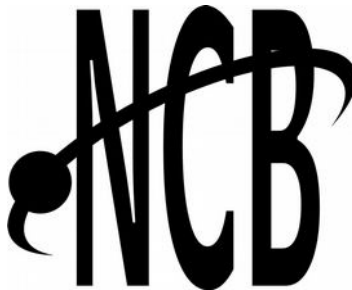


Newton C. Braga

O CIRCUITO INTEGRADO 4017

Editora Newton C. Braga
São Paulo - 2014



Instituto NCB

www.newtonbraga.com.br
leitor@newtonbraga.com.br

O CIRCUITO INTEGRADO 4017

Autor: Newton C. Braga
São Paulo - Brasil - 2014

Palavras-chave: Eletrônica - Engenharia Eletrônica - Componentes - Circuitos práticos - Coletânea de circuitos - Projetos eletrônicos - Integrados CMOS - Digital - 4017

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. Essas 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).

Diretor responsável: Newton C. Braga
Diagramação e Coordenação: Renato Paiotti

Índice

O Circuito Integrado 4017.....	5
A Família CMOS de Circuitos Integrados.....	6
-4049 - Seis inversores.....	12
Famílias e Subfamílias CMOS.....	13
-Sensibilidade ao manuseio.....	15
-Interfaceando.....	23
O Circuito Integrado 4017.....	31
-USANDO CONTADORES 4017	39
-OUTRAS APLICAÇÕES.....	39
-CASCATEANDO 4017.....	46
-CLOCKS.....	51
Aplicações Práticas	56
-Efeitos de Luz.....	56
1 - Contador Didático 1 de 10.....	56
2 - Sequencial de LEDs.....	57
3 - BRAKE LIGHT SEQUENCIAL.....	64
4 - LEDS HIPNÓTICOS.....	71
5 - METAMORFOSE DIGITAL	84
6 - Sequencial 4017 Básico.....	95
-Efeitos de Som e Geradores	99
1 - Caixa de Música.....	99
2 - Sequenciador Musical de 5 Notas.....	100
3 - Oscilador com Ciclo Ativo Seleccionável	101
4 - Gerador de Funções e Níveis de Tensão.....	111
5 - Sintetizador de Frequências PLL.....	121
6 - Sintetizador PLL de 2 a 9 kHz.....	127
-Jogos e Geradores Aleatórios.....	129
1 - Dado Digital CMOS.....	129
2 - Gerador de Números Aleatórios.....	134
3 - Sorteador 4017 (2).....	140
4 - Dado Eletrônico.....	141
-Outros Circuitos.....	142
1 - Chave Seletora Digital.....	142
2 - Controle Programável.....	145
3 - Simulador de Presença.....	157

4 - Encoder para Controle Remoto.....	164
5 - Decodificador Para Controle Remoto.....	165
6 - Controle Sequencial.....	167
7 - Micro PLC.....	167
8 - Controle Sequencial por Relé.....	170
9 - Controle de Motor de Passo.....	170
10 - Chave de Toque Sequencial.....	171
11 - Matriz Sequencial 6 x 3 de LEDs.....	172
12 - Dado de Toque (2).....	173
-Neon e CMOS.....	174

