



Aula 5 – Tipos de Filtros e Modulação

Disciplina: Princípios de Comunicação

Professor: Daniel Gueter





Cronograma

06/05 – Aula 1 - Introdução da disciplina e histórico da área

13/05 – Aula 2 - Sinais e Fourier: Série e Transformada

20/05 – Aula 3 - Transformada de Fourier, Transmissão de Sinais e Filtros

27/05 – Aula 4 - Amostragem e Filtros

03/06 – Aula 5 - Tipos de Filtros e Modulação

10/06 – Aula 6

17/06 – Prova

24/06 – Exame (Prova substitutiva)



Tipos de Filtros

- Existem inúmeros tipos de filtros que são conhecidos para o tratamento, processamento ou envio de sinais.
- Dentre as suas aplicações, pode citar algumas abaixo:
 - Processamento de áudios
 - Processamento de imagens
 - Telecomunicações
 - Sistemas de controle
 - Geração, transmissão e distribuição de energia
 - Instrumentação científica



Tipos de Filtros

Filtros Analógicos

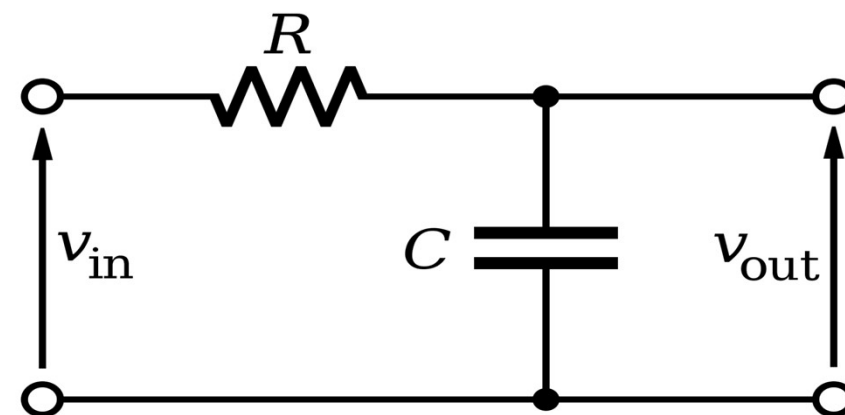
- São filtros baseados em **circuitos elétricos e componentes eletrônicos**, que utilizam suas características construtivas e topologias para exercer a função de filtro.
- Podem ser **Passivos** ou **Ativos**.



Tipos de Filtros

Filtros Analógicos Passivos

- São filtros construídos apenas com componentes eletrônicos que **não** precisam nem “produzem” energia.
- Exemplo de Filtros Analógicos Passivos:
 - Filtros com **Resistores**
 - Filtros com **Capacitores**
 - Filtros com **Indutores**



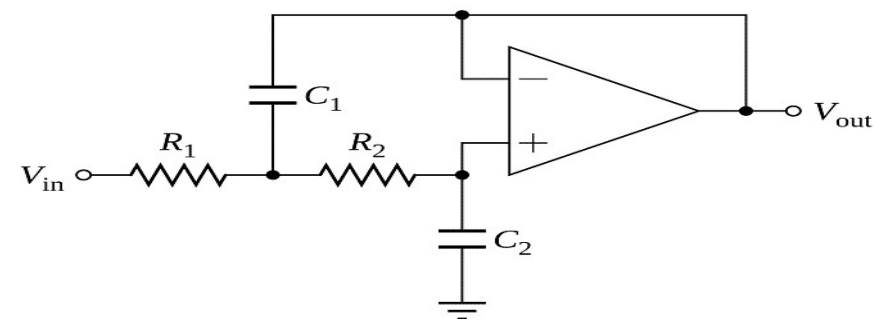
Filtro analógico passivo composto por circuito RC



Tipos de Filtros

Filtros Analógicos Ativos

- São filtros construídos com pelo menos um componente eletrônico que **precise de energia, atuando como uma fonte de energia.**
- Exemplo de Filtros Analógicos Ativos:
 - Filtros com **Transistores**
 - Filtros com **Amp-Ops**



Filtro analógico ativo composto por um Amp-Op



Tipos de Filtros

Filtros Digitais

- São filtros que utilizam softwares e algoritmos para realizar o processamento de sinais.
- Podem ser softwares em computadores, ou embarcados em CIs no formato de microcontroladores, microprocessadores ou DSP (*Digital Signal Processor*).



DSP da Texas Instruments



Filtros seletivos em frequência

- Na nossa disciplina, iremos focar em **filtros seletivos em frequência**.
- Segundo Alan V. Oppenheim em seu livro Sinais e Sistemas (2010):

*“Filtros seletivos em frequência são uma classe de filtros especificamente voltada para **selecionar com exatidão ou muito aproximadamente** algumas bandas de frequências e rejeitar outras.”*



Filtros seletivos em frequência

- Exemplo de aplicações:
 - Se o ruído em uma gravação de áudio estiver em uma banda de frequência mais alta do que a música ou a voz na gravação, ele pode ser removido pela filtragem seletiva em frequência.
 - Sistemas de comunicação: Os sistemas de AM transmitem múltiplas informações simultaneamente, alocando cada canal em uma banda de frequência distinta. No receptor, filtros seletivos em frequência separam esses canais, sendo essenciais em rádios e TVs.



