

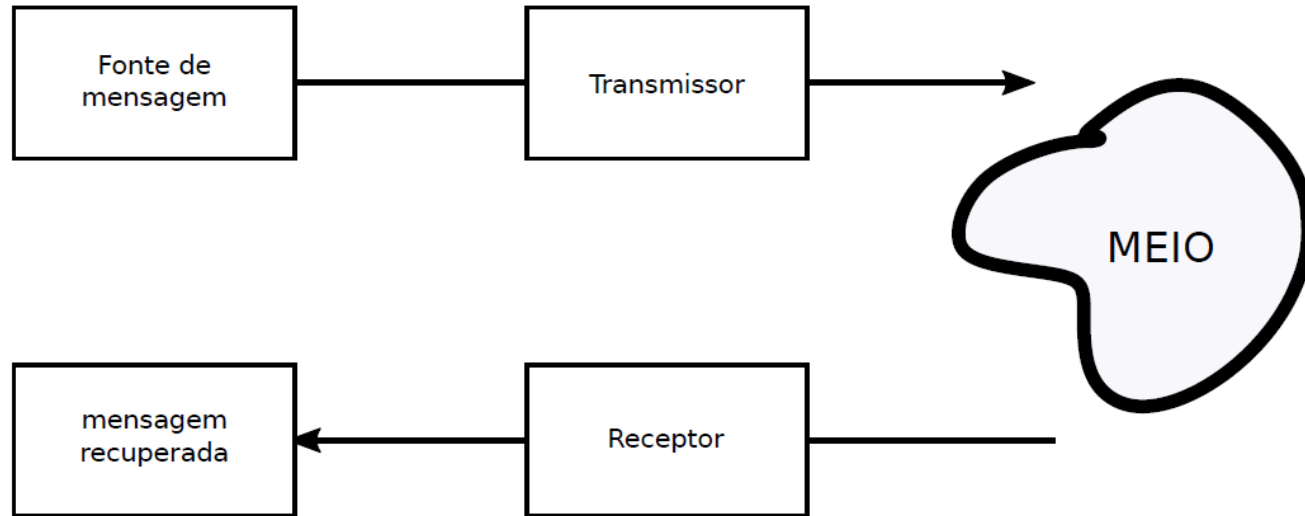
Camada Física da Computação

Modulacao AM

Engenharia da computação

Rodrigo Carareto

Várias fontes, vários receptores, bandas passantes...



O problema a ser enfrentado: vários emissores, vários receptores

UNITED STATES FREQUENCY ALLOCATIONS

[illegible]

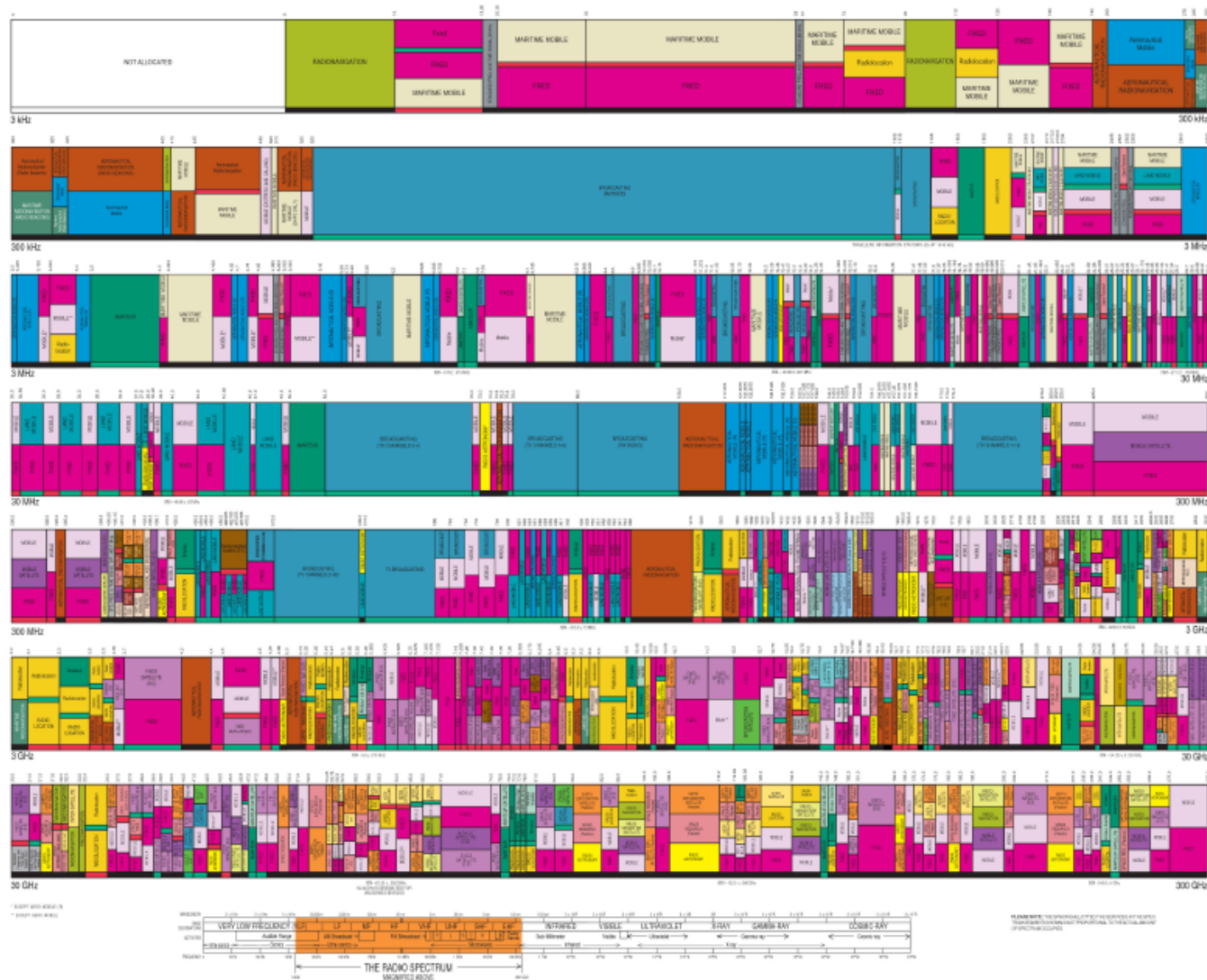
 GOVERNMENT EXCLUSIVE GOVERNMENT/NON-GOVERNMENT SHARED
 NON-GOVERNMENT EXCLUSIVE

