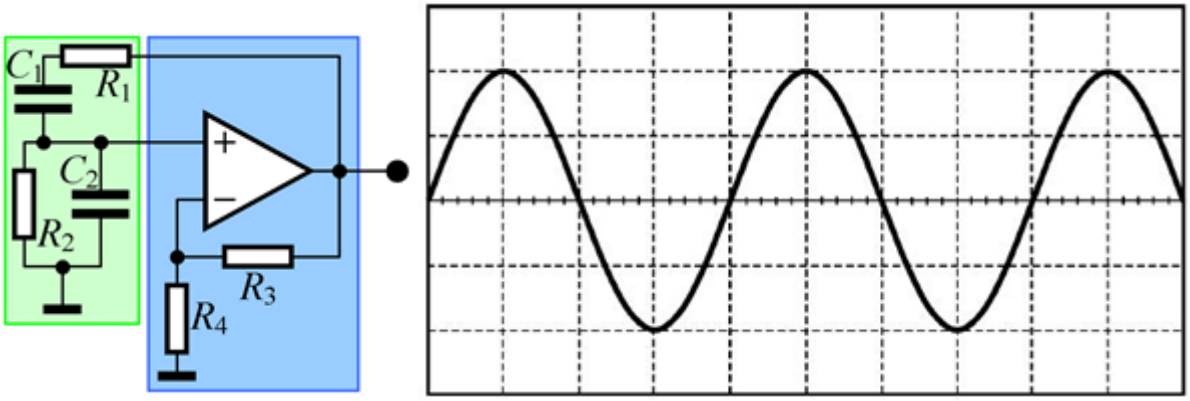
UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

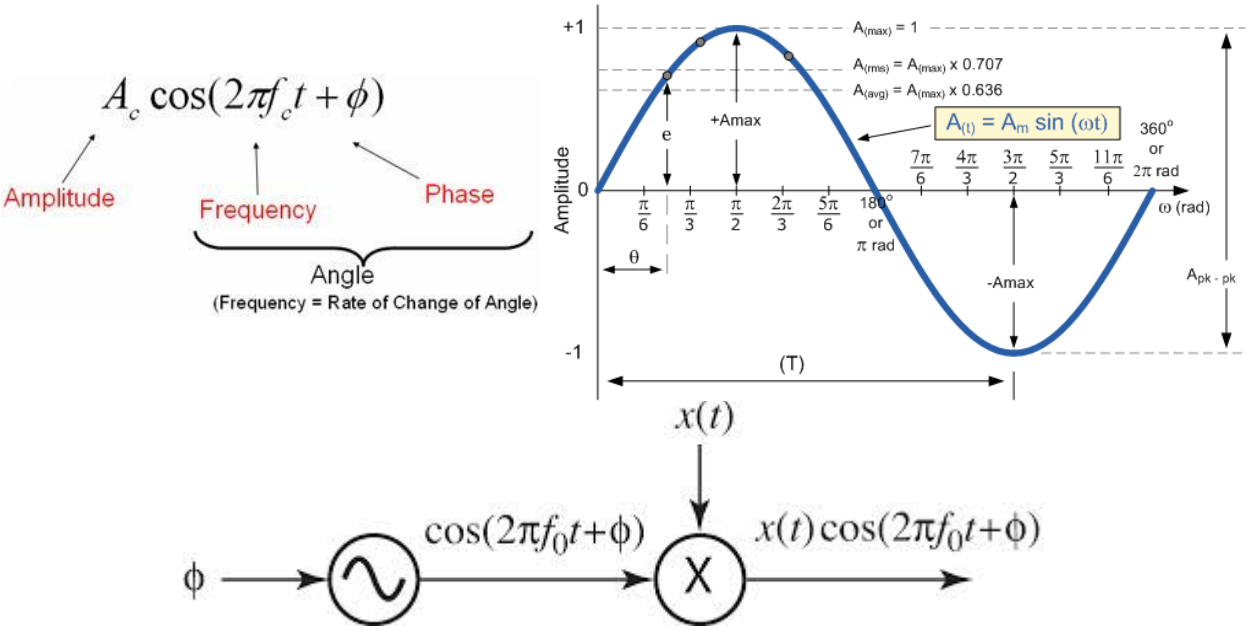
LABORATÓRIO DE ELETRÔNICA

Experimento #3

OSCILADORES SENOIDAIS

Osciladores senoidais com amplificadores operacionais





LABORATÓRIO DE ELETRÔNICA

Guia de Experimentos

EXPERIMENTO #3

INTRODUÇÃO

Aplicações com amplificadores operacionais

Objetivos Gerais

Este experimento tem como objetivo a montagem e verificação das condições de oscilação [***Barkhausen***] para circuitos osciladores senoidais utilizando amplificadores operacionais. Durante a montagem o aluno deve fazer observações das características dos osciladores projetados [*frequência, amplitude, distorção e estabilidade*].

Os experimentos de laboratório aqui apresentados tem a finalidade de implementar e verificar a funcionalidade dos osciladores senoidais por deslocamento de fase e tipo *Ponte de Wien* com controle automático de amplitude.

Objetivos Específicos

Após completar estas atividades de laboratório, o aluno deverá estar apto a:

1. Projetar um oscilador senoidal por deslocamento de fase.
2. Projetar um circuito oscilador tipo *Ponte de Wien* com controle automático de amplitude.
3. Compreender o mecanismo de estabilização da amplitude das oscilações, utilizando circuitos de estabilização de amplitude com diodos.
4. Gerar uma onda quadrada e triangular a partir de onda senoidal.

Amplificador Operacional – Osciladores Senoidais

O amplificador operacional, abreviadamente *AmpOp*, é um dos componentes eletrônicos mais versáteis atualmente ao dispor dos projetistas de circuitos.

Os osciladores senoidais são circuitos de larga aplicabilidade em diversos tipos de equipamentos eletrônicos.

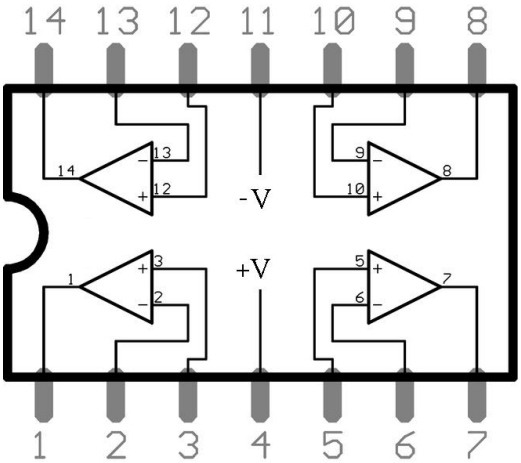
Osciladores senoidais são circuitos capazes de gerar um sinal de saída sem a necessidade de um sinal de entrada com o uso de realimentação positiva.

Um oscilador eletrônico pode ser visto como um conversor de tensão contínua para alternada, ou seja, alimentado por uma fonte DC produz em sua saída um sinal AC sem a necessidade de qualquer entrada. Osciladores são circuitos que produzem sinal alternado (AC) a partir de um sinal contínuo (DC), ou seja, são circuitos capazes de converter energia de uma forma DC para AC.

Os osciladores senoidais são circuitos de larga aplicação em projetos relacionados com a eletrônica analógica, como por exemplo, nos geradores de sinais, moduladores, demoduladores, misturadores e instrumentos musicais eletrônicos. Estes circuitos são muito utilizados como parte integrante em transmissores e receptores de rádio, telefonia celular, televisão, radiocontrole e conversores de energia (DC-AC). São circuitos básicos com diversas aplicações em telecomunicações, sendo usados como fonte geradora de sinal [**portadora**] para a modulação de sinais [**moduladores AM/FM/PM**], translação de freqüências [**misturadores**], **multiplicadores de freqüência** e **analisadores de espectro**.

