



Laboratório de Princípios de Comunicações

Período 2023.1

Guia de Experimentos 4

Tema(s): Modulação e Desmodulação em Ângulo.

Professor(es): Edson P. da Silva e Luciana Veloso

1 Introdução

O presente guia descreve atividades experimentais a serem realizadas na disciplina Laboratório de Princípios de Comunicações do curso de graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG.

Os experimentos propostos deverão ser realizados no Laboratório de Princípios de Comunicações – LPC, localizado na Central de Laboratórios da Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da UFCG, empregando:

- Computador com software GNU Radio Companion – GRC (<http://gnuradio.org/>) instalado;
- Módulo USRP (do inglês *Universal Software Radio Peripheral*) para transmissão e recepção de sinais numa abordagem conhecida como Rádio Definido por Software – RDS.

Na seção 3 deste guia, propõe-se um conjunto de atividades de preparação a serem desenvolvidas pelo aluno antes da aula em que serão realizadas as práticas experimentais. Sem a realização prévia destas atividades pelo aluno, as práticas experimentais propostas ficarão comprometidas, tanto no tempo necessário para sua realização quanto no aproveitamento pelo aluno. Por essa razão, **o aluno só poderá realizar os experimentos em laboratório se apresentar ao professor no início da aula os resultados da preparação proposta.**

A aula terá duração de duas horas e o aluno deverá entregar ao seu término, por escrito, respostas às questões referentes aos experimentos realizados propostas na Folha de Respostas (parte final do guia).

2 Objetivos

As práticas experimentais aqui propostas têm por objetivos:

- Simular e analisar a modulação em ângulo;
- Simular e analisar o desmodulador FM;

3 Preparação

3.1 Estudo

Revise e pesquise sobre os conceitos:

- Equivalência entre modulações PM e FM;
- Regra de Carson para os casos faixa larga e faixa estreita;
- Desmodulação FM usando a detecção por inclinação.

3.2 Problemas

Os problemas propostos a seguir devem ser obrigatoriamente resolvidos e apresentados por escrito ao professor antes do início das práticas de laboratório. Os resultados destes problemas serão necessários para a realização dos experimentos propostos.

1. Considere uma onda senoidal com amplitude de 1 Vpp e período de 0,1 ms como sinal de entrada para moduladores FM e PM, com constantes $K_f = 10^5$ Hz/V e $K_p = 10$ rad/V, respectivamente. Considere uma portadora de 100 MHz com amplitude de 2 Vpp.
 - (a) Calcule o desvio de frequência Δf_{PM} , a razão de desvio β_{PM} (também chamada de índice de modulação) e a largura de faixa estimada B_{PM} para o caso PM.
 - (b) Calcule o desvio de frequência Δf_{FM} , a razão de desvio β_{FM} (também chamada de índice de modulação) e a largura de faixa estimada B_{FM} para o caso FM.
2. Explique o que é e como funciona um VCO (*Voltage Controlled Oscillator*). Explique como um VCO pode ser utilizado na geração de um sinal FM.
3. Mostre que a fase $\theta(t)$ do sinal PM $\psi(t) = A \cos[2\pi f_c t + \theta(t)]$ pode ser recuperada na saída do desmodulador coerente ilustrado na Fig. 1.

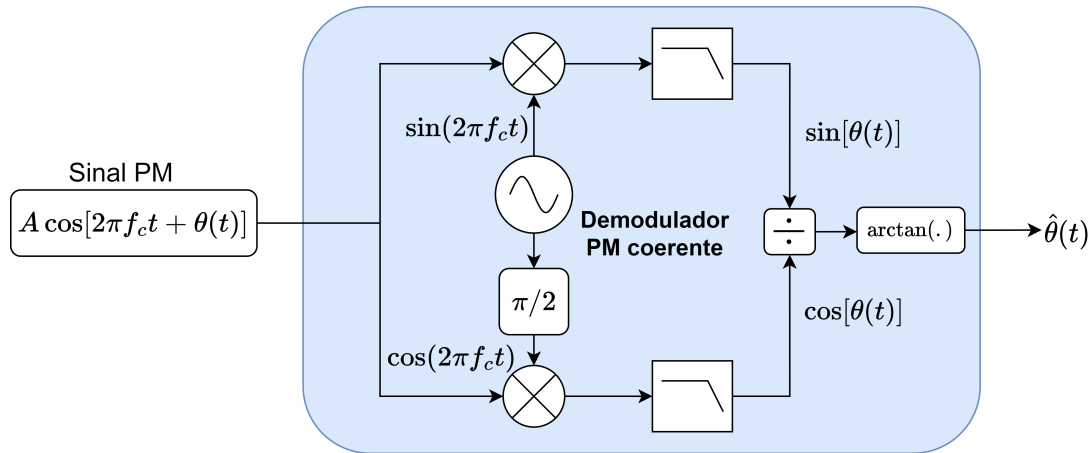


Figura 1: Diagrama de blocos de um desmodulador PM coerente.

4 Experimentos

A seguir são descritas práticas experimentais a serem realizadas no laboratório.

4.1 Experimento 1 – Modulação PM com Detecção Síncrona

O objetivo deste experimento é analisar as características da modulação PM.