SERVICE	EXAMPLE	DESCRIPTION
Primary	Fixed	Capital Letters
Secondary	Blank	1st Capital with lower case letter

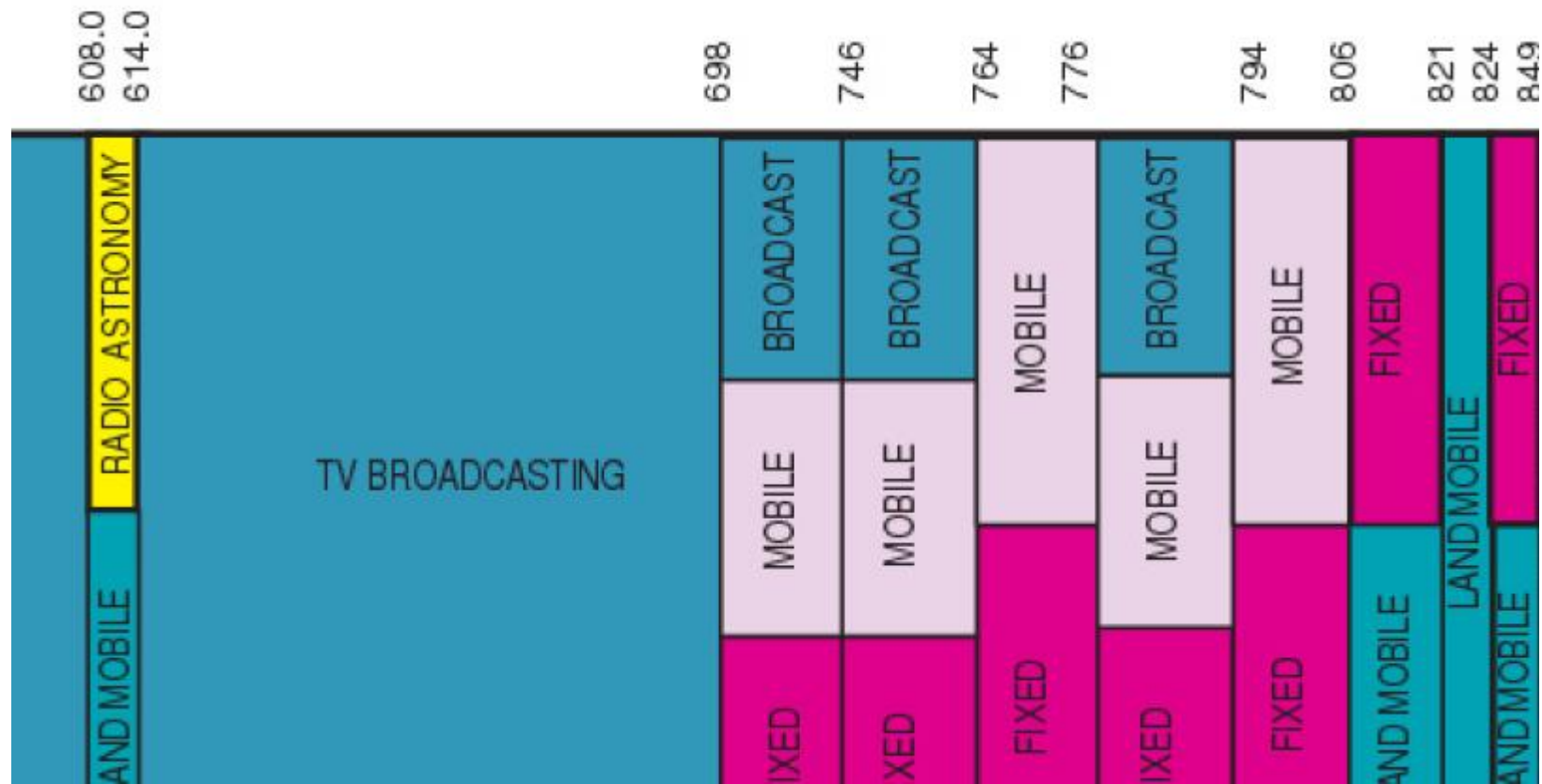
This chart is a graphic representation of the period of the table of frequency. It is used by the SCC and OHS. It is a table of frequency of cases, by frequency and most design. It is in the Table of Frequency. Therefore, for comparison, use of the chart is to be used in the table of frequency.



