

ELETRÔNICA DIGITAL - II

Newton C. Braga



**CURSO DE ELETRÔNICA
ELETRÔNICA DIGITAL - PARTE 2**

NEWTON C. BRAGA



Instituto NCB

www.newtoncbraga.com.br

contato@newtoncbraga.com.br

CURSO DE ELETRÔNICA -

Eletrônica Digital - 2

Autor: Newton C. Braga

São Paulo - Brasil - 2012

Palavras-chave: Eletrônica - Engenharia Eletrônica
- Componentes - Educação Tecnológica

Diretor responsável: Newton C. Braga

Diagramação e Coordenação: Renato Paiotti

MAIS INFORMAÇÕES

INSTITUTO NEWTON C. BRAGA

<http://www.newtoncbraga.com.br>

NOTA IMPORTANTE

Esta série de livros fornece conhecimentos básicos de eletrônica para cursos regulares, cursos a distância e para autodidatas consistindo, portanto numa literatura cuja finalidade é apoio, iniciação ou complementação de conhecimentos. Sua aquisição não implica no direito a obtenção de certificados ou diplomas os quais devem ser emitidos pelas instituições que adotam o livro ou ainda ministram cursos de outras formas. Da mesma forma o autor ou a editora não se responsabilizam por eventuais problemas que possam ser causados pelo uso indevido das informações nele contidas como o não funcionamento de projetos, ferimentos ou danos causados a terceiros de forma acidental ou proposital, ou ainda prejuízos de ordem moral ou financeira. Os eventuais experimentos citados quando realizados por menores devem ter sempre a supervisão de um adulto. Todo cuidado foi tomado para que o material utilizado seja encontrado com facilidade na época da edição do livro, mas as mudanças tecnológicas são muito rápidas o que nos leva a não nos responsabilizarmos pela eventual dificuldade em se obter componentes para os experimentos quando indicados em outros livros desta série.

Copyright by
INSTITUTO NEWTON C. BRAGA
1ª edição

Todos os direitos reservados. Proibida a reprodução total ou parcial, por qualquer meio ou processo, especialmente por sistemas gráficos, microfilmicos, fotográficos, reprográficos, fonográficos, videográficos, atualmente existentes ou que venham a ser inventados. Vedada a memorização e/ou a recuperação total ou parcial em qualquer parte da obra em qualquer programa juscibernético atualmente em uso ou que venha a ser desenvolvido ou implantado no futuro. Estas proibições aplicam-se também às características gráficas da obra e à sua editoração. A violação dos direitos autorais é punível como crime (art. 184 e parágrafos, do Código Penal, cf. Lei nº 6.895, de 17/12/80) com pena de prisão e multa, conjuntamente com busca e apreensão e indenização diversas (artigos 122, 123, 124, 126 da Lei nº 5.988, de 14/12/73, Lei dos Direitos Autorais).

ÍNDICE

8 - Os Multivibradores Astáveis e Monoestáveis	11
8.1 – Multivibradores Astáveis	12
8.2 – Astáveis com funções lógicas	14
8.3 – Circuitos Monoestáveis	24
8.4 – Astáveis e monoestáveis integrados	27
8.4.1- O circuito integrado 555	27
8.4.2 - TLC555M – O 555 CMOS	30
8.4.3 - Os circuitos integrados 74121, 74122 e 74123	32
Termos em inglês	35
9 - Os Contadores Digitais	37
9.1 – Os tipos de contadores	38
9.2 – Contadores assíncronos	39
9.3 – Contagem programada	43
9.4 – Contadores Up/DFown (Progressivos e Regressivos)	47
9.5 – Contadores síncronos	47
9.6 – Contadores síncronos programáveis	50
9.7 – Contadores TTL	50
9.8 – Contadores e divisores CMOS	55
Termos em inglês	58
10 - Aplicações para os contadores digitais e decodificadores	61
10.1 – Contadores/divisores por N	62
10.2 – Circuitos práticos	65
10.3 – Módulos maiores e programáveis	78
10.4 – Os Circuitos Integrados 4020 e 4040	80
Termos em inglês:	83
11 - Como Funcionam os Registradores de Deslocamento (Shift-Registers)	85
11.1 - O que é um registrador de deslocamento	86
11.2 – Tipos de registradores de deslocamento	89
11.3 – Operando com binários	92
11.4 – Shift-registers ou registradores de deslocamento integrados	93
7495 - SHIFT REGISTER DE 4 BITS	93
74164 - SHIFT REGISTER DE 8 BITS	94
74165 - SHIFT REGISTER DE 8 BITS	94
4014 - SHIFT REGISTER ESTÁTICO DE 8 BITS	95
4015 - DOIS SHIFT REGISTERSS DE 4 BITS	96
4021 - SHIFT REGISTER DE 8 BITS	97
11.5 – Usando shift-registers	97
Termos em inglês:	105
12 - Multiplexadores, Demultiplexadores, Decodificadores e Displays	107
12.1 – Multiplexadores e Demultiplexadores	108
12.2 – Os decodificadores	119
12.2.1 - Decodificador de n para 2 elevado a n linhas	120
12.2.2 - Decodificador BCD para 7 segmentos	122
12.3 - DISPLAYS	123
12.4 - Decodificadores e Codificadores Integrados (TTL e CMOS)	126
Termos em inglês:	131
13 - Memórias, ADCs e DACs	133
13.1 – As memórias	134
13.1.2 – Bits e Bytes	134
13.2 – Tipos de Memórias	139
13.2.1 - ROM	139
13.2.2 - PROM	140
13.2.3 - RAM	141
13.2.4 – EPROM	144
13.2.5 - EEPROM	148
13.3 - Os Conversores A/D	149
13.3.1 – Os Conversores na Prática	153
13.3.2 – Quantização	154
13.3.3 – Os circuitos do Conversores A/D ou ADC	155
13.3.4 - O circuito de captura e retenção ou “sample and hold”:	156
13.3.5 – Os sistemas de conversão	158
13.4 – Os DACs	167
Termos em inglês:	169

