

## CAPÍTULO 9

### OSCILADORES TRANSISTORIZADOS

#### INTRODUÇÃO

Os osciladores são dispositivos cuja função principal é transformar energia CC aplicada, em energia AC.

Para que haja essa transformação é necessário que parte do sinal de saída retorne à entrada de forma adequada, ou seja, é necessário que haja uma realimentação positiva (regeneração).

Além da necessidade de uma realimentação positiva, devem ser incorporados ao circuito oscilador a transistor, elementos determinantes da frequência e as necessárias tensões CC de polarização.

O transistor atua como uma chave e conduz periodicamente, sempre que a energia é realimentada desde o circuito sintonizado, a fim de manter as oscilações do circuito tanque.

Para determinar a frequência de operação do oscilador, podem ser incorporados ao circuito, conjuntos indutância-capacitância, um cristal ou ainda uma rede resistiva-capacitiva.

As tensões de polarização para o oscilador são as mesmas necessárias para um amplificador a transistor.

Um fator de suma importância é a estabilização do ponto "Q" do oscilador a transistor, pois a instabilidade da operação CC afetará consideravelmente a amplitude do sinal de saída, a forma de onda e ainda a estabilidade de frequência.

Os osciladores são usados para uma infinidade de aplicações, sendo as mais comuns o osciloscópio, o gerador de frequência variável, o injetor de sinais, a televisão, o rádio-transmissor, o receptor, o radar, o sonar etc.

Antes de estudarmos os osciladores eletrônicos, recordaremos os princípios básicos da oscilação.

#### PRINCÍPIOS DE OSCILAÇÃO

##### Oscilação mecânica

Todo equipamento que recebe ou transmite energia possui um dispositivo oscilador. O exemplo mais clássico de oscilação

mecânica é o pêndulo do relógio. Ele oscila mecanicamente de um lado para o outro com intervalos de tempo iguais, afastando-se do ponto central (ou de repouso) igualmente para os dois lados.

A figura 9-1 ilustra o movimento do pêndulo mediante uma onda senoidal.

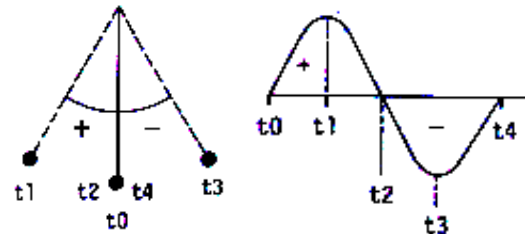


Figura 9-1 Movimento de um pêndulo simples

Por convenção dizemos que os movimentos à esquerda são positivos e à direita negativos. Esse movimento se manterá constante enquanto houver corda no relógio e se faltar corda o pêndulo inicialmente diminuirá a distância do ponto central até parar.

Como vimos na figura 9-1 o movimento do pêndulo pode ser comparado com uma onda senoidal. No caso da falta de corda do relógio a onda senoidal será uma "onda amortecida", como mostra a figura 9-2.

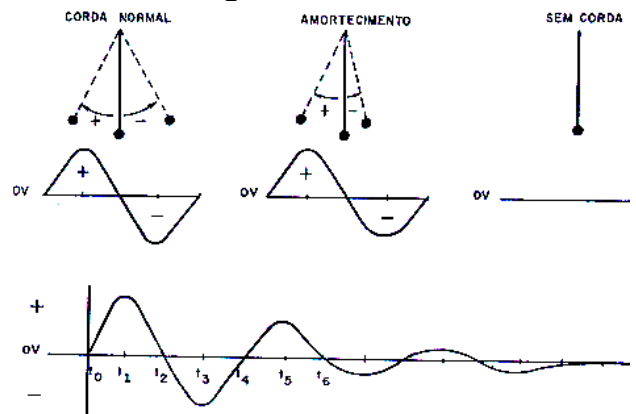


Figura 9-2 Formas de onda do pêndulo

A onda amortecida é uma onda senoidal, mas a amplitude dos ciclos sucessivos vai diminuindo gradativamente, porém, os intervalos de tempo se mantêm constantes, como pode ser visto na figura 9-2.

Se quisermos evitar o amortecimento da onda senoidal ou a parada do movimento

devemos adicionar mais energia ao sistema. No caso do relógio, dar mais corda antes que o mesmo pare definitivamente.

