

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA



RELATÓRIO 4 CONTROLE DE MOTOR DE PASSO POR FPGA

GUSTAVO SIMAS DA SILVA THALES LOHN DA SILVA VITOR GARCEZ MORIGI

> Florianópolis 2014/2

GUSTAVO SIMAS DA SILVA THALES LOHN DA SILVA VITOR GARCEZ MORIGI



Florianópolis 2014

Resumo

Abstract

Sumário

1. Resumo	3
2. Abstract	4
3. Lista de figuras, tabela e equação	6
4. Objetivos	7
5. Introdução Teórica	9
5.1 Definição de motor de passo	9
6. Descritivo de operação	14
6.1 Materiais utilizados	15
7. Considerações relevantes	18
7.1 Motor de passo	20
8. Referências	21
9. Anexo	22

Índice de figuras e tabelas

FIGURA 1 - COMPARAÇÃO ENTRE OS TIPOS DE MOTORES	10
FIGURA 2 - BOBINAS COM CENTER-TAPE MOTOR UNIPOLAR	11
FIGURA 3 - DIAGRAMA DE MOTOR BIPOLAR	11
FIGURA 4 - CORRENTES NAS BOBINAS DE UM MOTOR MICROPASSO	13
FIGURA 5 - CIRCUITO MONTADO	15
TABELA 1 - TABELA VERDADE WAVE DRIVE	12
TABELA 2 - TABELA VERDADE PASSO COMPLETO 2	12
TABELA 3 - TABELA VERDADE PARA MEIO PASSO	13

Índice de símbolos, unidades e abreviaturas

A - ampère (corrente elétrica)

V - volt (tensão elétrica)

W - watt (potência elétrica ativa)

O - ohm (resistência elétrica)

Hz - hertz (frequência)

m - mili (10⁻³)

k - kilo (10³)

M - mega (10⁶)

FPGA - Field Programmable Gate Array

(Arranjo de Portas Programável

em Campo)

PCB - Printed Circuit Board (Placa de

Circuito Impresso)

PLD - Programmable Logic Device

(Dispositivo Lógico Programável)

FF - Flip-Flop

1. Objetivos

Entre os objetivos visados desta atividade, listam-se:

- 1) Construção e programação lógica em software especializado (Altera Quartus® II) de um circuito controlador de motor de passo, utilizando os conceitos de máquinas de estados conhecidos em aula;
- 2) Avaliação prática do comportamento de um motor de passo controlado por lógica por meio de PCB didática com FPGA;
- 3) Comparação de resultados teóricos (resultados esperados de acordo com o estudado) com os resultados práticos, tão como a discussão de diferenças entre tais.
- 4) Refletir sobre os modos de operação optados, falhas de funcionamento e problemas demais observados e considerar a melhor forma de manuseio dos componentes utilizados, além de dificuldades e erros que podem ser encontrados durante a realização de tal exercício, realizando recomendações/alertas de acordo com a experiência.

2. Introdução Teórica

Neste relatório serão apresentados estudos teóricos e constatações práticas sobre a operação de um motor de passo controlado por lógica de programação com auxílio de PCB didática com Arranjo de Portas Programável em Campo (*Field Programabble Gate Array* - FPGA).

No entanto, para a compreensão total, seguem informações fundamentais.

2.1 Definição de motor de passo

Motores estão atualmente presentes em grande parte de equipamentos que realizam movimentos rotacionais. Contudo há certas características sobre o motor de passo que o especificam e diferenciam de um motor qualquer. Sobre a estrutura e o modo de funcionamento de um motor de passo, Marcos Leal define:

"O motor de passo é um dispositivo eletromecânico, composto por bobinas (indutores), e um rotor magnético (imã permanente ou imantado). As bobinas convertem energia elétrica em campo magnético, de forma que o rotor se alinhe a esse campo. A correta excitação das bobinas faz com que o rotor (algo que gira em torno de seu próprio eixo) se mova no sentido desejado, convertendo energia magnética em movimento (energia mecânica)." (LEAL, 2013)

