



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA



David Maykon Krepsky Silva
Daniel Galbes Bassanezi

Modulador AM

Data de realização do experimento:
20 de agosto de 2015
Série/Turma:
1000/1011
Prof. Dr. Jaime Laelson Jacob

20 de agosto de 2015

Resumo

Neste trabalho foi realizado o estudo teórico e a simulação de dois circuitos moduladores AM DSB, de forma a comprovar, em simulação computacional, a validade e as limitações do projeto de moduladores, utilizando o modelo de pequenos sinais. As topologias utilizadas empregam transistores, para o primeiro circuito, e um diodo, para o segundo. Foi observado que, embora o circuito com diodo tenha um número pequeno de componentes, resultando em baixo custo, o mesmo possui um fator de mérito menor que o do modulador transistorizado.

Sumário

Resumo	1
1 Introdução	3
2 Teoria	4
2.1 Modulação AM DSB	4
2.2 Medida do índice de modulação γ	4
2.2.1 Método 1	5
2.2.2 Método 2	5
2.3 Circuitos moduladores	6
2.3.1 Modulador série	6
2.3.2 Modulador a diodo	6
3 Metodologia Experimental	8
3.1 Materiais	8
3.1.1 Modulador série	8
3.1.2 Modulador a diodo	9
4 Resultados	11
4.1 Onda de saída	11
4.2 Influência da ponta de prova	11
4.3 Variação da tensão de saída e critério de estabilidade	11
5 Discussão e Conclusão	12

1 Introdução

O experimento tem como objetivo desenvolver o conhecimento dos alunos sobre circuitos que realizam a modulação AM DSB de um sinal. Foram estudados duas topologias, sendo elas um modulador com diodo e um com transistores, onde foram analisados o fator de mérito (Q) e o espectro do sinal de saída.

2 Teoria

2.1 Modulação AM DSB

A modulação em amplitude consiste em modificar a amplitude de um sinal de frequência constante, chamado de portadora, a partir de um sinal modulante (informação). O termo DSB significa *double side band*, pois o espectro do sinal modulado possui tanto a banda positiva quanto a banda negativa do sinal modulante.

O sinal modulado em AM DSB pode ser representado matematicamente pela equação

$$s(t) = A_c[1 + \gamma f(t)]\cos(w_c t). \quad (1)$$

Onde $f(t)$ é o sinal de informação, A_c é a amplitude, γ é o índice de modulação e w_c é a frequência angular da portadora.

Sendo

$$f(t) = \cos(w_m t),$$

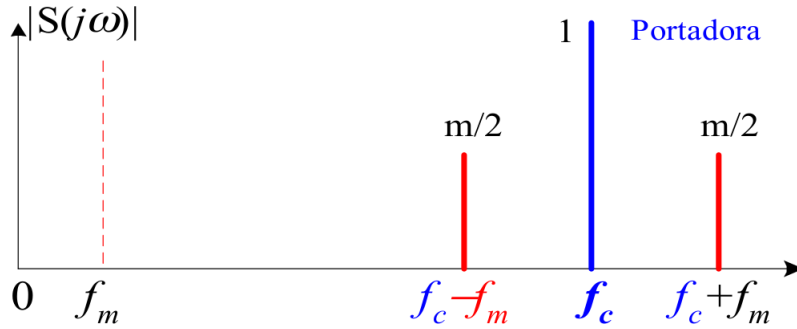
temos que

$$s(t) = A_c \left\{ \cos(w_c t) + \frac{\gamma}{2} \cos(w_c + w_m)t + \frac{\gamma}{2} \cos(w_c - w_m)t \right\}. \quad (2)$$

A transformada de Fourier do sinal da equação 2 (mostrada na figura 1) é

$$F(s) = \mathfrak{F}\{f(t)\} = A_c \delta(s - w_c) + A_c \frac{\gamma}{2} \delta(w_c + w_m) + A_c \frac{\gamma}{2} \delta(w_c - w_m)$$

Figura 1: Modulo do espectro complexo de Fourier da modulação AM DSB com sinal modulante cossenoidal.