14 - Microprocessadores, Microcontroladores, DSPs e FPGAs	171
14.1 – Os microprocessadores e os microcontroladores	172
14.1.1 - Programação	176
14.1.2 – Os Microcontroladores mais comuns	177
14.1.3 – Linguagens de programação	178
14.2 – Os Processadores de Sinal Digitais ou DSPs	180
14.2.1 – Convertendo sinais analógicos em digitais	181
14.2.2 – Requisitos mínimos	182
14.2.3 – Como a conversão do sinal é feita	186
14.2.4 – O microprocessador	187
14.2.5 – Os DSPs comerciais	189
14.3 - FPGA	189
14.3.1 - As Tecnologias de Roteamento	195
Termos em inglês	198
Anexos - RESPOSTAS e LINKS	201
Respostas	201
Links	201
TEMPORIZAÇÃO DE PRECISÃO COM O 4020	203
CONHEÇA O 4017	212

Em 1972, já com experiência no ensino de eletrônica em cursos presenciais, fui contratado por uma grande organização de ensino por correspondência para renovar seu curso prático de eletrônica. Completado esse trabalho, fui trabalhar na Editora Saber em 1976 onde passei a publicar nas páginas da Revista Saber Eletrônica o primeiro Curso de Eletrônica em Instrução Programada, uma novidade que atraiu a atenção de milhares de leitores que tiveram sua formação inicial totalmente apoiada nos ensinamentos que então disponibilizamos. O sucesso desse curso fez com que em diversas ocasiões posteriores o curso fosse repetido e atualizado nas páginas da mesma revista e na revista Eletrônica Total. Neste intervalo publicamos a primeira edição completa desse curso que recebeu o nome de Curso Básico de Eletrônica e chegou até sua quinta edição, posteriormente sendo em 2009 transformado numa apostila. No entanto, desde a primeira edição e o primeiro curso na revista, muita coisa mudou, e se bem que diversas atualizações fossem feitas, chegou o momento de se fazer algo novo, adaptado aos novos tempos da eletrônica, num formato mais atual e com conteúdo que seja mais útil a todos que desejarem aprender o básico da eletrônica. Desta forma o conteúdo do curso anterior foi separado em dois, Curso Básico de Eletrônica (já publicado – Vol 1 da série) e Curso de Eletrônica Analógica (Vol 2 da série), os quais devem ser completados com uma nova versão do Curso de Eletrônica Digital. O Curso de Eletrônica Digital foi remodelado, sendo dividido em dois volumes. Este é o segundo e depois do segundo teremos mais um volume da série com uma parte prática. Assim, neste segundo volume do Curso de Eletrônica Digital, abordamos todo o conhecimento adquirido nos volumes anteriores passando isso para esta tecnologia, além de incluir mais informações sobre novas tecnologias, novos componentes e novas aplicações. Podemos dizer que este livro, como os demais, podem ser considerados a plataforma de iniciação ideal para muitos cursos, dos técnicos às disciplinas eletivas, da reciclagem de conhecimentos até aqueles que desejam ter na eletrônica uma segunda atividade ou precisam deles para o seu trabalho em área relacionada.

Newton C. Braga

Desde 1999, quando criamos a primeira versão deste Curso de Eletrônica Digital que pudesse servir de iniciação aos que desejassem ter conhecimentos desta tecnologia, ela passou por grandes transformações. Do fim da válvula ao transistor, quando começamos e os primeiros circuitos integrados, a eletrônica evoluiu para a tecnologia dos CIs de alto grau de integração, os FPGAs, os DSPs, microcontroladores e as montagens em superfície. Assim, nosso livro Curso de Eletrônica Digital, com o primeiro volume tratando dos conceitos básicos e componentes das tecnologias TTL e CMOS, pode ser considerado um curso atualizado com finalidades um pouco diferentes das que visava na época de sua criação original. A eletrônica digital está presente numa infinidade de aplicações de uma forma muito avançada, no entanto, para que possamos dominar essas novas aplicações, precisamos conhecer seus fundamentos. Desta forma, este Curso de Eletrônica digital é um curso de fundamentos que devem ser aplicados nos ramos específicos nos quais o profissional vai se especializar. Estes ramos incluem a automação (mecatrônica), telecomunicações, instrumentação, eletrônica embarcada, e muitos outros. Assim, nosso curso visando justamente às necessidades de conhecimento que a preparação para essas áreas pedem, tem uma abordagem direta e rápida de conceitos que, em princípio, exigem o conhecimento prévio dados nos dois primeiros volumes da série, Eletrônica Básica e Eletrônica Analógica, além do primeiro volume do Curso de Eletrônica – Eletrônica Digital 1.

