

1

Capítulo

Teoria Geral de Osciladores

Meta deste capítulo

Entender os principais conceitos para que um circuito eletrônico opere como oscilador.

objetivos

- Entender o princípio de funcionamento de um oscilador;
- Entender os critérios para que um circuito eletrônico opere como oscilador;
- Identificar circuitos osciladores;
- Entender a diferença entre osciladores lineares e não-lineares.

Pré-requisitos

Ter estudado os anexos sobre revisão de circuitos de polarização de transistores bipolares e o funcionamento e aplicações de amplificadores operacionais.

Continuidade

A continuidade no estudo de osciladores e multivibradores se dará pelo estudo dos osciladores de deslocamento de fase.

1 Introdução

Os circuitos osciladores, sejam lineares ou não-lineares, são amplamente utilizados nas mais diversas aplicações, por exemplo: geradores de formas de onda, multímetros, cronômetros, osciloscópios, rádios, computadores e periféricos, telecomunicações, áudio, dentre outras.

Os osciladores podem ser, de forma bem genérica, classificados em:

- Osciladores lineares ou osciladores sintonizados – a partir da teoria de sistemas, empregando transistores e/ou amplificadores operacionais, é criado um par de pólos complexos conjugados posicionados no eixo imaginário, que garante a instabilidade do circuito e sua consequente oscilação, gerando sinais senoidais;
- Osciladores não-lineares ou osciladores de relaxação – por meio do emprego de dispositivos biestáveis, dentre os quais: interruptores, *Schmitt trigger*, portas lógicas e *flip-flops*; carregando e descarregando capacitores, são geradas ondas triangulares, quadradas, dente de serra, pulsadas, entre outras. Estes circuitos são comumente denominados de multivibradores.

Das características importantes em um oscilador, podem-se destacar a estabilidade da frequência de oscilação e a estabilidade da amplitude da tensão gerada. Estas características dependem da aplicação e em alguns casos é desejável que a frequência de oscilação e a amplitude do sinal de saída sejam ajustáveis, como por exemplo em um gerador de sinais.

Em geradores de sinais para áudio, precisa-se de sinais com baixa distorção, ou seja, o mais próximos de uma senóide pura. Já em aplicações digitais, por exemplo para o *clock* de um circuito, deseja-se um sinal com rápida transição entre os estados, o que é caracterizado por um elevado *slew rate* (taxa de variação).

Neste capítulo, o objetivo principal é apresentar os conceitos envolvidos com circuitos osciladores, sejam lineares ou não-lineares.

2 Considerações Iniciais

Um oscilador pode ser definido como um dispositivo que gera um sinal em corrente alternada (ca) de saída sem a presença de qualquer sinal em sua entrada [4].

Os circuitos osciladores empregam um circuito amplificador (com transistores ou amplificadores operacionais) e uma rede de realimentação com componentes passivos e ou/ativos. Existem inúmeras maneiras de implementar a rede de realimentação, daí a variedade de osciladores que serão estudados, por exemplo:

- Osciladores de deslocamento de fase;

- Oscilador com Ponte de Wien;
- Oscilador de Colpitts;
- Oscilador em Duplo-T;
- Oscilador Clapp;
- Oscilador Hartley;
- Oscilador Armstrong;
- Osciladores controlados por cristal.

A estrutura básica de um oscilador é mostrada na Figura 1. Para fins de estudo, considera-se uma entrada x_i , que na prática não existe, ou seja, um oscilador linear não possui sinal de excitação ou entradas. Osciladores não-lineares ou osciladores controlados por tensão podem ter sinais de entrada, mas isso é uma modificação visando permitir o controle da frequência ou amplitude do sinal gerado, não implicando que estes sinais sejam essenciais para o funcionamento destes circuitos.