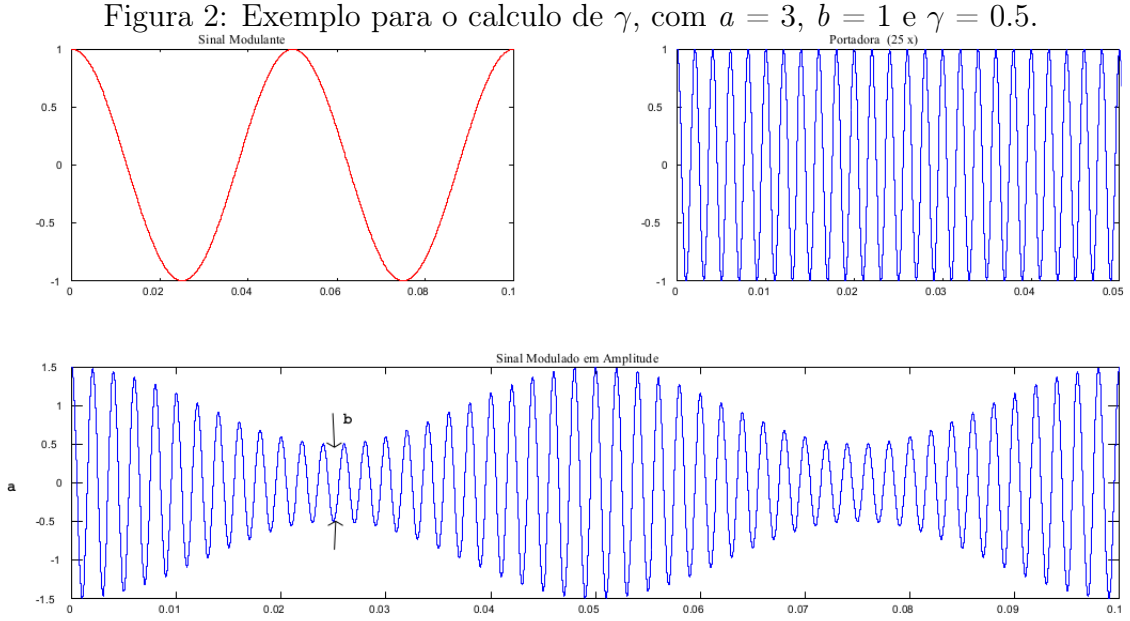
2.2 Medida do índice de modulação γ

O índice de modulação (γ) pode ser obtido através da equação 3, onde os valores de a e b podem ser definidos de duas maneiras.