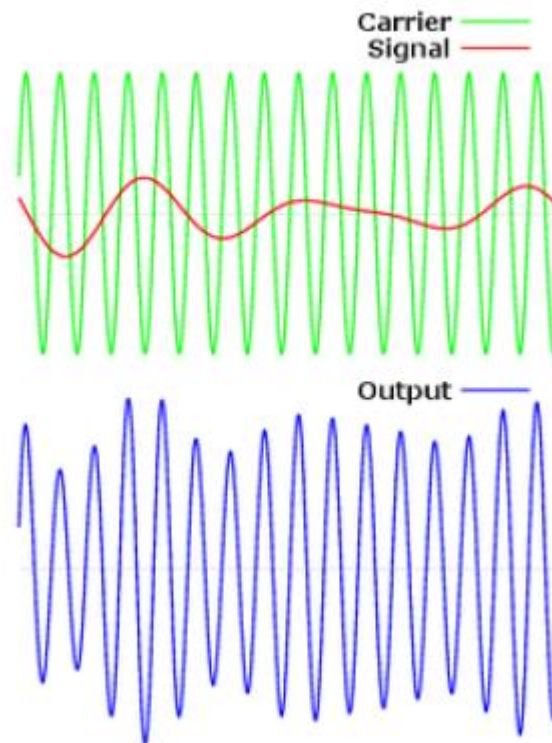
U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE
National Telecommunications and Information Administration
Office of Spectrum Management
October 2020



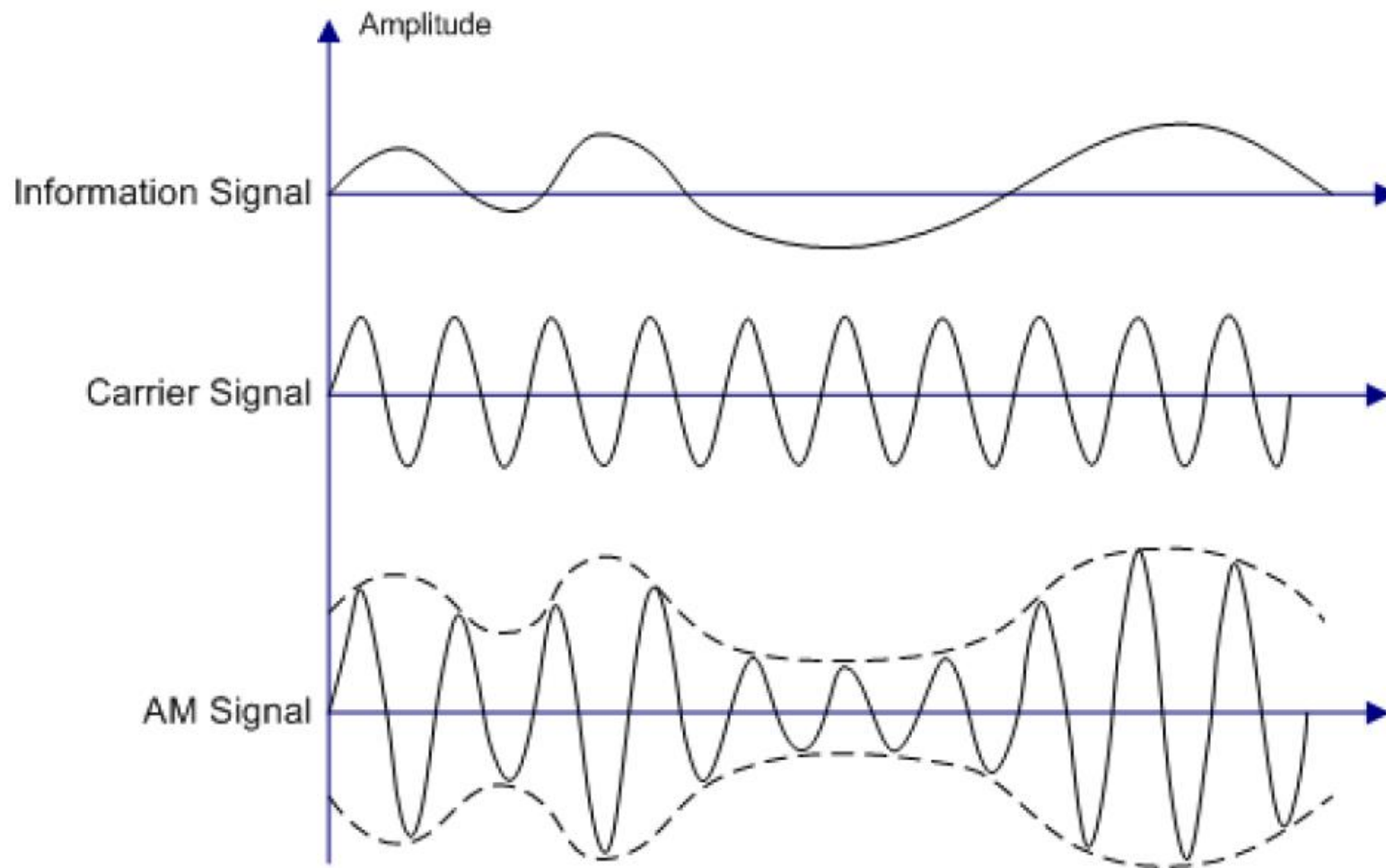
Bandas americanas



Como colocar informação em uma frequência única de recepção?



