



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

JOHAYNNE JOSÉ VIEIRA VERAS

**RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO LIMC- LABORATÓRIO DE
INSTRUMENTAÇÃO E METROLOGIA CIENTÍFICAS**

Campina Grande, PB
2021

JOHAYNNE JOSÉ VIEIRA VERAS

**RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO LIMC- LABORATÓRIO DE
INSTRUMENTAÇÃO E METROLOGIA CIENTÍFICAS**

*Relatório de Estágio Supervisionado
submetido à Coordenação do Curso de
Graduação em Engenharia Elétrica da
Universidade Federal de Campina
Grande como parte dos requisitos
necessários para a obtenção de grau de
Bacharel em Ciências no Domínio da
Engenharia Elétrica.*

Universidade Federal de Campina Grande - UFCG
Centro de Engenharia Elétrica e Informática - CEEI
Departamento de Engenharia Elétrica - DEE

Professor Raimundo Carlos Silvério Freire, D. Sc.
Universidade Federal de Campina Grande
Orientador, UFCG

Campina Grande, PB
2021

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha mãe, Marilene, e às minhas irmãs Mairla, Mayra e Lindsay por sempre terem me fornecido apoio em todos os momentos da minha vida e principalmente durante o curso.

Agradeço ao meu orientador, o professor Raimundo Carlos Silvério Freire, e a minha supervisora, a professora Georgina Karla de Freitas Serres, pela disponibilidade em me ajudar e pela oportunidade de realizar esse trabalho.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|--|----|
| Figura 1- Bancada de trabalho | 9 |
| Figura 2- Diagrama de blocos para a montagem do modulador AM-DSB..... | 11 |
| Figura 3- Resultado do experimento gerador AM-DSB: Sinal mensagem(vermelho), onda portadora (azul) e sinal AM-DSB (amarelo) | 12 |
| Figura 4- Sinal modulado em amplitude AM-DSB..... | 12 |
| Figura 5- Sinal AM-DSB (em amarelo) para uma porcentagem de modulação igual a 100%..... | 13 |
| Figura 6- Sinal AM-DSB para uma porcentagem de modulação acima de 100% (sobremodulação) | 13 |
| Figura 7- Sinal AM-DSB na saída do modulador (verde) e sua resposta no domínio da frequência (branco)..... | 14 |
| Figura 8- Saída do modulador AM-DSB (azul) aplicando na entrada do modulador um sinal modulante nulo (amarelo) e a onda portadora (verde)..... | 14 |
| Figura 9- Diagrama de blocos para o experimento de recepção AM-DSB usando detector de envelope conectado via cabo..... | 16 |
| Figura 10- Montagem do receptor AM-DSB usando detector de envelope conectado via cabo..... | 16 |
| Figura 11- Sinal mensagem(vermelho) e sinal AM-DSB (amarelo) | 17 |
| Figura 12- Receptor conectado via cabo: sinais AM (amarelo) e detectado (vermelho) medidos na entrada e saída do detector de envelope, respectivamente | 18 |
| Figura 13- Diagrama de blocos para o experimento de recepção AM-DSB usando detector de envelope conectado via antena | 19 |
| Figura 14- Montagem do receptor AM-DSB usando detector de envelope conectado via antena | 19 |
| Figura 15- Receptor conectado via antena: sinais modulante (azul), AM-DSB (amarelo) e recuperado (vermelho) na saída do detector de envelope | 20 |
| Figura 16- Diagrama de blocos para a montagem do modulador AM-DSB SC | 21 |
| Figura 17- Resultado do experimento gerador AM-DSB SC: sinal modulante (amarelo), portadora (verde) e sinal modulado AM-DSB SC (azul) | 22 |
| Figura 18- Sinal modulado em AM-DSB SC (verde) e sua resposta no domínio da frequência (branco)..... | 23 |
| Figura 19- Saída do modulador AM-DSB SC (azul) aplicando na entrada do modulador um sinal modulante nulo (amarelo) e a onda portadora (verde)..... | 23 |
| Figura 20- Diagrama do bloco modulador FM | 24 |
| Figura 21- Curva característica da modulação realizada por um modulador varactor..... | 25 |
| Figura 22- Diagrama de blocos para a montagem do modulador com varactor | 26 |
| Figura 23- Saída do modulador em frequência..... | 26 |
| Figura 24- Sinal modulado em frequência: valor medido $F_M=1,5898$ MHz..... | 27 |
| Figura 25- Sinal modulado em frequência: valor medido $F_m=1,4347$ MHz..... | 27 |
| Figura 26- Diagrama de blocos para a montagem do modulador de reatância | 28 |
| Figura 27- Sinal modulado em frequência: valor medido $F_M=476,19$ kHz | 28 |
| Figura 28- Sinal modulado em frequência: valor medido $F_m=446,43$ kHz | 29 |

| | |
|---|----|
| Figura 29- Diagrama de blocos para o estudo da característica do demodulador FM Foster-Seeley | 30 |
| Figura 30- Curva característica do demodulador FM Foster-Seeley | 31 |
| Figura 31- Diagrama de blocos para a montagem do demodulador FM Foster-Seeley | 32 |
| Figura 32- Montagem demodulador Foster-Seeley: Sinal modulante (amarelo), sinal modulado em frequência (verde) e sinal na saída do misturador (azul)..... | 33 |
| Figura 33- Montagem demodulador Foster-Seeley: Sinal modulante (amarelo), sinal na saída do limitador (verde), sinal na saída do demodulador Foster-Seeley (azul) e sinal recuperado na saída do filtro passa baixa (vermelho) | 33 |
| Figura 34- Diagrama de blocos para a montagem do demodulador FM de Relação..... | 34 |
| Figura 35- Montagem detector de Relação: Sinal modulante (amarelo), sinal modulado em frequência (verde) e sinal na saída do misturador (azul)..... | 35 |
| Figura 36- Montagem detector de Relação: Sinal modulante (amarelo), sinal na saída do limitador (verde), sinal na saída do demodulador de Relação (azul) e sinal recuperado na saída do filtro passa baixa (vermelho)..... | 35 |
| Figura 37- Diagrama de blocos para a montagem do detector PLL..... | 36 |
| Figura 38- Montagem detector PLL: Sinal modulante (amarelo), sinal modulado em frequência (verde) e sinal na saída do misturador (azul) | 36 |
| Figura 39- Montagem detector PLL: Sinal modulante (amarelo), sinal na saída do limitador (verde), sinal detectado pelo PLL (azul) e sinal recuperado na saída do filtro passa baixa (vermelho)..... | 37 |
| Figura 40- Diagrama de blocos para a montagem do detector em quadratura | 38 |
| Figura 41- Montagem detector em quadratura: Sinal modulante (amarelo), sinal modulado em frequência (verde) e sinal na saída do misturador (azul)..... | 38 |
| Figura 42- Montagem detector de quadratura: Sinal modulante (amarelo), sinal na saída do limitador (verde), sinal na saída do detector de quadratura (azul) e sinal recuperado na saída do filtro passa baixa (vermelho)..... | 39 |
| Figura 43- Diagrama de blocos da montagem do detector ressonante sintonizado..... | 40 |
| Figura 44- Montagem do detector ressonante sintonizado: Sina modulante (amarelo), sinal modulado em frequência (verde) e sinal na saída do misturador (azul)I | 40 |
| Figura 45- Montagem do detector ressonante sintonizado: Sinal modulante (amarelo), sinal na saída do limitador (vede), sinal na saída do detector sintonizado (azul) e sinal recuperado na saída do filtro passa baixa (vermelho) | 40 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1-Dados da frequência de saída do modulador FM para diferentes níveis DC na entrada | 24 |
| Tabela 2- Dados de frequência de entrada do demodulador FM e seus respectivos níveis de tensão na saída..... | 31 |

SUMÁRIO

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 7 |
| 1.1 | Objetivo..... | 7 |
| 2 | O LABORATÓRIO – LIMC | 8 |
| 3 | ATIVIDADES DESENVOLVIDAS | 10 |
| 3.1 | Experimento 1: Gerador de sinal AM com Banda Lateral Dupla (AM-DSB) | 10 |
| 3.1.1 | Objetivos | 10 |
| 3.1.2 | Equipamentos | 10 |
| 3.2 | Experimento 2: Estudo da recepção de sinal AM-DSB com receptor conectado via cabos e via antena..... | 15 |
| 3.2.1 | Objetivos: | 15 |
| 3.2.2 | Equipamentos | 15 |
| 3.3 | Experimento 3: Modulador em amplitude com portadora suprimida (AM-DSB SC) 20 | |
| 3.3.1 | Objetivo..... | 20 |
| 3.3.2 | Equipamentos..... | 21 |
| 3.4 | Experimento 4: Estudo da modulação em frequência | 23 |
| 3.4.1 | Objetivos | 23 |
| 3.4.2 | Equipamentos | 24 |
| 3.5 | Experimento 5: Demodulação em frequência | 29 |
| 3.5.1 | Objetivos | 29 |
| 3.5.2 | Equipamentos..... | 29 |
| 4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 41 |
| | REFERÊNCIAS | 42 |

1 INTRODUÇÃO

Neste relatório são apresentadas as atividades desenvolvidas pelo aluno Johayne José Vieira Veras no Estágio Supervisionado, realizado no Laboratório de Instrumentação e Metrologia Científicas (LIMC), localizado no Departamento de Engenharia Elétrica (DEE) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). O período do estágio teve vigência do dia 09/09/2021 até o dia 12/10/2021. O estágio foi realizado sob orientação do professor Raimundo Carlos Silvério Freire, bem como supervisão da professora Georgina Karla de Freitas Serres.

As atividades contemplam um total de 194 horas, divididas em carga horária de 40 horas semanais, onde o estagiário realizou atividades presenciais nas instalações do Laboratório de Instrumentação e Metrologia Científicas.

A atuação do estagiário durante o período em questão incluiu as atividades desenvolvidas utilizando os *kits* de módulos didáticos adquiridos da empresa *Falcon* pelo departamento de engenharia elétrica, utilizados para o desenvolvimento de experimentos de fundamentos de telecomunicações.

Os *kits* utilizados para a realização das atividades abordam essencialmente quatro assuntos de telecomunicações, a saber:

- Modulação em amplitude;
- Demodulação em amplitude;
- Modulação em frequência;
- Demodulação em frequência.

1.1 Objetivo

O objetivo deste estágio supervisionado foi realizar o estudo dos manuais dos módulos didáticos dos *kits* fornecidos pela *Falcon* e realizar os experimentos neles incluídos. Posteriormente, propôs-se elaborar possíveis guias para futuros usuários dos módulos, ao descrever os materiais e procedimentos experimentais utilizados, bem como os resultados obtidos com os experimentos.

2 O LABORATÓRIO – LIMC

O Laboratório de Instrumentação e Metrologia Científicas (LIMC) tem sede na Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) e tem como membros professores/pesquisadores da Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica (UAEE) da UFCG. Atualmente, o laboratório possui como Coordenador o Professor Raimundo Carlos Silvério Freire.

O LIMC surgiu da interação entre as equipes de pesquisadores de diversas instituições em formação de pessoal no nível de mestrado e doutorado. Um acordo internacional tipo CAPES/COFECUB foi firmado com a *Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications*, em 1997. Em 2004, um Núcleo de excelência baseado no LIMC foi reconhecido, recebendo apoio da FAPESQ/CNPq [1].