$$\gamma = \frac{a - b}{a + b} \quad (3)$$

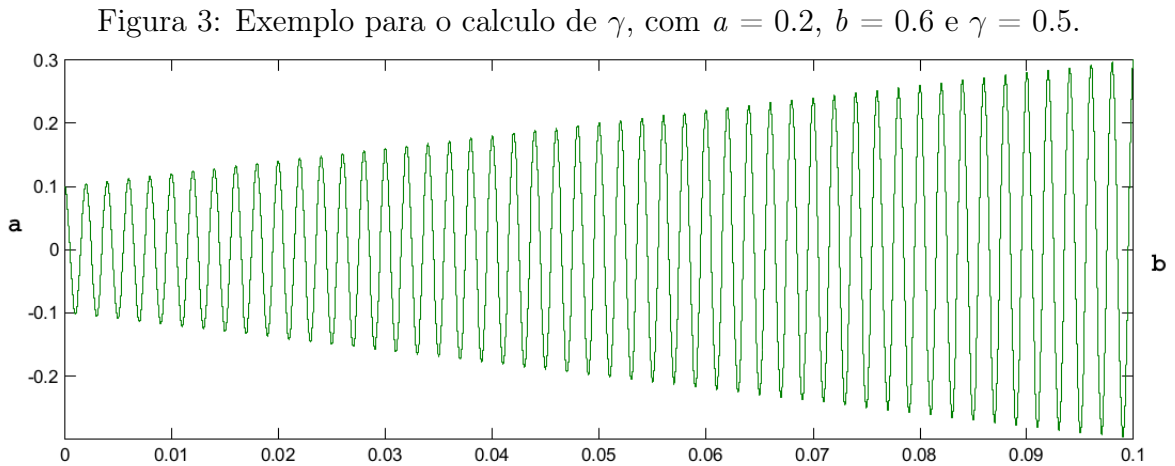
2.2.1 Método 1

No método 1, o sinal modulado é colocado no eixo Y e o tempo é colocado no eixo X. O valor de a é dado pela amplitude de pico a pico do sinal modulado quando $f(t)$ é máximo e o valor de b é dado pelo valor de pico a pico para quando o sinal $f(t)$ é mínimo. A figura 2 mostra um exemplo do cálculo.



2.2.2 Método 2

No método 2, o sinal modulado é colocado no eixo Y e o sinal modulante é colocado no eixo X. O valor de a é dado pela amplitude de pico a pico da parte mais baixa da figura e o valor de b é dado pelo valor de pico a pico mais alto. A figura 3 mostra um exemplo do cálculo.



O método 2 é preferível, pois evidencia a linearidade do modulador, independente da forma de onda do sinal modulante. Porém, quando são introduzidas distorções no sinal modulado, o método 1 deve ser utilizado.

2.3 Circuitos moduladores

Abaixo são apresentadas duas topologias de circuito modulador AM DSB, uma utilizando transistores e a outra empregando um único diodo.

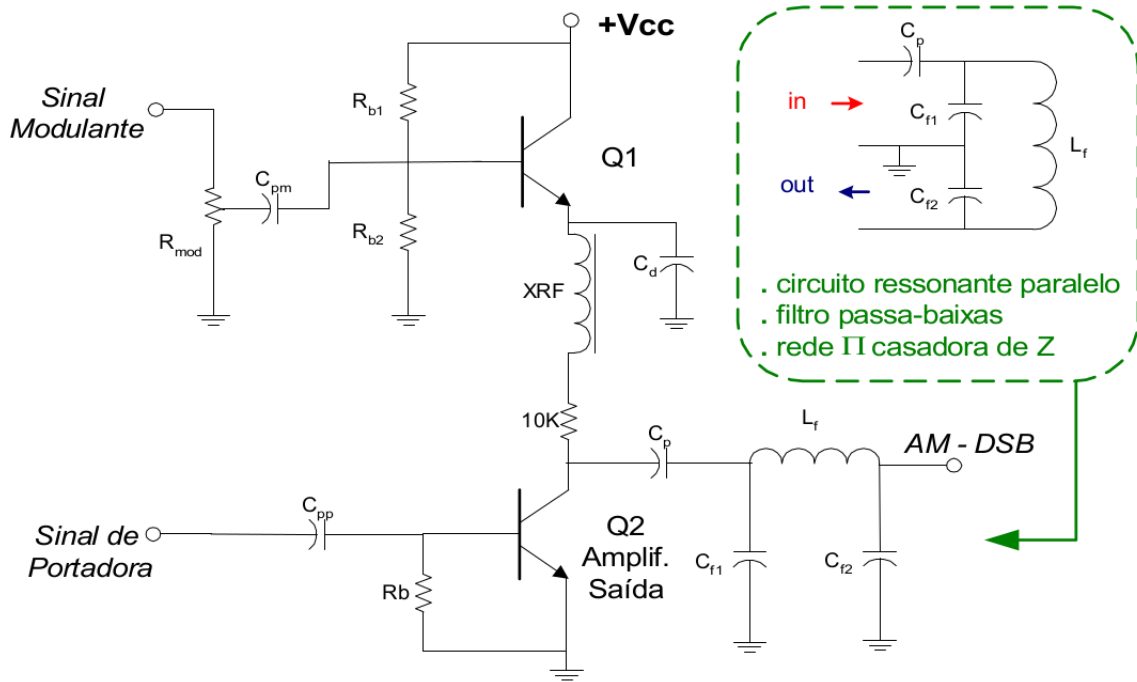
2.3.1 Modulador série

A figura 4 apresenta a configuração do circuito utilizado em um modulador AM/DSB série. Os moduladores série modificam diretamente a amplitude do sinal de RF, assim, evitando distorções na frequência do sinal modulado.

