Sistemas Digitais

Aula 14 - Famílias Lógicas e Dispositivos de Memória

Material Didático do Instituto Metrópole Digital - IMD
Versão 5.0 - Todos os Direitos reservados

Apresentação

Nesta aula, você vai analisar as características elétricas e de chaveamento dos circuitos integrados das famílias TTL e CMOS. Além disso, você vai conhecer os diversos tipos de memórias em semicondutores, suas características de armazenamento e de acesso. Preste atenção na aula e bons estudos!

Objetivos

Ao final desta aula, você será capaz de:

- Caracterizar as principais propriedades dos dispositivos TTL e CMOS.
- Calcular o fan-out e as margens de ruído características dos dispositivos da família TTL.
- Classificar memórias em semicondutores.
- Diferenciar os diversos tipos de memória apenas de leitura.
- Diferenciar os dois principais tipos de memórias de leitura e escrita.
- Conhecer algumas terminologias utilizadas na fabricação de memórias a semicondutores.

Características dos Dispositivos TTL e CMOS

Nesta aula, vamos entender um pouco sobre os dispositivos das famílias lógicas (TTL e CMOS) e caracterizar melhor os dispositivos de memória. Estas informações serão muito úteis para você, já que estes dispositivos serão frequentemente utilizados em seus projetos, quer sejam usando microcontroladores, quer sejam usando dispositivos lógicos programáveis. O estudo dos microcontroladores será feito em uma aula futura.

Saiba que as famílias lógicas TTL e CMOS não são as únicas no universo dos dispositivos lógicos, mas, seguramente são as mais populares e, por esta razão, vamos nos dedicar a conhecer as principais características apenas delas duas e, mais detalhadamente a TTL, pela qual iniciaremos essa abordagem.

Principais Características dos Dispositivos TTL

Normalmente, as famílias lógicas são direcionadas para uso comercial (na família TTL todas as subfamílias que começam com os números 74) e para uso militar (na família TTL todas as subfamílias que começam com os números 54).

Nós nos limitaremos à abordagem das famílias de uso comercial. Para nosso curso, as informações que se seguem são mais do que suficientes. Na internet e, principalmente nos sites dos fabricantes, como Texas, Motorola, Fairchild, existe uma completa informação sobre estes dispositivos. No Google, basta procurar por datasheets TTL.

Caso você queira ter noção dos preços dos dispositivos que compõem esta família de componentes, acesse os sites <http://www.soldafria.com.br> e <http://www.compomil.com.br>. Existem muitos outros disponíveis.

Atividade 01

1. Pesquise na internet e nos sites dos fabricantes citados anteriormente, as informações sobre os dispositivos que vamos trabalhar nesta aula. Descreva o que você conseguir encontrar em sua pesquisa para aprender um pouco mais sobre as diferenças entre cada fabricante.

Família TTL

Na **Tabela 1** estão sumarizadas as principais características da família TTL. A partir desta tabela você irá conhecer qual dispositivo TTL pode ser mais ou menos adequado para usar em seus projetos.

Série	74	74S	74LS	74AS	74ALS	74F
Índices de desempenho						
Atraso de propagação (ns)	9	3	9,5	1,7	4	3
Dissipação de potência(mW)	10	20	2	8	1,2	6
Taxa de clock máxima (MHz)	35	125	45	200	70	100
Fan-out (mesma série)	10	20	20	40	20	33
Parâmetros de tensão						
$V_{OH}(mín)$	2,4	2,7	2,7	2,5	2,5	2,5
$V_{OL}(máx)$	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
$V_{IH}(mín)$	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
$V_{IL}(máx)$	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Parâmetros de corrente						
$I_{OH}(mA)$	-0,4	-1	-0,4	-2	-0,4	-1
$I_{IH}(\mu A)$	40	50	20	20	20	20
$I_{OL}(mA)$	16	20	8	20	8	20
$I_{IL}(mA)$	-1,6	-2	-0,4	-0,5	-0,1	-0,6

Tabela 1 - Características típicas das séries TTL

Importante!

Antes, uma informação muito importante: a família TTL só pode ser alimentada com tensão de 5 volts com uma variação máxima de mais ou menos 10%, ou seja, de 4,5 volts a 5,5 volts. Qualquer tensão de alimentação fora dessa faixa poderá danificar o componente (caso de tensões maiores que 5,5 volts) ou impedir sua operação normal (caso de tensões menores que 4,5 volts).

Antes de analisar os dados da tabela, vamos definir melhor as séries apresentadas: 74 é a série original da lógica TTL (embora existente ainda no mercado, não é mais uma boa escolha, você verá logo mais o porquê); 74S é a denominada TTL schottky; a 74LS é a TTL schottky de baixa potência; a 74AS é a TTL schottky avançada; a 74ALS é a TTL schottky de baixa potência avançada e; a 74F é a TTL fast. Em alguns sites você pode complementar essas informações, como, por exemplo, no:

http://www.globalspec.com/Specifications/Semiconductors/Logic_Devices/Binary_Comparators

A denominação Schottky se deve à presença de um diodo de barreira Schottky conectado entre a base e o coletor de cada transistor usado em sua construção, o que melhora sensivelmente as características de chaveamento como poderemos constatar pelos dados apresentados na **Tabela 1**. Quando falamos em características de chaveamento, estamos nos referindo à velocidade com que um dispositivo responde na saída devido às mudanças que lhe são impostas na entrada. Por suas características construtivas, o diodo de barreira Schottky é o que responde de forma mais aproximada ao diodo ideal.

Falando na tabela, vamos ver o que significa cada um dos valores apresentados.

Importante!

Um esclarecimento: os dados apresentados na tabela são de portas NAND com exceção da taxa de clock máxima que é de um flip-flop JK (flip-flop JK? Como funciona um flip-flop JK? Quando as duas entradas J e K são iguais a 1 o que acontece mesmo?). Lembre-se das aulas anteriormente, nas quais falamos de projetos de circuitos sequenciais.

Características Típicas das Séries TTL

Atraso de propagação (valores fornecidos em ns)

Atraso de propagação é o tempo de resposta da porta numa mudança de um nível de saída para outro provocado por diferentes condições em suas entradas. Em outras palavras, é o tempo de pior caso, na mudança de um nível lógico de 0 para 1 (t_{plh} - denominação dada para o tempo que o dispositivo leva para mudar sua saída de nível lógico 0 para nível lógico 1) ou na mudança de um nível lógico 1 para nível lógico 0 (t_{phl} - denominação dada para o tempo que o dispositivo leva para mudar sua saída de nível lógico 1 para nível lógico 0). Como se considera o maior tempo, diz-se que é o tempo de pior caso. Observe na tabela que os dispositivos mais rápidos são os das subfamílias ou séries 74S e 74F.

Dissipação de potência (valores fornecidos em mW)

Quanto menor o consumo de potência de uma porta, melhor. Veja que uma porta da família 74 original dissipa muito mais energia que uma porta da série 74LS. E a 74S? O atraso de propagação da 74S é muito menor que o atraso da 74 original e 75LS, mas ela dissipa muito mais energia.