### Oscilação eletrônica

Como foi dito anteriormente o oscilador eletrônico transforma a energia CC em energia CA. Para que haja essa transformação é necessário que parte do sinal de saída retorne à entrada de forma adequada, ou seja, é necessário que haja uma realimentação positiva.

O transistor funciona como uma chave e conduz periodicamente sempre que a energia é realimentada desde o circuito sintonizado, a fim de manter as oscilações do circuito tanque.

Para obtenção da frequência de operação do oscilador podem ser incorporados ao circuito, conjuntos indutância-capacitância, um cristal ou ainda uma rede resistiva capacitiva. As tensões de polarização para o oscilador são as mesmas necessárias para um amplificador a transistor.

Um fator muito importante no projeto de osciladores é a estabilização do ponto "Q" do circuito, pois a instabilidade de operação CC afetará a amplitude do sinal de saída bem como a sua frequência. Os circuitos osciladores são largamente usados em radiocomunicação e em eletrônica industrial.

### Tanques ressonantes

A oscilação eletrônica é feita por um circuito que consiste de uma bobina e um capacitor ligados em paralelo.

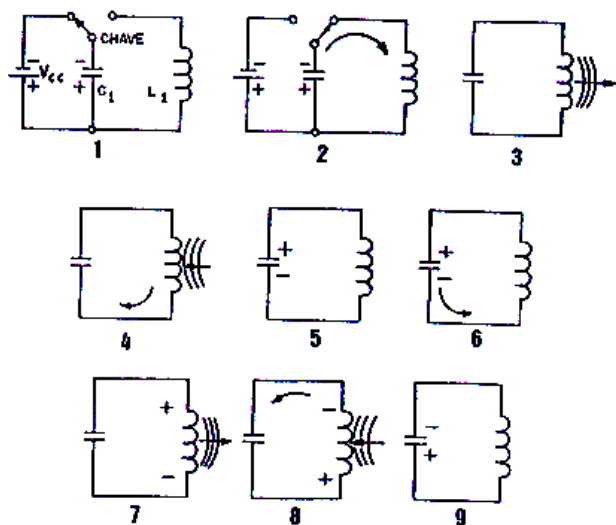


Figura 9-3 Funcionamento do circuito oscilador

### Funcionamento

Para entendermos como a oscilação se processa, consideremos o que ocorre ao se carregar o capacitor da figura 9-3.

- 1º Passo – O capacitor  $C_1$  se carrega com o valor de  $V_{CC}$ , com a polaridade indicada.
- 2º Passo – O capacitor  $C_1$  se descarrega sobre o indutor  $L_1$ .
- 3º Passo – A energia está agora acumulada no indutor, em forma de campo magnético.
- 4º Passo –  $L_1$  induz uma corrente no mesmo sentido mostrado no segundo passo.
- 5º Passo – O capacitor  $C_1$  se carrega com polaridade contrária à do segundo passo.
- 6º Passo – O capacitor se descarrega sobre  $L_1$  com corrente oposta à do segundo passo.
- 7º Passo – A energia está novamente acumulada em  $L_1$  em forma de campo magnético.
- 8º Passo – O indutor induz uma corrente no mesmo sentido do passo 6.
- 9º Passo – O capacitor  $C_1$  fica carregado novamente conforme o passo 1.

Se o capacitor e o indutor fossem ideais (sem perdas), esse processo continuaria indefinidamente, mas na prática não é isso o que ocorre, pois o indutor e o capacitor apresentam uma resistência a qual dissipa parte do sinal em forma de calor, havendo portanto a necessidade de ligar a chave novamente na bateria, a fim de carregar mais uma vez o capacitor  $C_1$  compensando a referida perda de energia.

### REQUISITOS DO CIRCUITO OSCILADOR

#### Amplificador

O circuito oscilador é basicamente um amplificador que sofre uma realimentação, ou seja, para gerar uma energia CA, uma porção da energia de saída do amplificador a transistor deve ser retornada ao circuito de entrada, com uma correta relação de fase, para dar uma

realimentação regenerativa com a energia de entrada.

A energia enviada à carga será a energia de saída ( $E_s$ ) menos a energia de realimentação ( $E_r$ ):

$$E_c = E_s - E_r$$

A potência de realimentação ( $E_r$ ) não é a potência de saída, pois a rede de alimentação age como um atenuador, causando perdas no sinal realimentado.