Filtros seletivos em frequência

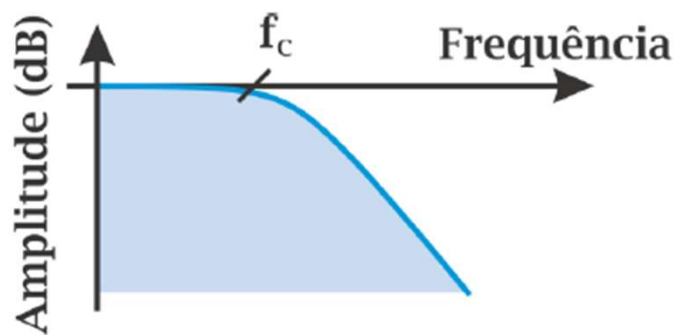
- Veremos com mais detalhes os três principais filtros eletivos em frequência:
 - **Filtro passa-baixa**
 - **Filtro passa-alta**
 - **Filtro passa-faixa**



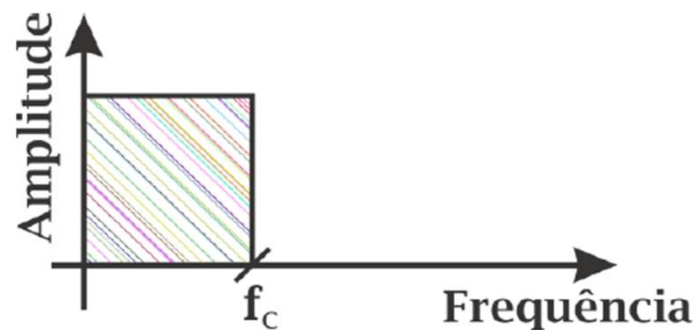
Filtros seletivos em frequência

Filtro passa-baixa

- É um filtro que deixa passar frequências baixas — ou seja, frequências em torno de $f = 0$ — e atenua ou rejeita frequências mais altas.
- f_c é a frequência de corte do filtro.



Filtro passa-baixa real



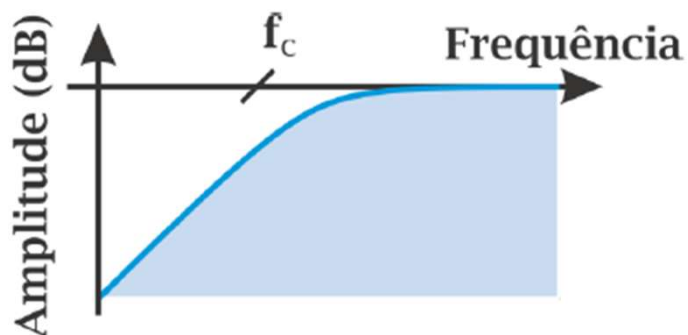
Filtro passa-baixa ideal



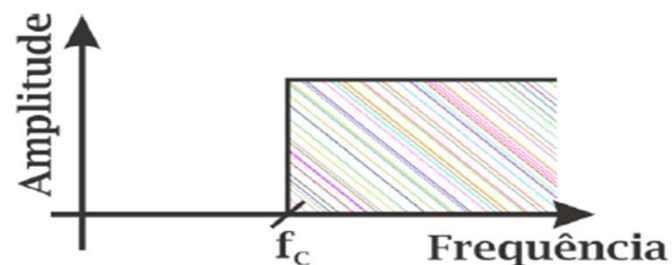
Filtros seletivos em frequência

Filtro passa-alta

- É um filtro que deixa passar frequências altas e atenua ou rejeita as baixas
- f_c é a frequência de corte do filtro.



Filtro passa-alta real



(b) Filtro Passa-Altas (HPF)

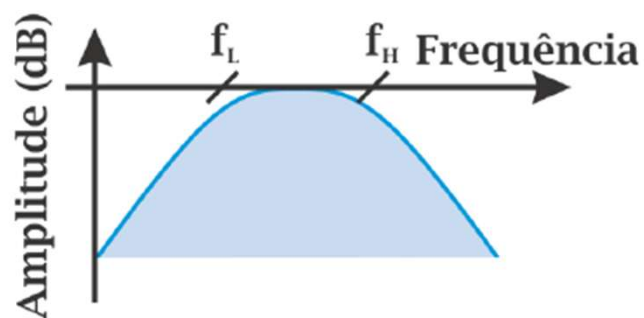
Filtro passa-alta ideal



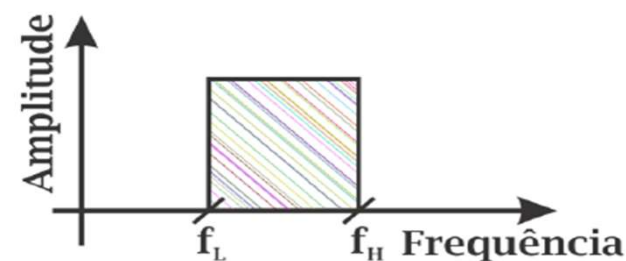
Filtros seletivos em frequência

Filtro passa-faixa

- É um filtro que deixa passar uma faixa de frequências e atenua frequências mais altas e mais baixas que aquelas na faixa que deixa passar.
- f_L e f_H são as frequências de corte do filtro: inferior (low) e superior (high).