Taxa de clock máxima (valores fornecidos em MHz)

Você está lembrado que os flip-flops possuem uma entrada de clock, não? Caso não esteja lembrado, revise a aula do módulo de projetos de circuitos sequenciais. Pois bem, estes valores da tabela indicam a máxima velocidade de clock que pode ser aplicada a eles. Pelos valores apresentados dá para se ver que a série TTL que

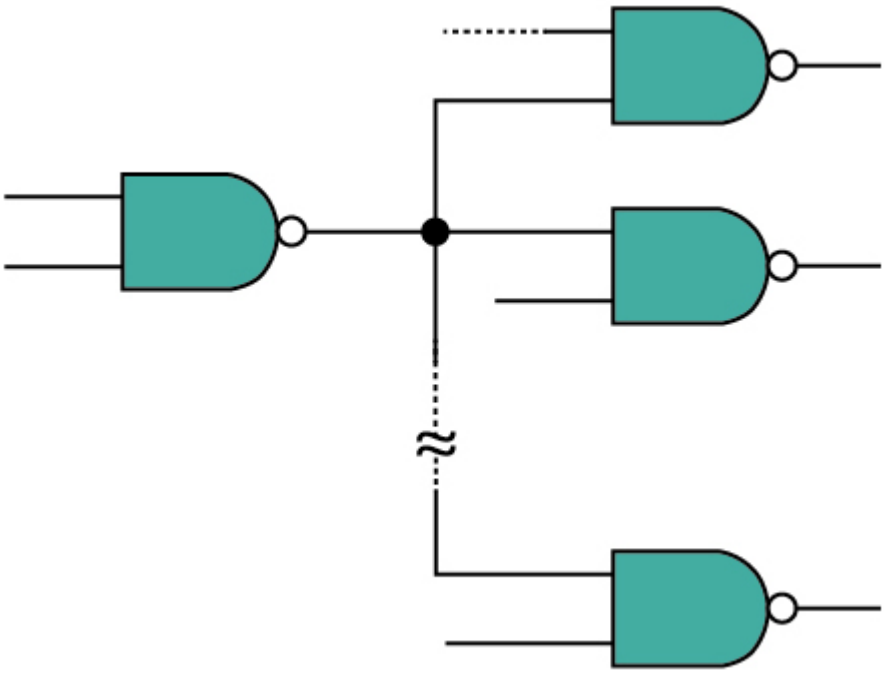
trabalha com maiores velocidades é a 74AS. Qual a série que responde com a pior taxa de clock (dica: observe a **Tabela 1**)? Era de se esperar, não? Afinal, ela foi a pioneira.

Fan-out (para a mesma série)

Bem, o termo fan-out designa a quantidade de entradas de diferentes dispositivos que uma saída de um dispositivo pode acionar. Compreendeu?

A **Figura 1** é bem esclarecedora. O fan-out de um dispositivo é calculado pelo somatório das correntes que ele pode fornecer ou que ele pode absorver. A situação de pior caso determinará o seu fan-out, ou seja, sua capacidade de acionamento de cargas. Essa história de fornecer ou absorver corrente, trataremos mais adiante. Veja que a série TTL com maior fan-out é a 74AS. Qual a de menor? Era também de se esperar, não?

Figura 01 - Conexão de saída de um dispositivo NAND para diferentes entradas de outras NAND



Valores Típicos TTL

V_{IH} (valores mínimos)

No que se refere aos V_{IH}, temos que entender que esta tensão determina o menor valor, em Volts, para o qual uma entrada ainda será reconhecida como de nível 1. Para todas as séries este valor é de 2,0 volts.

V_{IL} (valores máximos)

Já esta tensão determina o maior valor, em Volts, para o qual uma entrada ainda será reconhecida como de nível 0. Para todas as séries este valor é de 0,8 Volts.

V_{OH} (valores máximos)

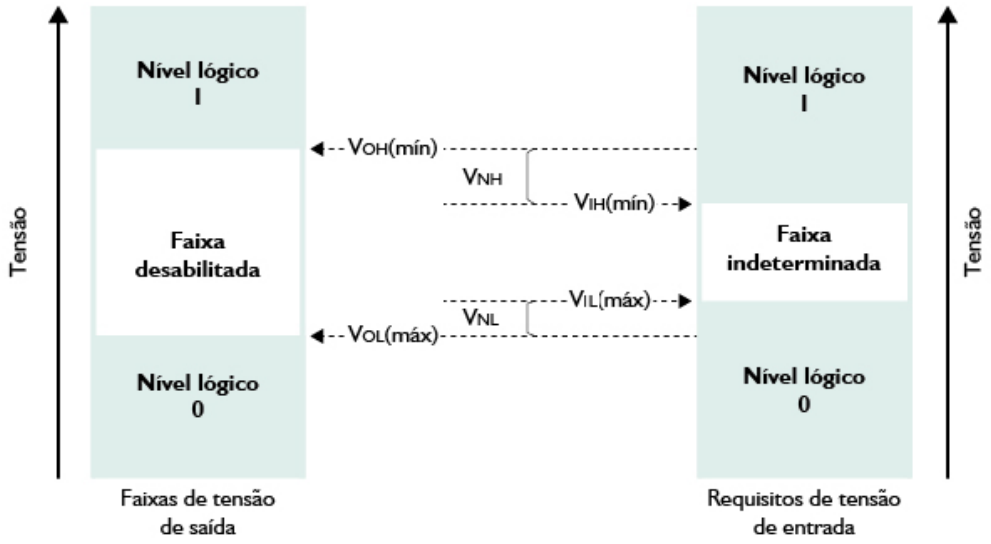
Esta tensão determina o menor valor, em Volts, que uma saída poderá apresentar quando em nível 1. Na maioria das séries este valor é de 2,5 volts.

V_{OL} (valores máximos)

Esta tensão determina o maior valor, em Volts, que uma saída poderá apresentar quando em nível 0. Na maioria das séries este valor é de 0,5 volts.

A **Figura 2** mostra um esquema com a representação destas tensões. Os níveis de tensão de saída estão representados à esquerda e os níveis requeridos na entrada estão representados à direita. A diferença entre V_{OH} e V_{IH} determina o que chamamos de margem de ruído para o estado de nível 1 (V_{NH}) e a diferença entre V_{OL} e V_{IL} determina o que chamamos de margem de ruído para o estado de nível 0 (V_{NL}).

Figura 02 - Tensões e margens de ruído em dispositivos TTL



Fonte: Tocci et al (2007, p. 410).

Atividade 02

Vamos praticar um pouco?

1. Quais as margens de ruído apresentadas pelos dispositivos TTL das séries 74S e 74F?
2. Qual, dentre as séries, apresentam as melhores margens de ruído?
3. O que acha que acontece se um sinal chegar com um nível de 1,2 volts na entrada de um dispositivo TTL?
4. Será que existe alguma garantia do valor de saída?

Características de Corrente de Entrada e de Saída

Após a atividade, vamos voltar a fazer a análise dos valores apresentados na tabela. Agora, veremos as características de corrente de entrada e de saída destes dispositivos.

