

**Escola de Engenharia Elétrica, Mecânica e de Computação
Universidade Federal de Goiás**



Laboratório de Microprocessadores e Microcontroladores

Experimento 4: Motor de Passo e Motor de Corrente Contínua

Alunos: _____ Matrícula: _____

Prof. Dr. José Wilson Lima Nerys

Goiânia, 1º semestre de 2019

SUMÁRIO

1	<i>Motor de Passo</i>	3
1.1	Conceitos Básicos.....	3
1.2	Acionamento do Motor de Passo.....	3
2	<i>Motor de Corrente Contínua</i>	4
2.3	Conceitos Básicos.....	4
2.4	Variação de Velocidade	5
2.5	Medição Digital de Velocidade.....	6
3	<i>Atividades do Experimento 4</i>	8
3.1	Motor de passo.....	8
3.2	Motor de Corrente Contínua	11

1 Motor de Passo

1.1 Conceitos Básicos

O motor de passo consiste de um estator contendo bobinas que são acionadas usando corrente contínua e um rotor de ímã permanente, que gira a cada mudança das bobinas acionadas.

A Fig. 1 ilustra, de maneira simplificada, o funcionamento de um motor de passo. Ela mostra 4 bobinas concentradas; na prática, as bobinas são distribuídas ao longo do estator. O passo do motor, que corresponde ao ângulo de rotação a cada mudança das bobinas acionadas depende dessa distribuição das bobinas ao longo do estator. Um ângulo de passo comum é 1.8° , o que significa que são necessários 200 passos para que o motor complete uma volta de rotação.

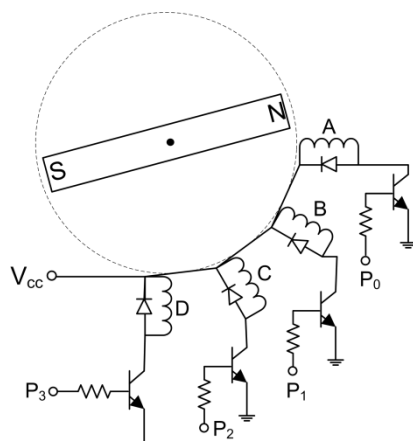


Tabela 1: valores para acionamento do motor de passo - passo completo

Passo	P ₃	P ₂	P ₁	P ₀	HEX
1	0	0	0	1	01
2	0	0	1	0	02
3	0	1	0	0	04
4	1	0	0	0	08
5	0	0	0	1	01

Fig. 1: Esquema do motor de passo e tabela de acionamento

A Tabela 1 mostra um exemplo de valores que devem ser enviados aos pinos de acionamento de cada bobina. Nesse exemplo as bobinas são acionadas individualmente, mas elas também podem ser acionadas de duas em duas.

1.2 Acionamento do Motor de Passo

O esquema da Fig. 1 é o circuito típico utilizado no acionamento de motor de passo, entretanto, há pastilhas integradas que são também utilizadas para essa função. Um circuito integrado que pode ser usado para esse fim é o ULN2803A, mostrado na Fig. 2. Trata-se de um conjunto de transistores do tipo darlington, com capacidade de corrente de 500 mA. Cada uma das 4 bobinas do motor é ligada a uma das saídas (OUT) e ao terminal comum (COM), que é conectado à fonte de alimentação do motor de passo, que não precisa, necessariamente, ser a mesma do microcontrolador.