O Circuito Integrado 4017

Em eletrônica, é comum encontrarmos componentes que mesmo tendo sido criados há muito tempo, ainda hoje encontram uma gama enorme de utilidade e por isso são utilizados em grande quantidade de projetos. Diversos fabricantes fazem os mesmos componentes com suas designações, atingindo um mercado de bilhões de unidades. É o caso de componentes como o 555, 4093, os reguladores de tensão 78 e 79xx, os transistores BC548, e evidentemente o que abordamos neste livro, o 4017. De fato, pela sua utilidade e pela infinidade de possibilidades de aplicações que apresentam, estes componentes justificam plenamente a elaboração de um livro e em alguns casos, até mais de um. Já publicamos um livro sobre o 4093 (Nos Estados Unidos e que deve ter em breve a versão em português), pretendemos também fazer um sobre o 555 que ainda não estava pronto quando este livro foi elaborado e muitos outros. Mas, para o 4017, um livro único é pouco pela quantidade de circuitos e aplicações que este componente admite e que pode ser comprovado pelas dezenas de projetos em nosso site. Diferentemente do site, em que os projetos estão espalhados e não organizados, este livro os organiza, acrescenta novas idéias e circuitos e dá um tratamento especial ao 4017. São projetos de seqüenciais, temporizadores, decodificadores, efeitos de luz e som, e muito mais. Indicado a todos que praticam eletrônica, ensinam ou estudam eletrônica, necessitando de projetos e informações práticas à mão, o livro é mais uma obra de consulta que temos em nossa vasta coleção que iniciamos há mais de 40 anos atrás e que hoje já conta com mais de 140 livros de nossa autoria, sendo mais de 40 ainda em disponibilidade pelo nosso site www.newtoncbraga.com.br.

Não á limite para o que pode ser feito com o circuito integrado 4017. Podemos fazê-lo contar até qualquer número entre 2 e 9 e cascadeando diversos deles podemos ir muito além, contando até 19, 29, etc.

Podemos usá-lo em temporização, codificação, decodificação, para gerar formas de ondas, efeitos de luz e som e muito mais. Tudo isso justifica a frequência com que o leitor encontra projetos que se baseiam neste circuito integrado. Usar o circuito 4017 é simples, e uma vez que o leitor domine esta técnica, poderá fazer seus próprios projetos usando este componente. Assim, nas linhas seguintes vamos mostrar como funciona o 4017 e como podemos usá-lo de diversas maneiras, com diversos projetos práticos.

A Família CMOS de Circuitos Integrados

As explicações seguintes são do nosso livro Curso de Eletrônica Digital – Vol 1 – Lição 4. Assim, se o leitor já as estudou naquele livro não precisará estudar novamente aqui essas informações, mas julgamos interessante colocá-las novamente aqui, para facilitar consultas sobre as características desses componentes.

O circuito integrado 4017 pertence à família CMOS de circuitos integrados.

Assim, para entender melhor como podemos usá-lo será interessante, antes de dar uma olhada especificamente no 4017, conhecer sua família. CMOS significa "Complementary Metal-Oxide Semiconductor", sigla que corresponde a um tipo de tecnologia que utiliza transistores de efeito de campo, ou "field effect transistor" (FET), em lugar dos transistores bipolares comuns (como nos circuitos TTL), para elaboração dos circuitos integrados digitais.

Existem vantagens e desvantagens no uso de transistores de efeito de campo, mas os fabricantes, com o desenvolvimento de novas tecnologias de fabricação, conseguem pouco a pouco eliminar as diferenças que existem entre as duas famílias,

aumentando ainda mais as suas velocidades e reduzindo seu consumo de energia.

De uma forma geral, podemos dizer que existem aplicações em que é muito mais vantajoso usar circuitos integrados TTL e aplicações em que é melhor usar circuitos integrados CMOS.

Da mesma forma que podemos elaborar funções lógicas básicas usando transistores bipolares comuns, também podemos fazer o mesmo tomando por base nos transistores de efeito de campo MOS. A tecnologia CMOS (Complementary MOS) permite que os dispositivos tenham características excelentes para aplicações digitais.

