



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

Relatório de Estágio

**Teste com Kits da *Falcon* Adquiridos Para a Elaboração da Disciplina
Laboratório de Princípios de Comunicações**

Juliana Martins de Assis

Prof. Dr. Bruno Barbosa Albert

Professor Orientador

Campina Grande, Julho de 2012

Juliana Martins de Assis

Teste com Kits da *Falcon* Adquiridos Para a Elaboração da Disciplina Laboratório de Princípios de Comunicações

Relatório de estágio apresentado ao Centro de Engenharia Elétrica e Informática como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheira Eletricista.

Orientador:

Prof. Dr. Bruno Barbosa Albert

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE

Relatório de estágio sob o título *“Teste com Kits da Falcon Adquiridos Para a Elaboração da Disciplina Laboratório de Princípios de Comunicações”*, defendido por Juliana Martins de Assis em julho de 2012, em Campina Grande, Estado da Paraíba, com a banca examinadora constituída pelos doutores:

Prof. Dr. Bruno Barbosa Albert
Orientador

Prof. Dr. Waslon Terllizzie Araújo Lopes
Convidado

Julgado em: de Julho de 2012.

Agradecimentos

Primeiramente, agradeço a meus pais, Francisco e Aida, e aos meus irmãos, Juana e Joaquim, que sempre valorizaram bastante os estudos e me apoiaram ao longo dessa trajetória, de todas as maneiras possíveis. Agradeço também a todos os colegas do curso que me ajudaram, das mais diversas formas, a aprender mais e me tornar uma engenheira. Em particular, agradeço ao amigo Thyago, que ajudou diretamente a desenvolver esse estágio.

Sou muito grata, também, a todos os amigos e amigas que fiz ao longo do curso e também fora dele, que me ajudaram a ver outros aspectos da vida além dos que estão relacionados à engenharia, mas que também são fundamentais. Agradeço não só a todos os professores que contribuíram para a aquisição de conhecimentos tão relevantes como os de física, matemática e engenharia, como também aqueles do ensino médio e fundamental, de português, história, dentre outros, sem os quais não haveria chegado até aqui.

Agradeço especialmente ao meu orientador, Bruno Albert, pela oportunidade de realizar este trabalho com ele e pela paciência com que me ajudou.

Por fim, como não poderia deixar de fazê-lo, expresso aqui meu agradecimento sincero aos funcionários da UFCG que contribuem para o bom funcionamento deste curso de graduação, em especial aos que ajudam a lidar com todas as questões burocráticas ou relacionadas a documentações.

Lista de Figuras

1	Diagrama de blocos para medição de sensibilidade e seletividade para recepção via cabo.	12
2	Diagrama de blocos para medição de sensibilidade e seletividade para recepção via antena.	12
3	Saída do osciloscópio para AM-DSB, sinais mensagem e modulado	14
4	Saída do osciloscópio para AM-DSB, sinais mensagem e demodulado	14
5	Saída do osciloscópio para modulação AM DSB, amplitude do sinal modulado reduzida.	15
6	Saída dos sinais modulado e demodulado, amplitude elevada	16
7	Saída distorcida	16
8	Sinal modulado, proposta de medida de sensibilidade.	17
9	Gráfico para seletividade do receptor (transmissão via cabo).	20
10	Gráfico para seletividade do receptor (transmissão via antena).	20
11	Saída da antena receptora é o sinal mais claro, frequência da portadora em 850kHz.	22
12	Saída da antena receptora é o sinal mais claro, frequência da portadora diferente de 850kHz.	22
13	Diagrama de blocos para estudo da frequência de imagem.	24
14	Estudo das relações de frequência no bloco <i>Mixer</i> . Oscilador local em 1 MHz, portadora em 550 kHz	25
15	Estudo das relações de frequência no bloco <i>Mixer</i> . Oscilador local em 940 kHz, portadora em 550 kHz.	25
16	Estudo da frequência de imagem. Oscilador local em 1,75 MHz, portadora em 1450 kHz.	27

17	Estudo da frequência de imagem. Oscilador local em 1,06 MHz, portadora em 1450 kHz.	27
18	Estudo da frequência de imagem. Oscilador local em 1,92 MHz, portadora em 1450 kHz.	28
19	Estudo da frequência de imagem. Oscilador local em 1 MHz, portadora em 1450 kHz.	28
20	Diagrama de blocos para transmissão de voz em AM DSB, via cabo.	29
21	Diagrama de blocos para transmissão de voz em AM SSB, via cabo.	29
22	Diagrama de blocos da montagem para desenho da curva característica de modulador FM (<i>varactor</i>).	31
23	Curva característica do modulador FM para sinal de entrada em MOD IN mínimo.	34
24	Curva característica do modulador FM para senoide de entrada em MOD IN com $V_{pp} = 500$ mV e $f = 1$ kHz.	34
25	Diagrama de blocos para estudo do circuito de pré-ênfase.	35
26	Gráfico de tensão do sinal de saída do circuito de pré-ênfase <i>versus</i> frequência do sinal de entrada.	35
27	Diagrama de blocos para estudo do circuito de deênfase.	36
28	Gráfico de tensão do sinal de saída do circuito de deênfase <i>versus</i> frequência do sinal de entrada.	36
29	Diagrama de blocos para o estudo do efeito dos circuitos de pré-ênfase e de-ênfase na modulação FM.	37
30	Efeito dos circuitos de pré-ênfase e de-ênfase em transmissão FM. Detector PLL.	38
31	Efeito dos circuitos de pré-ênfase e de-ênfase em transmissão FM. Detector por ressonância sintonizada.	38
32	Diagrama de blocos para a modulação em frequência via modulação em fase.	39
33	Sinal mensagem e demodulado - FM via PM	40
34	Sinal mensagem e saída do modulador PM, (chave em PM).	41

35	Sinal mensagem e saída do modulador PM (chave em FM).	41
36	Diagrama de blocos para a modulação em fase.	42
37	Portadora e saída do modulador em fase.	44
38	Portadora e saída do modulador em fase - variação em P3.	44
39	Diagrama de blocos para a demodulação em fase.	45
40	Sinais mensagem e demodulado em PM	45

Lista de Tabelas

1	Proposta para medição de sensibilidade (transmissão via cabo).	17
2	Proposta para medição de sensibilidade (transmissão via antena).	18
3	Proposta para estudo de seletividade (transmissão via cabo).	19
4	Proposta para estudo de seletividade (transmissão via antena).	19
5	Dados obtidos para geração da curva característica do modulador FM, frequência e amplitude do gerador de funções nos valores mínimos.	32
6	Dados obtidos para geração da curva característica do modulador FM, senoide de entrada com $V_{pp} = 500mV$ e frequência de 1kHz.	32

Sumário

1	Introdução	9
2	Objetivos	10
3	Atividades Desenvolvidas	11
3.1	Montagens envolvendo a modulação em amplitude	11
3.1.1	Estudo da Sensibilidade e Seletividade de um Receptor de Rádio . .	11
3.1.2	Estudo do Ajuste de Circuitos Transmissores Sintonizáveis e Circuitos Receptores Sintonizáveis	21
3.1.3	Estudo da Frequência Imagem	23
3.1.4	Transmissão de Voz através de Modulação AM DSB	26
3.2	Montagens envolvendo a modulação em frequência	30
3.2.1	Estudo dos circuitos de pré-ênfase e de-ênfase	33
3.2.2	Estudo do efeito dos circuitos de pré-ênfase e de-ênfase no uso de modulador <i>varactor</i> e diferentes circuitos demoduladores	33
3.2.3	Modulação em frequência via modulação em fase	39
3.2.4	Estudo da Modulação e Demodulação em Fase	40
3.2.5	Transmissão de voz através de Modulação FM	43
3.3	Montagens relativas a noções sobre ruído (kit ACL-05)	46
4	Considerações Finais	48
	Referências	49

1 Introdução

A disciplina Princípios de Comunicações, do curso de Engenharia Elétrica da UFCG, tem por objetivo sedimentar ideias básicas necessárias no âmbito de telecomunicações. Mais especificamente, sua ementa é: correlação e densidade espectral de potência, transmissão de sinais, modulação em amplitude, modulação em quadratura, modulação em fase e frequência e noções de ruído. É classificada como conteúdo profissional essencial, sendo, portanto, de grande relevância à formação abrangente que é dada aos estudantes da graduação.

Essa disciplina, como tantas outras profissionais essenciais do curso de Engenharia Elétrica, apresenta uma disciplina de laboratório como co-requisito. Atualmente, este laboratório é realizado apenas com o uso do *software Ptolemy II*, em ambiente de simulação.

A fim de que a abordagem do laboratório fosse mais próxima da realidade, sob o ponto de vista de transmissões de sinais e técnicas de modulação reais, o Departamento de Engenharia Elétrica adquiriu kits da empresa *Falcon* que permitem que diversos experimentos envolvendo o assunto de Princípios de Comunicações sejam realizados, por meio de circuitos eletrônicos, e não apenas de simulações.

Os kits adquiridos abordam essencialmente cinco tópicos de telecomunicações, a saber:

- Densidade espectral de potência do ruído;
- Modulação em amplitude;
- Demodulação em amplitude;
- Modulação em frequência;
- Demodulação em frequência.

2 Objetivos

Esse estágio teve como principal objetivo realizar as montagens descritas nos manuais contidos nos kits adquiridos pela UFCG, da empresa *Falcon*. Na realização das montagens, procurou-se verificar o funcionamento dos kits e observar possíveis incoerências práticas com o comportamento esperado dos circuitos (segundo os manuais do fabricante). Além disso, buscou-se selecionar os experimentos mais adequados para serem realizados pelos alunos, além de eventuais dificuldades encontradas no processo.

A relevância deste trabalho é facilitar o desenvolvimento da disciplina Laboratório de Princípios para Comunicações com a nova abordagem que será feita com o material adquirido, quando os espaços físicos para o laboratório estiverem prontos (estão atualmente em construção).

3 Atividades Desenvolvidas

3.1 Montagens envolvendo a modulação em amplitude

A modulação em amplitude é um dos primeiros assuntos abordados na disciplina teórica de Princípios de Comunicações, consistindo em uma maneira de transmitir diversas mensagens em um mesmo canal, de forma simples e barata, em que a informação é encontrada na amplitude do sinal modulado. A demodulação é o processo pelo qual a mensagem é recuperada para o formato original, que pode ser realizada de diversas formas, sendo a mais simples a detecção por envoltória.

Nesta seção são descritas as montagens que foram realizadas com os kits ACL-01 e ACL-02. O kit ACL-01 refere-se à modulação em amplitude e transmissão. Por sua vez, o kit ACL-02 aborda a demodulação em amplitude e recepção. As montagens relativas à transmissão e recepção em AM DSB e AM SSB funcionaram bem e foram escolhidas para a realização de experimentos pelos alunos na disciplina do laboratório. As subseções seguintes abordam com mais detalhes os demais experimentos sugeridos pelo manual da empresa fornecedora dos kits.

3.1.1 Estudo da Sensibilidade e Seletividade de um Receptor de Rádio

Os receptores de sistemas de comunicações são responsáveis pela operação de demodulação, através da qual o sinal mensagem é recuperado do sinal modulado. Além de realizar esta tarefa, os demoduladores devem ser corretamente sintonizados na frequência da portadora, realizar filtragem permitindo somente a passagem do sinal modulado de interesse e amplificar o sinal recebido. Pelo menos uma parte da amplificação deve ser feita antes do processo de demodulação, para que o sinal esteja em um nível que o circuito demodulador seja capaz de utilizar.

A maioria dos receptores de ondas contínuas, como exemplo as ondas AM, utiliza o

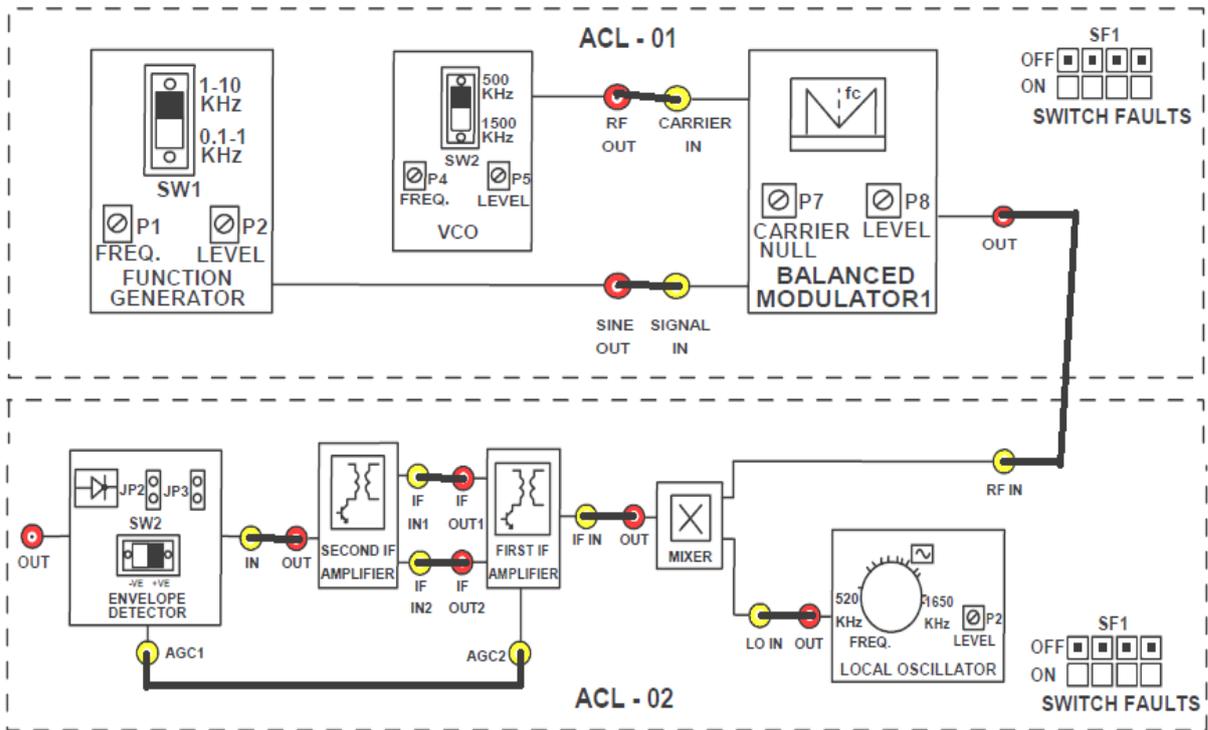


Figura 1: Diagrama de blocos para medição de sensibilidade e seletividade para recepção via cabo.

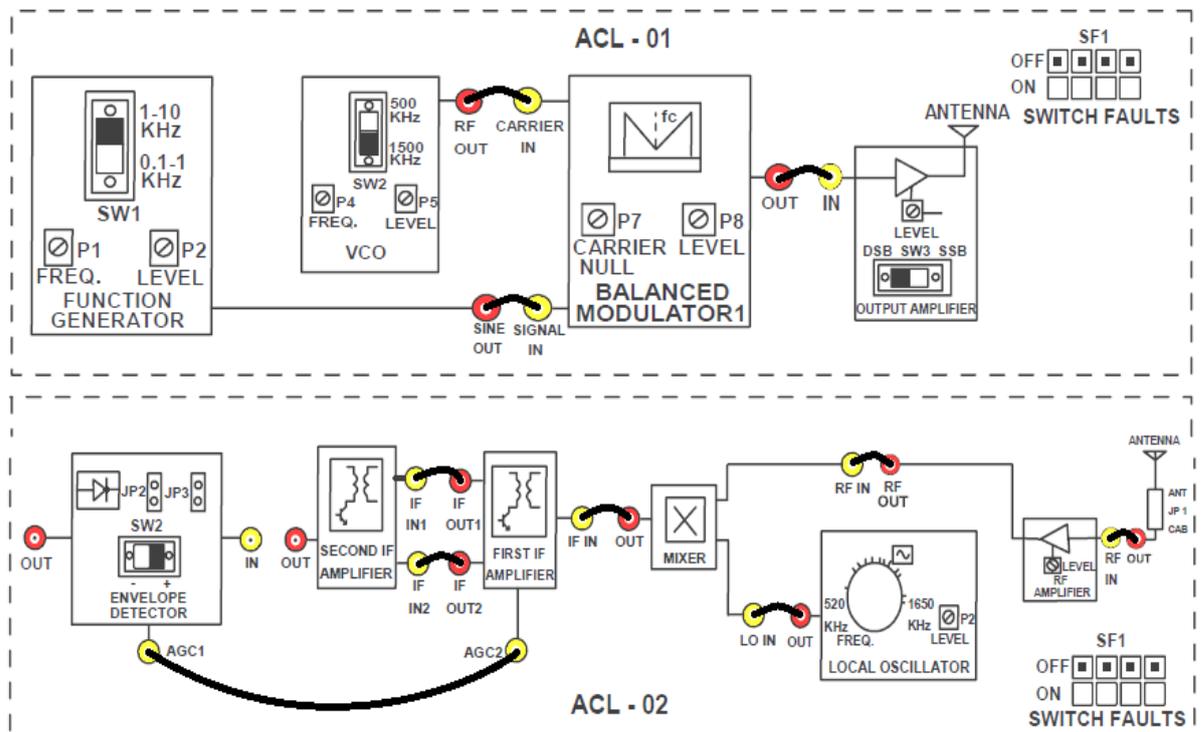


Figura 2: Diagrama de blocos para medição de sensibilidade e seletividade para recepção via antena.

princípio superheterodino. Seguindo este princípio, o receptor possui um primeiro amplificador (RF, rádio-frequência) que amplifica o sinal na frequência da portadora e um segundo (IF, *intermediate-frequency*) que utiliza um sinal produzido por um oscilador local para amplificar o sinal em torno de uma frequência intermediária. Desta maneira o dispositivo é de desenvolvimento mais simples e barato, resolvendo possíveis problemas de instabilidade.

A sensibilidade e a seletividade são especificações do receptor que refletem sua capacidade de detectar corretamente o sinal recebido. A sensibilidade de um receptor é definida como a tensão mínima de entrada que produz uma SNR especificada (relação sinal-ruído) na saída do amplificador IF. Por outro lado, a seletividade especifica a capacidade do receptor de separar canais vizinhos de frequência, sendo função da banda passante do amplificador IF.

No manual, para o estudo desses dois parâmetros, são propostas duas montagens: uma em que a transmissão é feita via cabo, conforme a montagem da Figura 1 e outra em que ela feita via antena, conforme Figura 2.

Primeiramente, no estudo da sensibilidade de um receptor via cabo, geramos uma senoide de 0,5 V de pico-a-pico, frequência de cerca de 1 kHz, no bloco *Function Generator* para servir de sinal mensagem. O bloco VCO do kit utilizado não alcançou a amplitude especificada no manual, de modo que geramos uma portadora através de um gerador de sinais externo, de 2 V de pico-a-pico e frequência de cerca de 600 kHz. A saída do oscilador local foi uma senoide com V_{pp} igual a 2 V. Todas essas especificações foram dadas no manual da *Falcon*.

No bloco *Balance Modulator 1* utilizamos o pino *Carrier Null* de maneira que a portadora não fosse suprimida e ajustamos o pino *Outlevel* de modo a observar um sinal modulado, como na Figura 3. O sinal demodulado obtido esteve de acordo com o esperado, pois apesar de possuir um defasamento e atenuação em relação à mensagem, é uma senoide de mesma frequência que o sinal mensagem. Portanto, como é mostrado na Figura 4, nota-se que o sinal não sofreu distorção.