Filtro passa-faixa real



(c) Filtro Passa-Banda (BPF)

Filtro passa-faixa ideal



Filtros seletivos em frequência

Explicando decibéis (dB)

- Decibéis é uma conversão para mostrar a relação entre valores de entrada e saída, e é utilizado para simbolizar o ganho ou a atenuação de um filtro (O quanto ele aumenta ou diminui um sinal).
- Para magnitudes como tensão, corrente e amplitude de sinais, a fórmula é:

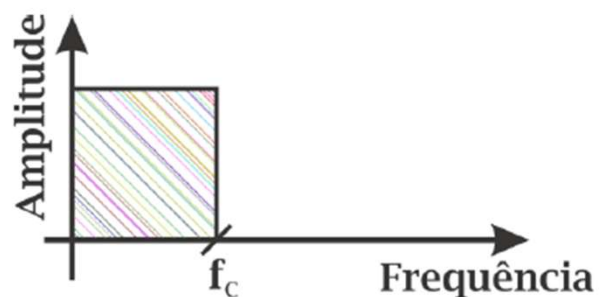
$$\text{dB} = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{V_{\text{out}}}{V_{\text{in}}} \right) \quad \text{onde } V_{\text{out}} \text{ e } V_{\text{in}} \text{ são as tensões de saída e entrada}$$

- **0 dB:** Saída = Entrada ($V_{\text{out}} = V_{\text{in}}$)
- **-20 dB:** Saída = 10% da Entrada. Exemplo: Se um filtro reduz a amplitude de um sinal de 1V para 0.1V em uma frequência

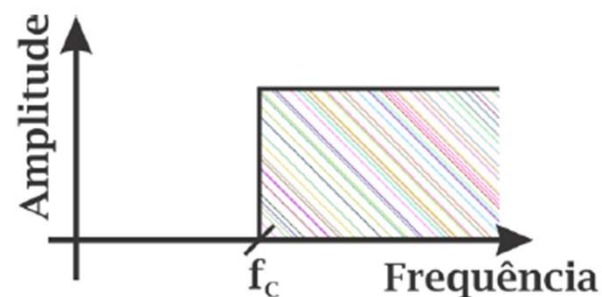
$$20 \cdot \log_{10}(0.1/1) = -20 \text{ dB}$$



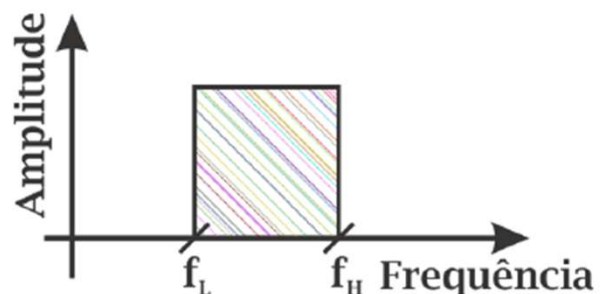
Filtros seletivos em frequência



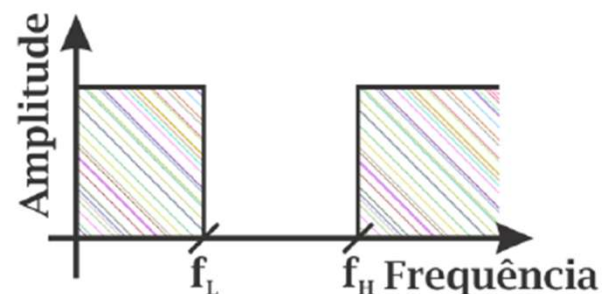
(a) Filtro Passa-Baixas (LPF)



(b) Filtro Passa-Altas (HPF)



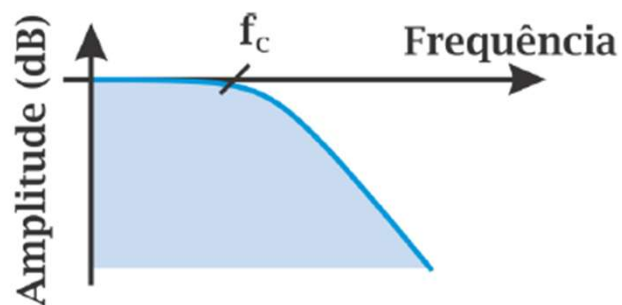
(c) Filtro Passa-Banda (BPF)



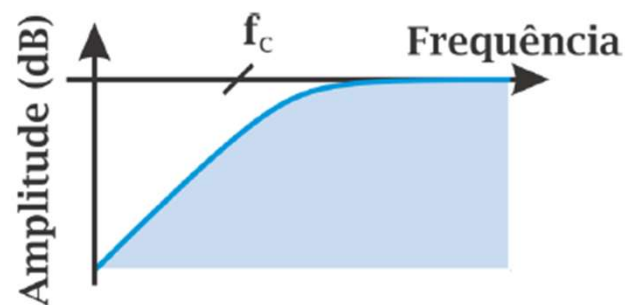
(d) Filtro Rejeita-Banda (BSF)



