

SENSOR DE TEMPERATURA COM O USO DO AMPLIFICADOR OPERACIONAL

(1) Dayse CORREIA; (2) Fabiola ANDRADE; (3)

Maria Auxiliadora BLUM; (4) Felipe MENDES; (5) Iara RAMOS

- (1) Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, e-mail: daysecorreia@gmail.com
- (2) Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Estado do Ceará, Rua Tiburcio Cavalcante 1445 apto 601, e-mail: fabfortal@yahoo.com.br
- (3) Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Estado do Ceará, e-mail: auxiblum@gmail.com
- (4) Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Estado do Ceará, e-mail: felipelaborda@hotmail.com
- (5) Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Estado do Ceará, e-mail: iararamosbrito@yahoo.com.br

RESUMO

Este trabalho apresenta uma aplicação de um dos componentes mais utilizados na eletrônica analógica, o amplificador operacional, o qual é utilizado em um circuito sensor de temperatura. Entre os componentes utilizados na montagem do circuito, está o LM35 (sensor de temperatura) e o LM3914 para a decodificação do sinal. Este projeto servirá como exemplo para que estudantes dos cursos tecnológicos dos Institutos Federais possam montar e compreender melhor o funcionamento do amplificador operacional.

Palavras-chave: Eletrônica, Sensor de Temperatura, Amplificador Operacional.

1 INTRODUÇÃO

Nos dias atuais, existem diversos tipos de sensores de temperatura, no qual se destacam os termistores NTC's e PTC's. Porém, nenhum destes é tão simples o manuseio e exige tão poucas estratégias eletrônicas para que funcione quanto o modelo LM35. No circuito completo, faz-se necessário apenas um LM35, um sistema amplificador de sinal e de uma *interface* que realize a leitura do sinal amplificado. O valor da temperatura medido pode ser mostrado diretamente em um visor ou *display*, como também ser utilizado para disparar algum elemento eletrônico como, por exemplo, um transistor.

Na elaboração do projeto utilizou-se o LM35 como sensor de temperatura. Esse atua de forma prática e objetiva. Esse enviará um sinal que será amplificado e logo depois comparado por um CI (Circuito Integrado) específico, o LM3914, que irá disparar suas saídas quando a temperatura desejada for atingida. No caso, será utilizada uma *interface* simples, e assim, não apresentará um valor de temperatura diretamente visível, mas sim apresentará LED's (Diodos Emissores de Luz) que irão apontar a faixa de temperatura atingida.

2 SENSOR DE TEMPERATURA

Sensor de temperatura é um circuito, o qual, com a alteração da temperatura o resultado final é alterado, ou seja, de acordo com a temperatura, pode-se acionar ou desligar uma outra parte

de um circuito. Outrossim, apenas medir a temperatura desejada. Um sensor de temperatura, bastante comum é um termômetro.

Existem alguns elementos que alteram suas propriedades em função da temperatura a que ficam expostas. Os mais conhecidos são os termistores NTC's e o PTC's. No nosso circuito será utilizado o LM 35, por ser de fácil utilização e manuseio.

3 AMPLIFICADOR OPERACIONAL, LM 35 E LM3914

Na implementação do circuito, os principais componentes utilizados foram: Amplificador Operacional, LM 35 e o LM 39 14. Uma breve análise do funcionamento destes componentes será apresentada.

3.1 Amplificador Operacional

O amplificador operacional é um sistema, o qual, possui duas entradas e uma saída. O valor na saída será a diferença dos sinais da entrada amplificada. Existem diversas aplicações que podem ser realizadas ao realimentar um amplificador operacional. No circuito que será apresentado o amplificador operacional é montado como um amplificador inversor como mostra a figura 1.