No LIMC existem linhas de pesquisa em Instrumentação Eletrônica e Biomédica, bem como em Processamento de Sinais de Sensores e de Concepção de Circuitos Integrados Reconfiguráveis. Em Microeletrônica as áreas de interesse são Circuitos Reconfiguráveis, Conversores A/D Sigma-Delta, Circuitos para tratamento de sinais de sensores e de biopotenciais. Em Instrumentação Eletrônica, as pesquisas são voltadas para sensores, em especial os termo-resistivos, e sistemas de aquisição e transmissão de dados para diversas aplicações, destacando-se as de medição de radiação solar, velocidade de fluidos e temperatura. Em Engenharia Biomédica são feitos trabalhos com a técnica das oscilações forçadas para avaliação da função pulmonar e em tratamentos de sinais de biopotenciais [1].

A área utilizada para a realização das atividades do estágio supervisionado pode ser observada na imagem da Figura 1, abaixo. A bancada da imagem encontra-se localizada na sala 04 do LIMC.

Figura 1- Bancada de trabalho



Fonte: Autoria própria

No capítulo seguinte são abordadas as atividades realizadas pelo estagiário.

3 ATIVIDADES DESENVOLVIDAS

Os materiais utilizados para a realização das atividades ao decorrer do estágio foram os *kits* da *Falcon* moduladores e demoduladores AM e FM [2, 3]:

- Amplitude Modulation Transmitter Kit - ACL 01
- Amplitude Demodulation Receiver Kit - ACL 02
- Frequency Modulation Transmitter Kit - ACL 03
- Frequency Demodulation Receiver Kit - ACL 04

Tratam-se de módulos didáticos para elaboração de experimentos envolvendo os fundamentos de telecomunicações.

Além dos *kits* da *Falcon*, fez-se o uso de uma fonte de tensão um osciloscópio para a visualização dos resultados e, eventualmente, um gerador de funções externo. Nesta seção detalha-se as ferramentas utilizadas e as atividades desenvolvidas durante o período de estágio e os resultados obtidos em cada uma dessas atividades.

Nota: manteve-se todas as chaves de falta desligadas (SWITCH FAULTS OFF)

3.1 Experimento 1: Gerador de sinal AM com Banda Lateral Dupla (AM-DSB)

3.1.1 Objetivos

- A. Estudar a operação de um Modulador AM-DSB
- B. Calcular o índice de modulação de uma onda AM.

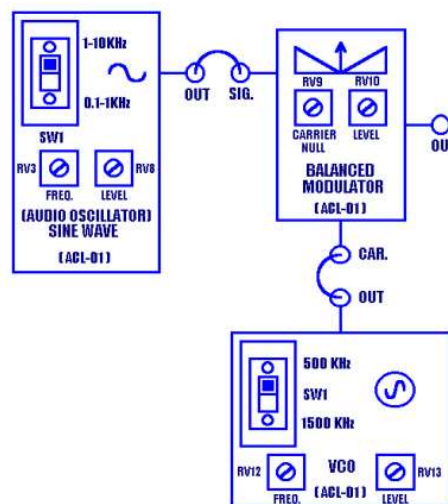
3.1.2 Equipamentos

- Módulo ACL – 01
- Fonte de tensão para o *kit*
- Osciloscópio
- Cabos conectores

A. Estudar a operação de um Modulador AM-DSB

Este experimento consistiu na montagem de um gerador de sinal modulado AM-DSB com o módulo ACL-01. A Figura 2 apresenta o diagrama de blocos para a montagem do experimento.

Figura 2- Diagrama de blocos para a montagem do modulador AM-DSB



Fonte: FALCON (2005) [2]

A montagem foi realizada com o auxílio de cabos conectores que acompanham o *kit*. Após completa a montagem, foi feita a conexão do *kit* ACL-01 à fonte de tensão da *Falcon*, enquanto a mesma estava desligada.

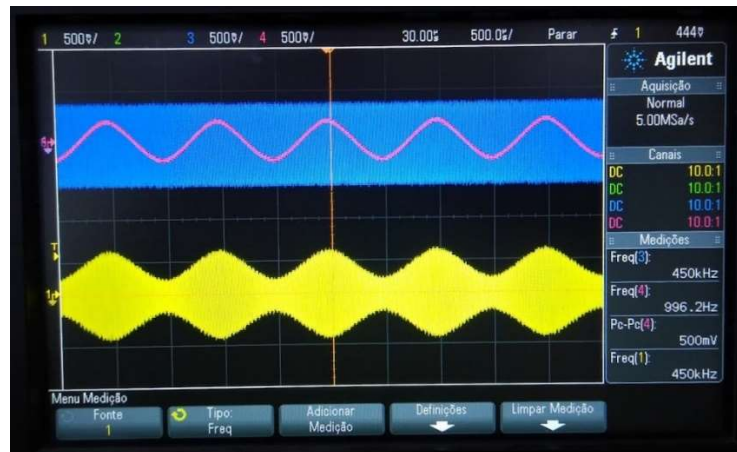
Ao ligar a fonte de tensão, os módulos utilizados no experimento foram ajustados da seguinte forma:

- **FUNCTION GENERATOR (AUDIO OSCILATOR-SINE WAVE):** configurado para gerar uma senoide com LEVEL em torno de 0,5 V de V_{PP} , com FREQ. de 1 kHz.
- **VCO:** configurado para gerar uma senoide com LEVEL de 1 V de V_{PP} , com FREQ. de aproximadamente 450 kHz, com a chave na posição 500 kHz.
- **BALANCED MODULATOR 1:** CARRIER NULL e LEVEL completamente rotacionados no sentido horário, para obter um sinal modulado sem suprimir a portadora.

Após conectar as pontas de prova do osciloscópio nas saídas dos módulos anteriores, a saber: em **SINE OUT** de FUNCTION GENERATOR, em **RF OUT** de VCO

e em **OUT** de BALANCED MODULATOR 1, foi obtido o sinal mensagem, o sinal da onda portadora e o sinal submodulado AM-DSB, respectivamente. No *display* do osciloscópio foi observado as formas de onda vistas na imagem da Figura 3.

Figura 3- Resultado do experimento gerador AM-DSB: Sinal mensagem(vermelho), onda portadora (azul) e sinal AM-DSB (amarelo)

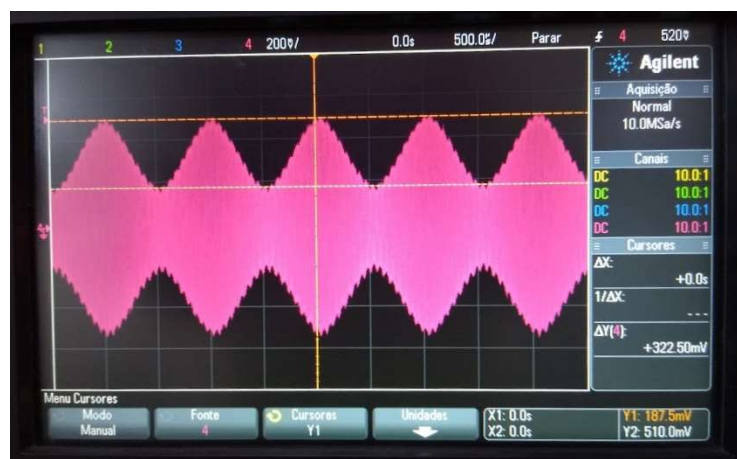


Fonte: Autoria própria

B. Calcular o índice de modulação de uma onda AM.

Utilizando o osciloscópio, as amplitudes H e h do sinal modulado em AM foram medidas (Figura 4). Com esses dados, pôde-se calcular a porcentagem do índice de modulação

Figura 4- Sinal modulado em amplitude AM-DSB

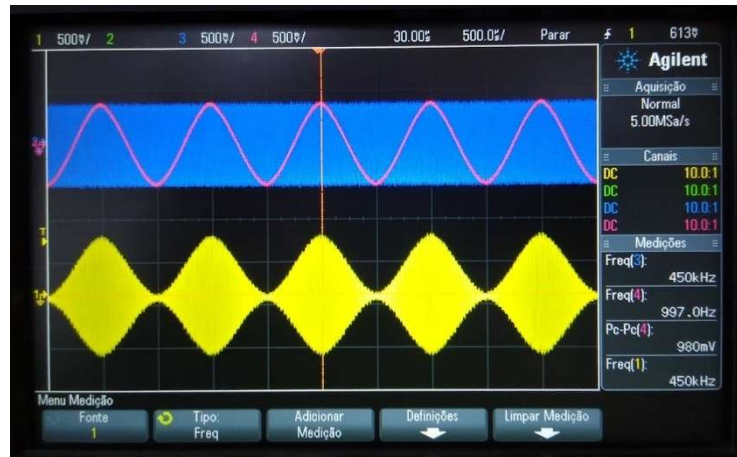


Fonte: Autoria própria

$$\mu = \frac{H - h}{H + h} 100\% = \frac{510 - 187,5}{510 + 187,5} 100\% = 46,24\%$$

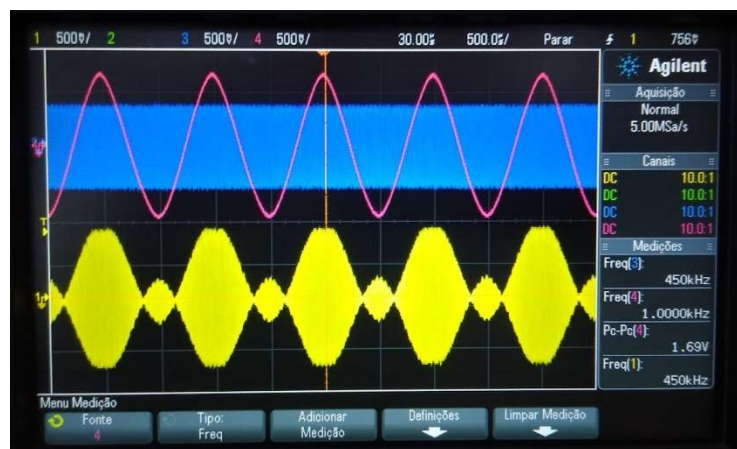
Variando a amplitude do sinal modulante (sinal em vermelho) gerado por FUNCTION GENERATOR, foram observadas as correspondentes variações do sinal modulante (sinal em amarelo) nas duas seguintes condições: porcentagem de modulação igual a 100% (Figura 5) e acima de 100% (sinal AM sobremodulado, Figura 6).

Figura 5- Sinal AM-DSB (em amarelo) para uma porcentagem de modulação igual a 100%.



Fonte: Autoria própria

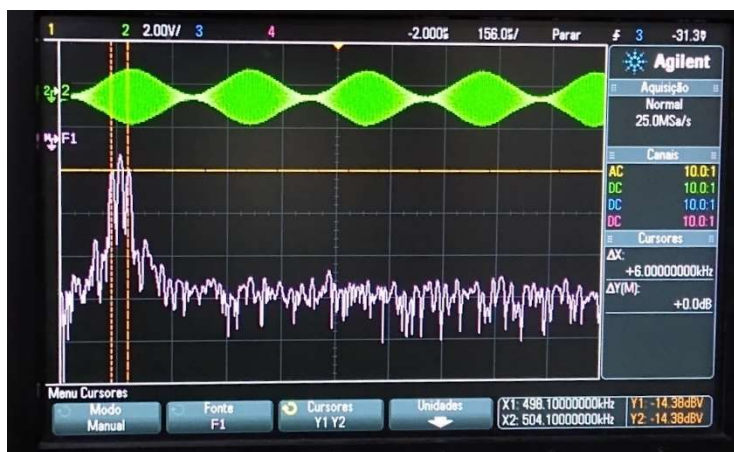
Figura 6- Sinal AM-DSB para uma porcentagem de modulação acima de 100% (sobremodulação)



Fonte: Autoria própria

A Figura 7 exibe a resposta em frequência do sinal AM-DSB gerado. É possível verificar as bandas laterais inferior e superior e a presença da portadora que caracteriza essa técnica de modulação.