Diminuiu-se a amplitude do sinal modulado AM através do pino *Outlevel* e observou-se que o sinal modulado deixou de visivelmente vê-lo quando sua V_{pp} atingiu cerca de 300 mV, conforme mostra a Figura 5 (observa-se que a medição de frequência do sinal não está adequada pois a escala de tempo não permite ver claramente um período da portadora). Por outro lado, o ajuste de amplitudes maiores permitiu uma diminuição do ruído no sinal demodulado, além disso, observou-se que se a amplitude do sinal modulado

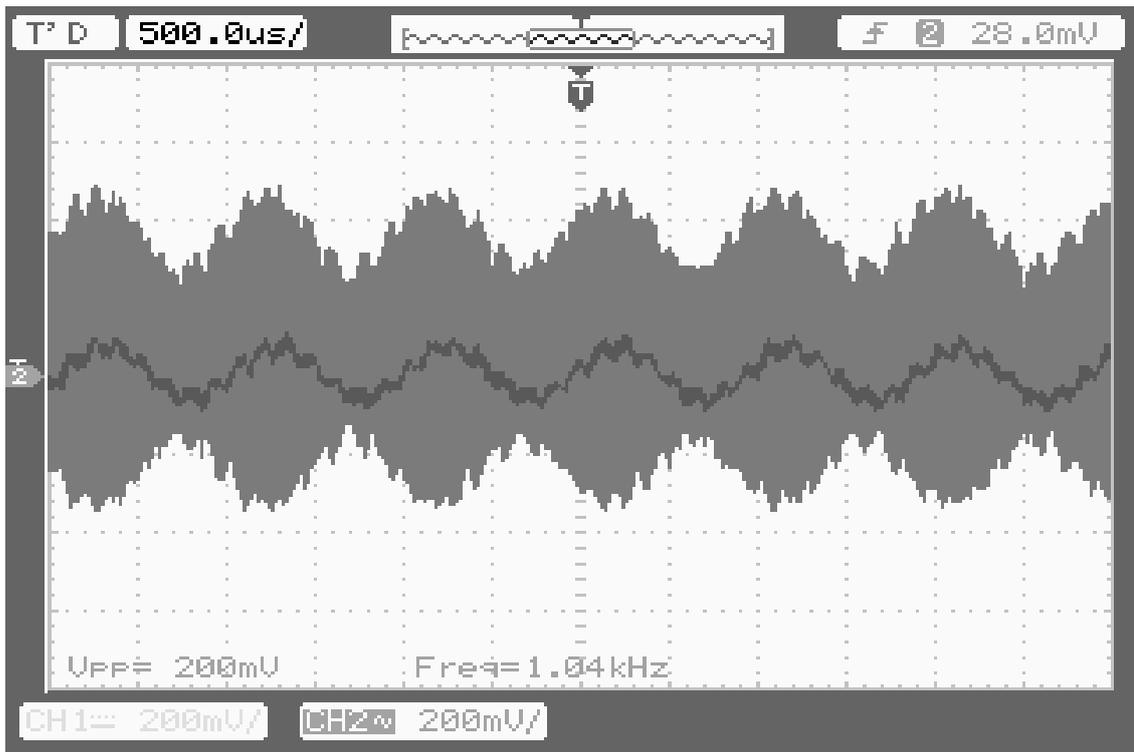


Figura 3: Saída do osciloscópio para modulação AM DSB, sinal mensagem mais escuro e sinal AM mais claro.

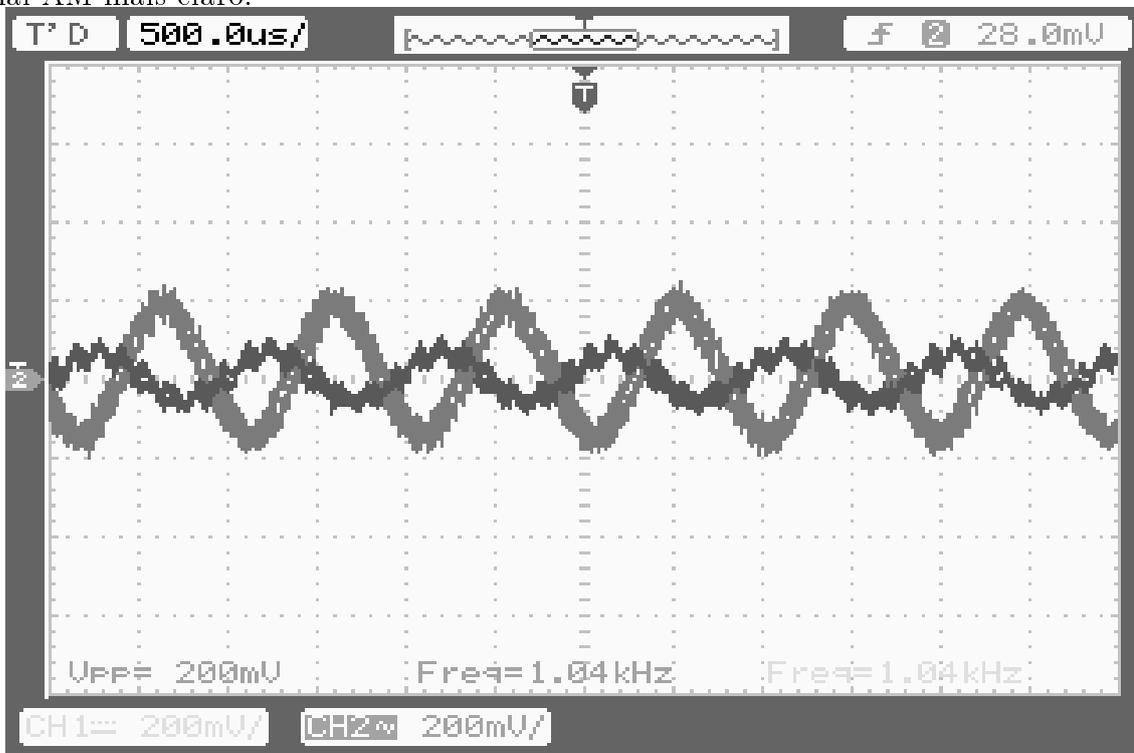


Figura 4: Saída do osciloscópio para modulação AM DSB, sinal mensagem mais claro e sinal demodulado mais escuro.

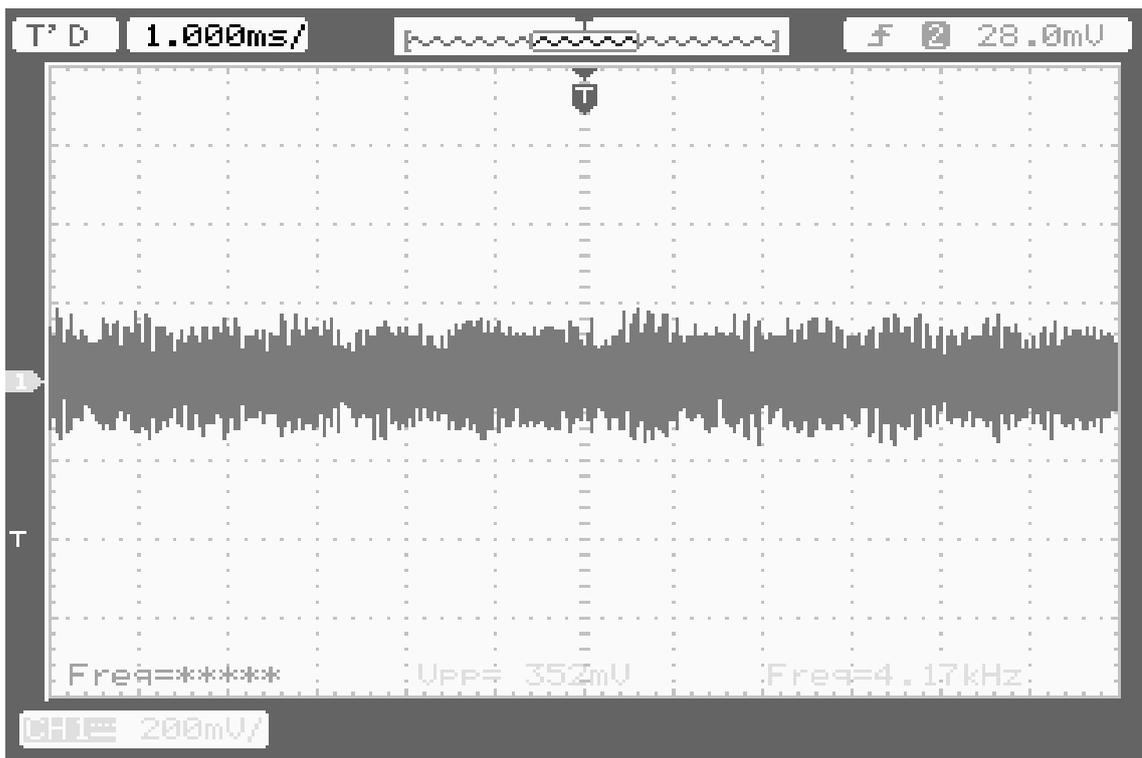


Figura 5: Saída do osciloscópio para modulação AM DSB, amplitude do sinal modulado reduzida.

umentar muito o sinal demodulado é distorcido (Figuras 6 e 7, respectivamente).

Essa distorção ocorreu possivelmente pelo fato de os amplificadores do receptor superheterodino terem deixado de funcionar em sua região linear.

Para a medição da sensibilidade do receptor, o manual propõe que sejam alteradas a frequência da portadora e do oscilador local, de modo a observar a mudança correspondente de tensão na saída do bloco *Balanced Modulator 1*, isto é, do sinal modulado. Acredita-se que este procedimento esteja incorreto, dada a definição do parâmetro já exposta anteriormente, que foi encontrada nas referências bibliográficas (??).

O parâmetro sensibilidade é a tensão mínima necessária na entrada do amplificador IF, que participa da recepção do sinal, para observar uma relação sinal ruído específica em sua saída, não havendo relação com as frequências utilizadas nos sinais da portadora ou oscilador local, nem com a amplitude do sinal modulado.

Além disso, o bloco *Local oscillator* encontra-se apenas na recepção do sinal, de modo que não há associação entre sua frequência e a amplitude de saída do modulador, que está no processo de transmissão (não há entrada do oscilador local para o modulador). Outra observação pertinente é que a frequência da portadora não deveria influenciar a amplitude

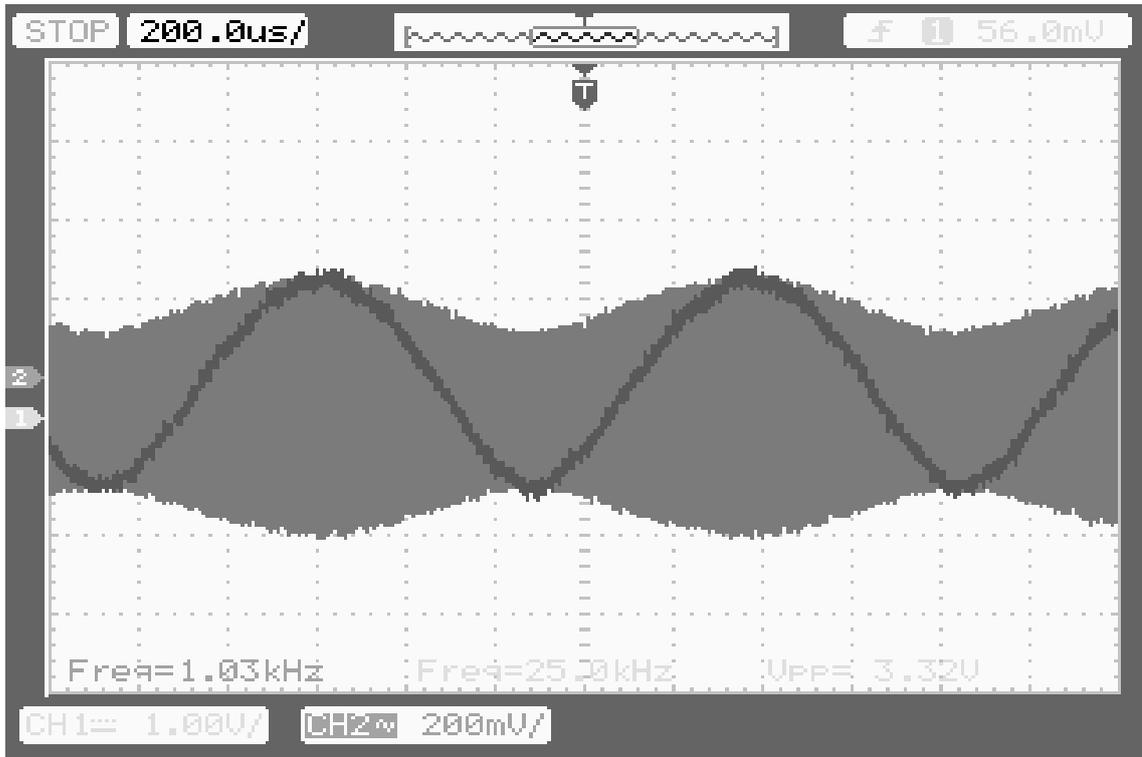


Figura 6: Saída dos sinais modulado (mais claro) e demodulado (mais escuro), *Outlevel* do bloco *Balance Modulator 1* rotacionado

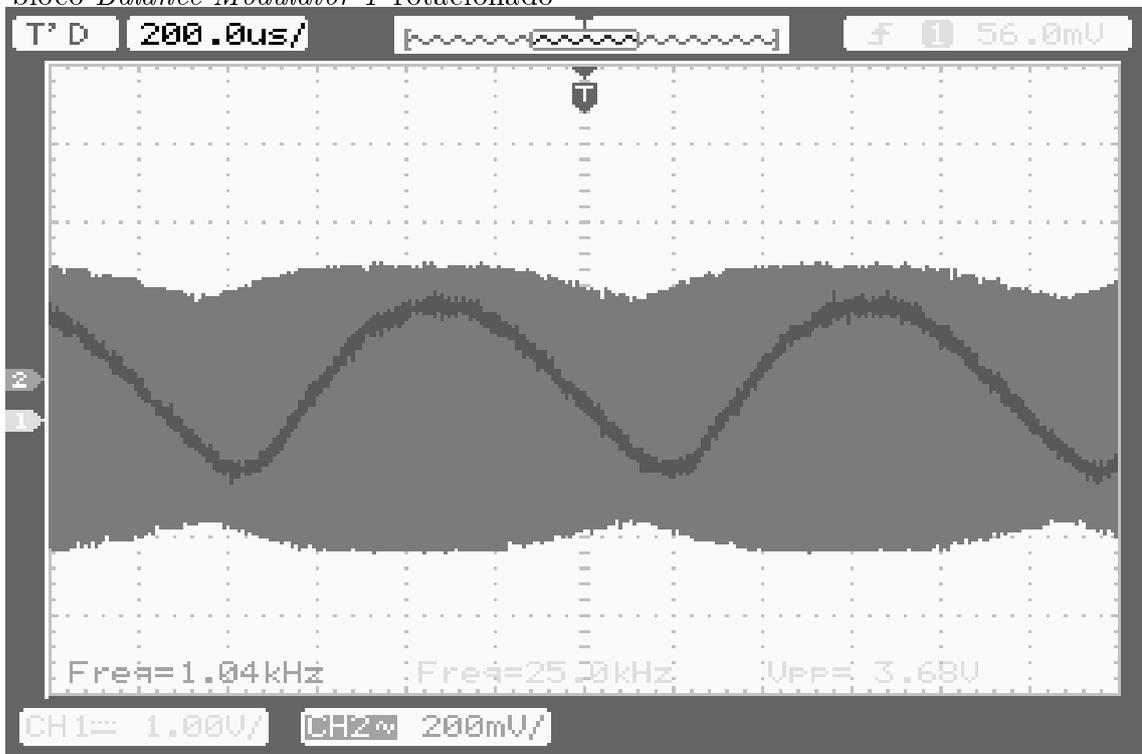


Figura 7: Saída distorcida, *Outlevel* do bloco *Balance Modulator 1* muito rotacionado

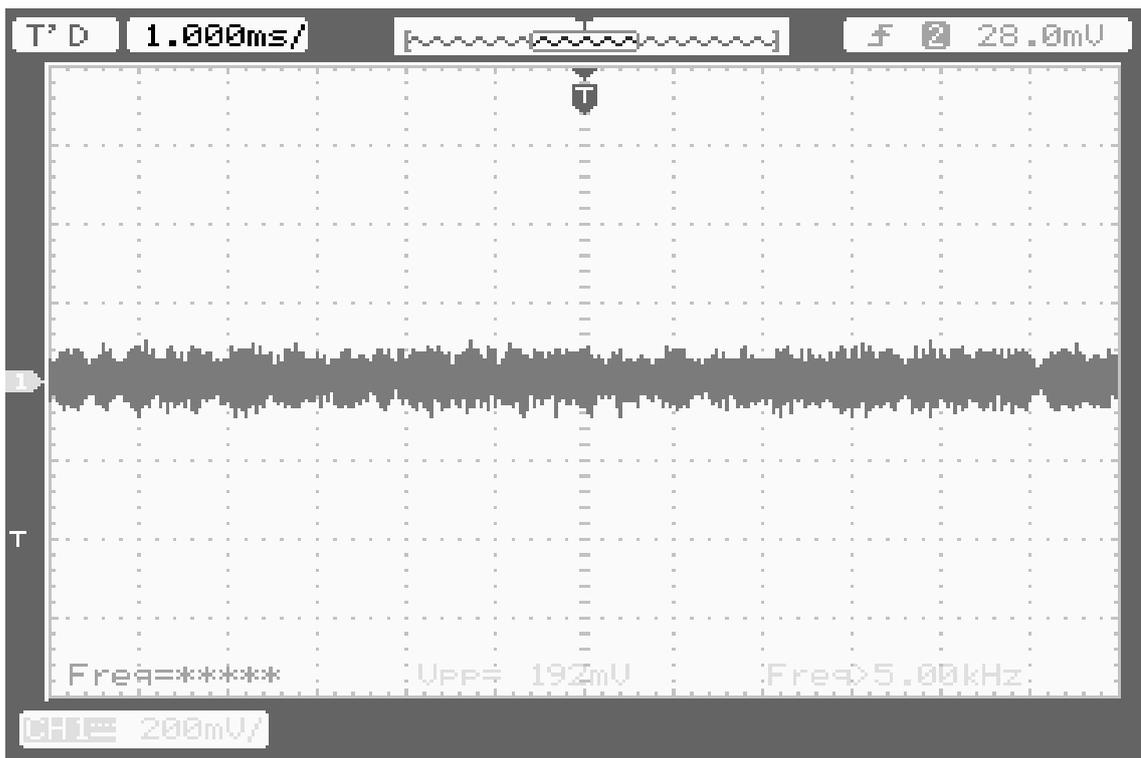


Figura 8: Sinal modulado, proposta de medida de sensibilidade.

Tabela 1: Proposta para medição de sensibilidade (transmissão via cabo).

Freq. da portadora (kHz)	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300
Freq. do oscilador local (kHz)	1050	1150	1250	1350	1450	1550	1650	1750
V_{pp} do sinal modulado (mV)	216	220	190	180	230	250	250	230

do sinal modulado, visto que este tem sua amplitude modulada pela amplitude do sinal mensagem.

Observou-se pela saída do osciloscópio que realmente não há relação entre as frequências do oscilador local e da portadora com a amplitude do sinal modulado, mesmo fazendo as alterações das frequências em conjunto ou separadamente. A saída permaneceu praticamente constante, como mostra a Figura 8. As variações verificadas são provavelmente devidas a instabilidades ou ruídos no sinal, cuja amplitude era bastante reduzida. As medições estão descritas na Tabela 1.

No experimento de medição de sensibilidade para transmissão via antena realizou-se procedimento análogo, descrito no manual e mostrado na Figura 2. Gerou-se uma portadora através do gerador de sinais de amplitude igual a 1 V, sinal mensagem no bloco gerador de funções do kit de 0.5 V de tensão de pico-a-pico e frequência de 1 kHz. É

Tabela 2: Proposta para medição de sensibilidade (transmissão via antena).