Tal definição resume bem o conceito de motor de passo. Possui as características gerais de um motor: transformação de energia elétrica em magnética e, posteriormente, em energia mecânica; No entanto detém particularidades:

- **1. Quanto à proporção:** geralmente é de proporções menores, de pequeno porte, sendo implementado em equipamentos que necessitam da precisão em movimentos rotatórios.
- 2. Quanto à ativação: diferentemente de motores de grande porte, um motor de passo é ativado através de pulsos elétricos, níveis lógicos que são aplicados nos terminais de suas bobinas. Com isto sua operação é de forma mais digital, diferente de motores trifásicos, por exemplo, que atuam mais próximos aos fundamentos analógicos.
- Quanto à rotação: realiza-a em arcos/incrementos angulares sequenciais discretos, que são denominados de "passos". Daí o nome.

2.2 Motor de passo: estrutural

Por motivos de organização são divididos quanto às suas características. Quanto à estrutura, existem três tipos principais. Estes são:

- Relutância variável: possui estrutura simples, consiste num rotor de ferro, com diversos dentes. Cada dente corresponde a um polo magnético. Quando o estator é energizado os polos são atraídos e ocorre a rotação.
- 2. Îma permanente: seu rotor é construído com ímãs permanentes. Não possui dentes. Realiza rotações discretas, tendo, geralmente, de 24 a 48 passos por revolução. Quando comparado à um motor de relutância variável, tem melhor característica de torque, pois produz um fluxo magnético mais intenso. Tem baixo custo.
- 3. Híbrido: combina as melhores características dos motores anteriores. Tem rotor multidentado e ímã permanente ao redor. Possui bom desempenho quanto ao torque e velocidade. Tem faixa típica de 100 a 400 passos por revolução. Possui maior custo em relação aos outros tipos de motores.

Abaixo, na Figura 1, os diagramas dos três tipos de motores fazem uma comparação entre os mesmos.

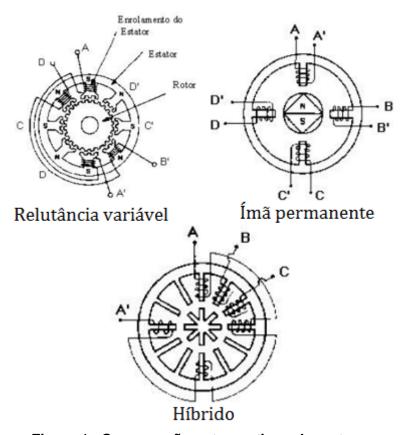


Figura 1 - Comparação entre os tipos de motores

2.3 Motor de passo: operacional

Quanto à forma de operação, dividem-se em:

 Unipolares: possuem 2 bobinas, com 6 fios. Cada bobina tem sua própria derivação central, chamada de "center-tape" ou tap-central. Sua ativação é simples e direta: apenas a aplicação de níveis lógicos alto (caso o center-tape seja conectado em Vcc) ou baixo (caso o tap-central seja GND), como demonstra a Figura 2.

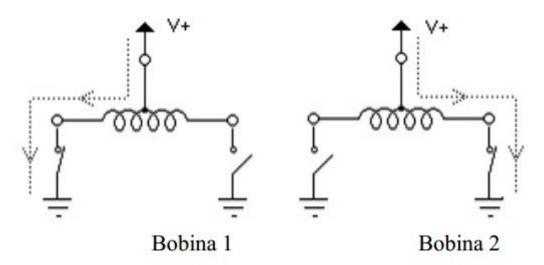


Figura 2 - Bobinas com center-tape motor unipolar

2. Bipolares: possuem circuitos de controle mais complexos (com ponte-H, que são circuitos que permitem a rotação do motor em ambos os sentidos). No entanto tem melhor relação torque/tamanho do que os unipolares. Usam uma ligação por polo, com conexões separadas, sem center-tape. A Figura 3 apresenta o diagrama de um motor bipolar e seu respectivo enrolamento.