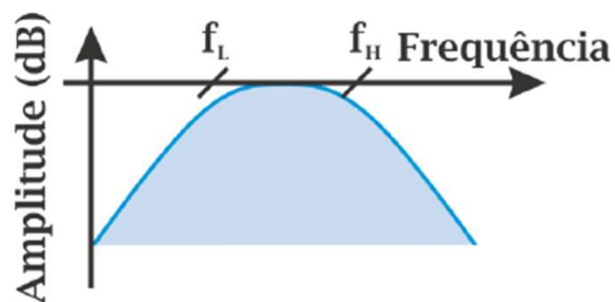
Filtros seletivos em frequência



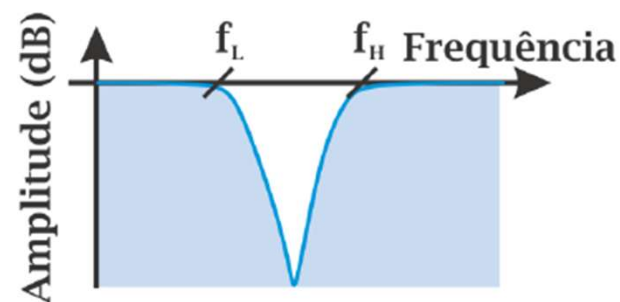
(a) Filtro Passa-Baixas (LPF)



(b) Filtro Passa-Altas (HPF)



(c) Filtro Passa-Banda (BPF)



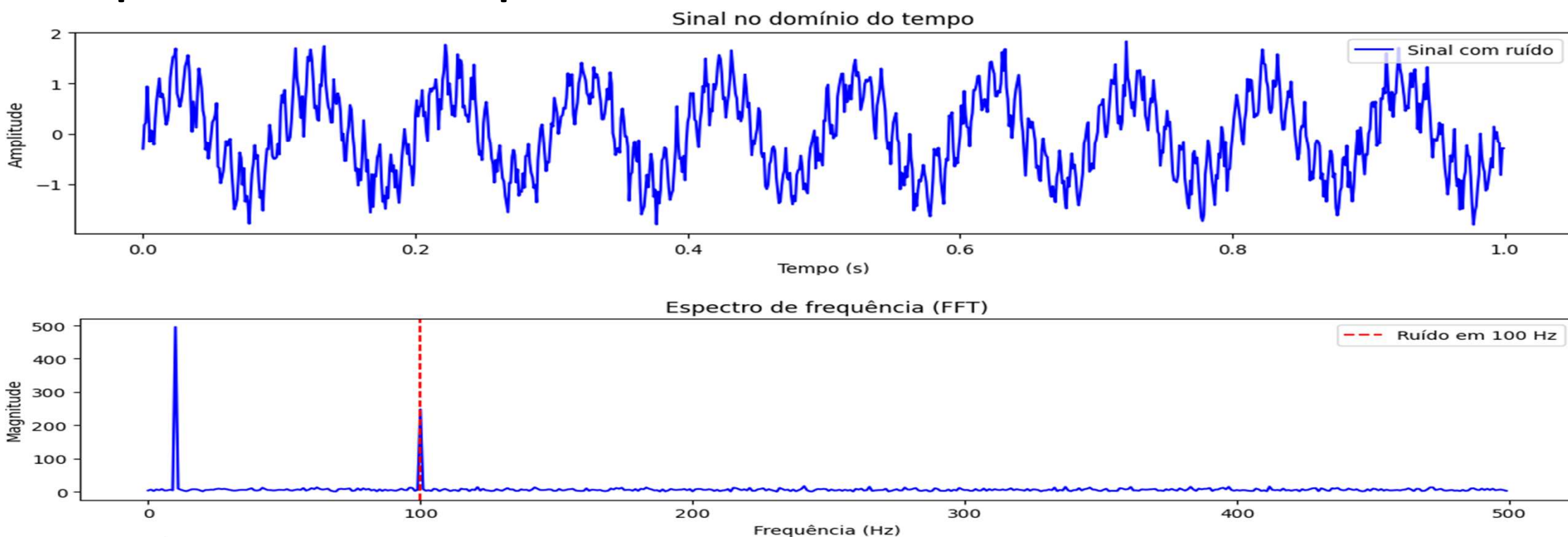
(d) Filtro Rejeita-Banda (BSF)

