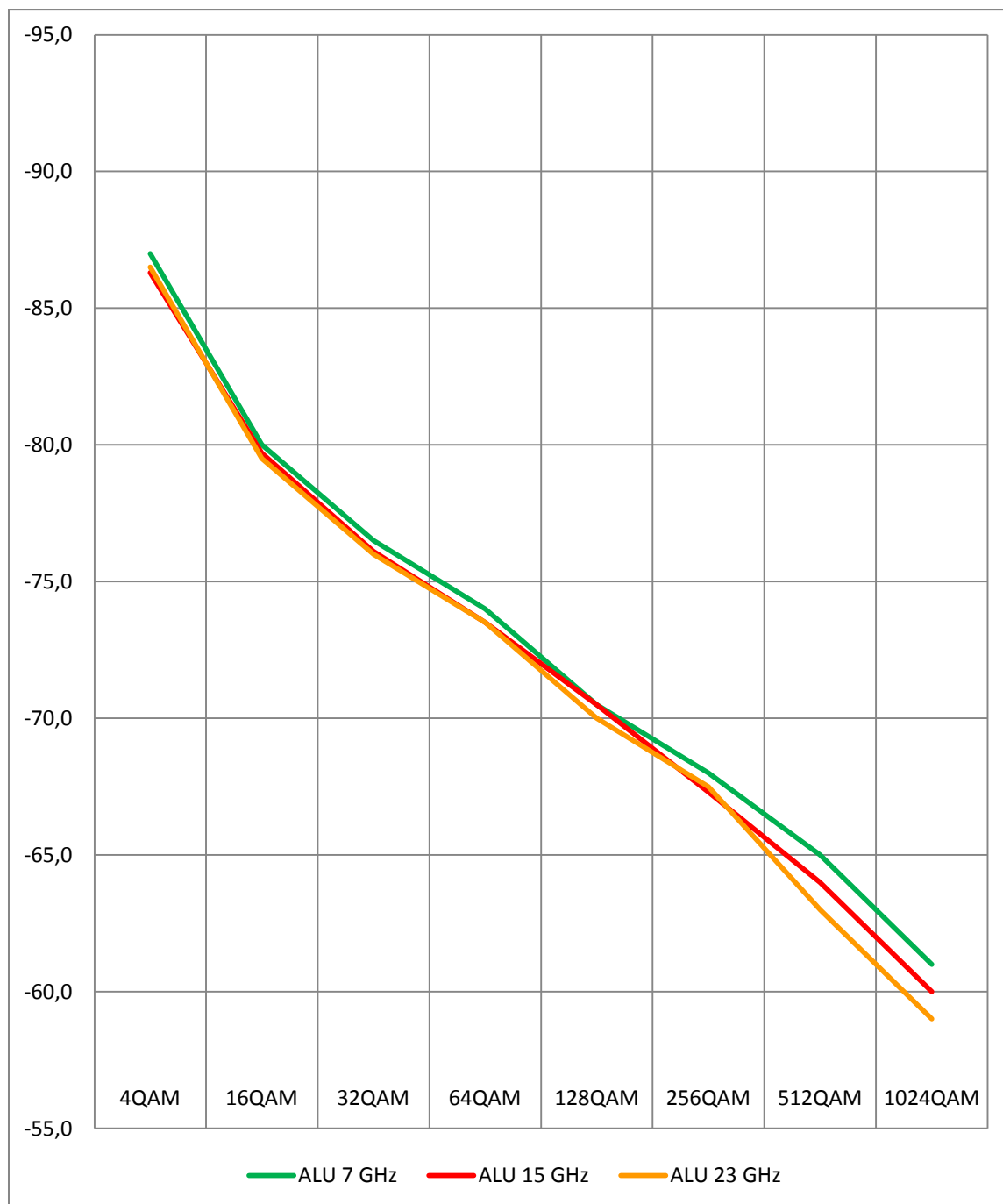


Рисунок 11. Сравнение чувствительности приемников PPC [dBm] диапазонов 7, 15 и 23 GHz совместно на примере PPC производителя ALU.

Из Рис. 11. наглядно заметно стремление производителя обеспечить максимально подобные характеристики приемников РРС в основных диапазонах работы РРЛ. Прослеживается тенденция ухудшения чувствительности приемников при использовании более высокочастотного диапазона.

