



Laboratório de Microprocessadores e Microcontroladores

Experimento 7: Sensores e Transdutores

Alunos: _____ Matrícula: _____

Prof. Dr. José Wilson Lima Nerys

Goiânia, 1º semestre de 2019

SUMÁRIO

1	<i>Sensores e Transdutores</i>	3
1.1	Analógicos	3
1.2	Digitais	3
2	<i>Atividades do Experimento 7</i>	5
2.1	Medição de Distância com Sensor Ultrassônico	5
2.2	Tomada de Decisão a partir da Distância Medida	7
2.3	Medição de Temperatura com LM35	8

1 Sensores e Transdutores

1.1 Analógicos

O objetivo do presente experimento é estudar o uso de alguns sensores e transdutores com sistemas baseados em microcontroladores. Os termos sensor e transdutor muitas vezes se confundem e são usados como sendo equivalentes, mas, de um modo geral, um sensor é um elemento que converte uma grandeza física em sinal elétrico, por exemplo: sensor de temperatura LM35 (Figura 1), que apresenta uma variação de $10 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$ na saída. Um transdutor é normalmente composto apenas por um sensor, um sensor e um circuito de condicionamento de sinal (que ajusta o sinal de saída à entrada do equipamento de leitura) ou, ainda, um sensor, um circuito condicionador de sinal e um circuito transmissor. Exemplo de transdutor: transdutor de corrente de efeito Hall HA55 (Figura 2), que apresenta na saída uma corrente de 1 mA para cada 1 A no circuito primário.

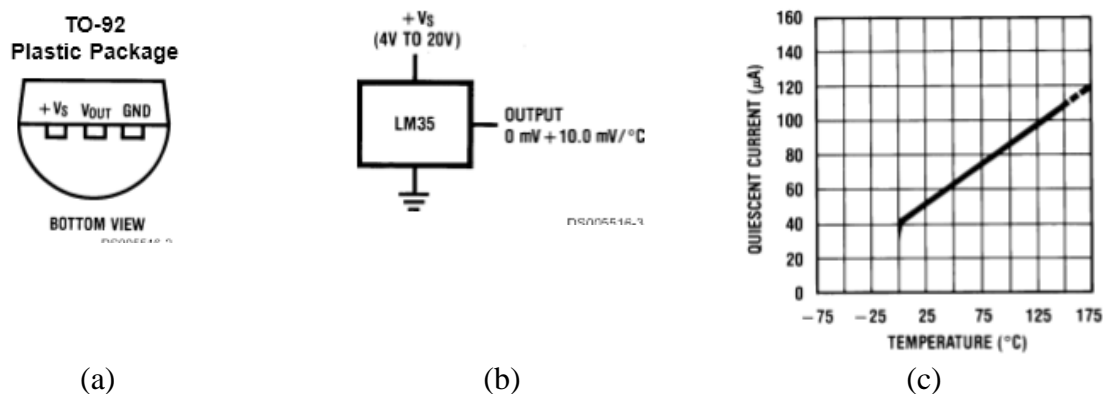


Figura 1 – LM35 conectado para uma saída de 2°C a 150°C .
(a) vista inferior; (b) conexão básica; (c) característica de saída

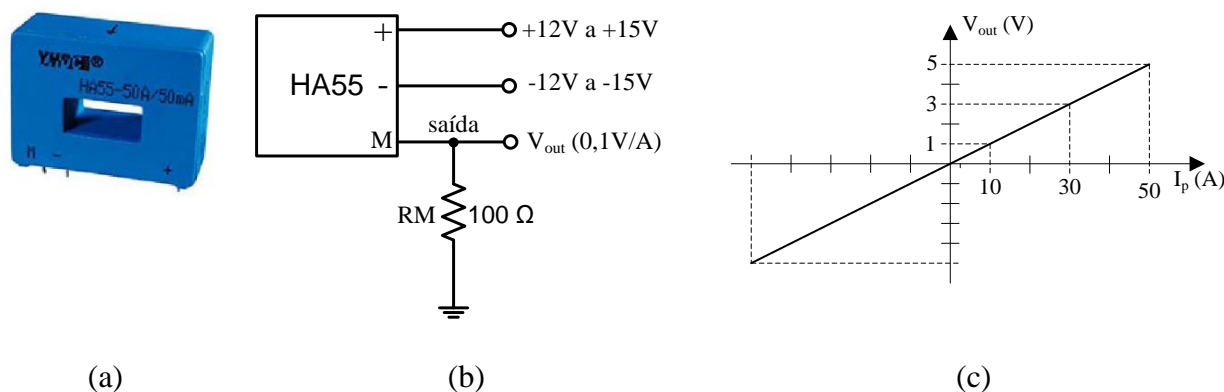


Figura 1 – HA55 conectado para uma saída de -50A a 50A .