Na figura 9-4 temos o diagrama bloco do oscilador, com as potências  $E_c$ ,  $E_s$  e  $E_r$  e o resistor de realimentação.

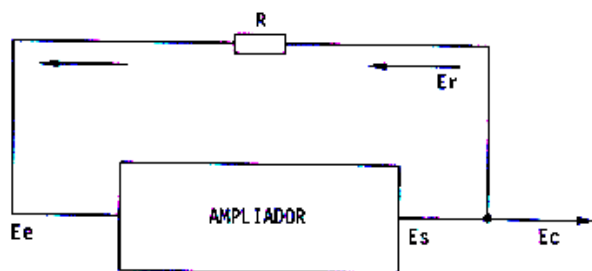


Figura 9-4 Representação em bloco do oscilador

Como citado anteriormente o resistor “R” simula um atenuador para o sinal realimentado.

Se o oscilador necessita, para seu funcionamento de um sinal de entrada ( $E_e$ ) de 2 mW, sendo a perda na rede de realimentação de 1 mW, a potência do sinal de realimentação deverá ser, no mínimo de 3 mW, ou seja:

$$E_e = E_r - \text{perdas}$$

Quando a potência no amplificador é menor que a unidade, ocorrem oscilações amortecidas que vão se tornando cada vez menores até desaparecerem completamente.

Por exemplo, suponhamos que não haja atenuação do sinal realimentado e que o ganho de potência do amplificador seja 0,9.

Para um sinal de entrada de 1mW, a potência de saída do primeiro pulso seria de 0,9 mW. Se toda essa potência fosse realimentada para a entrada e fosse amplificada, a potência do segundo pulso seria de 0,81 mW.

Realimentando essa potência para a entrada, teríamos um pulso de 0,73 mW na saída, e assim sucessivamente. Como vemos, o

resultado seria um sinal de saída cada vez menor. Concluindo, para manter a oscilação, o fator de ganho de potência do amplificador deve ser maior que a unidade.

## CIRCUITOS OSCILADORES BÁSICOS

### Oscilador Armstrong

O oscilador Armstrong é o mais simples dos osciladores a transistor. Seu circuito é mostrado na figura 9-5

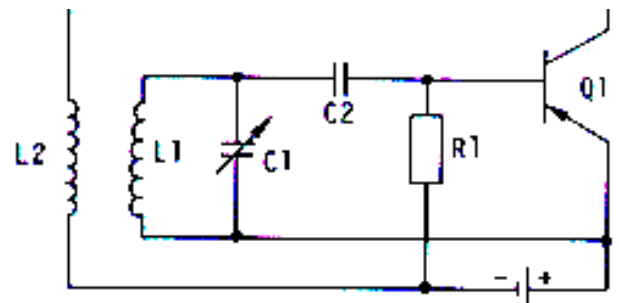


Figura 9-5 Oscilador Armstrong

Estando o circuito energizado, qualquer pequena variação na corrente de emissor é ampliada por  $Q_1$  e aparece no coletor com uma variação maior.

A variação de corrente através da bobina de coletor ( $L_2$ ) gera um campo magnético, que é induzido em  $L_1$ . Essa tensão variável é acoplada por  $C_2$  à base de  $Q_1$ , onde é ampliada.

Essa tensão ampliada é novamente aplicada à bobina  $L_2$  que por sua vez a induz em  $L_1$  e assim, sucessivamente.

Este ciclo continuará até que a tensão induzida em  $L_1$  seja suficientemente grande para tornar a base de  $Q_1$  positiva em relação ao emissor. Quando isso ocorre a junção base-emissor fica polarizada inversamente e  $Q_1$  entra em corte. O campo magnético nas bobinas torna-se agora estacionário e não há mais tensão induzida em  $L_1$ .

O capacitor  $C_2$  que se carregou com a tensão induzida, se descarrega através de  $R_1$ . Tão logo se tenha descarregado até um valor suficientemente baixo, que permita ao transistor conduzir novamente, o ciclo de operação se repete.

$R_1$  e  $C_2$  são selecionados para dar uma constante de tempo que forneça tensão de polarização suficiente para manter  $Q_1$

inoperante durante quase todo ciclo exceto nos picos negativos da tensão de entrada.