Freq. da portadora (kHz)	700	800	900	1000	1100
Freq. do oscilador local (kHz)	1155	1255	1355	1455	1555
V_{pp} do sinal modulado (mV)	72	60	70	100	80

interessante ressaltar que o manual indica a existência de uma chave SW3 no bloco do amplificador de saída da antena (kit ACL - 01), mas não observou-se a existência real desta chave no módulo. Apesar da ocorrência deste fato, verificou-se que, ainda que a antena seja um dispositivo muito sensível e seu funcionamento ser instável, a transmissão foi devidamente verificada.

Por outro lado, assim como a transmissão via cabo, os procedimentos sugeridos no manual foram feitos e também não foram verificadas as alterações consideráveis de tensão que o manual sugere. Os valores encontram-se na Tabela 2.

Para a medição da seletividade do receptor, as montagens foram as mesmas para a medição da sensibilidade. No caso da transmissão via cabo a figura do diagrama de blocos é a Figura 1.

A mensagem manteve-se como uma senoide de 0,5 V de tensão de pico-a-pico e frequência de 1 kHz. A portadora continuou com amplitude de 1 V e a transmissão foi sem portadora suprimida (DSB). O oscilador local tinha frequência de 1300 kHz. O manual recomendou que a amplitude do sinal modulado fosse ajustada através do pino *Outlevel* do bloco modulador, para cerca de 50 mV, contudo o mínimo que obteve-se foi de 80 mV, com um sinal que não aparentava modulado e sim ruidoso. Como não observamos nenhum sinal na detecção com este nível baixo de sinal modulado, aumentamos seu nível para cerca de 500 mV e obtivemos resultados bem mais significativos, passíveis de observação.

Conforme descrito no manual, alteramos a frequência da portadora e observamos a amplitude de saída do detector por envoltória. A Tabela 3 mostra as medições feitas através do osciloscópio digital e a Figura 9 mostra graficamente o comportamento do receptor. Neste caso, a medição que é sugerida pelo manual é mais coerente com a definição que é encontrada na bibliografia (??), haja visto que observa-se o ganho que o receptor dá ao sinal de acordo com a frequência que é utilizada na portadora.

Assim, variando a frequência na transmissão, na portadora, e mantendo outra frequência constante no oscilador local, na recepção, observaram-se diferentes ganhos no sinal

Tabela 3: Proposta para estudo de seletividade (transmissão via cabo).

Freq. da portadora (kHz)	V_{pp} do sinal demodulado (mV)
860	520
870	680
880	340
890	340
900	168
910	140
920	148
930	141
940	128

Tabela 4: Proposta para estudo de seletividade (transmissão via antena).

Freq. da portadora (kHz)	V_{pp} do sinal demodulado (mV)
810	380
820	420
830	320
840	520
850	460
860	280
870	150 (ruidoso)
880	140 (ruidoso)
890	140 (ruidoso)

detectado, que refletem a capacidade que o receptor possui de separar sinais de canais vizinhos. Portanto, o procedimento neste caso foi coerente com a teoria. Todavia, as medições foram apenas comparativas, visto que não medimos valores em decibéis, como a seletividade costuma ser medida.

Repetiram-se os procedimentos para o caso da transmissão via antena, obtendo a Tabela 4 e a Figura 10. A partir da frequência de 870kHz, observou-se que a saída do detector por envoltória era praticamente apenas ruído, não havia qualquer vestígio do sinal enviado.

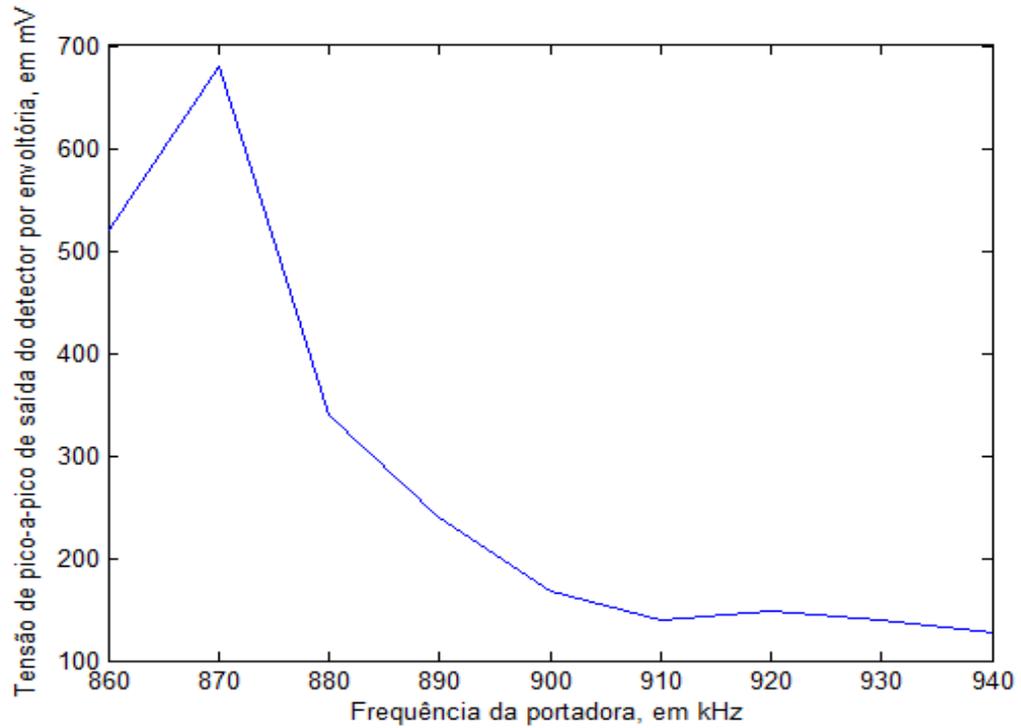


Figura 9: Gráfico para seletividade do receptor (transmissão via cabo).

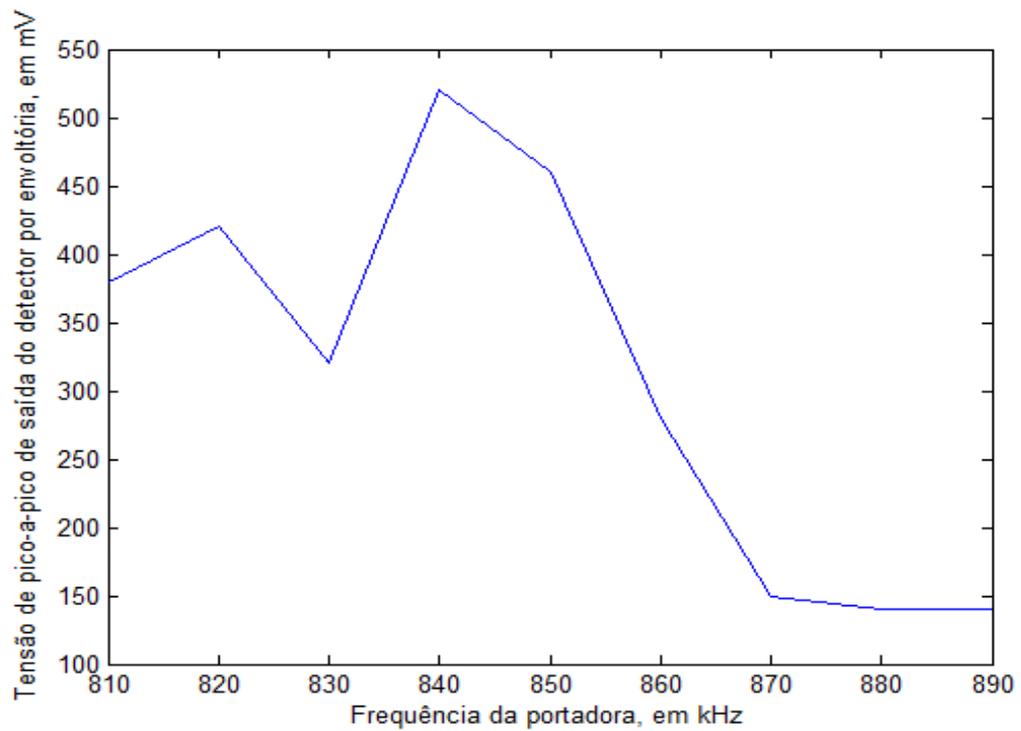


Figura 10: Gráfico para seletividade do receptor (transmissão via antena).

3.1.2 Estudo do Ajuste de Circuitos Transmissores Sintonizáveis e Circuitos Receptores Sintonizáveis

O estudo do ajuste de circuito transmissores e receptores sintonizáveis, no manual de modulação e demodulação em amplitude, apresentam uma nota informando que todos os ajustes descritos servem apenas para estudo e referência. Informa-se que é possível realizá-los utilizando ferramentas de corte, (*trimming tools*). Todavia, os kits já são fornecidos de maneira que não há acesso aos circuitos eletrônicos, a não ser desmontando-os.

Além disso, é informado que as ferramentas necessárias para os procedimentos são fornecidas junto com os módulos, mas não verificamos este fato (não havia ferramenta alguma nas caixas dos kits).

Ainda assim, observamos algumas características dos circuitos sem alterá-los. Notamos, por exemplo, que o amplificador de saída da antena, no módulo ACL-01 (Figura 2), dá maior ganho a sinais na frequência de 850 kHz. O procedimento foi alterar a frequência da portadora e observar a amplitude do sinal de saída da antena receptora.

Outra possibilidade para o maior ganho nessa frequência é que as próprias antenas transmissora e receptora tenham dimensões adequadas para transmissão nessa faixa. Percebe-se ainda que este dado também é verificado no gráfico de seletividade para transmissão via antena (Figura 10).

As Figuras 11 e 12 mostram as saídas observadas. Os sinais mais escuros são a mensagem e os mais claros, a saída da antena receptora. A medição de frequência do sinal modulado não está adequada pois não observa-se claramente um período da portadora (escala de tempo incompatível com a medição).

Para observação do comportamento do amplificador IF de recepção, pede-se que o oscilador local tenha amplitude de 0,5 V e frequência de 1 MHz, e que gere-se uma portadora de amplitude de 50 mV e frequência de 550 kHz e que esses dois sinais sejam entradas do bloco *Mixer*. Mais uma vez, essa amplitude é muito baixa para o sinal modulado, que se assemelhava a ruído, de modo que optou-se por gerar uma portadora de 1 V de amplitude. Variou-se a frequência do sinal do oscilador local até obter uma senoide pura na saída do *Mixer*. Era esperado, segundo o manual, que nesta situação a frequência do sinal de saída fosse a diferença das frequências dos sinais de entrada, isto é

$$f_{IF} = f_{LO} - f_{RF} \quad (3.1)$$

em que f_{IF} é a frequência do sinal de saída do bloco *Mixer*, f_{LO} é a frequência do sinal

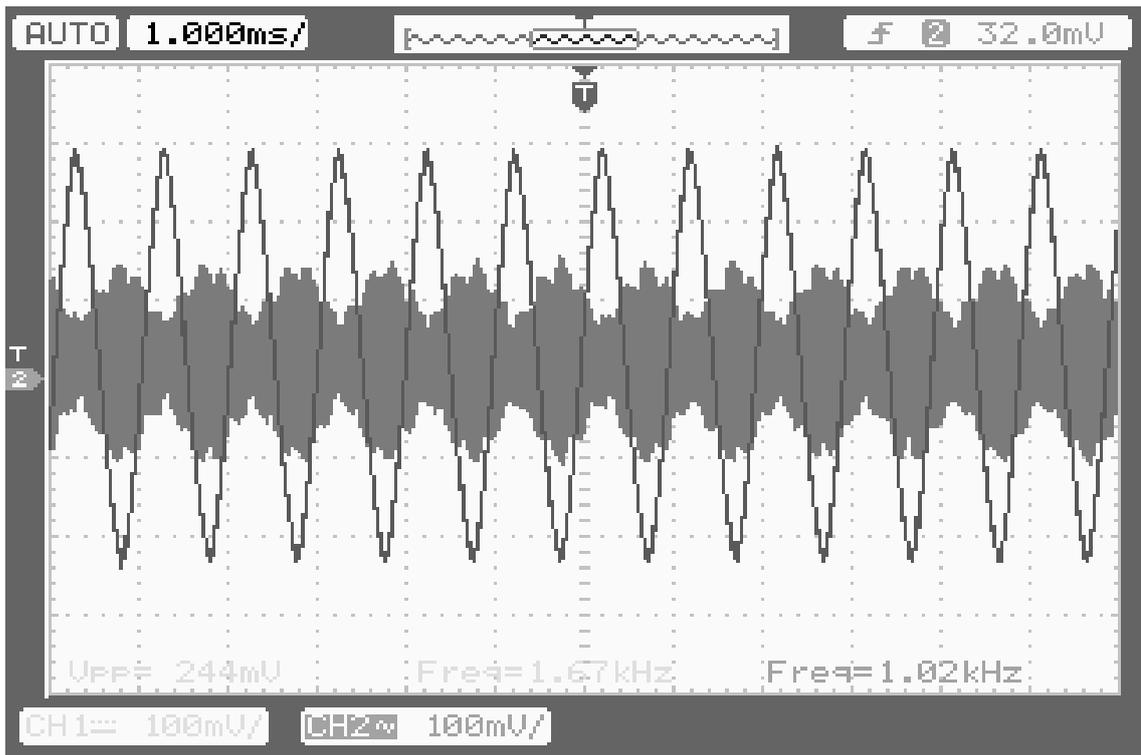


Figura 11: Saída da antena receptora é o sinal mais claro, frequência da portadora em 850kHz.

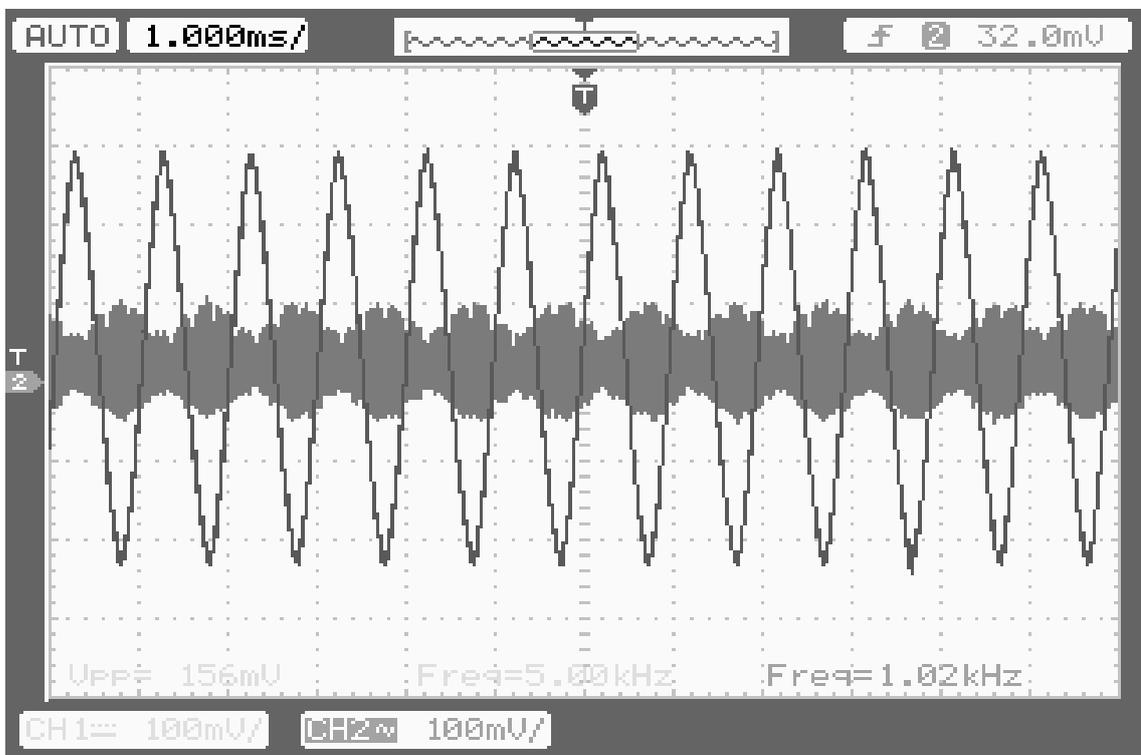


Figura 12: Saída da antena receptora é o sinal mais claro, frequência da portadora diferente de 850kHz.

do oscilador local e f_{RF} é a frequência da portadora.

Houveram problemas na medição da frequência de saída, pois o sinal não era uma senoide pura, apresentava outras componentes de frequência, além de ser bastante instável. Procurando obter o sinal mais parecido com uma senoide quanto possível, medimos visualmente, usando as divisões de tempo, a frequência da saída do bloco *Mixer*, e obtivemos algo próximo de 500 kHz (a medição do osciloscópio digital era muito instável). Nesta condição a frequência do oscilador local era de 1,4 MHz e a frequência da portadora permaneceu em 550 kHz.

Desta maneira, a relação da equação 3.1 não foi observada. Provavelmente, isto decorre do fato das medições não terem sido realizadas adequadamente ou das dificuldades encontradas na ocasião para encontrar de maneira apurada uma senoide.

3.1.3 Estudo da Frequência Imagem

Conforme visto anteriormente e observando os diagramas de blocos das Figuras 1 e 2, o receptor utilizado no kit ACL-O2 utiliza o princípio heterodino.

Segundo este princípio, o bloco *Mixer*, mistura as frequências do sinal modulado f_{RF} e do oscilador local f_{LO} , gerando sinais que possuem frequência dada por:

$$f_{IF} = |f_{RF} - f_{LO}|, \quad (3.2)$$

aos quais o amplificador de frequência intermediária (IF) fornece algum ganho.

A entrada para o amplificador de radio-frequência apresenta um espectro que se distribui em torno da frequência da portadora, f_{RF} , e também possui alguma transmissão em uma faixa $f'_{RF} = f_{RF} + 2f_{IF}$, chamada de frequência imagem.

$$\begin{aligned} f'_{RF} - f_{LO} &= f_{RF} + 2f_{IF} - f_{LO} \\ &= f_{RF} - f_{LO} + 2f_{IF} \\ &= -f_{IF} + 2f_{IF} \\ &= f_{IF} \end{aligned} \quad (3.3)$$

Verifica-se, pelo desenvolvimento na equação 3.3, que os sinais na faixa de f'_{RF} também receberiam ganho pelo amplificador IF. Todavia, ainda que a seletividade do amplificador RF seja baixa, a grande separação entre os espectros permite que o dispositivo seja capaz de filtrar esta banda indesejada antes que ela passe para o outro amplificador.

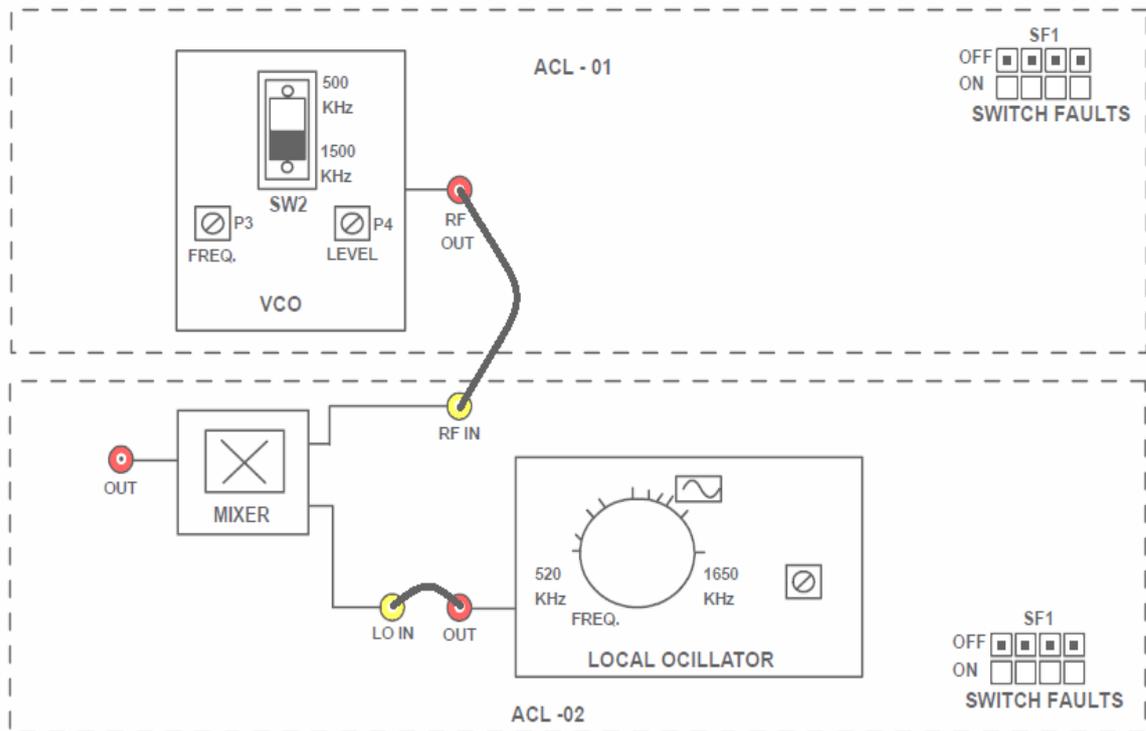


Figura 13: Diagrama de blocos para estudo da frequência de imagem.