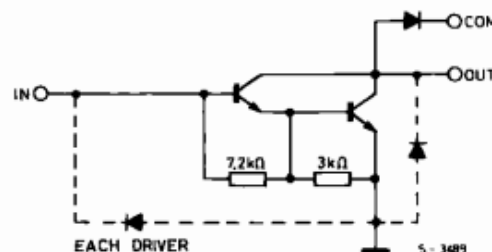
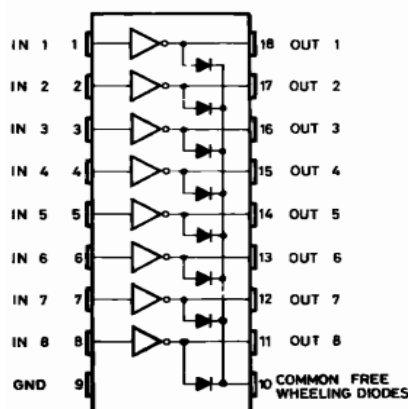
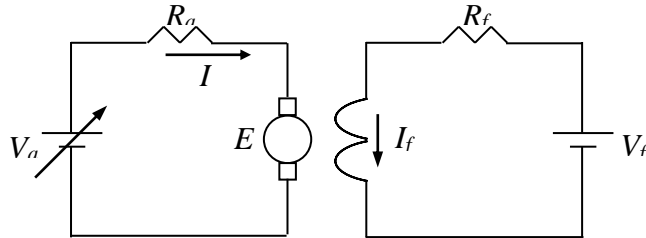


Fig. 2: Driver para motor de passo - ULN2803A

2 Motor de Corrente Contínua

2.3 Conceitos Básicos

A Fig. 3 mostra o circuito básico de um motor de corrente contínua, onde os enrolamentos de campo e de armadura são alimentados de forma independente. As expressões básicas também são dadas.



$$E = k \cdot \Phi \cdot \omega_a$$

$$V_a = R_a I_a + E$$

$$\omega_a = \frac{V_a - R_a I_a}{k \cdot \Phi}$$

Fig. 3: Motor de Corrente Contínua

O motor de corrente contínua consiste de um enrolamento de campo estacionário e um enrolamento de armadura rotativo. O enrolamento de campo pode ser acionado por corrente contínua, ou ainda consistir de um estator de ímã permanente, não sendo necessário alimentação. A armadura é acionada com corrente contínua através de escovas e um anel comutador.

A Fig. 4 mostra um circuito para acionamento do motor de corrente em um único sentido de rotação. Um pulso alto na base do transistor BC548 leva o transistor BD139 à saturação, o que aciona o motor. Um pulso baixo leva esse transistor ao corte, quando então a corrente do motor decresce circulando pelo diodo 1N4001.

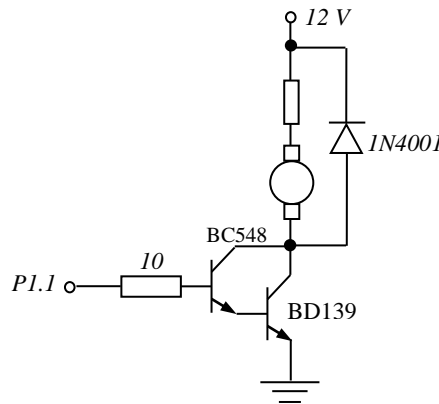


Fig. 4: Driver para acionamento do motor CC num único sentido

A Fig. 5 mostra uma configuração denominada de Ponte H, que permite o acionamento em ambos os sentidos de rotação. As chaves A, B, C e D são normalmente transistores do tipo MOSFET ou IGBT. Para o acionamento em um dos sentidos as chaves A e B são acionadas; para o acionamento no sentido contrário as chaves C e D são acionadas. A lógica de acionamento dessas chaves não deve permitir o acionamento simultâneo das chaves A e D e das chaves C e B, o que resultaria num curto-circuito da fonte de alimentação. O driver de acionamento em ponte H usado no laboratório (**L298N** – Diagrama na Fig. 6) permite o acionamento de um motor com corrente de até 1,5 A através de dois pinos de comando e segue a lógica da Tabela 2.

É importante observar que os diodos são fundamentais para o retorno da corrente, quando qualquer uma das chaves é desligada. No momento de desligamento das chaves, há energia armazenada nas indutâncias do motor; sem os diodos as chaves poderiam ser danificadas por sobre-tensão.