I_{OH} (valores fornecidos em mA)

Especifica a corrente de saída que pode ser fornecida pelo dispositivo quando está em nível alto.

I_{IH} (valores fornecidos em μA)

Especifica a corrente de entrada de nível alto que poderá ser absorvida pelo dispositivo.

I_{OL} (valores fornecidos em mA)

Especifica a corrente de saída que poderá ser fornecida pelo dispositivo quando está em nível baixo.

I_{IL} (valores fornecidos em mA)

Especifica a corrente de entrada, de nível baixo, que poderá ser absorvida pelo dispositivo.

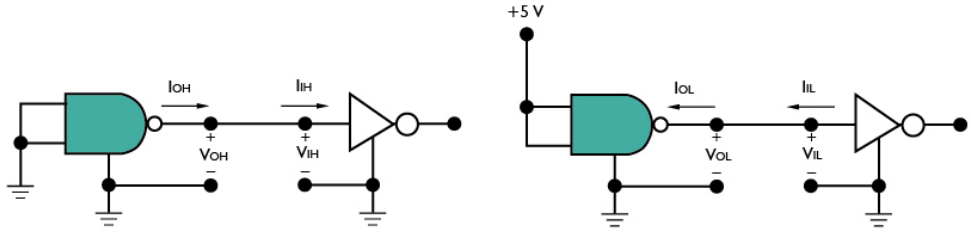
Para todas estas correntes, quanto maior o valor máximo, melhor poderá ser o fan-out do dispositivo. Observe que a série que apresenta melhores condições de fornecimento ou de absorção de correntes (logo deve ter um elevado fan-out) é a 74AS.

Os valores negativos de correntes apresentados na tabela são meramente convencionais.

Convenciona-se que correntes que saem de um dispositivo têm valor negativo. Veja na **Figura 3** a representação das tensões e das correntes presentes em um dispositivo TTL, bem como as polaridades das tensões e os sentidos de fluxo das correntes.

Uma boa prática é conferir se pelos valores máximos de correntes apresentados, os fan-outs ditos de cada série estão corretos.

Figura 03 - Tensões e correntes em um dispositivo TTL



Fonte: Tocci et al (2007, p. 408).

Principais Características dos Dispositivos CMOS

A tecnologia CMOS é a mais largamente utilizada nos dias atuais, principalmente, por seu baixíssimo consumo, baixo custo e pelo reduzido espaço ocupado nas pastilhas de silício. Igualmente apresenta várias séries, algumas compatíveis, inclusive, com séries da família TTL.

Uma grande diferenciação de um dispositivo CMOS de um TTL é a sua possibilidade de ser alimentado por faixa de tensões que excedem a faixa de alimentação dos TTL, a qual é de 0 para o nível de V_{ss} e de 5 volts com tolerância de 5% para V_{CC}. Por exemplo, as séries 4000 e 74C operam com V_{DD} que pode variar de 3 a 15 volts. Isso torna os dispositivos muito versáteis e adequados para diferentes fontes de alimentações de energia como, por exemplo, alimentações por baterias ou pilhas.

Como o significado e as designações das diversas características de um dispositivo eletrônico é do conhecimento de todos, nos limitaremos, para a família CMOS, apresentar simplesmente a **Tabela 2** que mostra os parâmetros de tensão das suas diversas séries.

Série	4000	74HC	74HCT	74AC	74ACT	74AHC	74AHCT
V_{OH} (mín)	4,95	4,9	4,9	4,9	4,9	4,4	3,15
V_{OL} (máx)	0,05	0,1	0,1	0,1	0,1	0,44	0,1
V_{IH} (mín)	3,5	3,5	2,0	3,5	2,0	3,85	2,0

Série	4000	74HC	74HCT	74AC	74ACT	74AHC	74AHCT
V_{IL} (máx)	1,5	1,0	0,8	1,5	0,8	1,65	0,8

Tabela 2 - Parâmetros de tensão típicos das séries CMOS com V_{DD} = 5 V

Através dessa tabela você terá condições de calcular as margens de ruídos e de fazer as devidas comparações entre as diversas séries CMOS ou até mesmo entre uma série CMOS e uma série da família TTL.

Saiba mais!

A série 4000, por ser a mais antiga, está caindo em desuso. As séries especiais 74 apresentam, em sua grande maioria, compatibilidade de pinos com as séries TTL de mesma numeração com características sensivelmente melhores. As séries 74HC e 74HCT CMOS são de alta velocidade, as 74AC e 74ACT são as séries CMOS avançadas, e a 74AHC e 74AHCT são as séries CMOS avançadas de alta velocidade.

Outras séries CMOS estão surgindo, com capacidade inclusive de trabalhar com tensões relativamente baixas, 2,5 volts ou até mesmo de 1,2 volts, por exemplo.

Atividade 03

1. Procure acessar alguns datasheets de portas e de flip-flops fabricados com tecnologia CMOS e complemente a **Tabela 2**, incluindo seus parâmetros de corrente e de chaveamento, mais ou menos nos moldes da **Tabela 1**.

Memórias a Semicondutores

Tem muita coisa para se estudar das famílias CMOS, mas nós vamos parar por aqui. Espero encontrar com alguns de vocês fazendo Engenharia Elétrica e, aí sim, vamos ter possibilidades de avançar muito neste assunto. Até de construir dispositivos CMOS. Temos competência para isto, sabia?

Em vários momentos do curso, principalmente, nos que trataram de arquitetura de microcomputadores, você vem tendo informações sobre memórias a semicondutores. A partir deste momento, você terá a oportunidade de conhecer melhor alguns conceitos envolvendo as memórias, como são classificadas e como são projetadas e construídas. Vamos nessa?

O conceito geral de uma unidade de memória é o de um dispositivo em que é possível o armazenamento permanente ou temporário de uma informação.

> Exemplos de unidades de memória são as fitas e discos magnéticos (usados como auxiliares no armazenamento de grandes quantidades de dados) e as memórias a semicondutor (usadas nos circuitos e sistemas digitais).

A capacidade de armazenamento de uma memória pode variar de um bit a bilhões de bits.

Por exemplo, os circuitos chamados de flip-flops são capazes de armazenar 1 bit de informação e o registrador, unidade de memória projetada com vários flip-flops, é capaz de armazenar informações de vários bits, normalmente, 8, 16 ou 32 bits.

Agora, você vai estudar outros tipos comuns de dispositivos de memórias a semicondutor, utilizados, principalmente, na constituição da memória principal e da memória cache dos microcomputadores, nas quais são armazenadas milhões de informações constituintes dos softwares de sistemas operacionais como o Linux, por exemplo, e softwares aplicativos como, por exemplo, os do pacote LibreOffice.

Terminologias Usadas em Dispositivos de Memória

Alguns termos e conceitos importantes para o estudo dos dispositivos e sistemas de memória você deve compreender bem. Preste atenção nos seguintes termos:

Célula de memória

Unidade eletrônica de armazenamento de um único bit (0 ou 1).

Palavra de memória

Qualquer grupo de células de memória que represente uma informação com mais de um bit.

