

9

Capítulo

Osciladores a Cristal

Meta deste capítulo

Entender o princípio de funcionamento de osciladores a cristal.

objetivos

- Entender o princípio de funcionamento de osciladores a cristal;
- Analisar osciladores a cristal;
- Projetar os componentes de osciladores a cristal;
- Avaliar o funcionamento por simulação de osciladores a cristal;
- Implementar e ensaiar osciladores a cristal.

Pré-requisitos

Ter estudado o capítulo sobre osciladores Armstrong.

Continuidade

A continuidade no estudo de osciladores e multivibradores se dará pelo estudo dos osciladores com controle automático de ganho.

Prof. Clóvis Antônio Petry.

Florianópolis, novembro de 2012.

1 Introdução

Os osciladores estudados até o presente momento apresentam problemas de estabilidade da frequência de oscilação e da amplitude da tensão disponibilizada em sua saída. Em circuitos envolvendo contagem de tempos, como por exemplo relógios e temporizadores, esta variação de frequência não pode ser tolerada, devendo-se empregar algum método para que a frequência de oscilação do circuito seja a mais estável possível. Neste caso, o emprego de cristais de quartzo na rede de realimentação dos osciladores ressonantes minimiza as variações na frequência de oscilação do circuito resultante. Por sua vez, a estabilização da amplitude da tensão de saída também pode ser obtida com a utilização de técnicas adequadas, o que será visto em capítulo posterior deste material didático sobre osciladores e multivibradores.

A título de exemplo na Figura 1 mostra-se um oscilador Colppits a cristal. Pode-se verificar pela figura que, em relação ao oscilador Colppits convencional, o indutor foi substituído por um novo elemento (não identificado na figura) em paralelo com C_1 e C_2 , que é justamente o cristal de quartzo. Seria de concluir daí que um cristal pode ter o comportamento de um indutor.

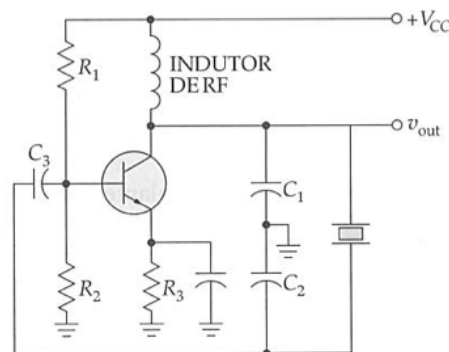


Figura 1 - Oscilador a cristal.

O objetivo deste capítulo é o estudo de osciladores a cristal, iniciando-se com uma introdução sobre o funcionamento destes elementos de circuito, muito utilizados em eletrônica em circuitos de temporização, relógios de circuitos digitais, dentre outros.

2 Cristais de Quartzo

Ocorrem na natureza elementos que possuem a propriedade de gerarem tensões elétricas a partir de pressões mecânicas aplicadas em sua superfície e, de forma inversa, vibram ao conduzirem correntes elétricas. Esta propriedade é denominada de efeito piezoeletrico¹, sendo

¹ A palavra piezeletricidade significa eletricidade gerada pela pressão. Este efeito foi descoberto em 1880 pelos físicos

utilizado para fabricação de cristais osciladores, microfones, alto-falantes, sensores, etc.

O efeito piezométrico pode ser obtido pelos elementos quartzo, sais de Rochelle e turmalina. Os mais utilizados, considerando seu custo e rigidez mecânica, são os cristais de quartzo. Na Figura 2 mostra-se um cristal na forma natural, do qual foi extraído uma lâmina, sobre a qual são adicionados os contatos elétricos conectados a placas metálicas, o que origina o símbolo deste elemento, como está mostrado na figura.

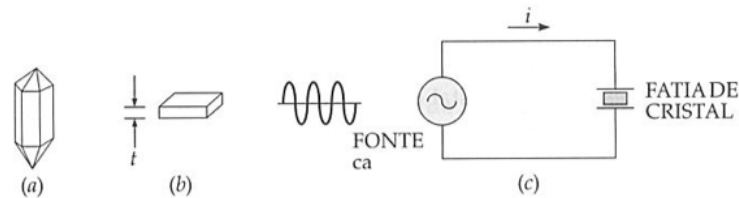


Figura 2 - Cristal de quartzo na forma natural (a); laminado (b) e como elemento de circuito (c).