No diagrama de blocos da Figura 1, o bloco (α) é o amplificador e o bloco (β) a rede de realimentação. A tensão gerada na saída do oscilador é a variável x_o na Figura 1. Este diagrama de blocos é clássico para sistemas realimentados e sistemas de controle, onde α e β podem ser circuitos simples ou complexos, com funções de transferência (relação entre saída e entrada, no tempo ou frequência) triviais ou complicadas. Algumas vezes são empregados apenas elementos passivos na rede de realimentação β , outras vezes esta rede pode também ser ativa, empregando componentes ativos, como transistores e/ou amplificadores operacionais.

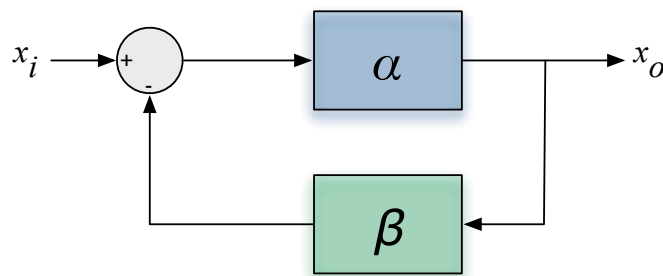


Figura 1 - Estrutura básica de um oscilador.

É importante destacar que um oscilador não é um circuito conformador de formas de onda, ou seja, circuitos que a partir de sinais de entrada geram outros sinais. Nesta categoria se encontram os filtros passivos e ativos, limitadores, e outros.

Ainda, um oscilador é alimentado em corrente contínua para que os componentes empregados (transistores e/ou amplificadores operacionais) sejam polarizados corretamente, gerando em sua saída uma tensão alternada (senoidal nos osciladores lineares e não-senoidal nos osciladores não-lineares). Ressalte-se aí que um oscilador não é um conversor cc-ca, como os circuitos estudados em eletrônica de potência. As razões que levam o circuito alimentado em

corrente contínua ter a propriedade de gerar sinais senoidais ou outras formas de onda é o que estudaremos neste capítulo.

3 Enfoque Intuitivo

Considere que para uma determinada frequência, seja aplicado um sinal na entrada x_i do circuito da Figura 2 [7]. Se o ganho dos blocos α e β for unitário, mas com a propriedade de inserir uma diferença de fase no sinal processado, então tem-se que:

$$\alpha = 1;$$

$$\beta = -1;$$

$$x_o = x_i;$$

$$x_r = -x_o = -x_i.$$

Como o sinal x_r está conectado à entrada menos do bloco somador (na verdade um subtrator), então o sinal de entrada original x_i aparece novamente na entrada do sistema. Neste caso, se poderia tornar a entrada nula, e o sistema continuaria a gerar um sinal na saída, como está mostrado na Figura 3.

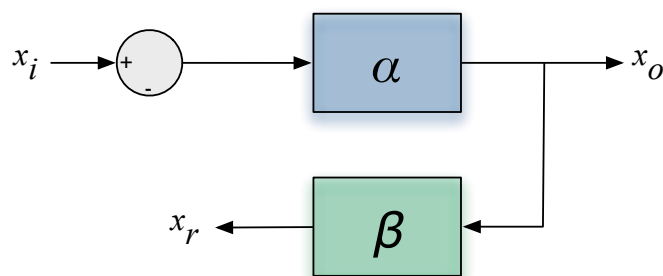


Figura 2 - Sistema realimentado de laço aberto.

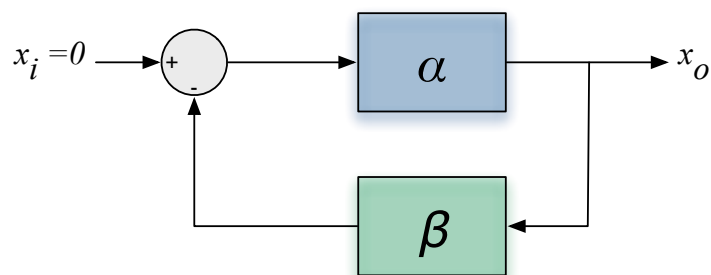


Figura 3 - Sistema oscilando sem sinal de entrada.