Capítulo 8 – Neste capítulo estudaremos as configurações dos multivibradores astáveis e monoestáveis, que são configurações de grande importância para a eletrônica digital, pois com elas formamos blocos básicos de contagem, memória e deslocamento de dados. Veremos quais são as principais configurações e os tipos disponíveis na forma de circuitos integrados tanto TTL como CMOS.

Capítulo 9 – O assunto deste capítulo é a utilização e funcionamento dos contadores digitais. Veremos como funcionam estes blocos básicos da eletrônica digital e os principais tipos que podem ser encontrados tanto em tecnologia CMOS como TTL. Veremos também como configurar estes blocos para diversos tipos de contagem.

Capítulo 10 – O quarto capítulo deste volume analisa os contadores digitais e decodificadores, mostrando suas principais aplicações práticas. Veremos como os blocos anteriores podem ser alterados para obter configurações importantes para a aplicações práticas.

Capítulo 11 – O capítulo 11 é dedicado aos registradores de

deslocamento, Estes importantes blocos da eletrônica digital podem ser usados para converter dados da forma serial para paralela e vice-versa, consistindo em circuitos fundamentais para a comunicação de dados. Também veremos as versões que podem ser obtidas na forma de circuitos integrados TTL e CMOS.

Capítulo 12 – Multiplexadores, Demultiplexadores, Decodificadores de Displays serão o centro de nossas atenções neste capítulo. Analisaremos as principais configurações e seus princípios de funcionamento. Veremos também os principais tipos que podem ser obtidos na forma de circuitos integrados ou componentes comuns para aplicações práticas.

Capítulo 13 – Como funcionam as memórias, os ADCs e DACs serão os temas abordados neste capítulo. Veremos como funcionam os principais tipos de memória e também analisaremos os circuitos conversores de dados, muito utilizados hoje nos microprocessadores, microcontroladores e DSPs.

Capítulo 14 – Os dispositivos digitais mais avançados com que podemos contar em nossos dias são os microprocessadores, microcontroladores, DSPs e FPGAs. Neste capítulo daremos uma introdução ao funcionamento destes dispositivos, deixando para o leitor o aperfeiçoamento dos conhecimentos através de cursos específicos, dada a complexidade do assunto.

Enfim, o conteúdo estudado pode ser considerado como mais um degrau de uma escada que levará os interessados a um mundo de conhecimento técnico capaz de significar sua realização profissional e muito mais que isso, a satisfação pessoal de dominar as mais importantes tecnologias de nosso tempo.

Newton C. Braga



» Os Multivibradores Astáveis e Monoestáveis

No capítulo anterior aprendemos como funcionam os principais tipos de flip-flops, verificando que, dependendo dos recursos que cada um tem, eles podem ser empregados de diversas formas. Também vimos quais são as entradas que estes dispositivos podem conter para poder melhorar seu desempenho em determinadas aplicações como, por exemplo, nos computadores, controles a automatismos industriais, robótica, instrumentos de medida, etc. Vimos também que os flip-flops podem tanto ser usados como divisores de frequência, como células de memória. Tudo isso nos leva à necessidade de contar com esta função na forma de circuitos integrados. De fato, existem muitos circuitos integrados tanto TTL como CMOS contendo flip-flops dos tipos estudados os quais vimos no capítulo anterior. Também falaremos de algumas configurações que em lugar de dois estados estáveis possuem apenas um, além das configurações que não possuem nenhum estado estável. Estes circuitos denominados multivibradores astáveis e monoestáveis também são muito importantes em muitas aplicações relacionadas com a eletrônica digital. Este capítulo é formado pelos seguintes itens:

Itens:

- 8.1 – Multivibradores astáveis
- 8.2 – Astáveis com funções lógicas
- 8.3 – Circuitos monoestáveis
- 8.4 – Astáveis e monoestáveis integrados

Objetivos:

- Entender como funciona um multivibrador astável e calcular sua frequência
- Aprender como funciona um multivibrador monoestável e calcular seu tempo de acionamento
- Saber quais são os circuitos integrados das principais famílias que contam com multivibradores
- Fornecer alguns circuitos práticos de multivibradores

8.1 – Multivibradores Astáveis

Em sua maioria, os circuitos digitais trabalham de uma forma sincronizada, o que é conseguido através de sinais retangulares que precisam ser gerados por algum tipo de oscilador. Para aplicações em eletrônica digital, o oscilador, que produz o sinal de “Clock” ou “relógio” deve ter características especiais, o que exige o uso de diversas configurações.

