

Sistemas Digitais

Aula 11 - Dispositivos Lógicos Programáveis

Apresentação

Nesta aula, você vai conhecer um pouco da evolução dos circuitos digitais e estudar as estruturas dos dispositivos lógicos programáveis simples (SPLD - Simple Programmable Logic Devices) e dos dispositivos complexos (CPLD - Complex Programmable Logic Devices). Fique atento e bons estudos!

Objetivos

Ao final desta aula, você será capaz de:

- Conhecer a ideia básica usada na construção dos PLD.
- Distinguir as características dos três modelos de SPLD.
- Conhecer a estrutura básica de um CPLD.

Evolução dos Circuitos Digitais

Até agora, você aprendeu como construir circuitos digitais tomando como base os componentes básicos, ou melhor, as portas lógicas. Porém, é importante conhecer também a construção dos circuitos fisicamente e os vários caminhos e técnicas utilizadas até hoje para a concepção dos mesmos.

Você provavelmente já ouviu falar em chip ou CI (Circuito Integrado), mas sabe quantos componentes existem dentro dele? É possível programar um circuito digital dentro dele? Caso precise realizar uma pequena mudança, é necessário fabricar um novo chip ou pode reprogramar o mesmo?

Na aula passada, você aprendeu sobre os sistemas embarcados e deve ter visto os conceitos de reuso e programabilidade, conseguindo assim responder algumas das perguntas acima. O conceito de reprogramar um circuito digital é possível com a utilização de PLD (Dispositivos Lógicos Programáveis).

A composição de uma porta lógica é feita por vários componentes eletrônicos. Válvulas e diodos semicondutores foram os componentes utilizados na primeira geração de circuitos digitais, conseqüentemente os circuitos eram grandes e caros. Junto à terceira revolução industrial houve o advento dos transistores na construção de circuitos analógicos e digitais, representando a segunda geração na evolução dos sistemas digitais. Entretanto, para aplicações em sistemas digitais ainda eram necessários vários transistores na construção de uma simples porta lógica.

Veja o vídeo abaixo e reflita um pouco mais sobre a importância dos transistores na construção dos sistemas computacionais, seja digital ou analógico.

História do Transistor

Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=Xsv03w9YJqI>

A necessidade de vários transistores em um único circuito levou à fabricação do circuito integrado (CI), conhecido também como chip de silício. A pastilha de silício integra vários transistores, diodos e resistores em sua superfície. Com o crescente

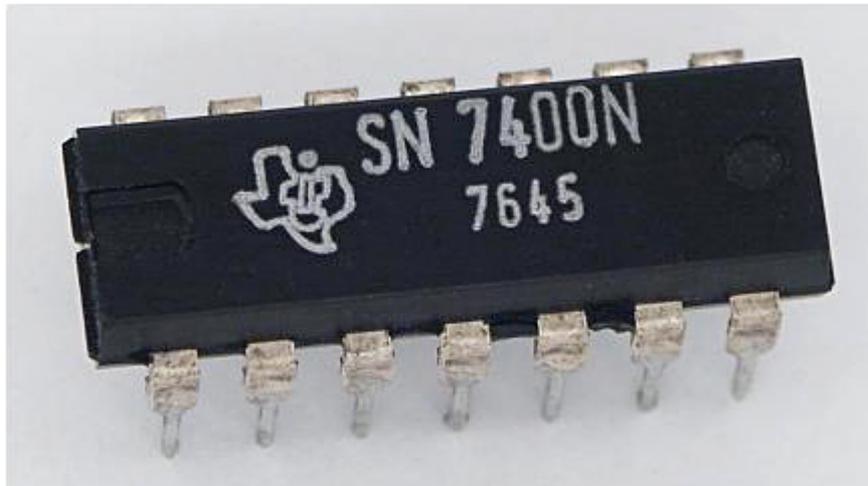
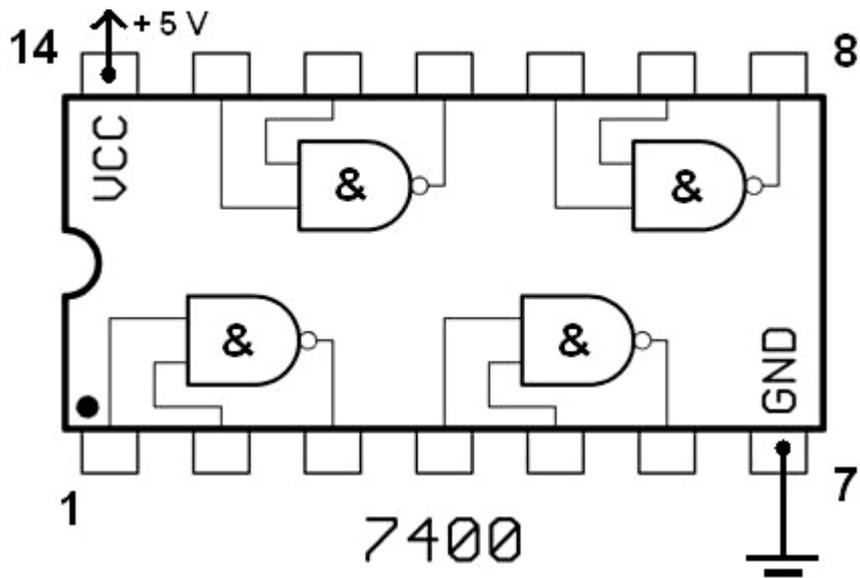
encapsulamento de componentes em CIs, os mesmos foram classificados de acordo com o seu grau de integração. A **Tabela 1** mostra as classificações dos CIs de acordo com a quantidade de componentes presentes.