Um cristal, como aquele da Figura 2, pode ser representado por um circuito elétrico equivalente, como está mostrado na Figura 3. Os elementos do ramo série, L (indutor) e C (capacitor) são os equivalentes elétricos da massa e da ductilidade do cristal, enquanto R (resistor) é o equivalente elétrico do atrito interno na estrutura do cristal. A capacitância do ramo paralelo (C_M) ocorre devido ao encapsulamento (montagem) do cristal.

A exemplo, um cristal pode ter valores tais como: $L = 3 \text{ H}$; $C = 0,05 \text{ pF}$; $R = 2 \text{ k}\Omega$ e $C_M = 10 \text{ pF}$ [2].

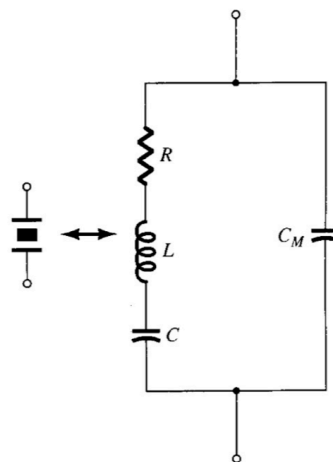


Figura 3 - Circuito elétrico equivalente de um cristal.

Ao se conectar o cristal em uma fonte de tensão alternadas senoidal, pelo fato de seu circuito elétrico equivalente ser formado por elementos passivos (R, L e C), ocorre a circulação de uma corrente alternada senoidal, determinada pela sua impedância resultante, dada por:

$$Z_{XTAL} = \frac{\left(R + j \cdot \omega \cdot L + \frac{1}{j \cdot \omega \cdot C} \right) \cdot \left(\frac{1}{j \cdot \omega \cdot C_M} \right)}{R + j \cdot \omega \cdot L + \frac{1}{j \cdot \omega \cdot C} + \frac{1}{j \cdot \omega \cdot C_M}}$$

O diagrama de Bode da expressão anterior, que representa o comportamento do módulo e da fase desta impedância em função da variação da frequência, é mostrado nas Figura 4 e Figura 5. Nota-se pela figura que representa o módulo de Z_{XTAL} que ocorrem uma ressonância série e uma ressonância paralela. A ressonância série acontece na frequência de oscilação do ramo série, caracterizada por uma queda na amplitude do módulo de Z_{XTAL} . Já a ressonância paralela ocorre pela interação de C_M com os elementos R, L e C do ramo série, caracterizada por um aumento na amplitude do módulo de Z_{XTAL} . Note que a frequência de ressonância paralela é superior a frequência de ressonância série.

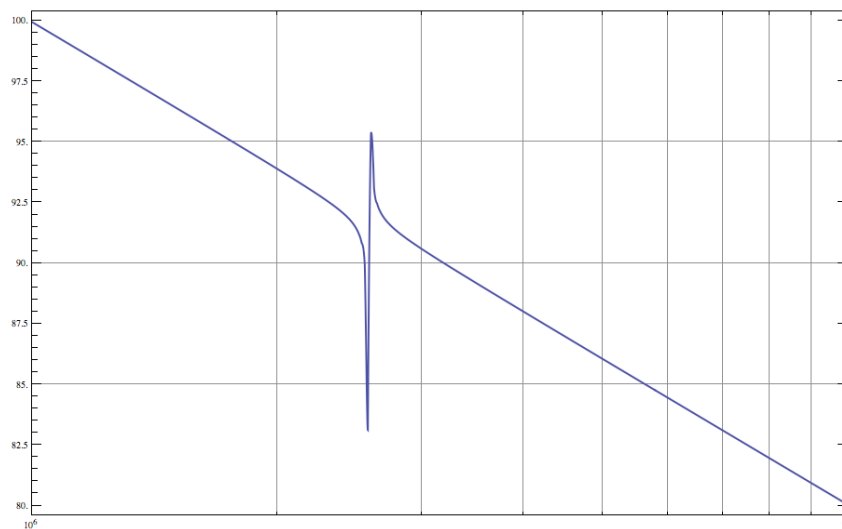


Figura 4 - Diagrama de Bode de Z_{XTAL} - Módulo.