Filtros seletivos em frequência reais



Filtros seletivos em frequência

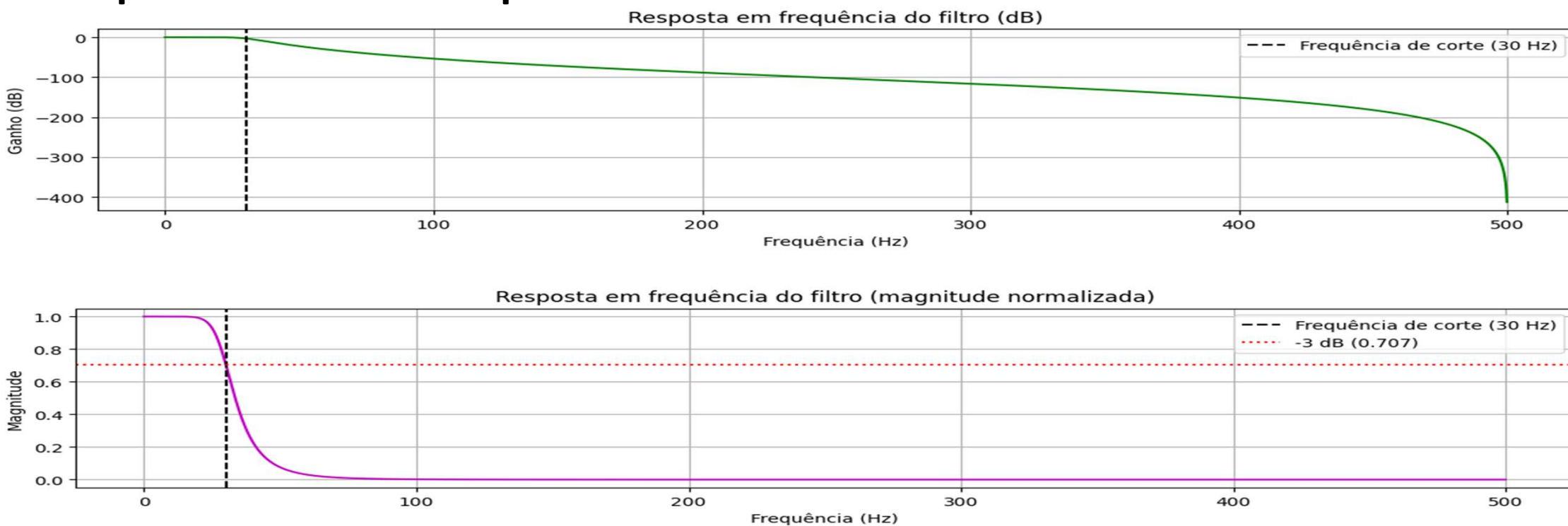
Exemplo de filtro sendo aplicado





Filtros seletivos em frequência

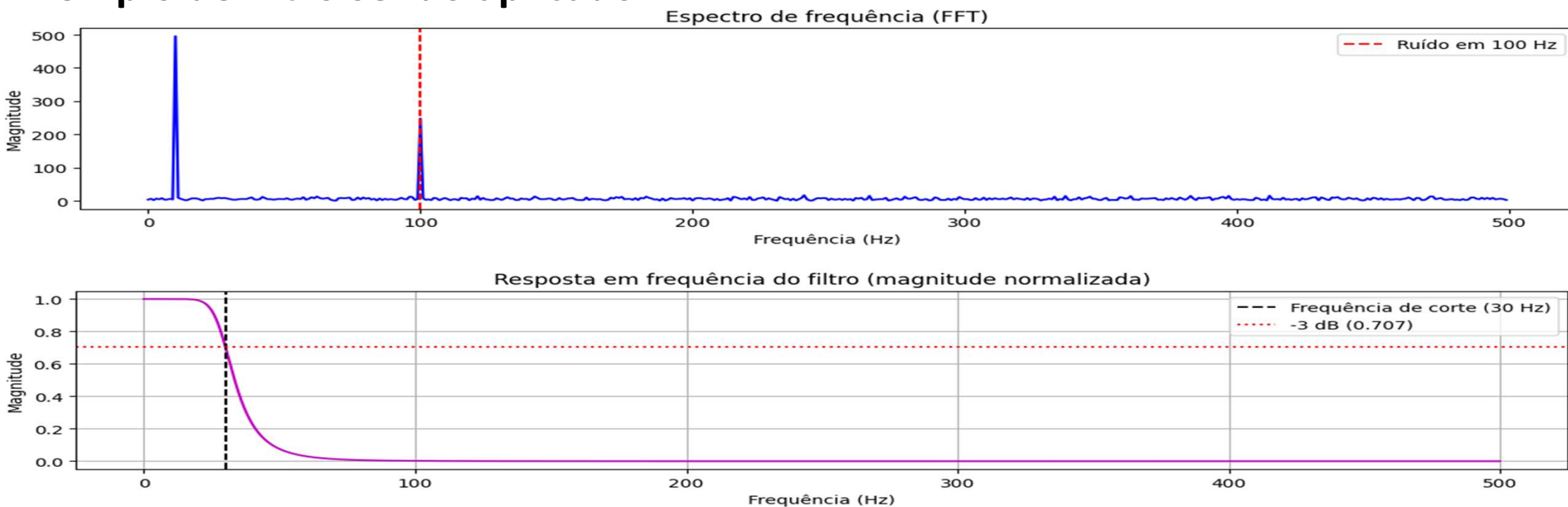
Exemplo de filtro sendo aplicado





Filtros seletivos em frequência

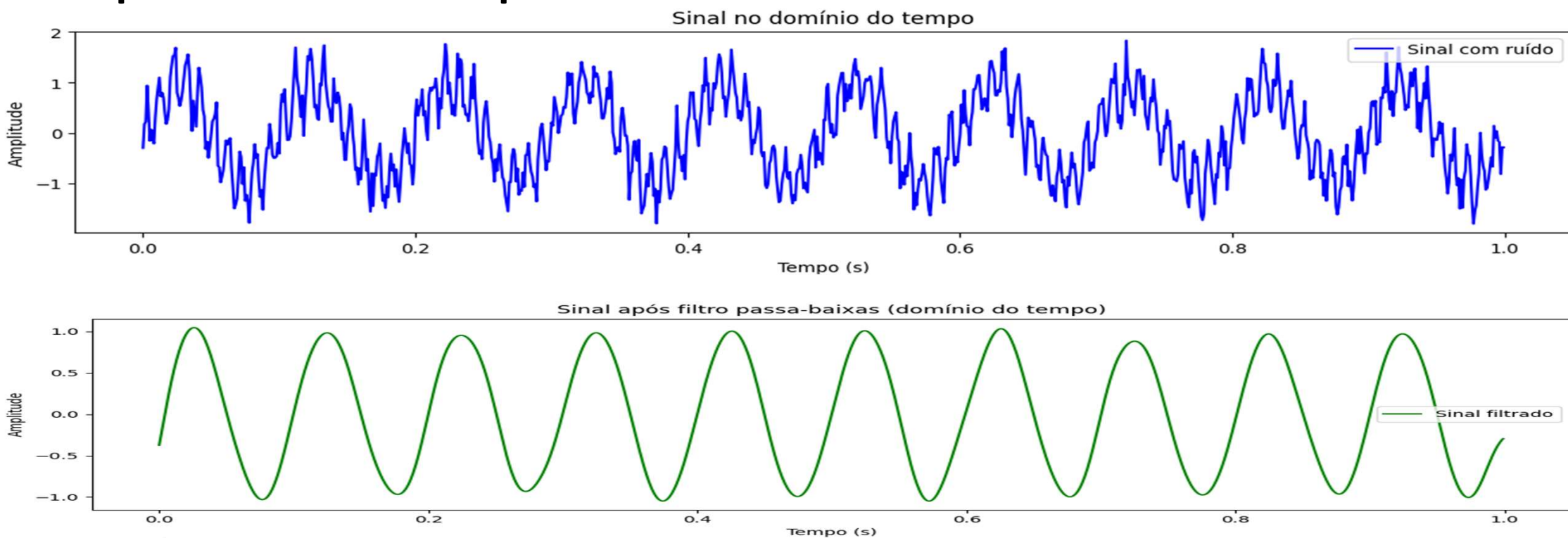