Grau de Integração	Característica
SSI (Small Scale Integration) – Integração em pequena escala	Dezenas de dispositivos
MSI (Medium Scale Integration) – Integração em média escala.	Centenas de dispositivos
LSI (Large Scale Integration) – Integração em grande escala.	Dezenas de milhares de dispositivos
VLSI (Very Large Scale Integration) – Integração em larga escala.	Milhões de dispositivos
ULSI (Ultra Large Scale Intregation) – Integração em escala ultra larga.	Utiliza Nanotecnologia

Tabela 1 - Classificações de CIs em termo de grau de integração.

Existem vários tipos de CIs com diferentes encapsulamentos, porém nosso foco nesta aula não é esse. Nas **Figuras 1 e 2** são mostrados dois tipos de CIs e suas classificações. A evolução desses componentes permitiu a construção de microprocessadores, sendo definido como a terceira geração.

Figura 01 - CI de portas AND e grau de integração MSI



Fonte: http://pt.wikipedia.org/wiki/Porta_l%C3%B3gica

Figura 02 - Microprocessador Core i7 da Intel. Grau de Integração ULSI.



Fonte: <http://colunistas.ig.com.br/tecnologia/2008/11/18/intel-core-i7-chega-ao-brasil/>

Atividade 01

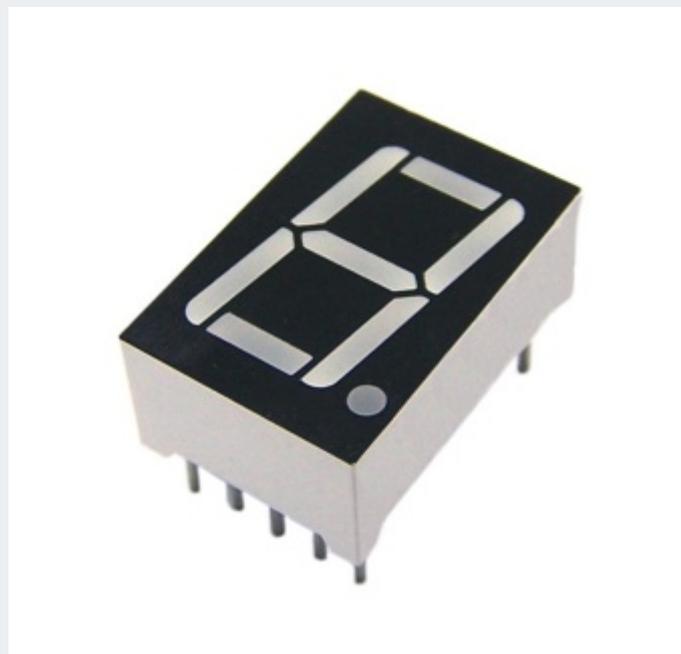
1. Fale um pouco sobre as gerações apresentadas até aqui.
2. Pesquise alguns CIs disponíveis no mercado e cite-os, classificando por grau de integração e funcionalidade.