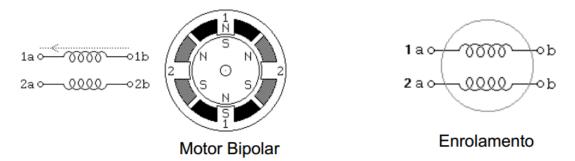


Figura 3 - Diagrama de motor bipolar

2.4 Motor de passo: rotacional

Em questões de rotação, há as seguintes formas de realiza-las:

- 1. **Passo completo:** no qual a rotação ocorre em 90° (passo completo). Ainda ramifica-se em:
 - a. **Wave:** também chamado de passo completo 1 ou "full-step wave" ou "wave drive". É aquele no qual apenas uma fase (bobina) é energizada por vez. Apresenta pouco torque, baixo consumo de energia e boa velocidade. Tem a seguinte tabela verdade (Tabela 1):

Bobinas	1A	2A	1B	2B
01	1	0	0	0
02	0	1	0	0
03	0	0	1	0
04	0	0	0	1

Tabela 1 - Tabela verdade wave drive

b. Normal: denominado de outra forma como "full step drive" ou passo completo 2. Realiza a energização de duas bobinas adjacentes, em sequência. Caracteriza-se por: maior torque e maior consumo de energia em relação ao anterior. A Tabela 2 apresenta a tabela verdade:

Bobinas	1 ^a	2A	1B	2B
01	1	1	0	0
02	0	1	1	0
03	0	0	1	1
04	1	0	0	1

Tabela 2 - Tabela verdade passo completo 2

2. **Meio-passo:** também denominado de "half-step". É, de certa forma, a combinação dos modos de passo anteriores. Realiza, em alternância, a energização de duas bobinas adjacentes e em seguida uma apenas. Em relação aos outros consome mais energia, tem velocidade menor, no entanto é mais preciso. Sua tabela verdade é apresentada na Tabela 3.

	1 A	2A	1B	2B
Bobinas				
01	1	1	0	0
02	0	1	0	0
03	0	1	1	0
04	0	0	1	0
05	0	0	1	1
06	0	0	0	1
07	1	0	0	1
08	1	0	0	0

Tabela 3 - Tabela verdade para meio passo

3. **Micropasso:** outra denominação é a proveniente do ingês "microstepping". Realiza a rotação do motor em mínimos incrementos angulares, propiciando até 100.000 passos por revolução (0,0036° por passo). As correntes nas bobinas são semelhantes a uma onda senoidal, como se constata na Figura 4.

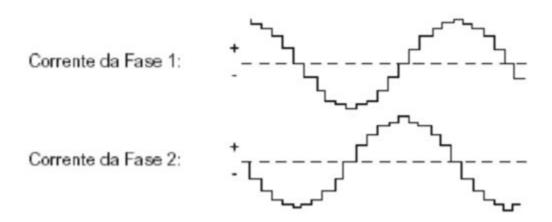


Figura 4 - Correntes nas bobinas de um motor micropasso

A seguir a ilustração com a comparação entre os modos de rotação¹:



Figura 5 - Comparação entre os modos de rotação

Controle de motor de passo por FPGA

¹ Observação: figuras como objeto animado. Animação somente acontecerá caso leitor de pdf seja Adobe Reader ou semelhante. A utilização de browser de internet como leitor ou outros softwares nativos de sistemas operacionais podem não representar a animação.

3. Descritivo de operação

3.1 Materiais utilizados

Os materiais utilizados foram: uma unidade de PCB didática com FPGA (Modelo EP1C3T100C8); uma unidade de circuito integrado ULN2803; uma unidade de motor de passo com quatro terminais + comum. O software utilizado para a programação é o Altera Quartus II, versão 9.1 Service Pack 2 Web Edition².

Sobre os materiais utilizados comenta-se que todos estavam em perfeito estado, não apresentando defeitos visíveis (de acordo com o avaliado), o que resulta na exclusão de problemas operacionais devido à qualidade dos equipamentos.