Neste experimento deve ser montado um oscilador senoidal por deslocamento de fase e um oscilador senoidal tipo Ponte de Wien com controle automático de amplitude e verificação da sua funcionalidade.

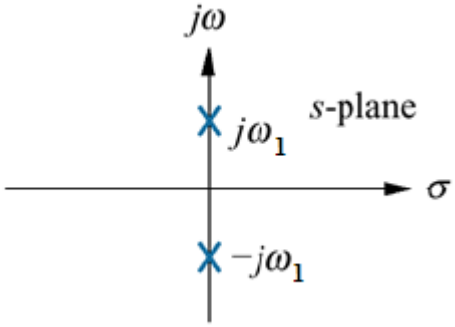
PARTE EXPERIMENTAL



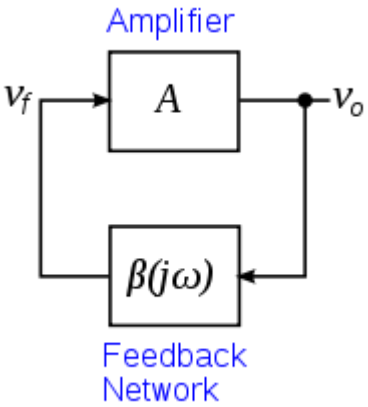
Amplificador Operacional - TL084/TL074/LM324

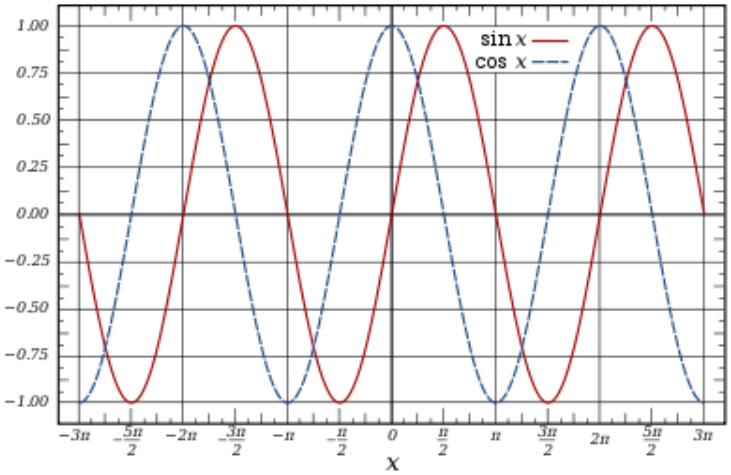
Um oscilador senoidal é um circuito eletrônico constituído por um amplificador realimentado, para o qual um sinal de saída senoidal é obtido como resposta a um degrau provocado pela ligação da(s) fontes de alimentação do amplificador. Para assegurar que tais oscilações ocorram, os pólos correspondentes ao sistema em malha fechada (as raízes da equação característica do sistema) devem estar posicionados sobre o eixo imaginário do plano s.

$$\sin(\omega_1 t) \Leftrightarrow \frac{\omega_1}{s^2+\omega_1^2}$$



Localização dos pólos para um sinal senoidal





QUESTÕES

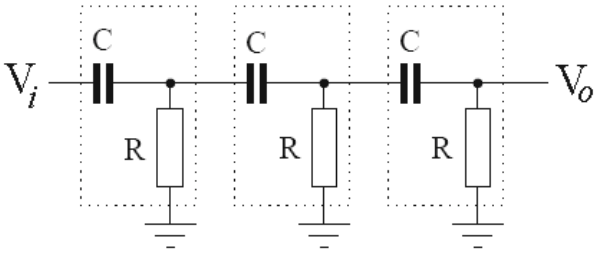
a) Explique o princípio de funcionamento para cada uma das montagens dos circuitos osciladores senoidais mostrados a seguir.
b) Determine teoricamente e experimentalmente as ***condições de Barkhausen***, ganho e frequência de oscilação para cada montagem deste experimento.
c) Meça as tensões em todos os nós dos circuitos propostos e relacione-os com os valores teóricos esperados.
d) Sugira aplicações para as montagens realizadas.

MONTAGENS EXPERIMENTAIS

Montagem 1 OSCILADOR POR DESLOCAMENTO DE FASE TRÊS SECÇÕES

Oscilador por deslocamento de fase é o termo dado a uma classe de circuitos osciladores cuja topologia usa uma rede RC na malha de realimentação de um transistor ou amplificador operacional para gerar a necessária mudança de fase em uma freqüência particular para sustentar oscilações.

Eles são moderadamente estáveis na freqüência e amplitude e muito fácil de projetar e construir.



$$H(s) = \frac{s^3\tau^3}{s^3\tau^3 + 6s^2\tau^2 + 5s\tau + 1}$$

$$H(s) = \frac{V_o}{V_i} \qquad \tau = RC$$

$$\beta = 29 \qquad f_0 = \frac{1}{2\pi RC\sqrt{6}}$$

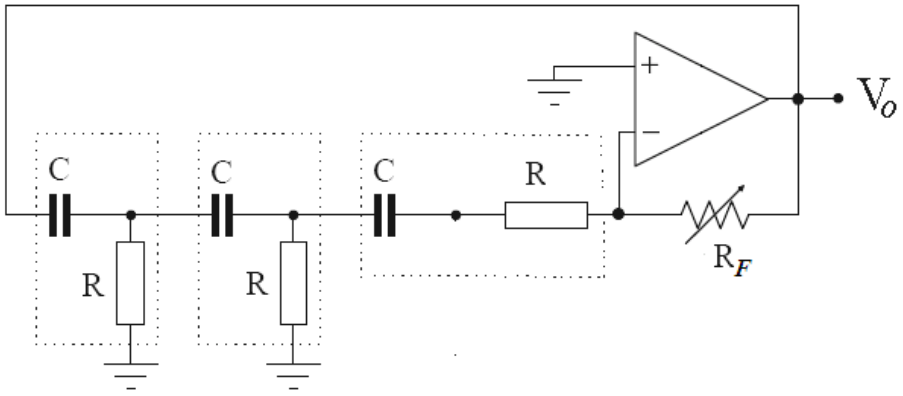
Aplique os critérios de *Barkhausen* e determine o valor do ganho mínimo necessário para que o circuito da figura 1A oscile.

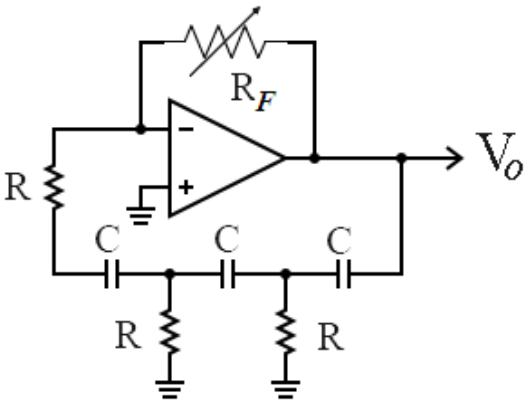
Monte o circuito da figura 1A. Ajuste o potenciômetro até obter um sinal senoidal na saída (determine teoricamente qual é essa posição do potenciômetro).

Meça a frequência de oscilação e o ganho do amplificador inversor. Compare os valores medidos com os valores teóricos esperados.

Considere R=10kΩ, R_F=500kΩ (potenciômetro) e C=10nF.

Observe que para um ganho de 29 vezes o valor de R_F deve ser igual a R_F=290kΩ.