Dispositivos Lógicos Programáveis

Os projetistas de sistemas lógicos têm, à sua disposição, um conjunto enorme de circuitos integrados padrões (chips). Esses circuitos integrados padrões são projetados para realizar muitas das funções lógicas de uso corrente no desenvolvimento de equipamentos digitais.

Por exemplo, um circuito digital bastante utilizado como parte de um projeto maior é o display de sete segmentos. O display de sete segmentos pode ser visto na **Figura 3**. Nós encontramos esse circuito em diversos equipamentos ao nosso redor. Ele é o circuito que nos mostra os dígitos de um relógio digital, os dígitos de um temporizador de micro-ondas, os dígitos da quilometragem de um automóvel etc. Um projetista pode implementar o circuito do display de sete segmentos (como parte do seu projeto maior) ou simplesmente adquirir um circuito integrado padrão que já implementa a função do referido display, a um preço acessível, economizando assim tempo, esforço e com um baixo custo financeiro.

Figura 03 - Display de sete segmentos



Fonte: <http://www.eletrodex.com.br/display-7-segmentos-pt-0-56-vermelho-catodo-2.html>

Ocorre que, se seguida esta tendência “ao pé da letra”, pode-se deparar com projetos que vão requerer a utilização de dezenas ou centenas de chips padrões, exigindo um considerável espaço em placas de circuito impresso, e um tempo extremamente grande para inserção e soldagem desses componentes. Além disso, o fabricante de computadores ou de aparelhos eletrônicos precisaria manter um estoque consideravelmente grande de diversos CI (Circuitos Integrados) diferentes para poder fabricar seus produtos.

A redução do número de CI utilizados num projeto apresenta uma série de vantagens: menos espaço ocupado nas placas de circuito impresso e, conseqüentemente, menos placas utilizadas no projeto; menor consumo de energia, o que acarreta fontes menores e mais baratas; processo de montagem das placas mais fácil e menos custoso; maior confiabilidade, uma vez que o projeto utilizaria menos CI, possuindo menos conexões sujeitas a faltas; e, finalmente, maior facilidade na pesquisa de falhas do circuito.

Assim, para diminuir o número de CI de um projeto, é necessário que sejam desenvolvidos dispositivos que executem muitas funções por chip, o que vem sendo conseguido com as técnicas de integração VLSI e UVLSI, utilizadas na construção de memórias, microprocessadores, DSP, dentre outros dispositivos. Tais dispositivos contêm de poucas centenas a alguns bilhões de portas lógicas, interconectadas de maneira a operar de uma forma pré-definida.

Como visto no exemplo, existem aplicações que requerem vários chips padrões para a construção do sistema. Com a necessidade de criar um CI flexível, que pode implementar muitas funções lógicas sem necessitar mudar o hardware (chip), foram desenvolvidos os dispositivos lógicos programáveis (PLDs).

Os recentes desenvolvimentos de dispositivos lógicos programáveis (PLDs) têm proporcionado aos projetistas de sistemas uma forma de substituir um conjunto de chips padrões por um único chip.

Um PLD é um CI que contém grande número de portas lógicas e unidades de memória interconectadas dentro do chip.