Modulação AM



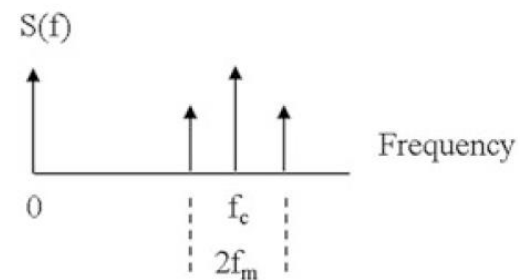
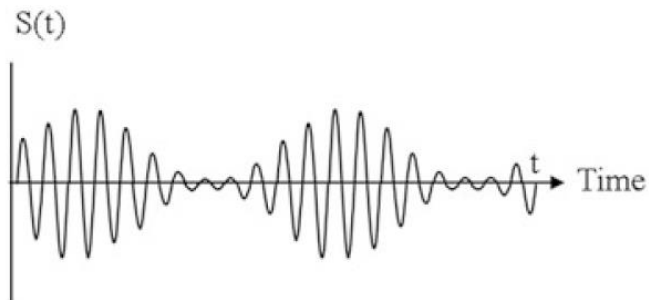
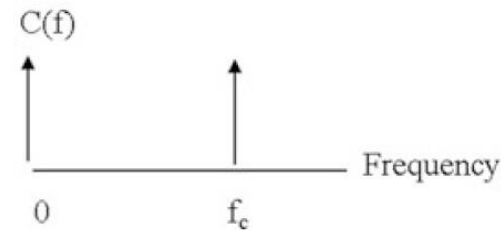
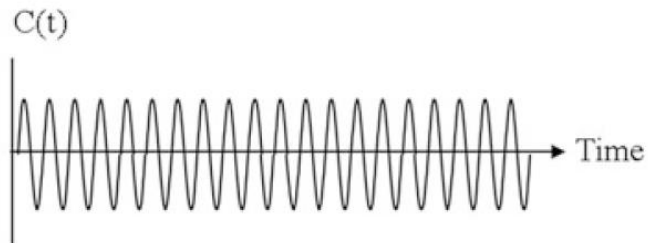
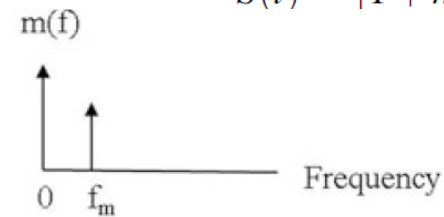
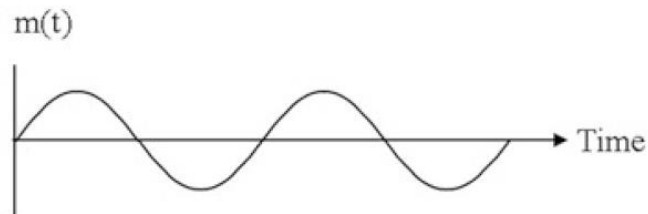
Modulação AM

- $m(t) = A_m \cos(2\pi f_m t)$
- $C(t) = A_c \cos(2\pi f_c t) f_c \gg f_m$
- $S(t) = [1 + m(t)]C(t)$
 $= C(t) + m(t)C(t)$