Figura 7- Sinal AM-DSB na saída do modulador (verde) e sua resposta no domínio da frequência (branco)



Fonte: Autoria própria

Num gerador de sinal AM-DSB, a presença da onda portadora é o que caracteriza essa técnica, e ela continua sendo transmitida mesmo sem a presença de um sinal mensagem. Isso pôde ser observado ao reduzir a amplitude do sinal modulante a um valor próximo de zero volts e verificar a saída **OUT** de **BALANCED MODULATOR 1**. que a portadora continua sendo transmitida, Figura 8.

Figura 8- Saída do modulador AM-DSB (azul) aplicando na entrada do modulador um sinal modulante nulo (amarelo) e a onda portadora (verde)



Fonte: Autoria própria

3.2 Experimento 2: Estudo da recepção de sinal AM-DSB com receptor conectado via cabos e via antena

3.2.1 Objetivos:

- A. Estudar a recepção de sinal AM-DSB usando detector de envelope conectado via cabos conectores
- B. Estudar a recepção de sinal AM-DSB usando detector de envelope conectado via antena

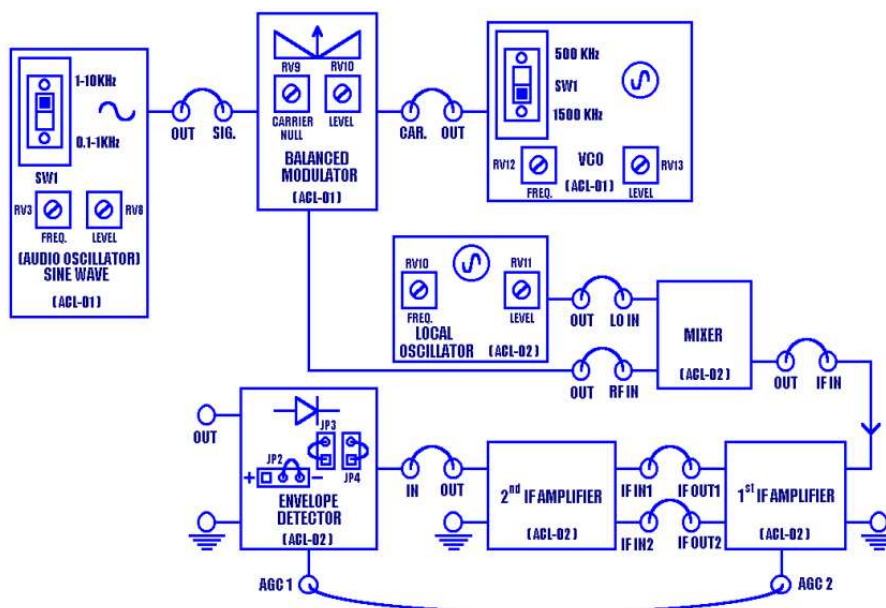
3.2.2 Equipamentos

- Módulo ACL – 01 e ACL - 02
- Fonte de tensão para os *kits*
- Osciloscópio
- Cabos conectores

A. Recepção de sinal AM-DSB usando detector de envelope conectado via cabos conectores

Este experimento consistiu na montagem de um gerador de sinal modulado AM-DSB (utilizando o módulo ACL-01) conectado via cabo a um receptor AM-DSB (utilizando o módulo ACL-02). A Figura 9 apresenta o diagrama de blocos para a montagem do experimento.

Figura 9- Diagrama de blocos para o experimento de recepção AM-DSB usando detector de envelope conectado via cabo



Fonte: FALCON (2005) [2]

As conexões observadas na figura anterior foram realizadas com o auxílio dos cabos conectores que acompanham os *kits*. Após completa a montagem, foi feita a conexão dos *kits* ACL-01 e ACL-02 à fonte de tensão da *Falcon*, enquanto a mesma estava desligada. A montagem do experimento em questão resultou na configuração vista na imagem abaixo, Figura 10.

Figura 10- Montagem do receptor AM-DSB usando detector de envelope conectado via cabo



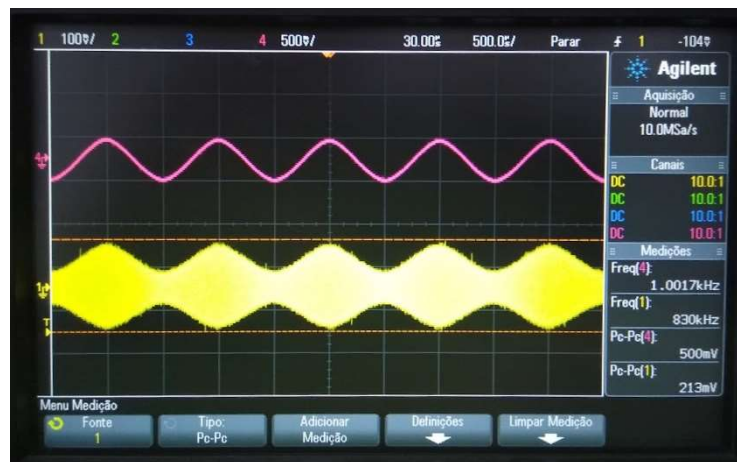
Fonte: Autoria própria

Ao ligar a fonte de tensão, os módulos utilizados no experimento foram ajustados da seguinte forma:

- **FUNCTION GENERATOR (AUDIO OSCILATOR-SINE WAVE):** configurado para gerar uma senoide com LEVEL em torno de 0,5 V de V_{PP} , com **FREQ.** de 1 kHz.
- **VCO:** configurado para gerar uma senoide com LEVEL de 2 V de V_{PP} , com **FREQ.** de aproximadamente 850 kHz, com a chave na posição 1500 kHz.
- **BALANCED MODULATOR 1:** CARRIER NULL completamente rotacionado no sentido horário, para obter um sinal modulado sem suprimir a portadora. O **OUTLEVEL** foi ajustado para obter um sinal AM através da saída em torno de 0,1 V de V_{PP} (foi obtido uma saída com amplitude de 0,213 V de V_{PP})
- **LOCAL OSCILATOR (ACL-02):** 1300 kHz, 2 V.

Ao observar o sinal modulante, conectando o osciloscópio na posição **SINE OUT** de FUNCTION GENERATOR, e o sinal modulado, conectando o osciloscópio na posição **OUT** de BALANCED MODULATOR 1, obteve-se o no *display* do osciloscópio as seguintes formas de onda vistas na imagem da Figura 11.

Figura 11- Sinal mensagem(vermelho) e sinal AM-DSB (amarelo)



Fonte: Autoria própria

Observando a imagem acima, pôde-se verificar que o envelope do sinal modulado corresponde ao formato de onda do sinal modulante gerado pelo BALANCED MODULATOR 1.

Conectando o osciloscópio à entrada e à saída do módulo detector de envelope, pôde-se observar os sinais exibidos na Figura 12, abaixo. Onde o sinal em amarelo corresponde ao sinal AM medido na entrada do detector de envelope e o sinal em vermelho corresponde ao sinal medido na saída do detector, correspondendo ao sinal

mensagem (ou modulante) recuperado. Nota-se que o sinal recuperado segue o comportamento do envelope do sinal modulado.

Figura 12- Receptor conectado via cabo: sinais AM (amarelo) e detectado (vermelho) medidos na entrada e saída do detector de envelope, respectivamente

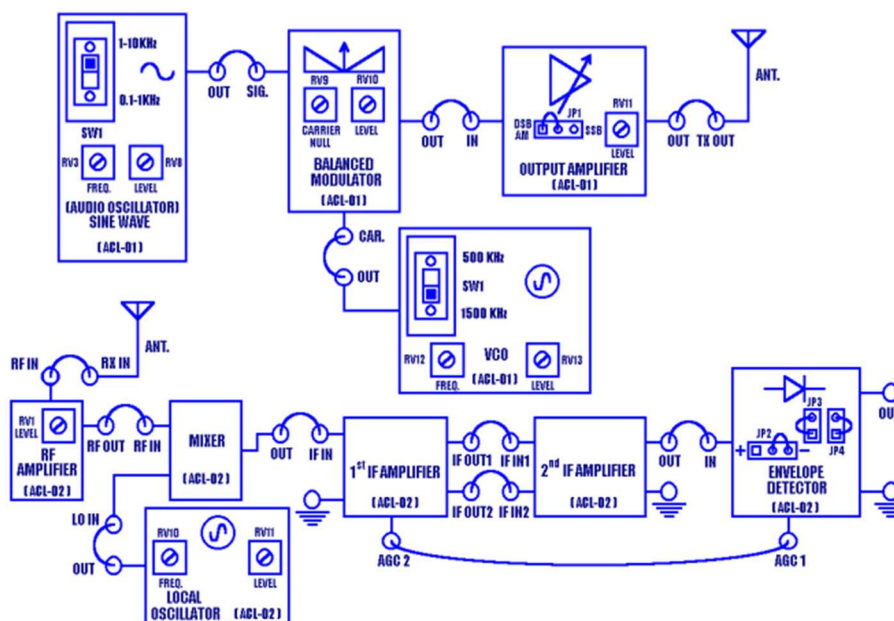


Fonte: Autoria própria

B. Recepção de sinal AM-DSB usando detector de envelope conectado via antena

Para o experimento de recepção de sinais AM-DSB utilizando detector de envelope conectado via antena, foram usados os mesmos equipamentos presentes no experimento anterior. Manteve-se parte da estrutura das conexões anteriores e foram realizadas alterações de acordo com o diagrama de blocos da Figura 13.

Figura 13- Diagrama de blocos para o experimento de recepção AM-DSB usando detector de envelope conectado via antena



Fonte: FALCON (2005) [2]

As conexões observadas na figura anterior foram realizadas com o auxílio dos cabos conectores que acompanham os *kits*. Após completa a montagem, foi feita a conexão dos *kits* ACL-01 e ACL-02 à fonte de tensão da *Falcon*, enquanto a mesma estava desligada. A montagem do experimento em questão resultou na configuração vista na imagem abaixo, Figura 14.

Figura 14- Montagem do receptor AM-DSB usando detector de envelope conectado via antena



Fonte: Autoria própria

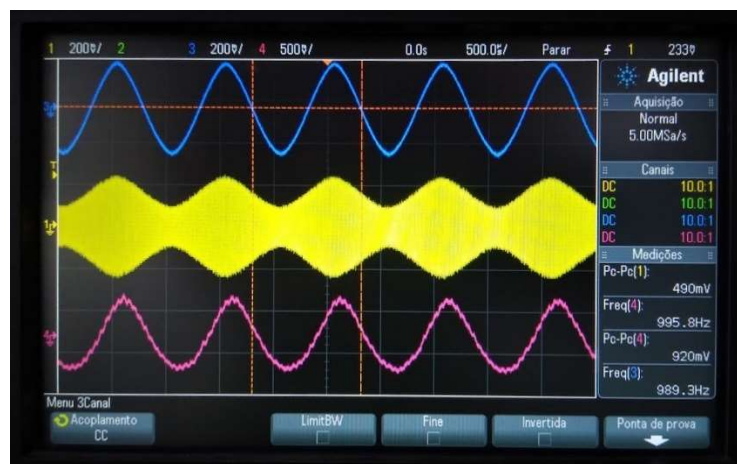
Foram estabelecidos os mesmos sinais elétricos do experimento anterior (com conexão via cabo) para os blocos FUNCTION GENERATOR, VCO e LOCAL

OSCILATOR. Além disso, o posto LEVEL de **OUTPUT AMPLIFIER** (ACL-01) foi mantido em sua posição girado totalmente no sentido horário.