3.2 Circuito proposto

Neste experimento foi necessário fazer a montagem prática de um controlador de motor de passo utilizando a PCB didática com FPGA. Assim como no experimento anterior, foi preciso montar previamente a lógica do circuito utilizando o *software* Quartus II.

O circuito proposto é o que está na Figura 5.

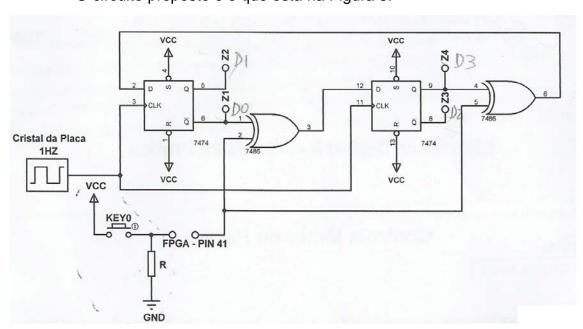


Figura 6 - Circuito montado

Controle de motor de passo por FPGA

² Quanto aos CI's utilizados, pode-se realizar consulta de seus diagramas esquemáticos disponibilizados pelos fabricantes em "Anexo".

O CI principal utilizado foi o 7474, o qual possui dois Flip-Flops tipo D em sua estrutura interna. Assim como no experimento anterior, houve várias etapas durante a realização do experimento:

1ª etapa - Divisores de frequência:

Neste experimento, era necessário fazer o motor girar em vários tipos de frequência. Sabe-se que na PCB didática só temos apenas um clock fixo de 25MHz.

Para obter-se outros valores de frequências, foi necessário criar vários componentes no *Quartus II* que fizessem a função de "divisor de frequência". Para isso, foi necessário utilizar a função *MegaWizard Plug-In Manager* do software, como pode ser visto na Figura 7:

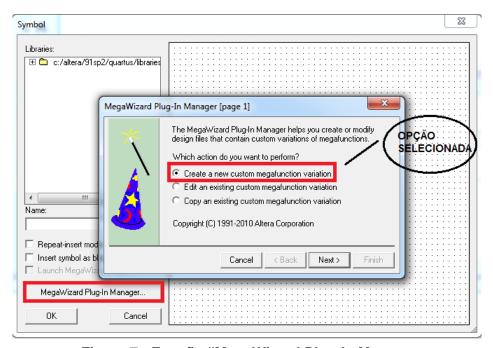


Figura 7 - Função "MegaWizard Plug-In Manager

O mesmo processo do experimento anterior foi realizado: ao clicar em "next", uma série de opções de escolhas aparece, as quais determinavam o tipo de componente que se desejava criar. Escolhe-se então a opção "Arithmetic" e em seguida LPM_COUNTER, como pode ser visto na Figura 8:

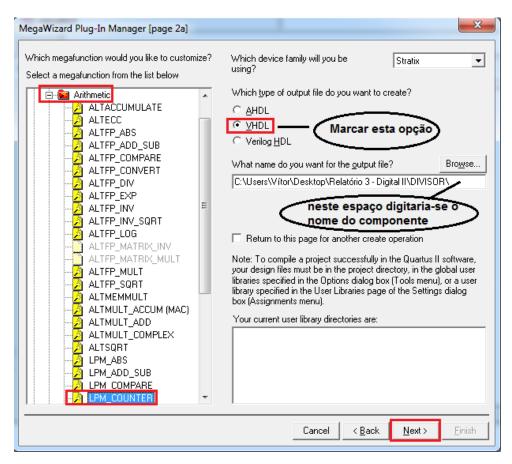


Figura 8 - Criando o componente divisor de frequência no Quartus II

Após isso, algumas janelas a mais, nas quais dever-se-ia definir o módulo do divisor, o número de bits da saída Q e habilitar um terminal *carry-out* adicional.

Então bastava-se repetir este mesmo processo várias vezes, somente mudando o módulo do divisor, criando assim diversos clock's com diferentes frequências.