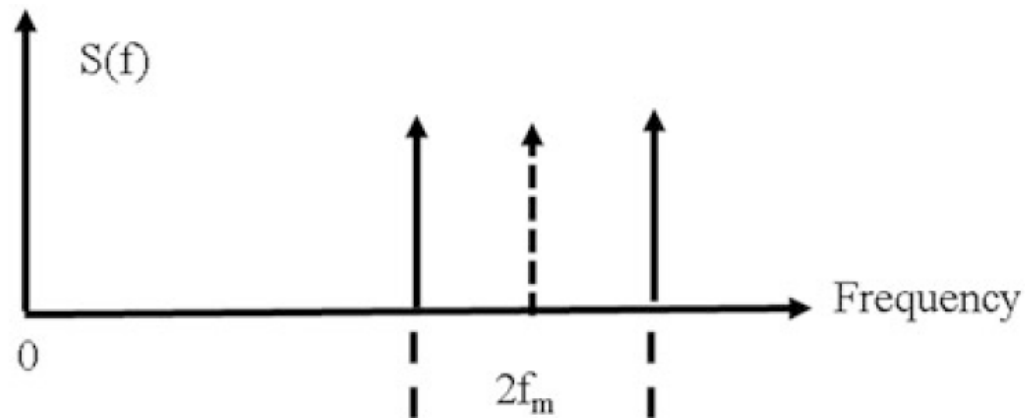
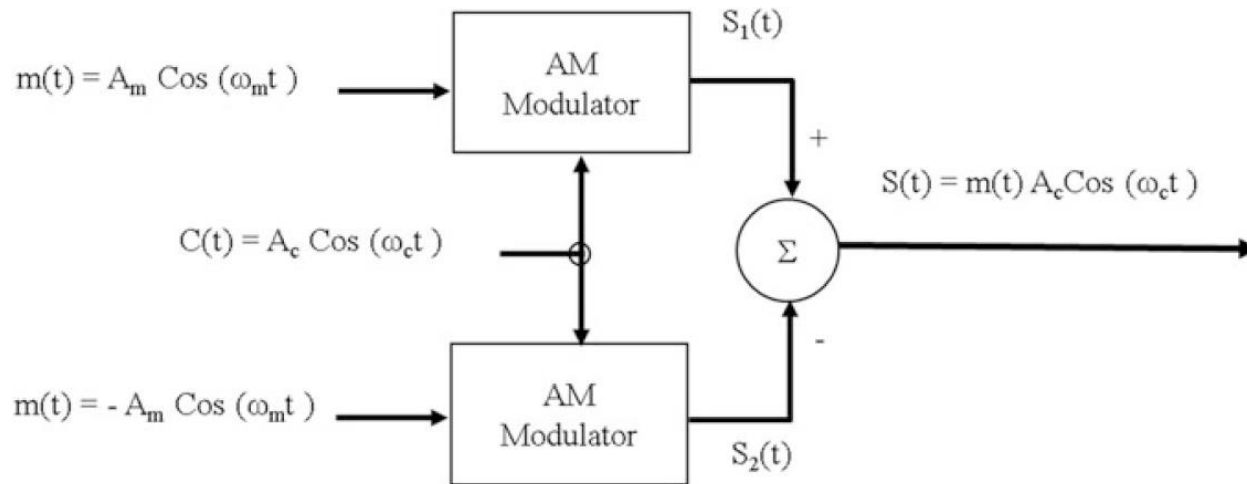
Modulação AM DSB-FC (*double-sideband full carrier*)