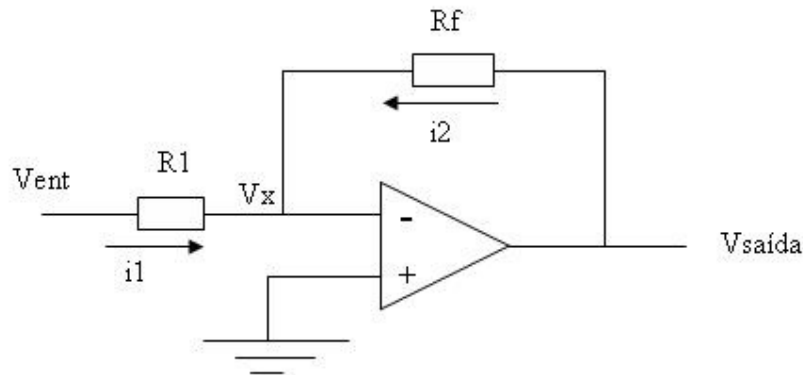


Figura 1- Amplificador Inversor

A saída será $-(R_f/R_1) V_{entrada}$, ou seja, a saída depende as resistências R_1 e R_f e da tensão de entrada.

3.2 Sensor LM 35

O LM35 é um sensor de precisão, fabricado pela *National Semiconductor*. A tensão de saída será linear e relativa à temperatura em que se encontra no momento em que for alimentado por uma tensão de 4-20Vdc e GND. O valor da tensão de saída será de 10mV para cada Grau Celsius de temperatura, sendo assim, apresenta uma boa vantagem com relação aos demais sensores de temperatura calibrados em Kelvin. Esse, não necessita de subtração de variáveis para obter uma escala de temperatura em graus Celsius. Outrossim, não necessita de calibração externa ou *trimming* para fornecer com exatidão, valores de temperatura com variações de $\frac{1}{4}^{\circ}\text{C}$ ou até mesmo $\frac{3}{4}^{\circ}\text{C}$ dentro da faixa de temperatura de -55°C à 150°C . Apresenta na saída baixa impedância, tensão linear e calibração inerente precisa, fazendo com que a *interface* para a leitura seja especificamente simples, desta forma o sistema apresenta um menor custo. A alimentação do sensor poderá ser simples ou simétrica, dependendo do que se deseja como sinal de saída. Porém, independentemente disso, a saída continuará sendo de $10\text{mV}/^{\circ}\text{C}$. Ele drena apenas $60\mu\text{A}$ para a alimentação, sendo assim, seu auto-aquecimento é de aproximadamente 0.1°C ao ar livre.

O encapsulamento mais comum do LM 35 é o TO-92. Portanto, possui aparência de um transistor. A relação custo benefício é bastante vantajosa. É o mais barato dos modelos com a mesma precisão. Existem vários encapsulamento deste sensor, para que possa ser útil a muitas aplicações.

O sensor LM35 pode ser facilmente utilizado, da mesma forma que qualquer outro sensor de temperatura. Colando-o sobre a superfície que se deseja medir a temperatura e sua temperatura estará em torno de 0.01°C abaixo da temperatura da superfície que se encontra fixado. Para isto, Pressupõe que a temperatura da superfície seja a mesma que a temperatura do ar que se encontra ao redor desde ambiente. Se a temperatura do ar fosse muito mais elevada ou mais baixa do que a temperatura da superfície, a temperatura real do LM35 estaria em uma temperatura intermediária entre a temperatura de superfície e a temperatura do ar. Essa regra se aplica especialmente para o encapsulamento plástico do tipo TO-92, o qual as ligações de cobre são o trajeto térmico principal para carregar o calor através do dispositivo, fazendo com que a temperatura fique mais próxima da temperatura do ar do que da superfície em que se encontra fixado. Para amenizar este problema, deve-se ter certeza de que a fiação conectada ao LM35 esteja presa juntamente à superfície de interesse, para que ambas as partes estejam praticamente sempre na mesma temperatura. A maneira mais fácil de fazer isto é fixar os fios e o próprio LM35 com um leve revestimento de cola epóxi à superfície de interesse, assim, o LM35 e seus condutores não estarão em contato com o ar e assim, a temperatura do ar não afetará na medição do componente.

Algumas aplicações para o LM35: termômetros para câmeras frias, chocadeiras, controles de temperatura de máquinas, aquisição de dados para pesquisas, proteção para dispositivos industriais (motores, inversores, fontes), entre outros.