O transistor Q1 acopla sinal de informação ao coletor do amplificador de RF de saída, Q2, evitando a necessidade de um transformador, o que reduz o custo e o tamanho do circuito.

O filtro passa-baixas composto por C_{f1} , C_{f2} , C_p e L_f atua, também, como um circuito LC paralelo sintonizado na frequência da portadora (f_c) e como uma rede π casadora de impedância.

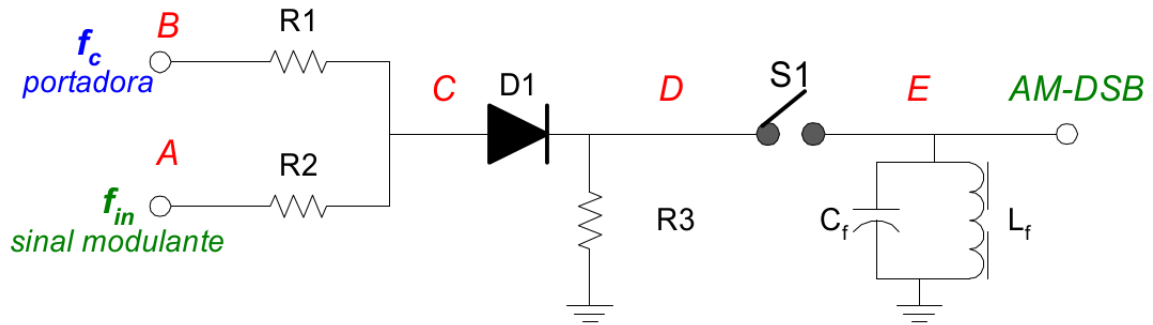
Figura 4: Circuito do modulador série.



2.3.2 Modulador a diodo

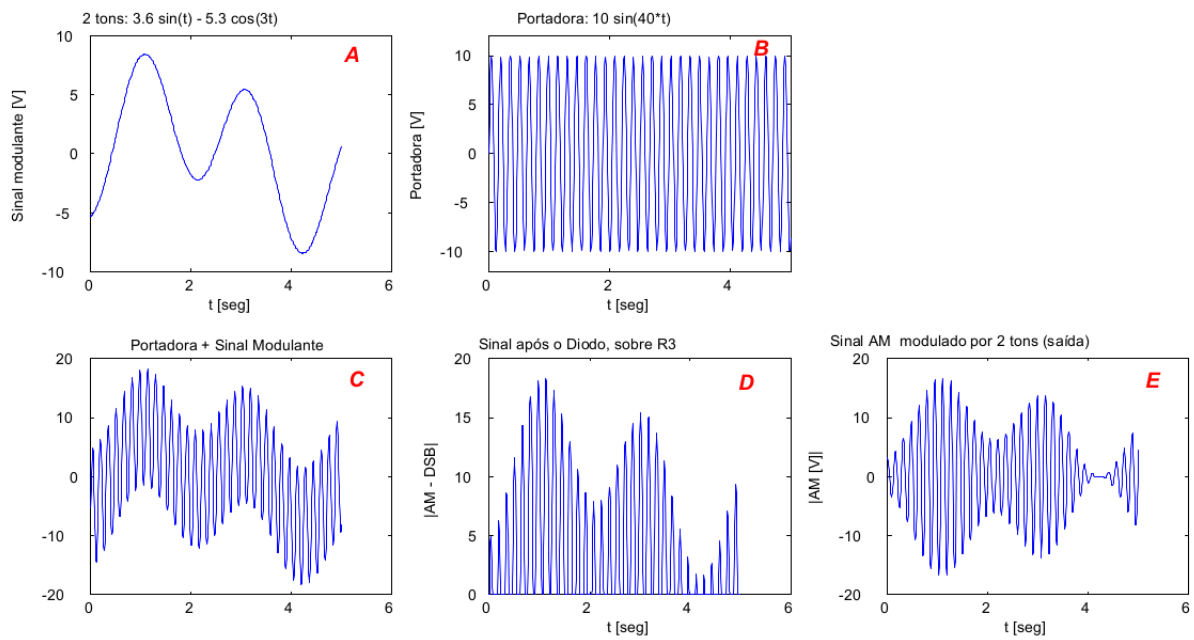
A figura 5 apresenta a configuração do circuito utilizado em um modulador AM/DSB simples. Os moduladores série modificam diretamente a amplitude do sinal de RF, assim, evitando distorções na frequência do sinal modulado.