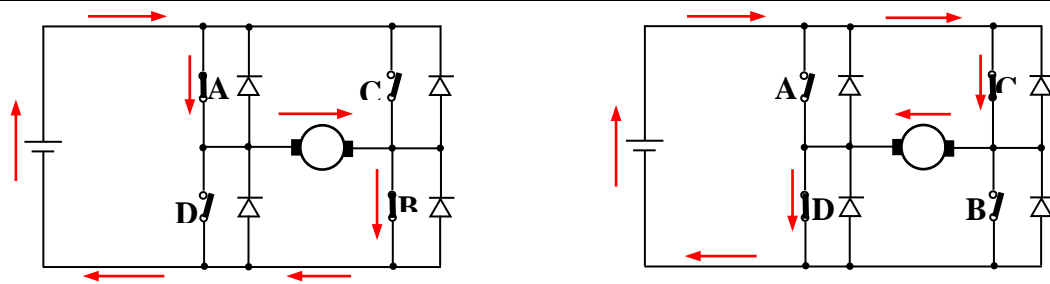


Fig.5: Driver para acionamento do motor CC em ambos os sentidos

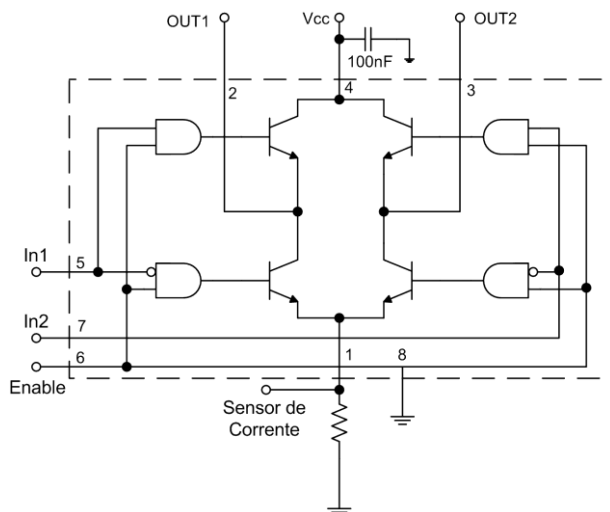


Figura 6: Diagrama de blocos parcial do L298N

Tabela 2: Pinos de controle da ponte H

In 1	In 2	Efeito
0	0	Motor parado
0	1	Gira no sentido direto
1	0	Gira no sentido reverso
1	1	Motor parado

2.4 Variação de Velocidade

Uma forma de variar a velocidade do motor CC é variando a tensão de armadura. Uma forma de variar a tensão de armadura é usar modulação PWM, que consiste na definição de um período de acionamento fixo e, dentro desse período, estabelecer um período ligado e outro desligado. A Fig. 7 ilustra esse processo. O motor usado é de 12 V e, portanto, a tensão de alimentação deve variar de zero a 12 V para obter-se variação de velocidade de zero até o valor máximo. Isso é feito chaveando-se um transistor a uma frequência alta, por exemplo, 5 kHz, que corresponde a um período de 0,2 ms ou 200 μ s.