O objetivo deste experimento foi observar mais uma vez as relações de frequências no bloco *Mixer* e os efeitos da frequência imagem. Na prática, realizou-se a montagem para o caso em que a portadora possuísse a frequência que equivaleria a f_{RF} , e em outro com a frequência que seria f'_{RF} . A Figura 13 ilustra o diagrama de blocos para a montagem feita com os kits.

Utilizou-se o gerador externo de sinais para a geração da portadora, visto que no kit utilizado o bloco VCO não funcionou adequadamente. Gerou-se uma senoide de 100 mV de tensão de pico-a-pico e frequência de 550 kHz. No bloco *Local Oscillator* geramos uma senoide de meio Volt de amplitude e frequência de 1 MHz. O manual recomenda que a frequência do sinal do oscilador local seja alterada detalhadamente, de modo a encontrar uma senoide na saída do bloco *Mixer*. Não verificou-se a existência de uma senoide pura, não obstante, observou-se que para as frequências do L.O. de 1 MHz e 940 kHz, eram obtidos sinais de maior amplitude. As Figuras 14 e 15 mostram esses sinais no osciloscópio digital (os sinais mais claros são o oscilador local e os mais escuros, a saída do *Mixer*).

É possível afirmar relação da Equação 3.2 foi observada desta vez, especialmente para o caso do oscilador local com frequência de 1 MHz, visto que o sinal se aproximou de uma senoide e obtiveram-se sinais com $f_{IF} = 472$ kHz (*Mixer*), $f_{LO} = 1$ MHz, e $f_{RF} = 550$

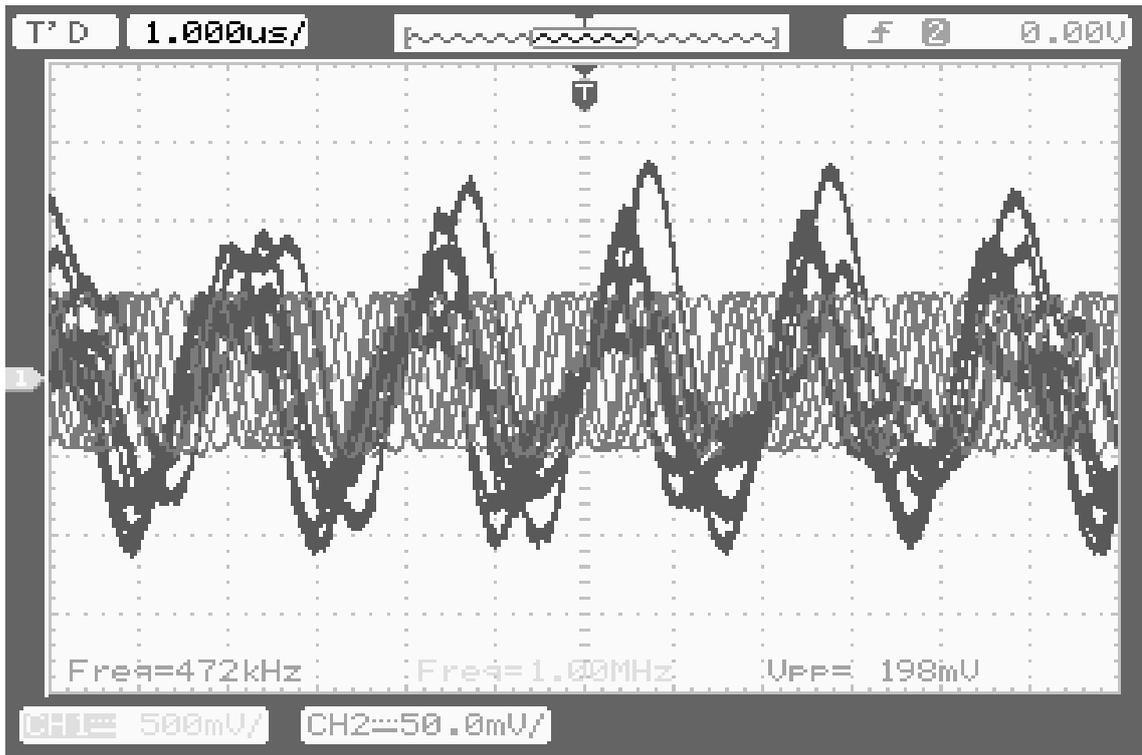


Figura 14: Estudo das relações de frequência no bloco *Mixer*. Oscilador local em 1 MHz, portadora em 550 kHz

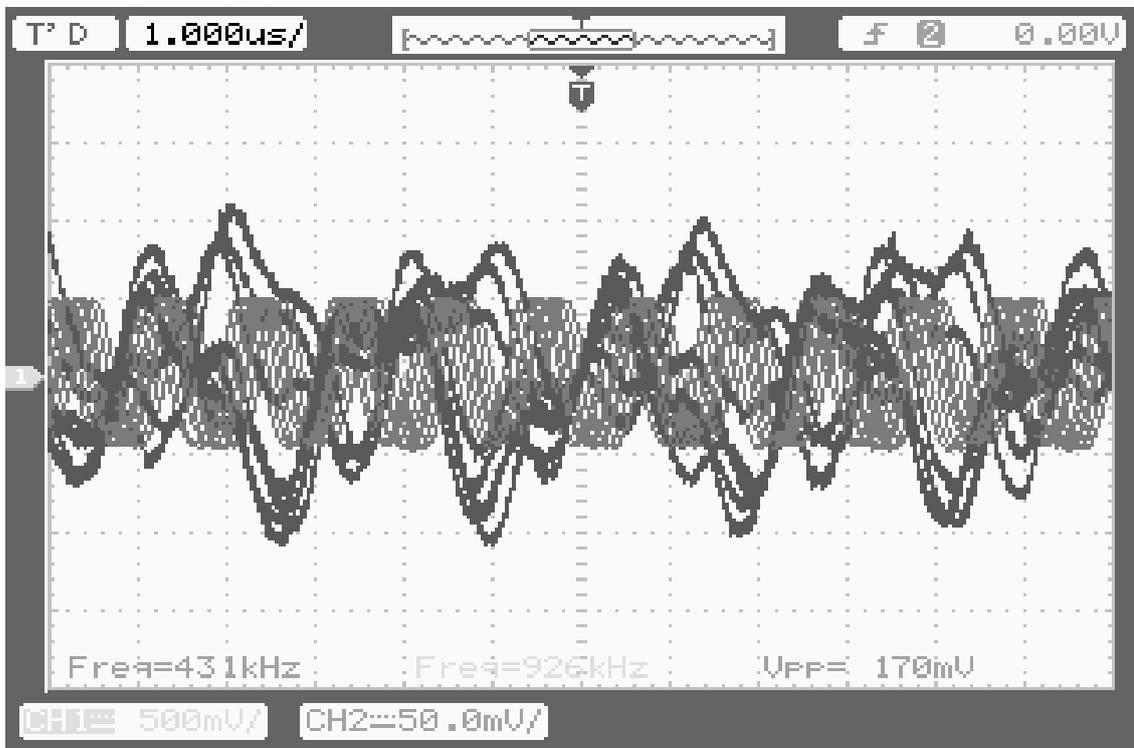


Figura 15: Estudo das relações de frequência no bloco *Mixer*. Oscilador local em 940 kHz, portadora em 550 kHz.

kHz.

Repetiu-se o procedimento para o caso em que a portadora possuía 1450 kHz (f'_{RF}). Observamos que na faixa de frequências do oscilador local de 1,10 MHz a 1,75 MHz, o sinal de saída do *Mixer* se assemelhava a uma senoide, como mostra a figura 16. Todavia, assim como no caso anterior, em algumas frequências do oscilador local o sinal era amplificado, como mostram as Figuras 17, 18 e 19. Em particular, nas frequências de 1,06 MHz e 1,92 MHz, os sinais são amplificados mas não se assemelham a senoides puras. Na frequência de 1 MHz do oscilador local, houve uma amplificação do sinal se assemelhando mais a uma senoide pura, conforme esperado, haja visto que este caso é a ilustração da transmissão de portadora na frequência de imagem. A equação 3.2 é novamente observada nesse caso.

3.1.4 Transmissão de Voz através de Modulação AM DSB

O experimento para transmissão de voz utilizando a transmissão com amplitude modulada foi realizado de três formas distintas: transmissão AM, com banda lateral dupla (DSB) via cabo; transmissão AM DSB via antena e transmissão com banda lateral única (SSB) via cabo. Os dois casos de modulação AM DSB utilizaram demodulação com detecção por envoltória, o caso AM SSB, por sua vez, utilizou demodulação síncrona, com detector de produto. Esses experimentos requerem um dispositivo de fone de ouvido e microfone, que é fornecido juntamente com o kit. O dispositivo do kit que utilizamos não apresentou seu microfone funcionando corretamente, mas foi possível fazer o experimento com o dispositivo de outro kit, que funcionava.

A Figura 20 ilustra a montagem feita para o caso de transmissão AM - DSB (modulação em amplitude em banda lateral dupla) via cabo, com a diferença de que foi utilizado um gerador de sinais externo ao invés do bloco VCO (oscilador controlado por tensão). Utilizou-se como portadora uma senoide de 1 V de amplitude e frequência de 850 kHz. O sinal do oscilador local foi uma senoide de 1300 kHz e 1 V de amplitude. A transmissão via antena apresentou as mesmas especificações e em ambos os casos verificou-se a transmissão de voz. Verificou-se que ao alterar a frequência do bloco oscilador local na recepção, a transmissão de voz ficava mais fraca ou cessava de ocorrer. Observou-se também que o sinal de saída do áudio possuía amplitude bastante reduzida, no osciloscópio, e que ao conectar a ponta de prova deste elemento em alguns pontos do circuito, era possível escutar, bem baixo, uma estação de rádio. Acredita-se que isto ocorre porque a ponta de prova funcionou como antena para o sinal.

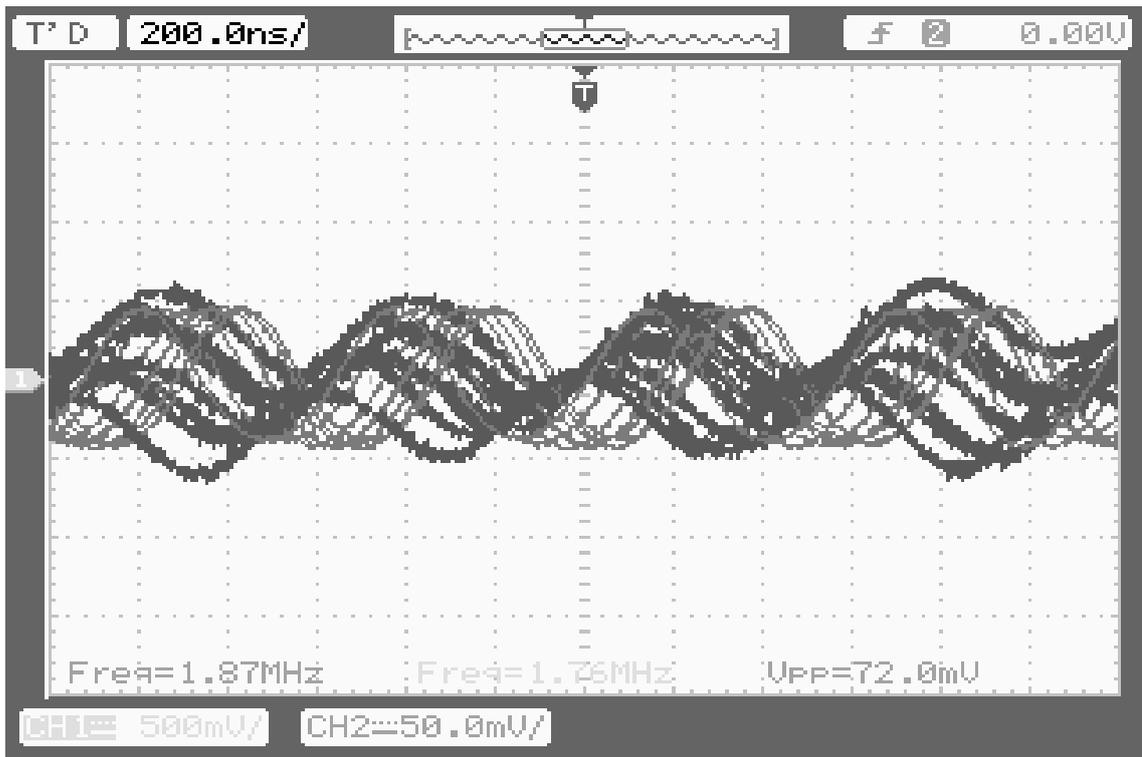


Figura 16: Estudo da frequência de imagem. Oscilador local em 1,75 MHz, portadora em 1450 kHz.

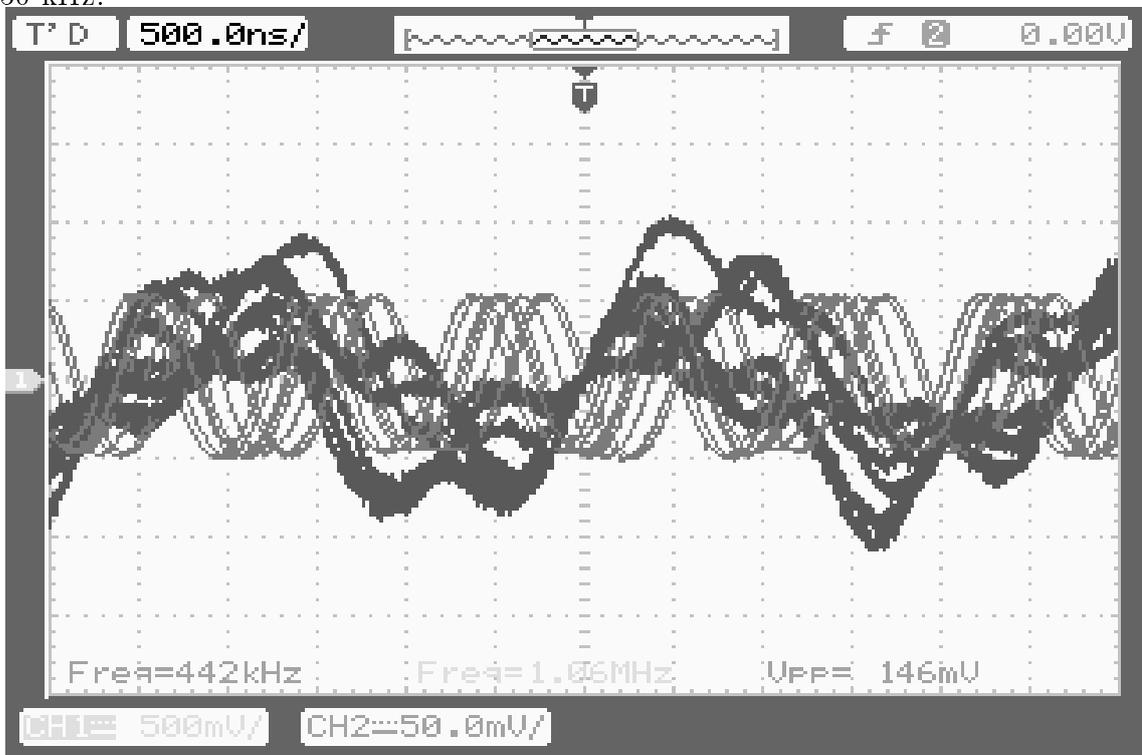


Figura 17: Estudo da frequência de imagem. Oscilador local em 1,06 MHz, portadora em 1450 kHz.

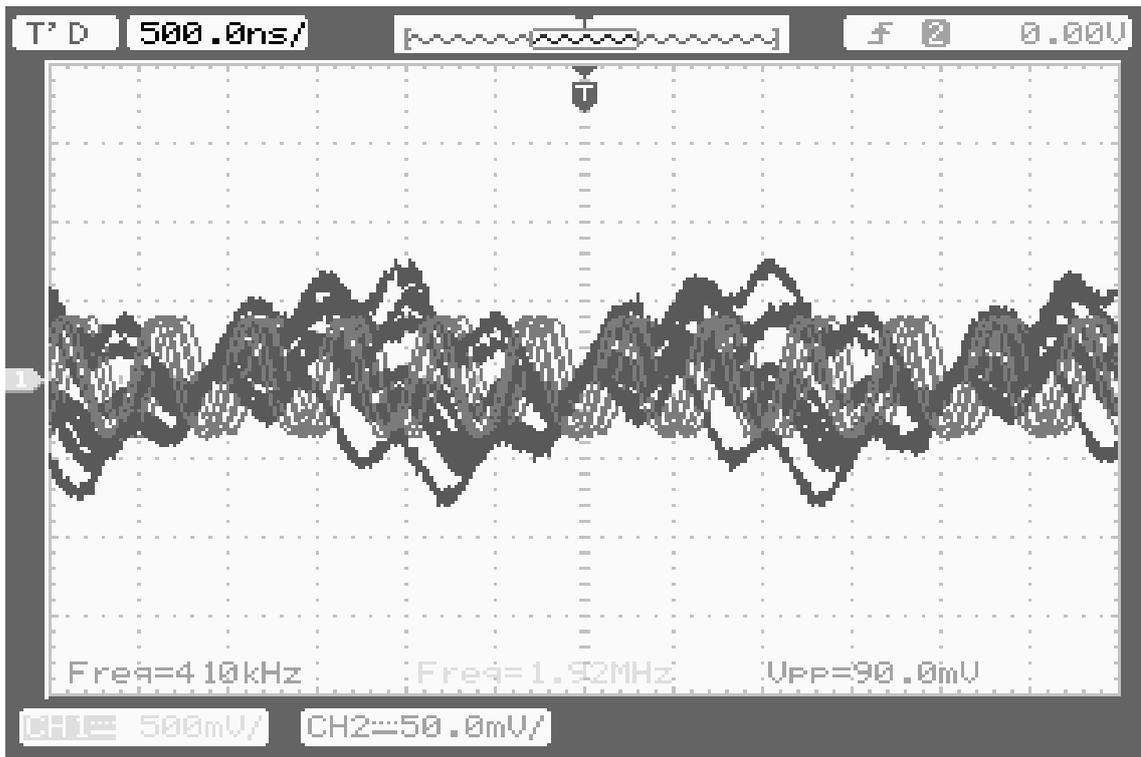


Figura 18: Estudo da frequência de imagem. Oscilador local em 1,92 MHz, portadora em 1450 kHz.

