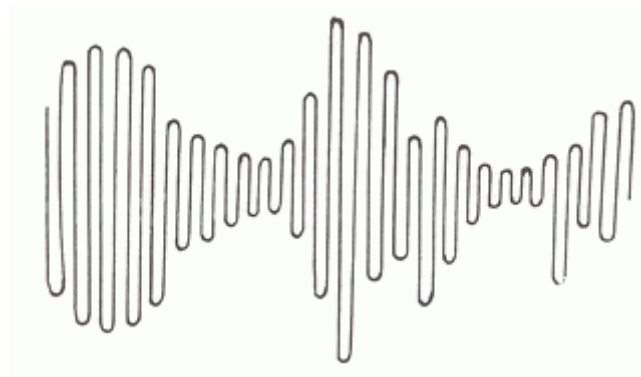


OSCILADORES

Prof. Engº Luiz Antonio Vargas Pinto
© 2000



	I		Oscilador de Bloqueio	8
			Oscilador de Deslocamento de Fase	10
			Oscilador de Duplo T	9
			Oscilador de modo paralelo	16
			Oscilador de Relaxação	12
			Oscilador Hartley	6
			Oscilador Pierce a cristal	16
			Osciladores á Cristal	13
	M			
Introdução		2		
	O			
Multivibrador Astável		11		
Oscilador Colpitts		7		

Introdução

Sons são produzidos, quando uma corrente elétrica que muda constantemente de sentido ou ainda sofre variações periódicas de intensidade, circula através de um transdutor apropriado, como por exemplo: a cápsula de um fone ou um autofalante.

Para que tenhamos sons audíveis a frequência desta corrente deve estar entre 15 e 15.000

Hertz aproximadamente, mas como existem animais que podem perceber frequências maiores o espectro de áudio não é limitado somente por estes valores.

Em eletrônica as frequências de faixa de áudio são aquelas que vão até aproximadamente 100.000 Hz, conforme mostra a figura 1.

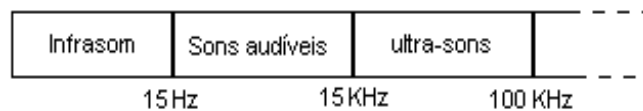


Figura 1

Por outro lado, para que tenhamos ondas de rádio ou ondas eletromagnéticas é preciso que correntes também variáveis de frequências que podem ir de algumas dezenas de KHz ou mesmo

mais baixas até bilhões de Hertz sejam aplicadas a uma antena. As frequências desta faixa formam o espectro das rádio frequências ou RF, conforme mostra a figura 2.



Figura 2

Com as divisões de radiofrequência determinadas pelas **FCC Federal Communications Commission**) temos atualmente:

	VLF
3 KHz a 14 KHz	Não alocado
14 KHz a 20 KHz	Comunicação embarcação-costa
20 KHz a 30 KHz	Sonar
	LF
30 KHz a 300KHz	Comunicação marítima
	OM
300KHz a 415 KHz	Navegação marítima
415 KHz a 490 KHz	Telegrafia
490 KHz a 510 KHz	Frequência internacional de emergência
535 KHz a 1,65 MHz	107 canais de 10 KHz AM
1,8 MHz a 2 MHz	Radioamadorismo faixa de 160m
2,85 MHz a 3,025 MHz	Rotas aéreas internacionais.
	HF (Ondas curtas)
3,5 MHz a 4 MHz	Radioamadorismo, faixa de 80 m
5,95 MHz a 6,2 MHz	Radiodifusão internacional de OC faixa de 49m

