



## Laboratório de Princípios de Comunicações

Período 2020.1e

### 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 ?? 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.

## 4 Experimentos

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

### 4.1 Experimento 1 – Modulação PM de Faixa Estreita

O objetivo deste experimento é analisar a modulação PM em faixa estreita.

1. Antes de iniciar as atividades com o GRC, crie uma pasta para guardar os arquivos de seus experimentos e copie nela os modelos de diagrama (arquivos .GRC) disponibilizados pelo professor para esta aula. **Não deixe de realizar isso, pois o computador deste laboratório não é para seu uso pessoal e os arquivos que você utilizará serão alterados por você durante o experimento;**
2. Execute o software GRC e abra o arquivo **Labo4-1.grc**. A Figura ?? ilustra o diagrama deste experimento. Ele consiste na simulação da equação

$$\Psi(t) \approx \cos \omega_c t - \Phi(t) \sin \omega_c t, \quad (1)$$

em que o  $\Phi(t) = K_p m(t)$

3. 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 ?? 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.

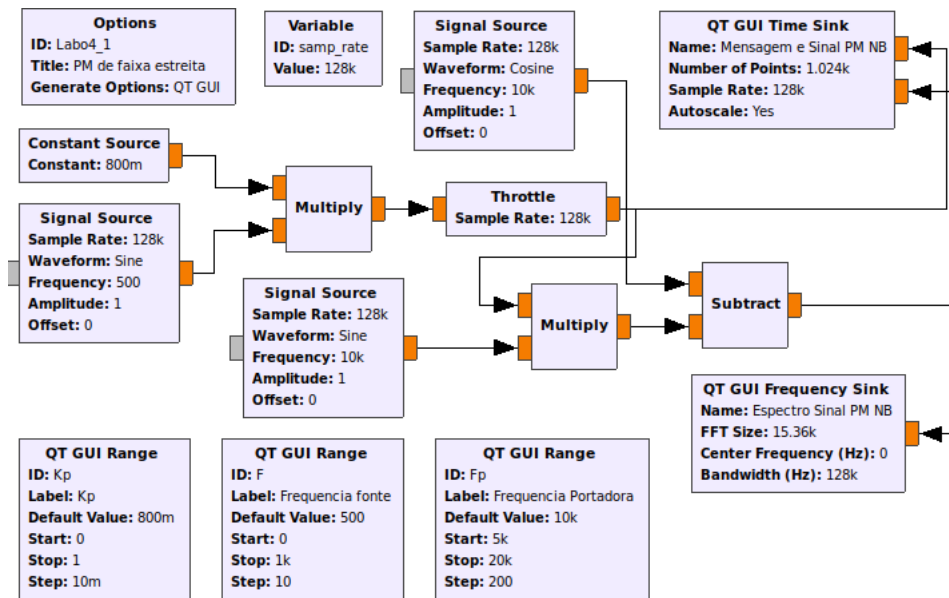


Figura 1: Diagrama de blocos para análise da modulação PM de faixa estreita.

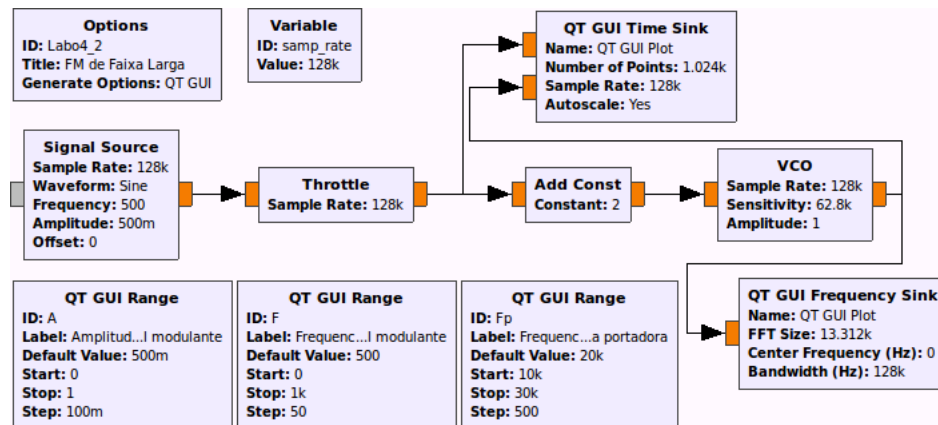


Figura 2: Diagrama de blocos de um modulador FM de faixa larga usando um VCO.