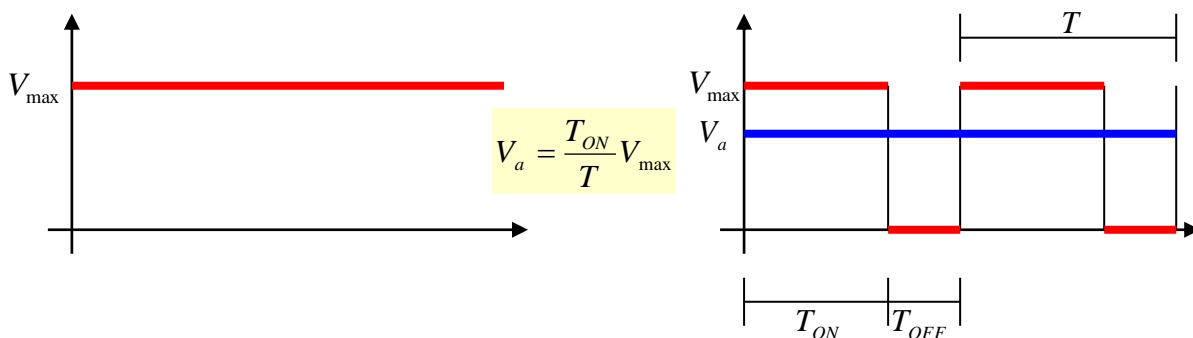


Fig. 7: Geração do sinal PWM para controle do motor de corrente contínua

Pode-se preferir definir o período como 255 μ s, por exemplo, o que corresponde a uma frequência de chaveamento de 3,92 kHz. A variação de velocidade pode então ser obtida variando-se o período ligado (T_{ON}) de 0 a 255 μ s, ao mesmo tempo em que o período desligado (T_{OFF}) deve variar de 255 μ s a 0, para manter constante o período total (T). Essa contagem do período ligado e desligado pode ser feita através de um dos temporizadores do 8051, operando no modo 2 (modo de recarga automática).

O microcontrolador 8051 possui dois temporizadores/contadores, que podem operar em 4 modos diferentes: modo de 13 bits (modo 0), modo de 16 bits (modo 1), modo de 8 bits com recarga automática (modo 2) e 2 modos independentes de 8 bits (modo 3). O modo de recarga automática (modo 2) pode ser usado para gerar o sinal PWM para o controle do motor CC. Nesse modo a contagem é feita através de TL (a primeira contagem começa no valor inicial de TL) e o valor de TH é usado para definir o início da próxima contagem. Se o temporizador começa sempre no valor dado em TL e vai até FFh (255), e sendo $T_{ON} = T - T_{OFF}$, e sendo ainda escolhido $T = 255$, o procedimento usado no programa é:

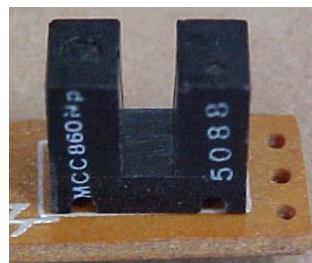
1. Para o período ligado faz-se $TL = T_{OFF}$; dessa forma, o temporizador conta de T_{OFF} até 255, o que corresponde ao período ligado;
2. Para o período desligado faz-se $TL = T_{ON}$; dessa forma, o temporizador conta de T_{ON} até 255, o que corresponde ao período desligado.
3. No início do programa desliga-se o motor (CLR P2.2 e CLR P2.3) e faz-se $TL = T_{ON} = 09H$, o que faz com que o temporizador, na primeira contagem já conte o período desligado, que começa em T_{ON} e vai até 255.
4. Após fazer $TL = T_{ON}$, encontra-se o complemento de T_{ON} (CPL A), ou seja, T_{OFF} , e carrega-se em TH. Dessa forma, a próxima contagem começará em T_{OFF} , o que significa que o temporizador contará o período ligado.
5. Cada vez que a subrotina de controle é executada define-se o próximo valor de recarga, TH.
6. Para aumentar a velocidade aumenta-se o período ligado T_{ON} . Para diminuir aumenta-se T_{OFF} .

2.5 Medição Digital de Velocidade

Estão disponíveis no laboratório dois tipos de fotosensores: um com nível lógico normalmente alto e outro com nível lógico normalmente baixo. Os dois modelos são mostrados na Fig. 6. O primeiro tipo foi montado com um circuito auxiliar modulador que diminui a influência da luz ambiente sobre o fotosensor. Esse circuito emite uma luz de cerca de 1 kHz, que ao ser refletida satura o fototransistor. É utilizado o decodificador de frequência **NE567**. O segundo modelo não usa circuito modulador.