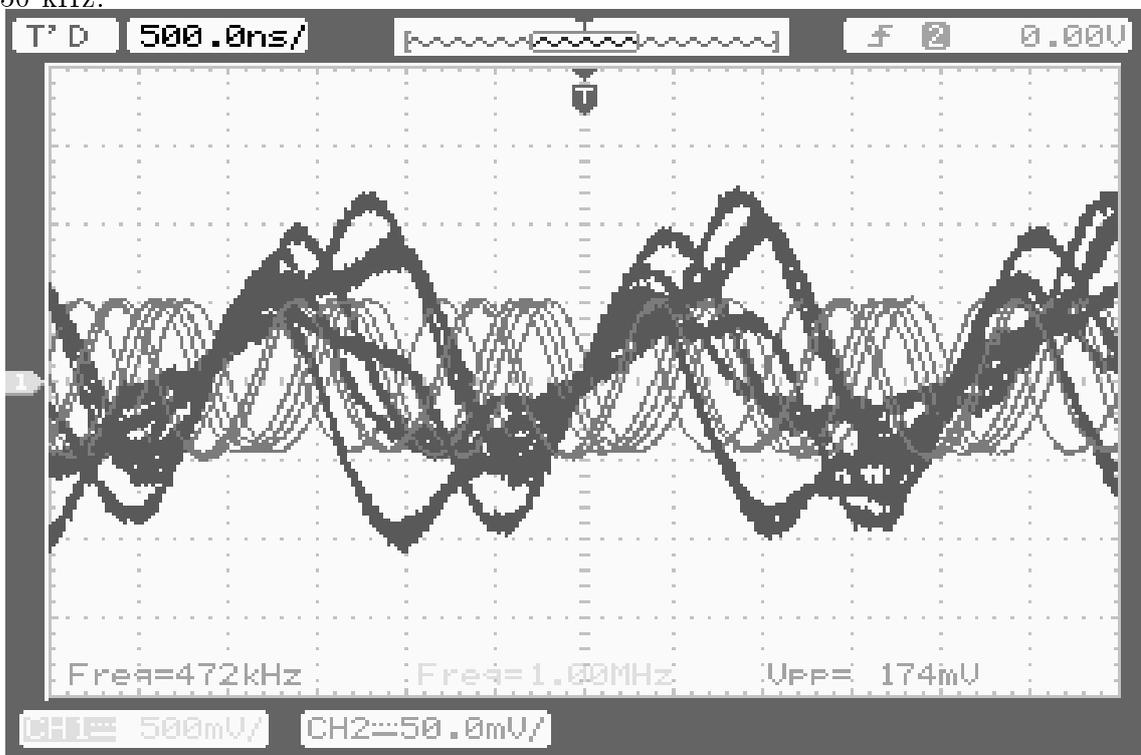


Figura 19: Estudo da frequência de imagem. Oscilador local em 1 MHz, portadora em 1450 kHz.

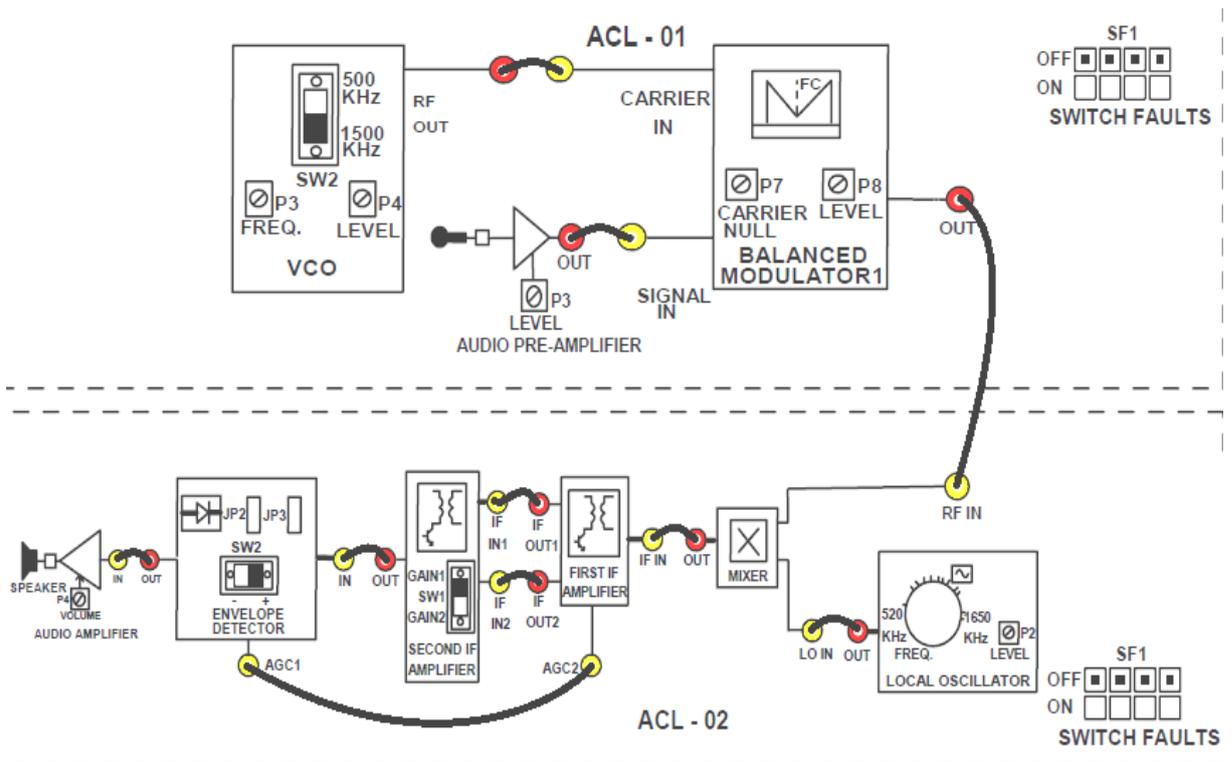


Figura 20: Diagrama de blocos para transmissão de voz em AM DSB, via cabo.

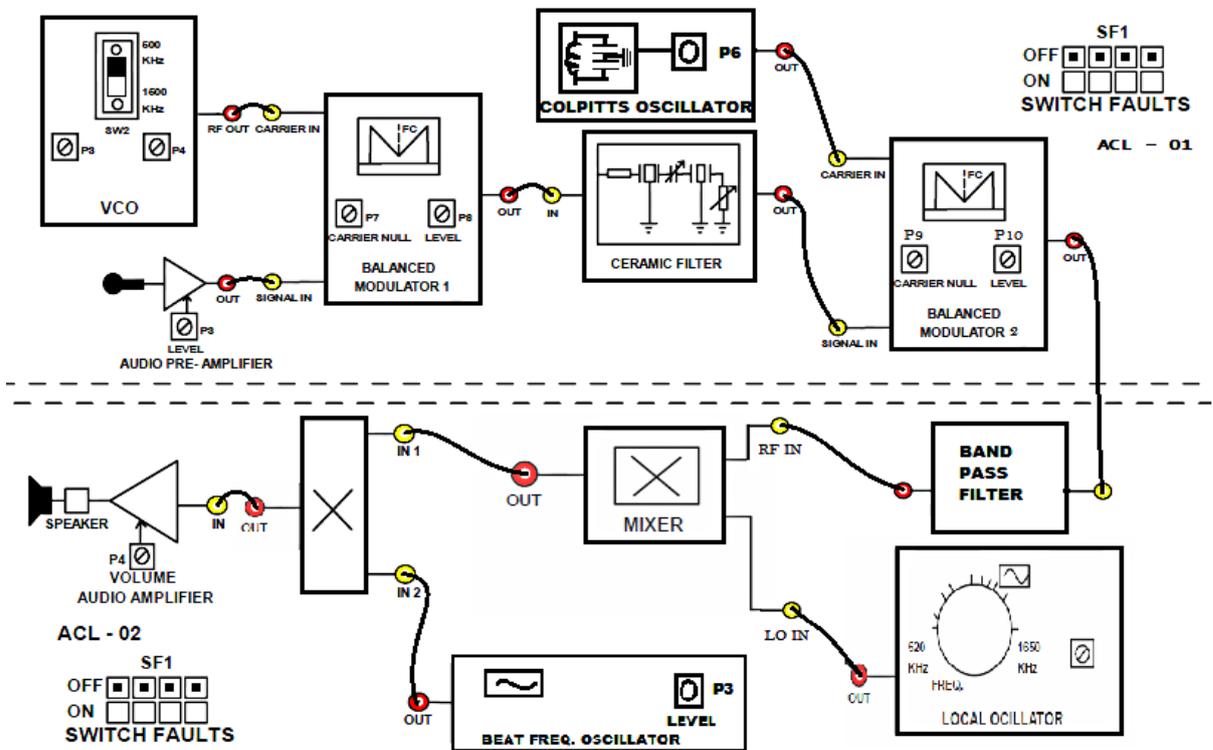


Figura 21: Diagrama de blocos para transmissão de voz em AM SSB, via cabo.

Por outro lado, para a transmissão de voz através de AM SSB (modulação em amplitude em banda lateral única), o diagrama de blocos da montagem é o da Figura 21. Especificaram-se que a portadora apresentasse senoide de 457 kHz e o oscilador local tivesse 1 MHz. Além disso, indicou-se que os melhores resultados obtidos seriam quando as frequências da portadora e do oscilador BFO (oscilador de frequência de batimento) fossem iguais, o que foi obtido, muito embora a medição de frequência deste último oscilador fosse bastante instável. Apesar de realizadas as especificações, na saída de áudio não foi verificada a transmissão de voz, muito embora sinais de mais baixa frequência, como assopros, fossem audíveis.

Realizou-se novamente o procedimento alterando a portadora, do gerador de sinais externo, para 460kHz. Procurando sintonizar uma frequência no oscilador local tal que o sinal de voz fosse audível, obtivemos alguma saída de voz, bastante ruidosa mas de maior amplitude. A frequência do oscilador local, medida no osciloscópio, variava entre dois valores nesse caso: 962kHz ou 1MHz. A transmissão de voz apresentou o efeito “Pato Donald”, uma espécie de distorção, devido aos pequenos desvios de frequência que ocorrem no transmissor e no receptor, causando um erro de fase entre os sinais gerados pela portadora e pelo BFO.

3.2 Montagens envolvendo a modulação em frequência

A modulação em frequência, assim como a modulação em amplitude, é um assunto básico da teoria de Princípios de Comunicações. Vários sinais podem ser transmitidos em um mesmo canal sem que haja interferência de uma mensagem em outra, assim como no caso de AM, mas a informação dessa vez fica contida na frequência do sinal modulado. Os experimentos de modulação e demodulação em frequência foram considerados essenciais e funcionaram relativamente bem, após algumas tentativas. Foram escolhidos para integrar as montagens que devem ser feitas pelos futuros alunos do laboratório da disciplina.

Houve alguma dificuldade para realizar a primeira montagem do experimento relativo à modulação FM devido ao fato de não ter ficado claro no manual quais instruções deveriam ser tomadas. A montagem é ilustrada na Figura 22. A ideia da montagem é traçar a curva característica do modulador em frequência apresentado no módulo ACL-03 (modulador *varactor*). Para tanto, seria necessário aplicar níveis de tensão contínua em sua entrada e observar a frequência de saída correspondente. O nível de tensão DC deveria ser alterado em passos de 0,5 V.

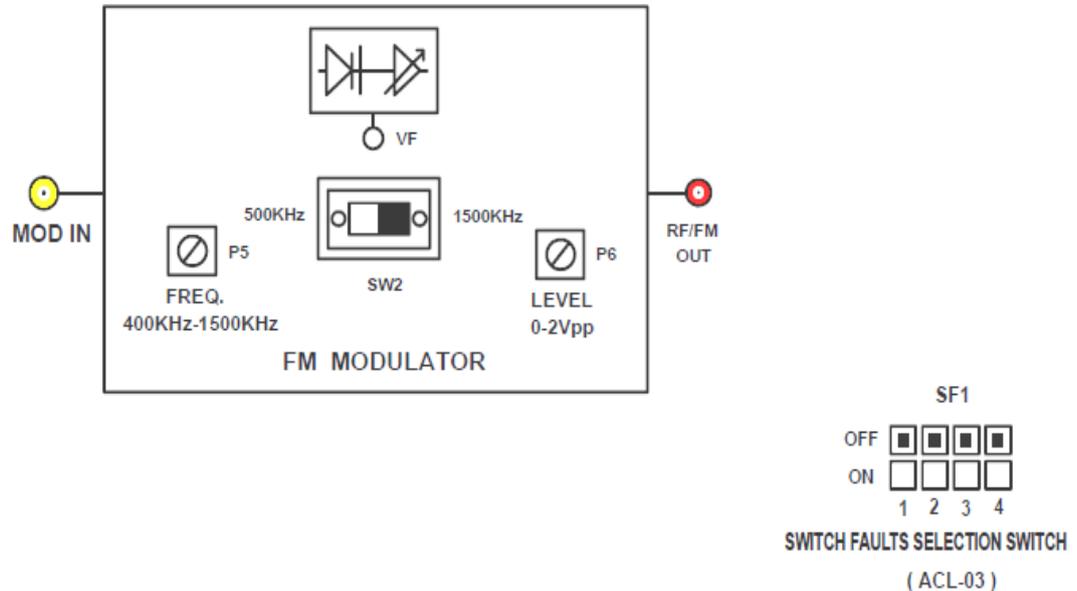


Figura 22: Diagrama de blocos da montagem para desenho da curva característica de modulador FM (*varactor*).

No manual não ficou claro em que pino essa tensão seria aplicada, testou-se na entrada *MOD IN* e o sinal de saída do modulador variava apenas com a variação de tensão, depois estabilizava em cerca de 391 kHz. Repetiu-se o procedimento de outras maneiras e os melhores resultados obtidos foram aplicando a tensão contínua no pino VF do modulador e conectando em *MOD IN* a saída do gerador de funções do kit. Vale ressaltar que o pino VF no kit não se apresentava como uma entrada de encaixe, como as demais entradas, mas apenas como uma parte metálica do conjunto.

Recolheram-se os resultados para dois casos: gerador de funções com senoide com amplitude e frequência nos valores mínimos, o que foi feito por meio dos pinos P1 e P2 do bloco *Function Generator*, e no caso em que a senoide gerada possuía tensão de pico-a-pico de 500 mV e frequência de 1 kHz. Os resultados obtidos encontram-se nas Tabelas 5 e 6.

No segundo caso há muitas medições aproximadas, pois a saída na realidade apresentava variações na frequência, conforme era modulado pelo sinal em *MOD IN*, de amplitude maior que no primeiro. Assim sendo, considerou-se que a melhor situação para realização do experimento pelos alunos é aquele em que o sinal do gerador de funções apresentou

Tabela 5: Dados obtidos para geração da curva característica do modulador FM, frequência e amplitude do gerador de funções nos valores mínimos.

Tensão aplicada em VF (em Volts)	Frequência de saída do modulador FM (em kHz)
-2,80	391
-2,52	397
-2,00	472
-1,52	714
-1,00	1190
-0,52	1520
0,04	1560
0,48	1560
1,00	1610
1,48	1560
2,04	1560
2,56	1560

Tabela 6: Dados obtidos para geração da curva característica do modulador FM, senoide de entrada com $V_{pp} = 500mV$ e frequência de 1kHz.

Tensão aplicada em VF (em Volts)	Frequência de saída do modulador FM (em kHz)
-2,04	≈ 500
-1,56	≈ 690
-1,04	≈ 1000
-0,48	≈ 1520
0,08	1560
0,48	1560
1,00	1560
1,48	1560
2,04	1610
2,44	1560

valores mínimos de tensão e frequência, sendo mais simples, didático e coerente com o objetivo da montagem.

As Figuras 23 e 24 apresentam as curvas características obtidas nas duas situações, que se assemelham ao esperado para o modulador em frequência, apresentando uma região linear e outras não-lineares.

As próximas seções tratam com mais detalhes os demais experimentos testados de modulação e demodulação em frequência, que não serão utilizados no laboratório.

3.2.1 Estudo dos circuitos de pré-ênfase e de-ênfase

No processo de modulação em frequência, o sinal detectado sofre maior interferência para os altos valores de frequência. Desta maneira, na recepção dos sinais FM, geralmente são utilizados circuitos de de-ênfase, responsáveis por reduzir gradualmente as componentes mais altas de frequência.

Através desse método, o próprio sinal mensagem também tem suas componentes de alta frequência atenuadas, sendo distorcido. Para a solução deste problema, há um circuito de pré-ênfase na transmissão do sinal, de maneira que essa distorção é compensada. O circuito funciona analogamente a um filtro passa-altas. Idealmente, as funções de transferências dos dois circuitos devem ser inversas, de maneira que não haja distorção na transmissão completa.

A Figura 25 mostra o diagrama de blocos da montagem feita para o estudo do funcionamento do circuito de pré-ênfase. Gerou-se uma senoide de 1 kHz e tensão de pico-a-pico de 100 mV, inicialmente. Variou-se a frequência em passos de 500 Hz e anotamos a tensão de pico-a-pico na saída do circuito de pré-ênfase. Com as medições feitas, obtivemos o gráfico da Figura 26.

Para o caso do circuito de de-ênfase realizamos procedimento semelhante, com diagrama de blocos ilustrado na Figura 27 e resposta obtida no gráfico da Figura 28.

3.2.2 Estudo do efeito dos circuitos de pré-ênfase e de-ênfase no uso de modulador *varactor* e diferentes circuitos demoduladores

A montagem deste experimento está indicada no diagrama de blocos da figura 29. O modulador *varactor* é um dos moduladores em frequência fornecido no kit ACL-03,

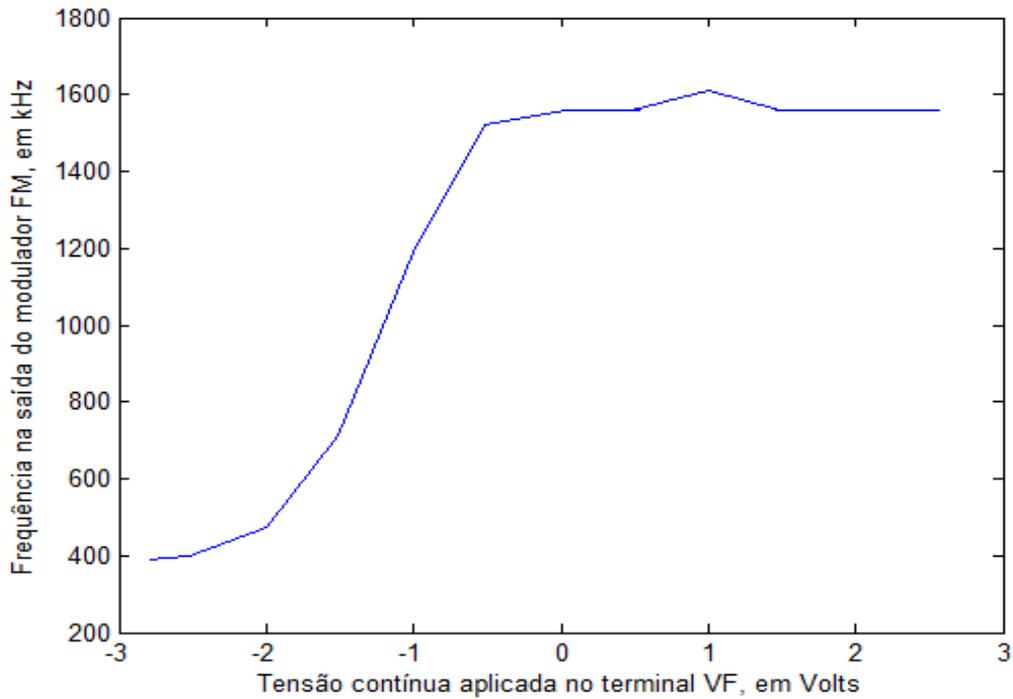


Figura 23: Curva característica do modulador FM para sinal de entrada em MOD IN mínimo.

