



## 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  $\Delta f_{PM}$ , a razão de desvio  $\beta_{PM}$  (também chamada de índice de modulação) e a largura de faixa estimada  $B_{PM}$  para o caso PM.
  - (b) Calcule o desvio de frequência  $\Delta f_{FM}$ , a razão de desvio  $\beta_{FM}$  (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.

## 4 Experimentos

A seguir são descritas práticas experimentais a serem realizadas pelo aluno em aula de laboratório.

### 4.1 Experimento 1 – Modulação PM

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 1 ilustra o diagrama deste experimento. Ele consiste na simulação da equação

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

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.

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

### 4.2 Experimento 2 – Modulação FM de Faixa Larga

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

1. Abra o arquivo **Labo4-2.grc** disponibilizado pelo professor. A Figura 2 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.

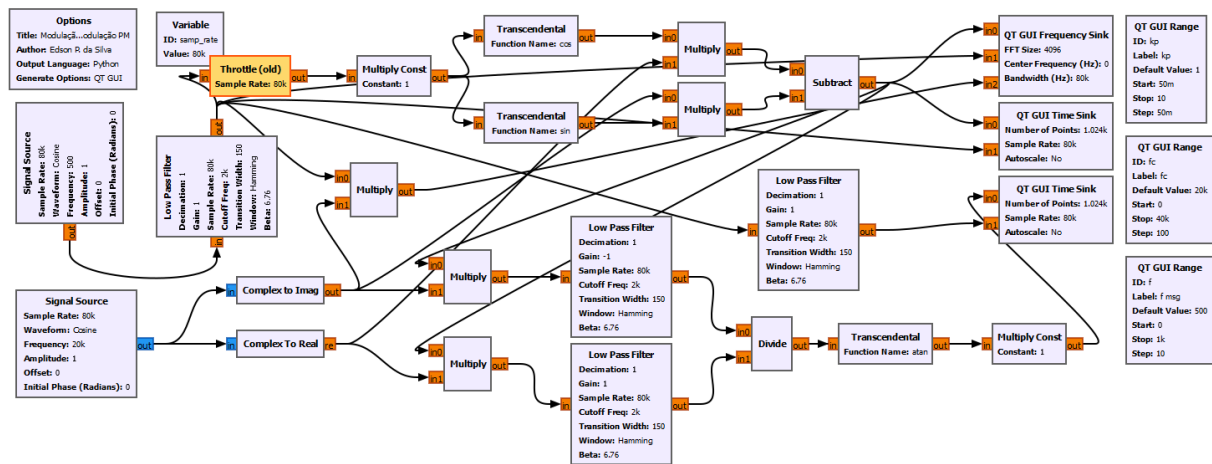


Figura 1: Diagrama de blocos para análise da modulação PM

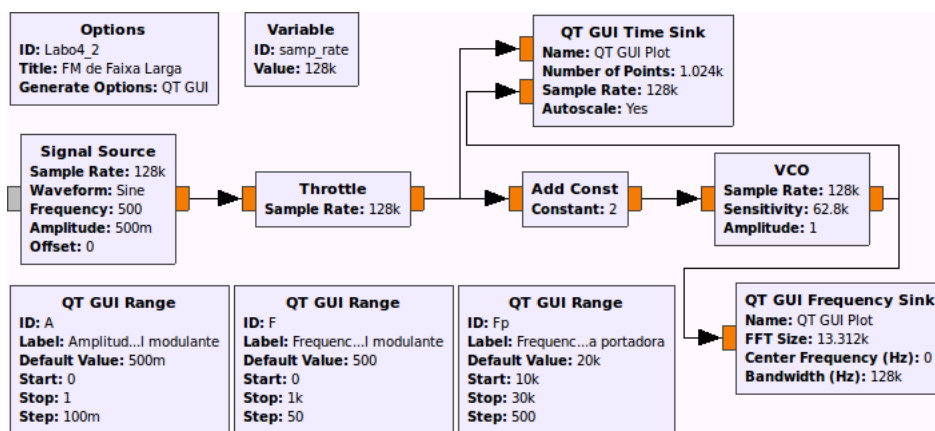


Figura 2: Diagrama de blocos de um modulador FM de faixa larga usando um VCO.

### 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 3 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.
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.