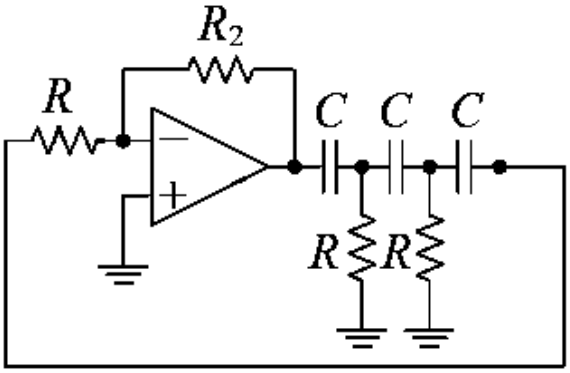


Figura 1A – Oscilador Senoidal por deslocamento de fase

Monte o circuito da figura 1B. Ajuste o potenciômetro até obter um sinal senoidal na saída. Compare a estabilidade do sinal na saída com a obtida na montagem da figura 1A.

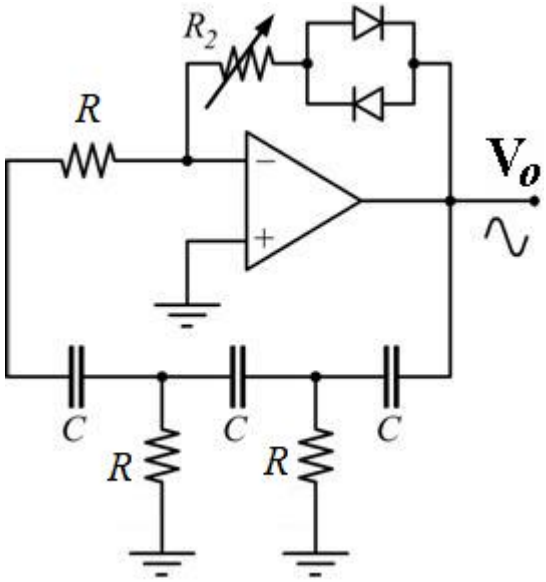
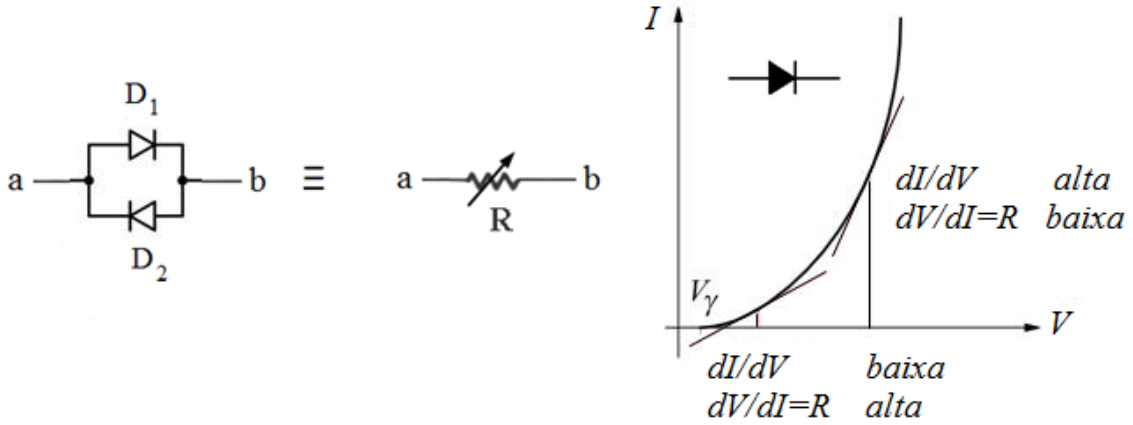


Figura 1B – Oscilador Senoidal por deslocamento de fase
Controle automático de ganho

Observe que os diodos mostrados no circuito da figura 1B operam como resistores não lineares em série com a resistência R_2. Dessa forma, quando a amplitude do sinal de saída tende a aumentar a resistência equivalente do diodo R diminui fazendo com que o ganho do amplificador inversor diminua restabelecendo a amplitude inicial e vice-versa, ou seja, quando a amplitude do sinal na saída diminuir a resistência equivalente do diodo R aumenta fazendo com que o ganho do amplificador inversor aumente restabelecendo a amplitude inicial.

Em resumo, observa-se que a resistência não linear do diodo varia em função da tensão aplicada sobre o mesmo alterando o ganho do amplificador inversor.



Montagem 2 OSCILADOR POR DESLOCAMENTO DE FASE DUAS SECÇÕES

Aplique os critérios de *Barkhausen* e determine o valor do ganho mínimo necessário para que o circuito da figura 2 oscile.

Monte o circuito da figura 2. Ajuste o potenciômetro R_F até que a oscilação senoidal apareça em V_1, satisfazendo a condição de *Barkhausen*. Meça a frequência de oscilação e compare com o valor teórico esperado.

R=10kΩ C=10nF R_F= 47kΩ.

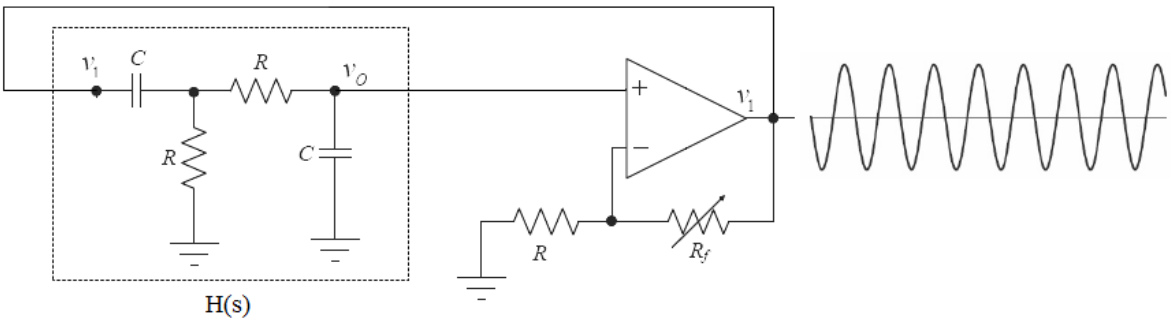


Figura 2 – Oscilador Senoidal por deslocamento de fase – Ganho não inversor

$$H(s) = \frac{v_0(s)}{v_1(s)} \qquad \boxed{H(s) = \frac{sCR}{(sCR)^2 + 3RCs + 1}}$$

$$\beta = 3 \qquad f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$$

Montagem 3 OSCILADOR PONTE DE WIEN

O objetivo desta montagem é implementar um oscilador senoidal tipo *Ponte de Wien* e verificar a sua funcionalidade.

Escreva as equações para o oscilador *Ponte de Wien* mostrado na figura 3. Determine a frequência de oscilação e a relação necessária entre R_B e R_A para que o circuito satisfaça as condições de *Barkhausen* e oscile.

Escreva a equação para todos os nós do circuito mostrado na figura 3.