O sinal de clock usado nos circuitos digitais deve ter características muito bem definidas, pois precisa ser reconhecidos por esses circuitos. Isso significa que os sinais de clock devem ser perfeitamente retangulares e ter uma frequência de acordo com o tipo de circuito que devem sincronizar.

Qualquer alteração na forma de onda de um sinal de clock pode levar o circuito a não reconhecê-lo, como ainda entrar num comportamento instável que afeta todo o seu funcionamento.

Uma das configurações mais importantes, usada para geração de sinais de clock, ou seja, sinais retangulares, é justamente aquela que parte de um circuito que tem bastante semelhança com os flip-flops que estudamos no capítulo anterior.

Este circuito recebe o nome de multivibrador astável e se caracteriza por não ter dois, nem um, estado estável. Este circuito muda constantemente de estado, numa velocidade que depende dos valores dos componentes usados e que, portanto, gera um sinal retangular.

Da mesma forma que estudamos os flip-flops partindo da configuração básica com transistores vamos fazer o mesmo com o multivibrador astável.

Assim, se tivermos a configuração mostrada na figura 1, usando transistores, os capacitores proporcionam uma realimentação que leva o circuito à oscilação.

Multivibradores

Veja a lição do Curso de Eletrônica analógica – Vol 1 que trata dos osciladores para ter mais informações sobre este tipo de circuito, inclusive as fórmulas de cálculo.

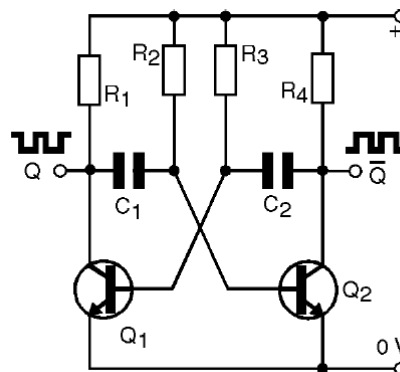


Figura 1 – Multivibrador astável com transistores

No multivibrador astável, a frequência é determinada por dois capacitores e dois resistores, ou seja, pela constante de tempo RC destes componentes. Dizemos que este tipo de oscilador é do tipo RC.

Analisemos melhor como funciona a configuração mostrada na figura 1.

Quando a alimentação é estabelecida um dos transistores conduz mais do que outro e, inicialmente, podemos ter, por exemplo, Q1 saturado e Q2 cortado. Com Q1 saturado o capacitor C1 carrega-se via R1 de modo que a tensão no capacitor sobe gradualmente até o ponto em que, estando carregado, o transistor Q2 é polarizado no sentido de conduzir.

Quando isso ocorre, Q2 tem um dos seus terminais aterrado e descarrega-se. Nestas condições Q1 vai ao corte e Q2 satura. Agora é a vez de C2 carregar-se até que ocorra novamente uma comutação dos transistores e um novo ciclo de funcionamento ocorra.

As formas de onda geradas neste circuito são mostradas na figura 2, observando-se o ciclo de carga e descarga dos capacitores.

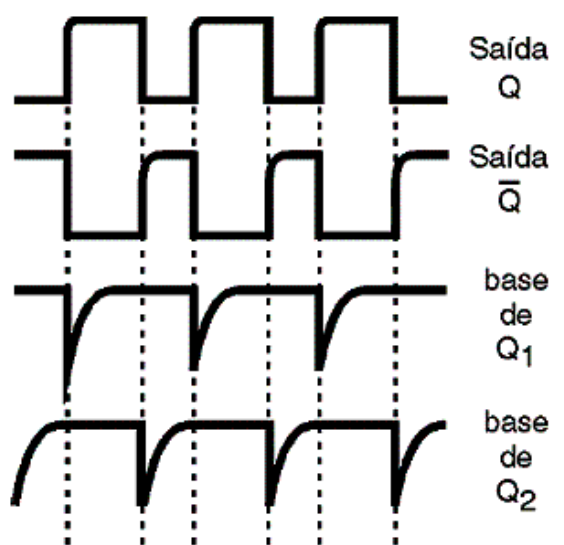


Figura 2 – Formas de onda no circuito da figura 1

O leitor pode perceber então que o tempo de carga e descarga dos capacitores e, portanto, das oscilações geradas por este circuito dependem tanto dos valores dos capacitores, como dos resistores de base através dos quais ocorrem as descargas.

Também podemos observar que os sinais gerados são retangulares, pois ocorre uma comutação rápida dos transistores de tal forma que a tensão em seus coletores sobe e desce rapidamente.

Da mesma forma que no caso dos flip-flops, podemos elaborar multivibradores astáveis tanto usando válvulas como transistores de efeito de campo.

Podemos também ter osciladores RC que geram sinais com boa estabilidade com menos componentes. Estes osciladores podem ser elaborados com funções lógicas, e para isso temos diversas possibilidades.