Para que se satisfaça a condição acima mencionada, deve-se ter que:

$$x_i \cdot \alpha \cdot \beta = -x_i;$$

$$\alpha \cdot \beta = -1.$$

4 Critério de Barkhausen

Conforme visto no enfoque intuitivo apresentado anteriormente, para que o sistema da Figura 1 oscile deve-se satisfazer os seguintes requisitos:

$$\alpha \cdot \beta = -1;$$

$$\theta = \pm 360^\circ \cdot n.$$

Estes requisitos são conhecidos como critério de Barkhausen¹ e significam que o ganho da malha (laço aberto) deve ser unitário e que a defasagem (deslocamento de fase) inserida deve ser nula.

Note que o circuito da Figura 1 está utilizando um diagrama de blocos típico de sistemas realimentados, por isso o bloco subtrator e o sinal de menos em $\alpha \cdot \beta = -1$.

Importante

- Para que um sistema oscile, o sinal de sua saída deve ser realimentado para sua entrada com a mesma fase, ou seja, deve empregar realimentação positiva.
- O sistema irá oscilar, satisfazendo o critério de Barkhausen, em uma frequência específica, que será a frequência de oscilação do circuito.

Considere que o ganho do laço seja maior que a unidade ($\alpha \cdot \beta > 1$), então o sinal de saída irá crescer exponencialmente até o infinito, como pode ser visto na Figura 4 [7]. Na prática, o valor máximo irá ocorrer quando o circuito saturar, isto é, atingir as amplitudes impostas pela fonte de alimentação e demais componentes. Nesta condição a forma de onda gerada não será mais senoidal e tenderá a ser uma onda quadrada, como está mostrado na Figura 5.

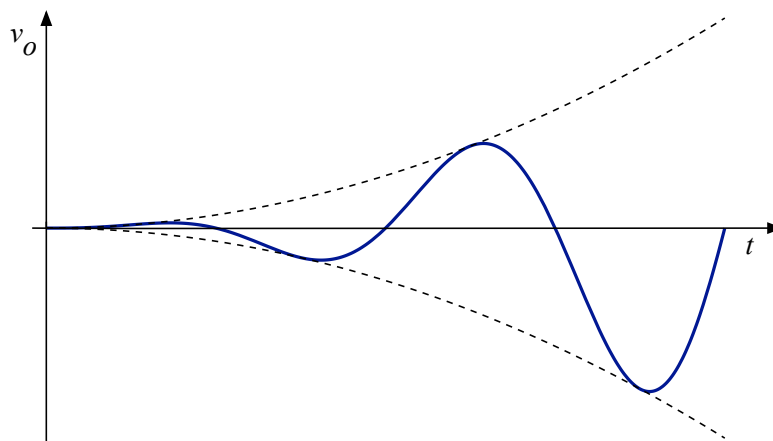


Figura 4 - Sistema com ganho maior que a unidade ($\alpha \cdot \beta > 1$).

¹ Heinrich Georg Barkhausen – Físico Alemão que viveu de 1881 até 1956, estabeleceu o critério matemático para que um circuito eletrônico oscile.

Por outro lado, se o ganho do laço for menor que a unidade ($\alpha \cdot \beta < 1$), então o sistema terá forte amortecimento e as oscilações desaparecerão após algum tempo, devido as perdas nos componentes do circuito, como pode ser visto na Figura 6.

