

O QUE É QAM?

QAM é a sigla para “Quadrature Amplitude Modulation”, que significa Modulação de Amplitude em Quadratura, e nada mais é do que uma forma de modulação comumente utilizada em TV digital ou qualquer outro sistema que necessite de altas taxas de transferência de informação. Neste artigo vamos revisar o que é modulação, vamos conceituar o QAM, vamos checar alguns tipos comuns de falhas em transmissão digital e, por fim, analisar quais parâmetros de teste podem ser úteis para identificar tais falhas.

1- MODULAÇÃO

O processo de modulação pode ser definido como a transformação de um sinal original que contém a informação (sinal modulante ou modulador) em um sinal adequado ao meio de transmissão que se pretende utilizar (sinal modulado). Isto é feito por meio de um sinal senoidal denominado portadora ou sinal de RF (radiofrequência), cuja frequência é bem maior que a do sinal original.

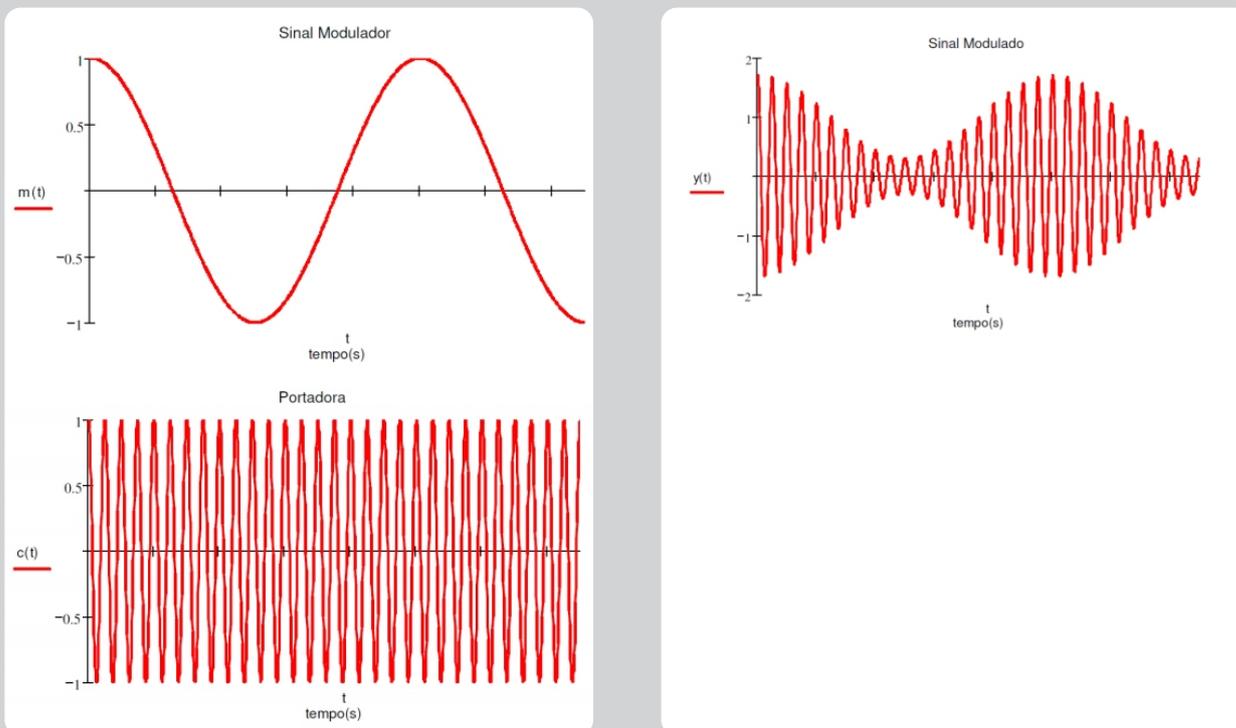


Figura 1 – (a) Sinal modulador, (b) portadora e (c) sinal modulado.

Em qualquer modulação existem 3 parâmetros do sinal da portadora que podem ser alterados pelo sinal modulador: a amplitude, a frequência e a fase. Um ou mais desses parâmetros podem ser alterados simultaneamente, transportando assim a informação. O sinal modulador pode ser analógico (onda senoidal) ou digital (onda quadrada) e da combinação dos tipos de sinal modulador e dos parâmetros modificáveis da portadora, surgem os vários tipos de modulação, resumidos na tabela abaixo:

Tabela I - Comparativo entre modulações.