Sinais Retangulares e Quadrados

Nos documentos técnicos de origem inglesa é comum encontrarmos o termo “square” (quadrado) para indicar a forma de onda gerada por circuitos como os multivibradores. No entanto, não podemos falar exatamente em “quadrado” para uma forma de onda em que as dimensões nos sentidos vertical e horizontal não são as mesmas. No sentido vertical temos amplitude e no sentido horizontal, tempo. Assim, por uma questão de conveniência, é comum que em português usemos o termo retangular para especificar um sinal do tipo gerado por um multivibrador, e eventualmente usar o termo “quadrado” quando o ciclo ativo é 50%, ou seja, quando o tempo no nível alto é igual ao tempo no nível baixo. Neste curso, usaremos o termo “retangular” para especificar os sinais gerados pelos multivibradores e usados nos circuitos digitais em geral.

8.2 – Astáveis com funções lógicas

Como já explicamos em lições anteriores, é possível construir praticamente qualquer tipo de função mais complexa, usando os blocos básicos que são as portas.

Isso também é válido para o caso dos multivibradores, tanto astáveis como monoestáveis. Podemos partir de funções lógicas comuns, e com a utilização de alguns componentes externos passivos como resistores e capacitores, para determinar frequência e ciclo ativo, podemos obter diversos tipos de multivibradores. Vejamos alguns deles:

Fórmulas

O comportamento de qualquer circuito pode ser previsto através de fórmulas. Existem basicamente dois tipos de fórmulas que podemos usar no nosso trabalho.

a) Fórmulas exatas - são fórmulas que levam em conta todos os parâmetros que determinam determinada condição de um circuito e que, portanto, levam a resultados exatos.

b) Fórmulas empíricas - são fórmulas aproximadas e, portanto, simplificadas, em que alguns elementos que não influem de modo decisivo no funcionamento de um circuito, são desprezados. Elas também levam em conta a precisão dos componentes usados. Pouco adiante incluir numa fórmula um parâmetro que influi em 0,1% no resultado final de um cálculo quando a tolerância dos componentes usados na prática é muito maior que isso.

Na prática, para simplificar os cálculos é comum fazermos o uso de fórmulas empíricas no projeto de um circuito. Nos cursos avançados, como os de engenharia, trabalha-se com as fórmulas exatas.

a) Astável usando inversores

Um primeiro tipo de oscilador RC ou astável pode ser elaborado com base em dois inversores utilizando-se a configuração mostrada na figura 3.

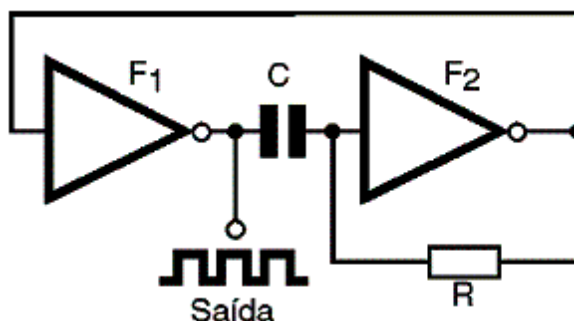


Figura 3 – Astável usando inversores

Neste circuito R e C determinam a frequência de operação. O princípio de funcionamento pode ser resumido da seguinte forma: quando o inversor F2 está com a saída no nível alto, a saída de F1 estará no nível baixo o que fará com que o capacitor se carregue via R.

Quando a tensão em C atinge o valor que provoca a comutação de F2, ele troca de estado e sua saída vai ao nível baixo. Nestas condições a saída de F1 vai ao nível alto. A partir desse momento o capacitor é “invertido” começando sua carga, mas com polaridade oposta até que novamente tenhamos o reconhecimento do nível de comutação e um novo ciclo tenha início.

A frequência de operação deste circuito é dada com aproximação pela fórmula:

$$f = 1/(2 \times 3,14 \times R \times C)$$

Onde:

3,14 é o “PI” (p) que é constante.

C deve ser expresso em farads, R em ohms para que tenhamos a frequência em hertz.

É importante observar que, à medida que nos aproximamos da frequência máxima que o circuito integrado pode operar, o sinal começa a ter suas bordas arredondadas, deformando-se assim em relação a uma forma de onda retangular perfeita. Esse fato deve ser considerado nas aplicações mais críticas.

Nos circuitos integrados CMOS costuma-se agregar nas entradas diodos de proteção com a finalidade de protegê-los contra descargas estáticas. Estes diodos afetam o funcionamento dos osciladores podendo dificultar sua operação.

Uma maneira de se contornar o problema causado pela presença dos diodos consiste em se modificar o circuito da figura 3 agregando um resistor adicional, conforme indicado na figura 4.

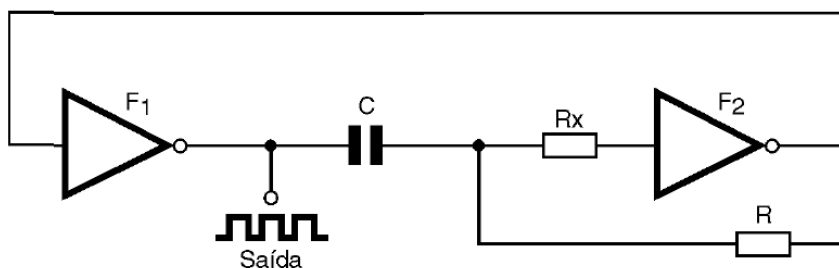


Figura 4 – Melhorando o desempenho do circuito com um resistor adicional

Este resistor Rx deve ser pelo menos 10 vezes maior que R. Valores da ordem de 1 M ohms são os mais usados na prática de modo a não afetar a frequência de operação determinada pela fórmula que vimos e, com isso, manter a estabilidade de funcionamento do circuito.