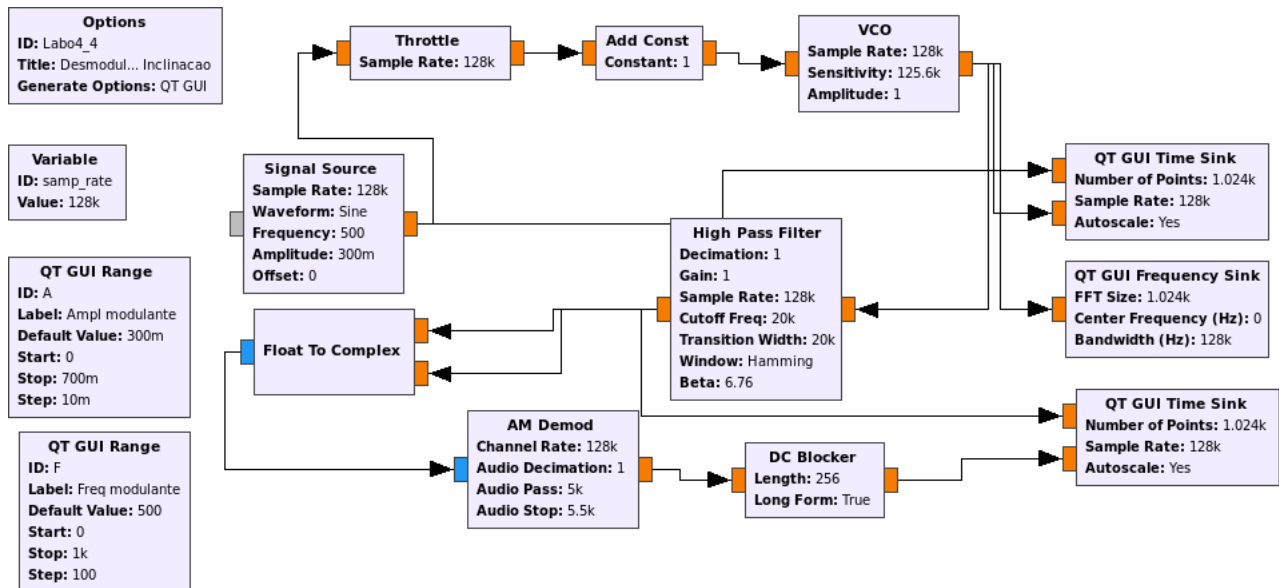


Figura 3: Diagrama de blocos de sistema de comunicação FM usando detecção por inclinação na recepção.



**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

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  $\Delta f$  e a largura de faixa  $B_{PM}$  do sinal modulado usando os gráficos no tempo e na frequência. Qual a razão de desvio  $\beta$ ?

---

---

---

3. Observe as formas de onda no domínio do tempo do sinal mensagem e do sinal demodulado. Para que intervalo de valores de  $K_p$  o sinal mensagem é recuperado sem distorção? O que poderia explicar esse fato?

---

---

---

---

---

4. Varie a frequência da portadora  $f_c$  para 20 kHz e observe que isso não altera a largura de faixa do sinal PM. Altere a frequência da fonte para 1 kHz e explique o que ocorreu com a

largura de faixa do sinal modulado em fase,  $B_{PM}$ . A razão de desvio  $\beta$  se altera?

---

---

## 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  $\beta$ ? Considere a largura de faixa da onda quadrada de entrada até a quinta harmônica. Compare  $K_f$  com o parâmetro *Sensitivity* do VCO.

---

---

3. Qual a largura de faixa do modulador FM calculada pela regra de Carson e a largura de faixa observada no espectro em frequência (considere as componentes de frequência até a quinta harmônica na observação a partir dos picos)?

---

4. Alterar a frequência da portadora altera a largura de faixa do modulador FM? E quanto à frequência do sinal modulante?

---

---

5. Altere a amplitude do sinal modulante para 1,5. Qual a nova largura de faixa do sinal modulado pela regra de Carson e observando-se o espectro de frequência, considerando  $K_f = 10^4$  Hz/V?

---

## 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?

---

---

---

---

2. Se usássemos um oscilador local para detetar, o sinal da saída do derivador, como no caso de um detetor síncrono para um sinal AM. Qual seria a frequência desse oscilador local?

Justifique.

---

---

---

---