Parâmetro alterado na Portadora	Modulação Analógica	Modulação Digital
Amplitude	AM (Amplitude Modulation)	ASK (Amplitude Shift Keying)
Frequência	FM (Frequency Modulation)	FSK (Frequency Shift Keying)
Fase	PM (Phase Modulation)	PSK (Phase Shift Keying)
Amplitude e Fase	***	QAM (Quadrature Amplitude

2- MODULAÇÃO QAM

Nas modulações digitais, os bits do sinal de informação são codificados através de símbolos. A modulação é responsável por mapear cada possível sequência de bits de um comprimento preestabelecido em um símbolo determinado. O conjunto de símbolos gerado por uma modulação é chamado de constelação, sendo que cada tipo de modulação gera uma constelação de símbolos diferentes. Os símbolos nos quais as sequências de bits de um sinal de informação são transformadas é que serão transmitidos pela onda portadora. Na modulação QAM, os símbolos são mapeados em um diagrama de fase e quadratura, sendo que cada símbolo apresenta uma distância específica da origem do diagrama que representa a sua amplitude, e um ângulo em relação ao eixo horizontal, que representa sua fase.

No caso do 16-QAM, por exemplo, a constelação apresenta 16 símbolos, sendo 4 em cada quadrante do diagrama, o que significa que cada símbolo representa 4 bits, já que o total de combinações com 4 bits equivale a $2^4=16$ combinações.

Podemos ter também, por exemplo, o modo 64-QAM, cuja constelação apresenta 64 símbolos, cada um deles representando 6 bits ($2^6=64$). A figura abaixo mostra as constelações geradas pelos dois modos QAM mencionados acima:

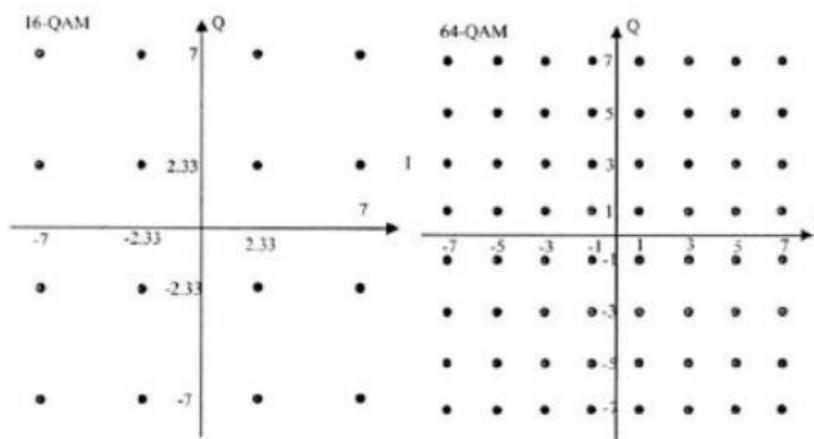


Figura 2 – (a) Constelação 16-QAM e (b) Constelação 64-QAM.

Pode-se notar que no modo 16-QAM alcança-se uma taxa de transmissão menor do que no modo 64 QAM, uma vez que cada símbolo transporta um número menor de bits. No entanto, no modo 16-QAM, a distância entre os símbolos é maior do que no caso do modo 64-QAM. Isto permite que o modo 16-QAM possibilite uma melhor qualidade de serviço (QoS), pois a maior distância entre os símbolos dificulta erros de interpretação no receptor quando este detecta um símbolo.

3- ANÁLISE DO DIAGRAMA DE CONSTELAÇÃO

Muitos dos efeitos ocasionados por interferências no canal podem ser observados diretamente pela disposição e formato dos pontos no diagrama de constelação do canal. Em um diagrama de constelação, todas as possíveis combinações das componentes em fase e quadratura do sinal transmitido formam um grid.

O diagrama de constelação pode ser entendido como uma matriz de caixas, em que cada caixa representa um símbolo. Em condições perfeitas de transmissão de dados, cada símbolo recebido será posicionado no centro da sua respectiva caixa dentro do diagrama de constelação. Mas na prática, devido aos ruídos, interferências e reflexões que atacam o canal de comunicação, os símbolos são deslocados da posição central e tendem a se posicionar nos limites da sua respectiva caixa. Esses limites são chamados de limiares de decisão. A figura 3 ilustra uma constelação e o posicionamento dos símbolos recebidos para uma determinada caixa. Os pontos pretos estão dentro do limiar de decisão e são corretamente demodulados. Os pontos cinza estão fora do limiar de decisão e representarão erros de bits na recepção. Esses erros ainda podem ser corrigidos pelos algoritmos de correção de erros em etapas seguintes do processo de recepção do sinal. Quando uma determinada interferência leva o símbolo a ser demodulado fora dos seus limiares de decisão, esse símbolo é entendido como o símbolo vizinho, ocasionando em um erro de transmissão.