Figura 5: Circuito do modulador a diodo.



A chave S1, quando o circuito está em operação, fica normalmente fechada. O filtro passa-faixa composto por C_f e L_f é sintonizado em f_c . Assim, para cada semi-ciclo positivo de f_c o circuito ressonante paralelo produz um semi-ciclo negativo, resultando à saída a forma de onda E da figura 6.

Figura 6: Formas de onda em um modulador a diodo.



3 Metodologia Experimental

3.1 Materiais

O material utilizado foi:

- Computador.
- Software Orcad.

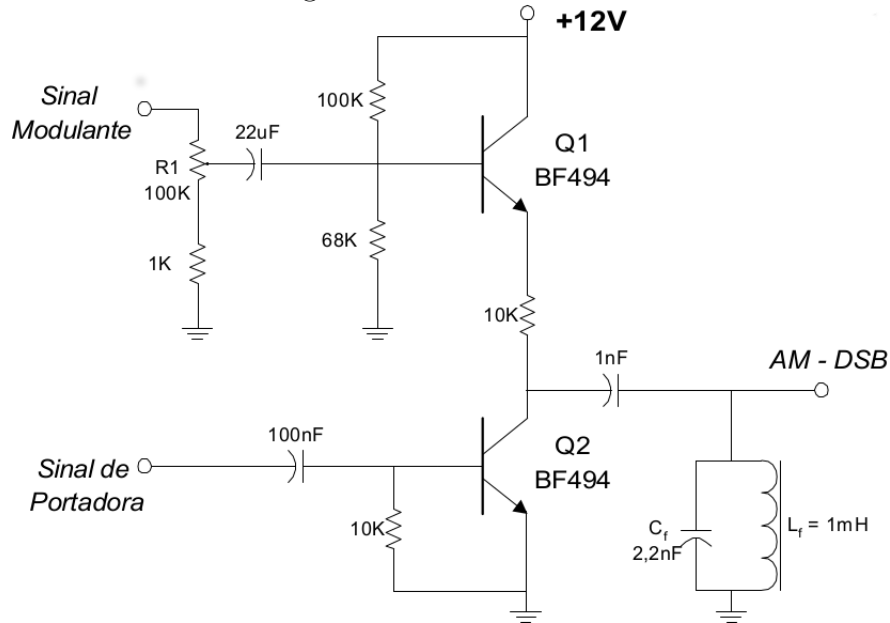
O experimento foi dividido em duas partes, sendo a parte 1 para o modulador série e a parte 2 com o modulador a diodo.

3.1.1 Modulador série

Para execução da parte 1 do experimento, faz-se necessário executar os seguintes passos (com base no circuito da figura 7:

- montar o circuito mostrado na figura 7 no software Orcad;
- utilizar um sinal senoidal de 200Hz ($2 V_{pp}$) como modulante e um sinal de 100kHz como portadora;
- Obter o índice de modulação γ do circuito através do método 1 e do método 2;
- verificar quais são os limites para γ ;
- caso seja possível obter índice $m > 1$, observe o que ocorre com sinal quando se utiliza o método 2. É possível aplicar este método na avaliação de índices de modulação maiores que 100
- determinar o fator de mérito do modulador, utilizando como carga um resistor de $10 M\Omega$ e um capacitor de 20pF, simulando a ponta de prova do osciloscópio.
- analisar o sinal de saída no domínio da frequência;
- como é possível reduzir eventuais componentes de frequência espúrias à saída?