2 a etapa – Montagem do circuito:

Depois dos divisores de frequência, bastava a montagem do restante do circuito. A princípio, iria-se utilizar o integrado ULN2803, porém ele não continha na biblioteca do Quartus II, então utilizou-se o CI citado anteriormente, o qual possui função equivalente ao ULN2803.

Como disse-se, uma unidade de 7474 equivale a dois FF tipo D. Então precisava-se utilizá-lo para montar o circuito proposto:

Na montagem feita no Quartus II, os flip-flop's da Figura 5 são representados diretamente pelo CI 7474, como pode ser visto pela Figura 9, as quais mostram o circuito inteiro montado no software:

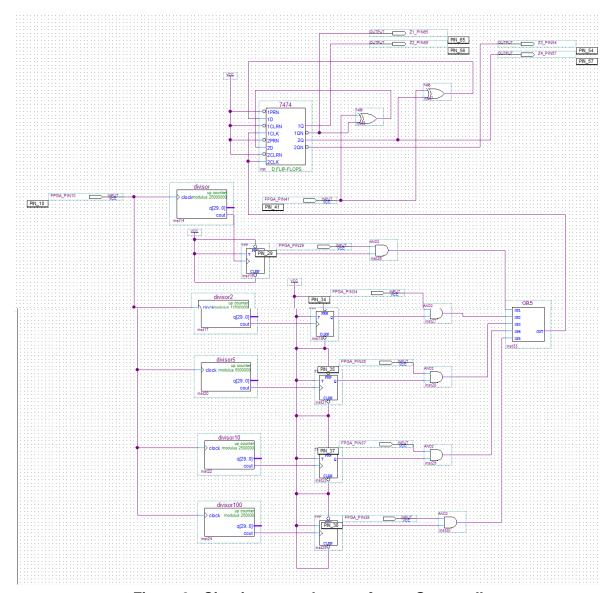


Figura 9 - Circuito montado no software Quartus II

Como pode ser visto, em todos os relógios (clocks) há uma porta AND conectada a um input, que depois segue para uma porta OR. São esses inputs que definirão qual clock estará sendo utilizado, pois elas se tratam de chaves que alternam entre Vcc e GND. Sabe-se que a saída Q dos FF tipo T estão sempre comutando (pois a entrada T está conectada a Vcc), ou seja, caso o input estiver em nível lógico alto, o clock do flip flop T será transmitido na saída da AND e sendo conduzido à entrada da OR.

3ª etapa – Definição dos pinos

Na Figura 10 é possível ver o Pin Planner, que é a ferramenta onde se definem os pinos dos inputs e outputs utilizados no circuito. A figura indica o que significa cada pino:

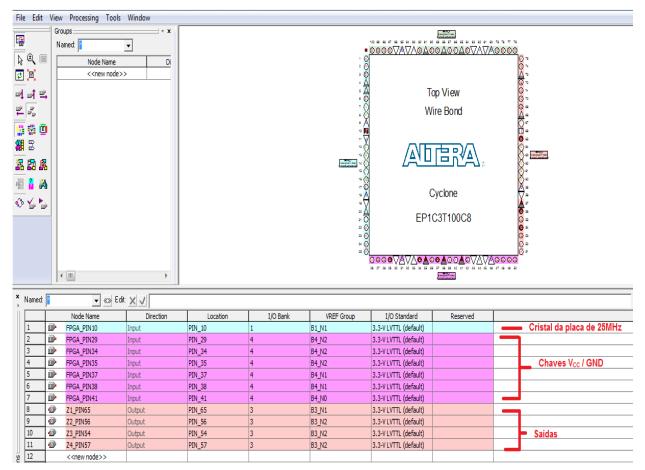


Figura 10 - Definindo os pinos das inputs e outputs

Diferentemente do experimento anterior, neste foi preciso que se programasse a PCB para armazenar a lógica criada no Quartus II em sua memória flash. Para isso, foi necessário que utilizasse o menu *Programmer*, e selecionasse o modo "Action Script".