A modulação no módulo ACL-01 foi estabelecida por meio do ajuste do OUTLEVEL de modo a obter um sinal AM modulado com amplitude em torno de 500 mV V_{PP} na saída do BALANCED MODULATOR 1. O potenciômetro CARRIER NULL foi mantido completamente rotacionado no sentido horário.

Uma ponta de prova do osciloscópio foi conectada ao posto **SINE OUT** de FUNCTION GENERATOR, que gera o sinal modulante; a segunda ponta de prova foi conectada ao posto **OUT** de BALANCED MODULATOR 1, para observar o sinal modulado AM; e outra ponta de prova foi conectada ao posto **OUT** do ENVELOPE DETECTOR, para avaliar o sinal recuperado pelo detector de envoltória. Os resultados obtidos foram as formas de onda observadas na imagem da Figura 15.

Figura 15- Receptor conectado via antena: sinais modulante (azul), AM-DSB (amarelo) e recuperado (vermelho) na saída do detector de envelope



Fonte: Autoria própria

3.3 Experimento 3: Modulador em amplitude com portadora suprimida (AM-DSB SC)

3.3.1 Objetivo

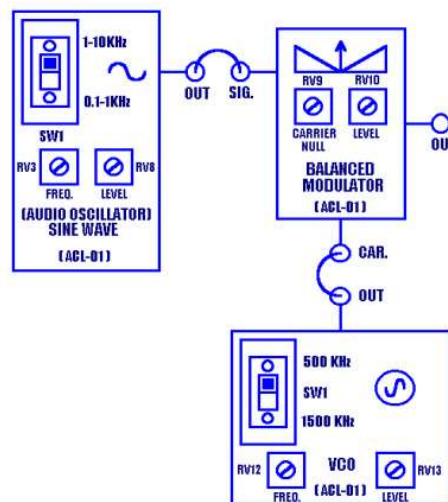
- A. Estudo da operação de um modulador em amplitude com banda lateral dupla e portadora suprimida

3.3.2 Equipamentos

- Módulo ACL – 01
- Fonte de tensão para o *kit*
- Osciloscópio
- Cabos conectores

Este experimento consistiu na montagem de um gerador de sinal modulado AM-DSB/SC. A Figura 16 apresenta o diagrama de blocos referente à montagem do experimento. Pode ser observado que se trata da mesma montagem do experimento 1, apresentado na Figura 1. A diferença nessa montagem para a montagem do experimento 1 é que o posto CARRIER NULL, do modulador equilibrado (BALANCED MODULATOR 1), foi posicionado de forma a realimentar o circuito com o sinal da onda portadora, em quantidade variável e fase contrária, de modo a cancelar a onda portadora e suprimi-la na saída do modulador.

Figura 16- Diagrama de blocos para a montagem do modulador AM-DSB SC



Fonte: FALCON (2005) [2]

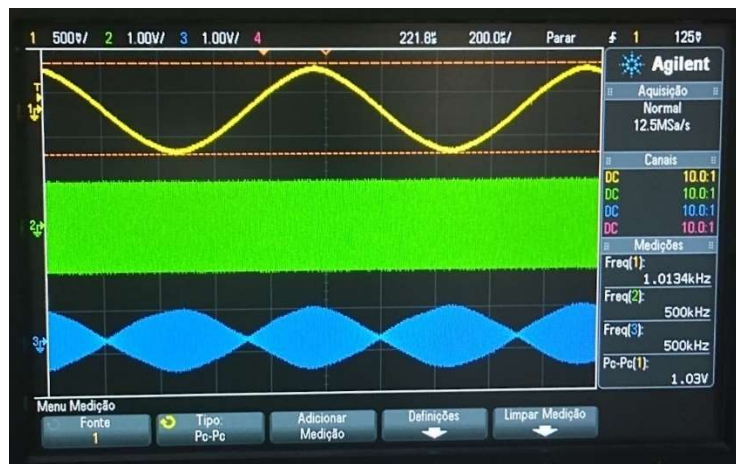
A montagem foi realizada com o auxílio de cabos conectores que acompanham o *kit*. Após completa a montagem, foi feita a conexão do *kit* ACL-01 à fonte de tensão da *Falcon*, enquanto a mesma estava desligada.

Ao ligar a fonte de tensão, os módulos utilizados no experimento foram ajustados da seguinte forma:

- **FUNCTION GENERATOR (AUDIO OSCILATOR-SINE WAVE):** configurado para gerar uma senoide com LEVEL em torno de 1 V de V_{PP} , com FREQ. de 1 kHz.
- **VCO:** configurado para gerar uma senoide com LEVEL de 2 V de V_{PP} , com FREQ. de aproximadamente 457 kHz, com a chave na posição 500 kHz.
- **BALANCED MODULATOR 1: CARRIER NULL** foi configurado de modo a cancelar a portadora do sinal modulado, rotacionado até sua posição central ou rotacionado até a posição em que se obtém a forma de onda da Figura 17 (sinal em azul). O potenciômetro LEVEL completamente rotacionado no sentido horário.

Após conectar as pontas de prova do osciloscópio nas saídas dos módulos: **SINE OUT** de FUNCTION GENERATOR, **RF OUT** de VCO e **OUT** de BALANCED MODULATOR 1, foi obtido o sinal mensagem, o sinal da onda portadora e o sinal modulado AM-DSB SC, respectivamente. No *display* do osciloscópio foi observado as formas de onda vistas na imagem da Figura 17.

Figura 17- Resultado do experimento gerador AM-DSB SC: sinal modulante (amarelo), portadora (verde) e sinal modulado AM-DSB SC (azul)

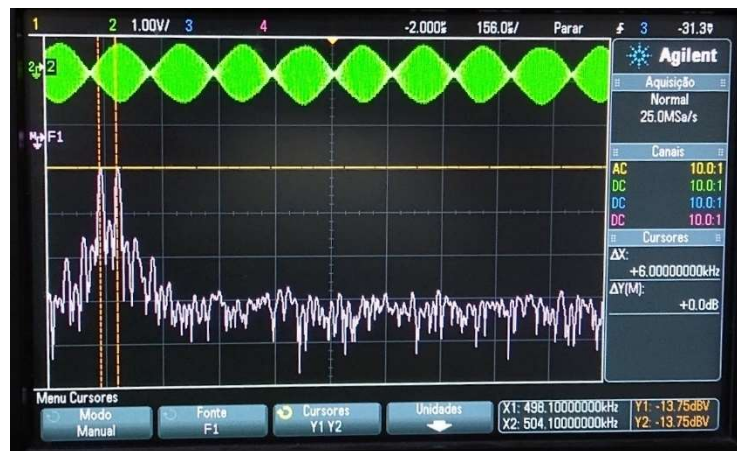


Fonte: Autoria própria

Pode ser observado na figura anterior que a envoltória do sinal modulado não corresponde ao sinal mensagem, como era o caso em AM DSB com portadora. A característica dessa técnica de modulação é a ausência da portadora no sinal AM a ser transmitido. Para visualizar essa característica, foi observada a resposta em frequência do sinal AM-DSB SC no osciloscópio, obtendo o resultado apresentado na Figura 18. Além disso, a amplitude do sinal modulante foi variada e verificou-se que o sinal modulado se

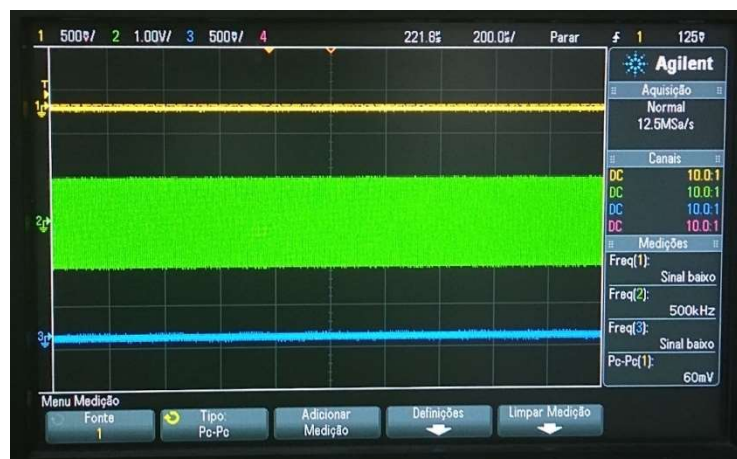
anula sempre que o modulante se anula (resultado observado na Figura 19), o que não ocorreu na modulação em AM DSB com portadora.

Figura 18- Sinal modulado em AM-DSB SC (verde) e sua resposta no domínio da frequência (branco)



Fonte: Autoria própria

Figura 19- Saída do modulador AM-DSB SC (azul) aplicando na entrada do modulador um sinal modulante nulo (amarelo) e a onda portadora (verde)



Fonte: Autoria própria

3.4 Experimento 4: Estudo da modulação em frequência

3.4.1 Objetivos

- A. Traçar a curva para a modulação característica de um modulador varactor
- B. Calcular a sensibilidade de modulação de um modulador varactor
- C. Observar e medir o desvio de frequência e o índice de modulação de FM
- D. Estudar a modulação em frequência usando um modulador de reatância

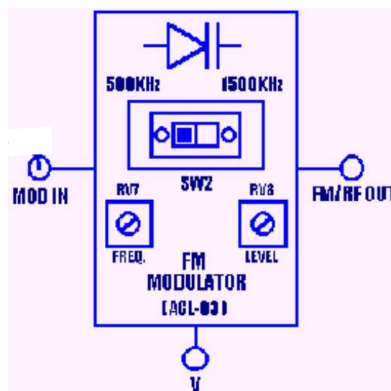
3.4.2 Equipamentos

- Módulo ACL – 03
- Fonte de tensão para o *kit*
- Osciloscópio
- Cabos conectores
- Gerador de funções externo

A. Traçar a curva para a modulação característica de um modulador varactor

A curva característica da modulação é dada pela frequência de saída do modulador em função da tensão de entrada da modulante. Essa curva foi traçada ao realizar várias medições caso a caso, ao variar a amplitude do sinal modulante estaticamente, ou seja, por meio de níveis DC, e medindo-se a frequência correspondente na saída do modulador. O bloco utilizado para este experimento foi o FM MODULATOR do *kit* ACL-03 (Figura 20). O nível DC foi aplicado na entrada **MOD IN** e foi observada a respectiva frequência do sinal de saída em **FM/RF OUT**. Os dados obtidos encontram-se na Tabela 1. A curva traçada com os dados está presente na Figura 21.