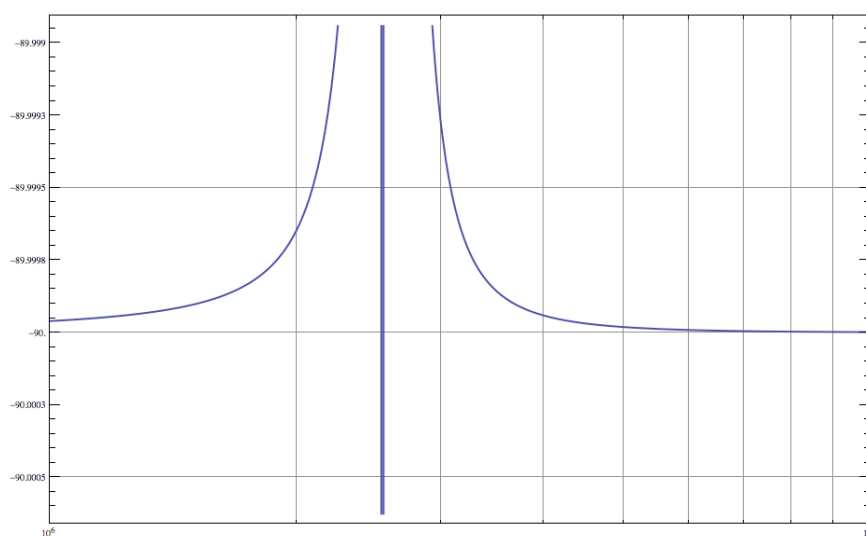


Figura 5 - Diagrama de Bode de Z_{XTAL} - Fase.

A frequência de ressonância série pode ser determinada por:

$$\omega_{serie} = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}} = \frac{1}{\sqrt{3 \cdot 0,05 \cdot 10^{-12}}} = 2,58199 \cdot 10^6 \text{ rad / s}$$

$$F_{serie} = \frac{\omega_{serie}}{2 \cdot \pi} = \frac{2,58199 \cdot 10^6}{2 \cdot \pi} = 410,936 \text{ kHz.}$$

Por sua vez, a frequência de ressonância do ramo paralelo depende de C e C_M:

$$C_{eq} = \frac{C \cdot C_M}{C + C_M} = \frac{0,05 \text{ p} \cdot 10 \text{ p}}{0,05 \text{ p} + 10 \text{ p}} \approx 0,04975 \text{ pF}$$

$$\omega_{paralela} = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C_{eq}}} = \frac{1}{\sqrt{3 \cdot 0,04975 \cdot 10^{-12}}} = 2,58844 \cdot 10^6 \text{ rad / s}$$

$$F_{paralela} = \frac{\omega_{paralela}}{2 \cdot \pi} = \frac{2,58844 \cdot 10^6}{2 \cdot \pi} = 411,962 \text{ kHz.}$$

Em uma aplicação de circuitos eletrônicos, a frequência de oscilação do cristal estará entre os valores da ressonância série e paralela, ou seja, determinando F_{serie} e F_{paralela} tem-se os limites de operação do cristal.

3 Circuito Ressonante Série

Na Figura 6 mostra-se um circuito onde o cristal foi utilizado para se implementar um oscilador. No circuito em questão ocorre a ressonância paralela, visto que o capacitor C_C apresentará impedância desprezível na frequência de operação do circuito.