Complementary MOS significa que em cada função temos configurações em que transistores de canal N e de canal P são usados ao mesmo tempo, ou seja, usamos pares complementares conforme mostra o diagrama do inversor lógico mostrado na figura 1. (O C de complementar significa o uso dos dois tipos de transistores)

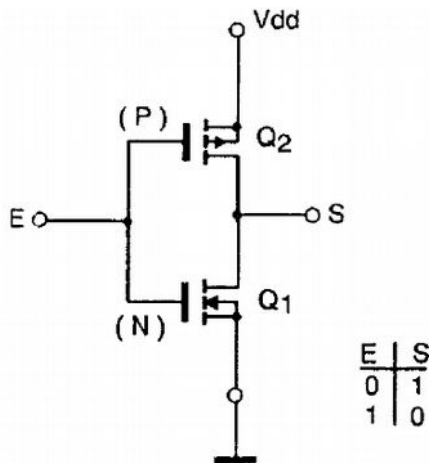


Figura 1 – Um inversor CMOS

Conforme sabemos de nosso Curso de Eletrônica – Eletrônica Analógica, a polaridade da tensão que controla a

corrente principal nos transistores de efeito de campo MOS depende justamente do tipo de material usado no canal, que pode ser tanto do tipo P quando do tipo N.

Assim, se levarmos em conta que nos circuitos digitais temos dois níveis de sinal possíveis podemos perceber que, dependendo do nível deste sinal aplicado à comporta dos dois transistores ao mesmo tempo, quando um deles estiver polarizado no sentido de conduzir plenamente a corrente (saturado), o outro estará obrigatoriamente polarizado no sentido de cortar esta corrente (corte).

No circuito indicado na figura 1, quando a entrada A estiver no nível baixo (0), o transistor Q2 conduz enquanto que Q1 permanece no corte. Isso significa que Vdd que é a tensão de alimentação positiva é colocada na saída o que corresponde ao nível alto ou 1.

Por outro lado, quando na entrada aplicamos o nível alto, que corresponde ao Vdd (tensão de alimentação), é o transistor Q1 que conduz e, com isso, o nível baixo ou 0 V (também indicado por Vss), que será colocado na saída.

Conforme sabemos, essas características correspondem justamente a função inversora.

Um inversor CMOS é, portanto, uma configuração muito simples de se implementar, pois usa apenas dois transistores complementares.

A partir dessa configuração, uma grande quantidade de funções pode ser implementada com base em transistores CMOS.

Consumo e velocidade

Analisando o circuito inversor tomado como base para nossas explicações, vemos que ele apresenta duas características importantes.

A primeira é que sempre um dos transistores estará cortado, qualquer que seja o sinal de entrada (alto ou baixo), o que significa que praticamente não circula corrente alguma entre o Vdd e o ponto de terra (0 V). A única corrente que circulará é eventualmente de um circuito externo excitado pela saída, conforme mostra a figura 2.

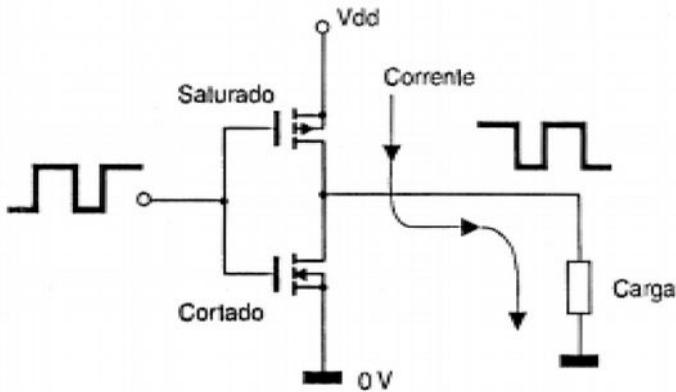


Figura 2 – A única corrente é a que passa pelo circuito externo

Isso significa um consumo extremamente baixo para este par de transistores em condições normais, já que na entrada do bloco seguinte, que também será um circuito CMOS, teremos uma impedância elevadíssima e praticamente nenhuma corrente circula. Este consumo é da ordem de apenas 10 nW (nW = nanowatt = 0,000 000 001 watt).

A corrente maior circula justamente no momento em que os transistores comutam, pois conforme vimos para excitar a etapa seguinte que é a entrada de um CMOS, deve ser carregado o capacitor que corresponde ao eletrodo de comporta, conforme explicaremos em detalhes mais adiante.