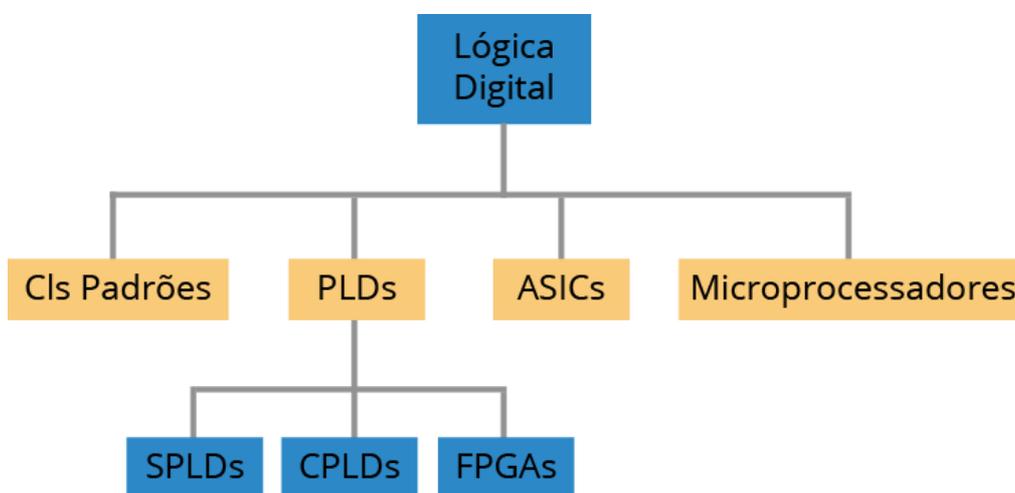
A maioria dessas conexões é feita através de elos, tipo fusíveis, que podem ser queimados ou mantidos intactos. O CI é considerado programável pelo fato de podermos especificar a função ou as funções lógicas que ele deverá implementar, através da queima seletiva dos elos fusíveis, interrompendo, com isso, algumas conexões e deixando outras intactas.

O processo de "queima" pode ser feito pelo fabricante, de acordo com as especificações do cliente, ou pelo próprio usuário, por meio de equipamentos programadores.

Os primeiros PLDs foram desenvolvidos para construir apenas circuitos combinacionais, chamados de PAL (programmable array logic) e PLA (programmable logic array). Logo surgiu a necessidade de construir circuitos sequenciais e então foi criada a estrutura GAL (generic array logic), que continha flip-flop, portas lógicas e multiplexadores. Essas estruturas até aqui foram denominadas de SPLD (simple PLDs). Com a evolução foram criados os CPLDs (complex PLDs) e os FPGAs (field programmable gate array).

A **Figura 4** mostra os vários dispositivos utilizados para a construção de sistemas digitais.

Figura 04 - Dispositivos usados na Lógica Digital.



Atividade 02

1. Faça uma pesquisa na internet acerca das 5 principais empresas fabricantes de PLDs. Em sua pesquisa, aborde aspectos como tipos de PLDs no mercado, quantidade de portas lógicas e qual linguagem é utilizada para programá-los.

Ideia Básica de Projeto de PLD

A **Figura 5** mostra a idéia básica usada no projeto de todos os PLD. Ela mostra uma matriz de portas AND e uma de portas OR, ligadas de maneira a gerar duas saídas diferentes, cada uma das quais podendo ser uma função lógica de duas

variáveis A e B.

Cada sinal de entrada passa, paralelamente, por um drive não-inversor e por um drive inversor, de maneira a produzir a forma direta e a invertida de cada variável. O termo "driver", ou, às vezes, "buffer", é utilizado porque esses dispositivos apresentam elevado fan-out (número de entradas).

As saídas dos drives são as entradas da matriz de portas AND. Cada uma das portas AND é conectada a duas entradas diferentes, através de uma ligação que inclui um fusível, de modo a produzir um único produto das variáveis de entrada.

Cada linha de produto é conectada a uma das quatro entradas de uma porta OR, através de uma ligação que também inclui um fusível. Com todos os fusíveis inicialmente intactos, cada saída das portas OR assumirá o valor 1.

Cada uma das duas saídas, O1 e O2, pode ser programada para implementar qualquer função de A e B, através da queima seletiva dos fusíveis apropriados.