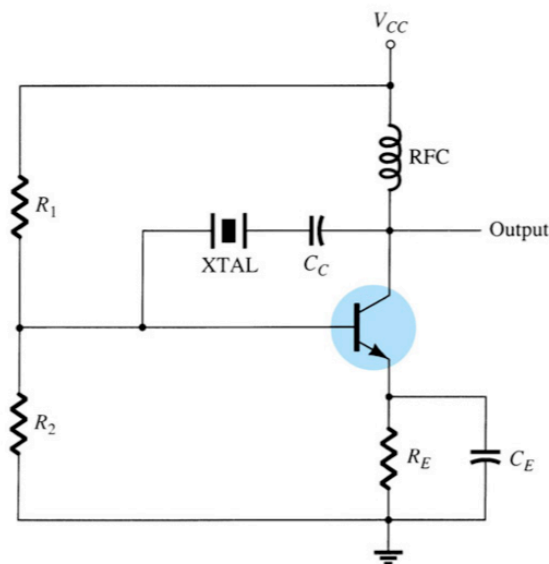


Figura 6 - Oscilador a cristal com ressonância série.

No circuito da Figura 6, os resistores R₁, R₂ e R_E, juntamente com o choque de radiofrequência (CRF) tem a função e polarizarem em corrente contínua o transistor bipolar de

junção. O choque de radiofrequência se comporta como um curto-circuito em corrente contínua e como um circuito aberto para altas frequências, ou seja, impede a entrada de ruídos da fonte de alimentação nas frequências de operação do circuito. O capacitor C_E pode ser considerado um circuito aberto na análise CC e como um curto-circuito na análise CA.

A frequência de oscilação do circuito depende da frequência de ressonância do cristal, ou seja, independe dos outros elementos do circuito. Deste modo tem-se um oscilador com frequência de oscilação muito estável, permitindo a implementação de circuitos de tempo com alta precisão durante décadas ou centenas de anos de operação.

Um oscilador a cristal simples é mostrado na Figura 7. Este oscilador é denominado de Pierce² e é uma modificação do oscilador Colppits.

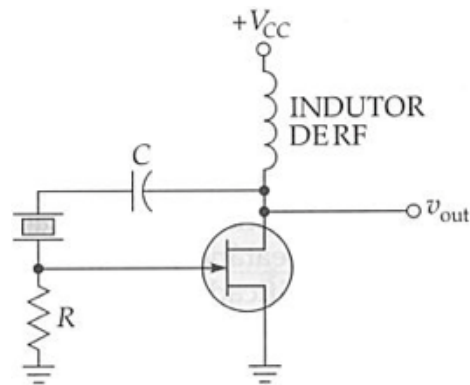


Figura 7 - Oscilador Pierce a cristal.

4 Circuito Ressonante Paralelo

Um oscilador a cristal operando na frequência de ressonância paralela é mostrado na Figura 8. Nota-se que a realimentação é aplicada no emissor, pela conexão dos capacitores C_1 e C_2 . Além disso, o cristal está conectado indiretamente em paralelo com C_1 e C_2 . O capacitor C_B tem por função fazer um desvio CA no resistor de base R_2 .

O oscilador Colppits a cristal é mostrado na Figura 9. Já na Figura 10 mostra-se uma variação deste oscilador. Por sua vez, na Figura 11 é mostrado o oscilador Clapp a cristal e na Figura 12 o oscilador Miller.

² O inventor do oscilador Pierce foi o físico Americano George Washington Pierce que viveu de 1872 até 1956.

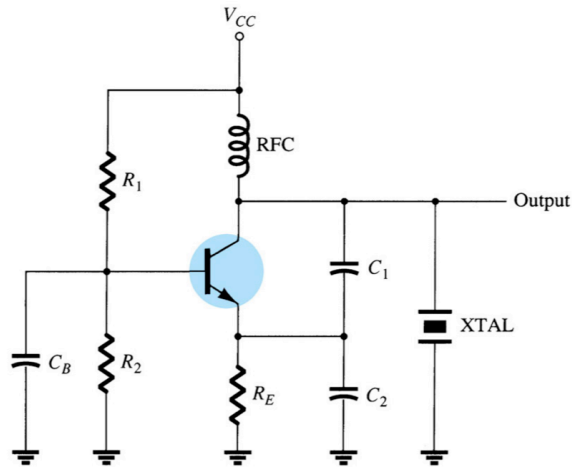


Figura 8 - Oscilador a cristal com ressonância paralela.