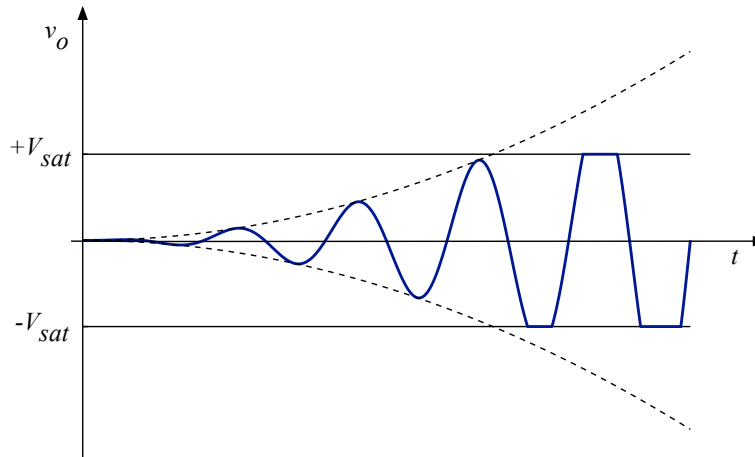


Figura 5 - Sistema com ganho maior que a unidade e com a saída saturada.

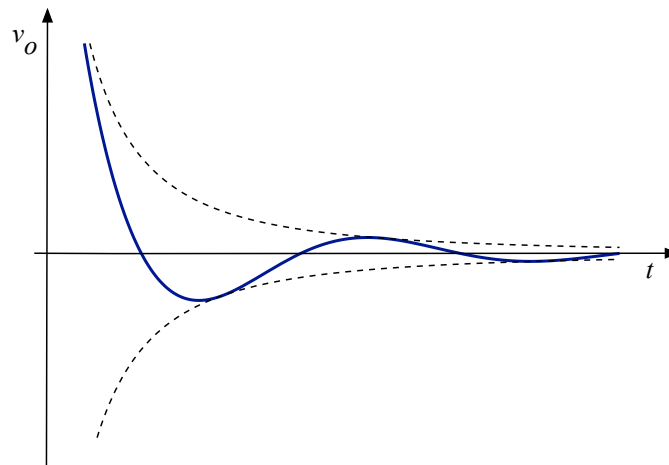


Figura 6 - Sistema com ganho menor que a unidade ($\alpha \cdot \beta < 1$).

O comportamento no tempo, considerando o início das oscilações devido a presença de ruídos no circuito e o posterior regime permanente é mostrado na Figura 7. Se a amplitude continuar a crescer, entra-se no modo de saturação do sinal, perdendo-se a característica de linearidade do circuito.

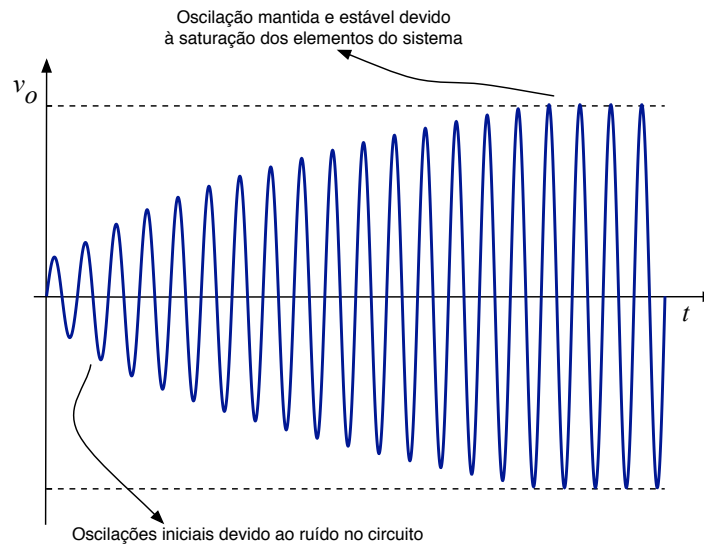


Figura 7 - Evolução das oscilações durante o transitório e regime permanente.

5 Enfoque por Sistemas Realimentados

Pela teoria de sistemas realimentados, a equação característica do sistema mostrado na Figura 1 é:

$$EQ = 1 + \alpha \cdot \beta .$$

Pela análise desta equação característica é que determina-se se um sistema é estável ou instável, justamente verificando se $1 + \alpha \cdot \beta = 0$, o que leva a $\alpha \cdot \beta = -1$.

Além disso, desejamos ter uma saída com sinal senoidal puro, sem ter excitação na entrada. Isso significa que o sistema precisa ter uma resposta livre senoidal. Assim, os polos devem estar posicionados no eixo imaginário, como mostrado na Figura 8.

