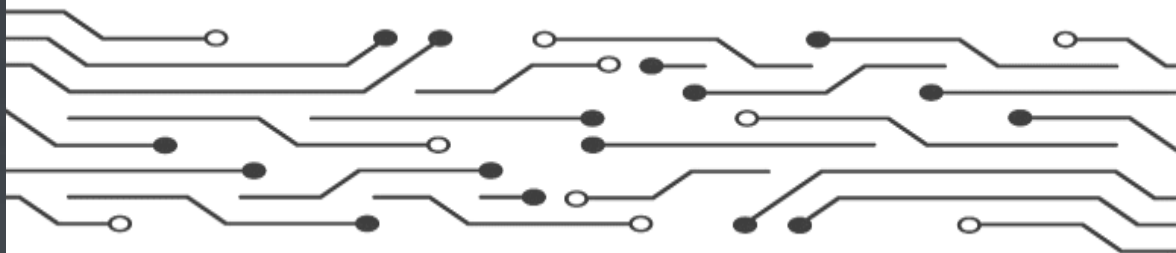


Modulações Digitais

ASK, FSK, PSK, QAM

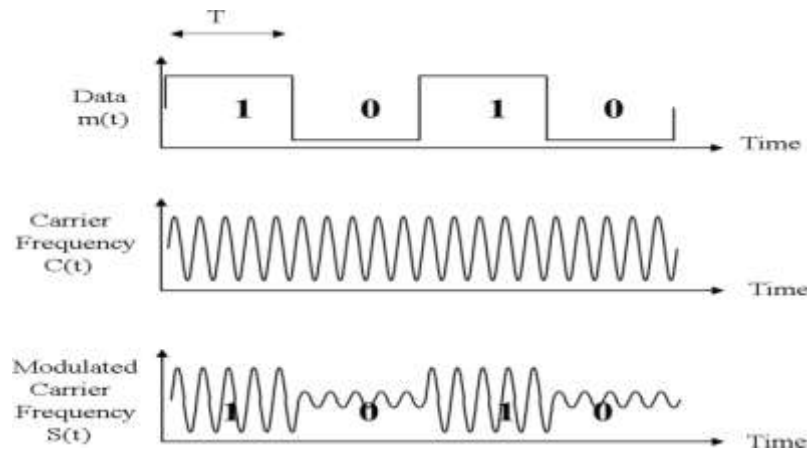
Conceitos Básicos e Aplicações



Nesta Apresentação

... Veremos os conceitos básicos, em uma forma simples de entender, das modulações digitais, ou seja, o tráfego de dados binários pelas ondas do rádio.

Não abordaremos aqui fórmulas matemáticas, nem os protocolos. Por exemplo, o **DMR é um protocolo**, que usa modulação FSK via rádio. Abordaremos a modulação FSK, mas não o protocolo. A audiência mais experiente poderá tecer seus comentários e contribuições ao final da apresentação, ou na página desta edição ao website dvbrazil.com.br