7 MHz a 7,3 MHz	Radioamadorismo, faixa de 40 m
9,5 MHz a 9,775 MHz	Radiodifusão internacional de OC, faixa de 31 m
11,7 MHz a 11,975 MHz	Radiodifusão internacional OC faixa de 25 m
13,36 MHz a 14 MHz	Faixa de uso industrial, científico e médico. Equipamentos de diatermia em 13,56 MHz \pm 0,05%
14 MHz a 14,25 MHz	Radioamadorismo, faixa de 20m
15,1 MHz a 15,45 MHz	Radiodifusão internacional OC faixa de 19 m
17,7 MHz a 17,9 MHz	Radiodifusão internacional OC faixa de 17 m
21 MHz a 21,45 MHz	Radioamadorismo faixa de 15m
21,45 MHz a 21,75 MHz	Radiodifusão internacional OC faixa de 14 m
25,6 MHz a 26,1 MHz	Radiodifusão internacional OC faixa de 11 m
26,96 MHz a 27,26 MHz	Faixa do cidadão, classe D com 23 canais alocados em portadoras de 26,965 MHz a 27,255 MHz, e KHz entre si.
28 MHz a 29,7 MHz	Radioamadorismo, faixa de 10 m
	VHF (Very High Frequencies)
30 MHz a 50 MHz	Radiodifusão de estações fixas, segurança pública (polícia, bombeiros, etc.)
50 MHz a 54 MHz	Radioamadorismo, faixa de 6 m
54 MHz a 72 MHz	Canais 2, 3 e 4 de televisão em VHF (6MHz cada)
72 MHz a 76 MHz	Serviços governamentais e não governamentais (radiofarol, por exemplo).
76 MHz a 88 MHz	Canais 5 e 6 de televisão em VHF
88 MHz a 108 MHz	Radiodifusão comercial de FM, dividida em 100 canais, com 200 KHz cada um.
108 MHz a 122 MHz	Navegação aeronáutica (controle de tráfego aéreo, nesta faixa e em 123,575 MHz a 128,825 MHz e também de 132,025 MHz a 136 MHz
144 MHz a 148 MHz	Radioamadorismo faixa de 2m
150,8 MHz a 162 MHz	Difusão de segurança pública (dentro desta faixa, de 156,25 MHz a 162 MHz encontram-se as comunicações de embarcações de recreação tais como lanchas, iates, etc.
162 MHz a 174 MHz	Serviços governamentais e não governamentais
174 MHz a 216 MHz	Canais 7 a 13 de televisão em VHF
220 MHz a 225 MHz	Proposta da Faixa do cidadão, classe E
225 MHz a 400 MHz	Aviação civil
	UHF (Ultra High Frequencies)
400 MHz a 402 MHz	Faixa de operações espaciais
406 MHz a 406,1 MHz	Faixa de satélite meteorológico
420 MHz a 450 MHz	Radioamadorismo
450 MHz a 470 MHz	Faixa do cidadão, classe A, com 16 canais
470 MHz a 806 MHz	Canais 14 a 69 de televisão em UHF (6MHz cada)
806 MHz a 890 MHz	Canais 70 a 83 de televisão em UHF, exclusivamente para estações repetidoras
947 MHz a 952 MHz	Linhas de comunicação entre o estúdio e o transmissor de Televisão
2,7 GHz a 2,9 GHz	Radar de aeroporto
	SHF (Super High Frequencies)
3 GHz a 3,7 GHz	Radares
3,7 GHz a 4,2 GHz	Comunicação do Satélite Intelsat IV com a Terra
4,2 GHz a 4,4 GHz	Radio-altímetros
5 GHz a 5.25 GHz	Faixa proposta para um sistema internacionais de comunicação terrestre por micro-ondas
5,925 GHz a 6,425 GHz	Comunicação da terra com o Satélite Intelsat IV
10,7 GHz a 30 GHz	Faixa de utilização nas comunicações via satélite
	EHF (Extra High Frequencies)
41 GHz a 43 GHz	Satélite para radiodifusão
outras faixas	Comunicações com satélites ou de órgãos governamentais.

Para produzir correntes elétricas em frequências que correspondem tanto a faixa das áudio frequências (AF) como das rádio frequências (RF) são usados circuitos denominados osciladores.

Basicamente um oscilador nada mais é do que um amplificador que será ligado de tal maneira que em sua saída tenhamos um sinal com frequência e amplitude definidas. As propriedades elétricas dos transistores permitem que estes componentes sejam usados em osciladores. O modo como cada tipo de oscilador funciona caracteriza seu tipo e existem muitos deles, dos quais veremos

a seguir.

Para que um transistor oscile, a técnica usada é muito simples: tomamos o sinal amplificado na saída de um transistor usado como amplificador e o aplicamos de volta a sua entrada, ou seja, fazemos um circuito com realimentação positiva. O sinal de saída volta para a entrada e novamente é amplificado resultando em novo sinal de saída que volta à entrada, num ciclo que dura indefinidamente (enquanto o ciclo for alimentado), produzindo assim oscilações, conforme sugere a figura 3.

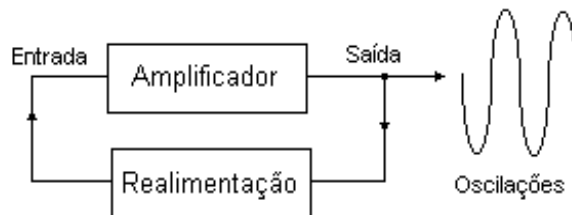


Figura 3

A velocidade com que o sinal é aplicado a entrada determina o tempo de percurso do sinal num ciclo completo e portanto a frequência de operação de oscilador.

Veja que é de fundamental importância que o "ganho" do amplificador seja maior que 1, ou seja, o sinal de saída deve ser "mais forte" que o de entrada. Se tivermos um circuito com ganho menor que 1, o sinal de saída será mais fraco que o de entrada, e não mais conseguirá excitar o circuito com a mesma intensidade no ciclo seguinte que

se enfraquece um pouco mais. O novo ciclo ainda mais fraco só dará origem a uma saída ainda menor. O sinal gerado vai então reduzindo de intensidade dando origem ao que chamamos de "oscilação amortecida" conforme mostra a figura 4.