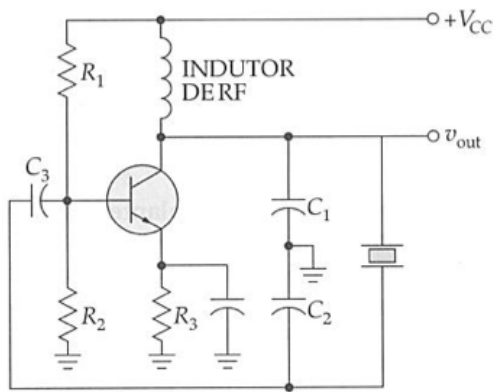


Figura 9 - Oscilador Colppits a cristal.

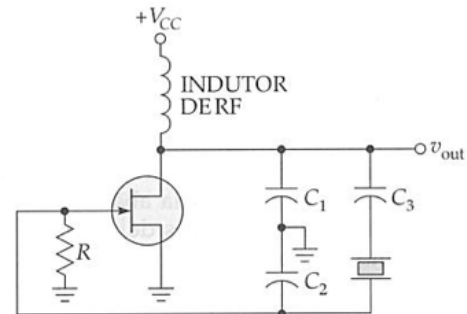


Figura 11 - Oscilador Clapp a cristal.

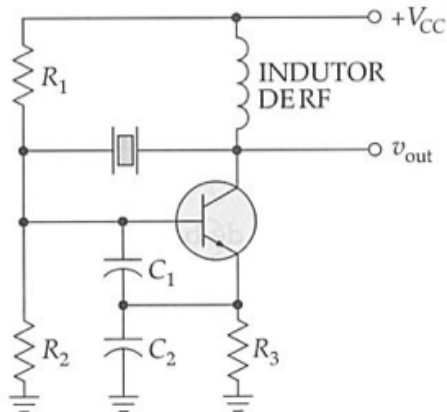


Figura 10 - Oscilador Colppits a cristal modificado.

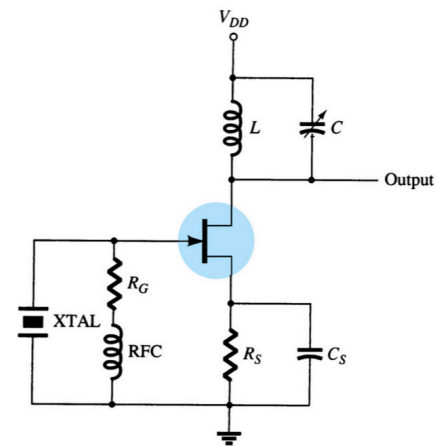


Figura 12 - Oscilador Miller a cristal.

5 Oscilador a Cristal com Amplificador Operacional

Um oscilador a cristal com amplificador a cristal é mostrado na Figura 13. Este oscilador tem alto ganho ($R_f/R_i = 100$), o que provoca uma tensão de saída praticamente quadrada, ou seja,

com alta distorção harmônica. Por este fato, a tensão de saída irá oscilar entre a tensão de saturação positiva do amplificador operacional ($\approx +V_{CC}$) e sua tensão de saturação negativa ($\approx -V_{CC}$). Para limitar a amplitude da tensão de saída é utilizada uma associação de diodos zener, que atuam como grampeadores na tensão de saída. A frequência de oscilação também é determinada pela frequência de ressonância do cristal.

Ao circuito da Figura 13 pode ser incorporado um filtro passa-baixas, que terá por função filtrar as altas frequências presentes na tensão de oscilador (forma de onda quadrada), apresentando em sua saída uma tensão aproximadamente senoidal, na mesma frequência daquela do circuito oscilador.

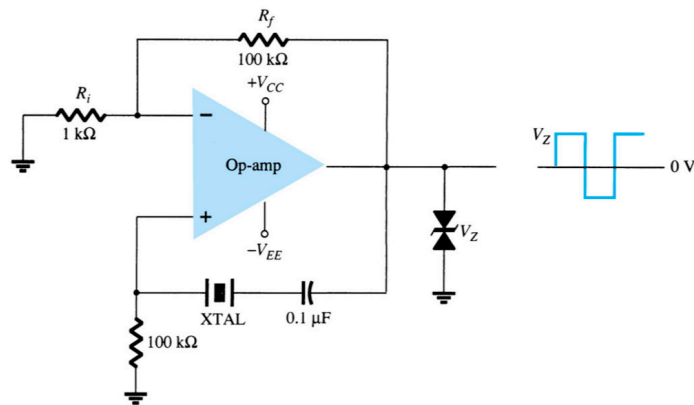


Figura 13 - Oscilador a cristal com amplificador operacional.