(a)



(b)

Fig. 6: Sensor de presença (a) com circuito auxiliar modulador e (b) sem circuito modulador

A diferença básica entre os sensores usados, além do circuito de modulação, está no encapsulamento. Em um deles (Fig. 7a) o encapsulamento faz com que o fototransistor fique normalmente cortado (sem presença de luz); ele entra em saturação quando a luz do **LED** é refletida em um obstáculo. Assim, o sinal de saída V_o passa de nível lógico alto para baixo, na presença de um obstáculo.

No outro tipo de encapsulamento (Fig. 7b) a luz do **LED** incide diretamente sobre o fototransistor, fazendo com que ele fique normalmente saturado, ou seja, o sinal de saída V_o fica inicialmente em nível lógico baixo; na presença de um obstáculo entre os dois componentes o fototransistor é levado ao corte e o sinal de saída vai para o nível lógico alto.



Fig. 7: (a) fototransistor normalmente cortado e (b) fototransistor normalmente saturado

Pode-se fazer uso do fotosensor da Fig. 7(b) para medir a velocidade de um motor de forma digital, associando-se ao fotosensor uma roda com **60 furos** (Fig. 8). O sinal resultante do fotosensor, com a rotação da roda de 60 furos, é uma onda quadrada (Fig. 9). Esse sinal pode ser conectado a um dos dois pinos de interrupção. A interrupção deve ser configurada para atuar por transição (na passagem de nível lógico 1 para 0). A cada interrupção o registrador com o número atualizado de pulsos é incrementado em 1.



Fig. 8: conjunto fotosensor/roda de 60 furos

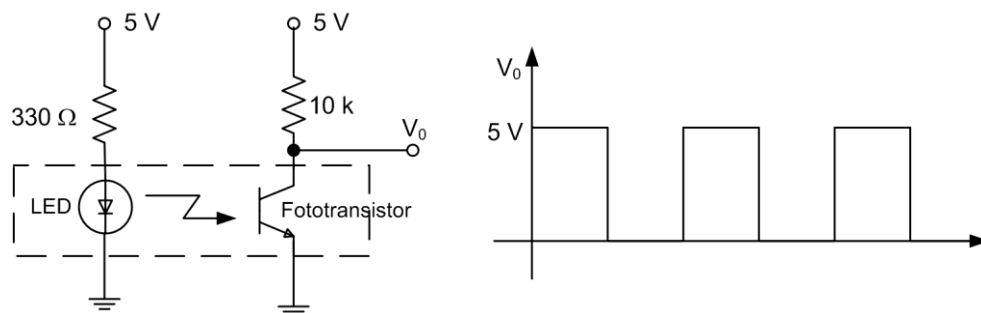


Fig. 9: Sinal de saída do sensor de velocidade

A medição de velocidade é feita estabelecendo-se um tempo de amostragem, ou seja, um tempo fixo em que o registro de pulsos é lido. Mostra-se a seguir que o fato de ter 60 furos na roda faz com que o número de pulsos registrados por segundo (frequência) seja correspondente à velocidade em rotações por minuto (rpm).

$$1 \text{ rotação/segundo} \rightarrow 60 \text{ furos/segundo}$$

$$\rightarrow 60 \text{ rpm} \equiv 60 \text{ furos/s} \rightarrow X \text{ rpm} \equiv X \text{ furos/s}$$

$$1 \text{ rotação/segundo} \rightarrow 60 \text{ rotações/minuto}$$

$$\omega \text{ (rpm)} \equiv f \text{ (Hz)}$$

Um tempo de amostragem menor que 1 segundo pode ser adotado, e é aconselhável em muitas aplicações. Sendo assim, deve-se fazer a devida transformação de número de furos lidos no tempo de amostragem para rotações por minuto.