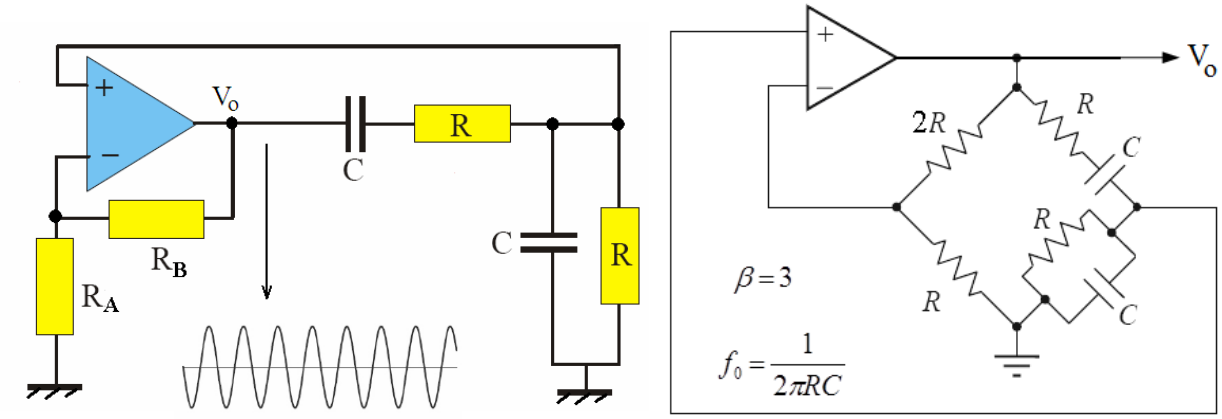


Figura 3 – *Oscilador senoidal Ponte de Wien*

O circuito mostrado na figura 4 representa a parte determinante da frequência de operação de um oscilador *ponte de Wien*. Determine H(s) e trace os gráficos para amplitude e fase em função da frequência (Diagramas de Bode).

Os gráficos mostrados na figura 4 são representativos da função de transferência H(s). Com a montagem da figura 4 é possível observar experimentalmente o comportamento da função de transferência H(s).

Monte o circuito da figura 4. Aplique um sinal senoidal na entrada e observe os sinais de entrada e saída simultaneamente com o osciloscópio. Inicie o experimento aplicando um sinal com amplitude de 10V e com frequência inferior a frequência central do filtro *fo*. Varie apenas a frequência do sinal de entrada, mantendo a amplitude constante, e observe em que frequência ocorre a saída máxima correspondente a frequência central do filtro.

Compare os valores medidos (frequência e amplitude) com os valores teóricos esperados. R=10 kΩ e C=10nF.

Deve-se observar que na frequência *fo* o sinal deve estar em fase com a entrada e atenuado de 1/3 com relação a amplitude do sinal aplicado na entrada. Portanto, acrescentado um amplificador não inversor (considerando que o sinal já esta em fase) com ganho de 3 vezes e aplicando a realimentação positiva consegue-se a oscilação desejada.

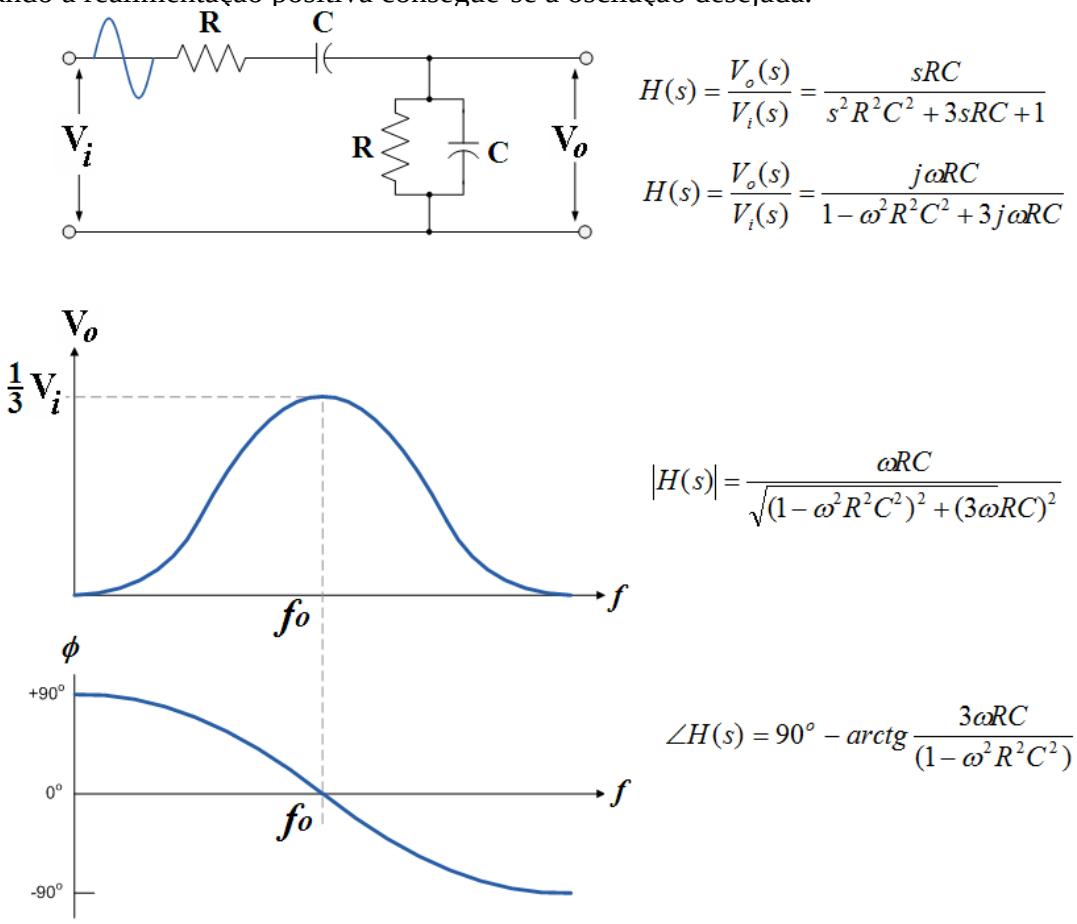


Figura 4 – Malha de realimentação da Ponte de Wien

Complete o circuito da figura 4 para que se torne um oscilador senoidal tipo ponte de Wien, conforme mostrado na figura 6.

CONTROLE AUTOMÁTICO DE AMPLITUDE

Um problema que pode ocorrer com osciladores senoidais é a possibilidade do mesmo deixar de oscilar em virtude dos *pólos* se deslocarem para a direita ou esquerda do eixo imaginário. Como consequência desses deslocamentos dos *pólos* deve-se evitar que a amplitude na saída aumente até atingir a saturação ou diminua até o decaimento. Uma maneira de evitar isto é adicionando-se um circuito de controle de amplitude que impede este crescimento ou decaimento.

Substitua R_A e R_B por resistores e um par de diodos conforme a configuração mostrada na figura 5. Considerando que, a resistência de um diodo varia em função da intensidade da corrente que circula pelo mesmo, a associação de um resistor em paralelo com um par de diodos, comporta-se como uma resistência variável $\mathbf{R_X}$, cujo valor varia em função da tensão aplicada nos terminais do conjunto *diodo-resistência*.

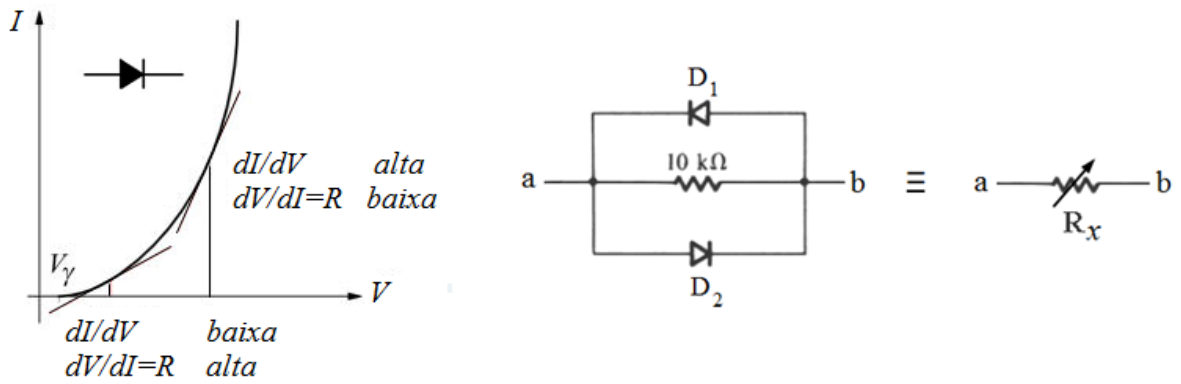


Figura 5 – Circuito de controle da amplitude

Neste caso quando a tensão na saída $\mathbf{V_o}$ tende a aumentar a resistência equivalente $\mathbf{R_X}$ tende a diminuir provocando uma diminuição do ganho determinado pela malha de realimentação negativa do circuito. Esta característica do diodo contribui para estabilizar a amplitude do sinal na saída do oscilador, evitando que atinja a região de saturação.