Exemplo de filtro sendo aplicado





Filtros seletivos em frequência

Exemplo de filtro sendo aplicado

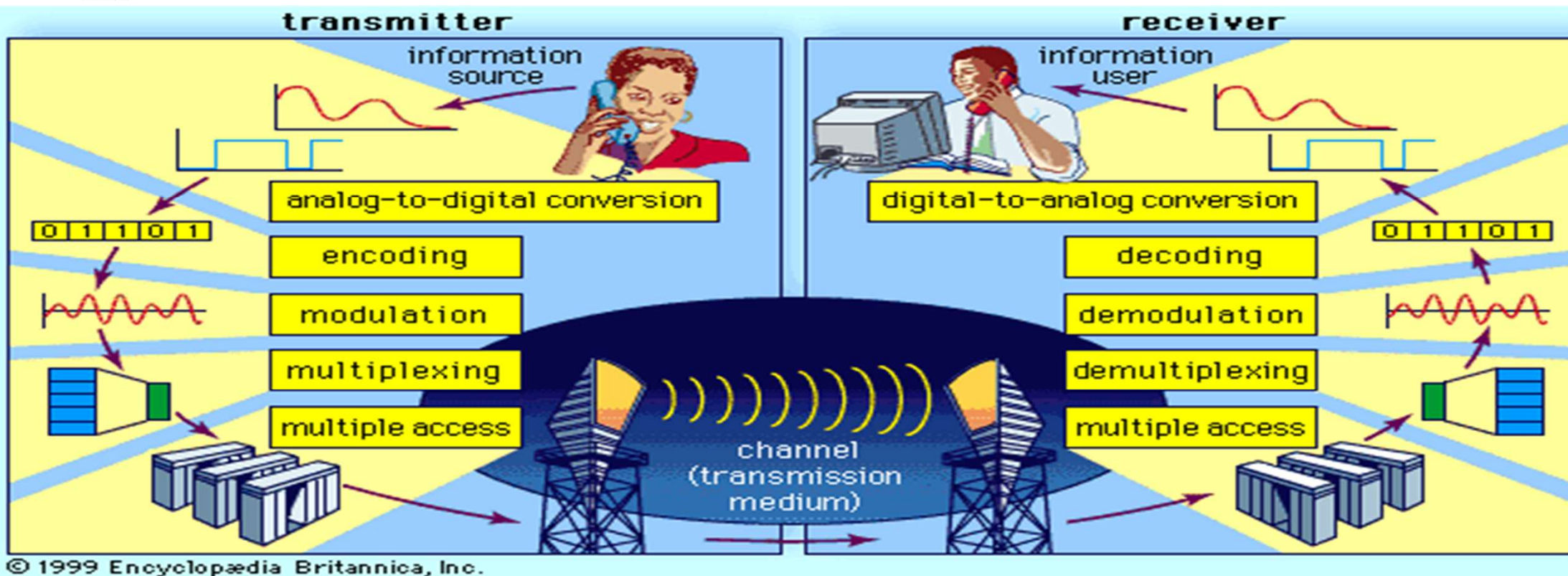




Modulação de sinais



Transmissão de Sinais





Modulação de sinais

- O que é modulação de sinais?
- De acordo com Alan V. Oppenheim em seu livro Sinais e Sistemas (2010):