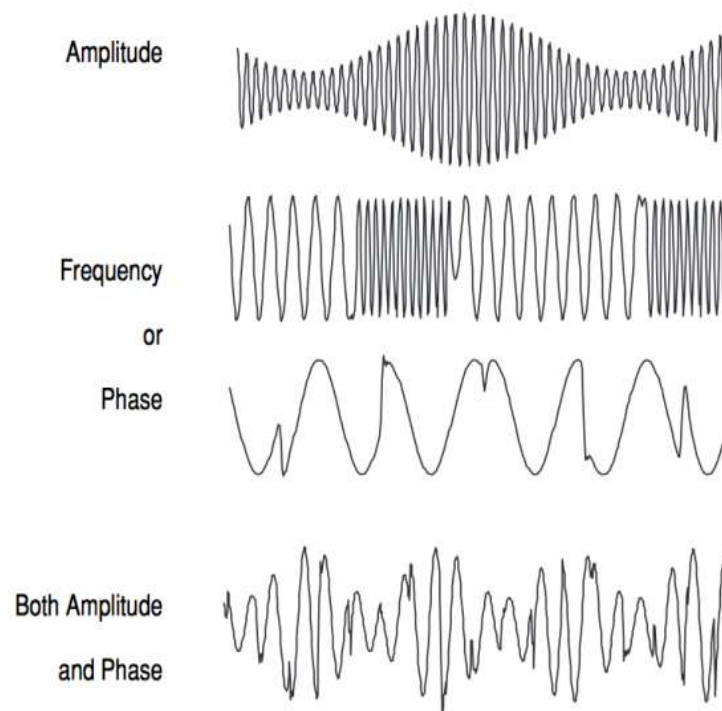
Modulação ASK

Antes, um aviso: este conteúdo apesar de ter algumas imagens geradas por AI (Inteligência Artificial), seu texto e abordagem são livres de AI, 100% desenvolvidos e escritos por humanos.

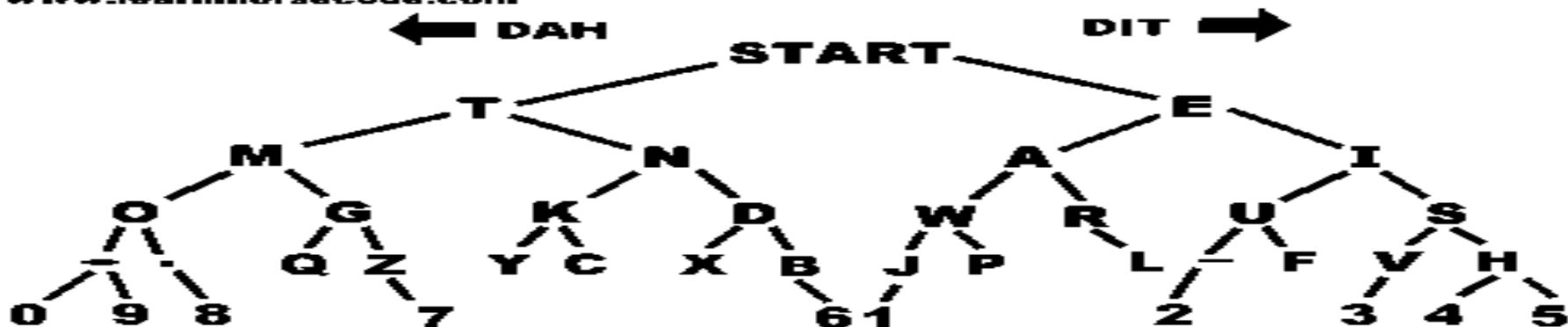
Introdução

As modulações digitais possuem este nome pois são destinadas ao tráfego de dados binários, em zeros e uns. Para nós radioamadores o entendimento é facilitado, pois já conhecemos os conceitos de modulação: por amplitude, por frequência, por fase.

E de alguma forma, podemos fazer uma analogia em que o código morse foi o primeiro protocolo e modulador digital criado: zeros e uns trafegados como pontos ou traços, em uma velocidade previamente sincronizada entre transmissor e receptor, em que letras e números eram encapsulados em símbolos. O transmissor seleciona o caractere a transmitir, converte e transmite seu símbolo correspondente (conjunto de pontos e traços e pausas); o receptor identifica o símbolo recebido, e o converte de volta para letras e números.