Monte o circuito da figura 6. Ajuste o potenciômetro até obter um sinal senoidal na saída (*condição de Barkhausen,* ou seja, $R_B = 2R_A$).

Meça a frequência de oscilação. Compare os valores medidos com os valores teóricos esperados. R=3k3, C=10nF e P=47kΩ (*potenciômetro*).

Meça o valor da frequência de oscilação. Observe a funcionalidade dos diodos no controle da amplitude da oscilação verificando a estabilização da amplitude do sinal senoidal na saída do oscilador sem a necessidade de ajuste manual.

Oscilador Senoidal com controle de amplitude

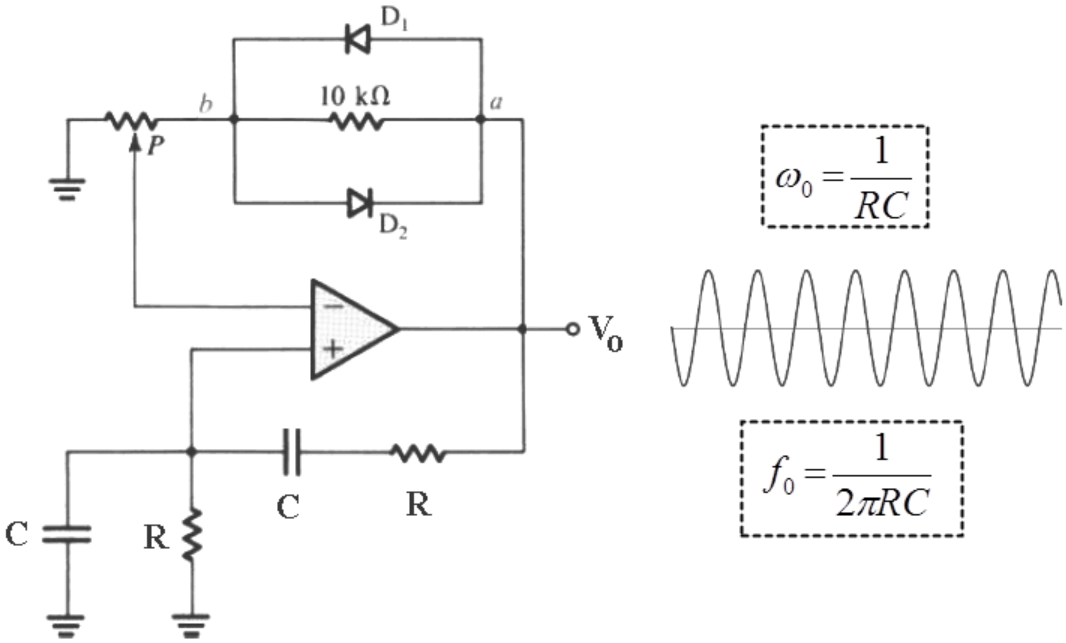


Figura 6 – Oscilador Ponte de Wien com controle automático de amplitude

Observe que o circuito de controle de amplitude mostrado na Figura 5 pode ser aplicado aos outros osciladores montados anteriormente, proporcionando aos mesmos, um *controle automático de ganho*.

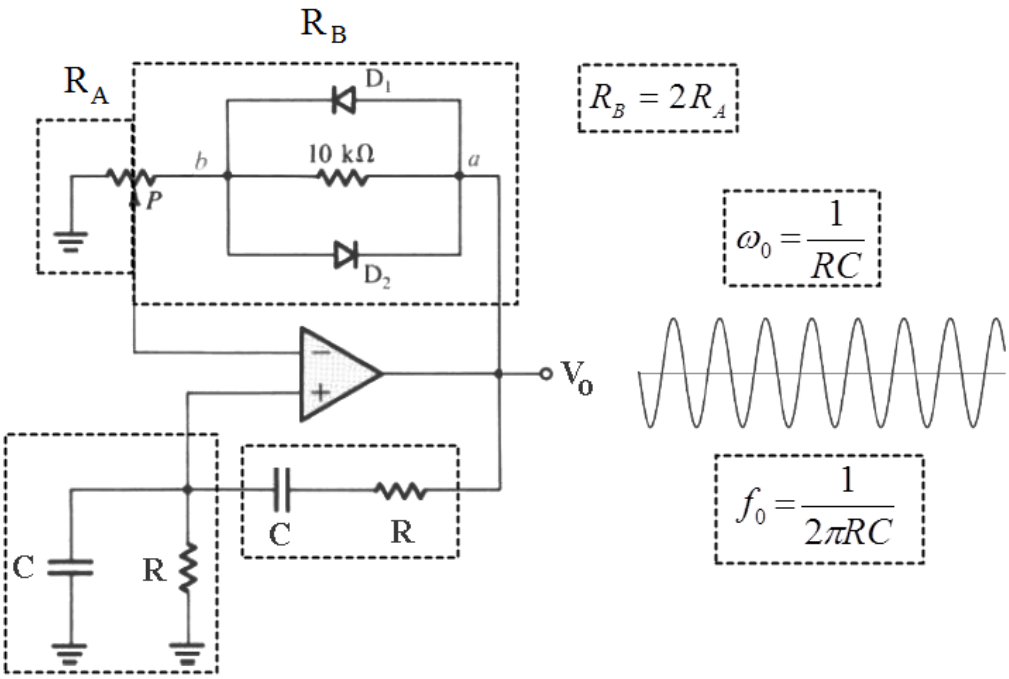
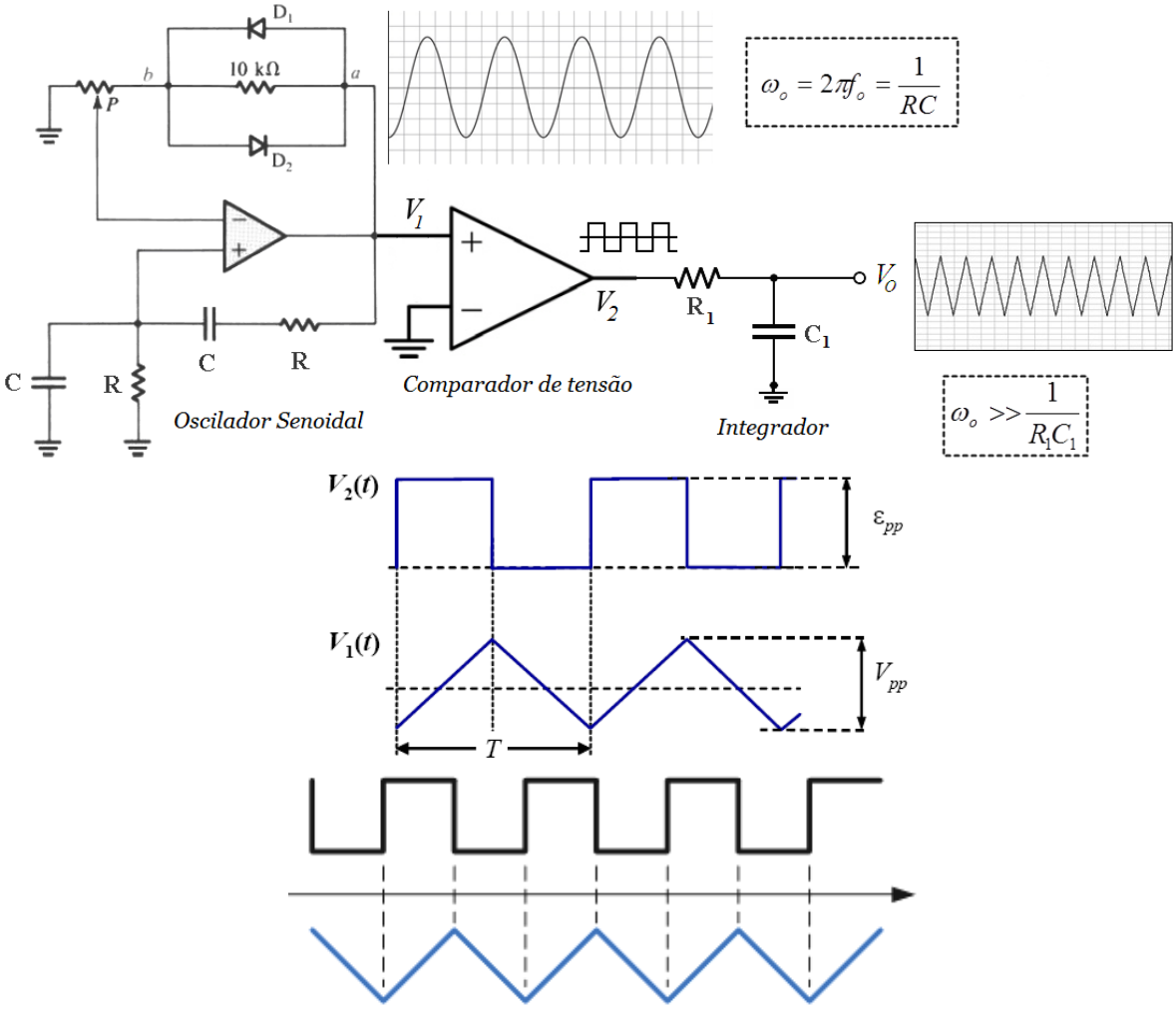