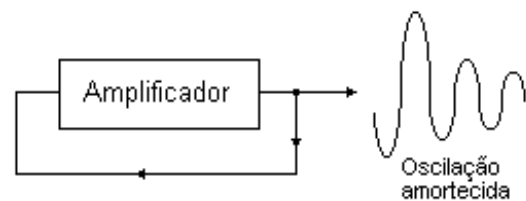


Figura 4

É evidente que um circuito com ganho exatamente de uma vez não serve para uma aplicação prática, pois não podemos "tirar" qualquer parcela do sinal para uso externo. Se isso for

feito já teremos um sinal mais fraco na entrada e as oscilações amortecem. Para que possamos usar o sinal gerado é preciso que, o ganho seja bem maior que um, para "sobre" uma boa parte

do sinal para uso externo. Uma outra condição importante para se projetar um oscilador é que o sinal aplicado na entrada tenha fase apropriada.

Não basta simplesmente ligar a saída (coletor) de um transistor na configuração de emissor comum na sua entrada (base) conforme mostra a figura 5, para que o circuito entre em oscilação, ou seja, a condição é insuficiente para haver oscilações.

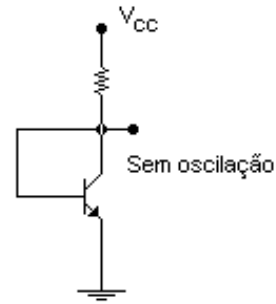


Figura 5

Nesta configuração, o transistor inverte a fase do sinal, o que significa que, para o circuito, o sinal reaplicado à entrada não provoca reforço mas sim enfraquecimento do processo. Não há oscilação. Num circuito como este, para haver oscilação ao se reaplicar o sinal à entrada é preciso intercalar um sistema qualquer que inverta a fase do sinal, conforme mostra a figura 6.

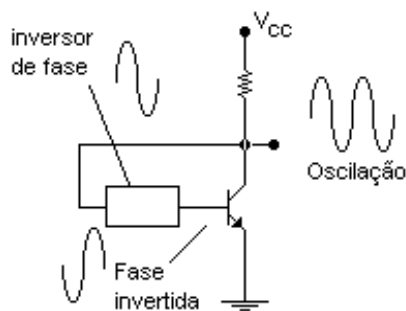


Figura 6

Conforme veremos a seguir, os diversos tipos de osciladores vão se diferenciar segundo a forma como o sinal é retirado da saída e reaplicado à entrada, e como ocorrem as inversões de fase quando necessárias.

Conforme veremos todos os osciladores têm suas limitações, o que os tornam aplicáveis em determinadas faixas de frequências e aplicações.

Oscilador Hartley

Este é um tipo de oscilador LC, ou seja, em que a frequência do sinal produzido é determinada

por uma bobina e um capacitor. Na figura 7, temos a configuração básica deste oscilador.

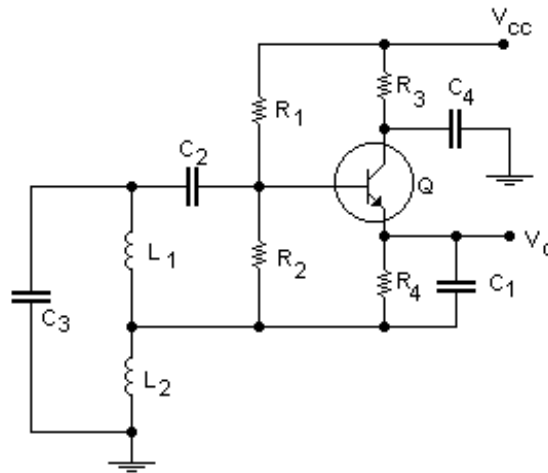


Figura 7

Os resistores R_1 a R_4 fazem a polarização do transistor Q e o capacitor C_1 faz a realimentação, ou seja, "joga" parte do sinal obtido na saída para a entrada do circuito. O funcionamento do circuito é o seguinte:

Quando ligamos o circuito, os resistores polarizam o transistor próximo da saturação, havendo então sua condução. Uma forte corrente circula entre o coletor e a fonte de alimentação, ligada à tomada central, pela bobina L_1 .

O resultado é que esta corrente em L_1 induz na outra metade da mesma bobina uma corrente que é aplicada novamente à base do transistor através do capacitor C_1 .

O sentido de circulação da corrente é tal que o transistor é levado quase ao corte. Como resultado cai a corrente de coletor e portanto em L_1 , com um efeito que reduz a indução da corrente na outra metade da mesma bobina (L_2) e portanto através de C_2 e da base do transistor.

