Centro Universitário Senac (Santo Amaro)

Engenharia da Computação

Fundamentos de Telecomunicações

Professor: Sérgio Tavares

Modulação FM

Nomes: Alessandro da Costa Silva Kantousian

Luiz Guilherme das Chagas

São Paulo (2018)

Objetivo

Através do software Multisim, simular um circuito modulador FM baseado em um VCO a qual com um potenciômetro, ficar variando o mesmo para dar a tensão necessária para que ocorra a variação de frequência e a amplitude.

Teoria & Prática

Num modulador FM deve-se procurar obter uma relação frequência instantânea versus tensão v(t) o mais linear possível *Figura 1*, dentro do intervalo de interesse (de até : . Isso equivale a dizer que a sensibilidade do modulador (que pode ser medida) dever ser o mais próximo possível de uma constante: , no intervalo - . Do mesmo modo, a sensibilidade de um modulador de fase deve ser o mais próximo possível de uma constante: , no intervalo .

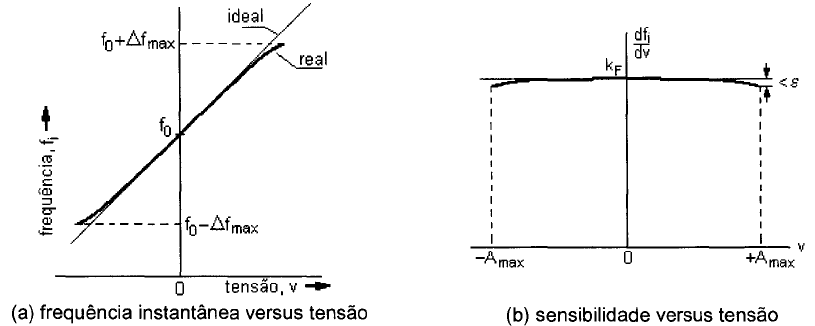


Figura 1: Linearidade de modulador de frequência. CARVALHO, MUNIZ, R. Comunicações Analógicas e Digitais: 1. ed. São Paulo: Editora LTC, 2007.

Um modulador de frequência pode ser obtido com um oscilador controlado por tensão (VCO – Voltage Controlled Oscillator). Considere um oscilador cuja frequência de oscilação é determinada por um circuito ressonante LC (*Figura2*): .

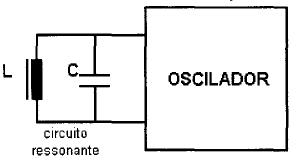


Figura 2: Oscilador. CARVALHO, MUNIZ, R. Comunicações Analógicas e Digitais: 1. ed. São Paulo: Editora LTC, 2007.

No lugar da capacitância C usa-se um varicap – um diodo especialmente projetado para funcionar como capacitor cuja capacitância de junção varia com a tensão de polarização inversa.

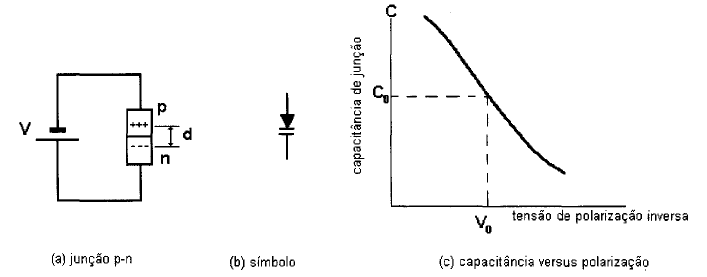


Figura 3: Varicap. CARVALHO, MUNIZ, R. Comunicações Analógicas e Digitais: 1. ed. São Paulo: Editora LTC, 2007.

Com o varicap polarizado inversamente há separação de cargas na junção p-n. Quanto maior a tensão de polarização inversa, maior a separação das cargas e menor a capacitância de junção. Polarizando-se o varicap em um ponto conveniente pode-se ter, para pequenas variações de tensão *x(t)* em torno da tensão de polarização , variação aproximadamente linear da capacitância de junção.