Podemos controlar a frequência deste tipo de oscilador colocando um resistor variável no circuito de realimentação, conforme mostra a figura 5.

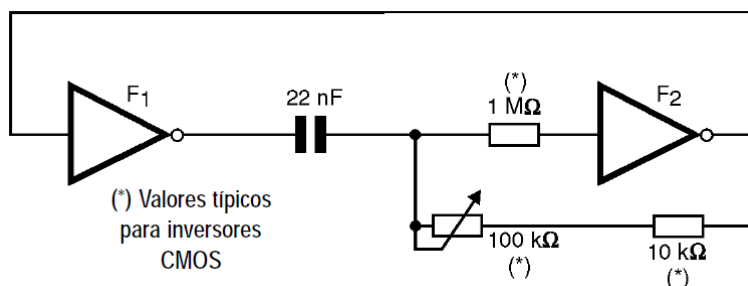


Figura 5 – Agregando um controle de frequência

Como o resistor variável é 10 vezes maior do que o resistor que está em série, a faixa de frequências obtida variará numa razão de 10 para 1.

Assim, se a frequência mínima for de 100 Hz, a máxima será de 1000 Hz. Veja que não é recomendável que o resistor em série

seja muito pequeno, menor que 10 k ohms dadas às características do circuito.

Como o tempo de carga e descarga do capacitor é o mesmo o sinal produzido tem forma de onda retangular com um ciclo ativo de aproximadamente 50%, ou seja, o tempo em que ele permanece no nível alto é o mesmo do nível baixo, conforme mostra a figura 6.

Podemos dizer que este circuito gera um sinal “quadrado”, conforme já explicamos anteriormente.

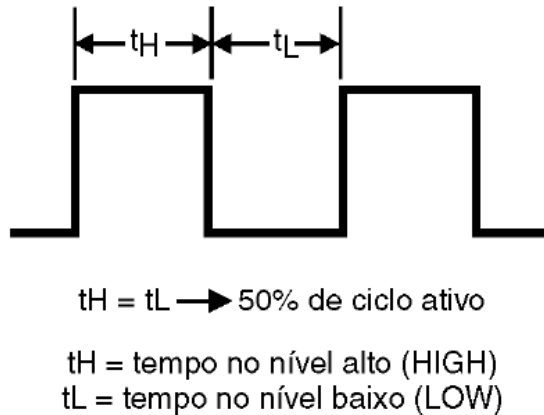


Figura 6 – Forma do sinal gerado

Na maioria das aplicações que envolvem o uso de circuitos digitais, são necessários circuitos de clock que tenham ciclos ativos de 50%. No entanto existem aplicações especiais em que um ciclo ativo diferente pode ser necessário.

Para se modificar o ciclo ativo, o recurso mais comum consiste em se agregar componente para fornecer percursos diferentes para a corrente de carga e descarga do capacitor, o que pode ser conseguido facilmente com o concurso de diodos de uso geral.

Assim, para o circuito que tomamos como exemplo, é possível modificar o ciclo ativo da maneira indicada na figura 7.

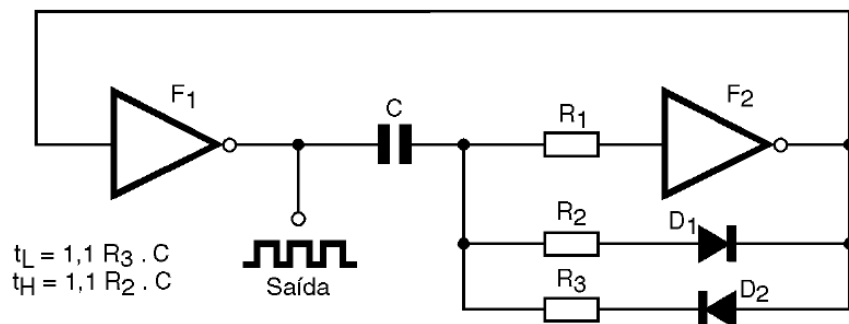


Figura 7 – Alterando o ciclo ativo com o uso de diodos

O capacitor vai carregar-se via R1 e descarregar-se via D2, o que significa tempos diferentes para a saída no nível alto e baixo.

Estes tempos, que dependem dos capacitores, é dado pelas fórmulas junto ao diagrama.

Para se obter um ajuste do ciclo ativo pode-se agregar um potenciômetro ou trimpot ao circuito que vai determinar os percursos para as correntes de carga e descarga do capacitor, conforme mostra a figura 8.