3 Atividades do Experimento 4

As atividades deste experimento estão estruturadas de modo a serem realizadas simulações seguidas de uso do kit didático real.

3.1 Motor de passo

3.1.1 Simulação e Operação no Kit Didático

No código da Tabela 3 o pino P3.3 é usado para ligar/desligar o motor de passo e o pino P3.2 é usado para inverter o sentido de rotação do motor.

Tabela 3: Inversão do sentido de rotação de motor de passo

Linha	Rótulo	Instrução	Linha	Rótulo	Instrução	Linha	Rótulo	Instrução
1		ORG 00H	12	HORA:	MOV P2,A	23	ATRASSO:	MOV R0, #200
2		LJMP INICIO	13		LCALL ATRASSO	24	V2:	MOV R1, #200
3			14		RL A	25		DJNZ R1, \$
4		ORG 30H	15		SJMP V1	26		DJNZ R0, V2
5	INICIO:	MOV SP,#2FH	16			27		RET
6		MOV A,#11H	17	ANTI-H:	MOV P2,A	28		
7			18		LCALL ATRASSO	29		END
8	V0:	JB P3.3,\$	19		RR A	30		
9		JNB P3.3,\$	20		JB P3.3, V1	31		
10			21		JNB P3.3,\$	32		
11	V1:	JB P3.2,ANTI_H	22		SJMP V0	33		

Simule no simulador digital o código da Tabela 3 e, em seguida, grave o código em um microcontrolador e verifique seu funcionamento no kit real.

Questão 1: Explique a finalidade das duas instruções, em sequência, nas linhas 8 e 9 e nas linhas 20 e 21.

Questão 2: Qual é a finalidade da instrução da linha 11?

Questão 3: Como o motor de passo é desligado no código apresentado?

3.1.2 Operação com Interrupção

O código da Tabela 4 é parcial e deve ser executado, inicialmente, no kit real, de modo a permitir a identificação do ângulo que corresponde a cada passo do motor. Assim, o código permite acionar o motor por uma rotação correspondente a 100 passos, a cada chamada da interrupção externa zero.

Tabela 4: Acionamento do motor 100 passos no sentido anti-horário.

Ord	Rótulo	Instrução	Ord	Rótulo	Instrução
1		ORG 00H	15	ANTI_HORA:	MOV R7,#100
2		LJMP INICIO	16	V1:	MOV P2,A
3			17		LCALL ATRASO
4		ORG 03H	18		RL A
5		LJMP ANTI_HORA	19		DJNZ R7,V1
6			20		CLR IE0
7		ORG 30H	21		RETI
8	INICIO:	MOV SP,#2FH	22		
9		MOV IE,#81H	23	ATRASO:	MOV R0,#200
10		MOV TCON,#01H	24	V3:	MOV R1,#200
11		MOV A,#11H	25		DJNZ R1,\$
12			26		DJNZ R0,V3
13		SJMP \$	27		RET
14			28		END

Ângulo de rotação em 100 passos	Ângulo de cada passo

Use o ângulo do motor de passo, calculado na atividade anterior, para completar a Tabela 5 (linha 15) de forma que o motor de passo gire 1 volta + 90° no sentido horário. Execute o código no simulador digital e no kit real.

Tabela 5: Rotação do motor de passo

Ord	Rótulo	Instrução	Ord	Rótulo	Instrução
1		ORG 00H	15	HORARIO:	MOV R7,#
2		LJMP INICIO	16	V1:	MOV P2,A
3			17		LCALL ATRASO
4		ORG 13H	18		RR A
5		LJMP HORARIO	19		DJNZ R7,V1
6			20		CLR IE1
7		ORG 30H	21		RETI
8	INICIO:	MOV SP,#2FH	22		
9		MOV IE,#84H	23	ATRASO:	MOV R0,#200
10		MOV TCON,#04H	24	V3:	MOV R1,#200
11		MOV A,#11H	25		DJNZ R1,\$
12			26		DJNZ R0,V3
13		SJMP \$	27		RET
14			28		END

Questão 4: Qual é a finalidade da instrução CLR IE1 na linha 20?