3.2.1 Disposições Gerais do Sensor LM35

a) Resistência Térmica Junção-Ar

A Resistência térmica junção-ar é a medida da habilidade que um dispositivo tem em dissipar calor da superfície de interesse ao meio externo por todos os trajetos possíveis. Isto é relevante para encapsulamentos que não utilizem dissipadores acoplados externamente. No gráfico 1, podemos observar a relação entre a velocidade do ar com a resistência térmica

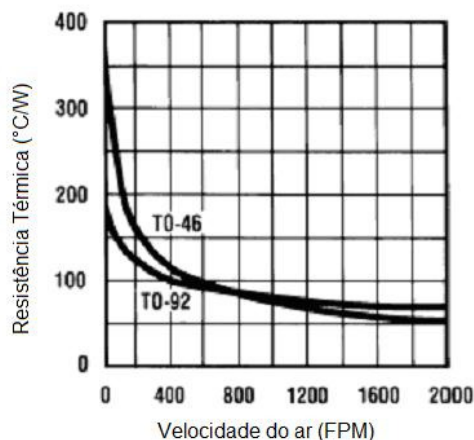


Gráfico 1- Relação velocidade do ar versus resistência térmica

b) Constante Térmica do Tempo

É o tempo necessário para que o integrado equilibre a temperatura em todo seu “corpo” e assim possa gerar uma resposta mais precisa de medida. No caso do encapsulamento TO-92, esse tempo é de aproximadamente 16 segundos. O gráfico da figura 2 mostra relação entre a velocidade do ar e a constante de tempo.

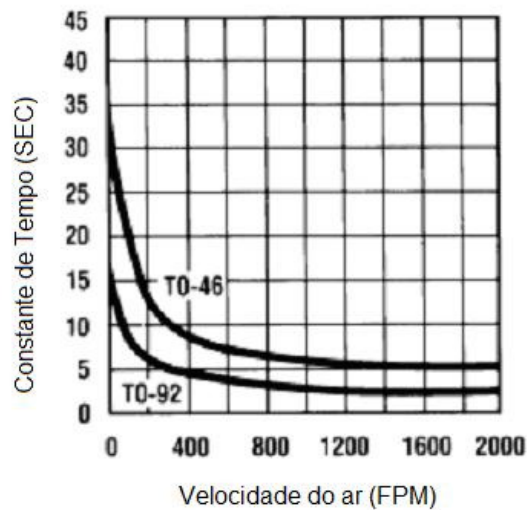


Figura 2. Relação entre a velocidade do ar e a constante de tempo

3.3 O circuito integrado LM 3914

O circuito integrado LM 3914 funciona como comparador e apresenta um drive-display. Internamente com dez Amplificadores Operacionais configurados como comparadores de tensão, como mostra a figura 3, e tem um range reconfigurável. Este CI monitora a escala de tensão analógica e controla a saída em função de LED's que integram um display analógico linear. Possui tensão de referência ajustável (entre 1.2V e 13V). Outrossim, pode ser ligado em cascata para um display analógico mais preciso (20 leds para monitorar 1V), apresenta baixa alimentação (3 V), o que, em alguns casos, pode ser alimentado com o próprio sinal a ser monitorado. Sua saída pode ser interfaceada com circuitos lógicos TTL ou CMOS.