Как видно из Рис. 8 –10 графики для приемников каждой фирмы – производителя показывают очень близкие результаты.

Поскольку определяющим энергетическим параметром РРЛ является Бюджет радиолинии (в англоязычной литературе - net system gain или еще - fade margin), то будет логично рассмотреть в графическом виде его переменные составляющие.

Как уже было упомянуто выше, после определения географической составляющей, выбора антенных комплексов (зависящего от ветровой нагрузки и дальности интервала) и назначения регулируемыми органами частотного диапазона РРЛ, единственными параметрами бюджета радиолинии, которые может поменять компания – оператор РРЛ остаются мощность передатчика и чувствительность приемника РРС, за счет замены на более мощные модели или модели оборудования другого производителя.

В результате очень часто в современной индустрии связи, инженеры – проектировщики оперируют понятием «обобщенный выигрыш системы (total system gain)» для сравнения РРС разных производителей. «Обобщенный выигрыш системы» - это показатель, равный отношению выходной мощности передатчика к чувствительности приемника умноженный на коэффициенты усиления передающей и приемной антенн и на коэффициент затухания в тракте передающей антенны (характеристики антенного тракта мы предполагаем при нашем исследовании неизменными). Если его умножить на коэффициент ослабления на трассе распространения радиоволн, то получится бюджет радиолинии. Поскольку в расчетах этого параметра оперируют величинами, выраженными в децибелах, то произведения и отношения сводятся, соответственно, к суммам и разностям.

Построим график зависимости разности мощности передатчика к чувствительности приемника [dBm] от диапазонов 7, 15 и 23 GHz от типа модуляции при BER10-6: Рисунки 12-14.