Exemplo: Um registrador constituído de 8 flip-flops pode ser considerado como uma memória capaz de armazenar uma palavra de 8 bits. Cada bit é armazenado em uma célula de memória e os 8 bits se constituem em uma palavra de 8 bits.

Nos sistemas digitais atuais, os tamanhos das palavras estão na faixa de 8 a 64 bits, sendo a terminologia byte usada para designar uma palavra de 8 bits e a terminologia word para designar uma palavra de 16 bits.

Capacidade de armazenamento - Forma de especificar quantos bits podem ser armazenados numa determinada memória.

Exemplo

Se uma memória pode armazenar 32.768 bits organizados em 4.096 palavras de 8 bits, pode-se dizer que sua capacidade é de 32.768 bits ou que é de 4.096 bytes (já que 8 bits correspondem a um byte).

Na maioria das vezes, o número de palavras da memória é múltiplo de 1.024, sendo comum neste caso o uso da designação "K" (kilo), para representar 1.024 (2^{10}) e de "M" (Mega) para representar 1.048.576 (2^{20}).

Atividade 04

Para fixar, raciocine um pouco e responda:

1. Se certo chip de memória a semicondutor é especificado como tendo a capacidade de $2K \times 8bits$, quantas palavras podem ser armazenadas neste chip?
2. Qual é o tamanho da palavra?
3. Quantos bits no total este chip pode armazenar?
4. Qual seria a melhor forma de caracterizar a capacidade de armazenamento dessa memória?

Localização de um byte na Memória

Se as respostas foram: 2.048 palavras de tamanho de byte, 1 byte, 16.384 bits e 2 Kbytes? Ótimo, pode continuar. Não? Revise os conceitos anteriores.

Uma observação: É comum o uso das abreviaturas KB para kbytes e Kb para Kbits.

Uma dica: O comum nas organizações de memória é especificar sua largura de palavra sempre em bytes. Por essa razão, vamos adotá-la a partir de agora. Ok?

Endereço

Número que identifica a localização de uma palavra.

Epa! Como falei que ia adotar a organização sempre em bytes, vou reiniciar a definição de endereço:

Número que identifica a localização de um byte na memória.

Exemplo: Considere que a **Tabela 3** mostra uma pequena memória composta de 8 bytes onde, cada um desses bytes tem um endereço definido por 3 bits e que estes endereços variam de 0002 (zero em decimal) a 1112 (sete em decimal). **Após isso, responda o que se pede na atividade a seguir.**

Endereços	Bytes armazenados	Referências
000	10011011	← byte no endereço 0
001	01010000	← byte no endereço 1
010	00111010	← byte no endereço 2
011	10001101	← byte no endereço 3
100	01011111	← byte no endereço 4
101	01001101	← byte no endereço 5
110	11111011	← byte no endereço 6
111	00001011	← byte no endereço 7

Tabela 3 - Exemplo de uma pequena memória de 8 bytes

Atividade 05

A partir da Tabela 3, copiada a seguir, responda às questões.

Endereços	Bytes armazenados	Referências
000	10011011	← byte no endereço 0
001	01010000	← byte no endereço 1
010	00111010	← byte no endereço 2
011	10001101	← byte no endereço 3
100	01011111	← byte no endereço 4
101	01001101	← byte no endereço 5
110	11111011	← byte no endereço 6
111	00001011	← byte no endereço 7

Tabela 3 - Exemplo de uma pequena memória de 8 bytes

1. Qual o conteúdo da memória presente no endereço 011_2 (três em decimal)? E no endereço 101_2 (cinco em decimal)?
2. Concorda que são 10001101 e 01001101? Por quê?

Memória de Acesso Randômico

Operação de leitura

Operação em que um byte armazenado em uma posição específica de memória é localizado e copiado para o dispositivo que o requisitou. Outra forma de dizer, é que é o dado lido da memória no endereço especificado pelo dispositivo que o requisitou. Em um microcomputador, normalmente, quem requisita a leitura é o microprocessador. Observe que uma leitura não modifica o dado armazenado na memória. Esta operação simplesmente faz uma cópia do valor lido da memória no dispositivo que o requisitou.

Operação de escrita

Operação na qual um novo byte é colocado em uma determinada posição de memória. Sempre que um novo byte é escrito para uma posição de memória, o conteúdo anteriormente presente nesta posição será destruído, ou melhor, modificado, assumindo o valor enviado pelo dispositivo que fez a escrita. Em um microcomputador, normalmente quem faz a escrita também é o microprocessador. Pelo jeito, ele é o dono do pedaço!

Tempo de acesso

Medida de tempo necessária para a efetivação de uma operação de leitura ou de uma operação de escrita. Como o tempo de leitura é diferente do tempo de escrita, defini-se o tempo de acesso a uma memória como sendo o mais longo dos dois.

Memória volátil

Qualquer tipo de memória que necessite estar ligada à energia elétrica (disse estar alimentada) para poder manter a informação armazenada. Se a alimentação for retirada, todos os dados armazenados serão perdidos.

Memória de acesso randômico (RAM – Random Access Memory)

Memória na qual a localização física dos bytes não tem efeito sobre o tempo que se leva para se fazer uma operação de leitura ou uma operação de escrita. Em outras palavras, os tempos de acesso de leitura ou de escrita são, respectivamente, os mesmos para qualquer dado em qualquer endereço da memória.

A grande maioria das memórias a semicondutor é de acesso randômico.

Memória de acesso sequencial (SAM – Sequential Acesss Memory)

Memória na qual o tempo de acesso depende do posicionamento da informação desejada. Para encontrar determinado endereço é preciso percorrer todos os endereços situados entre aquele onde se realizou o último acesso e o desejado. Isto produz tempos de acesso que são bem maiores do que os dos dispositivos de acesso randômico.

Saiba mais!

Todas as memórias de acesso sequencial implementadas a semicondutor usam registradores de deslocamento para armazenamento das informações. Sua aplicação se restringe mais às áreas nas quais o acesso aos dados é feito de maneira sequencial e repetitiva, principalmente, quando o acesso aos dados se dá na mesma ordem ou na ordem inversa em que foram armazenados.

Atividade 06

1. Qual a diferença entre uma memória volátil ou não volátil?
2. O que é o tempo de escrita e leitura de uma memória?
3. Defina RAM.

Classificação das Memórias a Semicondutor

As memórias a semicondutor podem ser classificadas em dois grandes grupos:

- Memórias de leitura/escrita ou RWM (Read/Write Memory)
- Memórias só de leitura ou ROM (Read Only Memory)

Como os próprios nomes indicam, no primeiro grupo estão as memórias nas quais as informações podem ser naturalmente lidas ou escritas e o segundo grupo incorpora a classe de memórias a semicondutor projetada para aplicações em que a taxa de leitura é infinitamente mais alta do que a de escrita.

Uma informação quando gravada em ROM, fato que tecnicamente só ocorre uma única vez, passa a estar disponível para operações só de leitura. As ROMs são não voláteis e continuam a reter a informação armazenada, mesmo na falta de alimentação.

Descrição Geral de Operação de uma Memória

Apesar das diferenças existentes na implementação de cada um dos tipos de memória, um conjunto de princípios básicos de operação permanece o mesmo para todos.