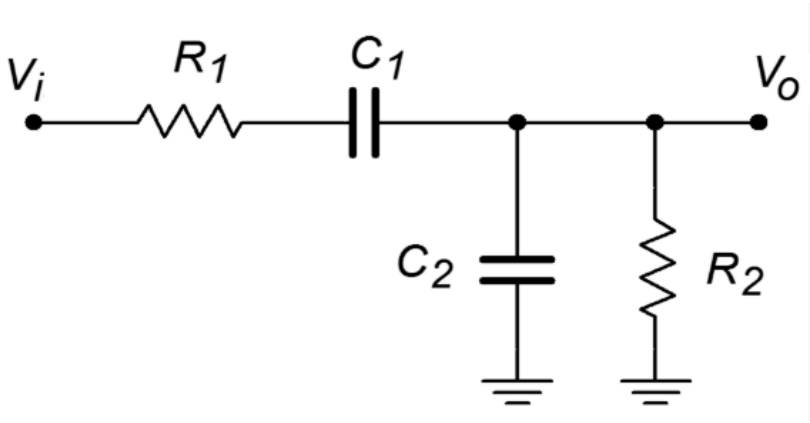
Figura 6A – Oscilador Ponte de Wien com controle automático de amplitude

Gerador de Sinais. Complete o circuito da figura 6 conectando na sua saída V_0 um circuito comparador de tensão e em seguida um circuito integrador, respectivamente, para obtenção de uma ***onda quadrada*** e uma ***onda triangular*** de mesma frequência.

$$R_1 = 10k\Omega \qquad C_1 = 100nF$$



OSCILADOR PONTE DE WIEN



$$\beta = \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2}$$

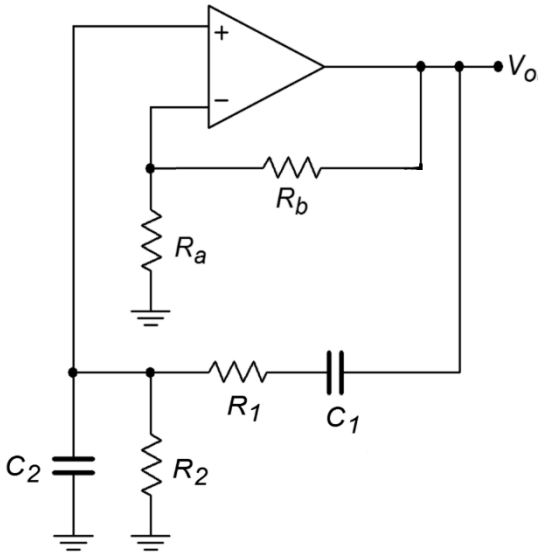
$$Z_1 = R_1 - jX_{C1}$$

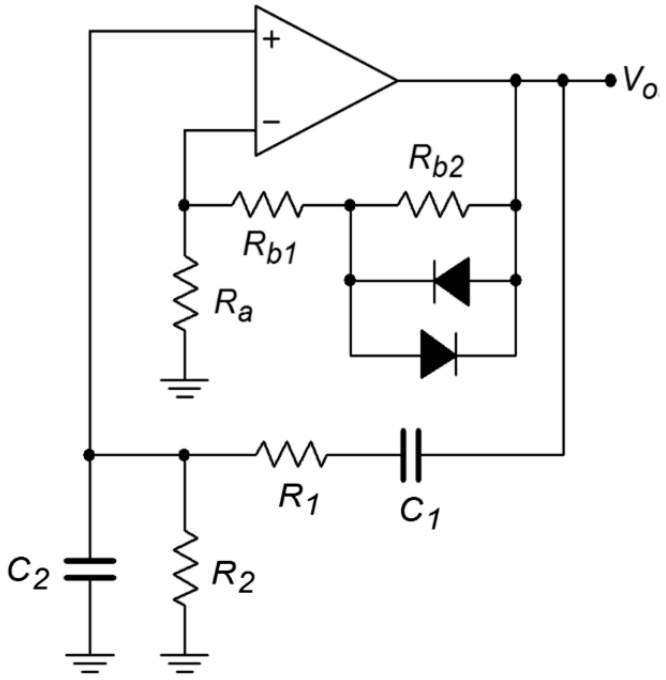
$$Z_2 = R_2 \parallel -jX_{C2}$$

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}}$$

$$\beta = \frac{R_2}{R_2\left(1 + \frac{C_2}{C_1}\right) + R_1 + j\left(\omega R_1 R_2 C_2 - \frac{1}{\omega C_1}\right)}$$