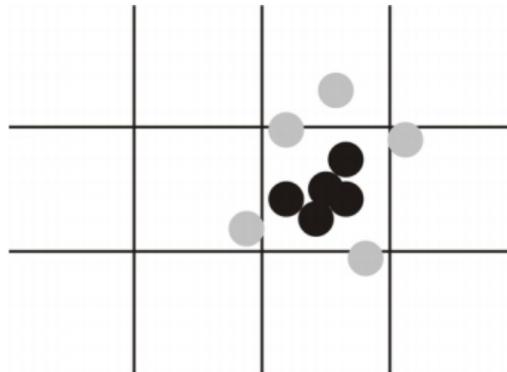


Figura 3 - Exemplo de recepção dentro e fora do limiar de decisão.

O estudo do comportamento dos pontos na constelação pode fornecer informações sobre a natureza das perturbações no canal de comunicação. A figura abaixo exibe uma constelação 64-QAM demodulada sem erros que servirá como base de comparação visual para os efeitos das perturbações do canal ilustrados nas seções seguintes.

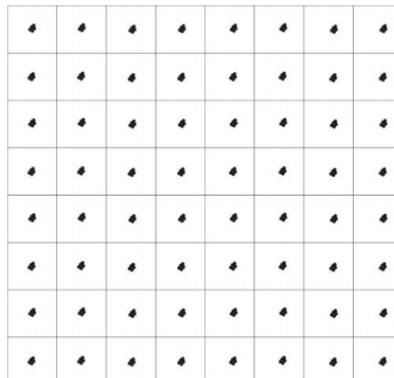


Figura 4 - Constelação 64-QAM demodulada sem erros.

O ruído gaussiano aditivo branco faz com que os pontos do diagrama de constelação se assemelhem a nuvens, como mostrado na figura 5. Quanto maior for o espaço ocupado pelos pontos da constelação dentro da região delimitada pelos limiares de detecção para uma dada potência, maior é a influência do ruído branco no sinal recebido.

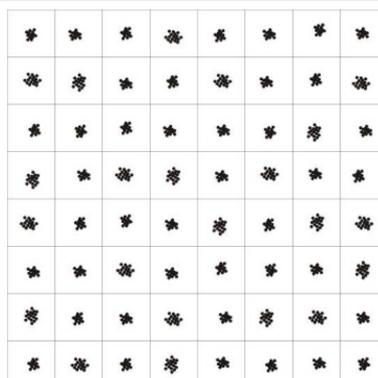


Figura 5 - Constelação 64-QAM com mais ruído (menor relação SNR).

O **desvio aleatório de fase** faz com que os pontos da constelação se alonguem de tal forma a se assemelhem a pequenos segmentos de semicírculos com centro no eixo do diagrama de constelação, como mostrado na figura 6. Esse efeito é causado pela perda parcial de sincronismo nos osciladores no modulador e no demodulador e afeta todas as subportadoras do canal.

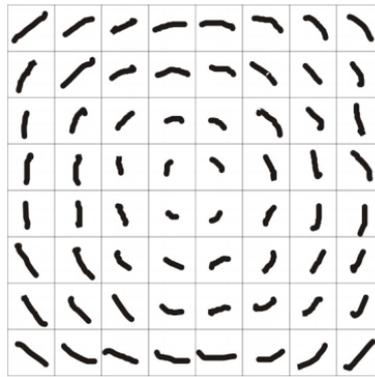


Figura 6 - Efeito do deslocamento aleatório de fase na constelação 64-QAM

Fontes de interferências oriundas de, por exemplo, intermodulação, harmônicos de clocks de computadores ou transmissores de radiodifusão afetam portadoras individuais ou uma faixa de portadoras (ou subportadoras). Essas interferências podem ocasionar os mesmos efeitos do ruído branco, como também podem apresentar comportamento senoidal e fazer com que os pontos do diagrama assemelhem-se com círculos, como mostrado na figura 7.