A frequência de oscilação é determinada por  $L_1$  e  $C_1$  e  $L_2$  é a bobina de realimentação.

$R_1$  fornece passagem para a corrente de polarização e  $C_2$  acopla o sinal para o circuito de base e bloqueia a componente CC do mesmo.

A frequência de oscilação do tanque ressonante é calculada pela seguinte fórmula:

$$F_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{Lc}} = \frac{0,159}{\sqrt{Lc}}$$

### Oscilador Hartley

Neste circuito a realimentação é obtida através de uma indutância e temos osciladores desse tipo, alimentados em série e em paralelo. Essas alimentações se referem ao método de obtenção da polarização de coletor.

No circuito alimentado em série a corrente constante e a variável passam pelo circuito tanque.

A figura 9-6 mostra o oscilador Hartley

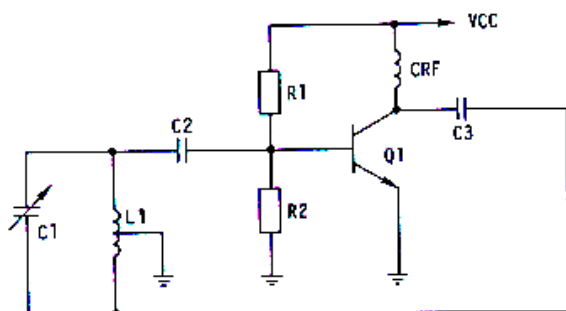


Figura 9-6 Oscilador Hartley

Ao aplicarmos energia ao circuito flui uma corrente instantânea através de  $Q_1$  que é acoplada por  $C_3$  à parte inferior de  $L_1$ . Esta parte de  $L_1$  gera um campo magnético e induz uma tensão na parte superior da mesma, fazendo com que a parte superior do tanque fique positiva.

Isso faz com que a polarização direta da junção base-emissor aumente, fluindo então maior corrente, até que  $Q_1$  atinja a saturação. Neste ponto o capacitor  $C_1$  estará carregado com sua placa superior positiva e a parte inferior de  $L_1$  deixará de induzir tensão, uma vez que não haverá mais nenhuma corrente variável através dela.

A partir daí  $C_1$  começa a se descarregar e quando estiver totalmente descarregado, teremos a energia em forma de campo. Este campo por sua vez, induzirá uma corrente que irá carregar  $C_1$  novamente com polaridade oposta à anterior. Quando a tensão do tanque ultrapassar, em sentido oposto, a polarização base-emissor o transistor entrará em corte.

$C_1$  começará a se descarregar novamente e o transistor  $Q_1$  sairá do corte. Nesse ponto, com a descarga de  $C_1$ , a parte superior de  $L_1$  estará novamente menos negativa. Teremos então a repetição do ciclo.

O transistor conduz aproximadamente  $120^\circ$ , isto é, permanece em corte a maior parte do ciclo. Ele conduz somente no momento preciso, para repor energia, que é consumida pelos componentes do circuito.

No circuito da figura 9-6,  $C_1$  e  $L_1$  constituem o circuito tanque ressonante.

$R_1$  e  $R_2$  são os componentes que fornecem a polarização para o transistor  $Q_1$ .

O capacitor  $C_2$  bloqueia a CC e acopla as oscilações para  $Q_1$ , que por sua vez amplifica essas oscilações.

$C_3$  bloqueia a CC e acopla as variações para  $L_1$ .

O CRF é um “Choque de Radiofrequência” que serve para evitar que as oscilações atinjam a fonte CC.

$L_1$  (parte inferior) é a bobina de realimentação.

A fórmula para determinação da frequência de oscilação é a mesma usada para o oscilador Armstrong, ou seja:

$$F_o = \frac{0,159}{\sqrt{Lc}}$$

Isto, uma vez que o circuito tanque deste oscilador é constituído pelo conjunto  $L_C$ .

### Oscilador Colpitts

O oscilador Colpitts assemelha-se ao oscilador Hartley, alimentado em paralelo. A diferença está em que o Colpitts, ao invés de ter o conjunto de indutância dividida, para se obter a realimentação, usa um conjunto de capacitância dividida.

O oscilador Colpitts é mostrado na figura 9-7.