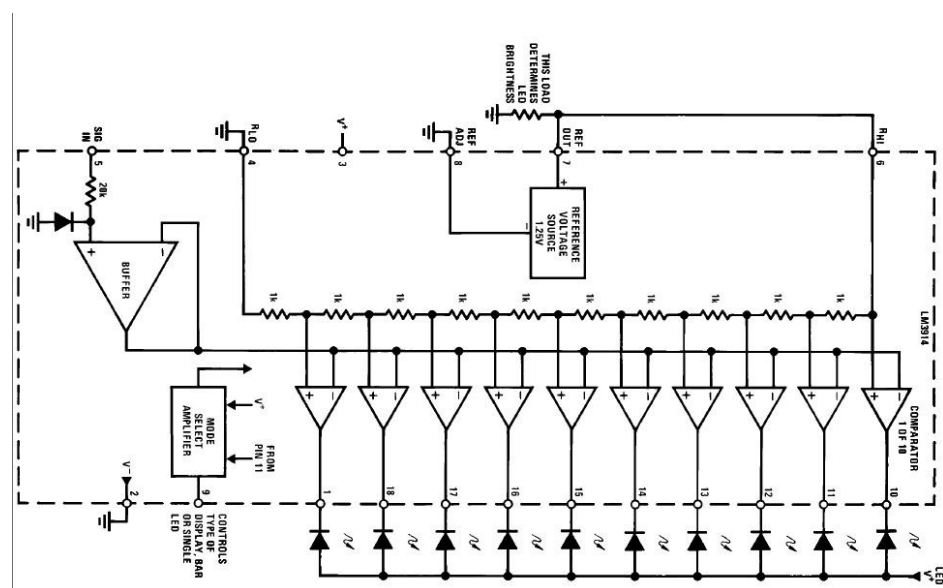


Figura 3. Circuito interno do LM3914

Para configurar a máxima tensão de monitoramento, deve ser aplicada a tensão desejada nos terminais, e então ajustar o potenciômetro de 10k até que todos o LED's se acendam. Para configurar a menor tensão, deve aplicar a tensão mínima nos terminais de entrada, e então ajustar o resistor do pino 4 para um valor até que o primeiro LED se acenda.

4 CIRCUITO SENSOR DE TEMPERATURA

O circuito sensor de temperatura consiste na aplicação do LM35. Esse é um sensor de temperatura e funciona de modo prático e objetivo. O LM35 envia um sinal que será amplificado pelo amplificador operacional. Posteriormente, será comparado por um CI (Circuito Integrado) específico, o LM3914, que dispara suas saídas quando a temperatura desejada for obtida. Uma *interface* simples foi utilizada para obter o valor da temperatura através de LED's (Diodos Emissores de Luz) que irão apontar a faixa de temperatura atingida.

Com o objetivo de testar o funcionamento do sensor LM35, foi implementado um projeto bem prático, que opera utilizando um CI *driver* de tensão LM3914, no qual recebe o sinal do sensor LM35 já amplificado pelo amplificador operacional $\mu A741$ e controla em suas saídas a ligação ordenada de LED's à medida que a tensão no pino de entrada do integrado for aumentando. Este habilita suas saídas uma de cada vez linearmente. Basicamente, podemos dizer que funciona como um termômetro sem escala numérica, com uma barra de LEDs indicando que a temperatura está subindo ou diminuindo.

O projeto foi implementado a partir de esquemas disponíveis nos próprios *datasheets* dos componentes utilizados, adaptando o circuito à nossa necessidade, obviamente com limitações, em função de tolerância de resistores, sinal de tensão com ruídos inerentes, ganho do operacional inexato e interferências de campo de atuação em geral. O circuito opera de maneira simples e compacta, basicamente constituído de um sensor emissor de sinal, neste caso o LM35, um amplificador operacional que eleva o sinal do sensor, neste caso o $\mu A741$ com ganho de 3X e um circuito decodificador deste sinal, o LM3914, que recebe o sinal amplificado e atua ligando os LED's a medida que a temperatura aumenta e desligando os mesmos conforme for diminuindo a temperatura. A figura 4 mostra o diagrama em bloco do circuito.



Figura 4. Diagrama em bloco do circuito

O sensor é alimentado com tensão +12Vcc e GND, tendo em sua saída 10mv/°C. A saída do sensor é ligada na entrada não inversora do amplificador operacional, que é alimentado por um sinal simétrico de +12V e -12V. Ressaltando, o ganho do operacional foi projetado para ser de 3X (resistência de realimentação de 3K Ω e resistência da entrada não-inversora do amplificador igual a 1K Ω), com sinal de entrada, conforme mostra a equação 01.

$$\frac{V - 0}{1K} = \frac{0 - V_s}{3K} \quad [\text{Eq.01}]$$
$$A = -3$$

V refere a tensão de referência da entrada do amplificador, Vs a tensão de saída e A, o ganho do amplificador operacional projetado.

O sinal de saída do amplificador é ligado à entrada do *driver* LM3914 (pino 5), que está alimentado com +12V e GND. Sua função é chavear suas saídas de acordo com o sinal de tensão recebido em sua entrada. Usando um LM3914, controla-se até 10 saídas que são o pino 1 e os pinos de 10 à 18. 10 LEDs foram ligados na saída. Estes são alimentados com 1,6V.