3.1.3 Operação com Temporizador

O código dado na Tabela 6 aciona o motor de passo com o temporizador zero no modo 1. O temporizador é usado para contar 1 s. Inicialmente o programa entra em um laço infinito, aguardando o pino **P3.2** mudar do nível alto para o nível baixo. Após a chave em P3.2 ser pressionada, o motor gira em um sentido por 10 s; para por 5 s; gira no sentido contrário por 10 s e volta para o laço de espera.

Tabela 5: acionamento do motor de passo com temporização

Ord	Rótulo	Mnemônicos	Ord	Rótulo	Mnemônicos
1		ORG 00H	30		
2		LJMP INICIO	28	Motor parado por 5 s	CLR TR0
3			29		CLR F0
4		ORG 0BH	30		MOV R7,#5
5		LJMP TEMPO_R7s	31		SETB TR0
6			32		JNB F0,\$
7		ORG 30H	33		
8	INICIO:	MOV SP,#2FH	34		CLR TR0
9		MOV IE,#82H	35		CLR F0
10		MOV TMOD,#01H	36		MOV R7,#10
11		MOV TH0,#HIGH(19455)	37		SETB TR0
12		MOV TL0,#LOW(19455)	38		
13		MOV R0,#20	39	REVERSO:	MOV P2,A
14			40	Motor no sentido reverso (10 s)	LCALL ATRASO
15	LIGA:	JB P3.2,\$	41		RR A
16			42		JNB F0,REVERSO
17		CLR TR0	43		
18		CLR F0	44		SJMP LIGA
19		MOV R7,#10	45		
20		SETB TR0	46	ATRASO:	MOV R6,#150
21		MOV A,#11H	47	V1:	MOV R5,#250
22			48		DJNZ R5,\$
23	DIRETO:	MOV P2,A	49		DJNZ R6,V1
24	Motor no sentido direto (10 s)	LCALL ATRASO	50		RET
25		RL A	51		
26		JNB F0,DIRETO	52	TEMPO_R7s:	DJNZ R0,SAI
27			53		MOV R0,#20
28			54		DJNZ R7,SAI
29			55		SETB F0
			56	SAI:	MOV TH0,#HIGH(19455)
			57		MOV TL0,#LOW(19455)
			58		RETI
			59		
			60		END

Questão 5: Explique como funciona a subrotina TEMPO_R7s e a função do registrador R7 nessa subrotina.

Questão 6: Qual é a função da flag F0 nesse programa?

Questão 7: Por que a flag F0 é zerada nas linhas 18, 29 e 35?

3.2 Motor de Corrente Contínua

O código da Tabela 6 deve ser executado apenas no kit real. Trata-se de um código para leitura da velocidade de um motor de corrente contínua. O programa faz a leitura digital da velocidade de um motor, em rotações por minuto, e mostra o resultado em um display LCD. No método utilizado o timer 0 é usado como gerador do tempo de amostragem, de 1 s, para leitura do registrador que guarda a velocidade.

Tabela 6: Programa que faz a leitura digital de velocidade de um motor de corrente contínua