Com isso, novamente temos a predominância da polarização pelos resistores que fazem o transistor conduzir e um novo ciclo tem início.

O transistor fica então nesse "vai e vem" entre o corte e a saturação produzindo-se um sinal cuja a frequência é determinada pelas bobinas L_1 , L_2 e por C_3 em paralelo, já que a indução que vimos também leva em conta a carga e descarga do capacitor C_3 .

O sinal deste oscilador pode ser retirado tanto do coletor de Q como de um enrolamento adicional feito sobre L_1 .

Este tipo de oscilador pode ser usado para produzir sinais e frequências que vão de alguns Hz (áudio) até algumas dezenas de MHz (RF). A principal limitação que encontramos para este tipo de oscilador quando operando na faixa de áudio é que precisamos de bobinas de grande indutância.

A frequência deste circuito pode ser calculada por:

$$f_o = \frac{1}{2\pi(L_1 + L_2)C_3}$$

Oscilador Colpitts

O oscilador **Colpitts** tem um princípio de funcionamento bastante semelhante ao oscilador **Hartley**, com a única diferença de que o sinal para realimentação positiva é retirado numa derivação feita com base em capacitores, conforme mostra a figura 8.

O transistor se mantém em condução durante os semi-ciclos positivos do sinal e é levado próximo ao corte nos semi-ciclos

negativos. Veja que a frequência é dada pela bobina L_1 e pelos capacitores em paralelo.

Este circuito opera em uma faixa de frequências que vai de alguns Hz até algumas dezenas de MHz.

Observamos que tanto para o caso de transistores no oscilador **Hartley** como **Colpitts** é possível a construção de configuração equivalente com válvulas.

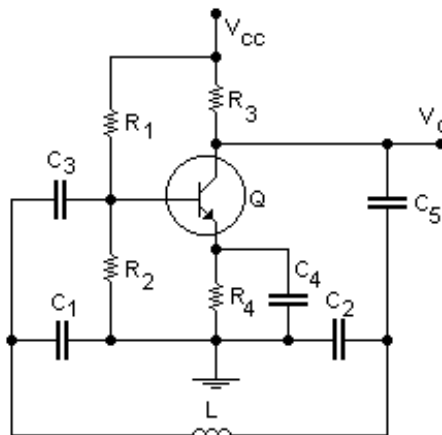


Figura 8

O sinal gerado por este circuito, pode ser, tanto retirado do coletor do transistor como a partir de um enrolamento, formando um secundário de transformador, desde que seja isolado, tal como nos mostra a figura 9.

Por sua vez a frequência gerada pode ser calculada por:

$$f_o = \frac{1}{2\pi L \sqrt{\frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}}}$$

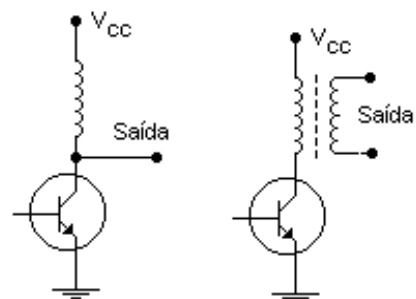


Figura 9

Oscilador de Bloqueio

Uma configuração bastante importante e usada para oscilador com transistores é mostrada na figura 10 e consiste num oscilador de bloqueio, com um transistor na configuração de emissor comum.

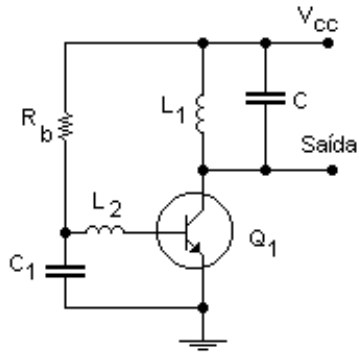


Figura 10

O coletor do transistor é ligado ao enrolamento primário de um transformador cujo secundário corresponde ao circuito de realimentação e está ligado à sua base.

O transistor é ligado próximo à saturação pela ligação do resistor R_b .

Quando ligamos a alimentação, o resistor polariza a base do transistor que conduz e produz um pulso de corrente no primário do transformador (L_1). Este pulso induz no secundário uma corrente que se opõe a polarização de R_b levando o transistor ao corte.

Com isso o transistor "desliga" e novamente entra em ação a polarização do resistor fazendo com que o novo pulso seja produzido no coletor.

O capacitor C_1 controla tanto a corrente de polarização, carregando-se com ela, como a que se opõe descarregando-se. Determinando assim a frequência

de operação juntamente com o valor de C .

A frequência de operação é determinada também pela indutância da bobina e pelo capacitor em paralelo.