$$\beta = \frac{R_2}{R_2\left(1 + \frac{C_2}{C_1}\right) + R_1}$$

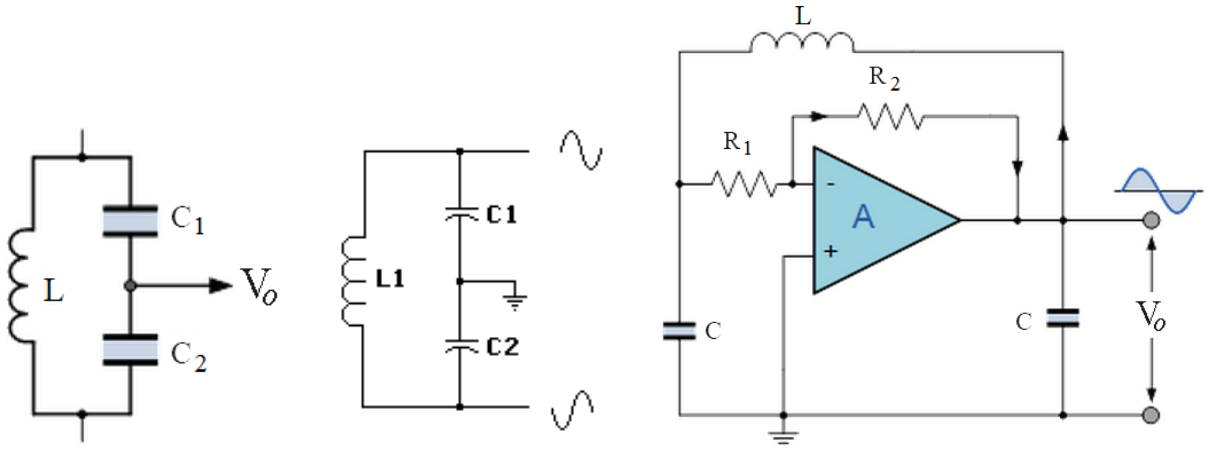




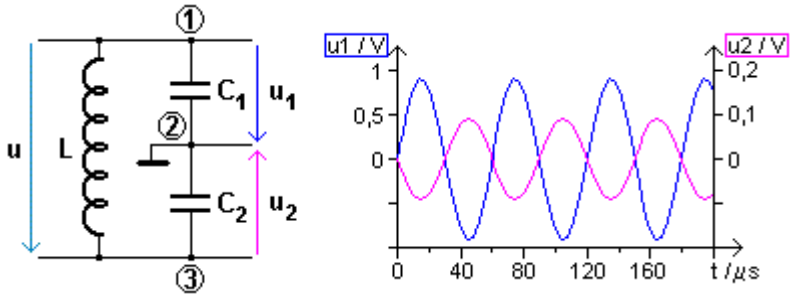
Controle Automático de Ganho

QUESTÕES

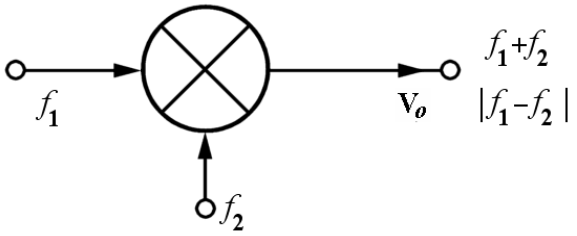
(A) Indique *sistemas eletrônicos* na qual os *osciladores senoidais* são considerados circuitos essenciais.
(B) Como você usaria *osciladores senoidais* para gerar formas de ondas arbitrarias (*Fourier*)?
(C) Qual a importância dos *osciladores senoidais* nos sistemas de comunicações?
(D) Descreva como são usados os *osciladores senoidais* para gerar sinais ASK, FSK e PSK ?
(E) Como você modificaria o circuito da montagem 2 para adequá-lo com *controle automático de ganho* ?
(F) Sugira um circuito oscilador senoidal cuja frequência dependa da intensidade de luz sobre um fotoresistor (LDR), ou seja, um oscilador senoidal modulado pela intensidade luminosa incidente.
(G) Em que aplicações os *osciladores Colpitts LC* são mais adequados quando comparados com os *osciladores por deslocamento de fase RC*.
(H) O *oscilador Colpitts* usa um divisor de tensão capacitivo na sua malha de realimentação. Identifique no *oscilador Colpitts* mostrado na figura a seguir os elementos responsáveis pelo *ganho e pela frequência*.

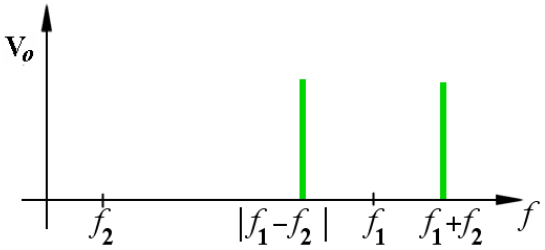


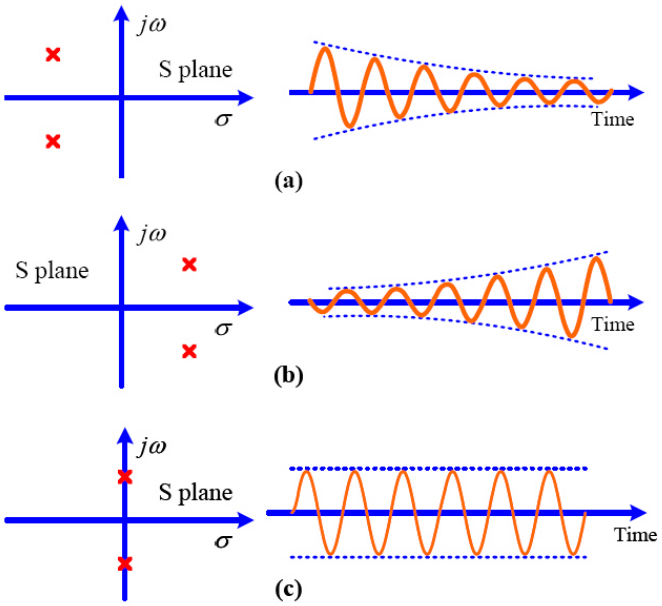
Divisor capacitivo & Oscilador Colpitts



Misturador (Mixer)