www.learnmorsecode.com

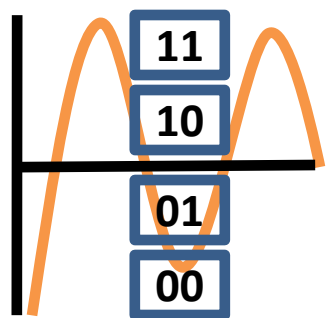
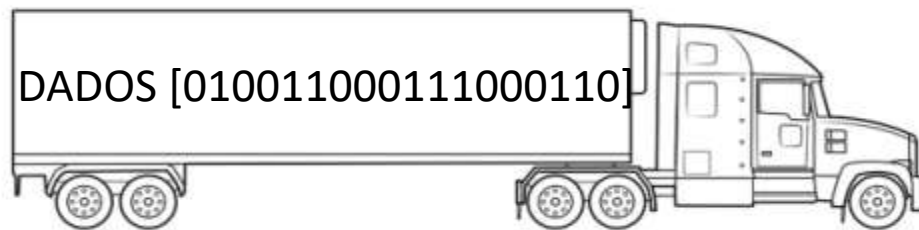


Conceitos Comuns

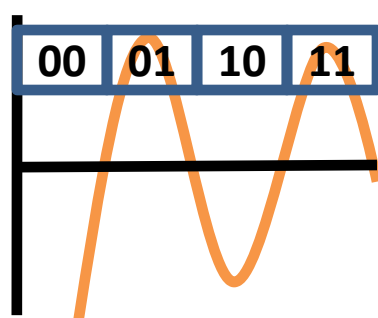
PREAMBLE: Toda modulação digital, independente de protocolo, trafega os dados em mensagens ou pacotes, que podem ter tamanho fixo ou variável.

Este “tamanho” refere-se a uma quantidade de tempo, ou de dados, e pode ser fixo ou variável, dependendo do protocolo. Mas antes disto, o transmissor sempre envia um **tom sincronizador**, chamado de “*preamble*” ou “*hand-shaking*”, para que o receptor identifique e sincronize o tempo, a fase, e a amplitude do sinal. Isto é necessário para que o receptor consiga identificar corretamente os símbolos.

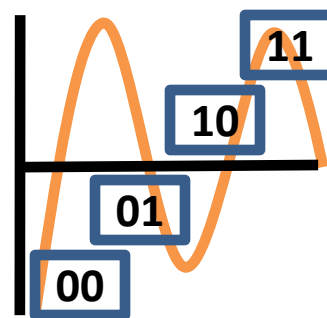
SYMBOLS: O conceito mais importante, os *symbols*. Eles são literalmente símbolos, são as representações dos valores binários (zeros e uns) **para cada valor analógico identificado na modulação do sinal**. Para facilitar o entendimento, vamos imaginar e trabalhar com apenas quatro símbolos: 00, 01, 10, e 11. Usando apenas quatro símbolos, cada um carrega 2 bits. Os símbolos e seus tamanhos são sempre em expoentes de 2 (ex: 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256, etc).



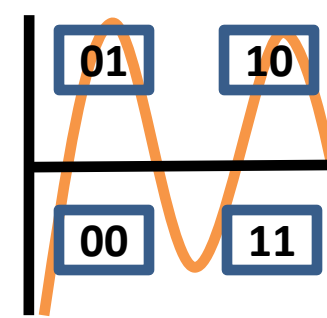
Symbols em ASK



Symbols em FSK



Symbols em PSK



Symbols em QAM

Modulação ASK

Amplitude Shift Keying
Chaveamento pela variação de amplitude



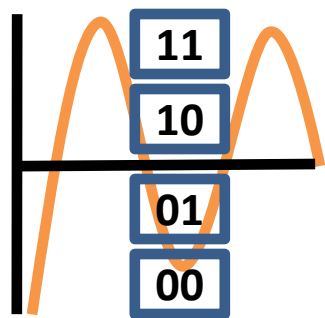
CONCEITO: A modulação ASK utiliza uma frequência fixa e estreita, e sua portadora carrega um sinal que varia em amplitude. Esta variação de amplitude determina o símbolo correspondente.



DETALHES: Tal como as modulações por amplitude, a largura da faixa de frequência não é tão relevante, e quanto menor esta faixa, melhor: faixas mais estreitas permitem que uma maior eficiência da energia dissipada em ondas de rádio.