Veja que este circuito deve ser disparado por um pulso externo, mas existem versões que são "auto-disparadas" ou seja, entram em funcionamento quando a alimentação é estabelecida.

As versões que precisam ser disparadas externamente são muito usadas em televisores para a elaboração dos circuitos de sincronismos em que um sinal externo controla o oscilador que é responsável pela manutenção da estabilidade da imagem. O mesmo circuito pode ser feito com um transistor ligado na configuração de base comum, conforme mostra a figura 11.

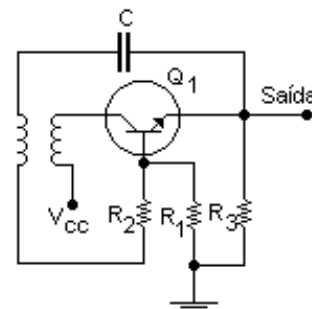


Figura 11

Veja então que o sinal é retirado do coletor e na reaplicado ao emissor, havendo uma polarização fixa na base do transistor.

O pulso de disparo é aplicado à base. Estes circuitos podem ser usados em frequências que vão de alguns Hz até algumas dezenas de MHz.

Oscilador de Duplo T

O nome deste oscilador se deve à rede de alimentação que proporciona uma inversão de fase do sinal e que usa apenas resistores e capacitores, conforme mostra a figura 12.

Para que o duplo T funcione, proporcionando a inversão de fase desejada, os componentes que o formam devem manter uma relação bem definida, de valores. Assim: $R_1 = R_2 = 2 \times R_3$ e $C_1 = C_2 = C_3 / 2$

A frequência de operação do oscilador é dado pela fórmula $F = 1 / (2\pi RC)$

Onde $R = R_1 = R_2$

$C = C_1 = C_2$

$\pi = 3.14$

$f =$ Frequência em Hz

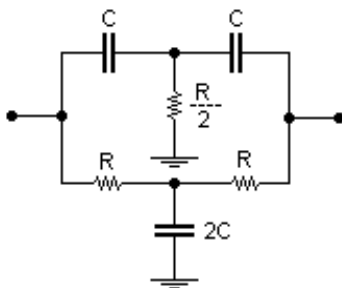


Figura 12

Na figura 13, temos a configuração de um oscilador de duplo T, completo, com um transistor na configuração de emissor comum e valores típicos para os resistores.

Os capacitores devem ser selecionados de acordo com a frequência de operação desejada.

Podemos alterar levemente a frequência de oscilação até obter oscilações amortecidas com a utilização de um Trim-pot ou potenciômetro para R_3 conforme mostra a figura 14.

Este oscilador se presta principalmente para a produção de sinais na faixa de áudio.

É importante observar que as formas de onda dos sinais dos osciladores dependem bastante das configurações.

Normalmente procura-se gerar sinais senoidais em todas as versões que vimos, mas dependendo das características dos componentes usados podem ocorrer deformações.

Para o caso do oscilador duplo T o sinal é senoidal.

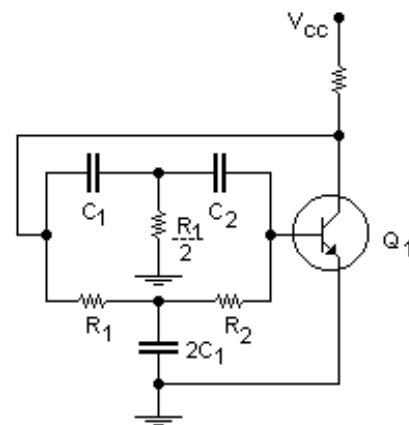


Figura 13

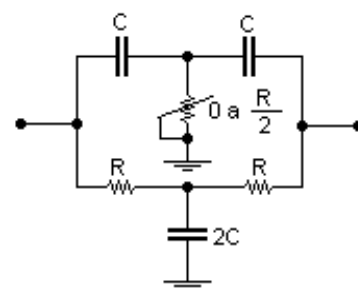


Figura 14

Oscilador de Deslocamento de Fase

Neste tipo de oscilador, temos a rede de resistores e capacitores que forma o circuito de realimentação, deslocando de 180° a fase do sinal. Desta forma, temos a inversão de fase necessária a manutenção das oscilações. Na figura 15 temos o circuito do oscilador de deslocamento de fase com um transistor.

A frequência de operação é dada pela fórmula $F=1/(2\pi RC\sqrt{6})$.

Neste circuito, cada resistor em conjunto com um capacitor desloca em 60° a fase do sinal, de modo que, com 3 células temos um deslocamento de 180° na fase do sinal, ou seja, obtemos a sua inversão. Os osciladores por deslocamento de fase, são usados apenas para produzir sinais de frequências na faixa de áudio.