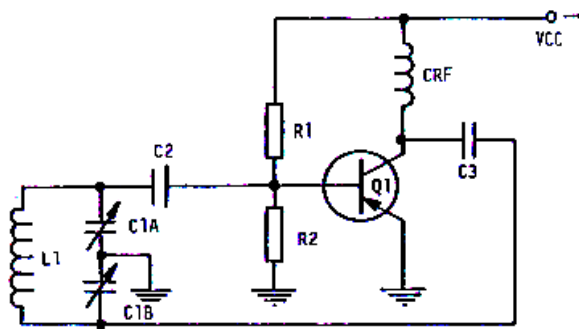


Figura 9-7 Oscilador Colpitts

Os resistores  $R_1$  e  $R_2$  dão a polarização ao transistor  $Q_1$ . O capacitor  $C_2$  bloqueia a componente CC do sinal e acopla as oscilações do tanque à base de  $Q_1$ , que por sua vez amplia essas oscilações.

$C_1B$  constitui o componente que realimenta o circuito tanque e  $C_3$ , além de bloquear a componente CC, acopla as variações do coletor  $Q_1$  ao circuito tanque que é formado por  $L_1$ ,  $C_1A$  e  $C_1B$ .

### Oscilador a cristal

Quando certos cristais são comprimidos ou expandidos em direções específicas, os mesmos geram cargas elétricas em suas superfícies. Este fenômeno é chamado de efeito piezoelétrico.

Se um cristal piezoelétrico, geralmente quartzo, possui eletrodos localizados nas faces opostas e se um potencial é aplicado entre esses eletrodos, serão exercidas forças que farão com que o cristal vibre mecanicamente num movimento de contração e expansão.

Estas vibrações é que darão origem ao aparecimento de cargas elétricas nas superfícies desses cristais.

Para oscilarem perfeitamente, os cristais devem ainda ser submetidos a um tratamento de laboratório, onde sofrerão um determinado tipo de corte, que é um dos fatores determinantes da frequência de oscilação.

### Tipos de cristais

Podemos dizer que a maioria dos cristais apresenta o efeito piezoelétrico, mas poucos são adequados para serem usados como equivalentes de circuitos sintonizados para fins de frequência.

Entre esses poucos cristais encontram-se o quartzo, o sal de Rochelle e a Turmalina.

Dos três tipos citados o sal de Rochelle é o que tem atividade piezoelétrica mais ativa, ou seja, gera uma maior quantidade de tensão por uma dada pressão mecânica. Estas substâncias, porém, são mecânica e eletricamente instáveis, o que as torna inadequadas para o controle de frequências em circuitos osciladores.

Normalmente, em circuitos osciladores o cristal usado é o quartzo, devido ao seu baixo custo, robustez mecânica e a pouca variação de frequência em função da temperatura.

É um dos materiais mais permanentes que se conhece, sendo quimicamente inerte e fisicamente resistente.

De todos os materiais encontrados é o mais satisfatório, embora sua faixa de operação esteja limitada entre 50 kHz e 50 MHz, ou seja, fora da faixa de áudio.

### Relação entre frequência, espessura e largura

A frequência de oscilação fundamental de um cristal depende da largura, da espessura e do tipo de corte do cristal. Quanto mais delgado for o cristal, mais elevada será a frequência de oscilação.

A frequência fundamental de oscilação é dada pela fórmula

$$F = \frac{K}{T}$$

onde: F – Frequência, em MHz;

K – Constante que depende do tipo de corte do cristal;

T – Espessura, que é dada em milésimos de polegada.

A fórmula anterior se refere à vibração com relação a espessura, porém podemos calcular a frequência de oscilação com relação a largura, para isso basta substituir na fórmula dada, a espessura (T) do cristal pela largura(W) do mesmo. De tal modo que temos:

$$F = \frac{K}{W}$$

onde: W é a largura em milésimos de polegada.



A tabela das constantes de frequência (K) para quatro diferentes tipos de cortes é dada a seguir.

CORTES	(K)
X	112,6
Y	77,2
AT	66,2
BT	100,7

Figura 9-8 Tabela dos valores de “K” em função do corte do cristal

### Circuito equivalente do cristal

Em sua frequência de ressonância o cristal comporta-se como um circuito sintonizado, no que se refere aos circuitos elétricos a ele associados. Portanto um cristal pode ser substituído por um circuito equivalente, o qual é mostrado na figura 9-9.