- $m(t) = A_m \cos(2\pi f_m t)$
- $C(t) = A_c \cos(2\pi f_c t)$ $f_c \gg f_m$

$$S(t) = [1 + m(t)]C(t)$$



Modulação AM DSBSC *double-sideband supressed carrier*



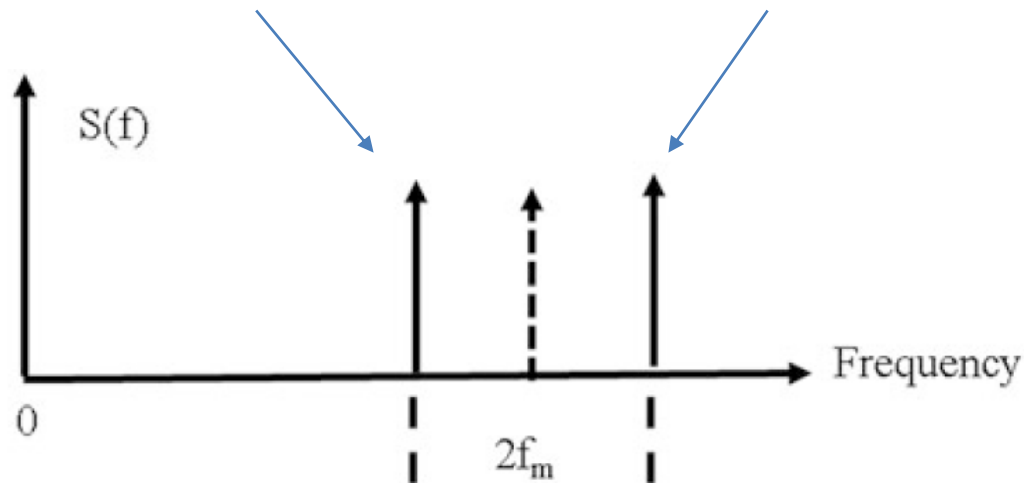
Modulação AM DSBSC

$$S(t) = M \sin(2\pi f_m) \cdot C \sin(2\pi f_c)$$

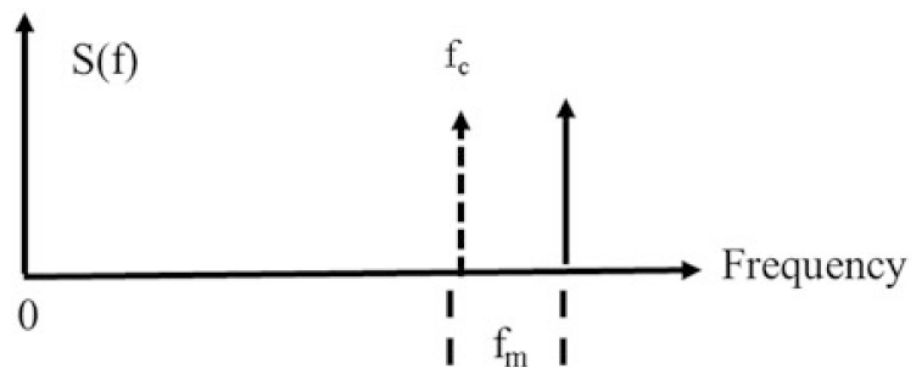
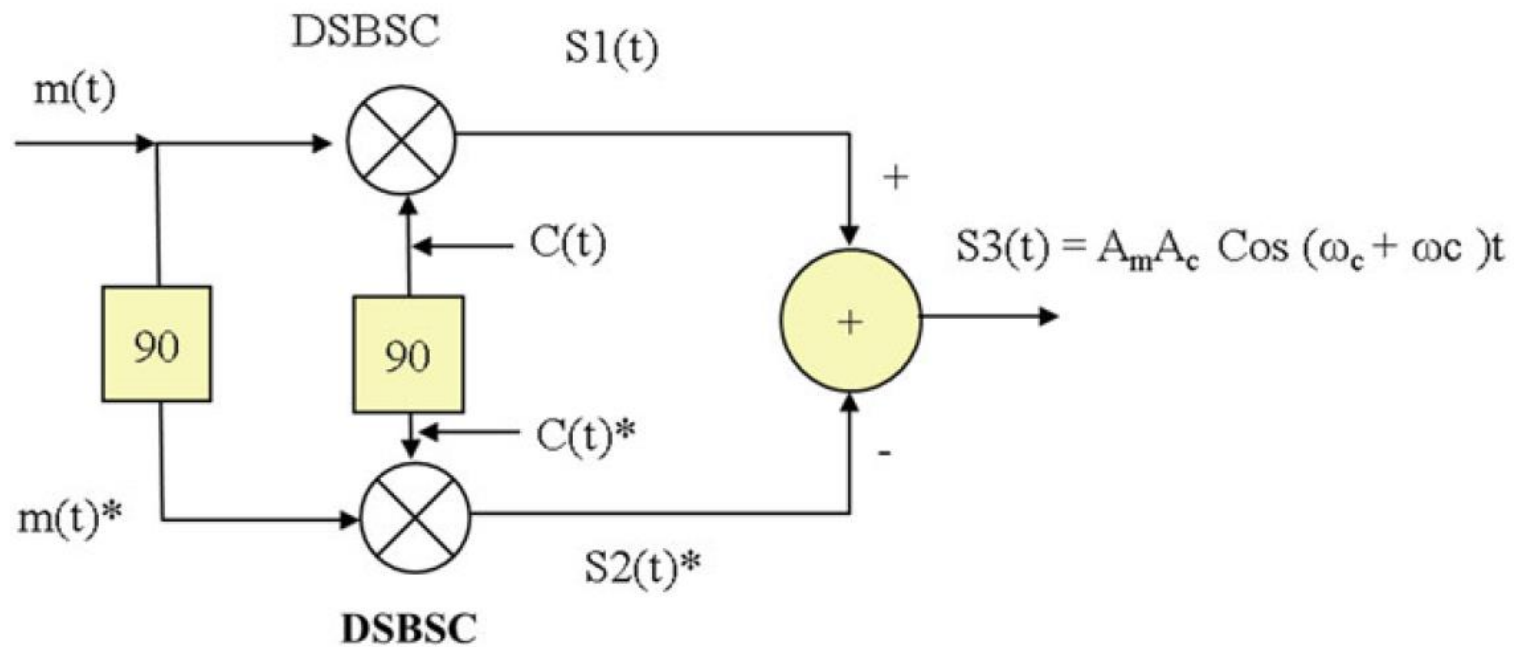
$$S(t) = M \sin(2\pi f_m) \cdot C \cos(2\pi f_c + \phi)$$

$$\sin(a)\cos(b) = \frac{1}{2} (\sin(a + b) + \sin(a - b))$$

$$S(t) = \frac{MC}{2} \sin(2\pi(f_c - f_m)t - \phi) + \frac{MC}{2} \sin(2\pi(f_c + f_m)t + \phi)$$



Modulação AM SSB (*single-sideband*)



Demodulação

$$S(t) = \frac{MC}{2} \sin(2\pi(f_c - f_m)t - \phi) + \frac{MC}{2} \sin(2\pi(f_c + f_m)t + \phi)$$

Multiplica-se o sinal pela portadora novamente!

$$S(t) = \left[\frac{MC}{2} \sin(2\pi(f_c - f_m)t - \phi) + \frac{MC}{2} \sin(2\pi(f_c + f_m)t + \phi) \right] C \sin(2\pi f_c t)$$