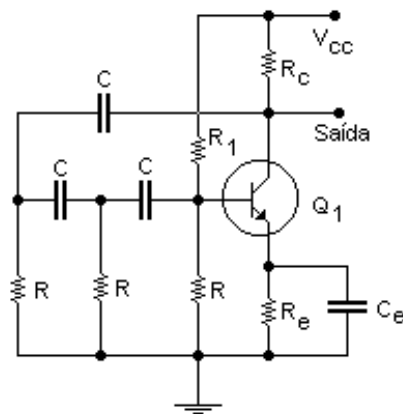


Figura 15

Uma variante, utilizando um transistor FET, pode ser vista na figura 16:

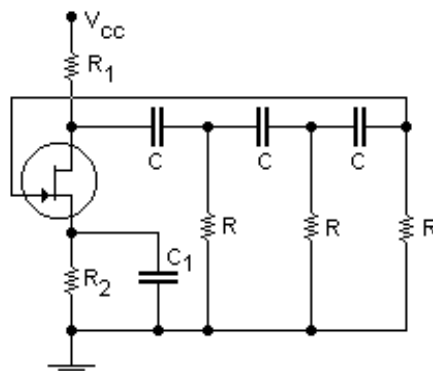


Figura 16

Cuja frequência de oscilação pode ser definida como:

$$f_o = \frac{1}{2\pi RC\sqrt{6}}$$

Multivibrador Astável

Chegamos agora a uma configuração que produz sinais de maneira muito especial, pois além dos sinais terem uma forma de onda retangular, são usados dois transistores.

Na figura 17 temos a configuração básica de um multivibrador astável com dois transistores NPN.

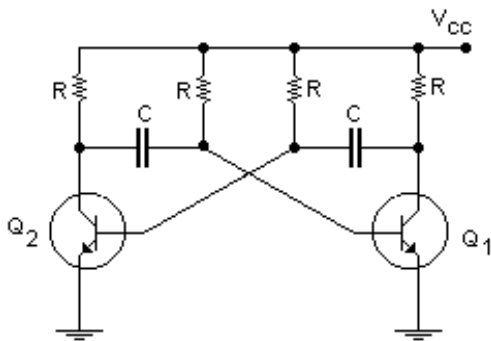


Figura 17

Os dois transistores são ligados de tal forma que a cada instante quando um está no corte o outro estar obrigatoriamente saturado, ou seja, apenas um dos transistores pode conduzir de cada vez.

No multivibrador astável, conforme o nome sugere, a condução dos transistores não é uma situação estável, de modo que cada transistor só pode ficar por um tempo limitado nesta condição.

Isso faz com que os dois transistores do circuito fiquem constantemente trocando de estado, passando do corte a saturação e vice-versa, numa velocidade que depende dos componentes usados.

Tomando como base o circuito acima, vejamos como ele funciona: ao estabelecermos a alimentação os dois transistores são polarizados de modo a irem a saturação pelos resistores de base.

No entanto, devido à diferenças de características, um deles conduz mais do que o outro e logo satura. Com isso, o outro transistor é impedido de conduzir e permanece no corte. Supondo que Q1 vá a saturação e Q2 volte para o corte, o capacitor C1 começa a se carregar através do resistor R1 até o instante em que alcança-se uma tensão suficiente para polarizar Q2 no sentido de fazê-lo conduzir. Quando isso ocorre, o circuito comuta e Q1 passa ao corte enquanto Q2 vai à saturação.

Neste momento é C2 que começa a se carregar através de R2 até que o transistor Q1 seja levado à condução.

O circuito ficará trocando de estado por tempo indeterminado (enquanto houver alimentação) numa velocidade que vai depender dos valores dos capacitores e resistores usados. Como a comutação dos transistores ocorre de maneira muito rápida, o sinal produzido tem a forma de onda retangular.

Se os capacitores e os resistores usados forem iguais, o tempo de condução e corte de cada transistor será o mesmo e teremos então um sinal quadrado, ou seja, com tempos de nível alto e baixo iguais, conforme mostra a figura 18.

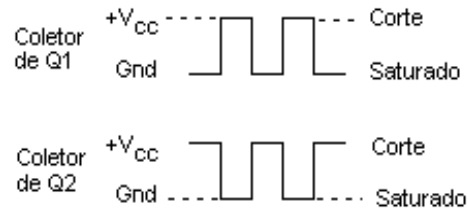


Figura 18

Oscilador de Relaxação

Existem componentes que são mais apropriados que os transistores comuns para o projeto dos chamados osciladores de relaxação, mas é interessante também estudarmos este tipo de aplicação.

Na figura 19, temos o circuito básico de um oscilador de relaxação com dois transistores. Os dois transistores são ligados de modo a formar uma chave regenerativa, ou seja, um circuito que realimenta a si próprio.

Ligamos então na entrada deste transistor uma rede de tempo RC e polarizamos a outra entrada de modo fixo com um divisor com dois resistores.