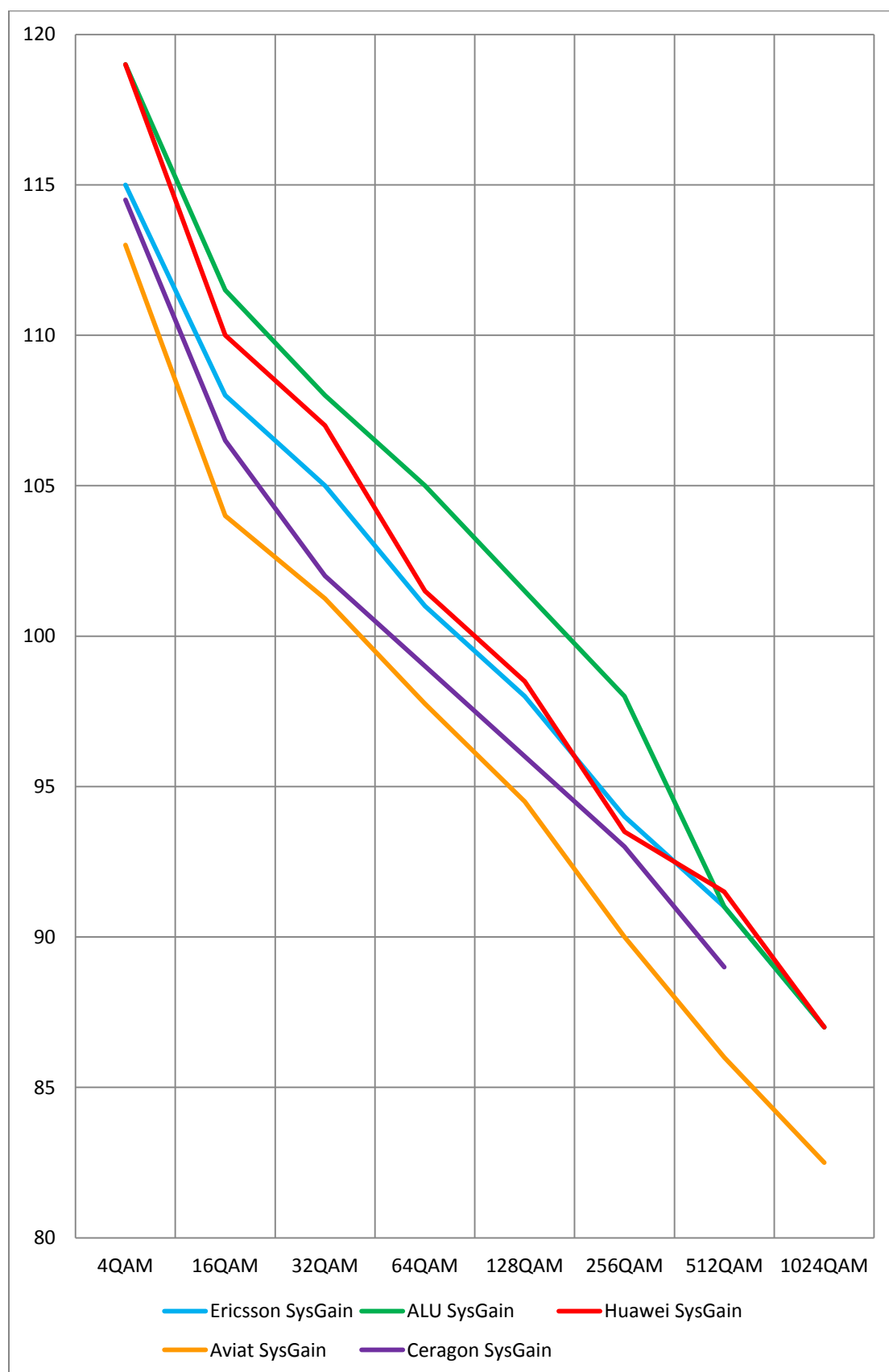


Рисунок 12: Зависимость разности мощности передатчика к чувствительности приемника [dBm] в диапазоне 7 GHz от типа модуляции при BER10-6.