### 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 ?? 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.

### 4.4 Experimento 4 – Receptor de sinal FM comercial

O objetivo deste experimento é ilustrar a recepção de sinal FM comercial empregando rádio por software (GNU Radio) e o módulo USRP.

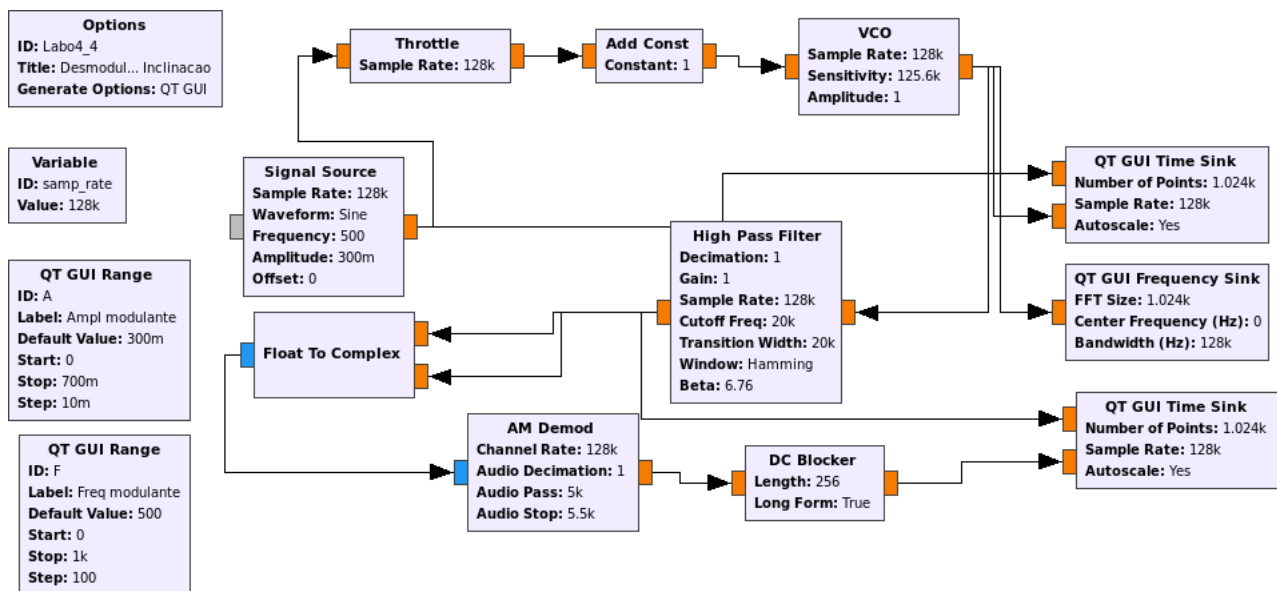


Figura 3: Diagrama de blocos de sistema de comunicação FM usando detecção por inclinação na recepção.

1. Abra o arquivo **Labo4-5.grc** disponibilizado pelo professor. A Figura ?? ilustra o diagrama deste experimento. Ele consiste de um sistema de recepção de sinal FM comercial empregando um módulo USRP.