1. Execute o software GRC e abra o arquivo **Labo4-1.grc**. A Figura 2 ilustra o diagrama deste experimento. Ele consiste na simulação da equação

$$\begin{aligned}\Psi(t) &= A \cos[2\pi f_c t + \Phi(t)] \\ &= A \{ \cos(2\pi f_c t) \cos[\Phi(t)] - \sin(2\pi f_c t) \sin[\Phi(t)] \}\end{aligned}\quad (1)$$

em que o $\Phi(t) = K_p m(t)$, de modo que $\Psi(t)$ é um sinal PM (*Phase Modulation*), ou seja, uma portadora modulada em fase.

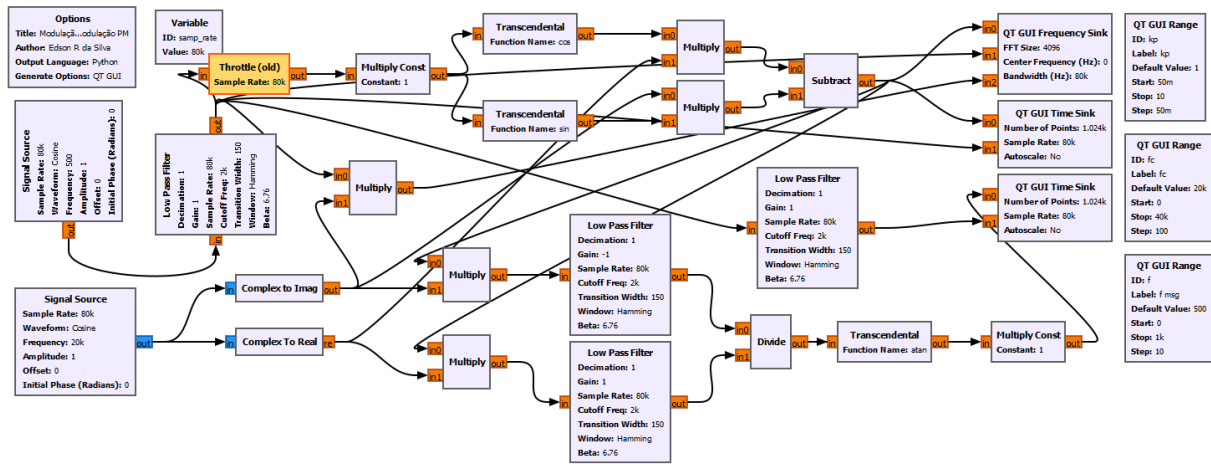


Figura 2: Diagrama de blocos para análise da modulação PM

2. Execute o diagrama e responda às questões propostas na Folha de Respostas.

4.2 Experimento 2 – Modulação FM

O objetivo deste experimento é analisar o modulador FM de faixa larga.

1. Abra o arquivo **Labo4-2.grc** disponibilizado pelo professor. A Figura 3 ilustra o diagrama deste experimento. A modulação FM de faixa larga é obtida através de um VCO (Oscilador Controlado por Tensão, do inglês *Voltage Control Oscillator*).
2. Execute o experimento e observe a diferença em relação ao experimento anterior.
3. Responda as questões propostas na Folha de Respostas.

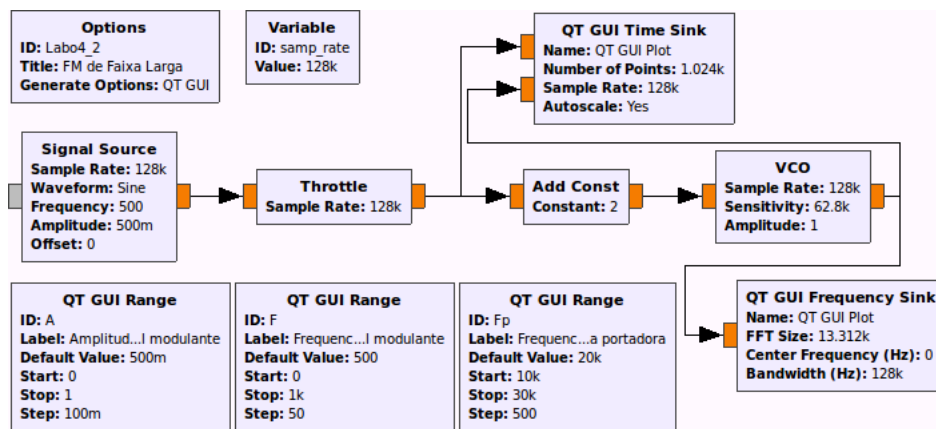


Figura 3: Diagrama de blocos de um modulador FM de faixa larga usando um VCO.

4.3 Experimento 3 – Desmodulação com Detecção por Inclinação

O objetivo deste experimento é mostrar o conceito de um receptor FM usando detecção por inclinação.

1. Abra o arquivo **Labo4-4.grc** disponibilizado pelo professor. A Figura 4 ilustra o diagrama deste experimento. Ele consiste de um sistema de transmissão FM e recepção empregando detecção por inclinação na desmodulação. Esse desmodulador consiste de um filtro passa-altas simulando a derivada do sinal modulado FM seguido por um detetor de envoltória.