(a) vista frontal; (b) conexão básica com $R_M = 100\Omega$; (c) característica de saída: $0,1\text{V/A}$

O sensor e o transdutor apresentados nas Figuras 1 e 2 são analógicos e, assim, precisam de um conversor analógico/digital para serem lidos por um microcontrolador. Na seção seguinte é apresentado um transdutor com saída digital.

1.2 Digitais

A Figura 3 mostra o sensor ultrassônico HC-SR04, utilizado para medir distâncias de 2 cm a 4 m . Esse módulo da figura inclui um circuito transmissor de ultrassom e um circuito receptor.



Figura 3 – Sensor ultrassônico HC-SR04

O princípio básico de operação do sensor HC-SR04 é:

- (1) Envia-se um sinal de nível alto de, pelo menos 10 μ s, para o pino de Trigger “Trig”;
- (2) O módulo automaticamente (após o trigger) envia 8 pulsos de 40 kHz, através da unidade transmissora (T) e detecta o sinal de retorno (se há retorno do sinal), através da unidade receptora (R);
- (3) Se o sinal retornar (presença de obstáculo), com nível lógico alto, o tempo de duração de sinal alto (no pino Echo) corresponde ao tempo de envio e retorno do sinal.

Utiliza-se, então, a expressão a seguir, para obter a distância do obstáculo que provocou o retorno do sinal (a velocidade do som no ar é 340 m/s):

$$d = \frac{(\text{intervalo de tempo de sinal alto} \times \text{velocidade do som})}{2}$$

Aplicando-se a expressão mostrada, chega-se ao valor de 5.882 μ s para cada metro de distância detectada, ou 58,82 μ s para cada centímetro.

A Figura 4 mostra o diagrama de temporização do módulo. Recomenda-se um ciclo de medida a cada 60 ms, no mínimo, para prevenir a interferência do sinal de trigger no sinal de retorno. Esse módulo opera em uma faixa de operação de 15°.

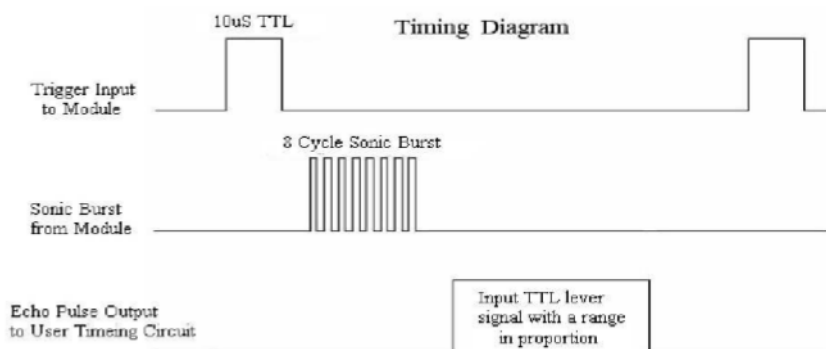


Fig. 4: Diagrama de temporização do módulo HC-SR04

O presente experimento consiste no uso do sensor ultrassônico para medir distâncias e para a tomada de decisões, de acordo com a distância do obstáculo.

2 Atividades do Experimento 7

Os programas das tarefas a seguir devem ser **digitados** e **compilados** em um simulador digital e **executados APENAS** no **kit didático real do microcontrolador 8051**.

2.1 Medição de Distância com Sensor Ultrassônico

O programa a seguir faz a leitura da distância de obstáculos a partir de sensor ultrassônico e mostra o resultado em um display LCD. No método utilizado o timer 0 gera pulsos aproximadamente a cada 58 μ s, que corresponde a 1 cm de deslocamento do som.