APLICAÇÕES: Por permitir concentrar a energia em uma faixa estreita, a ASK é usada em aplicações com pouca disponibilidade de banda e que operam com baixa energia. Os exemplos mais comuns são controle remoto, rádio-comando, telemetria.



Symbols em ASK



Modulação FSK

Frequency Shift Keying
Chaveamento pela variação de frequência



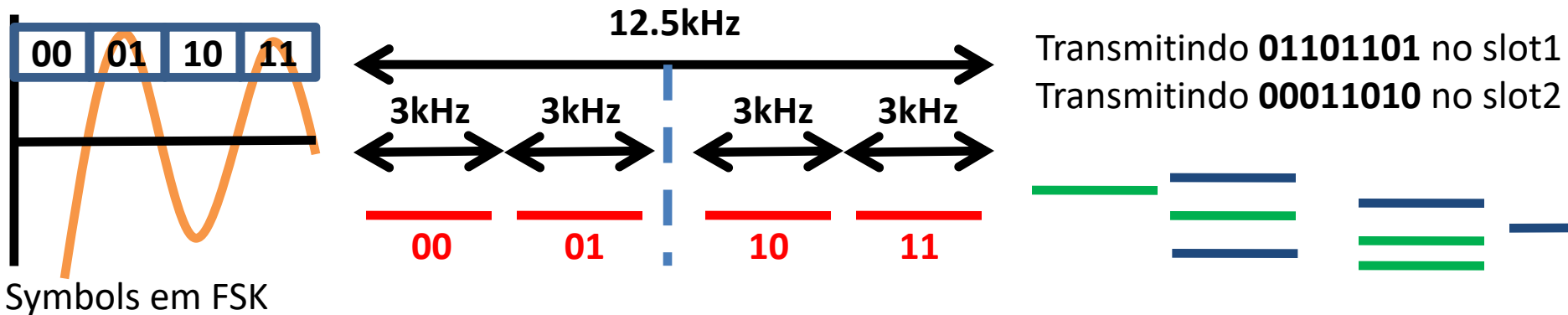
CONCEITO: A modulação FSK divide sua faixa de frequência em sub-faixas. A presença de portadora e sinal na amplitude máxima em uma sub-faixa específica, vai determinar o símbolo correspondente.



DETALHES: Quanto maior a faixa de frequência disponível, mais sub-faixas podem ser adicionadas, portanto permitindo um número maior de símbolos e acréscimo da quantidade de dados por símbolo. Outra característica: por não depender da amplitude do sinal, é possível criar divisão por tempo (TDMA) nos protocolos que usam FSK, ou seja, usar dois ou mais tráfegos simultaneamente em um mesmo canal de frequência. A exemplo do protocolo DMR, que modula em 4FSK e faz TDMA com dois *slots* de tempo.



APLICAÇÕES: O uso de FSK otimiza o tráfego de dados em aplicações que possuem faixas estreitas de frequência. Os protocolos de tráfego de voz, de imagens estáticas, ou pequenas quantidades de dados, preferem a modulação FSK (Ex: DRM, P25, D-Star, APRS, X25, etc)



Modulação PSK

Phase Shift Keying
Chaveamento pela variação de fase



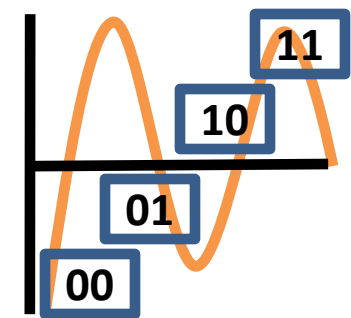
CONCEITO: A modulação PSK sincroniza uma onda senoidal em uma frequência fixa e em amplitude máxima. O deslocamento de fase desta onda irá determinar o símbolo correspondente.