4. Considerações relevantes

4.1 Motor de passo

Os motores de passo são amplamente aplicados em equipamentos que necessitam da rotação/movimentação de objetos como em: impressoras, injeção eletrônica e automação industrial. Como foi visto, sua característica principal não é o torque ou a velocidade angular, mais sim a precisão e a possibilidade de controle minucioso de seu ângulo de rotação.

Diferentemente de outros tipos de motores, os de passo dependem mais da frequência a que os pulsos elétricos são aplicados em seus terminais do que a tensão ou corrente que circula pelas suas bobinas. De acordo com o estudado, sua rotação não é dada pelo tempo em que suas bobinas recebem nível lógico alto, mas sim pela quantidade de pulsos inferida.

5. Referências

WESTPHAL, Carolina; SILVA, Marcos Leal da. Controle de motor de passo. Disponível em: http://fpgaparatodos.com.br/exemplos-de-aplicacao/exemplos-didaticos/20-controle-de-um-motor-de-passo.html. Acesso em 30 out. 2014.

ULN2803. J-OMEGA. Disponível em: http://www.j-omega.co.uk/Downloads/ULN2803.pdf. Acesso em 30 out. 2014.

7474. FAIRCHILD SEMICONDUCTOR. Disponível em: http://pdf.datasheetcatalog.com/datasheets/70/375703 DS.pdf. Acesso em 30 out. 2014.

MOTOR DE PASSO. UFF. Disponível em: http://www.telecom.uff.br/pet/petws/downloads/tutoriais/stepmotor/stepmotor2k 81119.pdf. Acesso em 30 out. 2014.

MOTOR DE PASSO. PPGEL – UFSJ. Disponível em: http://www.ppgel.ufsj.edu.br/uaisoccer/downloads/1272062510.pdf. Acesso em 31 out. 2014.

AULA3 – MOTOR DE PASSO. FEIS – UNESP. Disponível em: http://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariaeletrica/aula3-motor-de-passo-2013-1-13-03-2013-final.pdf. Acesso em 31 out. 2014.

MICROSTEPPING. Disponível em: http://www.nmbtc.com/step-motors/engineering/full-half-and-microstepping/. Acesso em 31 out. 2014.

6. Anexo

Diagrama esquemático do CI 7474



August 1986 Revised March 2000

DM74LS74A

Dual Positive-Edge-Triggered D Flip-Flops with Preset, Clear and Complementary Outputs

General Description

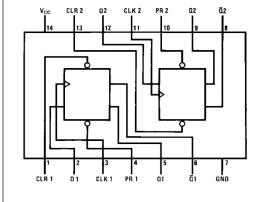
This device contains two independent positive-edge-triggered D flip-flops with complementary outputs. The information on the D input is accepted by the flip-flops on the positive going edge of the clock pulse. The triggering occurs at a voltage level and is not directly related to the transition time of the rising edge of the clock. The data on the D input may be changed while the clock is LOW or HIGH without affecting the outputs as long as the data setup and hold times are not violated. A low logic level on the preset or clear inputs will set or reset the outputs regardless of the logic levels of the other inputs.

Ordering Code:

Order Number	Package Number	Package Description
DM74LS74AM	M14A	14-Lead Small Outline Integrated Circuit (SOIC), JEDEC MS-120, 0.150 Narrow
DM74LS85ASJ	M14D	14-Lead Small Outline Package (SOP), EIAJ TYPE II, 5.3mm Wide
DM74LS74AN	N14A	14-Lead Plastic Dual-In-Line Package (PDIP), JEDEC MS-001, 0.300 Wide

Devices also available in Tape and Reel. Specify by appending the suffix letter "X" to the ordering code

Connection Diagram



Function Table

Innuto

inputs			Out	puts	
PR	CLR	CLK	D	Q	Q
L	Н	Х	Х	Н	L
Н	L	X	Х	L	Н
L	L	X	X	H (Note 1)	H (Note 1)
Н	н	1	Н	Н	L
Н	Н	1	L	L	Н
Н	Н	L	Х	Q_0	\overline{Q}_0

Outputo

H = HIGH Logic Level

X = Either LOW or HIGH Logic Level

L = LOW Logic Level

↑ = Positive-going Transition

 $\mathbf{Q}_0 = \text{The output logic level of } \mathbf{Q}$ before the indicated input conditions were established.