É fácil perceber que, se integrarmos 1 milhão de funções destas num circuito integrado, ele vai consumir apenas 1 mW! É claro que na prática temos fatores que tornam maior este consumo como, por exemplo, eventuais fugas, a necessidade de um ou outro componente especial de excitação que exija maior corrente, e a própria velocidade de operação que determina a velocidade com que o capacitor virtual de entrada deve ser carregado e descarregado. Conforme vimos, ao lado das boas características ele também tem seus problemas, e justamente um deles está no fato de que o eletrodo de controle (comporta) que é

uma placa de metal fixada no material semiconductor e isolada por uma camada de óxido, que funciona como a armadura ou placa de um capacitor, conforme mostra a figura 3.

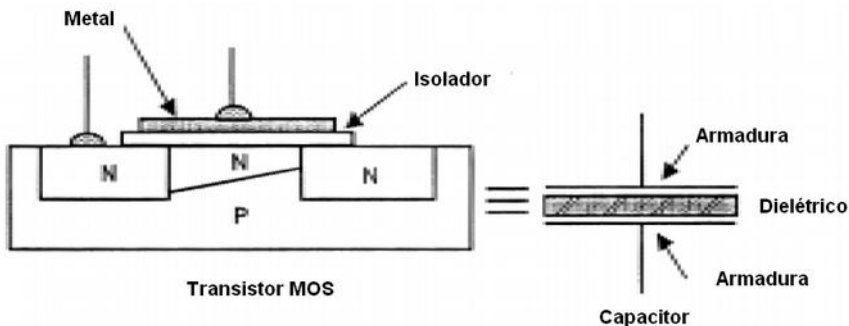


Figura 3 – Um transistor MOS se comporta como um capacitor

Isso significa que, ao aplicarmos um sinal de controle a uma função deste tipo, a tensão não sobe imediatamente até o valor desejado, mas precisa de certo tempo, tempo necessário para carregar o "capacitor" representado pelo eletrodo de comporta. Se bem que o eletrodo tenha dimensões extremamente pequenas, se levarmos em conta as impedâncias envolvidas no processo de carga e também a própria disponibilidade de corrente dos circuitos excitadores, o tempo envolvido no processo não é desprezível e certo atraso na propagação do sinal ocorre. O atraso nada mais é do que a diferença de tempo entre o instante em que aplicamos o sinal na entrada e o instante em que obtemos um sinal na saída.

Nos circuitos integrados CMOS típicos como os usados nas aplicações digitais, para um inversor como o tomado como exemplo, este atraso é da ordem de 3 nanossegundos (3 ns).

Isso pode parecer pouco nas aplicações comuns, mas se um sinal tiver de passar por centenas de portas antes de chegar a certo ponto em que ele seja necessário, a soma dos atrasos pode causar diversos problemas de funcionamento, se não for prevista.

Veja, entretanto ainda, que a carga de um capacitor num circuito de tempo, como o mostrado na figura 4 até um determinado nível de tensão depende também da tensão de alimentação.

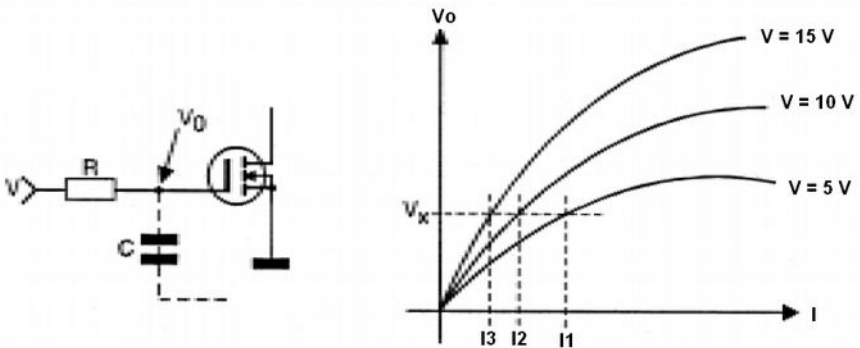


Figura 4- Carga do capacitor em função da tensão

Assim, com mais tensão a carga é mais rápida e isso nos leva a uma característica muito importante dos circuitos CMOS digitais que deve ser levada em conta em qualquer aplicação: com maior tensão de alimentação os circuitos integrados CMOS são mais rápidos.