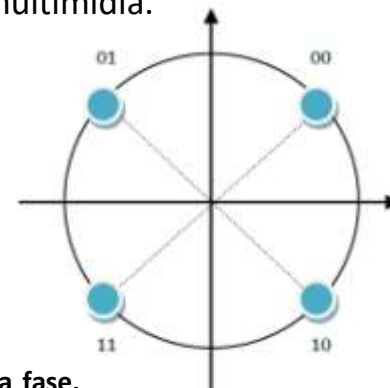
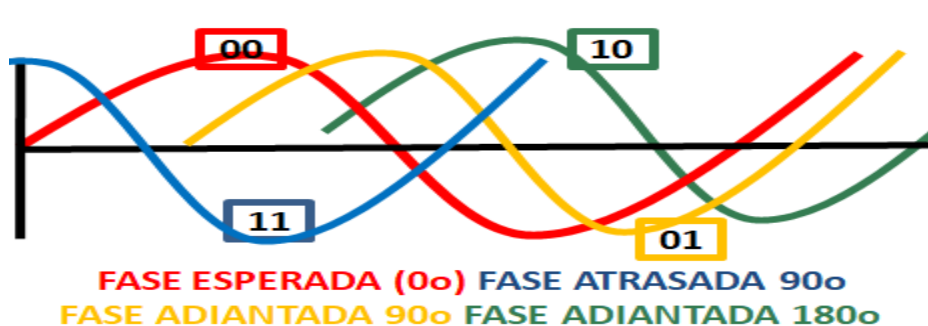
DETALHES: O sinal trafegado na portadora é uma onda senoidal, previamente sincronizada entre receptor e transmissor, o que corresponde a “fase esperada” e também a um símbolo. Assumindo quatro símbolos possíveis, então a fase pode ser deslocada em múltiplos de 90 graus ($360/4=90$). Ao detectar o deslocamento da fase da onda, o receptor associará este “ângulo” ao símbolo correspondente. Este cálculo de deslocamento de fase depende do protocolo, os mais comuns são o binário, o gaussiano, e quadratura.



APLICAÇÕES: Por não depender da amplitude, o PSK permite a divisão do espectro disponível em sub-faixas, que diferente do FSK, permite operação em paralelo em cada uma destas sub-faixas, aumentando a quantidade de símbolos trafegados por tempo. Ao permitir um maior tráfego de dados, a modulação PSK é muito usada em tráfego de dados entre computadores, internet, e aplicações multimídia.



Symbols em PSK



* O método gaussiano (GFSK) consegue identificar atrasos ou adiantamentos da fase, mas a maioria dos demais métodos/cálculos identificam apenas o deslocamento.

Modulação QAM

Quadrature Amplitude Modulation
Modulação em Amplitude e Quadratura



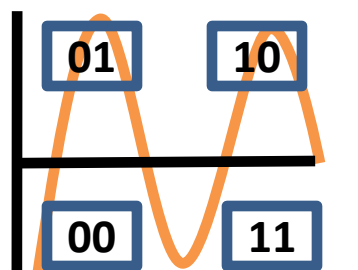
CONCEITO: União entre ASK e PSK. Imagine os símbolos em uma matriz com linhas e colunas. A variação da amplitude irá determinar uma das linhas de símbolos, e o deslocamento da fase irá determinar o símbolo específico na linha.