O transistor PNP tem sua base polarizado de modo a deixá-lo perto da plena condução.

Quando a tensão no capacitor sobe à medida que ele se carrega através do resistor R, o transistor PNP aumenta sua condução e com isso a base do transistor NPN é polarizada no sentido de também fazê-lo aumentar sua condução.

O resultado do aumento da corrente de base do transistor NPN é uma polarização maior da base do transistor PNP num pro-

cesso de realimentação: a tensão de base maior do PNP provoca novamente um aumento da corrente do NPN.

Partindo do instante em que o capacitor está descarregado existe então um instante em que a tensão nas suas armaduras faz com que este processo de realimentação ocorra rapidamente levando os dois transistores a saturação.

O resultado é que o capacitor é curto-circuitado à terra e se descarrega com a produção de um pulso de corrente.

Após o pulso, os transistores desligam e o capacitor começa a se carregar novamente até ser novamente atingido por um novo ponto de disparo.

O circuito produz então um trem de pulsos cuja frequência depende da velocidade de carga do capacitor através do resistor.

No capacitor temos então uma forma de onda exponencial.

Este circuito é utilizado para gerar apenas sinais de frequências relativamente baixas, na faixa que vai entre 0.01Hz até 10.000Hz ou um pouco mais.

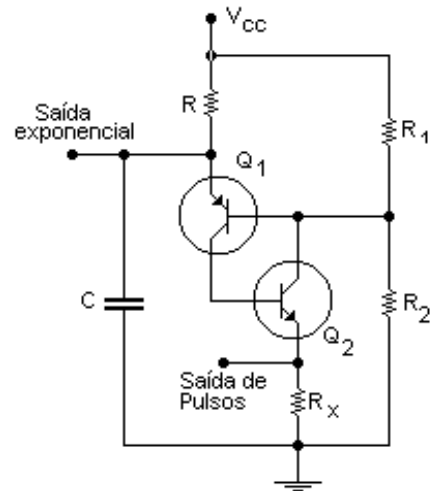


Figura 19

Osciladores á Cristal

Os cristais piezelétricos, dos quais o quartzo é o mais comumente utilizado, são elementos que, quando sujeitos a compressão desenvolvem uma determinada diferença de potencial, ou quando sujeitos a uma ddp deformam-se mecanicamente.

Esses cristais são encontrados na natureza sob a forma de bastões com secção hexagonal, onde podemos destacar 3 eixos.

1. Eixo X (elétrico): passa pelos vértices da secção hexagonal e é perpendicular a Y

2. Eixo Y (mecânico): É perpendicular as faces paralelas da secção do cristal

3. Eixo Z (óptico): É perpendicular aos outros dois eixos e conseqüentemente, á secção do cristal.

A figura 20 mostra um cristal de secção hexagonal, onde são indicados os três eixos elétricos, os três eixos mecânicos e o eixo óptico.

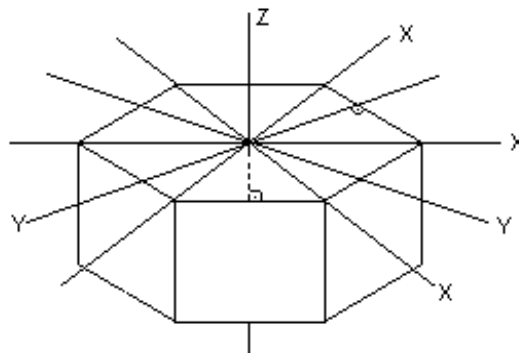


Figura 20

Em função das dimensões mecânicas da lâmina de cristal que é cortada a partir do cristal bruto, fica definida uma frequência própria de ressonância para essa lâmina.

Isso caracteriza o uso de cristais para o controle da frequência de oscilação em circuitos osciladores.

A frequência de ressonância de um cristal de quartzo pode estar aproximadamente entre 1 KHz e 200 MHz, sendo o limite inferior definido pelas maiores dimensões de lâminas dos cristais brutos e o limite superior determinado por lâminas cuja espessura extremamente pequena tornaria o elemento muito frágil mecanicamente.

Além disso, as frequências em torno do limite superior são

obtidas com o cristal operando em "**overtone**", ou seja, numa frequência harmônica daquela de operação normal.

Os cristais que operam na frequência fundamental dificilmente ultrapassam os 15 MHz, enquanto os que operam em **overtone** normalmente utilizam a faixa dos 15 MHz aos 200 MHz, trabalhando no 3°, 5° ou 7° harmônico da frequência fundamental.

Se considerarmos o cristal bruto a ser cortado, podemos definir dois tipos de corte fundamentais: o corte X, onde as faces planas são perpendiculares ao eixo X (figura 21a) e o corte Y, onde as faces planas são perpendiculares ao eixo Y (figura 21b).