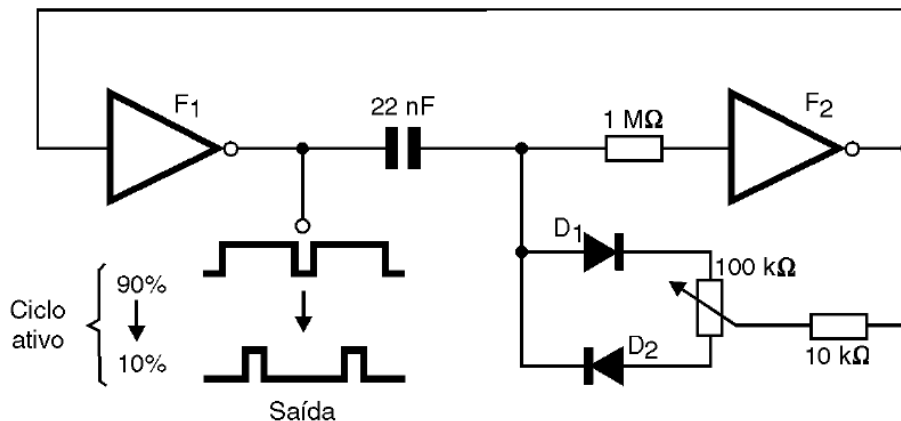


Figura 8 – Controlando o ciclo ativo

A posição do cursor do potenciômetro determina o ciclo ativo, observando-se que na posição central este ciclo será de 50%.

Observamos finalmente que inversores podem ser obtidos com a ligação de portas NOR ou NAND, com as entradas em paralelo, conforme mostra a figura 9.

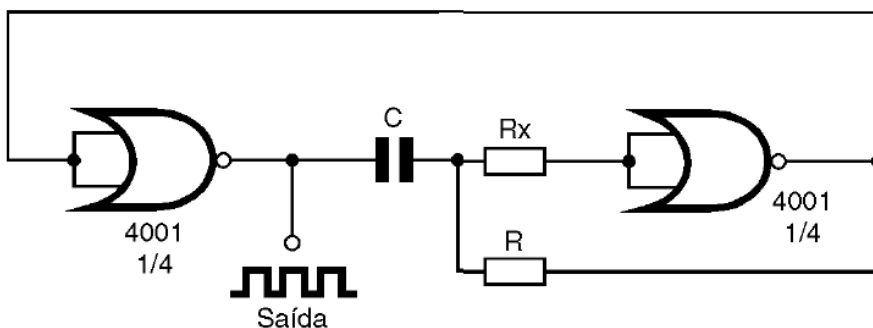


Figura 9 – Astável com inversores obtidos a partir de funções NOR

Assim, a configuração indicada pode ser elaborada com portas NAND ficando com a disposição da figura 10.

Frequência máxima

Para as portas TTL também é possível elaborar as mesmas configurações, mas dadas suas características elétricas, os valores dos componentes mudam completamente. Veremos isso mais adiante.

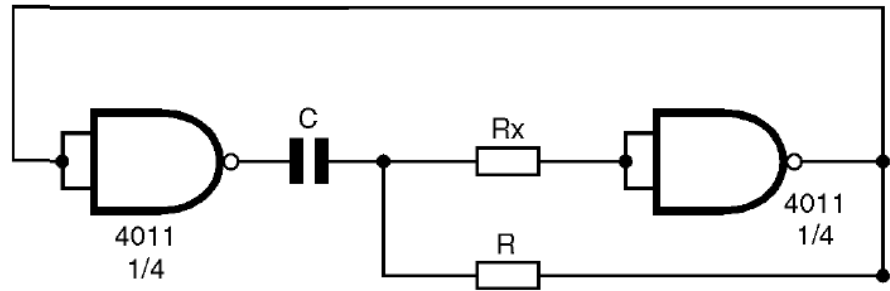


Figura 10 – Astável obtido com inversores elaborados com portas NAND

Também é importante notar que a precisão na obtenção das frequências calculadas pelas fórmulas depende muito da tolerância dos componentes externos usados, e da própria tensão de alimentação.

Conforme vimos, pelas características dos componentes tanto TTL como CMOS, o tempo de trânsito dos sinais depende do tipo de circuito integrado usado e, especificamente para os CMOS, da tensão de alimentação.

Uma leve variação da frequência gerada pode então ocorrer quando esses parâmetros oscilam.

b) Oscilador com disparador

Uma característica, não muito desejada quando se deseja usar uma função como osciladora, é o tempo de comutação quando o nível lógico é reconhecido na entrada.

Um tipo de função lógica importante que tem tempos reduzidos de comutação é a formada por circuitos disparadores, ou “triggers” como, por exemplo, do circuito integrado 4093, que é mostrado na figura 11.



Figura 11 – A função NAND disparadora do 4093 (CMOS)

Estas portas possuem uma característica de histerese que é mostrada na figura 12.

Histerese

A histerese também é importante para evitar oscilações que possam ocorrer na mudança de nível de um circuito quando o sinal vem de um sensor ou de uma chave, podendo causar o denominado “repique”.