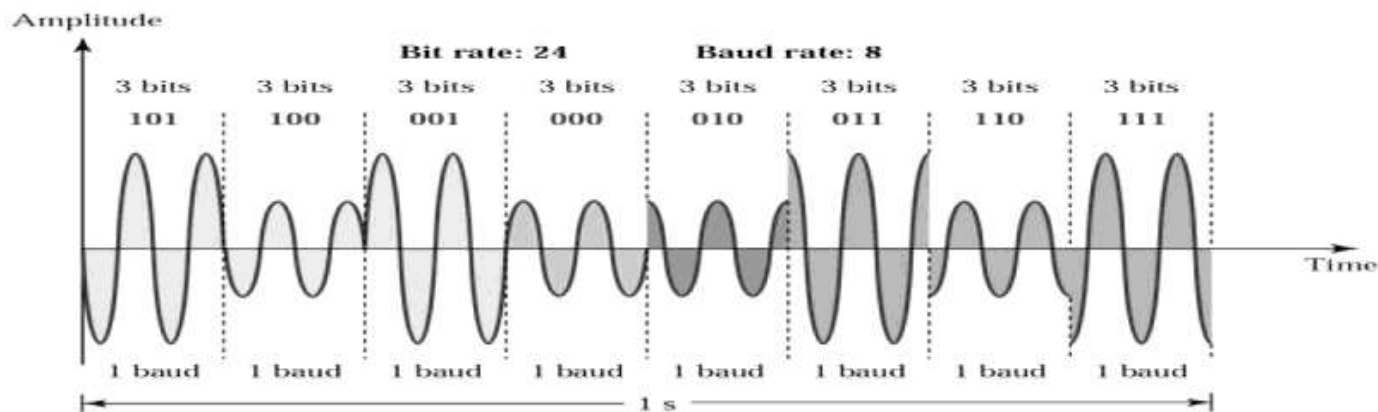
DETALHES: A depender da tecnologia e sensibilidade, a variação em amplitude pode ser sub-dividida por muitos símbolos. Da mesma forma, a variação em fase também pode ser sub-dividida por muitos símbolos. Ao unir estas duas formas de modulação, a quantidade de símbolos é acrescida exponencialmente. A menor é a 4QAM, com 8 símbolos: 2 linhas de símbolos definidas pela amplitude, e 2 símbolos por linha, definidos pelo deslocamento de fase. Tecnologias em 256QAM e até 1024QAM já são bastante utilizadas.



APLICAÇÕES: Apesar de não sub-dividir o espectro disponível, QAM faz um uso muito eficiente da faixa disponível. Permite um grande tráfego de dados de banda larga, e com o endereçamento de tempo eficiente dos protocolos, múltiplos clientes trafegam simultaneamente, a exemplo do Wifi, GSM, CableModems, etc.



Symbols em QAM



Aplicações comuns (visão de engenharia)

Modulação ASK

Prós: Baixo custo de produção, alta eficiência energética

Contras: Baixa velocidade de transmissão, sensível a ruídos e interferências

Aplicações: Sistemas de baixa energia e curto alcance.

Exemplos: Controle remoto, telemetria simples, sensoreamento, cartões RFID e NFC.

Modulação FSK

Prós: Alta imunidade a ruídos e interferências, tráfego simultâneo (TDMA)

Contras: Baixa velocidade de transmissão

Aplicações: Baixa necessidade de tráfego, mas com alta confiabilidade de dados.

Exemplos: Digital Voice, telefonia via rádio, tele-comando de objetos móveis, veiculares, aviônicos.

Modulação PSK

Prós: Maior capacidade de transmissão de dados, sub-divisão do espectro

Contras: Sensível a ruídos, protocolos devem tolerar perda de pacotes

Aplicações: Alto tráfego em múltiplos canais, e tolerância a perda de pacotes.

Exemplos: GPS, DSL, GSM, 3G, comunicação via satélite em geral, primeiras versões do Wifi.