Note 1: This configuration is nonstable; that is, it will not persist when either the preset and/or clear inputs return to their inactive (HIGH) level.

© 2000 Fairchild Semiconductor Corporation

DS006373

www.fairchildsemi.com

Connection Diagram

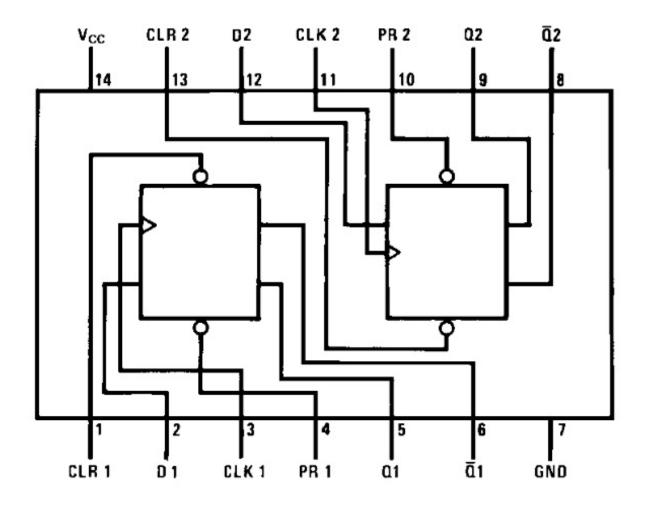


Diagrama esquemático do CI ULN2803



Octal High Voltage, High Current Darlington Transistor Arrays

The eight NPN Darlington connected transistors in this family of arrays are ideally suited for interfacing between low logic level digital circuitry (such as TTL, CMOS or PMOS/NMOS) and the higher current/voltage requirements of lamps, relays, printer hammers or other similar loads for a broad range of computer, industrial, and consumer applications. All devices feature open–collector outputs and free wheeling clamp diodes for transient suppression.

The ULN2803 is designed to be compatible with standard TTL families while the ULN2804 is optimized for 6 to 15 volt high level CMOS or PMOS.

MAXIMUM RATINGS ($T_A = 25$)C and rating apply to any one device in the package, unless otherwise noted.)

Rating	Symbol	Value	Unit
Output Voltage	Vo	50	V
Input Voltage (Except ULN2801)	VI	30	V
Collector Current – Continuous	lc	500	mA
Base Current – Continuous	ΙΒ	25	mA
Operating Ambient Temperature Range	TA	0 to +70	JC
Storage Temperature Range	T _{stg}	-55 to +150)C
Junction Temperature	TJ	125)C

R_{0JA} = 55)C/W Do not exceed maximum current limit per driver.

ORDERING INFORMATION

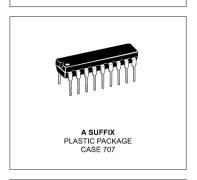
	Characteristics				
Device	Input Compatibility	V _{CE} (Max)/I _C (Max)	Operating Temperature Range		
ULN2803A ULN2804A	TTL, 5.0 V CMOS 6 to 15 V CMOS, PMOS	50 V/500 mA	$T_A = 0 \text{ to } + 70 C$		

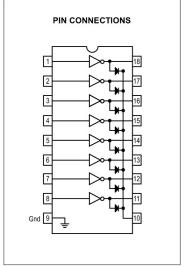
Order this document by ULN2803/D

ULN2803 ULN2804

OCTAL PERIPHERAL DRIVER ARRAYS

SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA





© Motorola, Inc. 1996

Rev 1

PIN CONNECTIONS