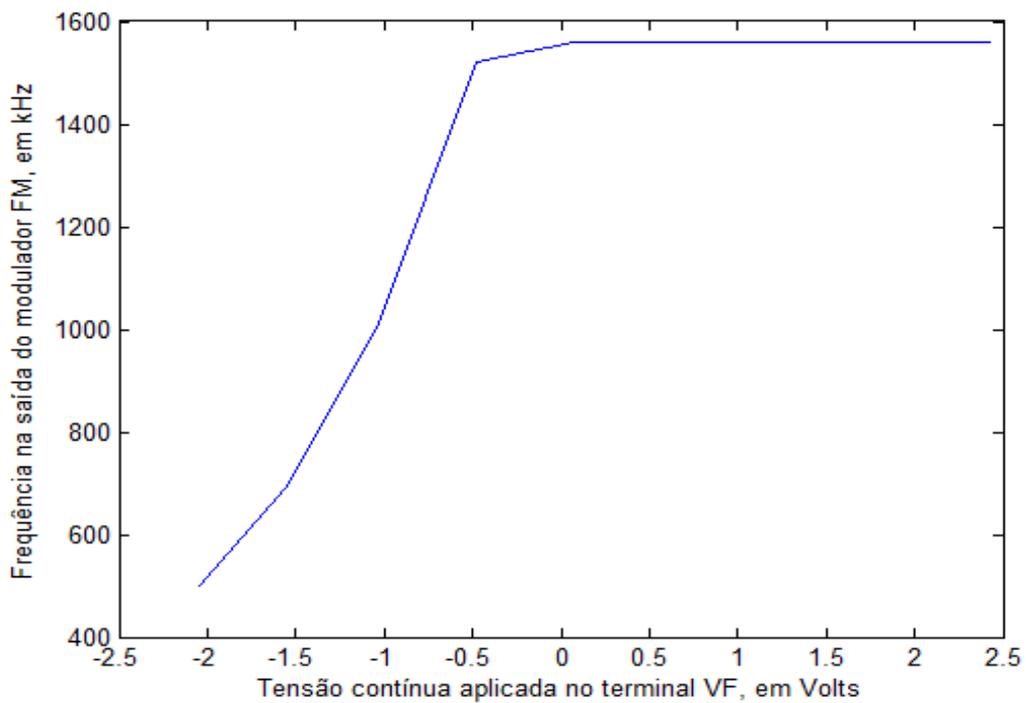


Figura 24: Curva característica do modulador FM para senoide de entrada em MOD IN com $V_{pp} = 500$ mV e $f = 1$ kHz.

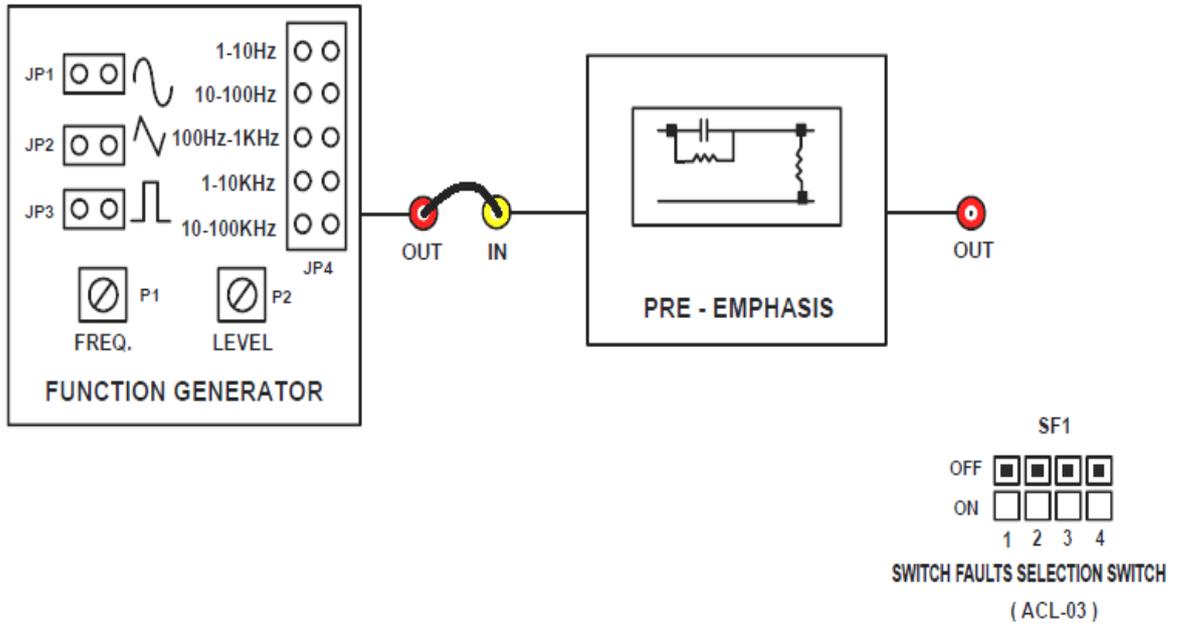


Figura 25: Diagrama de blocos para estudo do circuito de pré-ênfase.

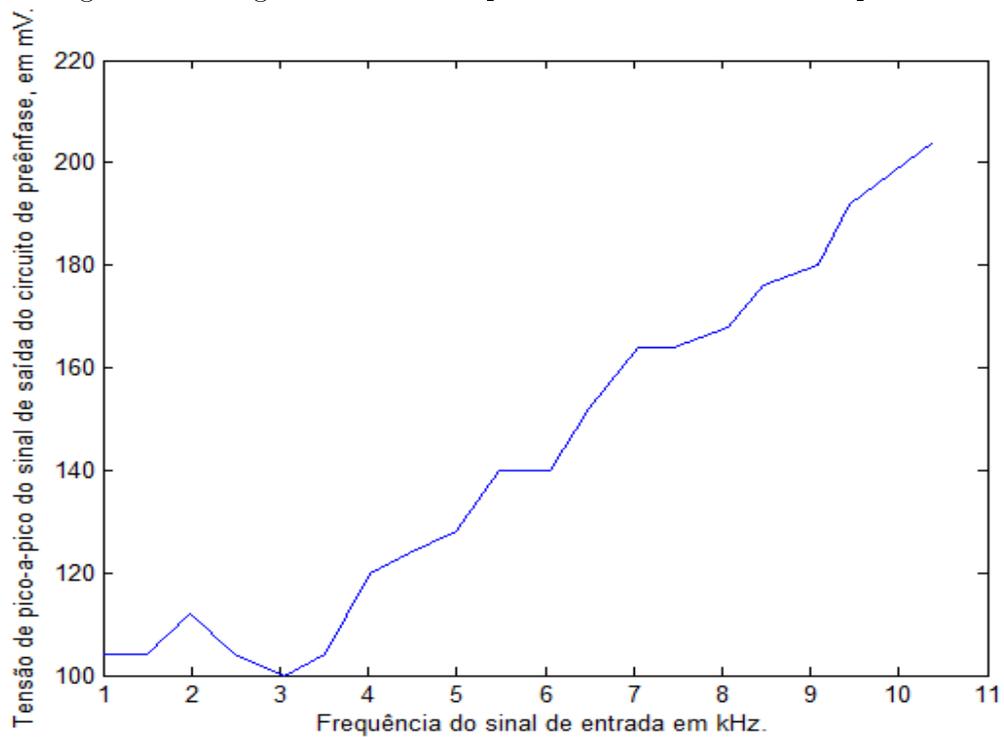


Figura 26: Gráfico de tensão do sinal de saída do circuito de pré-ênfase *versus* frequência do sinal de entrada.

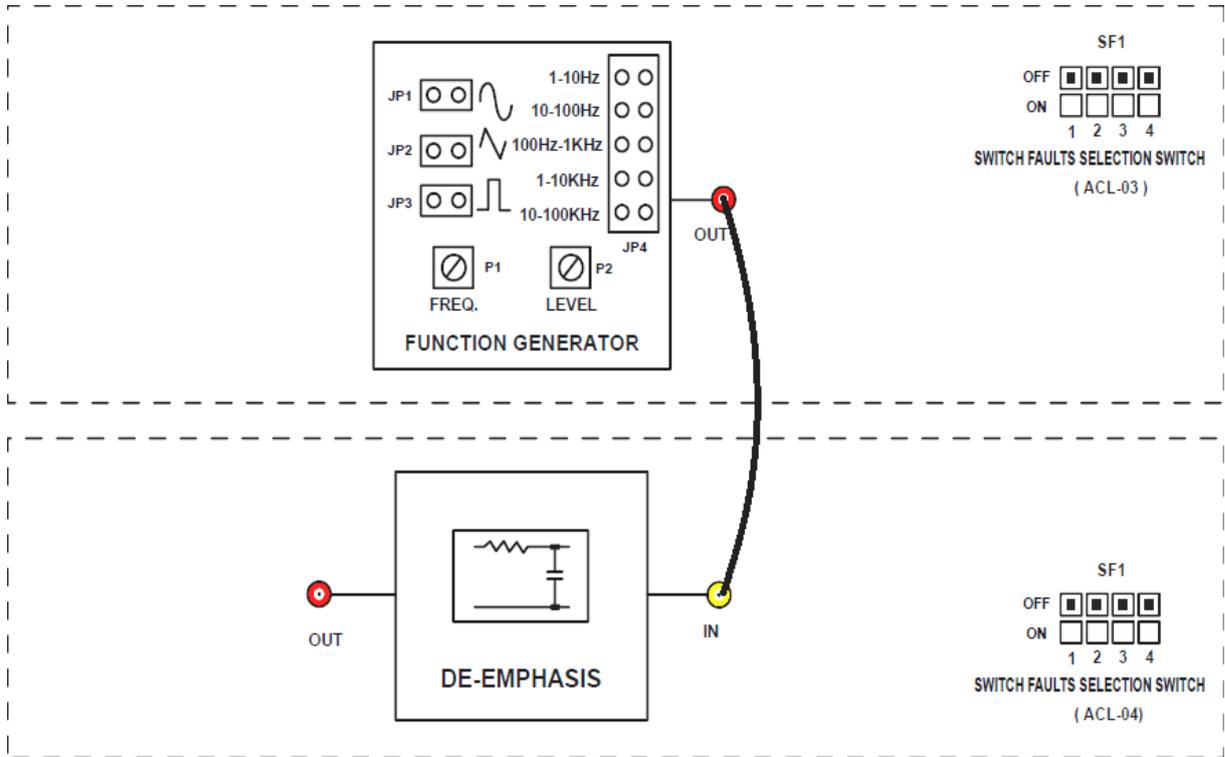


Figura 27: Diagrama de blocos para estudo do circuito de deênfase.

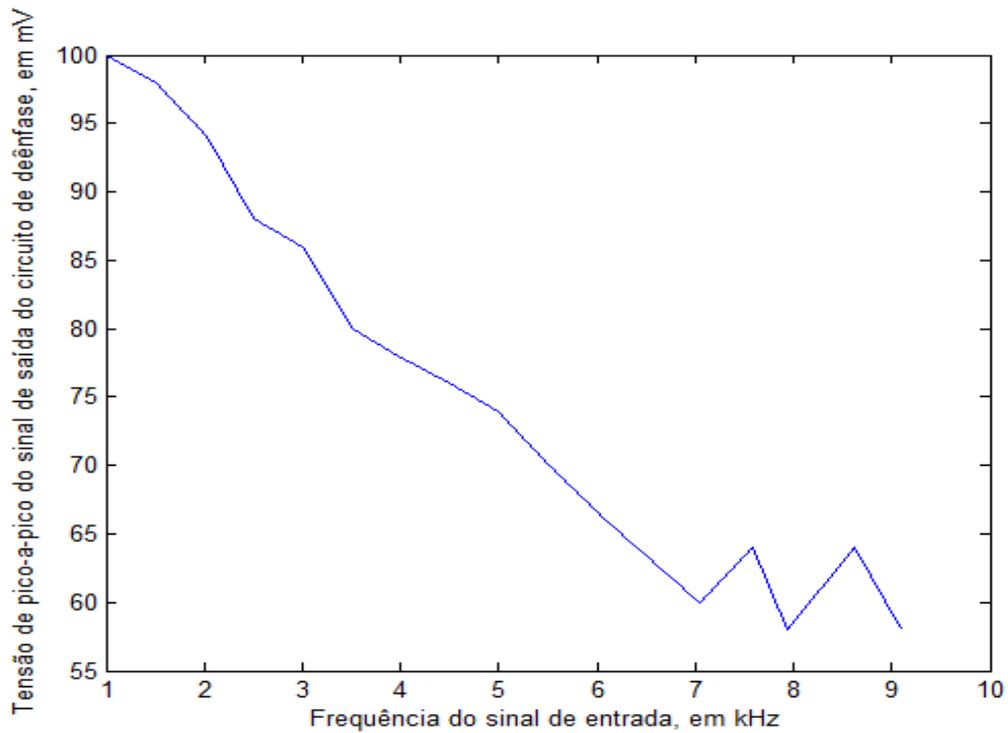


Figura 28: Gráfico de tensão do sinal de saída do circuito de deênfase *versus* frequência do sinal de entrada.

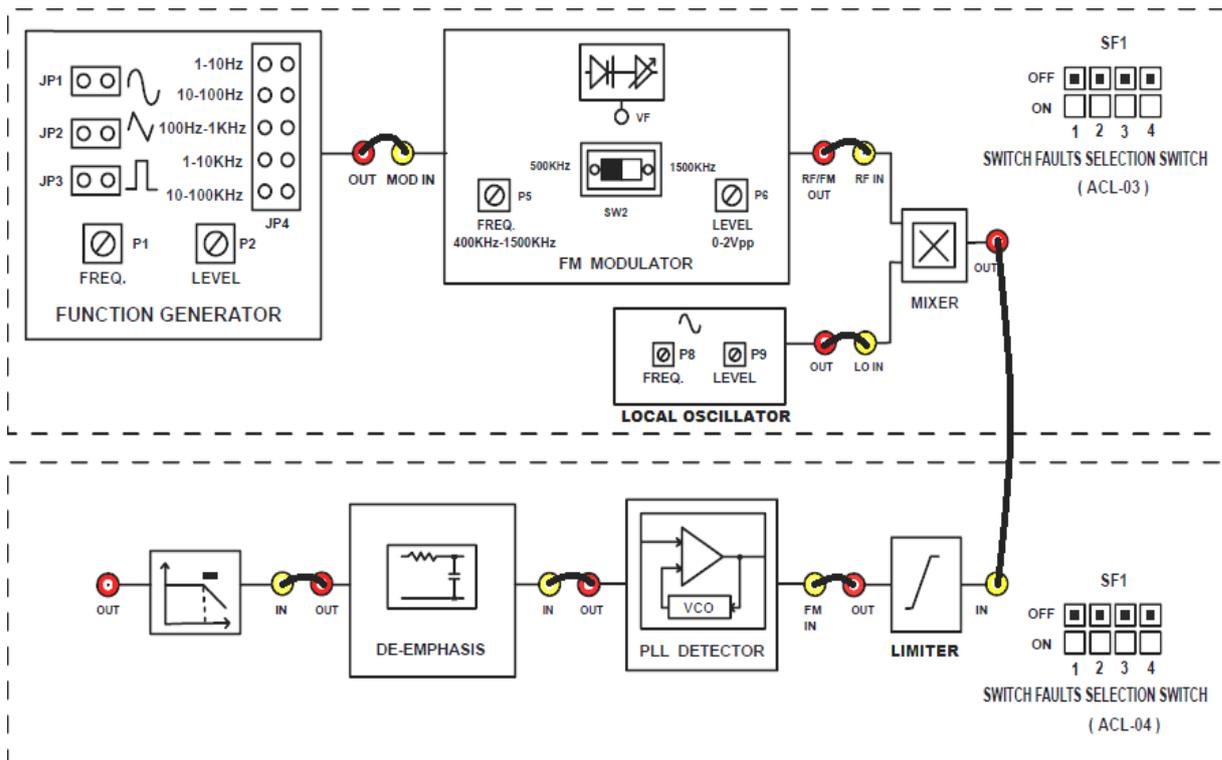


Figura 29: Diagrama de blocos para o estudo do efeito dos circuitos de pré-ênfase e de-ênfase na modulação FM.

cujo funcionamento se dá através de um dispositivo eletrônico, chamado de diodo *varicap* ou *varactor*, cuja capacitância varia de acordo com a tensão aplicada a seus terminais. Esta capacitância variável é utilizada na geração de onda senoidal de frequência também variável, que é a ideia básica da modulação em frequência. Na detecção do sinal FM, para este experimento são utilizados demoduladores PLL (*Phase Locked Loop*) e de ressonância sintonizada. O objetivo do experimento é observar a influência dos circuitos de pré-ênfase e de-ênfase, vistos no tópico anterior, no processo de transmissão e recebimento do sinal modulado.

Para a realização do experimento, ajustamos a saída do modulador em frequência para cerca de 450 kHz e 1 V de pico-a-pico, geramos sinal mensagem de 100 mV de pico-a-pico e frequência em torno de 500 Hz, e no bloco oscilador local uma senoide de $V_{pp} = 1$ V e frequência de cerca de 1 MHz. Observamos que de fato a saída após o circuito de de-ênfase apresentou-se menos ruidosa, mantendo o mesmo formato do sinal demodulado original. As Figuras 30 e 31 mostram as saídas dos circuito de de-ênfase, sinais mais escuros, e as saídas dos demoduladores, mais claras (observamos que o sinal de saída do detector por ressonância sintonizada apresenta-se um pouco distorcida em relação a uma senoide).

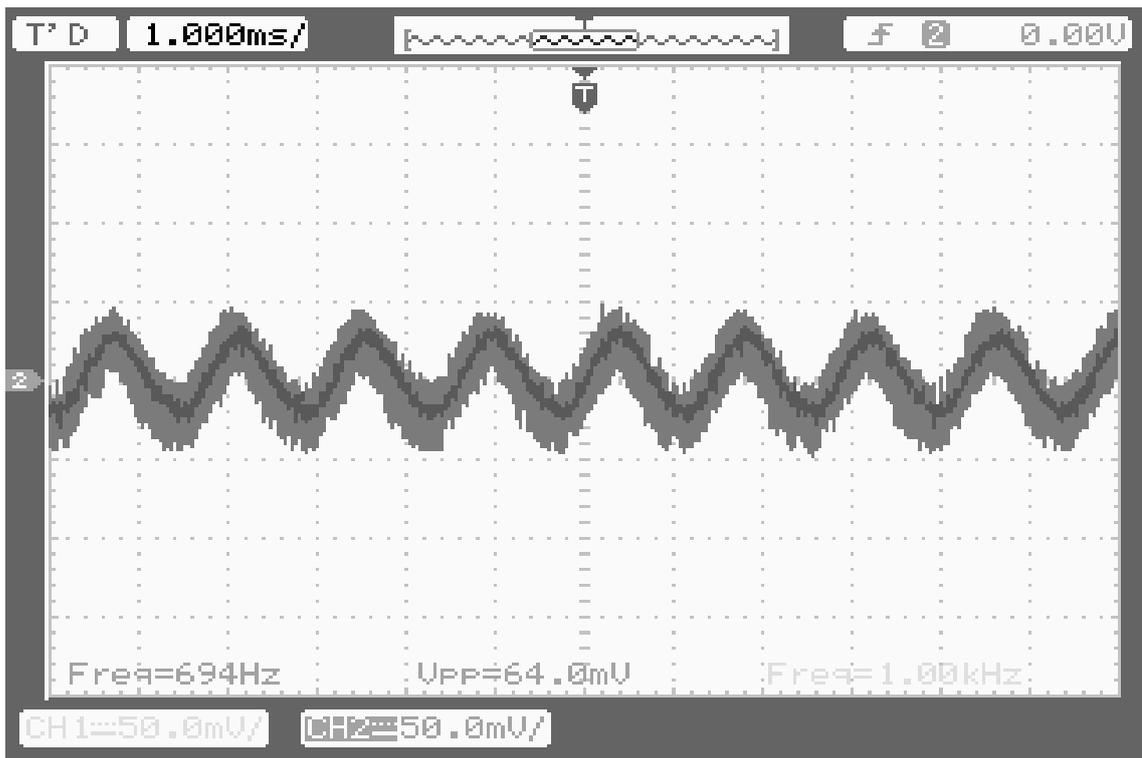


Figura 30: Efeito dos circuitos de pré-ênfase e de-ênfase em transmissão FM. Detector PLL.