Figura 20- Diagrama do bloco modulador FM



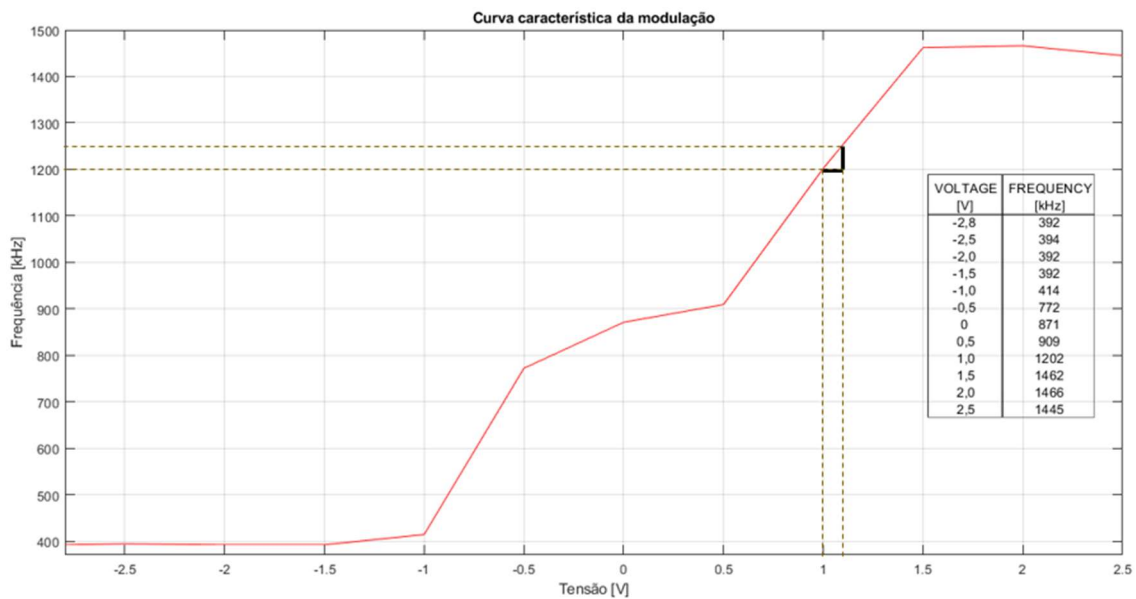
Fonte: FALCON (2005) [3]

Tabela 1-Dados da frequência de saída do modulador FM para diferentes níveis DC na entrada

| | | | | | | | | | | | | |
|------------------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|------|------|------|------|
| Tensão [V] | -2,8 | -2,5 | -2,0 | -1,5 | -1,0 | -0,5 | 0 | 0,5 | 1,0 | 1,5 | 2,0 | 2,5 |
| Frequência [kHz} | 392 | 394 | 392 | 392 | 414 | 772 | 871 | 909 | 1202 | 1462 | 1446 | 1445 |

Fonte: Autoria própria

Figura 21- Curva característica da modulação realizada por um modulador varactor



Fonte: Autoria própria

B. Calcular a sensibilidade de modulação de um modulador varactor

Pode-se observar que a região central da curva característica apresenta um comportamento linear, mais precisamente entre 0,5 V e 1,5 V. Portanto, este intervalo é considerado o mais adequado para obter o melhor comportamento do modulador. Considerando o modulador operando na região linear da curva, pôde-se calcular a sensibilidade do modulador. A sensibilidade da modulação do modulador varactor, S_o , foi calculada e é igual a

$$S_o = \Delta F / \Delta V = (1250 - 1200) / (1,1 - 1,0) = 0,5 \text{ kHz/mV}$$

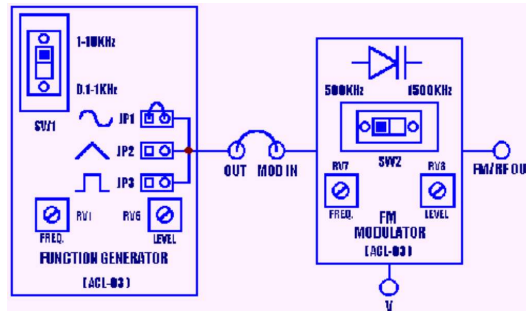
C. Observar e medir o desvio de frequência e o índice de modulação de FM

A montagem foi realizada com o auxílio de cabos conectores que acompanham o *kit*. Após completa a montagem, apresentada na Figura 22, foi feita a conexão do *kit* ACL-03 à fonte de tensão da *Falcon*, enquanto a mesma estava desligada.

Ao ligar a fonte de tensão, os módulos utilizados no experimento foram ajustados da seguinte forma:

- **FUNCTION GENERATOR:** configurado para gerar uma senoide (JP1) com LEVEL em torno de 100 mV de V_{pp} , com FREQ. de 1 kHz.
- **FREQUENCY MODULATOR:** o potenciômetro LEVEL em torno de 2 V de V_{pp} e o FREQ. na posição central e chave na posição 1500 kHz.

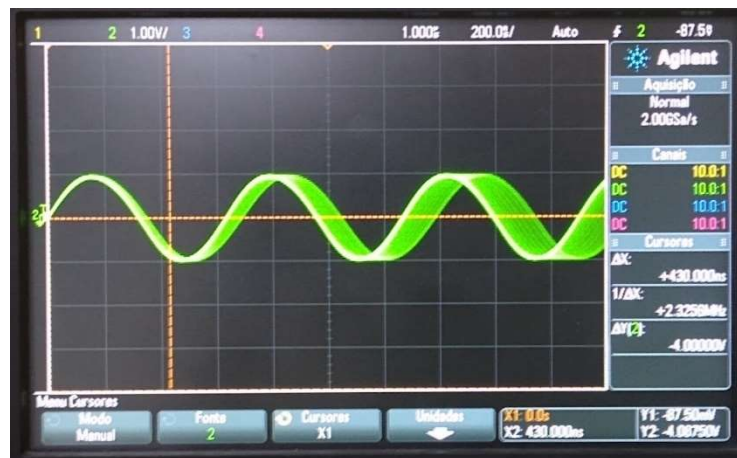
Figura 22- Diagrama de blocos para a montagem do modulador com varactor



Fonte: FALCON (2005) [3]

Conectando as pontas de prova do osciloscópio na saída do modulador **FM/RF OUT**, foi obtida a forma de onda observada na Figura 23.

Figura 23- Saída do modulador em frequência



Fonte: Autoria própria

O desvio em frequência foi calculado com o auxílio dos cursores do osciloscópio, e obteve-se os resultados observados nas Figuras 24 e 25. De acordo com o observado nas figuras, pôde-se calcular o desvio em frequência, definido como $\Delta f = (F_M - F_m)/2$

$$\Delta f = (1,5898 - 1,4347)/2 = 0,07755 \text{ MHz}$$

E o valor do índice de modulação em frequência m_f é calculado pela relação $m_f = \Delta f / f$, sendo f a frequência do sinal modulante

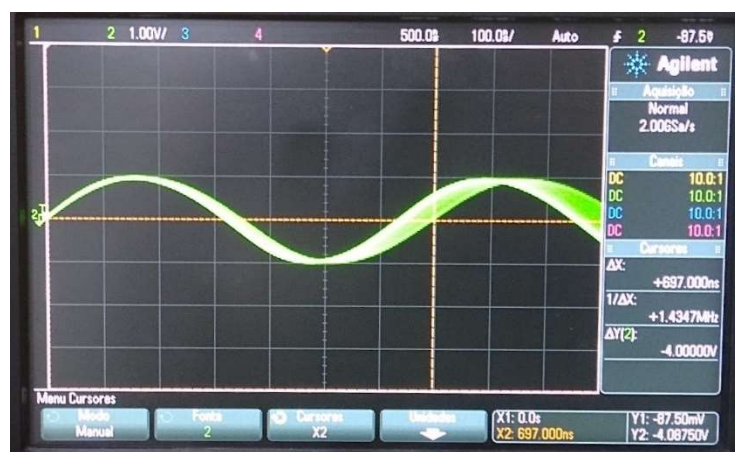
$$m_f = 77550/1000 = 77,55$$

Figura 24- Sinal modulado em frequência: valor medido $F_M=1,5898$ MHz



Fonte: Autoria própria

Figura 25- Sinal modulado em frequência: valor medido $F_m=1,4347$ MHz



Fonte: Autoria própria

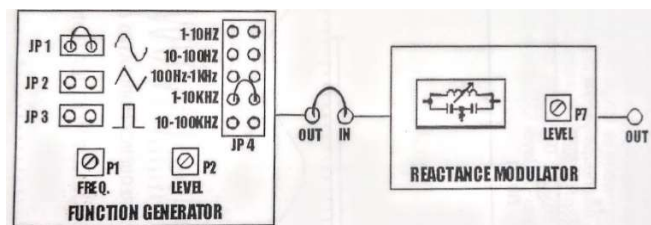
D. Estudar a modulação em frequência usando um modulador de reatância

A Figura 26 indica o diagrama de blocos da montagem feita. A montagem foi realizada com o auxílio de cabos conectores. Ao ligar a fonte de tensão, os módulos utilizados no experimento foram ajustados da seguinte forma:

- **FUNCTION GENERATOR:** configurado para gerar uma senoide (JP1) com LEVEL em torno de 0,1 V de V_{PP} , com FREQ. de 1 kHz.

- **REACTANCE MODULATOR:** o potenciômetro LEVEL foi configurado para obter-se um sinal modulado em frequência com amplitude em torno de 2 V de V_{PP} e frequência em torno de 450 kHz.

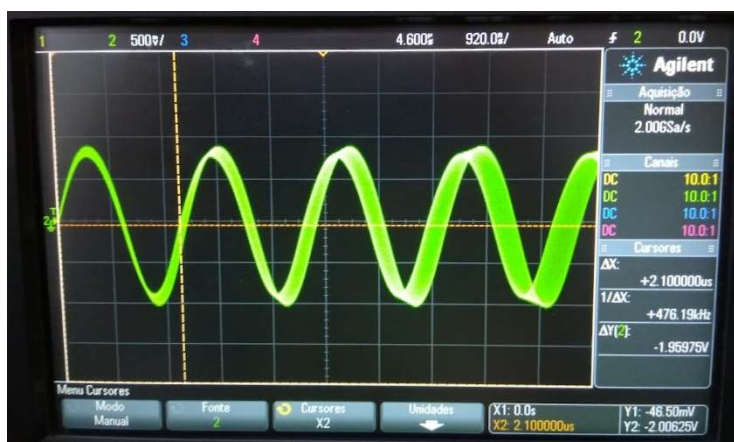
Figura 26- Diagrama de blocos para a montagem do modulador de reatância



Fonte: FALCON (2005) [3]

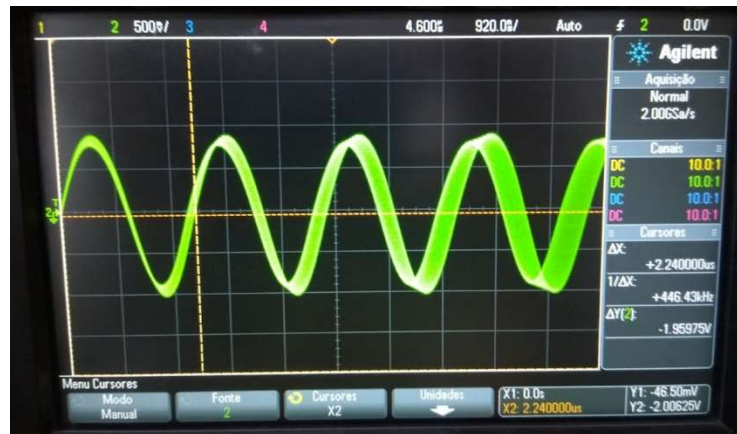
A saída obtida para esta montagem é semelhante à saída obtida na montagem do modulador varactor. Analogamente ao procedimento usado para calcular o índice de modulação em frequência do modulador varactor, foi calculado o índice de modulação em frequência do modulador de reatância, a partir dos valores observados nas Figuras 27 e 28.