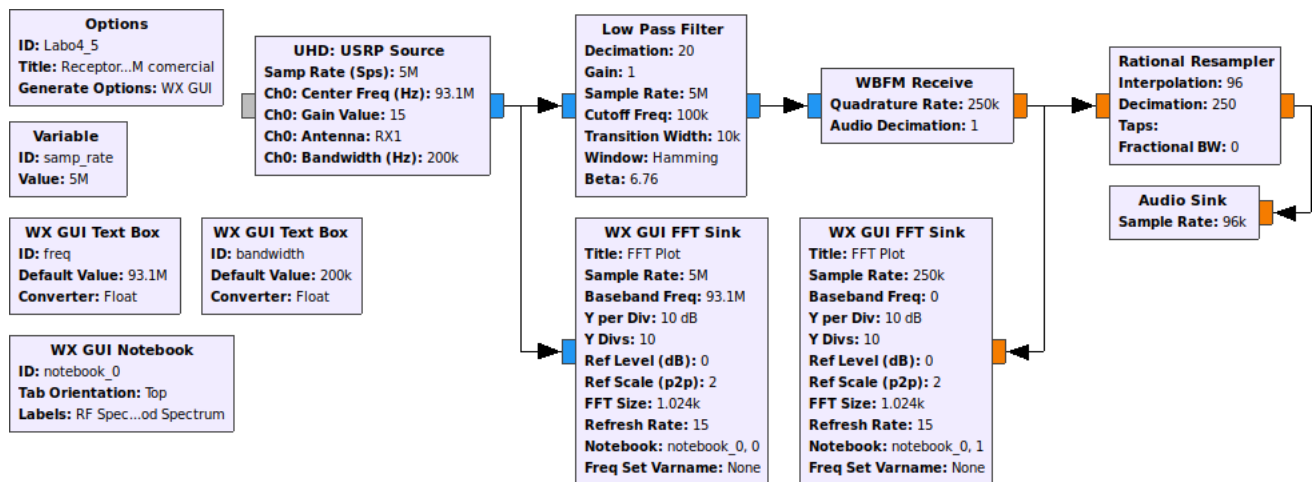


Figura 4: Diagrama de blocos de receptor de sinal FM comercial empregando módulo USRP.

2. Na Figura ??, o bloco **UHD: USRP Source** converte o sinal de frequência central e largura de faixa especificados nos parâmetros do bloco para seu equivalente passa-baixas. Observe que segue um filtro passa-baixas com frequência de corte igual à metade da largura de faixa do sinal FM sintonizado no bloco **UHD: USRP Source**;
3. O bloco **WBFBM Receive** implementa a desmodulação do sinal FM a partir do equivalente passa-baixas do sinal modulado FM;
4. Execute o experimento e responda as questões propostas na Folha de Respostas.



### Laboratório de Princípios de Comunicações

Período 2020.1e

### 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 de Faixa Estreita

1. Observe que o sinal no tempo tem uma variação na amplitude e, portanto, não pode ser considerado uma modulação PM. Varie a constante do modulador PM,  $K_p$ , de modo que o sinal modulado possa ser considerado um PM de faixa estreita. Qual é esse valor? Quais são o desvio de frequência  $\Delta f$ , a razão de desvio  $\beta$  e a largura de faixa  $B_{PM}$  (não esqueça as unidades) do sinal modulado nesse caso?

---

---

---

---

---

2. Faça  $K_p = 0.2$ . Varie a frequência da fonte para 200 Hz e, em seguida, para 1 kHz. Observe o gráfico no domínio da frequência. Quais as novas larguras de faixa para cada frequência da fonte acima, medindo no gráfico? Observe a Eq. ?? e explique porque a amplitude da portadora e das bandas laterais não se alteram?

---

---

---

---

---

3. Deixe a frequência da fonte em 500 Hz. Varie agora a frequência da portadora. Observe no gráfico no domínio da frequência que o sinal mensagem é deslocado para frequência da portadora. Houve alteração na largura de faixa do sinal PM?

---

---

---

---

---

## Experimento 2 – Modulação FM de Faixa Larga

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  $\beta$ ? 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 redução de aproximadamente 10 dB sobre as de maior potência)?  

---
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 0,8. 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?  

---
6. Coloque uma onda quadrada como sinal de entrada e execute o experimento. Observe que há apenas duas frequências no sinal modulado (no tempo). Qual seria, então, o desvio de frequência nesse caso, observando o gráfico no tempo? E utilizando a teoria?  

---

## 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? O que ocorre com a largura de faixa do sinal FM, para os dois casos em relação à amplitude de 0,2?  

---

---

---
2. Seria possível utilizar um desmodulador síncrono em vez de um detector de envoltória, para

esse esquema de desmodulação? Justifique.

---

---

---

---

## Experimento 4 – Receptor de sinal FM comercial

1. Altere a largura de faixa de recepção alterando o valor na parte inferior da janela do gráfico da FFT. Experimente aumentá-la até incluir estações FM vizinhas, ou diminuí-la significativamente. Explique o efeito observado.

---

---

---

---