“O processo geral de incorporar um sinal que contém a informação em um outro sinal é tipicamente chamado de modulação. Extrair o sinal que contém informações é um processo conhecido como demodulação.”

“As técnicas de modulação nos permitem incorporar informações em sinais que podem ser efetivamente transmitidos”



Modulação de sinais

- **Por que precisamos da modulação de sinais?**
- Usualmente, em todos os sistemas de comunicação, a informação na origem é, primeiro, processada por um transmissor ou modulador, para **convertê-la em uma forma adequada para a transmissão pelo canal de comunicação.**
- Além disso, geralmente, um **canal de comunicação tem, associado a ele, uma faixa de frequência sobre a qual a transmissão de sinal é mais adequada e fora da qual a comunicação é severamente degradada ou impossível.**
- Por exemplo, a atmosfera atenuará rapidamente sinais na faixa de frequência audível (10 Hz a 20 kHz), ao passo que propagará sinais em uma faixa de frequência mais alta por distâncias maiores. Assim, na transmissão de sinais de áudio, como voz ou música, por um canal de comunicação que depende da propagação através da atmosfera, o transmissor primeiro associa o sinal a outro sinal de frequência mais alta por meio de um processo apropriado.



<https://www.youtube.com/watch?v=c3eMoHuPRy0>



Para entender o conceito de modulação de sinais, iremos utilizar como exemplo a típica modulação utilizada no rádio, AM (Amplitude Modulation)



Modulação em Amplitude (AM)

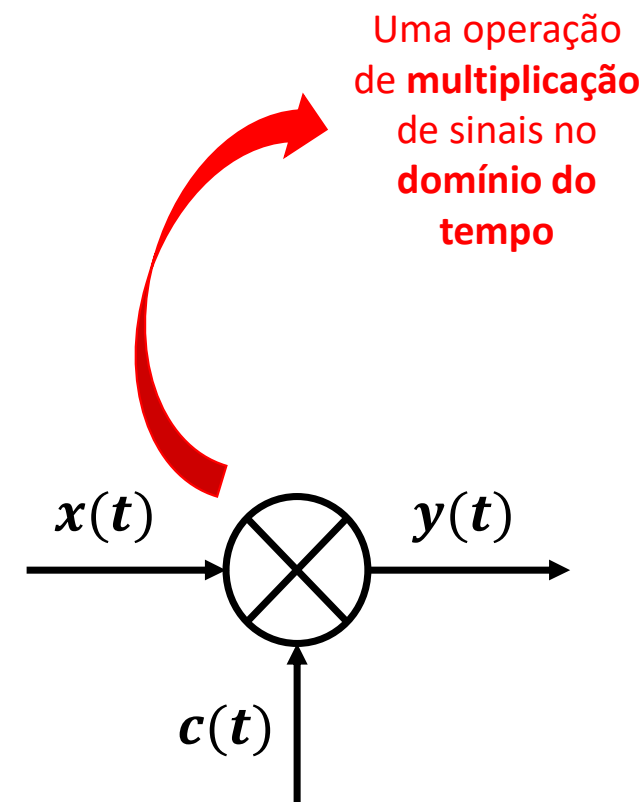
- A Modulação AM é uma das primeiras a ser desenvolvida, e é famosa principalmente pela sua aplicação em ondas de rádio.
- Ela se baseia em **deslocar o sinal da modulante para a frequência da portadora.**
- O resultado no domínio do tempo é um sinal modulado variando a sua amplitude com uma frequência igual a da portadora.



Modulação em Amplitude (AM)

Termos

- $x(t)$ - **Sinal modulante**: Sinal que contém a informação a ser transmitida.
- $c(t)$ - **Sinal de portadora**: Sinal que irá ditar as características da modulação, servindo como “veículo” para transportar a informação.
- $y(t)$ - **Sinal modulado**: Sinal resultante, contendo as informações de $x(t)$ no formato de $c(t)$.