Tabela 1: Programa que faz a leitura de um sensor ultrassônico

Linha	Label	Instruções	Linha	Label	Instruções
1		trigger BIT P2.0	69	INICIA_LCD:	MOV A,#38H
2		echo BIT P2.1	70		LCALL INSTR_WR
3		LCD EQU P0	71		MOV A,#38H
4		EN BIT P3.7	72		LCALL INSTR_WR
5		RW BIT P3.6	73		MOV A,#0EH
6		RS BIT P3.5	74		LCALL INSTR_WR
7		Offset EQU 10h	75		MOV A,#06H
8		distancia EQU 11H	76		LCALL INSTR_WR
9			77		MOV A,#01H
10		ORG 00H	78		LCALL INSTR_WR
11		LJMP INICIO	79		RET
12			80		
13		ORG 30H	81	INSTR_WR:	SETB EN
14	INICIO:	MOV SP,#2FH	82		CLR RW
15		CLR trigger	83		CLR RS
16		MOV R0,#10	84		MOV LCD,A
17		MOV TMOD,#00010010B	85		LCALL ATRASO_LCD
18		MOV TL0,#201	86		CLR EN
19		MOV TH0,#201	87		RET
20		LCALL ATRASO_LCD	88		
21		LCALL INICIA_LCD	89	TEXTO_WR:	SETB EN
22		LCALL ATRASO_LCD	90		CLR RW
23		MOV OFFSET,#0	91		SETB RS
24		MOV DPTR,#MSG1	92		MOV LCD,A
25		LCALL LINHA1	93		CLR EN
26		LCALL ATRASO_LCD	94		LCALL ATRASO_LCD
27		LCALL ATRASO_LCD	95		RET
28		MOV DPTR,#MSG2	96		
29		LCALL LINHA2	97	LINHA2:	MOV A,#192
30			98		LCALL INSTR_WR
31	LOOP:	LCALL SENSOR	99		LCALL ATRASO_LCD
32		LCALL Mostra	100		
33		LCALL ATRASO500MS	101	LINHA1:	MOV A,Offset
34		SJMP LOOP	102		MOVC A,@A+DPTR
35			103		CJNE A,#0FFH,ENVIA
36	SENSOR:	MOV distancia ,#00	104		MOV Offset,#00
37		SETB TRIGGER	105		RET
38		LCALL DELAY1	106		
39		CLR TRIGGER	107	ENVIA:	LCALL TEXTO_WR
40		JNB ECHO,\$	108		INC OFFSET
41		CLR TF0	109		SJMP LINHA1
42		SETB TR0	110		
43	REPETE:	JNB TF0,\$	111	ATRASO_LCD:	MOV R4,#10
44		CLR TF0	112		V6:MOV R5,#80
45		MOV A, distancia	113		DJNZ R5,\$
46		ADD A,#01	114		DJNZ R4,V6
47		DA A	115		RET
48		MOV distancia ,A	116		
49		JB ECHO,REPETE	117	DELAY1:	MOV R6,#4D
50		CLR TR0	118	LABEL1:	DJNZ R6, LABEL1
51		RET	119		RET

52		
53	MOSTRA:	MOV A,#203
54		LCALL INSTR_WR
55		LCALL ATRASO_LCD
56		MOV A,#0f0h
57		ANL A,distancia
58		SWAP A
59		ORL A,#30H
60		LCALL TEXTO_WR
61		LCALL ATRASO_LCD
62		
63		MOV A,#0fh
64		ANL A,distancia
65		ORL A,#30H
66		LCALL TEXTO_WR
67		LCALL ATRASO_LCD
68		RET

120		
121	ATRASSO500MS:	MOV TH1,#HIGH(19455)
122		MOV TL1,#LOW(19455)
123		SETB TR1
124		JNB TF1,\$
125		CLR TF1
126		DJNZ R0,ATRASSO500MS
127		MOV R0,#10
128		CLR TR1
129		RET
130		
131		
132		
133	MSG1:	DB 'Sensor Ultrassom', 0fh
134	MSG2:	DB 'Distancia: cm', 0fh
135		
136		END

Questão 1: Coloque um obstáculo em 3 diferentes distâncias, até 20 cm, e anote na tabela a distância escolhida e a leitura no LCD.

	Distância 1	Distância 2	Distância 3
Distância escolhida			
Leitura no LCD			

Questão 2: Qual a maior distância obtida com a montagem implementada?

