

LM35: UM SENSOR DE TEMPERATURA DE PRECISÃO. PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UM TERMÔMETRO DIGITAL MULTICANAL

Mary Sanae Nakamura, Rosamaria Wu Chia Li e Jonas Gruber*

Universidade de São Paulo - Instituto de Química - CP 26077 - 05599-970 - São Paulo - SP

Recebido em 20/9/95; aceito em 29/2/96

LM 35: A PRECISION CENTIGRADE TEMPERATURE SENSOR. DESIGN AND CONSTRUCTION OF A MULTI-CHANNEL DIGITAL THERMOMETER. The design and construction of a multi-channel digital thermometer using LM35 precision centigrade temperature sensors are described. The thermometer is rated to operate over a -55 to $+150^{\circ}\text{C}$ temperature range providing accuracies of $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ between $+5$ and $+95^{\circ}\text{C}$, and $\pm 0.75^{\circ}\text{C}$ over full range.

Keywords: digital thermometer; temperature sensor; multi-channel thermometer.

1. INTRODUÇÃO

Termômetros digitais de estado sólido consistem basicamente de um sensor capaz de converter variações de temperatura em sinais elétricos proporcionais que, após processamento matemático adequado, são lidos por um voltímetro digital, indicando valores de tensão numericamente iguais à temperatura medida, na unidade desejada ($^{\circ}\text{C}$, $^{\circ}\text{F}$ ou K).

O componente eletrônico mais empregado nos últimos 30 anos para atuar como sensor de temperatura, especialmente na faixa entre -20 e $+150^{\circ}\text{C}$, é o diodo de silício. Este, quando polarizado no sentido de permitir a condução de corrente elétrica, apresenta uma queda de tensão entre seus terminais (ânodo e cátodo) da ordem de 600 a 700 mV, que depende de alguns fatores tais como a intensidade da corrente e a temperatura. Quando alimentado por uma fonte de corrente constante, essa tensão decresce com o aumento da temperatura numa razão de aproximadamente $2,2 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$. A figura 1 ilustra um circuito simples para a conversão de temperatura em tensão, empregando um diodo ou um transistor. Cabe ressaltar que somente o diodo base-emissor é utilizado no caso do transistor, isto é, o comportamento final é o mesmo observado para um diodo comum, sendo a geometria do encapsulamento a razão de escolha entre um ou outro.

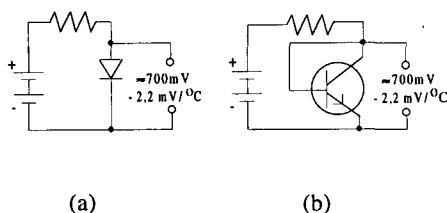


Figura 1. Conversores de temperatura para tensão, empregando diodo (a) e transistor (b).

O uso de diodos e transistores como sensores para temperatura apresenta algumas desvantagens, a saber:

1. A tensão de saída decrescente com o aumento da temperatura representa uma função inversa que necessita ser processada para que a leitura final apresentada ao operador seja diretamente proporcional à temperatura. Isto normalmente é

conseguido somando algebricamente uma tensão de referência constante e negativa ao sinal vindo do sensor, seguindo de inversão de polaridade. Para tal finalidade é comum o uso de um amplificador operacional como, por exemplo, o LM 741 ou equivalente.

2. O valor absoluto do sinal fornecido pelo sensor não corresponde ao valor numérico da temperatura (por exemplo em $^{\circ}\text{C}$). O ajuste destes valores implica na multiplicação do sinal por um fator constante, ou seja, no uso de um amplificador operacional que pode ser ou não o mesmo acima referido.
3. A cada substituição do sensor, mesmo tratando-se de um componente idêntico quanto à sua numeração e fabricante, há necessidade de se fazer uma nova calibração junto aos amplificadores operacionais, pois a tolerância de diodos e transistores introduz um erro na leitura da temperatura.

Com a finalidade de minimizar essas desvantagens, diversos fabricantes de componentes semicondutores introduziram no mercado circuitos integrados específicos para o sensoramento de temperatura como, por exemplo, AD590 (Analog Devices)¹ e LM35 (National Semiconductor)². No presente projeto optamos pelo emprego do LM35, cujas principais características descrevemos a seguir.