Exercícios Gerais

Exercício 01:

Explique o funcionamento dos osciladores mostrados nas figuras a seguir.

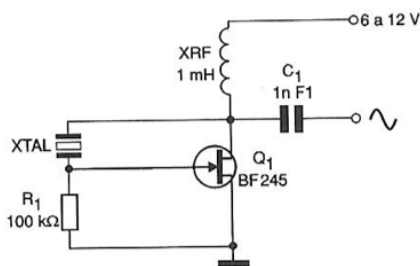


Figura 14 - Oscilador para exercício 01.

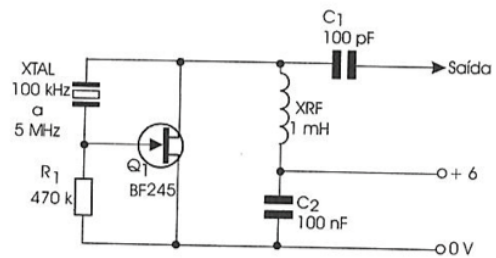


Figura 16 - Oscilador para exercício 01.

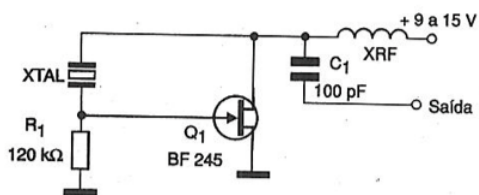


Figura 15 - Circuito oscilador para exercícios.

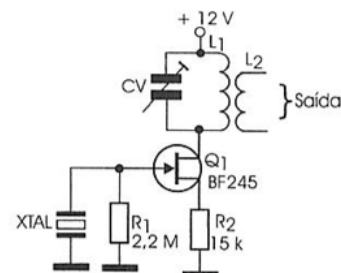


Figura 17 - Circuito para exercício 02.

Exercício 02:

Qual a finalidade do transformador (L_1 e L_2) no oscilador da Figura 17.

Exercício 03:

Qual a finalidade do X_{TAL} dos osciladores das Figura 14 à Figura 17.

Exercício 04:

Qual a finalidade dos choques de radiofrequência (X_{RF}) dos osciladores das Figura 14 à Figura 17.

6 Referências

- [1] BOYLESTAD, R. L. e NASHELSKY, L. Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos. 8ª ed. Rio de Janeiro: Prentice Hall do Brasil, 1984.
- [2] A. P. MALVINO. Eletrônica. Volumes 1 e 2. Editora McGraw Hill do Brasil, São Paulo, 1987.
- [3] LALOND, David E.; Ross, John A. Princípios de Dispositivos e Circuitos Eletrônicos – volumes 1 e 2. Makron Books. São Paulo, 1999.
- [4] BOGART JR, Theodore F. Dispositivos e Circuitos Eletrônicos – volumes 1 e 2. Makron Books. 3ª ed, São Paulo, 2001.
- [5] PERTENCE JUNIOR, A. Eletrônica Analógica: Amplificadores Operacionais e Filtros Ativos: teoria, projetos, aplicações e laboratório. Porto Alegre: Bookman, 2003.
- [6] SEDRA, A. S. Microeletrônica. Volume 2. São Paulo: Makron Books, 1995.
- [7] MIYARA, F. Osciladores Senoidales. Segunda edición, 2004. Disponível eletronicamente: <http://www.fceia.unr.edu.ar/enica3>. Acessado em 12/03/2012.
- [8] SOBRINHO, J. P. F.; Carvalho, J. A. D. Osciladores. Editora Érica. São Paulo, 1992.
- [9] FERREIRA, G. S. e SCHLICHTING, L. C. M. Osciladores e Multivibradores. Notas de aula. Departamento Acadêmico de Eletrônica, Campus Florianópolis, Instituto Federal de Santa Catarina, 2011.