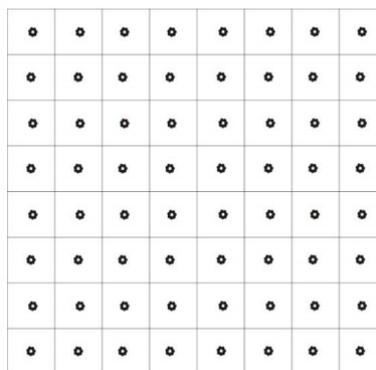


Figura 7 - Efeito da presença de uma interferência senoidal constante na constelação 64-QAM.

4- FERRAMENTAS UTILIZADAS PARA IDENTIFICAR AS FALHAS

Conforme explicado no item anterior, as interferências no meio de transmissão ocasionam interpretação errada dos símbolos no demodulador, que acabam causando erros de bits (vide figura 3). Existem algoritmos que corrigem grande parte desses erros, sendo o FEC (forward error correction) um dos mais utilizados. Erros de bit que ocorrem antes do FEC são chamados de erros pré-BER e os que ocorrem após o FEC são chamados de pós-BER.

O QUE É BER?

BER (Bit Error Rate) é uma técnica de caracterizar o meio de transmissão digital. Normalmente, dois equipamentos são usados para medir o BER, um transmissor e um receptor. O transmissor lança padrões de bits conhecidos pelo caminho até o receptor, que calcula o BER baseado nos erros ocorridos ao longo do link. Esses sistemas de teste de BER são usados para qualificar novos circuitos digitais. Conforme as taxas envolvidas, os sistemas de BER tinham que ficar online durante dias para determinar o verdadeiro BER.

Quando os sinais digitais apareceram em cabo pela primeira vez, as operadoras viram o BER como uma maneira de caracterizar seus circuitos. Infelizmente, as operadoras de cabo não podiam tirar um canal digital de operação durante dias para testar a sua qualidade.

Por conta dessa necessidade, os fabricantes de circuitos integrados (CI) embutiram ferramentas de diagnóstico em seus chips para permitir a leitura de estatísticas de FEC.

O QUE É MER?

A razão de erro de modulação (MER – Modulation Error Ratio) é a medida da intensidade de deterioração do sinal modulado, que afeta a capacidade do receptor de recuperar a informação transmitida. A razão de erro de modulação pode ser analogamente comparada com a relação sinal/ruído (SNR) para um sinal digitalmente modulado.

Essa métrica é bastante usada em sistemas de transmissão de televisão digital por cabos por refletir o efeito combinado das distorções citadas anteriormente. A MER é uma medida que reflete a combinação de todos os efeitos das interferências ocasionadas no canal de transmissão e caso exista apenas uma fonte de ruído no canal, a MER e a SNR serão iguais.

A combinação de todas as interferências no canal de transmissão acarreta em desvios da posição dos pontos da constelação em relação a suas respectivas posições nominais no centro da região de detecção do símbolo (vide figura 3). Desta forma, esse desvio pode ser considerado como um parâmetro de medida da magnitude de uma interferência. E esse é, de fato, o papel da MER.

Quando os símbolos começam a ser incorretamente interpretados haverá um aumento na taxa de erro de bit (BER) do canal, que levará a imperfeições na sequência de imagens e áudio a serem exibidos. Em algumas situações a degradação do canal não provocará esse aumento de erros nos sistemas de transmissão de televisão digital devido à capacidade desses sistemas de corrigir grande parte desses erros.

Devido a essa capacidade de correção, a medida da BER em algumas situações pode não refletir o nível de degradação do sinal recebido. A MER pode fornecer essa informação mais precisamente, conforme ilustra a figura 8. Como o valor da MER é uma quantia agregada que inclui todos os possíveis erros individuais, conclui-se que a MER é uma métrica muito útil para medir o desempenho de um canal de transmissão.