2. O CIRCUITO INTEGRADO LM 35

Trata-se de uma família de circuitos integrados destinados ao preciso sensoramento de temperatura e calibrados internamente para fornecerem tensões de saída diretamente proporcionais e numericamente semelhantes à temperatura na escala Celsius. Apresentam 3 terminais, sendo dois para a alimentação ($+V_s$ e terra) e um para a saída, cujo valor (V_{out}) é de $10 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$, linear em toda a faixa de operação. Assim, por exemplo, V_{out} é 250, 1000 e -500 mV a 25, 100 e -50°C , respectivamente. A acuidade é de $\pm 0,25^{\circ}\text{C}$ à temperatura ambiente e $\pm 0,75^{\circ}\text{C}$ sobre toda a faixa de -55°C a $+150^{\circ}\text{C}$.

A família dos LM35 engloba vários modelos (sete ao todo) que diferem fundamentalmente no tipo de encapsulamento e faixa de temperaturas de operação. A tabela 1 reúne estes dados para os dois modelos encontrados no mercado nacional.

A figura 2 apresenta os diagramas de conexão para os dois encapsulamentos (Fig. 2a e 2b), assim como duas configurações possíveis, uma para a faixa de temperaturas entre $+2^{\circ}\text{C}$ e $+150^{\circ}\text{C}$ (Fig. 2c) e outra para -55°C a $+150^{\circ}\text{C}$ (Fig. 2d). É importante salientar que a tensão de alimentação pode ser de qualquer valor entre 4 e 30 V, e que o valor de $+5 \text{ V}$ e -5 V representa a tensão de trabalho por nós escolhida.

email: jogruber@usp.br e wuchiali@usp.br

Tabela 1. Encapsulamento e faixa de operação de diferentes tipos de LM35.

Modelo	Encapsulamento	Faixa de operação (°C)
LM35	TO-46 (metálico)	-55 a +150
LM35D	TO-92 (plástico)	0 a +100

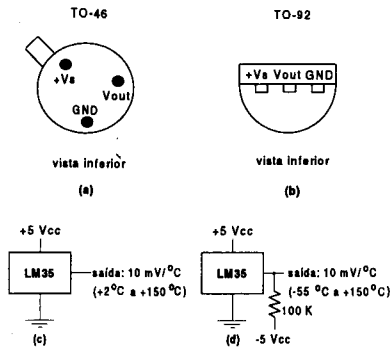


Figura 2. Pinagem do LM35 com encapsulamento metálico (a) e plástico (b). Configurações para duas faixas de temperaturas (c) e (d).

3. DESCRIÇÃO DO PROJETO DO TERMÔMETRO MULTICANAL

O esquema da figura 2d corresponde ao primeiro protótipo por nós testado, sendo que a saída do CI foi conectada diretamente a um multímetro digital comercial, na escala de 2,000 V. Neste caso, a temperatura em °C corresponde ao valor indicado pelo multímetro multiplicado por 10. Assim, por exemplo, uma leitura de 0,250 V equivale a 25,0 °C.

Entretanto, o baixo custo de conversores analógicos-digitais, tais como ICL7107 e ICL7106 da Intersil³, aliado a nossa experiência prévia com esse tipo de componente⁴, além do fato de desejarmos um termômetro multicanal nos levaram a deixar de usar um multímetro comercial e montar um voltímetro digital dedicado ao termômetro.

As figuras 3-5 apresentam os esquemas eletrônicos completos dos blocos que compõem o instrumento.

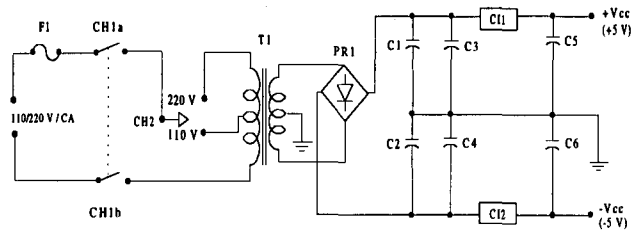


Figura 3. Esquema da fonte de alimentação.

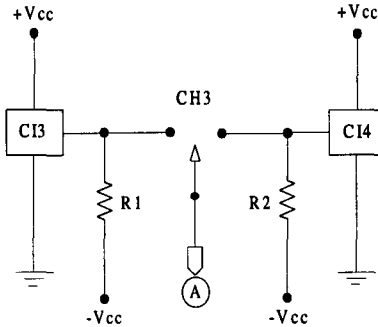


Figura 4. Circuito de comutação entre dois sensores.

O esquema da figura 3 corresponde à fonte de alimentação simétrica e estabilizada, cuja função é de converter a tensão da rede elétrica (110 ou 220 Vca) em +5 e -5 Vcc necessários para a operação dos circuitos integrados ICL7107 e LM35. Como elementos reguladores foram usados os CIs LM7805 e LM7905, sendo que o primeiro foi montado sobre um dissipador de calor com área aproximada de 6 cm².