Desta forma, enquanto que nos manuais de circuitos integrados TTL encontramos uma velocidade máxima única de operação para cada componente da família (mesmo porque sua tensão de alimentação é fixa de 5 volts), nos manuais CMOS encontramos as velocidades associadas às tensões de alimentação (já que os circuitos integrados CMOS podem ser alimentados por uma ampla faixa de tensões). Um exemplo de disso pode ser observado nas características de um circuito integrado CMOS formado por seis inversores (hex inverters) onde temos as seguintes frequências máximas de operação:

Obs: depois analisaremos em pormenores as características do 4017.

-4049 - Seis inversores

O circuito integrado CMOS 4049 é formado por seis inversores, com a pinagem do invólucro DIL de 14 pinos mostrada na figura 5.

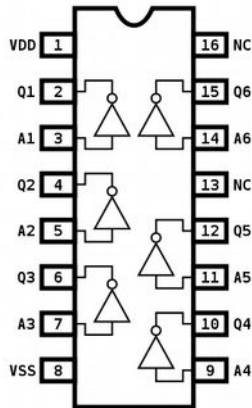


Figura 5 – O circuito integrado 4049

Frequência máxima de operação:
 Com Vdd = 5 V - 1,66 MHz (típico)
 Vdd = 10 V - 4,00 MHz (típico)
 Vdd = 15 V - 5,00 MHz (típico)

Veja então que o circuito é muito mais rápido quando o alimentamos com uma tensão de 15 V do que quando o alimentamos com uma tensão de apenas 5 volts.

Este fato é muito importante quando, por exemplo, devemos elaborar um oscilador com circuito integrado CMOS que opere no seu limite de velocidade ou quando vamos utilizar circuitos CMOS com outros de tecnologias mais rápidas.

Na figura 6 temos um gráfico que relaciona a velocidade de comutação com a corrente consumida.

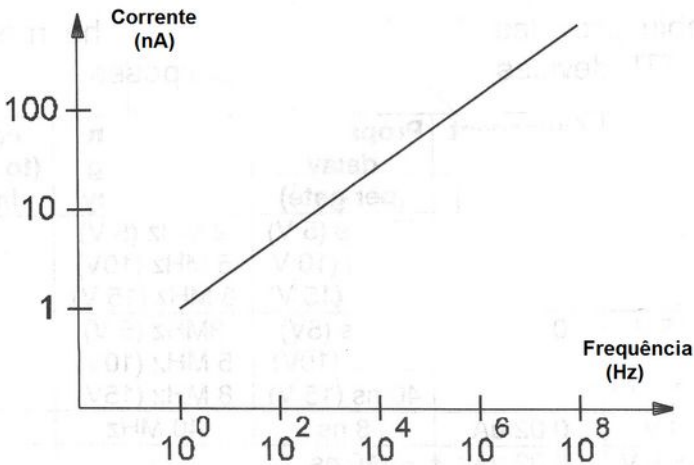


Figura 6 – Corrente consumida x velocidade de comutação

Na verdade, tecnologias especiais têm conseguido reduzir a capacitância de entrada dos circuitos CMOS a valores muito baixos. Hoje são disponíveis famílias de integrados CMOS que podem operar com baixas tensões e com velocidades que se aproximam daquelas obtidas com algumas famílias TTL.

A grande vantagem está na manutenção do baixo consumo, mesmo em velocidades elevadas de operação.