Figura 27- Sinal modulado em frequência: valor medido $F_M=476,19$ kHz



Fonte: Autoria própria

Figura 28- Sinal modulado em frequência: valor medido $F_m=446,43$ kHz



Fonte: Autoria própria

Obteve-se o seguinte valor para o desvio em frequência

$$\Delta f = (F_M - F_m)/2 = (476,19 - 446,43)/2 = 14,88 \text{ kHz}$$

e o índice de modulação, portanto, foi o valor

$$m_f = \Delta f / f = 14880 / 1000 = 14,88$$

3.5 Experimento 5: Demodulação em frequência

3.5.1 Objetivos

- Traçar a curva característica da demodulação FM para o demodulador Foster-Seeley
- Verificar as formas de onda dos sinais no demodulador Foster-Seeley
- Estudar o demodulador de Relação
- Estudar o detector de fase bloqueada (PLL)
- Estudar o detector em quadratura
- Estudar o detector ressonante sincronizado

3.5.2 Equipamentos

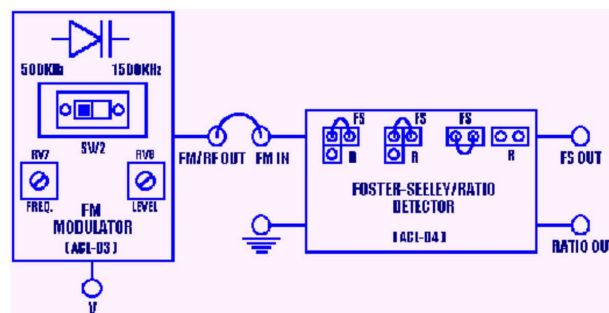
- Módulo ACL – 03 e ACL – 04
- Fonte de tensão para o *kit*
- Osciloscópio
- Cabos conectores

A. Traçar a curva característica da demodulação FM para o demodulador Foster-Seeley

A montagem foi realizada com o auxílio de cabos conectores que acompanham os *kits*. A montagem para este experimento segue o esquema indicado pelo diagrama de blocos da Figura 29. Foi feita a conexão dos *kits* ACL-03 e ACL-04 à fonte de tensão da *Falcon*, enquanto a mesma estava desligada e ao ligar a fonte de tensão, os módulos utilizados no experimento foram ajustados da seguinte forma:

- **FREQUENCY MODULATOR:** Chave na posição 500 kHz e LEVEL em torno de 1 V de V_{pp} .
- Demodulador em frequência no modo **FOSTER-SEELEY** (conexões na posição FS).

Figura 29- Diagrama de blocos para o estudo da característica do demodulador FM Foster-Seeley



Fonte: FALCON (2005) [3]

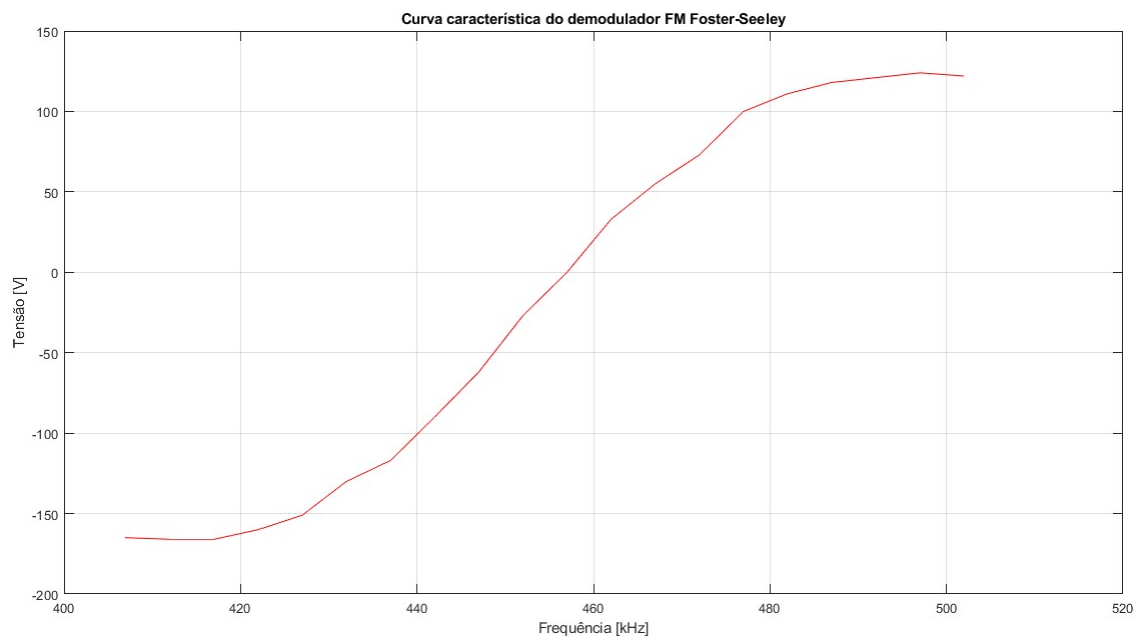
Após conectar as pontas de prova do osciloscópio na entrada do demodulador **FM IN** e na saída do demodulador (entre a posição **FS OUT** e terra). Foi inserida uma frequência de 457 kHz no modulador FM e foi verificado que a tensão de saída era nula. Sabendo disso, a frequência de entrada foi variada de 407 a 507 kHz, com passo de 5 kHz. As frequências de entrada e seus níveis de tensão de saída correspondentes foram armazenados na Tabela 2 e o gráfico da Figura 30 foi traçado com os dados obtidos.

Tabela 2- Dados de frequência de entrada do demodulador FM e seus respectivos níveis de tensão na saída

| | | | | | | | | | | |
|-------------------------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|
| Frequência [kHz] | 407 | 412 | 417 | 422 | 427 | 432 | 437 | 442 | 447 | 452 |
| Tensão [mV] | -165 | -166 | -166 | -160 | -151 | -130 | -117 | -90 | -62 | -27 |
| Frequência [kHz] | 457 | 462 | 467 | 472 | 477 | 482 | 487 | 492 | 497 | 502 |
| Tensão [mV] | 0 | 33 | 55 | 73 | 100 | 111 | 118 | 121 | 124 | 122 |

Fonte: Autoria própria

Figura 30- Curva característica do demodulador FM Foster-Seeley



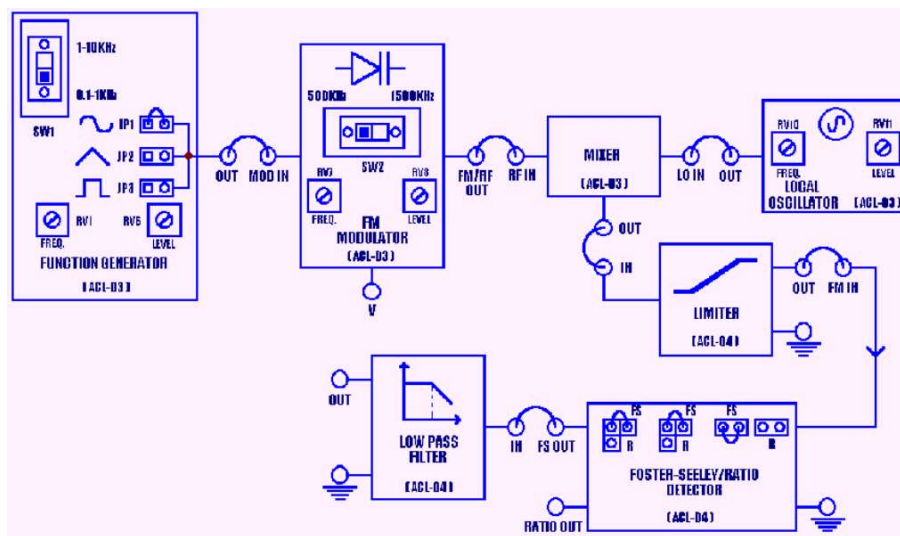
Fonte: Autoria própria

B. Forma de onda do sinal FM demodulado pelo demodulador Foster-Seeley

A montagem foi realizada com o auxílio de cabos conectores que acompanham os kits. A montagem para este experimento segue o esquema indicado pelo diagrama de blocos da Figura 31. Foi feita a conexão dos kits ACL-03 e ACL-04 à fonte de tensão da Falcon, enquanto a mesma estava desligada e ao ligar a fonte de tensão, os módulos utilizados no experimento foram ajustados da seguinte forma:

- **FREQUENCY MODULATOR:** Chave na posição 500 kHz para uma frequência em torno de 450 kHz e LEVEL em torno de 1 V de V_{PP} .
- **FUNCTION GENERATOR:** Configurado para gerar uma senoide (JP1), posto LEVEL em torno de 100 mV de V_{PP} e FREQ. aproximadamente em 500 Hz.
- **LOCAL OSCILATOR:** LEVEL aproximadamente 1 V de V_{PP} e FREQ. em 1000 kHz, na posição central.
- Demodulador em frequência no modo **FOSTER-SEELEY** (conexões na posição FS).

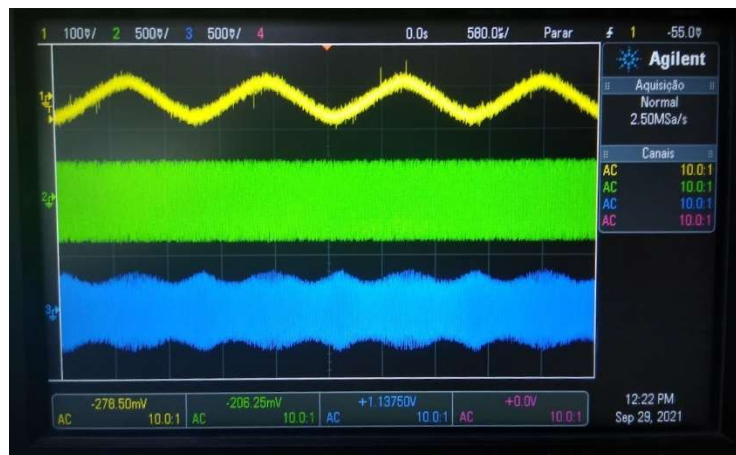
Figura 31- Diagrama de blocos para a montagem do demodulador FM Foster-Seeley



Fonte: FALCON (2005) [3]

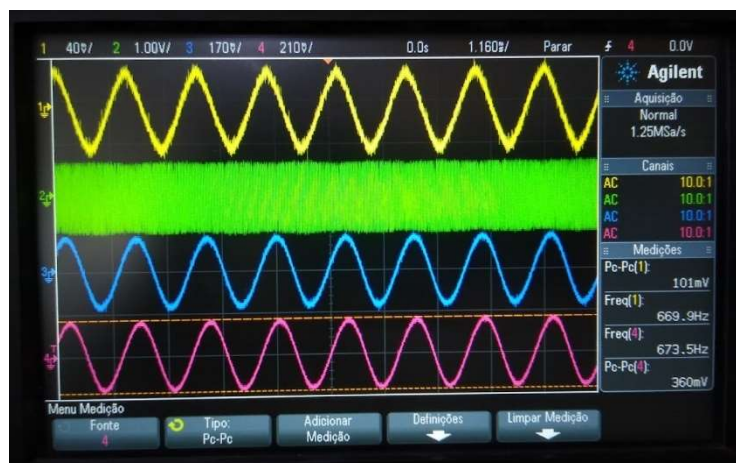
O osciloscópio foi conectado nas saídas dos módulos presentes na montagem do experimento. Os sinais observados no *display* do osciloscópio podem ser observados nas Figuras 32 e 33, abaixo. Pode ser observado que o sinal na saída do modulador possui componentes em altas frequências. Ao observar o sinal na saída do filtro passa baixa, **OUT** de LOW PASSFILTER, pôde-se obter o sinal mensagem recuperado.