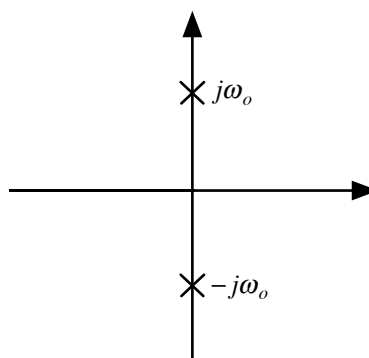


Figura 8 - Localização dos polos para um oscilador.

Assim, a expressão $(1 + \alpha \cdot \beta)$ deve satisfazer:

$$\alpha(j\omega_o) \cdot \beta(j\omega_o) = -1, \text{ onde } \omega_o \text{ é frequência de oscilação do sistema.}$$

De outro modo, lembrando que a Figura 1 possui um bloco subtrator:

$$\underline{\alpha(j\omega_o)} \cdot \beta(j\omega_o) = 180^\circ, \text{ deslocamento de fase do sistema;}$$

$$|\alpha(j\omega_o) \cdot \beta(j\omega_o)| = 1, \text{ módulo do sistema.}$$

6 Início das Oscilações

Um circuito teórico, com componentes ideais, não irá oscilar, a não ser que seja excitado inicialmente em sua entrada, como foi feito no enfoque intuitivo anteriormente. Na prática as não-idealidades dos componentes e os ruídos presentes no circuito já são suficientes para iniciar seu funcionamento como oscilador. Este ruído possui um amplo espectro harmônico, sendo que a frequência de oscilação do circuito deve estar presente dentre as frequências do sinal de ruído.

De todo modo, se as oscilações não iniciarem, algumas medidas podem ser adotadas, tais como:

- Empregar componentes cuja característica dependa da temperatura, fazendo que o ganho inicial do sistema seja maior que a unidade;
- Utilizar componentes e ou partes do circuito sensíveis a ruídos presentes no ambiente, gerando um efeito de antena. A dificuldade nesta situação é a eliminação posterior dos sinais indesejados.

Os dois circuitos mostrados na Figura 9 são exemplos de osciladores empregando resistências dependentes da temperatura.

Nos simuladores de circuitos, pode-se empregar componentes que fiquem ativados por algum tempo e depois sejam desligados, caso o circuito não oscile mesmo se utilizando componentes reais. Alguns simuladores utilizam modelos para componentes que levam em conta diversas não-idealidades, e neste caso as oscilações podem iniciar mesmo sem uma excitação externa aplicada ao circuito. Na Figura 12 pode-se observar o transitório inicial das oscilações em uma simulação utilizando o software Multisim.