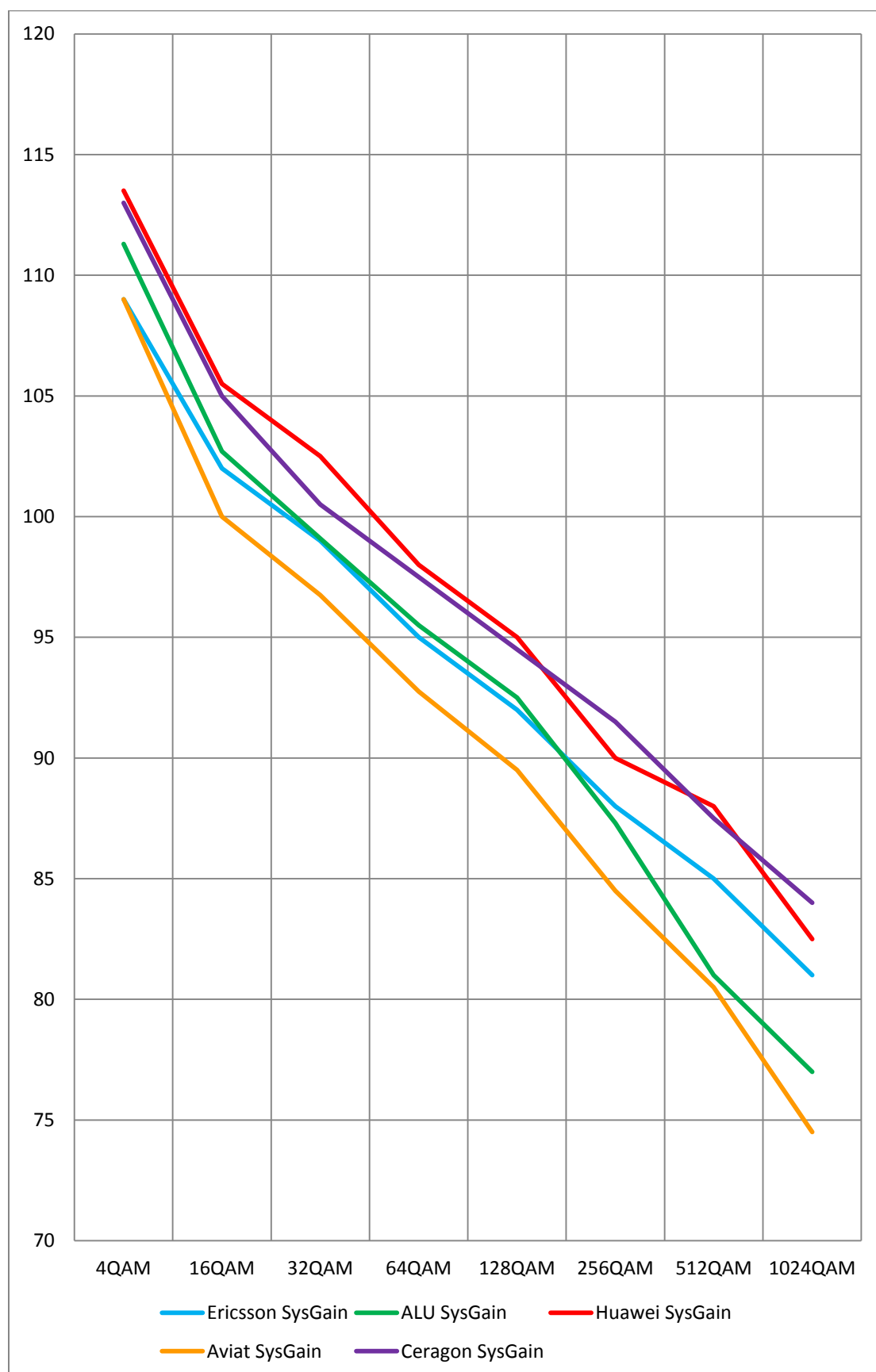


Рисунок 13: Зависимость разности мощности передатчика к чувствительности приемника [dBm] в диапазоне 15 GHz от типа модуляции при BER10-6.