Atenção: Uma boa compreensão destes princípios irá ajudar bastante no estudo individual dos vários dispositivos de memória disponíveis.

Cada sistema de memória requer um conjunto de diferentes tipos de linhas de entrada e saída para realizar suas funções. Por exemplo, no diagrama de blocos mostrado na Figura 4 (que representa uma RWM de 32 bytes), temos:

Oito linhas para entrada de dados, (I_0 a I_7)

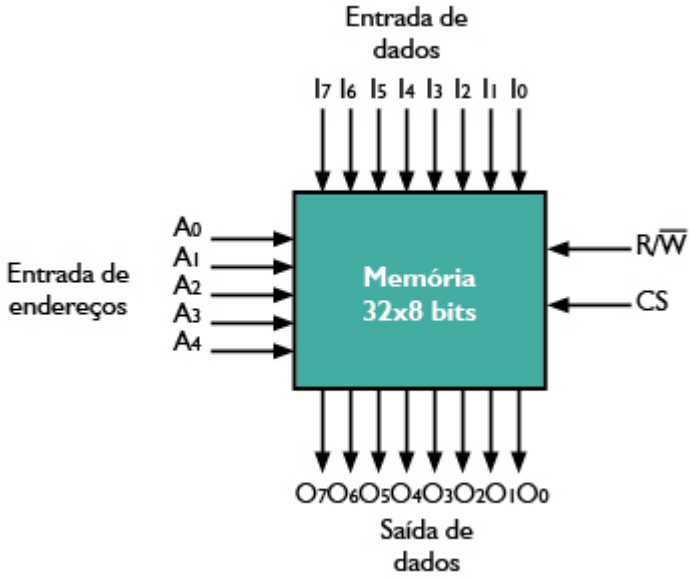
Oito linhas para saída de dados (O_0 a O_7)

Cinco linhas de entradas de endereços (A_0 a A_4)

Uma linha de entrada para controle de leitura/escrita ($R/\overline{W}$)

Uma linha de entrada responsável pela seleção do CI que é o CS (Chip Select).

Figura 04 - Sinais típicos em uma memória de leitura e escrita



Se o dispositivo for selecionado (CS = 1), e se chegar um nível lógico 1 na linha $R/\overline{W}$, será feita uma leitura da memória no endereço especificado pela entrada de endereços. Os dados lidos estarão disponíveis da saída de dados.

Se em $R/\overline{W}$ chegar um nível lógico 0, o conteúdo da entrada de dados será escrito no endereço fornecido pela entrada de endereço. Nenhuma informação é disponibilizada na saída de dados.

Atividade 07

Responda às questões a seguir.

1. Se uma memória do tipo RWM tem capacidade de 8k x 8 bits, quantas linhas para entrada e para saída de dados esta memória deve ter?
2. Quantas são as linhas de endereço?
3. Qual é sua capacidade em bytes?
4. Que respostas se alterariam se a memória fosse de 256k x 32 bits?

Caso surjam dúvidas, pergunte ao tutor.

Memórias apenas de Leitura

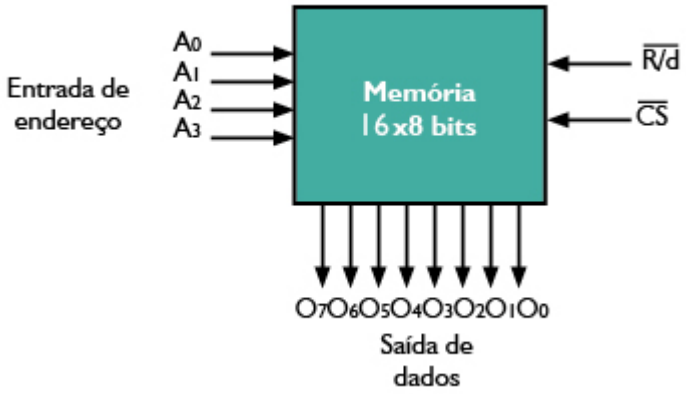
Durante a operação normal nenhum dado novo poderá ser escrito na ROM, sendo, no entanto, permitida a leitura de dados que estiverem armazenados.

A ROM é usada para guardar dados que não vão mudar durante o processo de operação do sistema. Uma vez que uma ROM é não volátil, seus dados não são perdidos mesmo se retirada a alimentação do dispositivo de memória.

Sinais Característicos Presentes em uma ROM

Os sinais característicos de um CI de memória ROM, 16 x 8 bits é mostrado na **Figura 5**. Entenda que as informações presentes nessa memória foram gravadas pelo fabricante do chip.

Figura 05 - Sinais característicos de uma memória só de leitura



Na **Figura 5** estão presentes 4 linhas de endereços, 8 linhas de saída de dados, 1 linha de seleção do CI e 1 de leitura de dados.

O valor binário $A_3A_2A_1A_0$ determina em que posição de memória poderá ser feita uma leitura da informação gravada na ROM.

Tipos de ROM

Os tipos de ROM atualmente disponíveis no mercado são: a MROM - ROM programada por máscara; a PROM - ROM a fusível, programável pelo usuário; a EPROM - ROM reprogramável; a EEPROM - ROM reprogramável eletricamente.

Estas ROM diferem essencialmente no modo de programação e na possibilidade de apagamento e de reprogramação.

Características das MROM

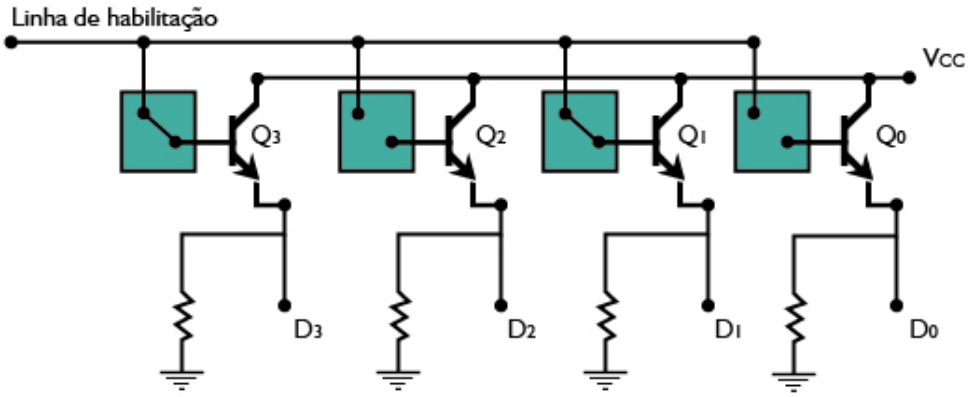
A MROM tem suas posições de memória escritas pelo fabricante de acordo com as especificações fornecidas pelo cliente. Um negativo fotográfico, denominado máscara, é usado para especificar as conexões elétricas do chip. Em razão de tais máscaras serem caras, este tipo de memória só será viável sob o ponto de vista econômico, se for produzido um número muito grande de ROM com a mesma máscara.