Figura 32- Montagem demodulador Foster-Seeley: Sinal modulante (amarelo), sinal modulado em frequência (verde) e sinal na saída do misturador (azul)



Fonte: Autoria própria

Figura 33- Montagem demodulador Foster-Seeley: Sinal modulante (amarelo), sinal na saída do limitador (verde), sinal na saída do demodulador Foster-Seeley (azul) e sinal recuperado na saída do filtro passa baixa (vermelho)



Fonte: Autoria própria

C. Estudo do demodulador de Relação

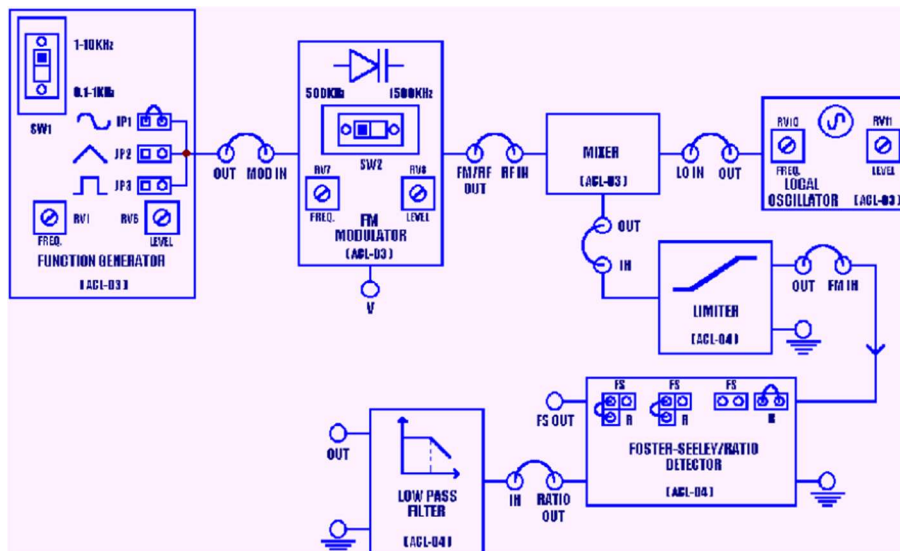
A montagem foi realizada com o auxílio de cabos conectores que acompanham os *kits*. A montagem para este experimento segue o esquema indicado pelo diagrama de blocos da Figura 34. Foi feita a conexão dos *kits* ACL-03 e ACL-04 à fonte de tensão da *Falcon*, enquanto a mesma estava desligada e ao ligar a fonte de tensão, os módulos utilizados no experimento foram ajustados da seguinte forma:

- **FREQUENCY MODULATOR:** Chave na posição 500 kHz para uma frequência em torno de 450 kHz e LEVEL em torno de 1 V de V_{PP} .

- **FUNCTION GENERATOR:** Configurado para gerar uma senoide (JP1), posto LEVEL em torno de 100 mV de V_{pp} e FREQ. aproximadamente em 500 Hz.
- **LOCAL OSCILATOR:** LEVEL aproximadamente 1 V de V_{pp} e FREQ. em 1000 kHz, na posição central.
- Demodulador em frequência no modo **RATIO** (conexões na posição R).

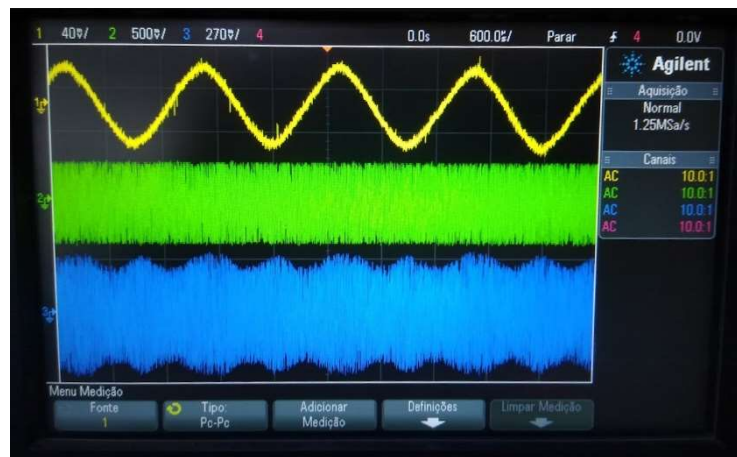
O osciloscópio foi conectado nas saídas dos módulos presentes na montagem do experimento. Os sinais observados no *display* do osciloscópio podem ser observados nas Figuras 35 e 36, abaixo. Pode ser observado que o sinal na saída do modulador possui componentes em altas frequências. Ao observar o sinal na saída do filtro passa baixa, OUT de LOW PASSFILTER, pôde-se obter o sinal mensagem recuperado.

Figura 34- Diagrama de blocos para a montagem do demodulador FM de Relação



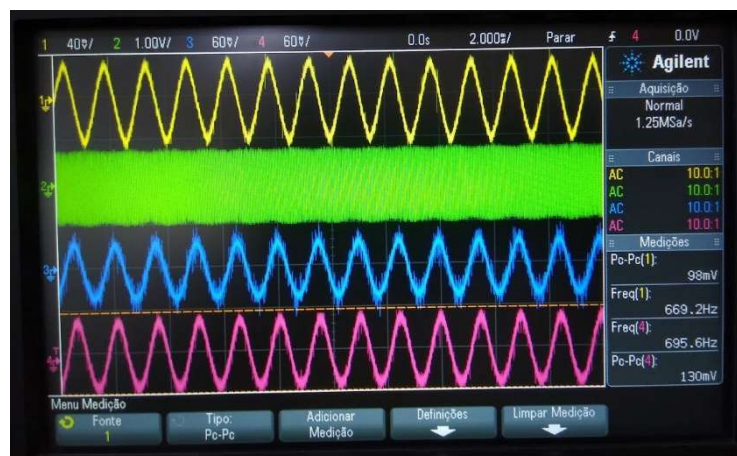
Fonte: FALCON (2005) [3]

Figura 35- Montagem detector de Relação: Sinal modulante (amarelo), sinal modulado em frequência (verde) e sinal na saída do misturador (azul)



Fonte: Autoria própria

Figura 36- Montagem detector de Relação: Sinal modulante (amarelo), sinal na saída do limitador (verde), sinal na saída do demodulador de Relação (azul) e sinal recuperado na saída do filtro passa baixa (vermelho)



Fonte: Autoria própria

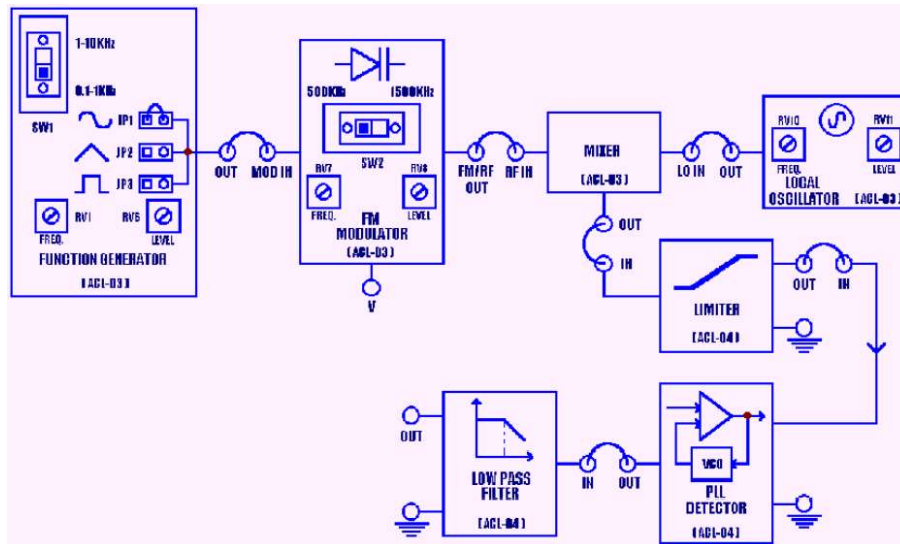
D. Estudo do detector de fase bloqueada (PLL)

A montagem foi realizada com o auxílio de cabos conectores que acompanham os *kits*. A montagem para este experimento segue o esquema indicado pelo diagrama de blocos da Figura 37. Foi feita a conexão dos *kits* ACL-03 e ACL-04 à fonte de tensão da *Falcon*, enquanto a mesma estava desligada e ao ligar a fonte de tensão, os módulos utilizados no experimento foram ajustados da seguinte forma:

- **FREQUENCY MODULATOR:** Chave na posição 500 kHz para uma frequência em torno de 450 kHz e LEVEL em torno de 1 V de V_{PP} .
- **FUNCTION GENERATOR:** Configurado para gerar uma senoide (JP1), posto LEVEL em torno de 100 mV de V_{PP} e FREQ. aproximadamente em 500 Hz.

- **LOCAL OSCILATOR:** LEVEL aproximadamente 1 V de V_{PP} e FREQ. em 1000 kHz, na posição central.

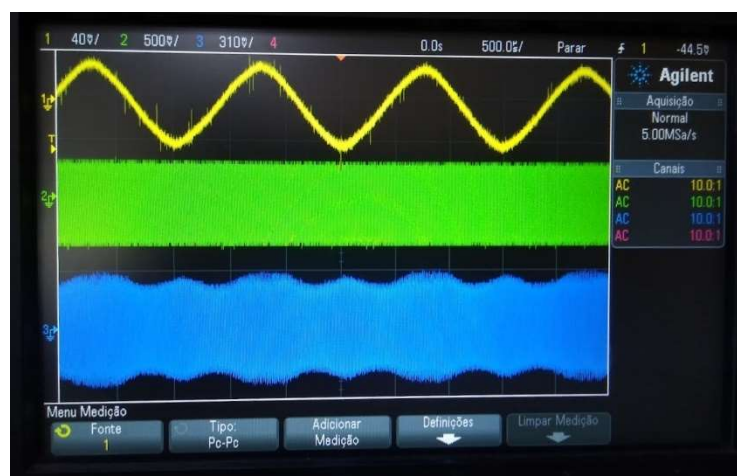
Figura 37- Diagrama de blocos para a montagem do detector PLL



Fonte: Autoria própria

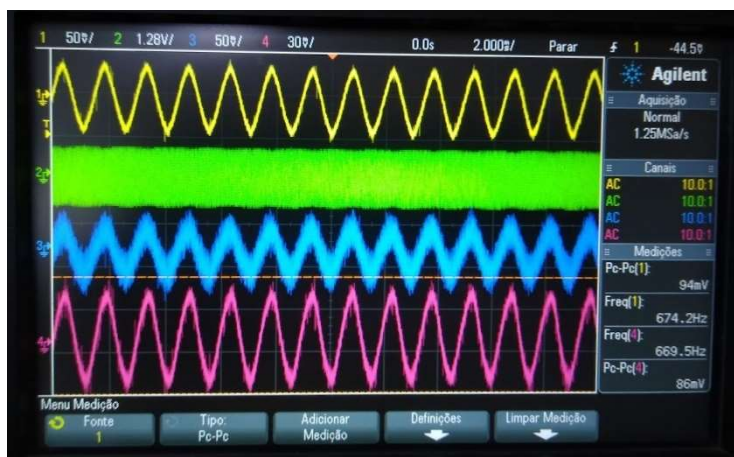
O osciloscópio foi conectado nas saídas dos módulos presentes na montagem do experimento. Os sinais observados no *display* do osciloscópio podem ser verificados nas Figuras 38 e 39, abaixo. Pode ser observado que o sinal na saída do modulador possui componentes em altas frequências. Ao observar o sinal na saída do filtro passa baixa, **OUT** de LOW PASSFILTER, pôde-se obter o sinal mensagem recuperado.