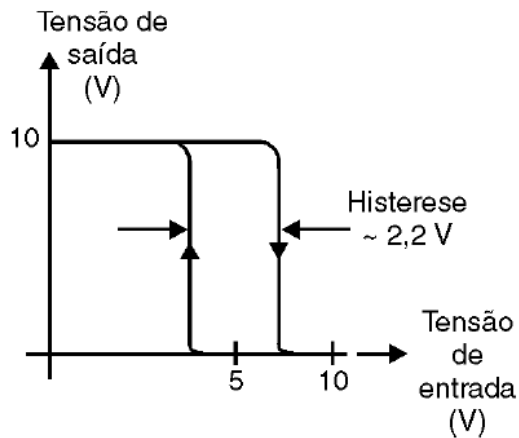


Figura 12 – Característica de histerese do 4093

Esta característica mostra que, quando o circuito reconhece o nível lógico necessário à comutação, a saída passa de um nível a outro numa velocidade muito grande, ou seja, há uma comutação muito rápida.

Veja que isso não ocorre com as funções equivalentes, “não disparadores”, que possuem uma transição mais lenta de níveis lógicos.

Por outro lado, o nível lógico de entrada que faz novamente a comutação para que a saída volte ao estado anterior não ocorre com a mesma tensão “de ida”.

Em outras palavras, o sinal de saída oscila do nível alto para o baixo e vice-versa com tensões diferentes de entrada. Estas diferentes tensões determinam uma faixa denominada “histerese” e que é mostrada na curva da figura 12.

Esta característica de histerese é muito importante, pois garante que o circuito comute com segurança tanto “na ida” como “na volta” dos sinais, e que, além disso, possam ser usados em osciladores de bom desempenho.

Para termos um oscilador com uma porta NAND disparadora, como a do circuito integrado CMOS 4093, precisamos de apenas dois componentes externos na configuração mostrada na figura 13.

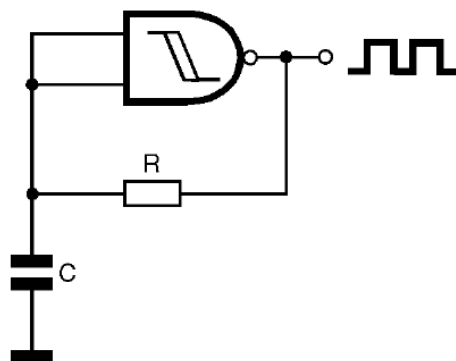


Figura 13 – Oscilador com o 4093

Neste circuito, o capacitor se carrega através do resistor quando a saída da porta (ligada como inversor) está no nível alto, e se descarrega quando está no nível baixo, produzindo um sinal com ciclo ativo bem próximo de 50%.

Também observamos que essa forma de onda sofre um “arredondamento”, à medida que nos aproximamos do limite de operação do circuito integrado, o qual depende da tensão de alimentação.

Para um 4093, esse limite está em torno de 12 MHz para uma alimentação de 15 V, caindo para 4 MHz com 5 V.

A entrada do circuito, ligada entre o capacitor e o resistor, não drena nem fornece corrente já que é de alta impedância, apenas sensoriando o nível de tensão neste ponto para fazer a comutação.

As formas de onda obtidas neste circuito são mostradas na figura 14.

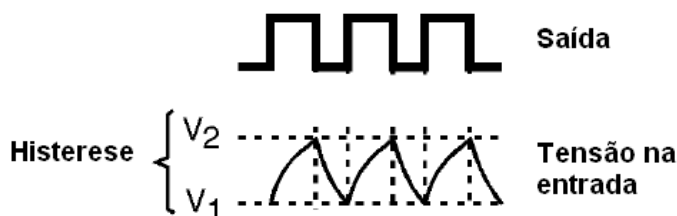


Figura 14 – Formas de onda no circuito oscilador com o 4093

Da mesma forma que nos circuitos anteriores, também podemos modificar o ciclo ativo do sinal gerado, modificando o percurso da corrente de carga e descarga do capacitor o que pode ser conseguido através de diodos.

Temos então na figura 15 um circuito com ciclo ativo diferente de 50% usando diodos.

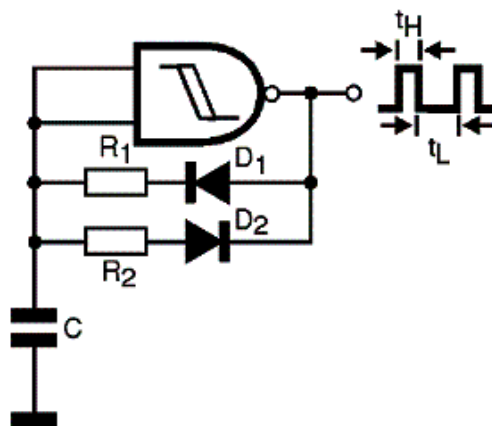


Figura 15 – Alterando o ciclo ativo do oscilador com o 4093

Neste circuito, quando a saída do disparador está no nível alto, o capacitor carrega-se via D1 e R1. Esses componentes determinam então o tempo de saída alto. Quando o circuito comuta e a saída do