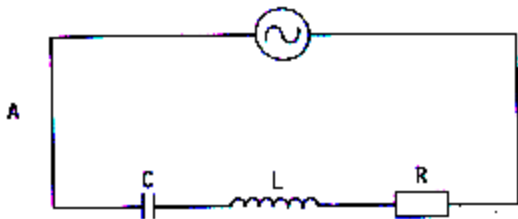


Figura 9-9 Circuito equivalente de um cristal sem placas

A figura 9-9 mostra um circuito equivalente de um cristal desprezando-se o efeito das placas que o envolverem.

A figura 9-10 mostra o circuito equivalente de um cristal colocado entre suas placas. Nesta figura vemos o aparecimento da capacitância “C” que representa a capacitância das placas.

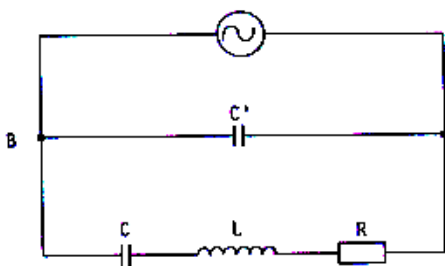


Figura 9-10 Circuito equivalente de um cristal entre as placas

### Circuitos osciladores a cristal

O oscilador Armstrong a cristal funciona de maneira semelhante ao oscilador Armstrong elementar.

Com a inserção do cristal na trajetória de realimentação, consegue-se um aumento na estabilidade da frequência de operação. O cristal é o elemento determinante da frequência de operação, de tal modo que para se obter frequências diferentes, outros cristais deverão ser usados.

A figura 9-11 mostra o oscilador Armstrong a cristal.

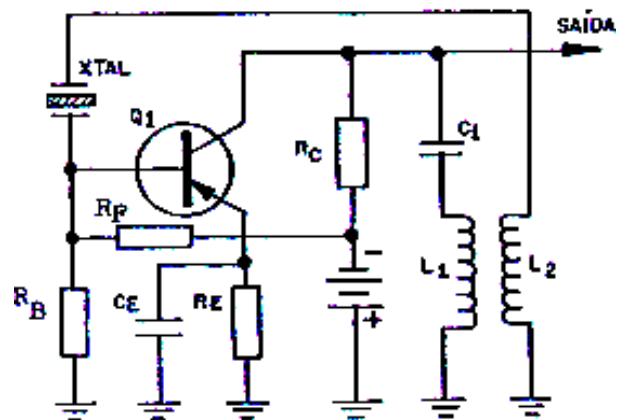


Figura 9-11 Circuito do oscilador Armstrong a cristal

Na figura 9-11 as bobinas  $L_1$  e  $L_2$  são responsáveis pela realimentação.

Os resistores  $R_B$ ,  $R_F$  e  $R_C$  fornecem a polarização ao transistor  $Q_1$ .

O resistor  $R_E$  é desacoplado pelo capacitor  $C_E$ , para tensões CA. A impedância do cristal aumenta fora da frequência de ressonância ou de operação, com isso tem-se uma redução na realimentação total, o que evita que o cristal oscile em outra frequência diferente daquela de ressonância.

### Oscilador Colpitts

A figura 9-12 mostra um oscilador a cristal na configuração base-comum com a realimentação fornecida do coletor para o emissor, através do capacitor  $C_1$ . Os resistores  $R_B$ ,  $R_C$  e  $R_F$  dão as condições adequadas de polarização para o circuito. O capacitor  $C_2$  desacopla o resistor  $R_B$  nas tensões CA.

A frequência de oscilação desse circuito não é determinada somente pelo cristal, mas

também pela capacitância em paralelo formada pelos capacitores  $C_1$  e  $C_E$ . Estes capacitores são normalmente grandes, a fim de reduzir as capacitâncias de entrada e de saída do transistor e assim tornas as oscilações independentes das mudanças dos parâmetros do transistor.