A frequência de oscilação é então:

Para variação relativamente pequena da capacitância (*kx(t)* << ), pode-se usar a aproximação (válida para x << 1).

com

A *Figura 4* ilustra um modulador FM pelo processo direto descrito anteriormente.

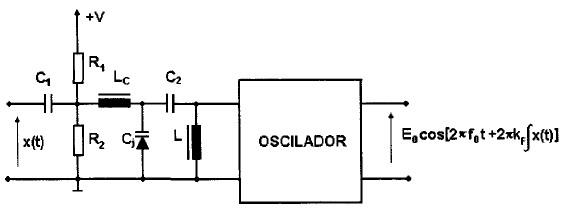


Figura 4: Modulador FM pelo processo direto. CARVALHO, MUNIZ, R. Comunicações Analógicas e Digitais: 1. ed. São Paulo: Editora LTC, 2007.

e são capacitores de acoplamento – bloqueiam a passagem de corrente contínua sem afetar os sinais de banda base e de RF - apresenta baixa impedância para a menor frequência do espectro de , e apresenta baixa impedância na frequência da portadora. é um indutor de bloqueio de RF – apresenta baixa impedância na frequência mais alta do espectro de e alta impedância na frequência da portadora – desacoplando entre si os circuitos de banda base e de RF. O Varicap é polarizado inversamente com a tensão e a tensão total aplicada sobre ele, , faz sua capacitância de junção variar em torno de . A capacitância equivalente da associação em série de e é, para muito maior que , e varia de forma aproximadamente linear com *x(t).* Com isso, a frequência instantânea varia de forma aproximadamente linear com o sinal modulador *x(t).*

A principal vantagem desse circuito é a sua simplicidade. Deve-se observar, no entanto, que a frequência central pode variar devido à variação da capacitância do varicap com a temperatura e o envelhecimento do componente, o que reque correção por meio de um circuito de controle automático de frequência (CAF).

Para realização do experimento, monte o circuito abaixo da *Figura 5*.

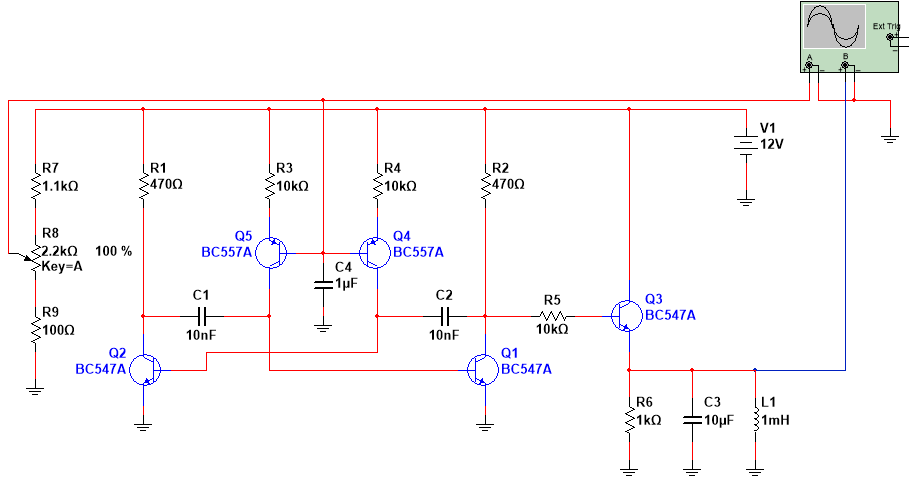


Figura 5: Circuito modulação FM, utilizando potenciômetro.