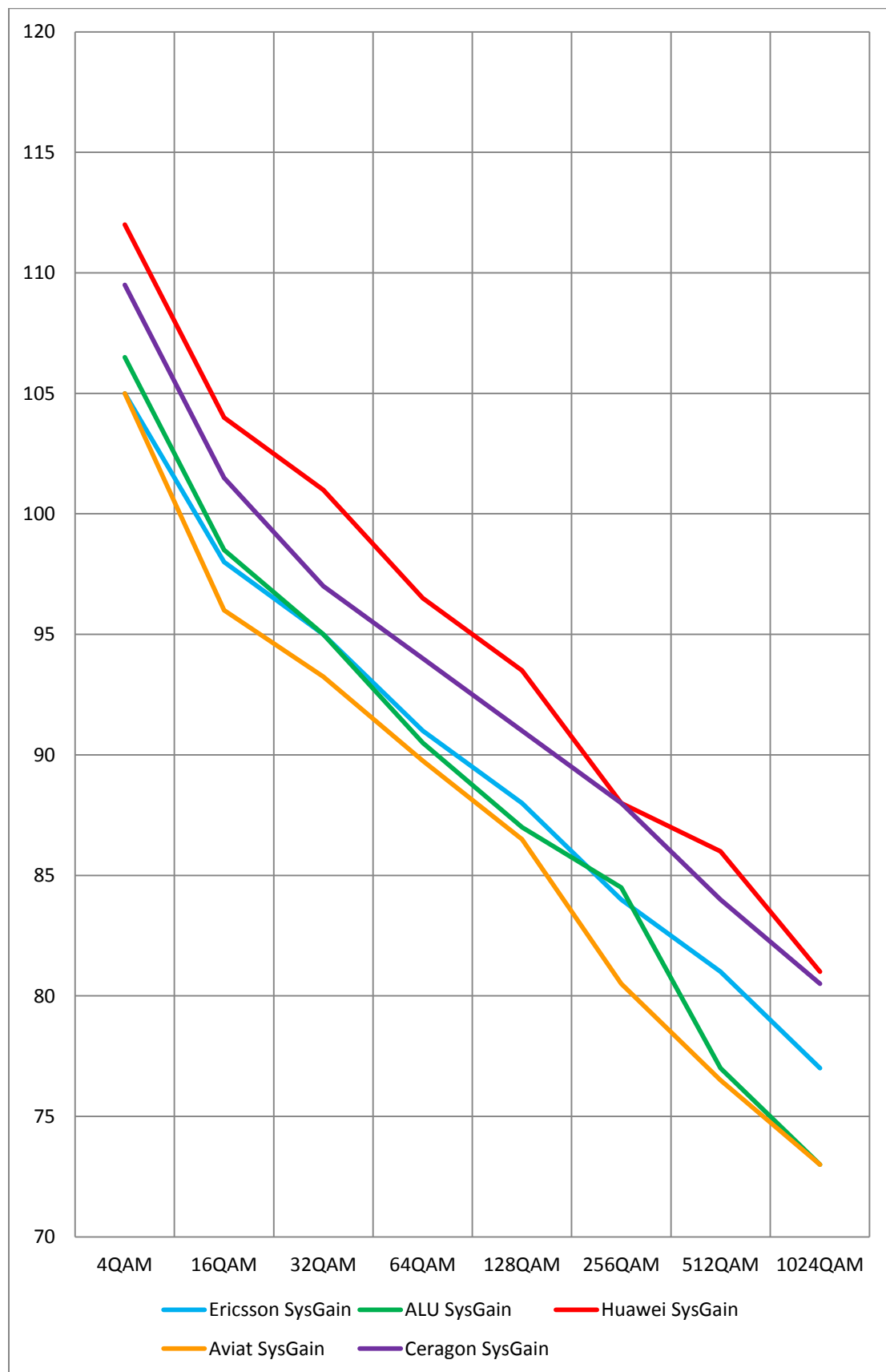


Рисунок 14: Зависимость разности мощности передатчика к чувствительности приемника [dBm] в диапазоне 23 GHz от типа модуляции при BER10-6.

Вывод:

Анализируя картины энергетических характеристик РРС различных современных производителей, полученные на графиках рисунков 8-10 и рисунков 12-14 мы подтверждаем предположение, высказанное во введении в данную работу о сближении наиболее важных характеристик современных РРС. Более 60 лет развития РРС привели к тому, что предлагаемое поставщиками оборудование обладает очень близкими показателями энергетических характеристик, помехоустойчивости и надежности. В результате при проектировании РРЛ во многих случаях характеристики РРЛ участка будут иметь сходные параметры, вне зависимости от типа оборудования конкретного поставщика. Анализируя эти тенденции можно заключить, что технический прогресс в области РРЛ связи движется в сторону создания универсального оборудования модульного типа. В ближайшем будущем можно ожидать появления РРС «блоков» из которых будут организовываться РРЛ линии и сети связи любой сложности.

Уже на современном этапе, в связи с близостью параметров РРЛ оборудования современных производителей, в большинстве случаев не превосходящей погрешность измерения характеристик РРЛ (4 [dBm]), основным критерием выбора конкретного оборудования являются технико-экономические особенности контракта заключенного между Компанией – оператором и производителем оборудования, в части условий на оптовые скидки и гарантийные обязательства.

Список литературы

1. Радиосистемы передачи информации – под ред. И.Б. Федорова и В.В. Калмыкова – М: Горячая линия – Телеком, 2005. ISBN 5-93517-232-1.
2. Чегринцев В.А. Wi-Fi, WiMAX –реалии эффективного QoS/Материалы международной конференции Wireless Broadband 2007, www.wirelessbroadband.ru.
3. Agilent EEsof EDA , Agilent Technologies, Inc. 2010-2013, Published in USA, August 20, 2013, 5990-4731EN.
4. Product Catalog M13A, part 1MINI-LINK ETSI, Ericsson Microwave Systems AB 1/2135-FGC 101 1494 Uen F , 2012-10-15
5. Alcatel-Lucent 9500MICROWAVE PACKET RADIO for ETSI | RELEASE 4.2.0MPR-e (Outdoor units: MPT-HC V2/MPT-MC/MPT-XP), User Manual 3DB 19901 ECAA Edition 01, Copyright 2013 © Alcatel-Lucent. All rights reserved.
6. Huawei RTN 620 V100R005C02 Product Documentation 02, 2013/8/13 © Huawei.
7. Aviat, Aviat Networks, ODU600_ETSI_19Dec11 Product Documentation, © Aviat Networks, Inc. (2011) All Rights Reserved.
8. Ceragon, FibeAir® RFU-C Product Guide, FibeAir IP-20_Series_ETSI, Oct. 2013