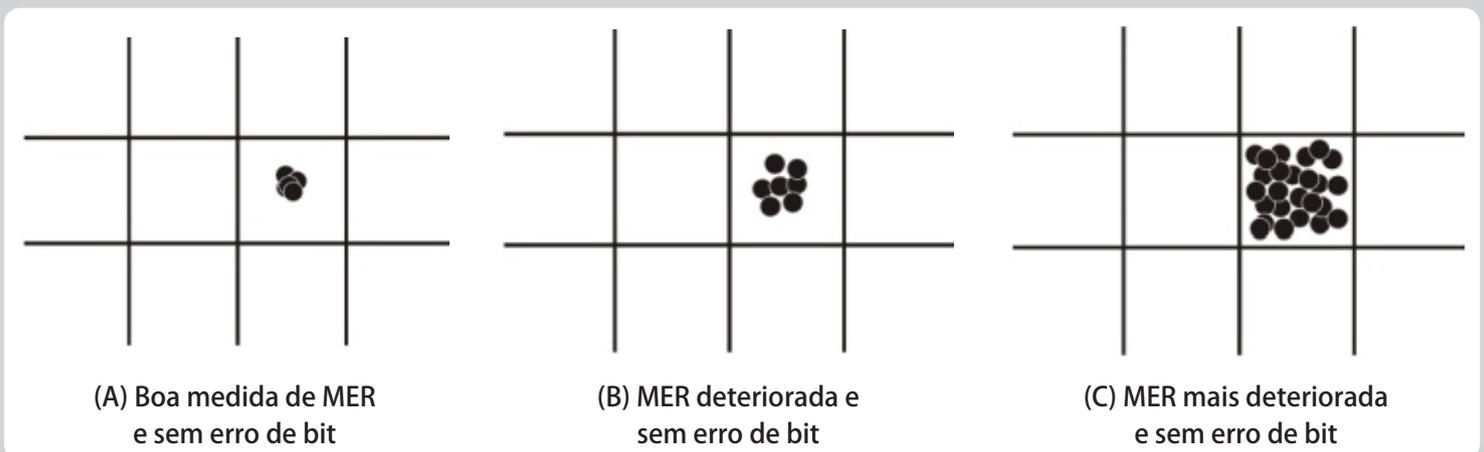


Figura 8 - Ilustração sobre a relação entre a MER e a BER.

5- CONCLUSÕES

BER é um teste de certificação que pode ser corrigido com o FEC quando ocorrem problemas em um sinal QAM. O BER pode ter valores ligeiramente diferentes baseado nas diferenças dos vários chipsets e algoritmos utilizados por eles para corrigir os valores dos sinais QAM.

Note que o pré-BER é uma indicação bruta do desempenho da rede HFC e o pós-BER indica o nível que o FEC está trabalhando para corrigir os problemas. Lembre-se que o BER não é um teste que pode ser realizado rapidamente assim como a medição de nível ou mesmo do MER e ele pode variar conforme o tipo do QAM e as taxas de símbolos utilizadas.

MER é útil para identificar ruído contínuo no cabo coaxial seja como resultado dos baixos níveis de potência, das portadoras off-air ou a interferência consistente de motores elétricos. Valores aceitáveis para o MER dependem do tipo de QAM utilizado. Altas modulações de QAM requerem maiores níveis de MER para funcionar corretamente.

Valores típicos de BER e MER foram resumidos no quadro abaixo:

Digital Video		MER		Pre FEC BER (Pre-BER)	Post FEC BER (Post-BER)
		QAM 64	QAM 256		
Node	Excellent	34 dB	35 dB	0.0 E -0	0.0 E -0
	Acceptable	31 dB	34 dB	<1.0 E -8	<1.0 E -8
	Marginal	28 dB	30 dB	<1.0 E -8	<1.0 E -8
Amp	Excellent	33 dB	35 dB	0.0 E -0	0.0 E -0
	Acceptable	30 dB	32 dB	<1.0 E -8	<1.0 E -8
	Marginal	25 dB	27 dB	<1.0 E -7	<1.0 E -8
Tap	Excellent	32 dB	35 dB	0.0 E -8	0.0 E -0
	Acceptable	28 dB	31 dB	<1.0 E -7	<1.0 E -8
	Marginal	24 dB	28 dB	<1.0 E -6	<1.0 E -8
Set-top	Excellent	32 dB	35 dB	0.0 E -8	0.0 E -0
	Acceptable	27 dB	31 dB	<1.0 E -7	<1.0 E -8
	Marginal	23 dB	27 dB	<1.0 E -6	<1.0 E -7

A maior parte das interferências ou distorções digitais pode ser diagnosticada e corrigida ao se utilizar ferramentas desenvolvidas especialmente para esse fim como o SW500CATV e o TSW520CATV, da Wise Indústria de Telecomunicações. Esses instrumentos medem diversos parâmetros dos canais digitais tais como nível de sinal, BER e MER, além de exibirem as constelações QAM.