A figura 4 representa o módulo dos dois sensores de temperatura (CI3 e CI4) e a chave seletora (CH3) que permite comutar entre um e outro. Cabe ressaltar que para os nossos propósitos dois sensores eram suficientes, entretanto, este número pode ser facilmente aumentado desde que se empregue uma chave seletora adequada, isto é, com o número de posições igual ao número de sensores. Assim, é possível com um único

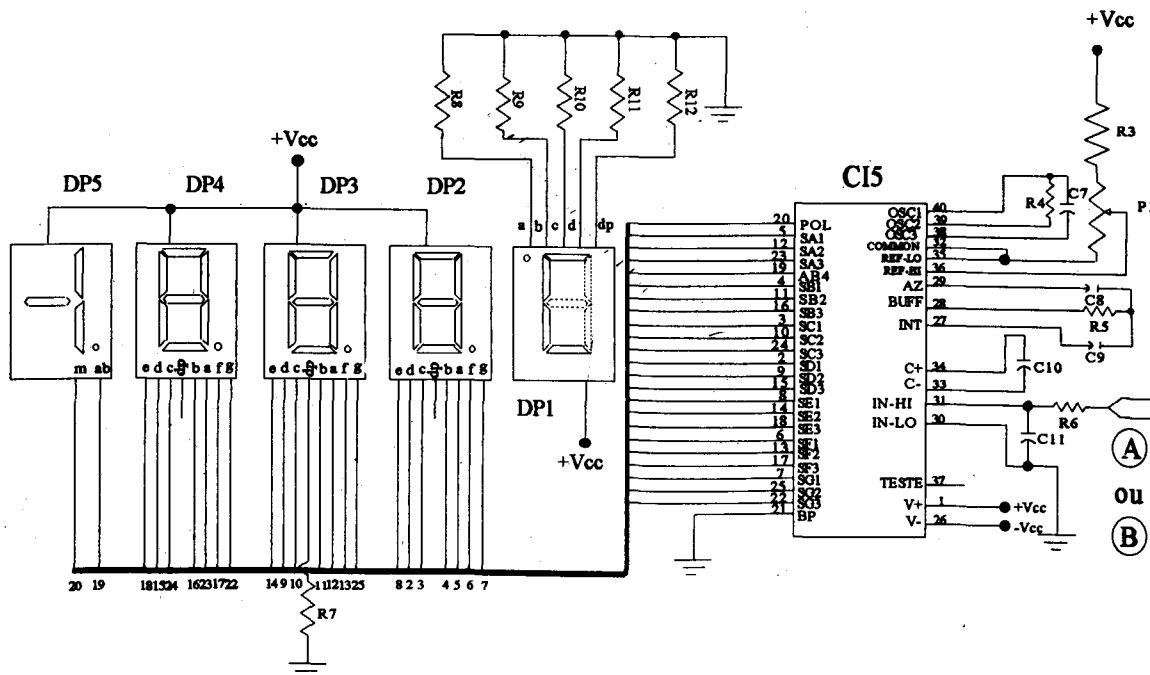


Figura 5. Esquema do voltímetro digital de 3 1/2 dígitos e fundo de escala de 1,999 V, correspondendo a 199,9 °C.

aparelho efetuar leituras de temperatura em diversos pontos de um equipamento ou instalação química.

O esquema da figura 5 corresponde ao voltímetro digital que emprega um conversor analógico digital ICL7107 com fundo de escala de $\pm 1,999$ Volts. Desse modo, é possível a leitura em toda a faixa de temperatura à qual o sensor responde, isto é de $-55,0$ °C a $+150,0$ °C ($0,550$ V a $+1,500$ V). O ponto decimal do dígito das dezenas (DP3) é constantemente energizado via resistor R7, uma vez que o sensor fornece uma tensão de 10 mV/°C.

O dígito DP1 foi montado no sentido contrário ao usual, à direita dos demais, e seus segmentos *a*, *b*, *c*, *d*, e ponto decimal, energizados continuamente via resistores R8 a R12, simulando a unidade de temperatura °C.

A constante de tempo do circuito RC formado por R4 e C7 determina o número de amostragens por segundo. Com os valores por nós utilizados obtêm-se aproximadamente 2 leituras por segundo. Diminuindo-se o valor do resistor R4, pode-se aumentar a frequência dessa amostragem.