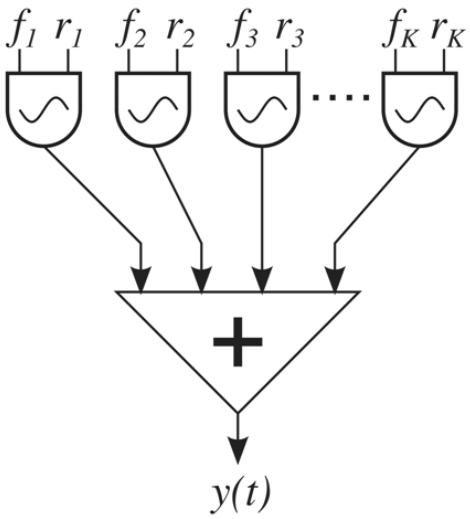


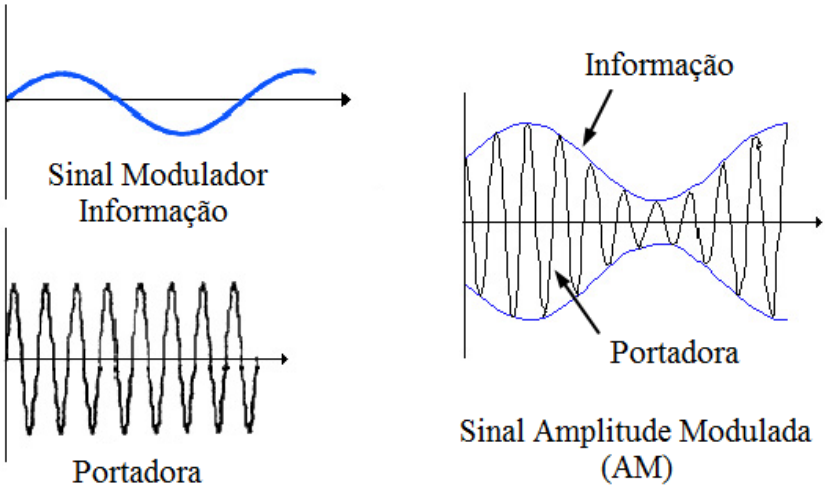
Deslocamento dos pólos

Aplicações com o uso de sinais senoidais

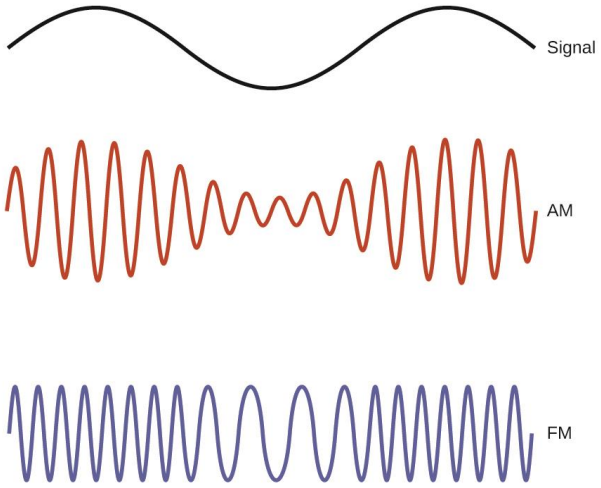
Síntese de sinais

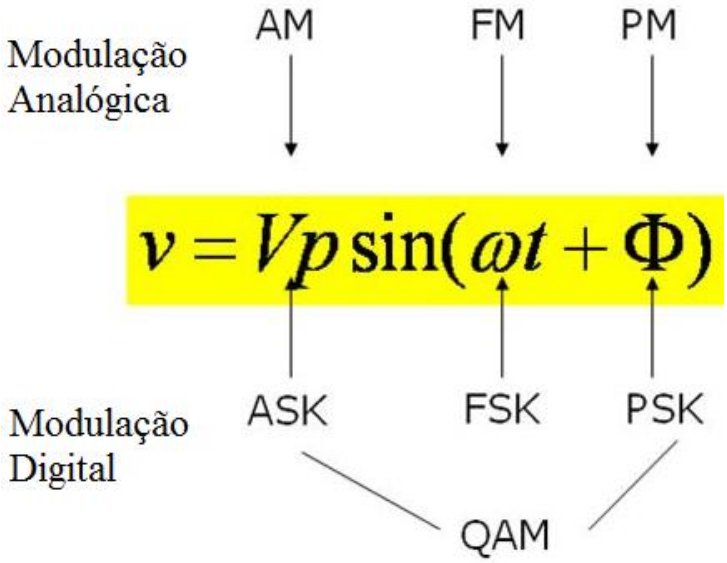
*O diagrama a seguir ilustra como um conjunto de senoides com frequências **f** e amplitudes **r** podem ser adicionadas para a obtenção de sinais complexos.*



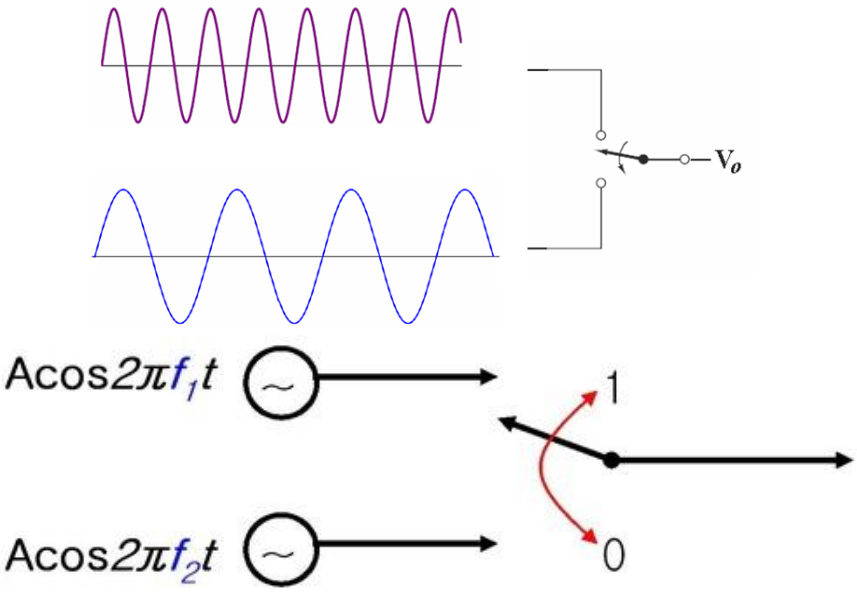


Modulação em Amplitude (AM) e Frequência (FM)

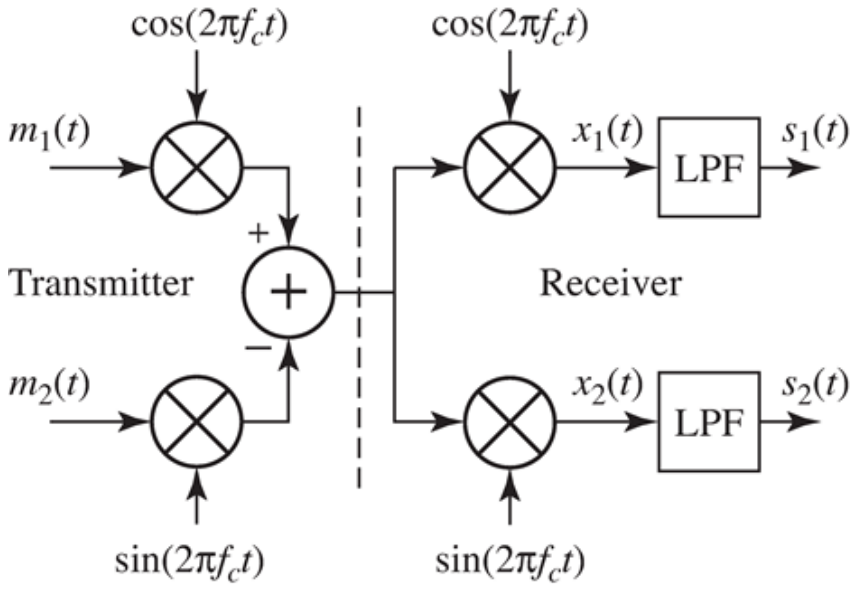


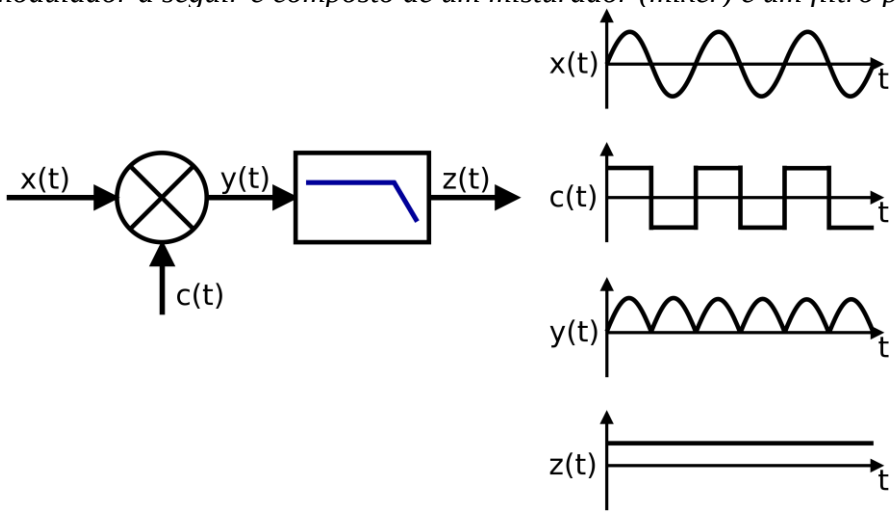


FSK - *Frequency Shift Keying*



Modulação em quadratura



Demodulador AM

O demodulador a seguir é composto de um misturador (mixer) e um filtro passa baixa.