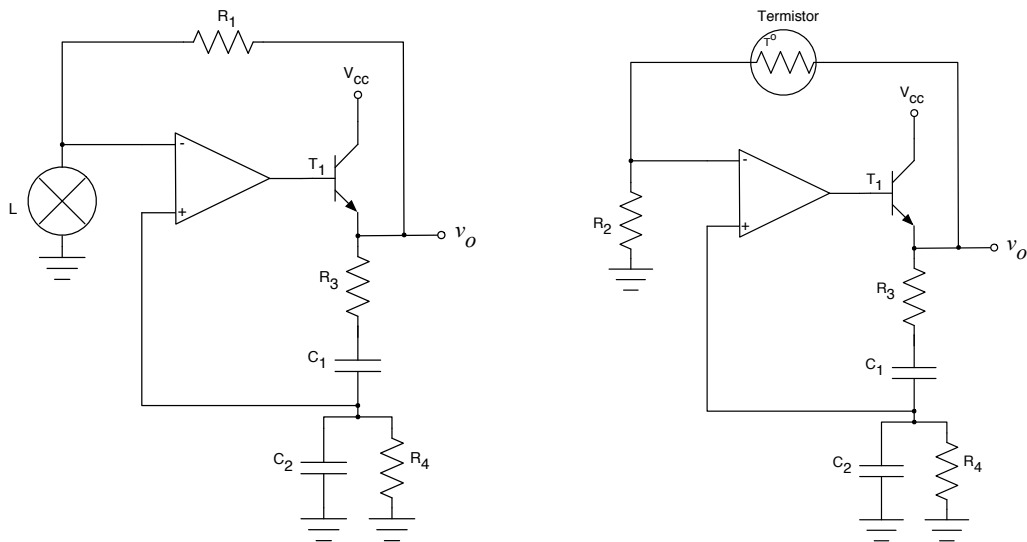


Figura 9 - Osciladores empregando resistores dependentes da temperatura.

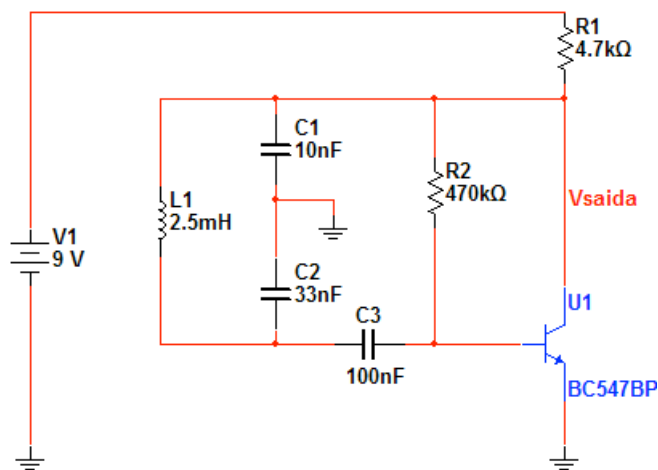


Figura 10 - Circuito no simulador Multisim utilizando componentes reais.

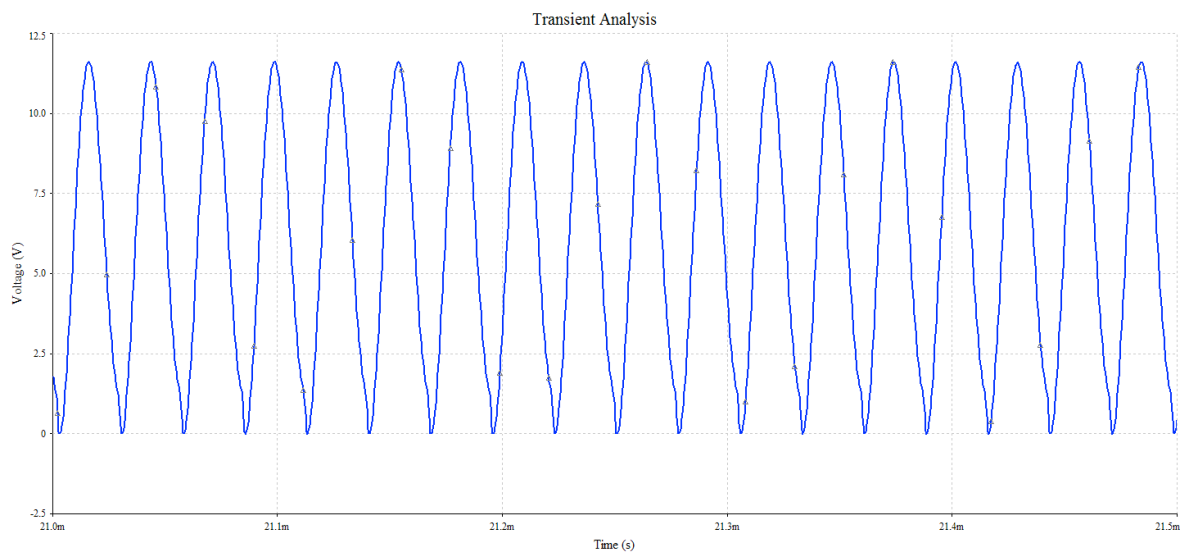


Figura 11 - Forma de onda da tensão gerada na saída do oscilador.