Famílias e Subfamílias CMOS

As famílias CMOS Standard começam com o 4000. Da mesma forma que no caso das famílias TTL temos também sufixos que indicam as subfamílias.

Também é importante notar que os números 4000 indicativos do tipo são acompanhados de um prefixo (conjuntos de letras) que indicam o fabricante, por exemplo, CD4001, etc.

Da mesma forma que no caso da família dos circuitos integrados TTL, também nos CMOS foram criadas sub-famílias com características especiais, algumas até com a mesma pinagem dos equivalentes TTL, seguindo, portanto a mesma nomenclatura.

Estas famílias, criadas a partir de 1972, visavam a substituição direta dos circuitos TTL por CMOS equivalentes, sem a necessidade de se modificar um layout de placa, pois a pinagem era a mesma.

Temos então as seguintes subfamílias CMOS com nomenclatura TTL, com suas características:

1. Standard 74C00 – esta é a família normal CMOS com nomenclatura TTL, mas que se encontra atualmente obsoleta. Observe a presença do “C” entre o 74 e o número do componente, para indicar que se trata de CMOS.
2. High Speed 74HC00 (High Speed significa alta velocidade) – Esta subfamília apareceu em 1980. Com os dispositivos desta família temos a mesma velocidade dos dispositivos TTL standard, mas com as características de consumo dos dispositivos CMOS.
3. High Speed 74HCT00 (alta velocidade) – esta subfamília se caracteriza pelo fato dos dispositivos terem entradas serem compatíveis com as saídas TTL.
4. Advanced High Speed 74AC00 (alta velocidade avançada) – com tempos de propagação típicos de apenas 5 ns
5. Advanced High Speed 74ACT00 (alta velocidade avançada) – com entradas compatíveis com TTL e tempos de propagação de 7 ns.

A tabela abaixo dá as principais características destas subfamílias quando comparadas com as CMOS convencionais da série 4000.

	Faixa de tensões	Corrente quiescente por porta	Tempo de propagação por porta	Frequência máxima de operação	Fan-out para entradas TTL LS
4000B	3 – 15 V	0,01 uA	125 ns (5V) 50 ns (10 V) 40 ns (15 V)	2 MHz (5 V) 5 MHz (10 V) 9 MHz (15 V)	1
4000UB	3 – 15 V	0,01 uA	90 ns (5 V) 50 ns (10 V) 40 ns (15 V)	3 MHz (5 V) 5 MHz (10 V) 8 MHz (15 V)	1
74HC00	2 – 6 V	0,02 uA	8 ns	40 MHz	10
74HCT00	4,5 – 5,5 V	0,02 uA	10 ns	-	10
74AC00	2 – 6 V	0,02 uA	6 ns	100 MHz	10
74ACT	4,5 – 5,5 V	0,02 uA	7 ns	-	60
TTL LS	4,75 – 5,25 V	0,5 mA	9 ns	40 MHz	20

-Sensibilidade ao manuseio

A presença de uma finíssima camada de óxido isolando a comporta do substrato, extremamente sensível a descargas elétricas, torna os dispositivos que usam transistores MOS muito delicados.

De fato, a própria carga elétrica acumulada em ferramentas ou no nosso corpo, quando caminhamos num tapete num dia seco, ou ainda atritamos objetos em nossa roupa, pode ser suficiente para danificar de modo irreversível dispositivos MOS. Para que o leitor tenha uma ideia, caminhando num carpete num dia seco, seu corpo pode acumular uma carga estática que atinge potenciais de até mais de 10 000 volts.

Se você tocar numa torneira ou uma maçaneta de porta a descarga de seu corpo neste percurso de terra pode lhe causar um forte choque.

Se, da mesma forma, você tocar num terminal de um dispositivo CMOS, a carga de seu corpo que escoar por este dispositivo pode facilmente destruir a finíssima camada de óxido que separa a comporta do substrato e, com isso, o componente estará inutilizado.