No circuito apresentado acima, procuramos obter uma relação frequência instantânea *f(t)* versus a tensão *v(t)* o mais linear possível, variando a frequência pelo potenciômetro utilizado no sistema. O modulador de frequência pode ser obtido com um oscilador controlado por tensão (VCO – Voltage Controlled Oscillator). No lugar da capacitância usa-se um varicap – um diodo estaria realizando a função similar ao capacitor, para que a capacitância de junção possa variar com a tensão de polarização inversa. Com o varicap polarizado inversamente há separação de cargas na junção p-n. Quanto maior a tensão de polarização inversa, maior a separação das cargas e menor a capacitância de junção.

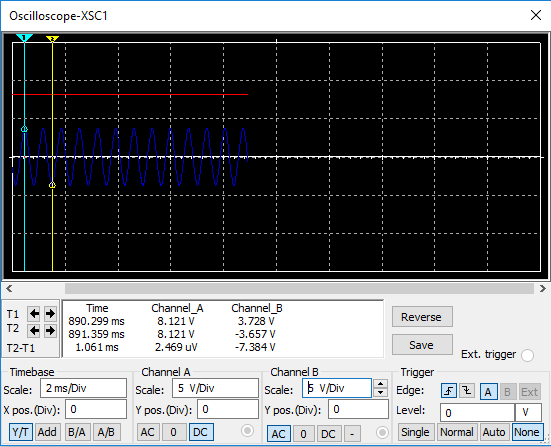


Figura 6: Modulação variando o potenciômetro.

Podemos observar com a *Figura 6*, que ao ficar variando o potenciômetro, geramos uma senoide através da saída VCO do sistema.

VCO – Voltage Controlled Oscillator. Um oscilador controlado por tensão é um oscilador com um sinal de saída cuja saída pode variar em uma faixa, que é controlada pela tensão DC de entrada. É um oscilador cuja frequência de saída está diretamente relacionada à tensão na sua entrada. A frequência de oscilação varia de poucos hertz a centenas de GHz. Ao variar a tensão DC de entrada, a frequência de saída do sinal produzido é ajustada.

Troque o potenciômetro por um gerador de funções no circuito da *Figura 7* para obter sinal de informação.

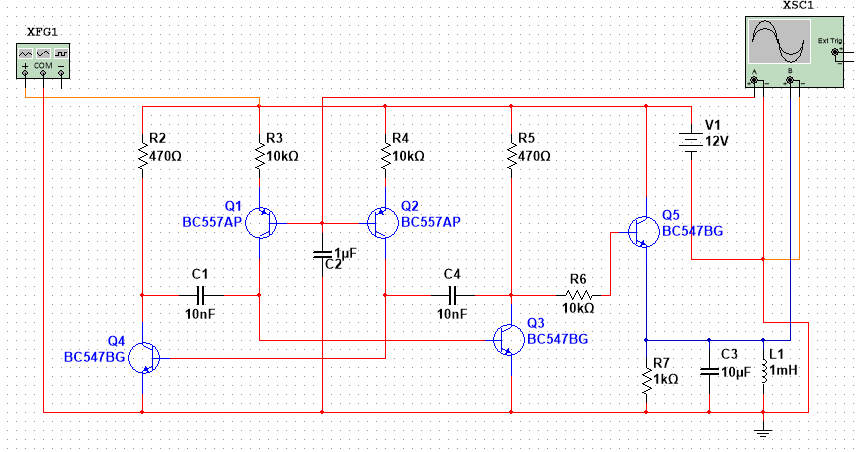


Figura 7: Circuito utilizando gerador de função.

Ajuste a frequência do gerador e a amplitude até localizar o ponto de ótima operação utilizando o osciloscópio.