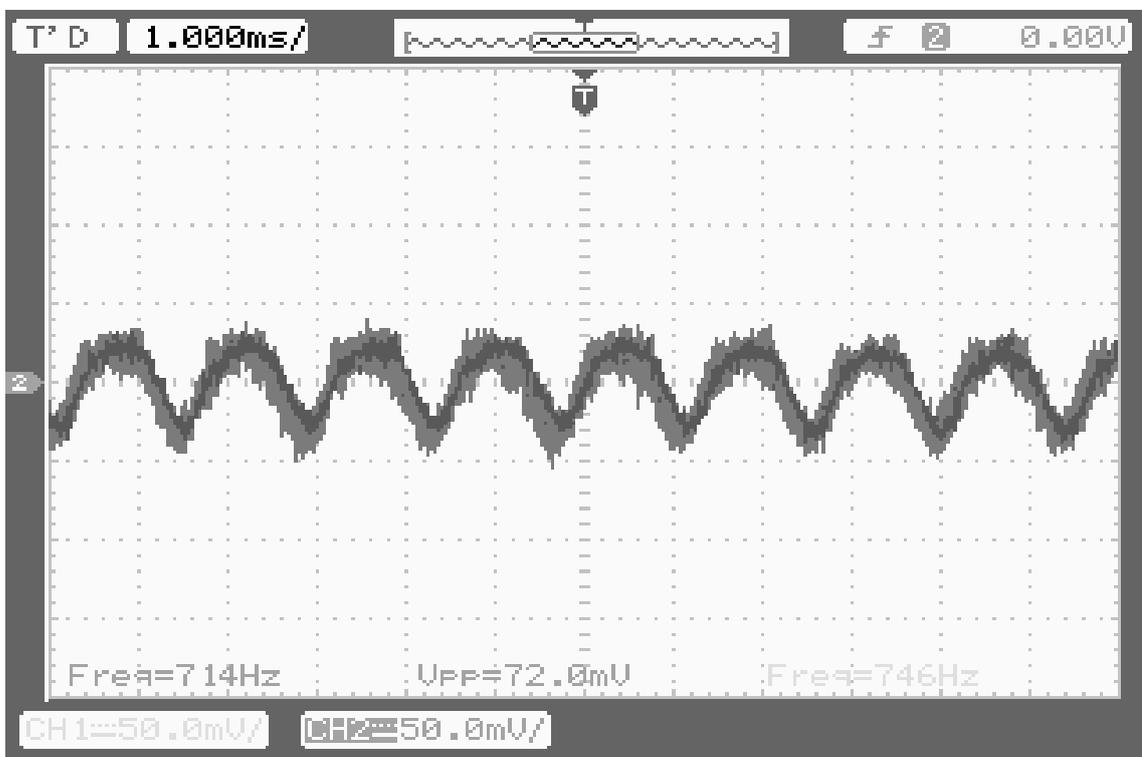


Figura 31: Efeito dos circuitos de pré-ênfase e de-ênfase em transmissão FM. Detector por ressonância sintonizada.

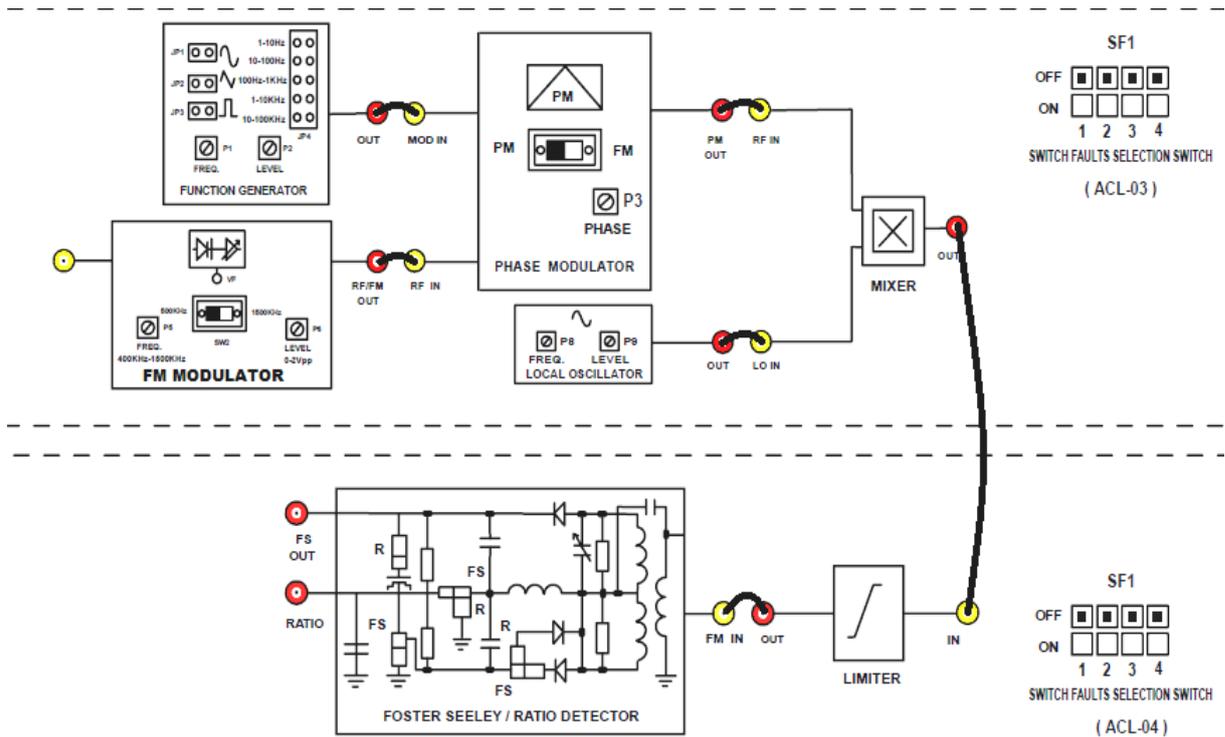


Figura 32: Diagrama de blocos para a modulação em frequência via modulação em fase.

3.2.3 Modulação em frequência via modulação em fase

Tanto a modulação em frequência como a modulação em fase variam a frequência do sinal modulado em função do sinal mensagem. A diferença é que em FM a frequência é diretamente proporcional à amplitude do sinal mensagem, enquanto em PM a frequência é diretamente proporcional à derivada da amplitude do sinal mensagem. Assim, para realizar uma modulação em frequência possuindo um modulador em fase, basta passar o sinal modulante por um integrador antes de iniciar o processo de modulação PM.

Realizar este processo foi o objetivo deste experimento, que apresenta o diagrama de blocos da Figura 32. Apesar do princípio de funcionamento ser relativamente simples, na prática não obtiveram-se os resultados esperados. Conforme foi indicado no manual, geramos um sinal mensagem de tensão de pico-a-pico de 0,5 V, frequência de cerca de 1 kHz, na saída do bloco modulador FM geramos sinal de 2 V de pico-a-pico e frequência em torno de 450 kHz, já no bloco oscilador local geramos senoide de frequência de 900 kHz, 1 V de pico-a-pico.

Foram observados o sinal mensagem, onda triangular, mais clara, e a saída do processo de demodulação, onda mais escura, na Figura 33. Observou-se que o processo

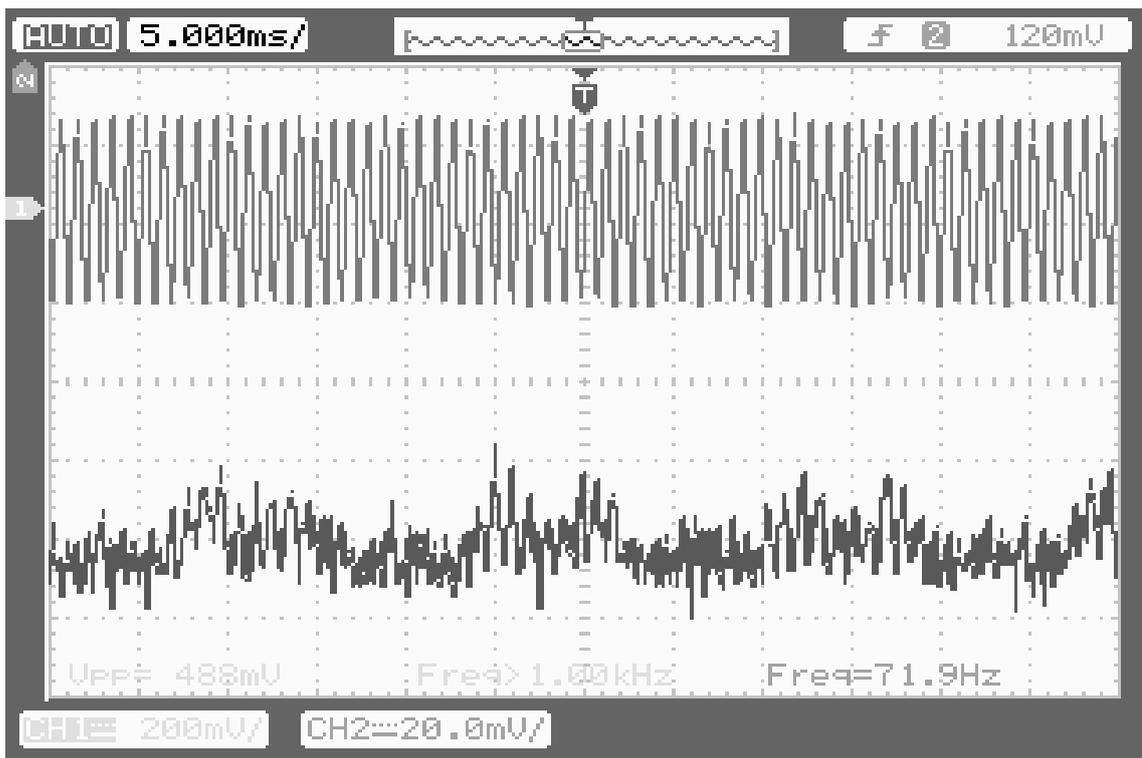


Figura 33: Sinal mensagem (onda triangular mais clara) e sinal demodulado (sinal mais escuro).

global de transmissão da onda não foi satisfatório, haja visto que o sinal demodulado não acompanha a frequência nem a forma do sinal mensagem, além de ser bastante reduzido e semelhante a ruído (observe que as escalas dos dois sinais da figura são bem distintas).

Imagens do sinal mensagem e do sinal modulado também foram capturadas. Alteramos a forma de onda do sinal mensagem para uma onda quadrada, a fim de que o sinal modulado apresentasse de forma mais perceptível a modulação em frequência. Muito embora perceba-se que o sinal modulado apresente variações na frequência, não observou-se que estas variações estejam de acordo com o período do sinal mensagem, tanto para o caso em que a chave do modulador estivesse no modo PM ou FM, como mostram as Figura 34 e 35.

3.2.4 Estudo da Modulação e Demodulação em Fase

Conforme explicado no item anterior, a modulação em fase (PM - *Phase Modulation*) é um caso especial em que a mensagem fica contida na frequência do sinal mensagem.

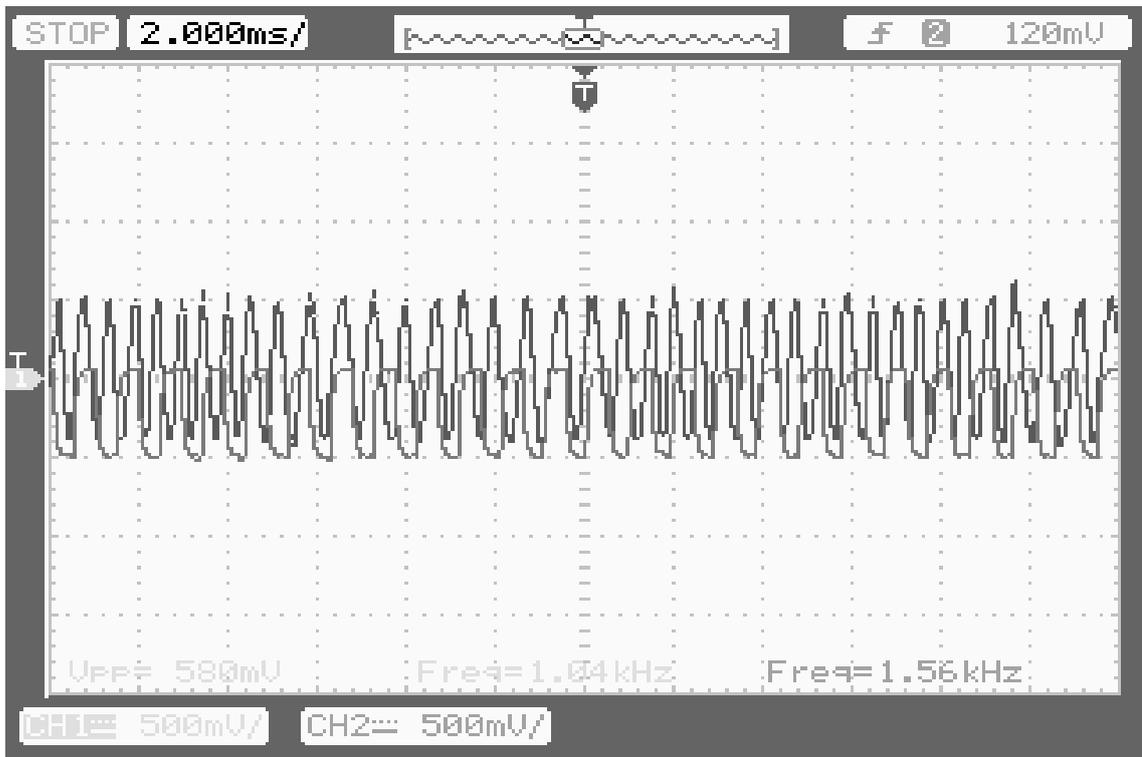


Figura 34: Sinal mensagem (onda quadrada) e sinal modulado em fase (chave em PM).

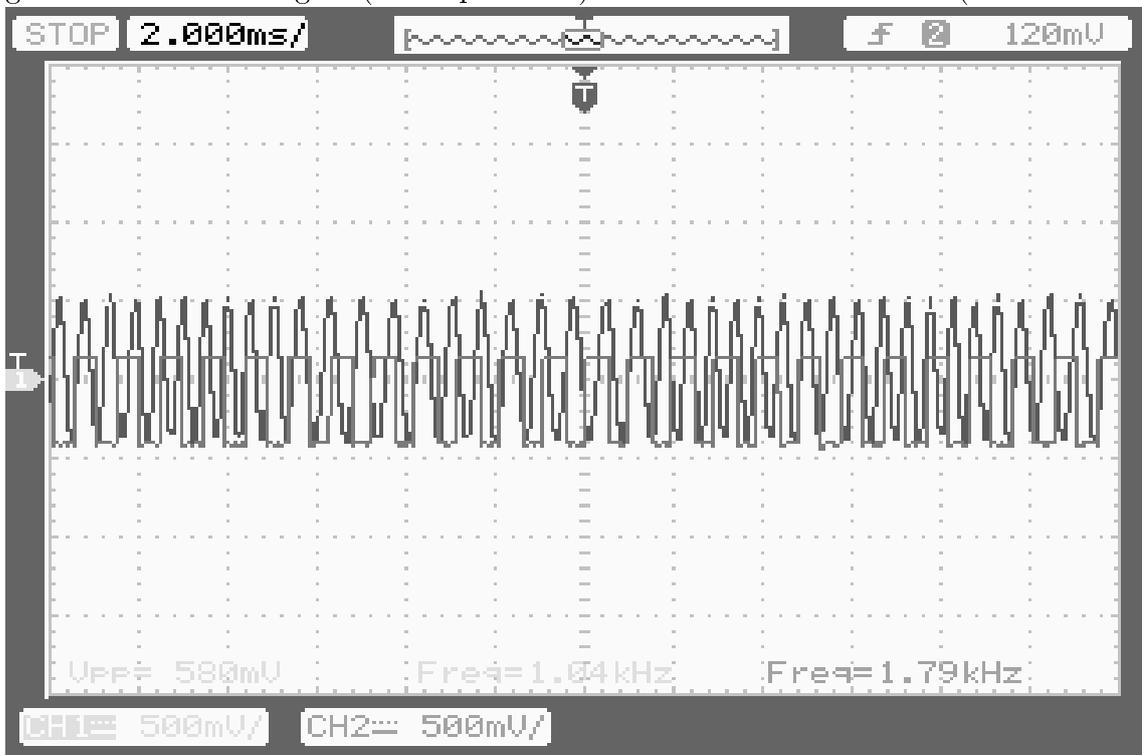


Figura 35: Sinal mensagem (onda quadrada) e saída do modulador PM (chave em FM).

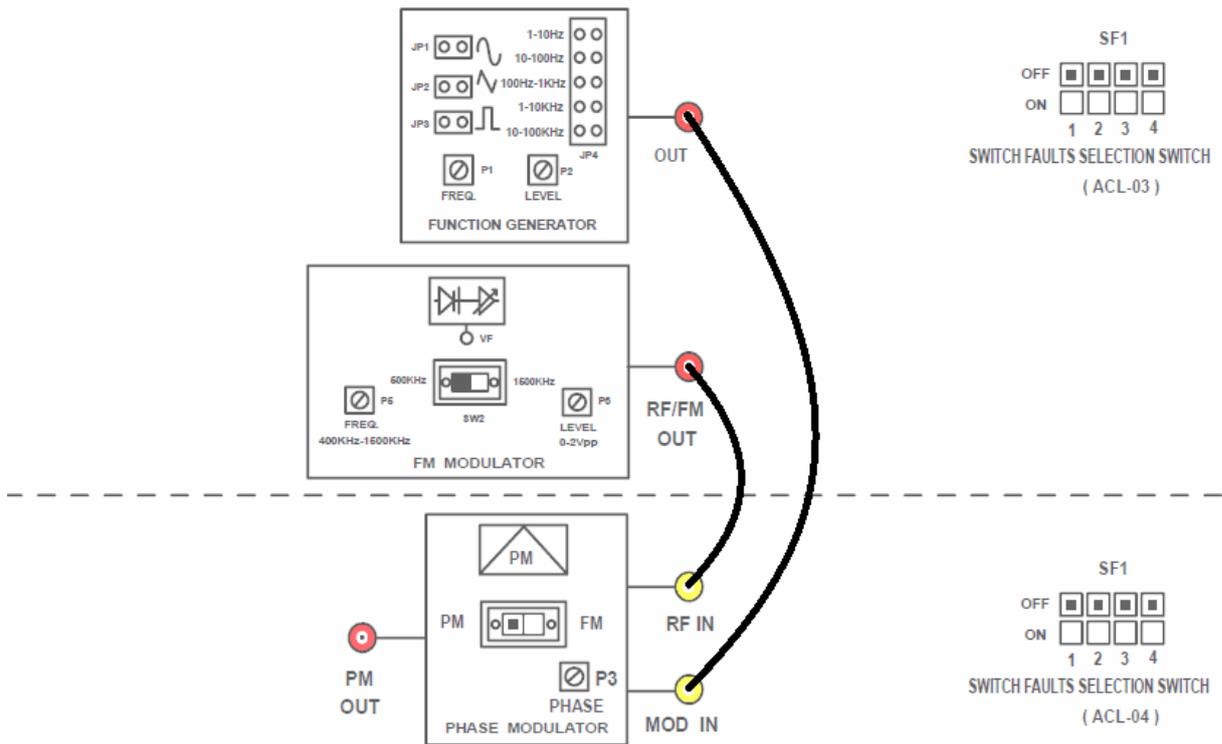


Figura 36: Diagrama de blocos para a modulação em fase.