Figura 38- Montagem detector PLL: Sinal modulante (amarelo), sinal modulado em frequência (verde) e sinal na saída do misturador (azul)



Fonte: Autoria própria

Figura 39- Montagem detector PLL: Sinal modulante (amarelo), sinal na saída do limitador (verde), sinal detectado pelo PLL (azul) e sinal recuperado na saída do filtro passa baixa (vermelho)



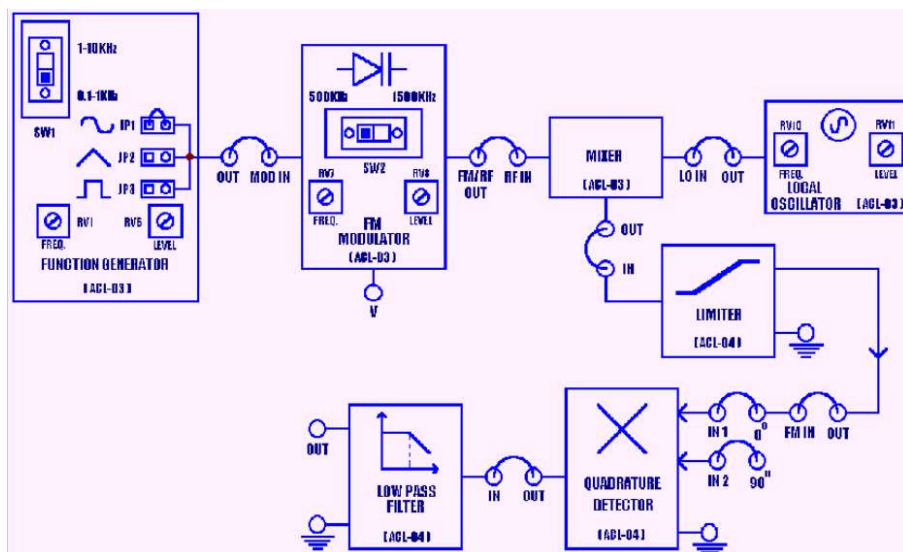
Fonte: Autoria própria

E. Estudo do detector em quadratura

A montagem foi realizada com o auxílio de cabos conectores que acompanham os *kits*. A montagem para este experimento segue o esquema indicado pelo diagrama de blocos da Figura 40. Foi feita a conexão dos *kits* ACL-03 e ACL-04 à fonte de tensão da *Falcon*, enquanto a mesma estava desligada e ao ligar a fonte de tensão, os módulos utilizados no experimento foram ajustados da seguinte forma:

- **FREQUENCY MODULATOR:** Chave na posição 500 kHz para uma frequência em torno de 450 kHz e LEVEL em torno de 1 V de V_{PP} .
- **FUNCTION GENERATOR:** Configurado para gerar uma senoide (JP1), posto LEVEL em torno de 100 mV de V_{PP} e FREQ. aproximadamente em 500 Hz.
- **LOCAL OSCILATOR:** LEVEL aproximadamente 1 V de V_{PP} e FREQ. em 1000 kHz, na posição central.

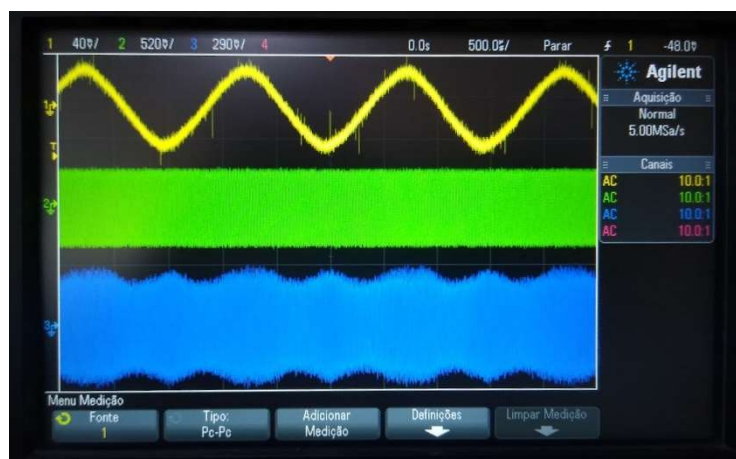
Figura 40- Diagrama de blocos para a montagem do detector em quadratura



Fonte: FALCON (2005) [3]

O osciloscópio foi conectado nas saídas dos módulos presentes na montagem do experimento. Os sinais observados no *display* do osciloscópio podem ser verificados nas Figuras 41 e 42, abaixo. Pode ser observado que o sinal na saída do modulador possui componentes em altas frequências. Ao observar o sinal na saída do filtro passa baixa, **OUT** de LOW PASSFILTER, pôde-se obter o sinal mensagem recuperado.

Figura 41- Montagem detector em quadratura: Sinal modulante (amarelo), sinal modulado em frequência (verde) e sinal na saída do misturador (azul)



Fonte: Autoria própria

Figura 42- Montagem detector de quadratura: Sinal modulante (amarelo), sinal na saída do limitador (verde), sinal na saída do detector de quadratura (azul) e sinal recuperado na saída do filtro passa baixa (vermelho)



Fonte: Autoria própria

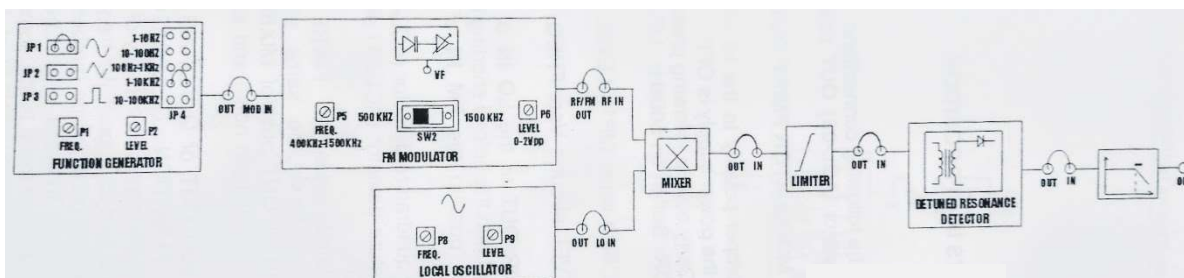
F. Estudo do detector ressonante sintonizado

A montagem foi realizada com o auxílio de cabos conectores que acompanham os *kits*. A montagem para este experimento segue o esquema indicado pelo diagrama de blocos da Figura 43. Foi feita a conexão dos *kits* ACL-03 e ACL-04 à fonte de tensão da *Falcon*, enquanto a mesma estava desligada e ao ligar a fonte de tensão, os módulos utilizados no experimento foram ajustados da seguinte forma:

- **FREQUENCY MODULATOR:** Chave na posição 500 kHz para uma frequência em torno de 450 kHz e LEVEL em torno de 1 V de V_{PP} .
- **FUNCTION GENERATOR:** Configurado para gerar uma senoide (JP1), posto LEVEL em torno de 100 mV de V_{PP} e FREQ. aproximadamente em 500 Hz.
- **LOCAL OSCILATOR:** LEVEL aproximadamente 1 V de V_{PP} e FREQ. em 1000 kHz, na posição central.

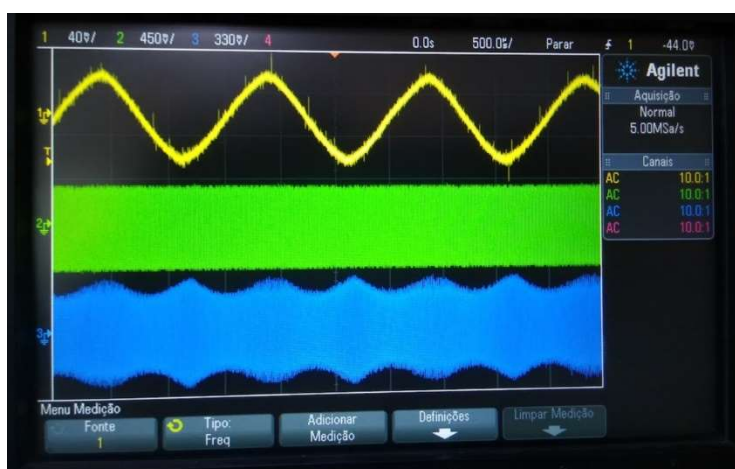
O osciloscópio foi conectado nas saídas dos módulos presentes na montagem do experimento. Os sinais observados no *display* do osciloscópio podem ser verificados nas Figuras 44 e 45, abaixo. Pode ser observado que o sinal na saída do modulador possui componentes em altas frequências. Ao observar o sinal na saída do filtro passa baixa, OUT de LOW PASSFILTER, pôde-se obter o sinal mensagem recuperado.

Figura 43- Diagrama de blocos da montagem do detector ressonante sintonizado



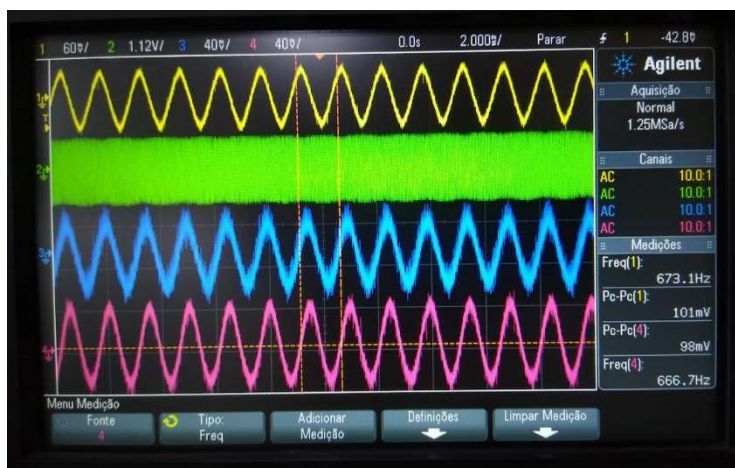
Fonte: FALCON (2005) [3]

Figura 44- Montagem do detector ressonante sintonizado: Sina modulante (amarelo), sinal modulado em frequência (verde) e sinal na saída do misturador (azul)



Fonte: Autoria própria

Figura 45- Montagem do detector ressonante sintonizado: Sinal modulante (amarelo), sinal na saída do limitador (verde), sinal na saída do detector sintonizado (azul) e sinal recuperado na saída do filtro passa baixa (vermelho)



Fonte: Autoria própria

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A execução desta componente curricular trouxe ao estagiário experiência a partir das atividades realizadas, visto que foi possível a aplicação na prática de alguns conceitos vistos durante as disciplinas teóricas do curso, como Princípios de Comunicação, Circuitos para Comunicações e Análise de Sinais e Sistemas.

Também foi possibilitado ao aluno, além do contato com o LIMC, que normalmente não faz parte das disciplinas da grade curricular, o uso de diferentes equipamentos disponibilizados no laboratório, ajudando na construção de experiência que normalmente é escassa para alunos próximos ao término do curso.

Concluiu-se pelos resultados observados no decorrer dos experimentos elaborados neste trabalho que, apesar das limitações que apresentaram, os *kits* são de grande utilidade para o desenvolvimento de experimentos em disciplinas como o Laboratório de Princípios de Comunicação e Circuitos para Comunicações ou qualquer curso que envolva os conceitos básicos de telecomunicações.

REFERÊNCIAS

- 1 LIMC. *O LIMC*. Laboratório de Instrumentação e Metrologia Científicas. Disponível em < http://limc.dee.ufcg.edu.br/o_limc>
- 2 ACL-01: Amplitude Modulation Transmitter Kit and ACL-02: Amplitude Demodulation Receiver Kit, Experimental Manual, Falcon Electro-Tek PVT. LTD., Mumbai, India. Disponível em <<http://www.tekniikka.oamk.fi/tl-lab/tyoohjeet/tl5527/ACL-01&02.pdf>>
- 3 ACL-03: Frequency Modulation Transmitter Kit and ACL-04: Frequency Demodulation Receiver Kit, Experimental Manual, Falcon Electro-Tek PVT. LTD., Mumbai, India. Disponível em <<http://www.tekniikka.oamk.fi/tl-lab/tyoohjeet/tl5527/ACL-03&04-MAN.PDF>>