Linha	Label	Instruções	Linha	Label	Instruções
1		LCD EQU P0	69	INICIA_LCD:	MOV A,#38H
2		EN BIT P3.7	70		LCALL INSTR_WR
3		RW BIT P3.6	71		MOV A,#38H
4		RS BIT P3.5	72		LCALL INSTR_WR
5		OFFSET EQU 14h	73		MOV A,#0EH
6		RPM_L EQU 10h	74		LCALL INSTR_WR
7		RPM_H EQU 11H	75		MOV A,#06H
8			76		LCALL INSTR_WR
9		ORG 00H	77		MOV A,#01H
10		LJMP INICIO	78		LCALL INSTR_WR
11			79		RET
12		ORG 0BH	80		
13		LJMP AMOSTRA	81	TEXTO_WR:	SETB EN
14			82		CLR RW
15		ORG 13H	83		SETB RS
16		LJMP SPEED	84		MOV LCD,A
17			85		CLR EN
18		ORG 30H	86		LCALL ATRASO_LCD
19	INICIO:	MOV SP,#2FH	87		RET
20		MOV IE,#10000110B	88		
21		MOV TCON,#04H	89	LINHA1:	MOV A,OFFSET
22		MOV IP,#00000100B	90		MOVC A,@A+DPTR
23		MOV TMOD,#01H	91		CJNE A,#0FFH,ENVIA
24		MOV TH0,#HIGH(19455)	92		MOV Offset,#00
25		MOV TL0,#LOW(19455)	93		RET
26		MOV R0,#20	94		
27		LCALL ATRASO_LCD	95	ENVIA:	LCALL TEXTO_WR
28		LCALL INICIA_LCD	96		INC OFFSET
29		LCALL ATRASO_LCD	97		SJMP LINHA1
30		MOV DPTR,#MSG1	98		
31		LCALL LINHA1	99	MOSTRA:	MOV A,#198
32		LCALL ATRASO_LCD	100		LCALL INSTR_WR
33		SETB TR0	101		LCALL ATRASO_LCD
34		SJMP \$	102		MOV A,#0f0h
35			103		ANL A,RPM_H
36	AMOSTRA:	MOV TH0,#HIGH(19455)	104		SWAP A
37		MOV TL0,#LOW(19455)	105		ORL A,#30H
38		DJNZ R0,SAI2	106		LCALL TEXTO_WR
39		CLR EA	107		LCALL ATRASO_LCD
40		LCALL MOSTRA	108		
41		MOV R0,#20	109		MOV A,#0fh
42		MOV RPM_L,#0	110		ANL A,RPM_H
43		MOV RPM_H,#0	111		ORL A,#30H
44	SAI2:	SETB EA	112		LCALL TEXTO_WR
45		RETI	113		LCALL ATRASO_LCD
46			114		
47	SPEED:	MOV A,RPM_L	115		MOV A,#0f0h
48		ADD A,#1	116		ANL A,RPM_L
49		DA A	117		SWAP A
50		MOV RPM_L,A	118		ORL A,#30H
51		JNC SAI	119		LCALL TEXTO_WR
52			120		LCALL ATRASO_LCD
53		MOV A,RPM_H	121		
54		ADD A,#1	122		MOV A,#0fh
55		DA A	123		ANL A,RPM_L
56		MOV RPM_H,A	124		ORL A,#30H

57	SAI:	NOP	125		LCALL TEXTO_WR
58		RETI	126		LCALL ATRASO_LCD
59			127		RET
60	INSTR_WR:	SETB EN	128		
61		CLR RW	129	ATRASO_LCD:	MOV R4,#10
62		CLR RS	130	V6:	MOV R5,#80
63		MOV LCD,A	131		DJNZ R5,\$
64		LCALL ATRASO_LCD	132		DJNZ R4,V6
65		CLR EN	133		RET
66		RET	134		
67			135	MSG1:	DB 'Velocidade (rpm)', 0ffh
68			136		END

Questão 8: Alimente o motor de corrente contínua com os três valores indicados na tabela e anote a velocidade registrada no LCD e a frequência do sinal no osciloscópio.

	Caso 1	Caso 2	Caso 3
Tensão no motor CC (V)	3,3 V	5,0 V	12,0 V
Frequência do sinal (Hz)			
Leitura no LCD (rpm)			

Questão 9: Explique o funcionamento da subrotina “AMOSTRA”, da Linha 36 à Linha 45.

Questão 10: Explique o funcionamento da subrotina “SPEED”, da Linha 47 à Linha 58.