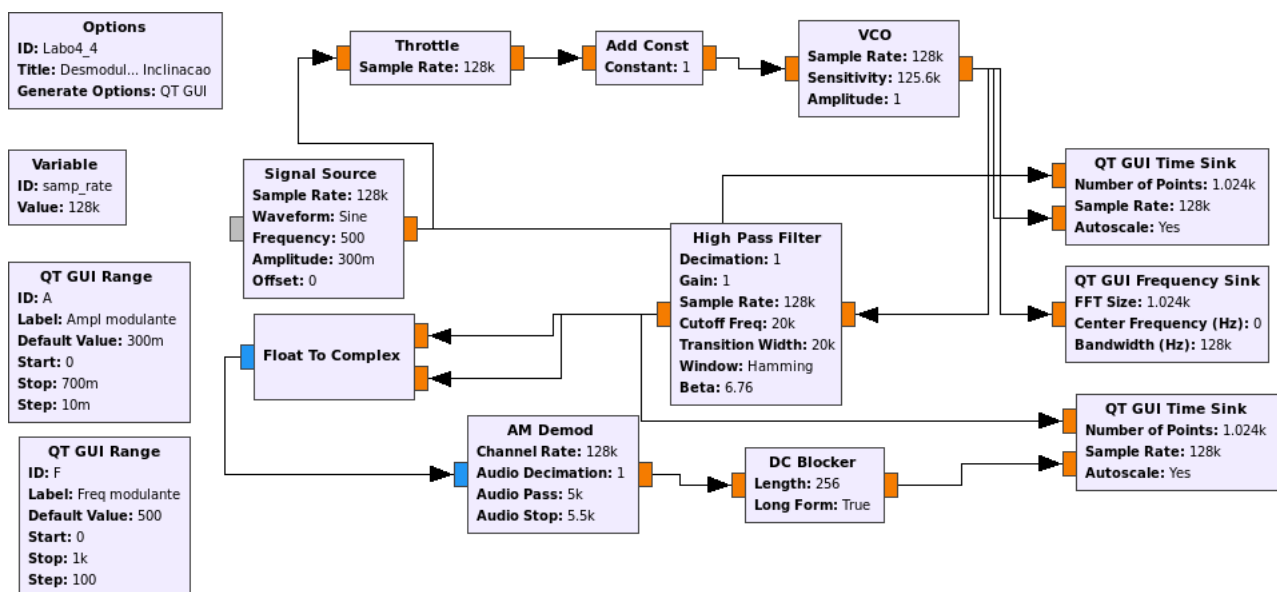


Figura 4: Diagrama de blocos de sistema de comunicação FM usando detecção por inclinação na recepção.

2. É mostrado o efeito do detector por inclinação para um sinal modulante dente de serra;
3. Execute o experimento e responda as questões propostas na Folha de Respostas.



Laboratório de Princípios de Comunicações

Período 2023.1

Guia de Experimentos 4 – Folha de Respostas

Tema(s): Modulação e Desmodulação em Ângulo.

Professor(es): Edson P. da Silva e Luciana Veloso

Aluno: _____

Data: _____

Experimento 1 – Modulação PM com Detecção Síncrona

1. Quais as diferenças mais visíveis entre o sinal PM e o sinal AM-DSB-SC no domínio da frequência? E no domínio do tempo?

2. Estime o desvio de frequência Δf e a largura de faixa B_{PM} do sinal modulado usando os gráficos no tempo e na frequência. Qual a razão de desvio β ?

3. Observando o espectro dos sinais, descreva qualitativamente a relação que existe entre a variação no valor de K_p e a largura de banda da portadora modulada.

4. Observe as formas de onda no domínio do tempo do sinal mensagem e do sinal desmodulado. Para que intervalo de valores de K_p o sinal mensagem é recuperado sem distorção? Acima de um determinado valor limiar de K_p o sinal desmodulado sofre distorções. O que explica

esse fenômeno?

Experimento 2 – Modulação FM

1. Faça uma estimativa do desvio de frequência observando o gráfico no tempo (maior e menor período).

2. Qual a constante do modulador FM K_f e o índice de modulação β ?

3. Qual a largura de faixa da portadora FM modulada calculada pela regra de Carson e a largura de faixa de 10dB observada no espectro em frequências?

4. Altere a frequência do sinal modulante e observe o que acontece no gráfico dos espectros. Explique de maneira qualitativa qual é a relação observada entre a largura de faixa do sinal modulante e a largura de faixa do sinal modulado.

5. Comparando a largura de faixa dos espectros das portadoras moduladas PM (experimento anterior) e FM, o que se pode afirmar qualitativamente.

Experimento 3 – Desmodulação com Detecção por Inclinação

1. Observe que o sinal na saída do derivador (bloco *High Pass Filter*) está modulado em amplitude e também em frequência. Qual o índice de modulação do sinal AM? Mude a

amplitude do sinal modulante para cima e para baixo, para se obter um índice de modulação 0,5 e 1,0. Quais são esses valores de amplitude?
