



Hands-on 06: Receptor WBFM (GRC)

Vicente Sousa
GppCom/DCO/UFRN

Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)

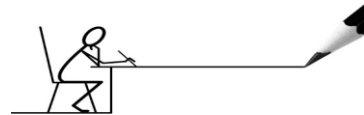
Objetivos do hands-on

- Usar blocos do GNU Radio para criar um receptor FM capaz de sintonizar rádios reais.



Objetivos desta apresentação

- Revisão sobre modulação FM

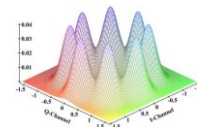
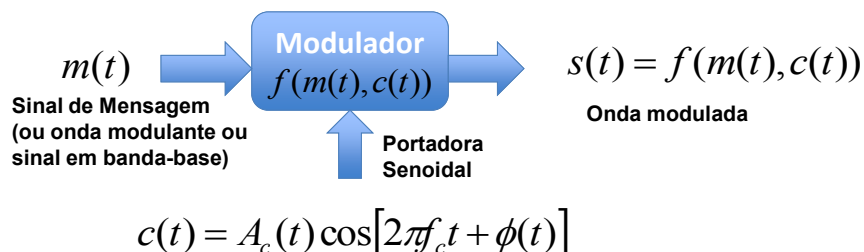


© Prof. Dr. Vicente Angelo de Sousa Junior @ GppCom - UFRN
vicente.sousa@ct.ufrn.br

Introdução teórica

Modulação FM

Modulação analógica (banda-passante): alguma característica da onda portadora é variada de acordo com a onda modulante



© Prof. Dr. Vicente Angelo de Sousa Junior @ GppCom - UFRN
vicente.sousa@ct.ufrn.br

Introdução teórica

Modulação FM

O Processo de modulação explora os três parâmetros da senóide portadora: **Amplitude, Frequência e Fase**

$$\text{Portadora: } c(t) = A_c(t) \cos[2\pi f_c t + \phi(t)]$$

- $A_c(t)$ = Amplitude
- $\omega_c(t) = 2\pi f_c(t)$ = frequência
- $\phi(t)$ = Fase

Podemos dizer que a informação é transportada dependendo da variação **linear** desses três parâmetros



© Prof. Dr. Vicente Angelo de Sousa Junior @ GppCom - UFRN
vicente.sousa@ct.ufrn.br

Introdução teórica

Modulação FM

$$\text{Portadora: } c(t) = A_c(t) \cos[2\pi f_c t + \phi(t)]$$

Modulação em Amplitude (AM)

- $A_c(t) \sim k_a m(t)$ - carrega a informação
- $\omega_c(t)$ = constante
- $\phi(t)$ = constante

Modulação em Frequência (FM)

- $A_c(t)$ = constante
- $\omega_c(t) \sim k_f m(t)$ - carrega a informação
- $\phi(t)$ = constante

Modulação em Fase (PM)

- $A_c(t)$ = constante
- $\omega_c(t)$ = constante
- $\phi(t) \sim k_p m(t)$ - carrega a informação

K_a , K_f e K_p são constante e parâmetros de projeto

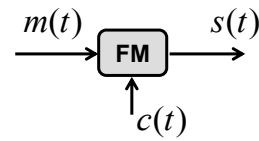
FM e PM são classificadas como Modulação em Ângulo

© Prof. Dr. Vicente Angelo de Sousa Junior @ GppCom - UFRN
vicente.sousa@ct.ufrn.br

Introdução teórica

Modulação FM

Portadora: $c(t) = A_c \cos[\theta_i(t)]$



Modulação em Fase (PM)

ângulo varia linearmente com o sinal mensagem

$$\theta_i(t) = 2\pi f_c t + k_p m(t)$$

Ângulo da onda não modulada ($\phi(t) = 0$)

$$s(t) = A_c \cos[2\pi f_c t + k_p m(t)]$$

Sensibilidade de fase do modulador (rad/volt)

Modulação em Frequência (FM)

frequência instantânea varia linearmente com o sinal mensagem

$$f_i(t) = f_c + k_f m(t)$$

Sensibilidade de frequência do modulador (Hz/volt)

© Prof. Dr. Vicente Angelo de Sousa Junior @ GppCom - UFRN
vicente.sousa@ct.ufrn.br

Introdução teórica

Modulação FM

Modulação em Frequência (FM): $f_i(t) = f_c + k_f m(t)$

– Sabemos que: $f_i(t) = \frac{1}{2\pi} \frac{d\theta(t)}{dt}$

$$\theta_i(t) = 2\pi \int_0^t f_i(\tau) d\tau$$

$$\theta_i(t) = 2\pi \int_0^t f_c + k_f m(\tau) d\tau = 2\pi f_c t + 2\pi k_f \int_0^t m(\tau) d\tau$$

– Então, a onda modulada em frequência é

$$s(t) = A_c \cos\left(2\pi f_c t + 2\pi k_f \int_0^t m(\tau) d\tau\right)$$

© Prof. Dr. Vicente Angelo de Sousa Junior @ GppCom - UFRN
vicente.sousa@ct.ufrn.br

FANTASTIC

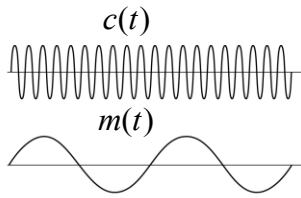


Introdução teórica

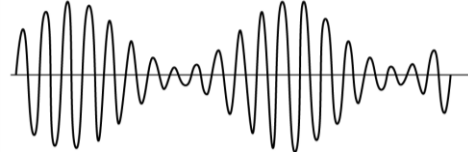
Modulação FM

Caracterização temporal:

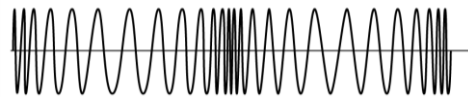
AM, PM e FM



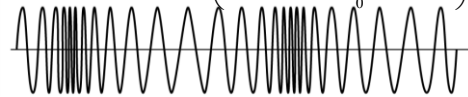
$$\text{AM: } s(t) = A_c [1 + k_a m(t)] \cos(2\pi f_c t)$$



$$\text{PM: } s(t) = A_c \cos[2\pi f_c t + k_p m(t)]$$



$$\text{FM: } s(t) = A_c \cos\left(2\pi f_c t + 2\pi k_f \int_0^t m(\tau) d\tau\right)$$



© Prof. Dr. Vicente Angelo de Sousa Junior @ GppCom - UFRN
vicente.sousa@ct.ufrn.br

Introdução teórica

Modulação FM

Análise espectral do FM

- Consideramos a onda modulante senoidal

$$m(t) = A_m \cos(2\pi f_m t)$$

- A frequência instantânea da onda FM é

$$f_i(t) = f_c + k_f m(t) = f_c + k_f A_m \cos(2\pi f_m t)$$

$$f_i(t) = f_c + \Delta f \cos(2\pi f_m t)$$



desvio de frequência ($\Delta f = k_f A_m$): diferença máxima entre f_c e f_i



© Prof. Dr. Vicente Angelo de Sousa Junior @ GppCom - UFRN
vicente.sousa@ct.ufrn.br

Introdução teórica

Modulação FM

- Se $f_i(t) = f_c + \Delta f \cos(2\pi f_m t)$, qual o ângulo de $s(t)$?

- Sabemos que

$$\theta_i(t) = 2\pi \int_0^t f_c + \Delta f \cos(2\pi f_m \tau) d\tau$$

$$\theta_i(t) = 2\pi f_c t + \frac{2\pi \Delta f}{2\pi f_m} \sin(2\pi f_m t) = 2\pi f_c t + \frac{\Delta f}{f_m} \sin(2\pi f_m t)$$

↑
Índice de modulação ($\beta = \frac{\Delta f}{f_m}$): diferença
 máxima entre o ângulo $2\pi f_c$ e θ_i

- Assim, a onda FM para um tom é

$$s(t) = A_c \cos[2\pi f_c t + \beta \sin(2\pi f_m t)]$$

© Prof. Dr. Vicente Angelo de Sousa Junior @ GppCom - UFRN
 vicente.sousa@ct.ufrn.br



Introdução teórica

Modulação FM

- Dependendo do índice de modulação definimos

- **Caso 1:** FM de banda estreita (narrowband FM)

β é pequeno em comparação com 1 radiano ($< 0,3$ radiano)

Aplicação: Magnetic tape storage (porções de luminância do sinal de vídeo em videocassetes); serviços de voz (quando a fidelidade de áudio não é importante, e.g. radio amador); GSM (GMSK)

- **Caso 2:** FM de banda larga (wideband FM)

β é grande em comparação com 1 radiano

Aplicação: FM comercial (fidelidade de áudio); áudio da TV; AMPS ($W = 3$ kHz; $\Delta f = 12$ kHz)

© Prof. Dr. Vicente Angelo de Sousa Junior @ GppCom - UFRN
 vicente.sousa@ct.ufrn.br



Introdução teórica

Banda do sinal FM

- **Largura de banda de transmissão em sinais FM**

- **Em teoria:** um sinal FM possui um número infinito de frequências laterais
- **Consequência:** um sistema deveria ter largura de banda infinita para transmitir tal sinal
- **Na prática:** sistemas limitam a transmitir um número finito de frequências laterais significativas com uma quantidade especificada de distorção
- **Assim, defini-se uma largura de banda efetiva requerida, por exemplo, pela regra de Carson (regra empírica e pouco exigente):**

$$B_T \cong 2\Delta_f + 2f_m$$

© Prof. Dr. Vicente Angelo de Sousa Junior @ GppCom - UFRN
vicente.sousa@ct.ufrn.br

Introdução teórica

Modulação FM

FM no Brasil

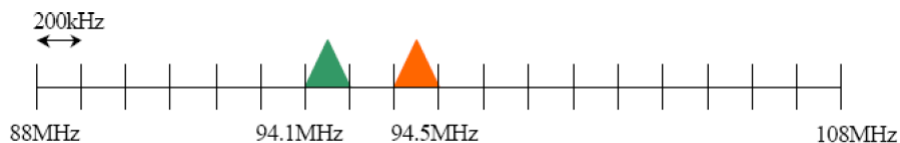
- Segue as normas da FCC (*Federal Communication Comission*)
 - Faixa de frequências alocadas no Brasil: 88 MHz a 108 MHz
 - Banda de frequência do sinal de áudio: 50Hz a 15Khz
 - Desvio de frequência: $\Delta f = 75\text{KHz}$
 - $\beta = 5$
 - $BW = 2(75+15) = 180 \text{ kHz}$

© Prof. Dr. Vicente Angelo de Sousa Junior @ GppCom - UFRN
vicente.sousa@ct.ufrn.br

Introdução teórica

Modulação FM

- A faixa de 88 a 108MHz é dividida em porções de 200KHz
 - total máximo de 100 estações de rádio
- Na prática, são utilizadas no máximo 50 estações de rádio numa mesma região
 - Não é permitido que duas emissoras ocupem faixas vizinhas
 - Prevenir interferências de uma estação na outra e para permitir transmissão de sinais de áudio estéreo



© Prof. Dr. Vicente Angelo de Sousa Junior @ GppCom - UFRN
vicente.sousa@ct.ufrn.br