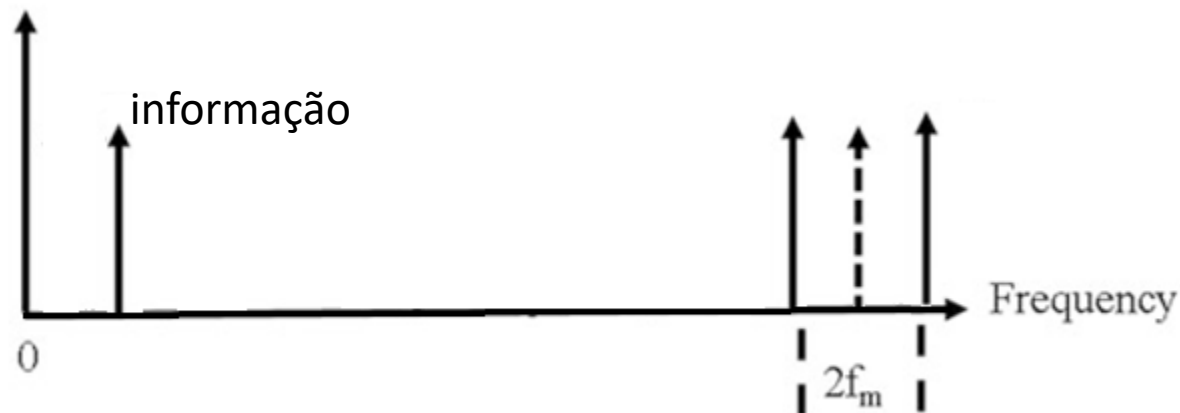
Como

$$\sin(a)\cos(b) = \frac{1}{2} (\sin(a + b) + \sin(a - b))$$

$$S'(t) = \underbrace{\frac{1}{4} [\cos(2\pi f_m t) - \cos(2\pi(2f_c + f_m)t)]}_{\text{informação}} \underbrace{\phantom{\frac{1}{4} [\cos(2\pi f_m t) - \cos(2\pi(2f_c + f_m)t)]}}_{\text{Alta freq}} + \underbrace{\frac{1}{4} [\cos(-2\pi f_m t) - \cos(2\pi(-2f_c + f_m)t)]}_{\text{informação}} \underbrace{\phantom{\frac{1}{4} [\cos(-2\pi f_m t) - \cos(2\pi(-2f_c + f_m)t)]}}_{\text{Alta freq}}$$

Demodulação

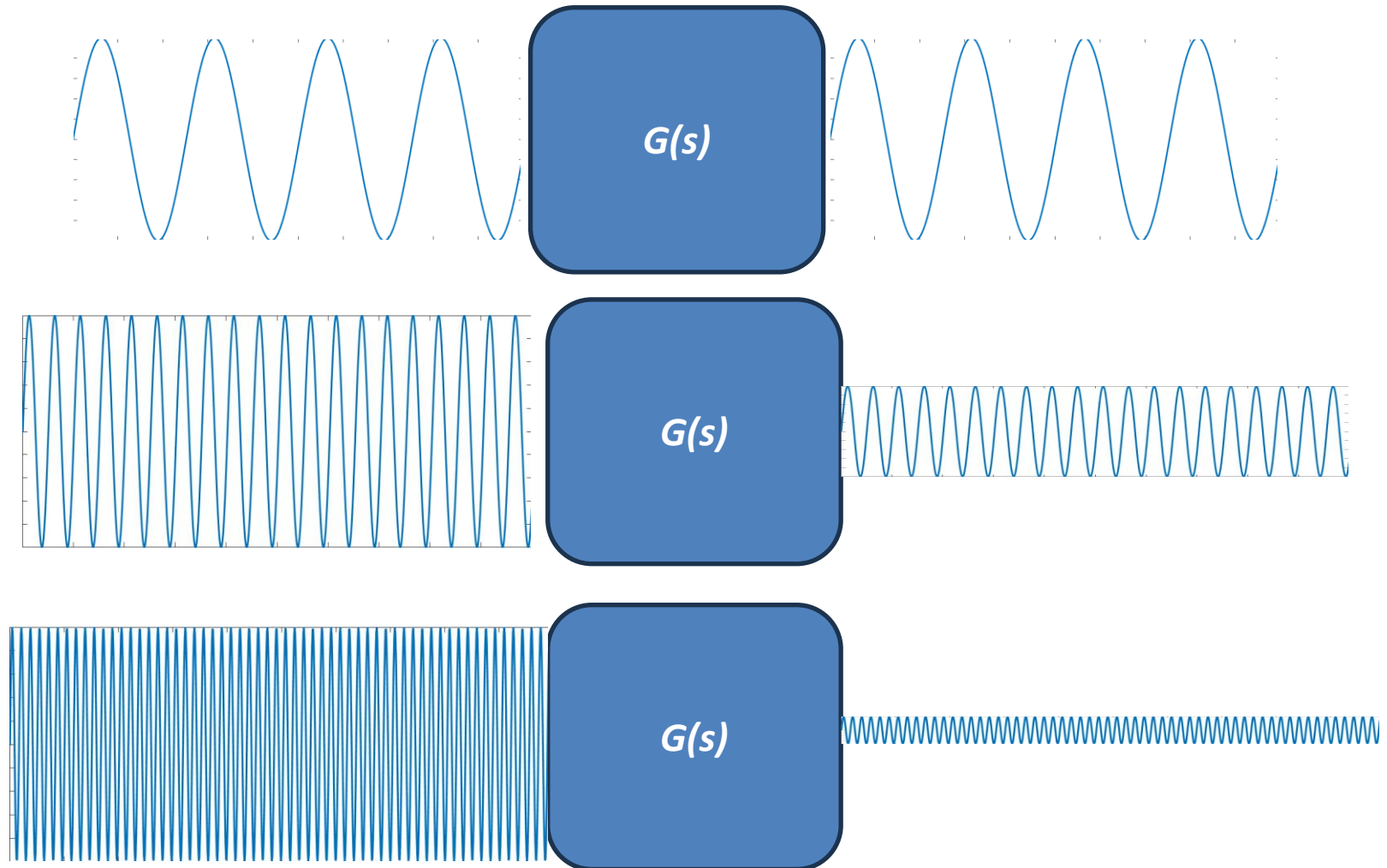
$$S'(t) = \frac{1}{4} [\cos(2\pi f_m t) - \cos(2\pi(2f_c + f_m)t)] + \frac{1}{4} [\cos(-2\pi f_m t) - \cos(2\pi(-2f_c + f_m)t)]$$