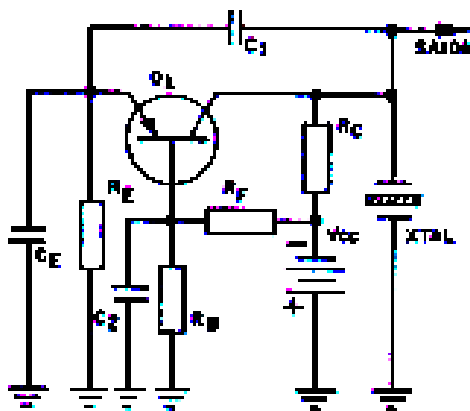


Figura 9-12 Circuito do oscilador Colpitts a cristal

## MULTIVIBRADOR ASTÁVEL

### Introdução

Com o desenvolvimento dos sistemas eletrônicos, houve a necessidade de se criar circuitos que operem ou que forneçam sinais não senoidais. Esses sinais podem ser definidos como variações momentâneas de tensão ou correntes. Estes sinais incluem tensões de onda quadrada, onda retangular ou pulsos.

O multivibrador é um circuito eletrônico capaz de produzir uma tensão de saída em forma de onda quadrada ou retangular. Estes sinais podem ser contínuos, como uma cadeia repetitiva de ondas quadradas ou simples pulsos produzidos em intervalos retangulares de tempo.

Existem diversos tipos de multivibradores, cada um elaborado para uma aplicação específica.

Os circuitos multivibradores são atualmente muito usados em receptores de TV, osciloscópios, computadores e sistemas digitais em geral.

### Circuito multivibrador astável

O circuito multivibrador astável é aquele que não necessita de pulsos de excitação na entrada, para o seu funcionamento. Basicamente o circuito é formado por dois transistores que

conduzem alternadamente. Enquanto um dos transistores é levado ao corte o outro é levado à saturação, pois o corte de um transistor produz um pulso que satura o outro.

Se todos os componentes do circuito fossem exatamente iguais e se os transistores conduzissem exatamente a mesma quantidade de corrente, na prática o circuito nunca oscilaria.

O início das oscilações dá-se devido ao fato de que na prática os elementos nunca são exatamente iguais.

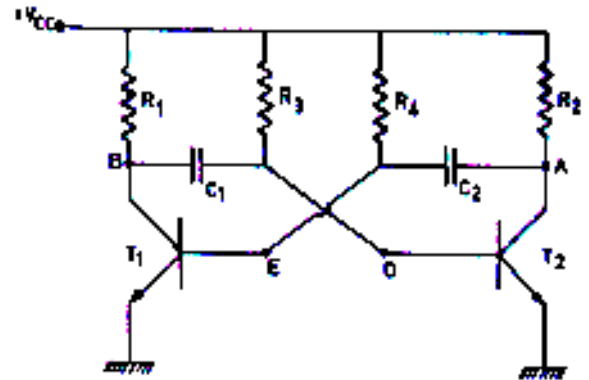


Figura 9-13 Multivibrador astável

### Funcionamento

Ao conectarmos ao circuito a fonte de alimentação  $V_{CC}$ , os capacitores  $C_1$  e  $C_2$  que estavam descarregados, começarão a se carregar através dos resistores  $R_1$  e  $R_2$  fechando-se o circuito através das bases de  $T_1$  e  $T_2$ . A figura 9-13 ilustra melhor esse processo.

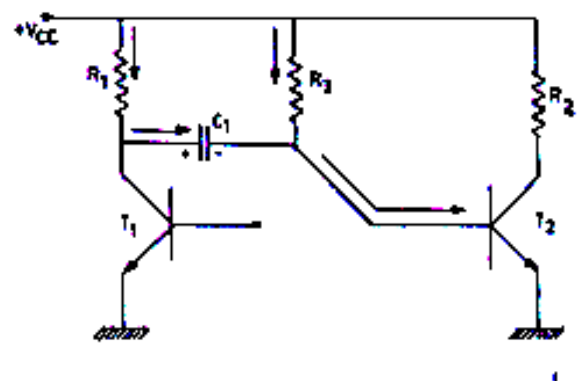


Figura 9-14 Circuito do multivibrador

Para que possamos compreender melhor o funcionamento do circuito, vamos estabelecer as seguintes condições:

a) Quando  $T_1$  ou  $T_2$  estiverem cortados, a tensão nos pontos A e B, será aproximadamente a da  $V_{CC}$ .

b) Quando  $T_1$  ou  $T_2$  estiverem saturados, a tensão nos pontos A ou B da figura 9-13 será aproximadamente 0,3 volts, recebendo a denominação de  $V_{CE}$  de saturação.

c) Quando  $T_1$  ou  $T_2$  estiverem cortados, a tensão  $V_{BE}$  de início de condução (0,6V), caracterizando o estado em que se encontram  $T_1$  e  $T_2$ .

d) Quando  $T_1$  ou  $T_2$  estiverem saturados, a tensão  $V_{BE}$  de  $T_1$  ou  $T_2$  será denominada  $V_{BE}$  de saturação, e seu valor 0,7V

De posse dessas condições, ficará mais simples descrevermos o comportamento do circuito apresentado.