5 SIMULAÇÃO DO CIRCUITO NO PROTEUS

Antes de montar o circuito em um *protoboard*, deve simular em um *software* para simulação de circuitos, assim, verifica se o circuito pode ser montado na prática sem gastos desnecessários.

Na simulação foi utilizado o *software Proteus*, versão 7.4 *portable*, como mostra a figura 5.

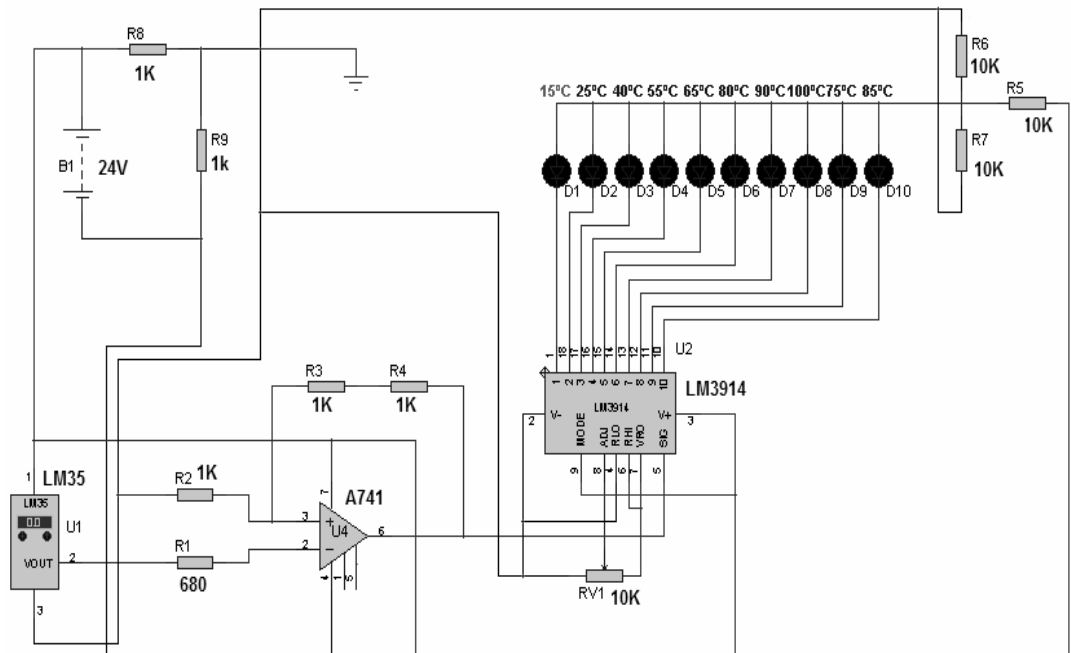


Figura 5. Circuito Sensor de Temperatura simulado no Proteus

Após simular no Proteus, deve-se montar o circuito no *protoboard*, como mostra a figura 6, desta forma, a teoria será comprovada e os conceitos se apresentarão de forma significativa na mente humana.

Na prática foi utilizado um *bargraph* de 10 LEDs, que consiste em um conjunto de LEDs encapsulados e necessitam de uma baixa corrente para uma boa luminosidade.

Na calibração do potenciômetro, o melhor resultado para a temperatura ambiente foi a resistência de 3,69KΩ entre os pinos 7 e 8. No LM3914 o potenciômetro apresentou uma resistência de 6,31KΩ entre os pinos 2 e 8. Com esse nivelamento, foi verificada as seguintes temperaturas para ativar o acendimento do bargraph. Nos LEDs de 1° ao 10°, a seguinte sequência: 15°C, 25°C, 40°C, 55°C, 65°C, 80°C, 90°C, 100°C e 120°C, respectivamente. Para alterar a temperatura e assim, constatar o funcionamento foi utilizado um secador de cabelo e um saco de gelo.