> Este tipo de memória é designado simplesmente por ROM. Isso, no entanto, pode trazer alguma confusão, uma vez que a terminologia ROM serve para referenciar uma categoria bem mais abrangente de memórias não voláteis.

A **Figura 6** mostra parte da estrutura de uma MROM bipolar, que consiste de 4 células de memória arranjadas em uma linha.

Perceba que conectado a cada elemento Q (como Q_3, por exemplo) existe um quadrado que permite uma conexão física. Se houver conexão (um fio), a saída D_3 será 1. Caso esta conexão não exista, a saída é 0. Veja que para Q_2 não existe conexão, logo D_2 é 0.

Figura 06 - Linha de células de uma memória MROM



Características das PROM

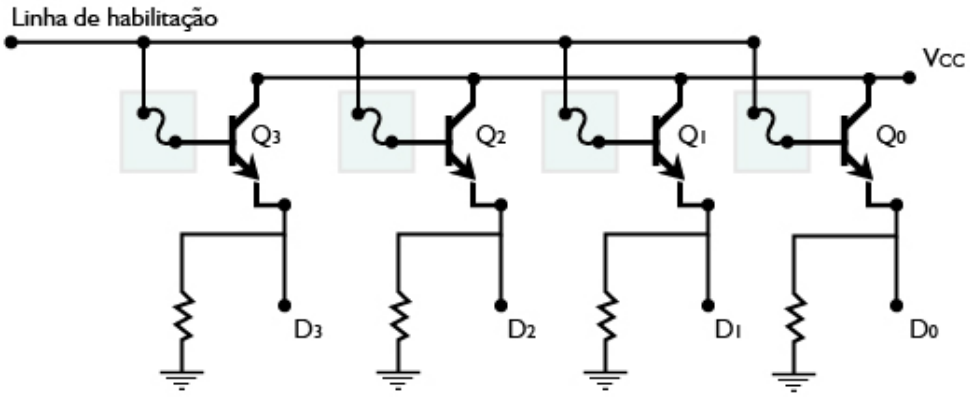
Este tipo de memória, embora programável pelo usuário, de acordo com suas necessidades, uma vez programada não pode ser apagada e reprogramada.

A estrutura da PROM a fusível é muito similar à da MROM à medida que certas conexões são deixadas intactas ou são abertas de forma a programar as células como 1 ou 0, respectivamente.

A diferença está no fato de que na MROM essas conexões são feitas diretamente das linhas de habilitação para as bases dos transistores, enquanto que, numa PROM essas conexões são feitas através de um fusível que vem intacto de fábrica. Na **Figura 7** é mostrada uma linha de células de uma memória PROM na qual você pode ver a presença dos fusíveis nas conexões de base dos transistores.

O usuário deve queimar seletivamente cada um dos fusíveis para produzir determinado conjunto de dados na memória. Esta programação é realizada com a aplicação de uma tensão ao dispositivo, de forma a produzir um fluxo de corrente capaz de queimar o fusível desejado. Uma vez queimado um fusível, ele não poderá ser recomposto.

Figura 07 - Linha de células de uma memória PROM



Características das EPROM

A EPROM é também programada pelo usuário, podendo, além disso, ser apagada e reprogramada quantas vezes forem necessárias.

Uma vez programada, a EPROM comporta-se como memória não volátil que reterá os dados nela armazenados indefinidamente.

O processo de programação de uma EPROM envolve a aplicação de níveis especiais de tensão (em torno de 25 volts) às entradas apropriadas do chip por um intervalo de tempo determinado (em geral, 50 ms por posição de memória). O processo de programação é realizado através de um circuito especial, o programador de EPROM, separado do ambiente no qual a memória irá eventualmente trabalhar

As células de memória de uma EPROM são transistores MOSFET com uma porta de silício sem conexões elétricas (uma porta em flutuação). Em seu estado normal, todos os transistores estão cortados (abertos) e cada célula está armazenando um valor de bit lógico igual a 1. Não se preocupe! Nós estudaremos os transistores em outra disciplina. Por hora, basta apenas saber que as células de memória de uma EPROM são transistores MOSFET.

Uma vez programada, uma célula EPROM pode ser apagada expondo-a, de 15 a 30 minutos, à radiação ultravioleta através de uma "janela" presente no chip. Tal radiação produz uma fotocorrente da porta em direção ao substrato de silício, removendo as cargas armazenadas, fazendo com que o transistor corte e que a célula volte a apresentar nível lógico 1.

Infelizmente, não há como apagar células selecionadas. A luz ultravioleta apaga todas as células ao mesmo tempo, de forma que, após a exposição, a EPROM estará novamente armazenando apenas valores lógicos iguais a 1 podendo, por sua vez, ser reprogramada. Estas memórias são também conhecidas por UVEPROM (ROM programável por luz ultravioleta).

Atividade 08

---

1. Pesquise na internet sobre o funcionamento de um transistor.
2. O que é uma memória ROM? Quais os tipos existentes que você viu até agora, consegue se lembrar?

Características das EEPROM

A EEPROM é um tipo especial de EPROM e que usa o mesmo princípio de porta flutuante das EPROM. No entanto, uma fina camada de óxido adicionada abaixo do dreno do MOSFET possibilita que seja também apagada eletricamente.

A aplicação de uma tensão de, aproximadamente, 21 volts fará o valor da memória ser '1'. Tal carga não desaparecerá mesmo depois de removida a tensão de 21 volts.

Tal mecanismo de escrita e de apagamento, além de requerer uma corrente muito baixa, o que pode ser realizada com o chip no próprio circuito, permite o apagamento e a reprogramação de palavras individuais, em vez da memória inteira.

Hoje já existe um tipo muito especial de EEPROM, o qual trabalha com níveis mais baixos de tensão e que permite que sejam gravados e apagados os bits “em circuito”. São as memórias flash, usadas nos pendrives utilizados, hoje em dia, por todos nós para armazenar nossos arquivos de dados, de músicas, de filmes, de fotografias etc. Na internet, através do Google, você encontrará muitas informações interessantes sobre estas memórias.

Atividade 09

1. Faça uma pesquisa e relacione alguns equipamentos em que já esteja presente a memória flash.

Memória de Leitura e Escrita (RWM)

Voláteis e de acesso randômico, estas memórias são normalmente referenciadas pela terminologia RAM. Embora não totalmente consistente, já que as ROM também são de acesso randômico, esta designação é universalmente empregada e será também a utilizada no transcorrer deste curso.

A grande desvantagem das RAM é a volatilidade que as faz perder todas as informações armazenadas se o fornecimento de energia for interrompido. Este fato pode ser atenuado para algumas RAM CMOS que apresentam pequeno consumo de energia em modo de operação "stand by" desde que a elas seja associado uma bateria como fonte alternativa de energia.