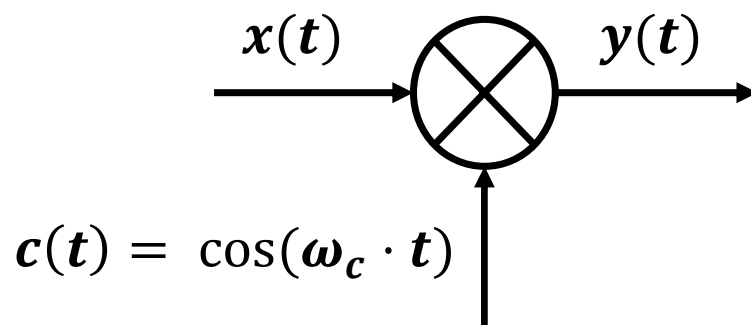
$$y(t) = x(t) \cdot c(t)$$



Modulação em Amplitude (AM)

Modulação em amplitude com uma portadora senoidal

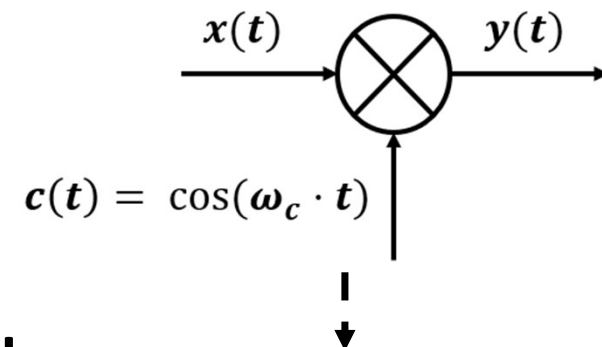
- Na modulação AM, a portadora geralmente é uma onda senoidal, e a sua frequência, chamada de frequência de portadora, ditará qual será a frequência do sinal modulado.



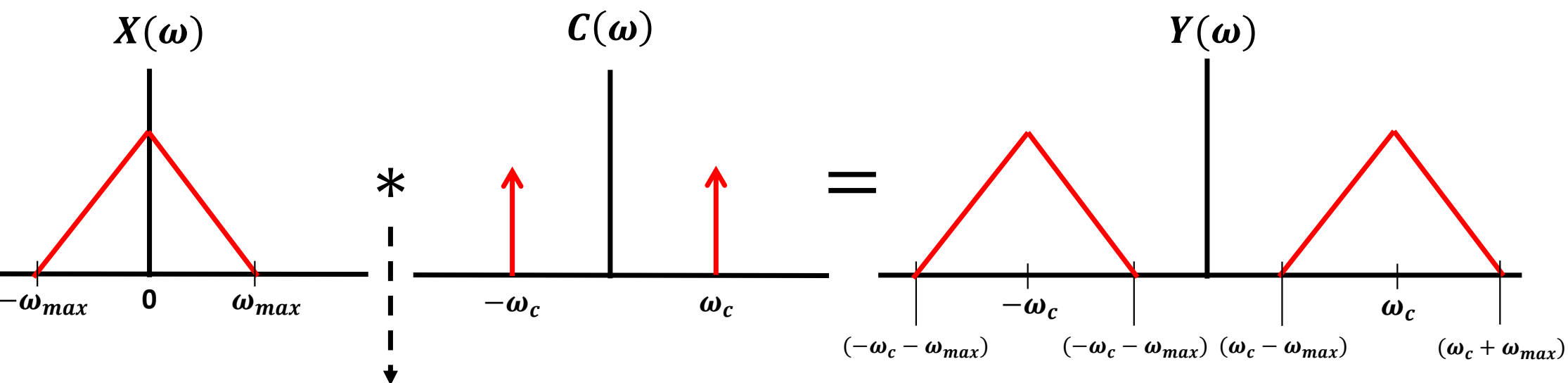


Modulação em Amplitude (AM)

Modulação em amplitude com uma portadora senoidal



Uma operação de **multiplicação** de sinais no **domínio do tempo**

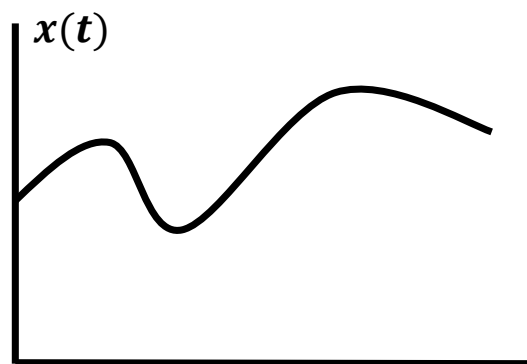


Uma operação de **convolução** de sinais no **domínio da frequência**

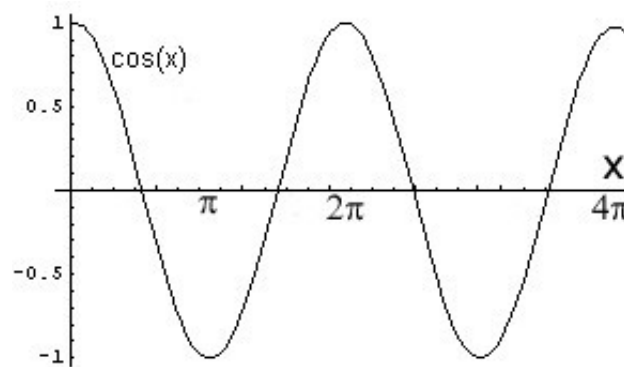


Modulação em Amplitude (AM)

Modulação em amplitude com uma portadora senoidal



$$c(t) = \cos(\omega_c \cdot t)$$



=