O trimpot P1 permite o ajuste do valor da leitura nos dígitos para um valor numericamente igual ao de uma tensão aplicada na entrada do voltímetro. Esta calibração é feita uma única vez e de preferência com uma tensão próxima à do fundo de escala do conversor ($1,999$ V).

4. MONTAGEM E CALIBRAÇÃO

O circuito eletrônico foi montado sobre uma placa de circuito impresso padrão de 10×10 cm² e alojado num gabinete plástico de $15 \times 15 \times 7$ cm³, sendo que em seu painel frontal fixaram-se os dígitos (DP1 a DP5), por trás de uma placa de acrílico vermelho, além das chaves CH1 (liga-desliga) e CH3 (comutadora dos sensores). No painel traseiro foram fixados a chave CH2 (110 - 220 V), o porta-fusível e dois conectores DIN para permitir a conexão dos sensores.

Cada sensor foi colado a uma das extremidades de um tubo de vidro de diâmetro externo de 8 mm e 15 cm de comprimento, de modo que sua carcaça permanece exposta. Finalmente a extremidade aberta de cada tubo foi selada com borracha de silicone, ao redor do fio blindado de três vias utilizado para conectar cada sensor ao aparelho. A figura 6 representa um esquema do sensor.

A calibração do aparelho foi aplicando-se uma tensão de referência de $+1,800$ V nos terminais de entrada do voltímetro digital (Figura 5), e girando-se o parafuso do trimpot P1 até obter-se uma leitura de $180,0$ nos dígitos do mesmo.

5. TESTE DE DESEMPENHO

A fim de verificar o desempenho do instrumento, utilizou-se um sensor LM35 conectado diretamente a um multímetro digital Beckman modelo 3050, e alimentado por 4 pilhas AA em série (6 V), conforme figura 2c. Esse sensor foi mergulhado, juntamente com outros dois sensores conectados ao aparelho e ainda um termômetro convencional de mercúrio, num banho de óleo termostaticado. A temperatura do banho foi variada com incrementos de 5 °C entre 5 ° e 90 °C e as leituras apresentadas no voltímetro Beckman e no termômetro foram comparadas. O teste foi repetido diversas vezes, tanto para aquecimento como para resfriamento, sendo que o desvio máximo entre as leituras era de $\pm 0,3$ °C.

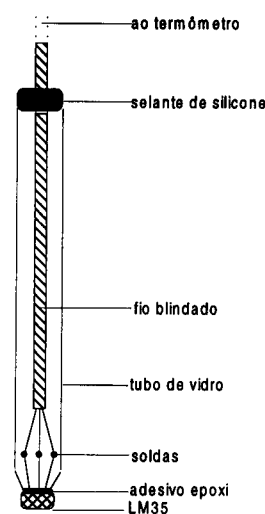


Figura 6. Montagem do sensor LM35.

6. LISTA DE COMPONENTES

Resistores (Ω , 1/3W, 5%):

R1=R2=R4=100k

R3=22k

R5=470k

R6=1M

R7-R12=470

P1=20k, trimpot, 15 voltas

Semicondutores:

C11=LM7805

C12=LM7905

C13=C14=LM35

C15=ICL7107

DP1-DP4=PD567

DP5=PD381PA

PR1=ponte retificadora 1,2A/50V

Capacitores:

C1=2200 μ F/16 V, eletrolítico

C2=1000 μ F/16 V, eletrolítico

C3=C4=1 μ F/35 V, tântalo

C5=C6=C10=0,1 μ F/160 V, poliéster

C7=100pF, cerâmica

C8=0,047 μ F/250 V, poliéster

C9=0,22 μ F/160 V, poliéster

C11=0,01 μ F/250 V, poliéster

Diversos:

T1=transformador 110/220 V, 9+9 V, 1A

F1=fusível 1 A

CH1=chave 2x2

CH2=CH3=chave 1x2

7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Simone Zaccarias pela leitura e correção do manuscrito, assim como, a Marco Antonio de Luca e Fábio Harada por suas valiosas sugestões.

8. REFERÊNCIAS

1. *Analog Devices Data-Acquisition Databook*; Analog Devices Inc.; 1984; vol. 1, p 8-15.
2. *National Semiconductor; Data Conversion/Aquisition Databook*; National Semiconductor Corporation; 1984; p 9-2.
3. *Intersil Application Datasheet; ICL7106/ICL7107*; Intersil Inc.; 1980.
4. Gruber, J.; Pardini, V. L.; Viertler, H.; *Quím. Nova* 1992, 15, 83.