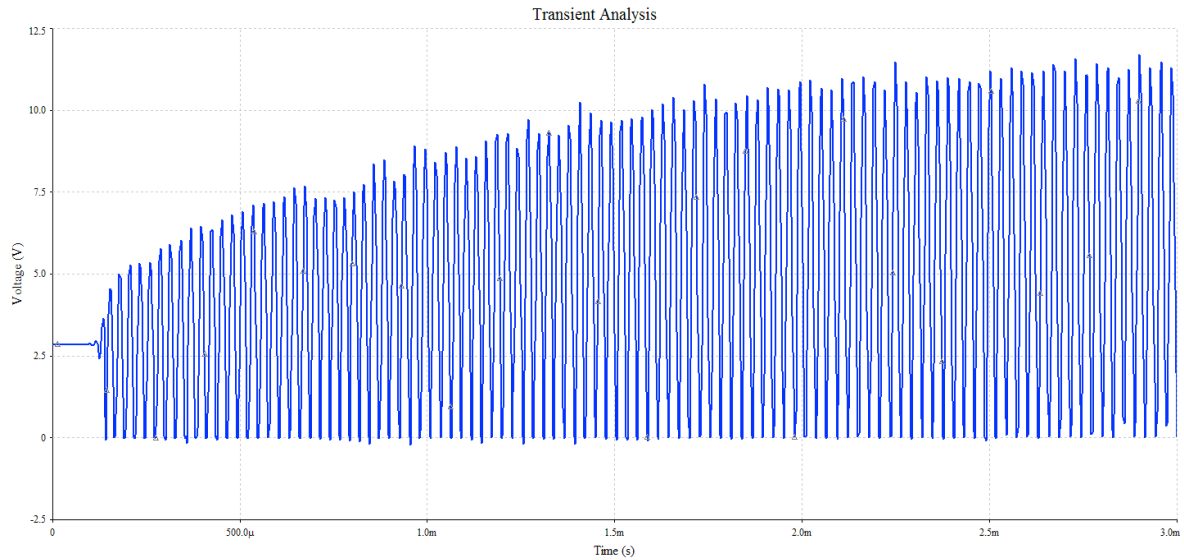


Figura 12 – Transitório inicial do oscilador simulado no software Multisim.

Exercícios Gerais

Exercício 01:

Considerando o diagrama de blocos da Figura 13, determine o ganho e a defasagem que o bloco α deve ter para que o sistema atenda o critério de Barkhausen:

- $|\beta| = 10$ e $\angle\beta = 20^\circ$;
- $|\beta| = 0,5$ e $\angle\beta = 120^\circ$;
- $|\beta| = 1$ e $\angle\beta = 180^\circ$.

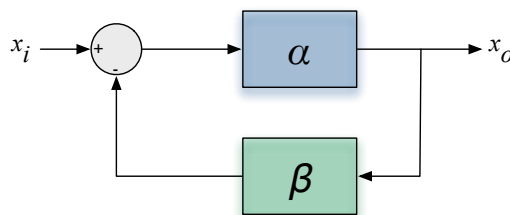


Figura 13 – Diagrama de blocos do oscilador para exercícios.

Exercício 02:

Repita o exercício 01 considerando que o diagrama de blocos seja o da Figura 14.

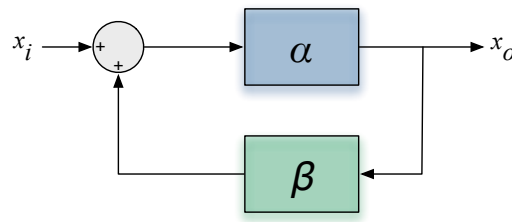


Figura 14 – Diagrama de blocos do oscilador para exercícios.

7 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 Senoidais. Segunda edição, 2004. Disponível eletronicamente: <http://www.fceia.unr.edu.ar/enica3>. Acessado em 12/03/2012.
- [8] 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.