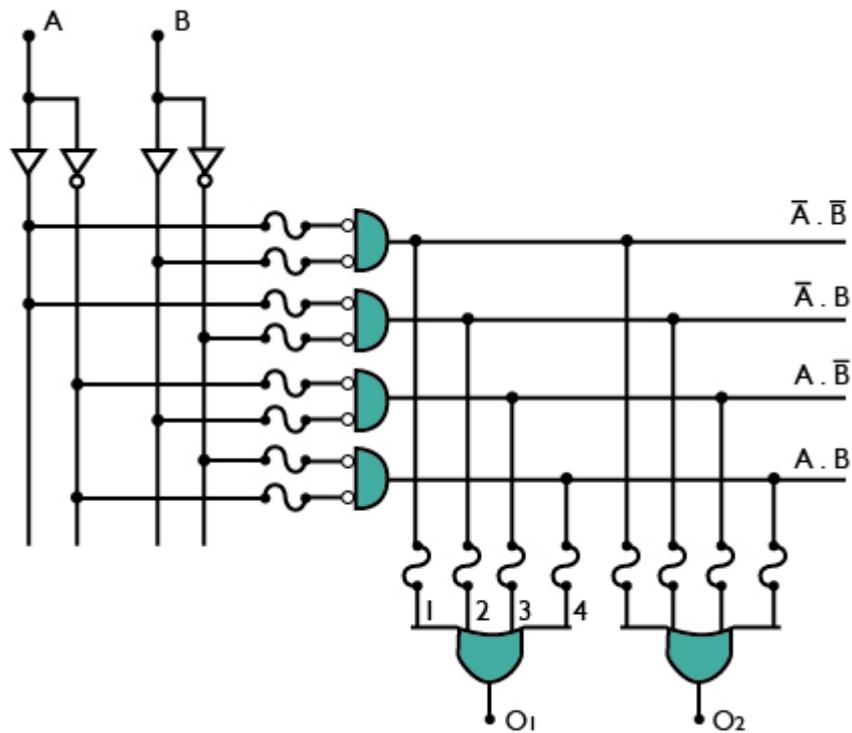
Os PLDs são projetados de forma que a queima de um fusível de entrada das portas faça com que esta entrada assuma o nível lógico 0, ou seja, passam a não ser considerados na porta lógica a qual o fusível é entrada.

Por exemplo, se queimarmos os fusíveis 1 e 4, na entrada da porta OR-1, a saída O1 ficará como abaixo:

$$O_1 = 0 + \overline{A}\overline{B} + \overline{A}B + 0 = \overline{A}\overline{B} + \overline{A}B$$

Podem-se programar cada uma das outras portas remanescentes de maneira similar à descrita acima. Uma vez que todas as saídas tenham sido programadas, o dispositivo vai gerar, permanentemente, em suas saídas, cada uma das funções selecionadas.