Questão 3: Explique o funcionamento da subrotina “Sensor”, da Linha 36 à Linha 51.

Questão 4: A recarga do temporizador zero, no modo 2, é 201. Explique o porquê dessa escolha.

2.2 Tomada de Decisão a partir da Distância Medida

O código a seguir faz a leitura digital da distância de um obstáculo e, a partir do resultado, acende Leds de alerta. O temporizador zero é usado na medição da distância de 1 cm; e o temporizador 1 é usado para gerar um tempo de atraso de 500 ms, necessário para não haver interferência entre sinal do trigger e o sinal do echo. Essa subrotina é também usada para piscar os Leds de alerta.

Tabela 2: Programa que faz a leitura digital de distância e toma decisões

Linha	Label	Instruções	Linha	Label	Instruções
1		trigger BIT P2.0	37	Verifica:	CLR CY
2		echo BIT P2.1	38		MOV A,distancia
3		distancia EQU 11H	39		SUBB A,#10
4			40		JC Pisca_Led0
5		ORG 00H	41		CLR CY
6		LJMP INICIO	42		SUBB A,#30
7			43		JNC Pisca_Led7
8		ORG 30H	44		RET
9	INICIO:	MOV SP,#2FH	45		
10		CLR trigger	46	Pisca_Led0:	CPL P1.0
11		MOV R0,#10	47		LCALL Atraso500ms
12		MOV TMOD,#00010010B	48		CPL P1.0
13		MOV TL0,#201	49		RET
14		MOV TH0,#201	50		
15			51	Pisca_Led7:	CPL P1.7
16	LOOP:	LCALL Sensor	52	V2:	LCALL Atraso500ms
17		LCALL Verifica	53		CPL P1.7
18		LCALL Atraso500ms	54		RET
19		SJMP LOOP	55		
20			56	Atraso10us:	MOV R6,#4
21	Sensor:	MOV distancia ,#00	57		DJNZ R6,\$
22		SETB TRIGGER	58		RET
23		LCALL Atraso10us	59		
24		CLR TRIGGER	60	Atraso500ms:	MOV TH1,#HIGH(19455)
25		JNB ECHO,\$	61		MOV TL1,#LOW(19455)
26		CLR TF0	62		SETB TR1
27		SETB TR0	63		JNB TF1,\$
28	Repete:	JNB TF0,\$	64		CLR TF1
29		CLR TF0	65		DJNZ R0, Atraso500ms
30		MOV A, distancia	66		MOV R0,#10
31		ADD A,#01	67		CLR TR1
32		DA A	68		RET
33		MOV distancia ,A	69		
34		JB ECHO,Repete	70		END
35		CLR TR0	71		
36		RET	72		

Questão 5: A que distância o Led em P1.0 começa a piscar? E o Led em P1.7?

Questão 6: Como funciona a subrotina “Verifica”?

2.3 Medição de Temperatura com LM35

O código a seguir faz a leitura analógica da temperatura, por meio do transdutor LM35, e envia o resultado via porta serial. Nesse processo há a leitura da temperatura pelo conversor AD, a conversão do valor lido em valor decimal de temperatura em graus Celsius e o envio via porta serial. A expressão utilizada para a conversão do valor lido em valor de temperatura é:

$$T(^{\circ}\text{C}) = \frac{5 * 100 * \text{leitura}}{255}$$

No processamento, a divisão será por 256 (ao invés de 255), que consiste em rotacionar 8 vezes para a direita o resultado obtido com as multiplicações no numerador. O fator “5” do numerador corresponde à tensão de referência de 5 V; o fator “100” deve-se à variação de temperatura no LM35, que é de 10 mV/°C; isso equivale a dividir a leitura por 0,01, ou multiplicar por 100.

Para garantir que o valor mostrado nos Leds seja o mesmo valor convertido para graus Celsius, foi utilizada a interrupção externa zero; ao ser acionada, uma leitura de temperatura é feita e o valor lido é mostrado nos Leds da Porta P1 e, depois, é convertido para graus Celsius e enviado via serial. A taxa de comunicação é de 9600 bps.