Figura 7: Modulador série.

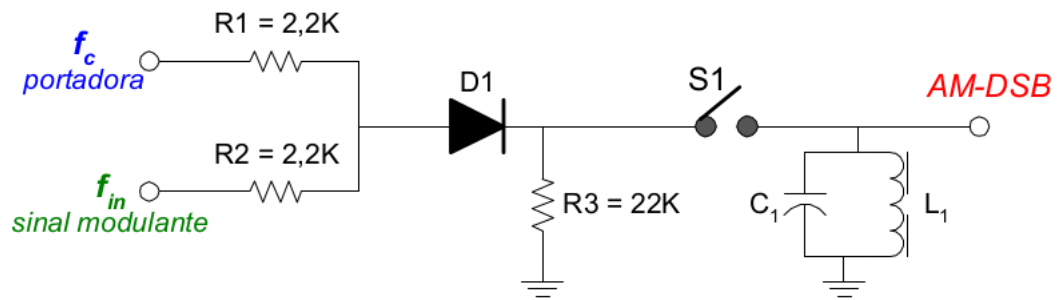


3.1.2 Modulador a diodo

Para execução da parte 2 do experimento, faz-se necessário executar os seguintes passos (com base no circuito da figura 8):

- montar o circuito mostrado na figura 8 no software Orcad;
- utilizar um sinal senoidal de 2kHz ($2 V_{pp}$) como modulante e um sinal de 100kHz ($5 V_{pp}$) como portadora;
- calcular o valor de L_1 e C_1 de modo que a frequência de ressonância fique próxima de f_c .
- verificar se o sinal modulante é banda estreita;
- Obter o índice de modulação γ do circuito através do método 1 e do método 2;
- caso seja possível obter índice $m > 1$, observe o que ocorre com sinal quando se utiliza o método 2. É possível aplicar este método na avaliação de índices de modulação maiores que 100
- determinar o fator de mérito do modulador, utilizando como carga um resistor de $10 M\Omega$ e um capacitor de 20pF, simulando a ponta de prova do osciloscópio.
- analisar o sinal de saída no domínio da frequência;

Figura 8: Modulador a diodo.



4 Resultados

4.1 Onda de saída

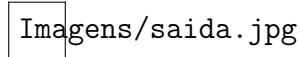


Figura 9: Onda de saída para o oscilador a cristal.

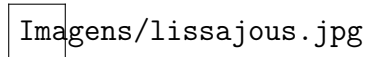


Figura 10: Figura de lissajous.

4.2 Influeência da ponta de prova

Após colocar a ponta de prova do osciloscópio, a frequência alterou para 10.01155MHz, mostrando que há uma pequena interferência no periodo do oscilador.

4.3 Variação da tensão de saída e critério de estabilidade

A tabela 1 mostra os dados obtidos variando-se a tensão.

Tabela 1: Frequência de oscilação obtida variando-se a tensão de circuito

Tensão de entrada [V]	Frequência [MHz]
9.6	10.01071
12.0	10.01088
14.4	10.01119

A estabilidade relativa obtida foi de 47,948 [ppm].

5 Discussão e Conclusão

Neste experimento foi possível analisar o projeto de dois circuitos moduladores de AM/DSB, onde foi possível constatar que a teoria envolvida na análise da modulação AM é coerente e se aplica na prática. Um dos fatores importantes observado foi em relação ao cálculo do índice de modulação (γ) através do método do trapézio para quando $\gamma > 1$. Observou-se que, devido a curva de amplitudes não ser linear, o valor obtido não foi o real. Notório também é a diferença de qualidade, do sinal modulado, entre as duas topologias. O modulador a diodo, apesar de possuir fácil implementação e baixo custo, possui um fator Q (índice de mérito) baixo, o que faz com que mais energia seja perdida em frequências próximas à frequência da portadora e das bandas do sinal modulante.

Referências

- [1] T. Abrao, *Notas de aula - Circuitos de Comunicação*. publisher, 2002.