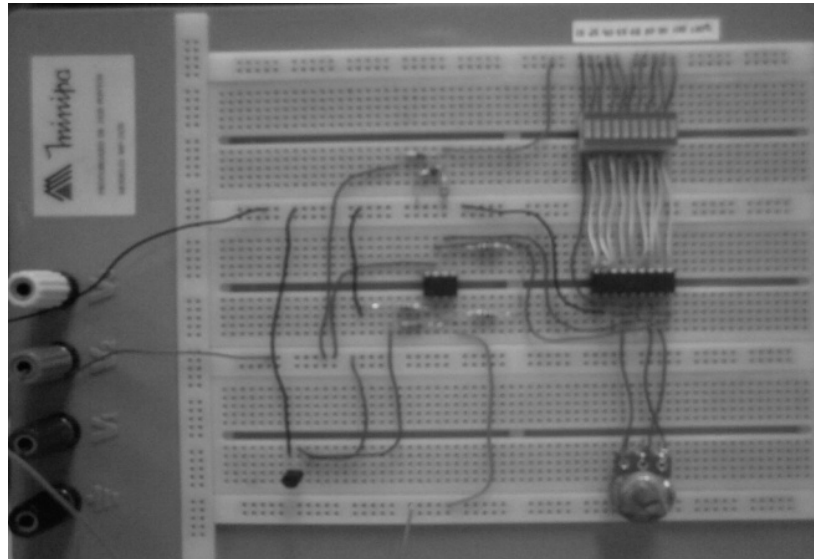


Figura 6. Montagem do circuito no *proto*board

Após a montagem do circuito, verificou-se que o mesmo apresenta medidas ótimas, bem próximas aos valores teóricos. Com o auxílio de um multímetro conectado na saída do LM35 (pino 2), os LED's acenderam e constatou que estava bem calibrado, ou seja, quando a saída do LM35 apresentava cerca de 250mV o segundo LED acendia (que era aproximadamente a temperatura ambiente). Aplicando o secador de cabelo para aumentar a temperatura em volta do sensor, a saída mostrou cerca de 400mV e o terceiro LED acendeu, e assim por sucessivamente de acordo com as temperaturas calculadas. Com a aplicação do gelo diretamente no componente LM35, todos os LED's apagaram, reforçando a confiabilidade do sensor e do circuito.

6 CONCLUSÃO

Este trabalho apresenta um sensor de temperatura com o uso do Amplificador Operacional. Antes da montagem do circuito, foi realizada a simulação no *software* Proteus. Desta forma, correções na montagem poderiam ser alterados com menor tempo.

Após a montagem, foi constatado através das medições que o sensor é realmente linear, proporcionando uma boa precisão de suas medidas ao medir a tensão nos pinos de saída do LM 35. Porém, o projeto perde um pouco de fidelidade ao medir a tensão de saída do amplificador operacional, pois seu ganho não é exato, podendo estas interferir nos valores finais de temperatura, o que não seria adequado caso queira realizar uma medida mais precisa.

Ao utilizar o LM 35, verificou-se que os resultados são excelentes. Esse pode ser utilizado em circuitos que exija precisão. A faixa de temperatura de funcionamento está entre -55°C à 150°C . Pode ser utilizados em equipamentos industriais secos.

REFERÊNCIAS

ABRANTES, Paulo (Org.) **Epistemologia e cognição**. Brasília: UNB, 1993. 226p.

- ALMEIDA, M. E. **Informática e formação de professores**. Brasília, 2000. (Série de Estudos Educação à Distância, 1)
- ANDREY, J. M. **Eletrônica básica: teoria e prática**. São Paulo: Rideel, 1999.
- BOYLESTAD, R. L. ; NASHELSKY, L. **Dispositivos eletrônicos e teoria de circuitos**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1998.
- CIPELLI, A. M. V. ; SANDRINI, W. J. **Teoria e desenvolvimento de projetos de circuitos eletrônicos**. 18.ed. São Paulo: Érica, 2001.
- CUTLER, P. **Teoria dos dispositivos de estado sólido**. São Paulo: McGraw-Hill, 1977.
- MORAES, M. C. **O paradigma educacional emergente**. Campinas: Papirus, 1997.
- MOREIRA, M. A.; MASINI, E. F. S. **Aprendizagem significativa**. São Paulo: Moraes, 1982.
- MIZUKAN, M. G. **Ensino: as abordagens do processo**. São Paulo: EPU, 1986.
- SALVADOR, C. C. et al. **Psicologia do ensino**. Porto Alegre: ArtMed, 2000