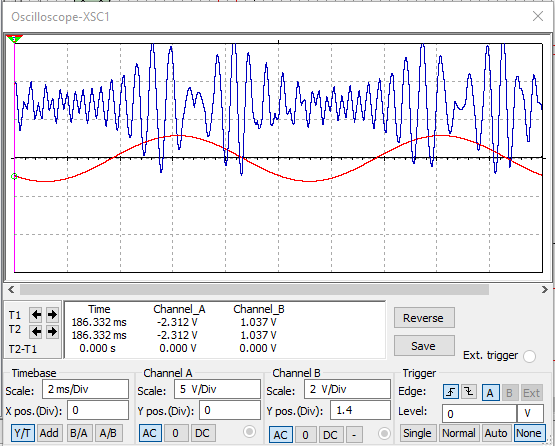


Figura 8: Variando o gerador de função para análise das regiões F1 e F2.

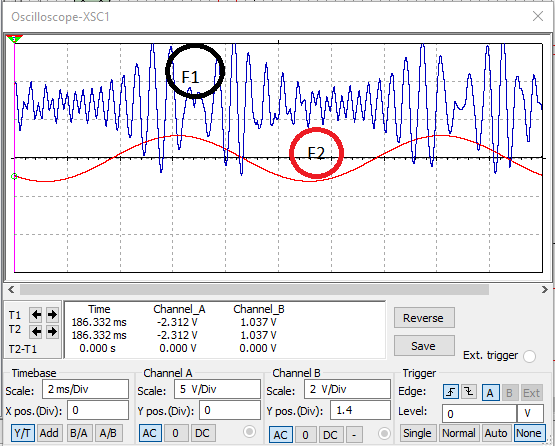


Figura 9: Regiões F1 e F2.

A *Figura 9*, mostra as regiões F1 e F2 da simulação do circuito com gerador de função. Podemos observar que devido ao ruído ter prejudicado achar o ponto de ótima operação, esse foi o melhor ponto para análise a qual podemos observar que na região F1 encontramos pontos com menos variação de frequência e na região F2 encontramos ponto com mais variação de frequência conforme era esperado na modulação FM.

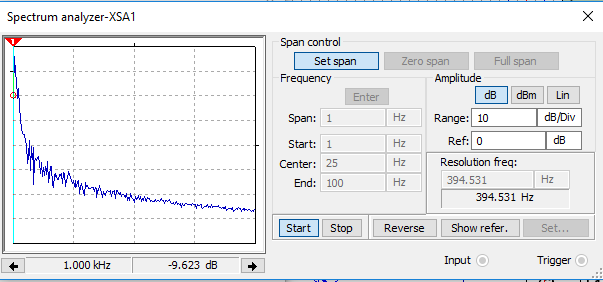


Figura 10: Analise o espalhamento espectral deste circuito com o analisador de espectro.

O resultado da Figura 10 era o esperado o decaimento mesmo com a baixa frequência gerada no circuito.

Conclusão

Com base nas figuras do experimento de modulação FM, realizando a simulação pelo software Multisim, alguns problemas surgiram com ruídos no circuito e ocorreu dificultando no encontro do ponto de ótimo visualização para identificação das regiões F1 e F2. Ao encontrar um ponto ajustando o gerador de função, podemos observar os pontos com maior variação de frequência e o de menor variação de frequência e com isto validando o circuito com o uso do VCO para modulação FM.

Referências

CARVALHO, MUNIZ, R. Comunicações Analógicas e Digitais: 1. ed. São Paulo: Editora LTC, 2007.

BOYLESTAD, ROBERT, L; NASHELSKY, LOUIS. Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos: 11. ed. São Paulo: Editora Pearson, 2013.

PRINCÍPIOS DE COMUNICAÇÃO. Disponível em: < http://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariaeletrica/optoeletronica/lab-6-2015.pdf>. Acesso em: 05 dez. 2018.

VOLTAGE CONTROLLED OSCILLATOR. Disponível em: < https://www.elprocus.com/voltage-controlled-oscillator-working-application/>. Acesso em: 5 dez. 2018.

MODULAÇÃO EM FREQUÊNCIA. Disponível em: < tele1.dee.fct.unl.pt/it\_2014\_2015/folhas/4\_folhas\_fm.pdf/>. Acesso em: 5 dez. 2018.