Tipos de RAM

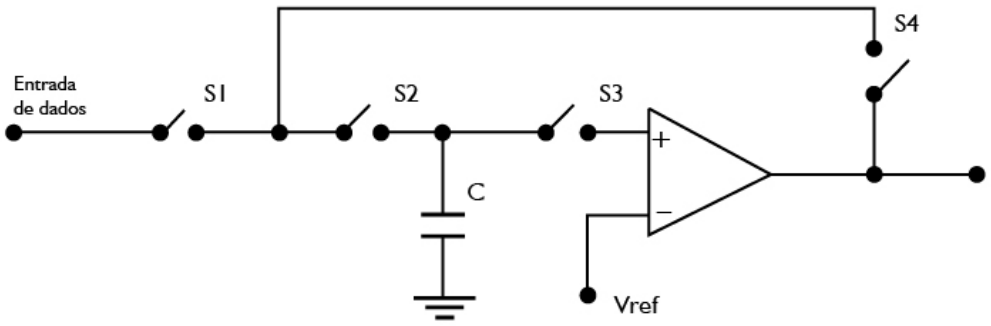
Dois tipos de RAM são disponíveis: a SRAM que é uma RAM estática e a DRAM que é uma RAM dinâmica. Suas principais características são:

1. As SRAM usam flip-flops (bipolares ou MOS) como células de armazenamento enquanto que, as DRAM utilizam capacitores.
2. As SRAM, embora voláteis, não perdem as informações armazenadas enquanto durar a alimentação do circuito. As DRAM, ao contrário, por usarem capacitores como cargas, mesmo na presença da alimentação, vão, gradualmente, perdendo as informações armazenadas.

Para não haver perda total de informação, faz-se necessário que nas DRAM, os capacitores sejam periodicamente recarregados. A esta operação dá-se o nome de refrescamento (refresh) da memória. Tipicamente, cada célula de uma DRAM deve ser refrescada a cada 2 ms.

Na **Figura 8** está uma representação simbólica de uma célula de memória dinâmica. Durante a operação de escrita, somente as duas chaves S1 e S2 são fechadas. Durante a operação de leitura, somente S1 está aberta. Não se preocupe. Em outra disciplina também estudaremos os princípios que envolvem o comportamento de um Amplificador Operacional, componente triangular na **Figura 8**.

Figura 08 - Representação simbólica de uma escrita/leitura em uma DRAM



Comparativamente, temos as SRAM bipolares como as com melhor tempo de acesso, maior área de ocupação de chip e preço mais elevado e; as DRAM como as de pior tempo de acesso, menor área de ocupação do chip e o melhor preço do mercado. Como este assunto não pode ser muito aprofundado, vamos encerrá-lo por aqui, mas saiba que existem muitas informações interessantes e que o complementam. Volto a lembrá-lo: A internet pode ser o caminho para conseguir mais informações complementares e novas.

Neste ponto, você deve estar se perguntando: Mas, se já vimos o essencial sobre memórias, em quais se encaixam as DDR, DDR2, caches, que estamos acostumados a ver nos textos que caracterizam os microcomputadores? Ok!

Vamos fazer estas associações. Os pentes de memórias de hoje, usados nos microcomputadores, conhecidos como sendo de memórias DDR2 ou DDR3 são constituídos de memórias dinâmicas, nas quais se podem guardar muita

informação, por um preço menor, mas que, precisam ser permanentemente refrescadas (para não perder o que está no juízo).

Já as memórias caches (nos microcomputadores, as L1 e L2, por exemplo) são memórias RAM estáticas. Muito mais rápidas, mas infelizmente, muito mais caras e que ocupam muito espaço de chip.

Nos microcomputadores, as memórias dinâmicas são usadas como memória principal, normalmente de 4 Gbytes, e as memórias caches, como memórias intermediárias, geralmente de 4 MBytes. Num futuro próximo, isto pode se modificar.

Alguns microcomputadores, inclusive já estão vindos com memória flash, os chamados drives SSD, em substituição aos discos rígidos (HD – hard disks). Como sugestão, veja em sites de grandes redes de supermercados como Extra, Lojas Americanas etc., a diferença de preço dos microcomputadores com HD dos com drives SSD. Faça uma análise da situação atual e projete-a para daqui a 5 anos. Qual o futuro? Será que ainda existirão HD?

Roteiro Prático da Aula 14

Apresentação

Você já aprendeu todos os passos da prototipagem de circuitos digitais em FPGA, desde a criação do circuito em VHDL até a programação na placa DE0. Neste roteiro, vamos praticar o que já foi aprendido. Como primeiro exemplo, iremos programar o circuito de um decodificador BCD de 7 segmentos.

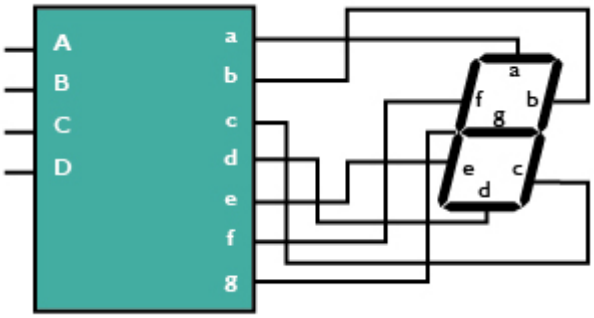
Ao final das atividades previstas para este roteiro, você será capaz de:

1. Praticar os passos para a prototipagem de circuitos digitais em FPGA.
2. Construir um decodificador BCD de 7 segmentos.

Construindo o Decodificador BCD de 7 Segmentos

Como mostrado na figura 09, temos um decodificador especial que converte os dados recebidos em BCD para saídas que acionam os sete segmentos. Na aula de “Circuitos Combinacionais”, foi apresentado esse tipo de decodificador. Aqui vamos construir o circuito e programar na DE0, que contém um display de 7 segmentos.

Figura 09 - Decodificador BCD de 7 Segmentos



Fonte: <http://www.mspc.eng.br/eledig/eldg0610.shtml Acesso em: 12 jul. 2012.

Novamente, vamos primeiro criar um novo projeto no Quartus. (Lembre-se de definir o FPGA da placa DE0)

Atividade 10

Crie um novo projeto no Quartus:

a. Defina o nome do projeto como “dec_7seg”, representando um decodificador de 7 segmentos.

b. Defina em qual FPGA você irá gravar o circuito.

Construindo um decodificador

O circuito a ser construído é de um decodificador de 7 segmentos. Para quem não lembra, aconselho voltar à primeira aula de Circuitos Combinacionais. Para este projeto, iremos utilizar um display de 7 segmentos, sendo possível variar entre o número 0 e 9. Como entrada, teremos 4 chaves da placa e teremos o primeiro display de 7 segmentos da mesma. A tabela 4 mostra a lógica desejada no decodificador.

Número	Código BCD [Entrada]	Segmentos [Saída]
0	0000	0000000
1	0001	0111111
2	0010	0000110
3	0011	1001111
4	0100	1100110
5	0101	1101101
6	0110	1111101
7	0111	0000111
8	1000	1111111
9	1001	1101111

Tabela 4 - Lógica do circuito

Atividade 11

Escreva o código do circuito em VHDL:

a. Construa a entidade com nome “dec_7seg”, com um vetor de 4 bits de entrada e um vetor de 7 bits de saída.

b. Construa a arquitetura com nome “proj1”, de acordo com a lógica da tabela 4.

c. Realize a análise e a síntese do circuito.