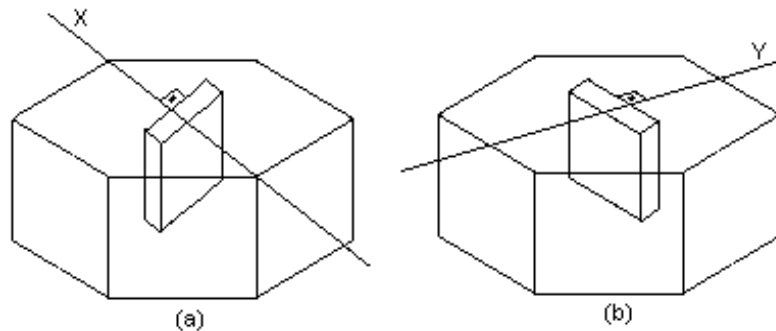


Figura 21

Para aplicação em telecomunicações, o corte mais utilizado é o do tipo AT onde a lâmina sofre um corte Y, formando 35,5° com o eixo Z, como mostra a figura 22. Neste corte Consegu-

se uma frequência de ressonância na faixa de 500 KHz a 100 MHz (este extremo em **overtone**) e uma variação praticamente nula da frequência para uma temperatura entre 60°C e 80°C.

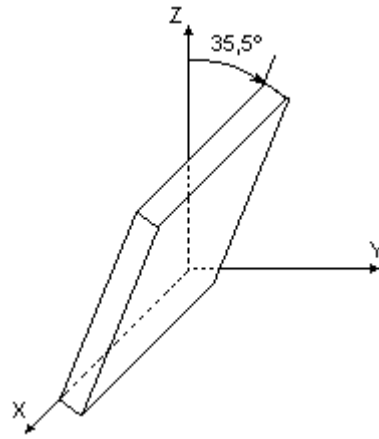


Figura 22

Justamente em função dessa característica, os cristais para telecomunicações são mantidos em câmara térmica, revestida internamente de amianto, com um termostato que é regulado para ligar em 65°C e desligar em 75°C, comandando um resistor de aquecimento. Esta montagem, além de minimizar o coeficiente de temperatura do cristal, tem a vantagem de tornar o componente mais robusto a choques mecânicos.

Do ponto de vista elétrico, um cristal é equivalente a um circuito RLC série, mas se considerarmos a capacitância asso-

ciada ... camada de prata depositada às faces das lâminas para a colocação dos contatos, ficamos com o circuito misto da figura 23(b). Na figura 23(a) podemos observar o símbolo do cristal para circuitos elétricos e na figura 23(c) temos a curva que caracteriza a variação do módulo da impedância do cristal com a frequência. Nesta curva observamos duas frequências de ressonância: a frequência série (f_s) e a frequência paralela (f_p) normalmente separadas de 2 KHz a 15 KHz, sendo f_p sempre maior que f_s .

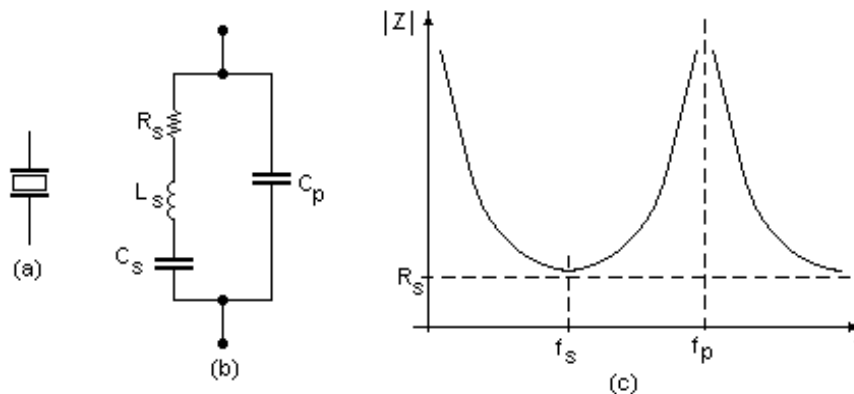


Figura 23

Os cristais cortados para trabalhar na frequência fundamental são normalmente especi-

ficados para a frequência paralela. Mas o modo série é também

eficiente, sobretudo nas frequências abaixo de 500 KHz.

Os cristais para **overtone** sempre operam no modo série e o que é importante: o fabricante já calibra o cristal no **overtone** e

não na fundamental. Portanto a compra de um cristal para esse tipo de operação deve ser feita pela frequência de ressonância série.

Oscilador Pierce a cristal

Neste tipo de circuito não há previsão para o ajuste da frequência de oscilação, mas a

sintonia do núcleo de L_1 pode ajustar o ponto de operação do cristal.

Oscilador de modo paralelo