Figura 05 - Ideia básica para construção de um PLD

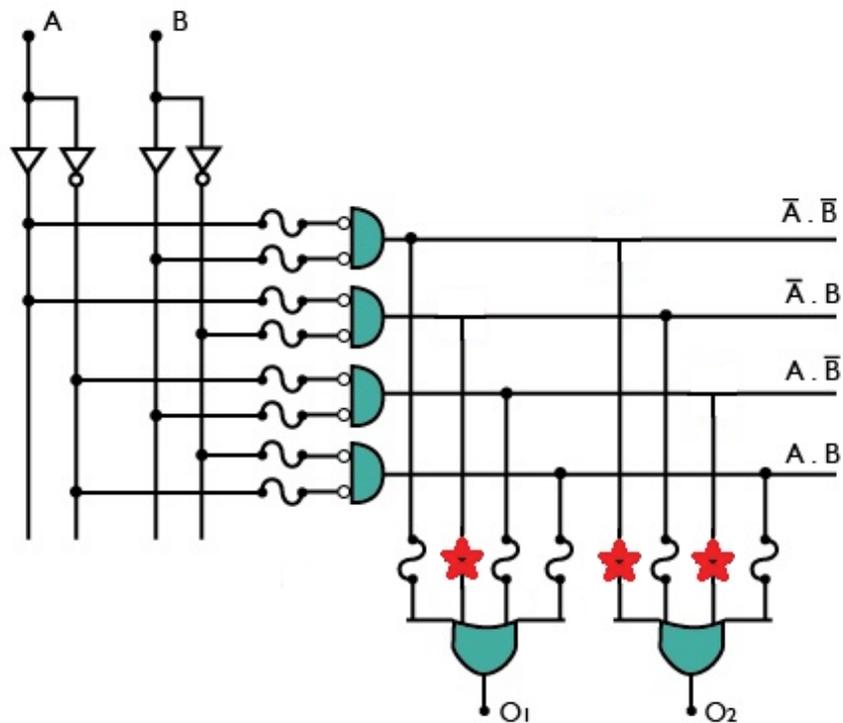


Fonte: TOCCI, p. 755, 2007.

Atividade 03

1. A **Figura 5** mostra um exemplo de um PLD já programado. Os fusíveis queimados são aqueles com uma estrela vermelha. Qual é a equação das duas saídas a partir da figura?

Figura 06 - PLD exemplo da questão



2. A partir do PLD dado na figura 4, mostre uma modificação do mesmo para a implementação das equações dadas abaixo. Especifique quais os elos, ou fusíveis, que serão queimados.

$$O_1 = \overline{A}B + A\overline{B}$$

$$O_2 = AB$$

Procurando e praticando!

Para reforçar seus conhecimentos em PLDs procure na internet o datasheet, ou folha de dados, da família "PAL16R8" e verifique a arquitetura e características do mesmo.

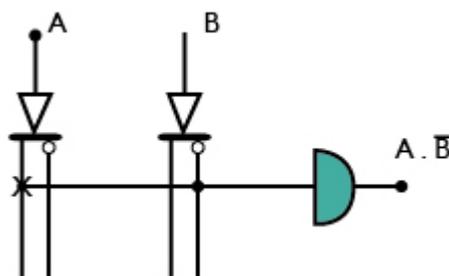
Simbologia dos PLD

Apesar do esquema da **Figura 5** só ter duas variáveis de entrada, pode-se observar que seu diagrama de circuito é um tanto complicado. Imagine o quão confuso tal diagrama ficará no caso de um PLD com muitas variáveis de entrada. Por isso, foi adotada uma simbologia simplificada para representar os circuitos internos dos PLD.

A **Figura 7** mostra um exemplo da simbologia utilizada para uma porta AND de 4 entradas. Em primeiro lugar, observe que, nas saídas dos buffers, estão representadas uma saída inversora e uma não inversora.

Observe também que uma única linha aparece como entrada da porta AND, representando as 4 entradas existentes. As conexões das variáveis de entrada à porta AND são indicadas ora por um ponto, ora por um X. O X representa um fusível intacto, e o ponto representa uma ligação, ou seja, ambas representações indicam que existe uma ligação física ou uma conexão. A ausência do X ou do ponto indica ausência de conexão. Na figura, as entradas A e B estão ligadas à porta AND de maneira a gerar o produto $A\bar{B}$. A queima do fusível A iria produzir uma saída igual a \bar{B} .

Figura 07 - Simbologia empregada na representação de um PLD



Fonte: TOCCI, p.756, 2007.

Arquitetura dos PLD

Como visto no início da aula, têm-se os SPLD (PLD simples), os CPLD (PLD complexos) e os FPGA (arranjos de portas programáveis no campo).

Dentre os SPLD têm-se:

- PLA (arranjo lógico programável);
- PAL (lógica de arranjo programável);
- GAL (lógica de arranjo genérico).