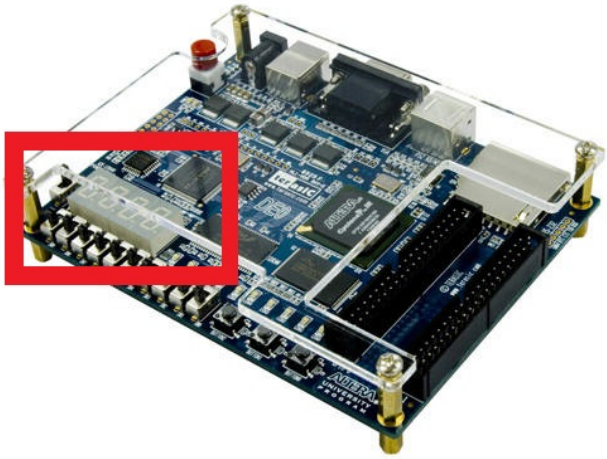
Programando na placa DE0

No roteiro da aula sobre FPGA, vocês viram as características da placa DE0. Um dos pontos mostrados sobre a DE0 foi:

- I/O:
    - 10 Switches
    - 10 Leds
    - **4 Displays de 7 segmentos**
    - 3 switches push-button
    - Interface LCD 16x2

    Observe a **Figura 10**, que mostra a placa DE0, e veja a sinalização da localização dos 4 displays de 7 segmentos.

Figura 10 - Placa DE0



Fonte: *Altera Corporation. DE0 Development and Education Board [Modificada]*

Você já deve conhecer os passos para a gravação na placa DE0, agora vamos praticar. Para a definição dos pinos, é necessário você ter em mãos o manual da DE0. Procure quais devem ser as entradas e as saídas na placa. Abaixo seguem as chaves que devem ser utilizadas como entrada:

- SW0
- SW1
- SW2
- SW3

E como saída tem-se o display de 7 segmentos:

- HEX0[0]
- HEX0[1]
- HEX0[2]
- HEX0[3]
- HEX0[4]

- HEX0[5]
- HEX0[6]

Atividade 12

---

a. Encontre a quais pinos as entradas e saídas desejadas estão relacionadas e anote.

b. No sub-menu “Pin Planner”, selecione os pinos encontrados na tarefa do item anterior.

c. No sub-menu “Device” do menu “Assignments”, clique no botão “Device and Pin Option”, direcione para a aba “Unused Pins” e na opção “Reserve all unused pins” escolha “As input tri-stated”. [Esta configuração é opcional, faz que com os pinos não utilizados no circuito fiquem em estado nulo].

d. Realize a compilação na opção “Start Compilation” do menu “Processing” ou no atalho.

e. Conecte a placa via cabo USB no PC.

f. Ligue a placa no botão vermelho.

g. Selecione a chave da placa DE0 para “RUN”.

h. Selecione a opção “Programmer”, no menu “Tools” ou no seu atalho, e siga os passos abaixo.

    1. Clique em “Add File...”

    2. Dentro da pasta “output_files” do seu projeto, abra o arquivo com extensão “.sof” (“project.sof”).

    3. Clique em “Start”.

i. Teste os valores de entrada e verifique se você consegue gerar todos os números (0 ,1 ,2 ,3 ,4 ,5 ,6 ,7 ,8 e 9) corretamente.

Atividade 13

Se seguiu fielmente a **Tabela 4**, você deve ter percebido algo curioso com o acendimento dos leds do display de 7 segmentos.

a. O que você percebeu?

b. Diante do observado, o que podemos fazer para resolver o problema?

c. Modifique o código VHDL do display de 7 segmentos implementando a sua solução. Ocorreu tudo certo?

Atividade 14

Baseado no código a seguir:

```
1    library ieee;
2  use ieee.std_logic_1164.all;
3
4  entity ExemploSoma is
5     port (in1, in2: in integer range 0 to 3);
6        out1: out integer range 0 to 7);
7  end ExemploSoma;
8
9  architecture exemplo2 of ExemploSoma is
10 begin
11       out1 <= in1 + in2;
12 end ExemploSoma;
13
```

O código anterior faz a soma de duas variáveis de entrada **in1** e **in2** e guarda o seu valor na saída **out1**. Diante disto, responda:

a. Por que **out1** nunca será maior que **6** ou menor que **0**?

b. Quantos bits são necessários para representar **in1** ou **in2**? E **out1**?

c. Defina um projeto e sintetize o código.

d. Simule a forma de onda e o seu comportamento. O resultado era esperado? Se sim, siga para a próxima questão. Se não, **reinterprete** o código e tente responder novamente esta questão.

e. Modifique o código de forma que mostre no display de 7 segmento a soma de **in1** e **in2**. Perceba que, dependendo do seu código, **out1** pode ser dispensável. Se achar necessário, reutilize o código da Atividade 11.

f. Grave o código no FPGA após a alocação correta dos pinos para as portas de entrada e saída do seu código.

g. Teste e verifique o comportamento do seu código no FPGA. Ele está mostrando corretamente a soma de **in1** e **in2** no display de 7 segmentos? Se sim, parabéns! Se não, verifique possíveis na lógica do código e na pinagem.

Resumo

Nesta aula, você conheceu as principais características dos dispositivos construídos nas tecnologias TTL e CMOS. Aprendeu alguns conceitos básicos sobre memórias em semicondutores, como se classificam e quais as características inerentes a cada uma delas. Deu para fixar tudo o que foi apresentado? Claro que ainda não. Se possível, faça novas revisões.

No roteiro, você praticou os conhecimentos adquiridos nos roteiros anteriores, desde a construção do circuito até a gravação na placa DE0. Utilizou como circuito um decodificador de 7 segmentos, consolidando, dessa forma, os assuntos vistos na teoria de circuitos combinacionais na prática com FPGA.

Autoavaliação

1. Quais as duas principais tecnologias de fabricação de portas lógicas?
2. Das séries da família TTL, quais as que apresentam as melhores características? Justifique.
3. Quanto aos valores das tensões de alimentação quem se apresenta mais versátil, TTL ou CMOS? Para trabalhar em bancada o que é melhor, trabalhar com TTL ou com CMOS? Por quê? O que representa o fan-out de uma porta? Como se calcula? Qual família apresenta melhor margem de ruído? Justifique.
4. O que é uma memória? Como se classificam as memórias?
5. Quais os tipos de memória que foram apresentados no texto? O que caracteriza cada uma delas?
6. O que é uma memória flash?

Referências

ALTERA Corporation (Org.). **DE0 Development and Education Board.** Disponível em: Acesso em: 30 de set. de 2012.

COSTA, Cesar da. **Projetos de Circuitos Digitais com FPGA.** Editora Érica, 2009.

FPGA para Todos. Disponível em : < http://fpgaparatodos.com.br/ >. Acesso em: 27 de set. de 2012.

GROUT, Ion. **Digital Systems Design with FPGAs and CPLDs**. Oxford: Elsevier, 2008.

PEDRONI, Volnei. **Eletrônica Digital moderna e VHDL.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

TOCCI, Ronald J. et al. **Sistemas digitais princípios e aplicações**. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2007.