Linha	Rótulo	Instruções
1		TEMP_H EQU 10H
2		TEMP_L EQU 11h
3		DEC_H EQU 13H
4		DEC_L EQU 14H
5		
6		ORG 00H
7		LJMP INICIO
8		
9		ORG 03H
10		LJMP LEITURA
11		
12		ORG 30H
13	INICIO:	MOV SP,#2FH
14		MOV IE,#81H
15		MOV TCON,#01H
16		MOV SCON,#40H
17		MOV TMOD,#20H
18		MOV TH1,#0FDH
19		MOV TL1,#0FDH
20		SETB TR1
21		CLR TI
22		SJMP \$
23		
24	LEITURA:	MOV A,P2
25		MOV P1,A
26		MOV B,#100
27		MUL AB
28		MOV TEMP_H,B
29		MOV TEMP_L,A
30		LCALL VEZES5
31		MOV DEC_H,TEMP_H
32		MOV A,TEMP_L
33		MOV B,#100
34		MUL AB
35		MOV DEC_L,B
36		LCALL T_DEC
37		LCALL ENVIA

Linha	Rótulo	Instruções
55	T_DEC:	MOV R7,DEC_H
56		MOV DEC_H,#00
57	V3:	MOV A,DEC_H
58		ADD A,#01
59		DA A
60		MOV DEC_H,A
61		DJNZ R7,V3
62		
63		MOV R7,DEC_L
64		MOV DEC_L,#00
65	V4:	MOV A,DEC_L
66		ADD A,#01
67		DA A
68		MOV DEC_L,A
69		DJNZ R7,V4
70		RET
71		
72	ENVIA:	MOV A,DEC_H
73		ANL A,#0F0H
74		SWAP A
75		ORL A,#30H
76		LCALL SERIAL
77		
78		MOV A,DEC_H
79		ANL A,#0FH
80		ORL A,#30H
81		LCALL SERIAL
82		
83		MOV A,#2CH
84		LCALL SERIAL
85		
86		MOV A,DEC_L
87		ANL A,#0F0H
88		SWAP A
89		ORL A,#30H
90		LCALL SERIAL
91		

38		RETI
39		
40	VEZES5:	MOV A,TEMP_H
41		MOV B,#5
42		MUL AB
43		MOV TEMP_H,A
44		
45		MOV A,TEMP_L
46		MOV B,#5
47		MUL AB
48		
49		MOV TEMP_L,A
50		MOV A,B
51		ADD A,TEMP_H
52		MOV TEMP_H,A
53		RET
54		

92		MOV A,DEC_L
93		ANL A,#0FH
94		ORL A,#30H
95		LCALL SERIAL
96		
97		MOV A,#43H
98		LCALL SERIAL
99		
100		MOV A,#0DH
101		LCALL SERIAL
102		RET
103		
104	SERIAL:	MOV SBUF,A
105		JNB TI,\$
106		CLR TI
107		RET
108		END

Questão 7: Com auxílio de uma fonte externa de calor, provoque variações na Temperatura lida pelo LM35 e anote pelo menos 5 valores na Tabela a seguir. Use a expressão dada no início desta seção para o cálculo da Temperatura e anote o valor calculado na mesma Tabela. Calcule o erro entre os valores lido e medido.

Amostra	Temperatura Medida (°C)	Temperatura Calculada (°C)	$erro = \frac{Medido - Calculado}{Calculado} (\%)$
1			
2			
3			
4			
5			

Observações:

1. O conversor utilizado é de 8 bits e a referência de tensão usada é de 5 V. Nesse caso, o bit menos significativo do conversor corresponde a aproximadamente 20 mV:

$$LSB = \frac{5V}{255} = 19,6 mV$$

No entanto, cada variação de 1 °C no LM35 corresponde a 10 mV. Ou seja, há variação na saída do conversor AD a cada 2 °C. Portanto, idealmente, deveria ser utilizado um conversor com uma quantidade maior de bits, ou uma tensão de referência menor; digamos, referência de 1,5 V, que corresponderia a um LSB de:

$$LSB = \frac{1,5V}{255} = 5,88 mV$$

Esse valor de 5,88 mV seria mais adequado para a variação do LM 35.

2. Como o resultado da multiplicação dos fatores do numerador (5 x 100) é aproximadamente o dobro do denominador (500/255 \cong 1,96), a temperatura, neste caso em especial (usando fonte de 5 V), poderia ser calculada apenas pela multiplicação da leitura por 2, sem perda significativa de precisão.