Modulação QAM

Prós: Alta eficiência espectral e altas taxas de símbolos

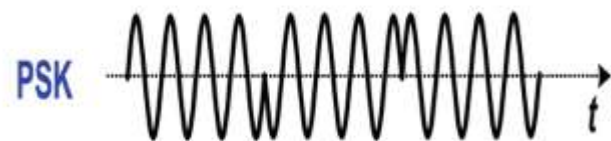
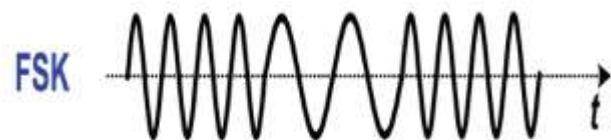
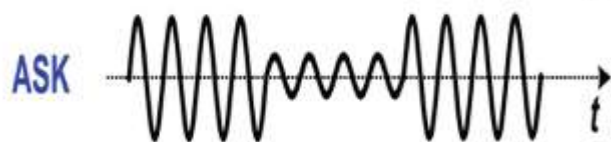
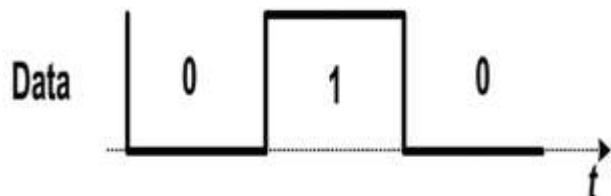
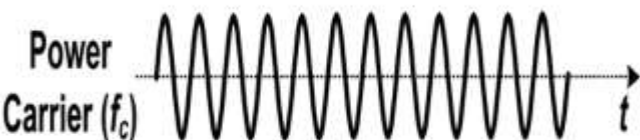
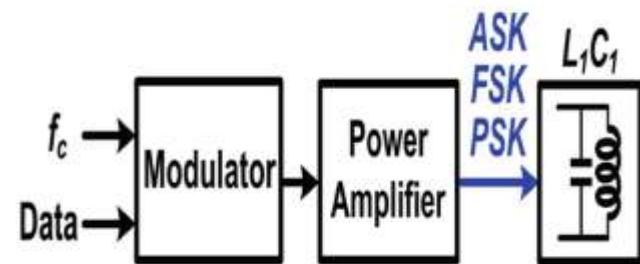
Contras: Sensível a ruídos, protocolos devem tolerar perda de pacotes

Aplicações: Alto tráfego de dados e com alta capacidade de correção de pacotes.

Exemplos: CableModems, internet via satélite, multimídia, wifi, 4G, 5G



Curiosidades Finais



"Bit-rate" é a velocidade em bits por segundos. "Baud-rate" é a taxa de símbolos por segundo. São geralmente confundidos, mas são medidas diferentes.



Nesta apresentação vimos os conceitos básicos das modulações digitais, sem abordarmos os protocolos de comunicações. Ao longo do tempo, estas tecnologias foram evoluindo e ficando mais eficientes para subdivisões, sejam em divisão de tempo, divisão de amplitude, e divisão de fase.

Além disto, estas modulações podem ser aplicadas em qualquer meio que propague ondas, não apenas no rádio, ex: fios de cobre, e fibras óticas. As fibras óticas mais atuais já alcançam 5000 símbolos por pulso, com pulsos de nano-segundos de duração, em velocidades que podem chegar a 1 Terabit/s (um trilhão de bits por segundo). Isto em um único comprimento de onda em uma única fibra. Como as fibras podem carregar vários comprimentos de onda ao mesmo tempo (a exemplo do rádio), as velocidades podem chegar a 5 Tby/s (5 trilhões de bytes por segundo) em uma única fibra.

Estima-se que **todos os livros** do mundo até por volta de 1950, poderiam ser armazenados em algo em torno de 5 terabytes de dados, se digitalizados.



AGRADECEMOS PELA ATENÇÃO

#NetBR Ed.291

•O Autor deste artigo (PY2UTU) e seus divulgadores (DVBrazil) não assumem responsabilidade sobre atos ou omissões de terceiros que venham mencionar o conteúdo deste artigo em outros conteúdos e materiais e meios. Algumas imagens presentes são de domínio público, as demais imagens presentes neste conteúdo foram geradas por AI e cedidas a DVBrazil. Reprodução ou divulgação, ainda que parcial, requer prévia autorização da DVBrazil.