Mais especificamente, para um sinal mensagem $m(t)$, temos o sinal PM dado por:

$$v_{PM}(t) = A \cos[\omega_c t + k_p m(t)],$$

em que ω_c é a frequência angular da portadora, k_p e A são constantes.

Para a realização deste experimento utilizou-se o diagrama de blocos da figura 36. Algumas de suas instruções não ficaram claras, como exemplo a que sugere que a entrada do modulador em fase seja “sincronizada” com o sinal de entrada. Gerou-se uma onda triangular de 0,5 V de tensão de pico-a-pico e frequência de cerca de 1 kHz. O modulador em frequência apresentou senoide de 1 V de amplitude e frequência aproximada de 450 kHz.

Através do pino P3 do modulador em fase foi possível realizar algumas alterações no sinal modulado. Quando o pino P3 está totalmente rotacionado no sentido horário, o sinal modulado praticamente se apresenta em fase com a entrada da portadora (entrada RF IN no diagrama de blocos). Rotacionando no sentido anti-horário, verificamos que em determinado ponto o defasamento era de 90° e a amplitude do sinal modulado apresentava valor máximo (o manual indica que esse deslocamento de fase é o desvio global introduzido pelo modulador na ausência de modulação). Rotacionando P3 ainda mais, verificou-se

que o sinal PM aumentava seu defasamento e deixava de ter amplitude constante. Quando o pino encontrava-se totalmente rotacionado no sentido anti-horário, observou-se que o defasamento do sinal PM em relação ao sinal da portadora é de 180° e sua amplitude voltava a ser constante, com valores mínimos. As Figuras 37 e 38 ilustram as situações de defasamento de 90° e 180° , respectivamente.

Para a etapa de demodulação, os resultados foram bastante favoráveis, através do ajuste do pino P3. O diagrama de blocos encontra-se na Figura 39 e a imagem 40 apresenta o sinal mensagem e o sinal demodulado na recepção.

3.2.5 Transmissão de voz através de Modulação FM

A realização deste experimento foi feita através de diversas técnicas de demodulação em FM e também através da modulação PM. Os demoduladores FM utilizados foram o detector *Foster-Seeley*, o demodulador *Ratio*, o detector PLL (*Phase Locked Loop*), o detector em quadratura e o detector por ressonância sintonizada. Apesar de só haver especificações descritas no manual para a transmissão de voz com o primeiro detector usado, foram adotadas as recomendações dadas nos experimentos de demodulação que utilizavam senoides como sinais de entrada, ao invés de sinais de áudio. Dessa maneira, para todos os casos citados, na saída do modulador em frequência observou-se senoide de 1V de pico-a-pico e frequência em torno de 450kHz. O bloco oscilador local foi sintonizado com 1MHz de frequência e 1V de tensão de pico-a-pico.

A transmissão de voz foi verificada para todos os tipos de demoduladores. Verificou-se que mesmo variando a frequência do oscilador local a transmissão de voz era mantida, influenciando em quase nada o processo. Esse fato é explicado considerando que todas as transmissões foram feitas via cabo, não necessitando de um receptor superheterodino nem realizando algum tipo de detecção síncrona.

Para o caso de modulação em fase, observou-se que a transmissão de voz era obtida, ou não, dependendo da rotação do pino P3, que é capaz de dar diferentes deslocamentos de fase ao sinal modulado.

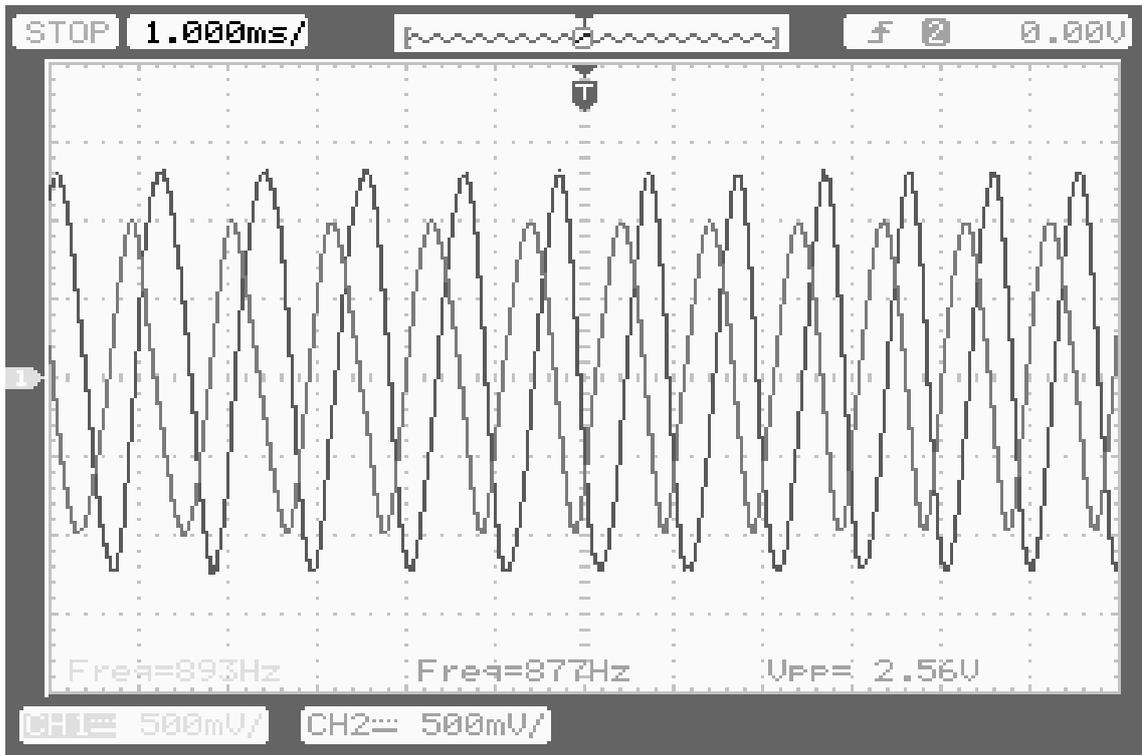


Figura 37: Portadora (senoide de menor amplitude) e saída do modulador em fase.

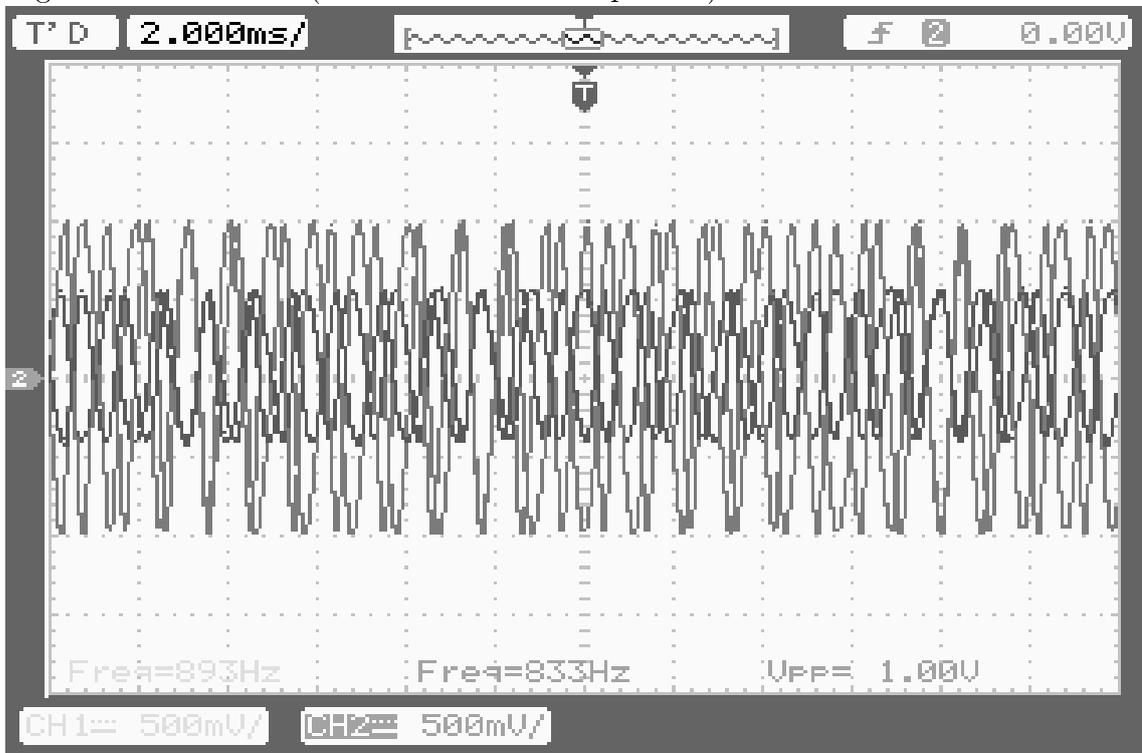


Figura 38: Portadora (senoide de maior amplitude) e saída do modulador em fase (sinal mais escuro).

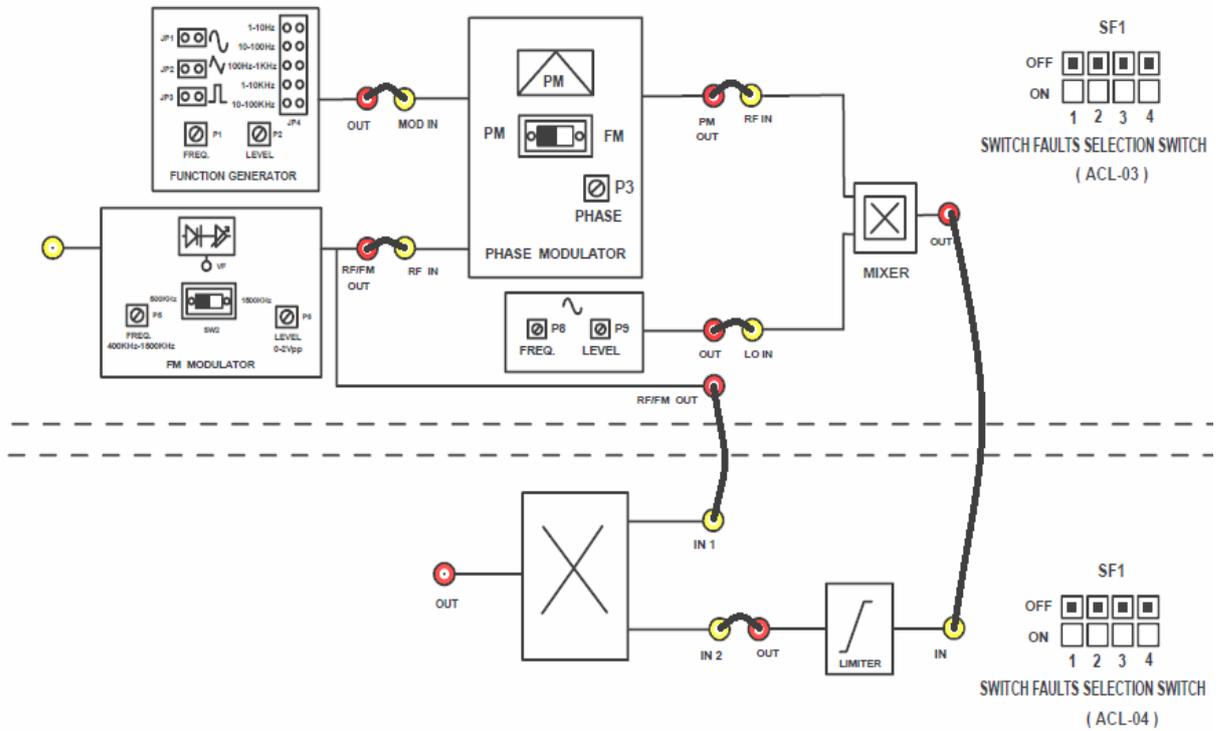


Figura 39: Diagrama de blocos para a demodulação em fase.

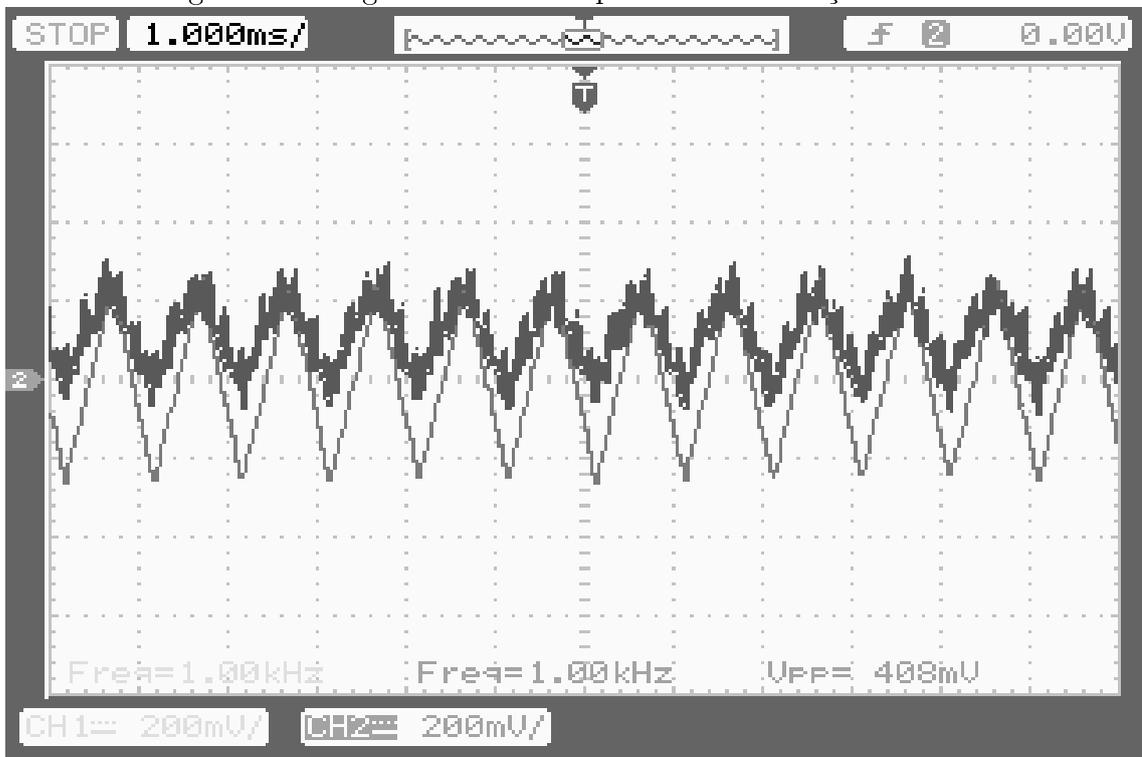


Figura 40: Sinal mensagem, de maior amplitude e saída do demodulador em fase (sinal mais escuro).

3.3 Montagens relativas a noções sobre ruído (kit ACL-05)

O kit ACL-05 da Falcon está inteiramente dedicado à elaboração de experimentos que envolvam o conceito de ruído. Mais especificamente, são sugeridos 5 experimentos: observação do ruído em vários sistemas analógicos, cálculo da razão sinal-ruído, cálculo de figura de ruído, cálculo da potência do ruído e densidade espectral do ruído e, finalmente, efeito de filtro passa-baixas em um sinal ruidoso.

Apesar de ser um assunto de grande importância para o conhecimento dos estudantes, optou-se por não incluir nenhum deles na disciplina do laboratório de Princípios de Comunicações. A justificativa é que há um elemento fundamental no kit para o feitura dos experimentos que não funciona adequadamente, a saber, um medidor de potência.

O kit dispõe de um gerador de funções, uma fonte de ruído, um somador de sinais e o medidor de potência. Este último dispositivo apresenta um pino de calibração.

Geramos uma senoide de 2V de pico-a-pico e ligamos este sinal diretamente ao medidor de potência. Para uma senoide pura, para o cálculo de sua potência tem-se:

$$\begin{aligned}
 P &= \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} v^2(t) dt \\
 &= \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} V^2 \cos^2(\omega t) dt \\
 &= \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} V^2 \frac{1 + \cos(2\omega t)}{2} dt \\
 &= \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} V^2 \frac{1}{2} dt \\
 &= \frac{V^2}{2}
 \end{aligned}$$

Especificamente para sinal gerado, temos como medida de potência esperada:

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{1^2}{2} \\
 &= 0,5
 \end{aligned}$$

Mesmo variando o pino de calibração em todos os valores possíveis, e esperando os 15s que o manual recomenda para que o medidor se estabilize, não foi possível verificar uma medição próxima do valor esperado. Os valores obtidos eram sempre bem maiores.

É interessante ressaltar que o próprio manual apresentou o cálculo errado de potência, utilizando para o cálculo não o valor da amplitude da senoide, mas sim o valor de tensão de pico-a-pico, resultando em valores sempre quatro vezes maiores que o correto ($(2V)^2/2 = 4V^2/2 = 4P$).

Desta maneira, a fim de não confundir os alunos com conceitos errados para a medição de potência das senoides, preferiu-se dar maior ênfase aos demais assuntos de comunicações. Muitas vezes, nos próprios experimentos de modulação e demodulação, observa-se a presença de ruídos nos sinais, visto que é um fenômeno comum no envio de qualquer mensagem.

4 Considerações Finais

Através das atividades realizadas durante este estágio, foi possível verificar que alguns kits da *Falcon* não funcionam adequadamente e não são recomendados para o uso pelos estudantes, em particular os kits relativos à noções de ruído (ACL-05). Por outro lado, verificou-se que os demais kits adquiridos podem ser de grande utilidade, trazendo um aprendizado mais completo e ilustrativo dos casos reais de transmissão de mensagens por meio de ondas contínuas. A modulação em amplitude e a modulação em frequência, assim como seus diversos métodos de demodulação, puderam ser verificados em uma abordagem concreta e bem mais abrangente.

É verdade que há alguns experimentos dos manuais que não resultam nos resultados esperados, além de que os textos diversas vezes apresentam instruções e informações confusas. Ainda assim, acredita-se que a aquisição feita pela universidade será de grande serventia.

Também espera-se que este trabalho seja útil, no sentido de apontar as dificuldades encontradas, além do desenvolvimento de preparações e guias para os futuros alunos do Laboratório de Princípios de Comunicações, trabalho feito em paralelo a este. Algumas observações pertinentes são de que os osciloscópios para medição sempre devem estar com escalas de tempo adequadas (visualização de ao menos um período), além da ocorrência de problemas observados em alguns dos blocos dos kits, como exemplo o gerador de portadora que não funcionou corretamente no kit de modulação em amplitude (ACL-01). Para esses casos, além dos osciloscópios digitais serão necessárias fontes externas geradoras de sinais (o que pode ser outra limitação para o laboratório).

Para mim esse estágio significou uma vivência mais próxima à existente no cotidiano dos engenheiros, constituindo uma experiência enriquecedora na minha vida. A realização do estágio constituiu mais uma etapa, fundamental, com que me aproximo da Engenharia.

Referências

- 1 Carlson, A. B. and Crilly, P. B. and Rutledge, J. C., Communications Systems: An Introduction to Signals and Noise in Electrical Communications, Fourth Edition, International Edition, McGraw-Hill Higher Education, 2002.
- 2 Lathi, B. P., Modern Digital and Analog Communication Systems, Oxford University Press, 1998.
- 3 ACL-01: Amplitude Modulation Transmitter Kit and ACL-02: Amplitude Demodulation Receiver Kit, Experimental Manual, Falcon Electro-Tek PVT. LTD., Mumbai, India.
- 4 ACL-03: Frequency Modulation Transmitter Kit and ACL-04: Frequency Demodulation Receiver Kit, Experimental Manual, Falcon Electro-Tek PVT. LTD., Mumbai, India.
- 5 ACL-05: Noise Power Spectral Density Kit, Experimental Manual, Falcon Electro-Tek PVT. LTD., Mumbai, India.