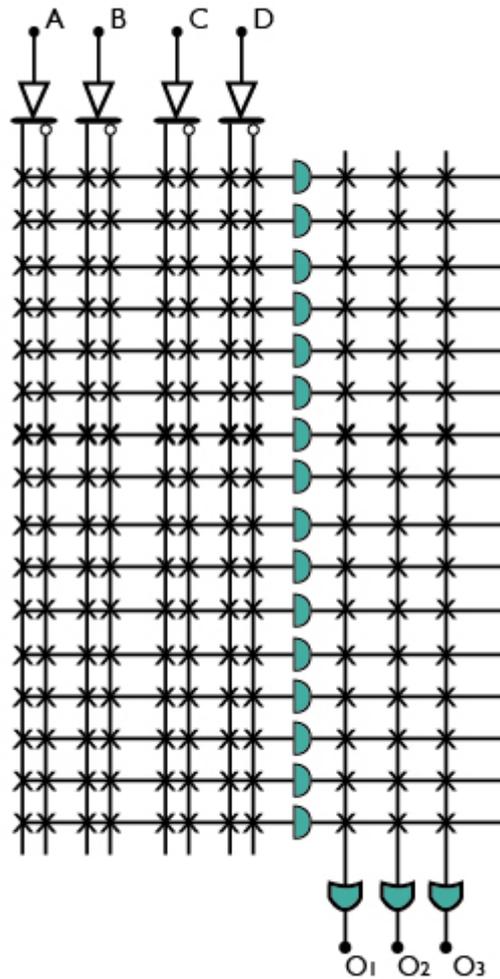
O PLA consiste em um arranjo de portas AND programável e um arranjo de portas OR também programável.

A PAL consiste em um arranjo de portas AND programável e um arranjo de portas OR fixo.

A GAL, assim como a PAL, tem um arranjo AND programável e um arranjo OR fixo. Adicionalmente, a GAL apresenta uma macrocélula de saída (OMLC) programável, com capacidade de armazenamento de dados de saída.

O exemplo de um PLA com quatro variáveis de entrada é mostrado na **Figura 8**.

Figura 08 - Estrutura padrão de um PLD com 4 variáveis de entrada



Fonte: TOCCI, p.758, 2007.

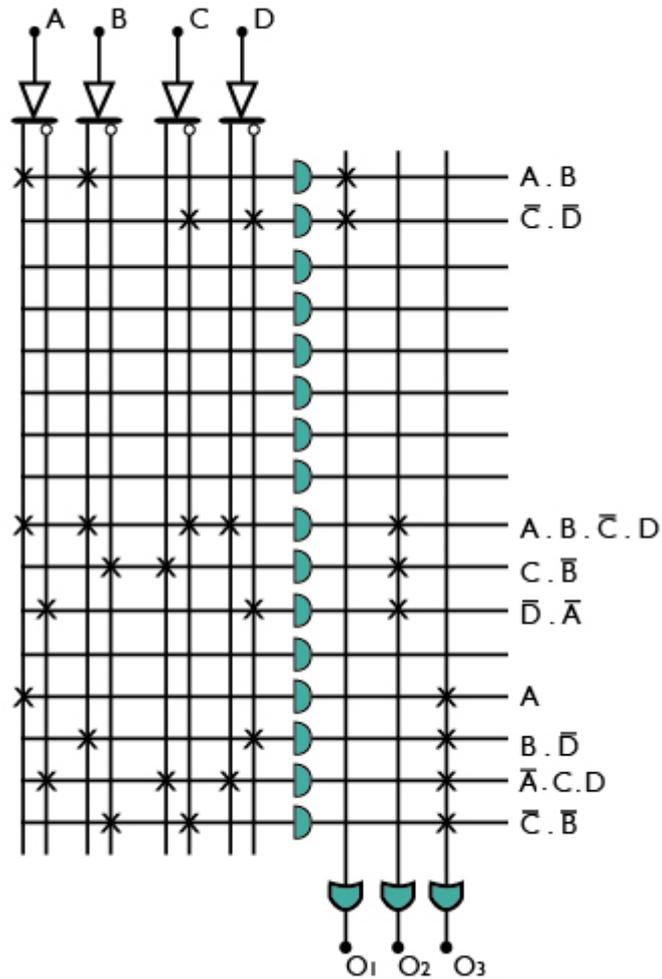
A **Figura 9** mostra como o PLA da Figura 8 é programado para gerar três funções lógicas:

$$O_3 = A + B\bar{D} + \bar{A}CD + \bar{C}\bar{B}$$

$$O_2 = ABC\bar{D} + C\bar{B} + \bar{D}A$$

$$O_1 = AB + \bar{C}\bar{D}$$

Figura 09 - Construção de funções em um PLD com 4 variáveis de entrada



Fonte: TOCCI, p.758, 2007.