Como ponto de partida, vamos considerar o instante " $t_0$ ", admitindo que nesse instante  $T_1$  esteja cortado e  $T_2$  saturado, logo teremos no ponto B da figura 9-13 uma tensão igual a  $V_{CC}$  e no ponto A igual a 0,3V.

Consideremos agora o estado do circuito após decorrido um tempo " $t$ ", ou seja:  $t = t_0 + t$ .

Ainda com relação às condições adotadas temos que o ponto A estará praticamente em terra (0,3V), logo,  $C_2$  se descarregará através do coletor de  $T_2$ ,

carregando-se em sentido contrário, agora através de  $R_4$  elevando desta maneira o potencial do ponto E, fazendo com que  $T_1$  que estava cortado, caminhe para a saturação.

$T_1$  indo para a saturação, leva  $T_2$  para o corte, dessa maneira o ponto B será de aproximadamente 0,3V (praticamente o ponto B estará em terra), e o capacitor  $C_1$  se descarregará pelo coletor de  $T_1$ , carregando-se agora em sentido contrário por  $R_3$ .

Desta forma o potencial do ponto D irá aumentar e  $T_2$  será levado à saturação fazendo com que  $T_1$  vá para o corte, estabelecendo-se assim um estado oscilatório.

A figura 9-15 mostra as formas de onda de saída do multivibrador astável.

Como principais características do multivibrador astável podemos citar:

- tem sua frequência de oscilação controlada pelas constantes de tempo de carga e descarga dos capacitores.
- a saída pode ser retirada de qualquer um dos coletores dos dois transistores usados.

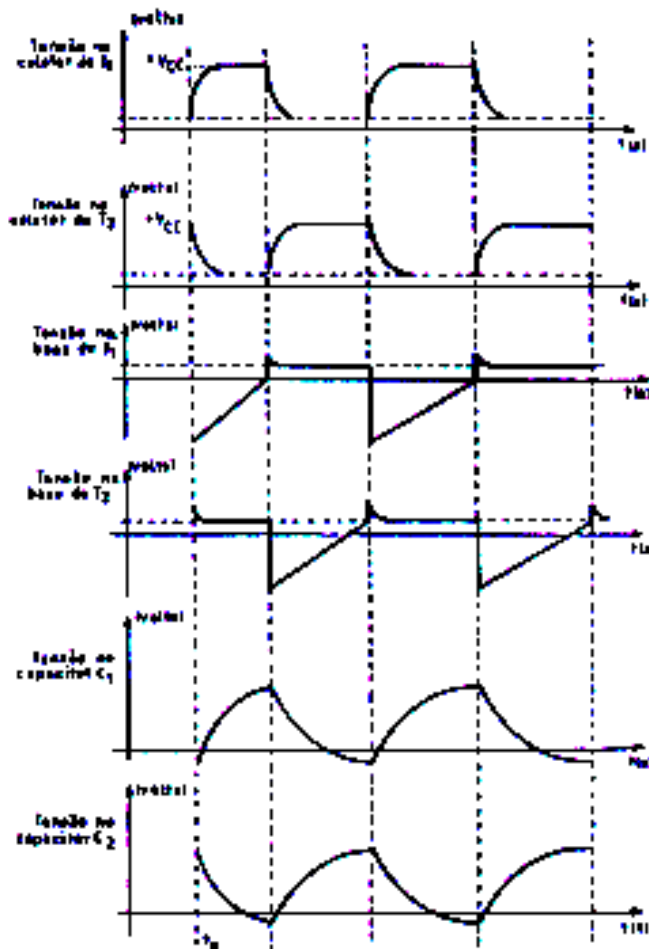


Figura 9-15 Formas de onda de saída do multivibrador astável