Filtro passa baixa – eliminando as altas frequências



Filtro passa baixa – eliminando as altas frequências



Filtro passa baixa – eliminando as altas frequências



$$G(s) = \frac{\omega_c}{s + \omega_c}$$

$$G(s) = \frac{\omega_c^2}{s^2 + 2\omega_c s + \omega_c^2}$$

Filtro passa baixa – eliminando as altas frequências



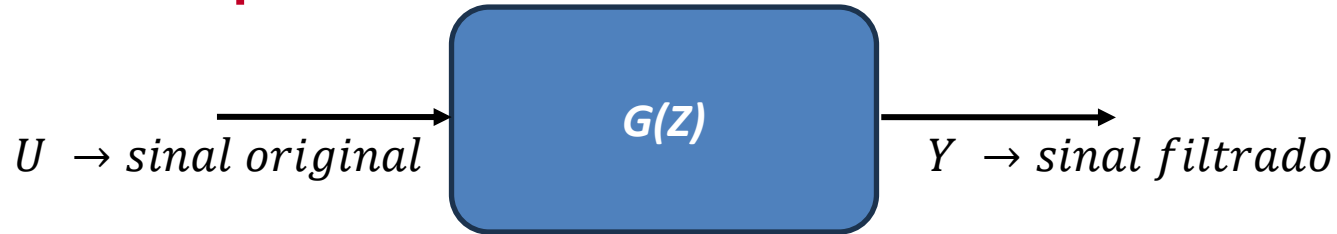
$$\omega_c = 2500 \frac{rad}{s}$$

$$G(s) = \frac{\omega_c^2}{s^2 + 2 \omega_c s + \omega_c^2}$$

$$G(z) = c2d(G(s), T) \quad T = \frac{1}{44100} \text{ segundos}$$

$$G(z) = \frac{a Z + b}{c Z^2 + d Z + e}$$

Filtro passa baixa – eliminando as altas frequências



$$G(z) = \frac{a Z + b}{c Z^2 + d Z + e} = \frac{Y(z)}{U(z)}$$

$$a U(k + 1) + b U(k) = Y(k + 2) + d Y(k + 1) + e Y(k)$$

$$a U(k - 1) + b U(k - 2) = Y(k) + d Y(k - 1) + e Y(k - 2)$$

$$Y(k) = -d Y(k - 1) - e Y(k - 2) + a U(k - 1) + b U(k - 2)$$

Objetivos:

Construir um software que:

Faça a leitura de um arquivo de áudio previamente gravado com uma taxa de amostragem de 44100Hz.

Codifique esse sinal de áudio em AM.

Construa o gráfico do sinal modulado (nos domínios do tempo da frequência).

Execute o áudio do sinal modulado.

Demodule o sinal.

Execute o áudio do sinal demodulado.

Mostre o gráfico do sinal demodulado (no tempo e da frequência).

Importando o sinal

1. Importar um arquivo .wav: Você poderá usar a biblioteca `soundfile`, que contém uma função `.read(...)`
2. Após importar o arquivo, você deverá extrair o vetor com as amplitudes e então normaliza-lo (valores entre 0 e 1)
3. Para melhores resultados, você poderá tratar o sinal lido aplicando um filtro passa baixa (mostrado abaixo) utilizando-se a a classe *signal* (*from scipy import signal*)
4. A execução do áudio pode ser feito com a função *play* da biblioteca *sounddevice*
5. *Filtro passa baixa:*

```
# https://scipy.github.io/old-wiki/pages/Cookbook/FIRFilter.html
nyq_rate = samplerate/2
width = 5.0/nyq_rate
ripple_db = 60.0 #dB
N, beta = signal.kaiserord(ripple_db, width)
cutoff_hz = 4000.0
taps = signal.firwin(N, cutoff_hz/nyq_rate, window=('kaiser', beta))

yFiltrado = signal.lfilter(taps, 1.0, yAudioNormalizado)
```

Modulando e demodulando

1. A modulação do sinal poderá ser feita com a multiplicação entre a portadora de amplitude 1 e o sinal importado e normalizado.
2. A demodulação deverá ser feita com um filtro passa-baixa na frequência de corte do sinal importado. O módulo do sinal poderá ser obtido com a multiplicação do sinal de áudio e a portadora.

Insper

www.insper.edu.br