Atividade 04

1. Pense em uma função de três variáveis e mostre como ficaria a sua implementação em um PLD.

Dispositivos Lógicos Programáveis Apagáveis

Uma vez programado, o PLD programável através da queima de fusíveis não pode ser recomposto. Essa desvantagem foi eliminada pela maioria dos fabricantes de PLD ao desenvolverem dispositivos que podem ser apagados e reprogramados

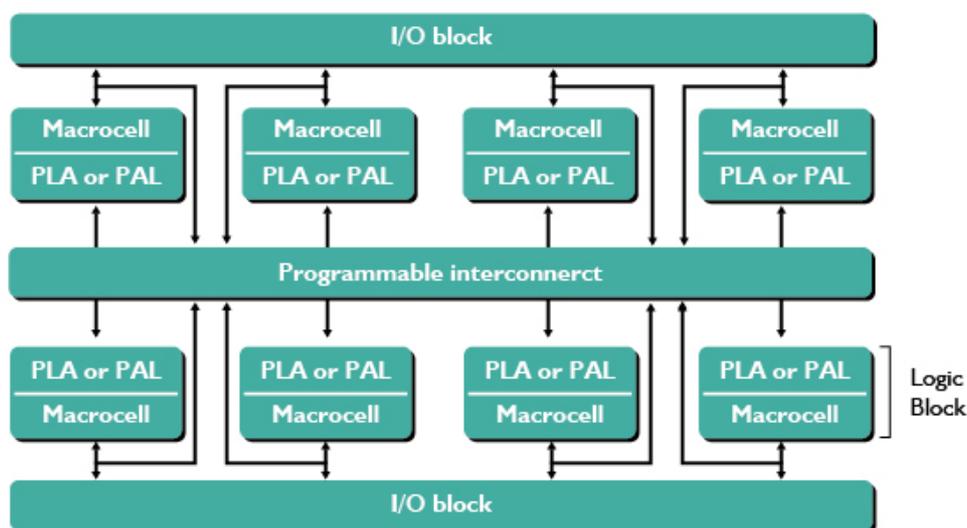
quantas vezes forem necessárias. Esses dispositivos são também chamados de dispositivos lógicos programáveis apagáveis (EPLD - Erasable programmable logic device), sendo eles programados e apagados de maneira semelhante às EEPROM (Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory).

Os CPLDs representam um degrau de complexidade acima dos SPLDs. São projetados a partir de estruturas SPLDs e podem ser utilizados para projetos maiores, já que conseguem sintetizar um número relativamente grande de CI em um único **chip**.

A arquitetura de um CPLD é baseada em certo número de blocos lógicos, cada um deles contendo uma macrocélula e um arranjo PLA ou PAL, alguns blocos de E/S e todos estes blocos interligados por uma rede de interconexão global programável. Normalmente, incorporam blocos combinacionais e elementos de memória do tipo flip-flop ou registros.

A **Figura 10** mostra o diagrama de um CPLD genérico.

Figura 10 - Estrutura padrão de um CPLD.



Fonte: TOCCI, p.753, 2007.

Resumo

Nesta aula, você recebeu informações sobre os Dispositivos Lógicos Programáveis, como sua classificação, seus diferentes tipos e o que caracteriza cada um deles. Deu para fixar tudo o que foi apresentado? Se ainda não deu, revise novamente o material.

Autoavaliação

1. Quais tipos de classificações de CIs de acordo com a quantidade de dispositivos encapsulados no chip?
2. O que é um PLD? Qual a ideia básica usada na construção de um PLD?
3. Quais os tipos de PLDs disponíveis no mercado?
4. Pense em duas funções lógicas de três variáveis. Como seria a implementação dessas funções em um PLD?
5. Quais os componentes básicos dos CPLDs?

Referências

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

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

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