

14º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP - 2023

SISTEMA DE MEDIDAS DE TEMPERATURAS CRIOGÊNICAS APLICADAS A MEDIDAS DE DANOS DE RADIAÇÃO EM DISPOSITIVOS ELETRÔNICOS.

MARCOS PAULO MARTINIANO DA SILVA¹, DENNIS LOZANO TOUFEN², ANDRÉ DE OLIVEIRA GUERRERO³, MILTON BARREIRO JUNIOR⁴, ANTONIO ANGELO DE SOUZA TARTAGLIA⁵, WILLIAM NONATO DE OLIVEIRA⁶

¹ Graduando em Engenharia de Controle e Automação, Bolsista PIBIFSP, IFSP, Câmpus Guarulhos, martiniano.marcos@aluno.ifsp.edu.br.

² Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo - IFSP, Câmpus Guarulhos, dennis@ifsp.edu.br.

³ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo - IFSP, Câmpus Guarulhos, andre.guerrero@ifsp.edu.br.

⁴ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo - IFSP, Câmpus Guarulhos, barreiro@ifsp.edu.br.

⁵ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo - IFSP, Câmpus Guarulhos, angelot@ifsp.edu.br.

⁶ Mestrando em Engenharia Mecânica, IFSP, Câmpus São Paulo, w.nonato@aluno.ifsp.edu.br.

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 3.04.02.05-0 Sistemas Eletrônicos de Medidas e de Controle

RESUMO: Muitos dispositivos eletrônicos quando são expostos a uma grande quantidade de radiação ionizante, tem suas características alteradas. Os processadores ou os circuitos integrados são exemplos de componentes que têm seu funcionamento prejudicado. O principal ambiente exposto a essas radiações é o espaço, que além da radiação também está a uma temperatura extremamente baixa. O Lab. Aberto de Física Nuclear do Inst. De Física da USP possui o experimento SAFFIRA, onde é possível medir os efeitos da radiação ionizante incidente nesses dispositivos eletrônicos. Porém, para realizar uma medição mais precisa, é necessário um sistema de resfriamento, o qual inclui um sensor de temperatura. O objetivo desse projeto é desenvolver um dispositivo que seja capaz de medir temperaturas criogênicas por meio do sensor de temperatura PT-1000. O sensor é feito de platina de alta pureza, que, por sua vez, é um excelente material para estabelecer a relação de sua resistência elétrica com a temperatura com uma ótima precisão. O projeto concentra-se em um elemento sensor de dimensões reduzidas e na ausência de um sensor de referência, ou seja, utilizando apenas o PT-1000 como elemento único para efetuar a medição da temperatura durante os experimentos de irradiação dos dispositivos eletrônicos.

PALAVRAS-CHAVE: dispositivo; temperaturas criogênicas; sensor; medição; resistência elétrica.

CRYOGENIC TEMPERATURE MEASUREMENT SYSTEM APPLIED TO RADIATION DAMAGE ASSESSMENT IN ELECTRONIC DEVICES

ABSTRACT: Many electronic devices, when exposed to a significant amount of ionizing radiation, undergo changes in their characteristics. Processors and integrated circuits are examples of components whose functioning is impaired. The main environmental exposed to such radiation is space, which in addition to radiation is also at an extremely low temperature. The Open Lab of Nuclear Physics at the Institute of Physics of USP (University of São Paulo) hosts the SAFFIRA experiment, which enables the measurement of the effects of ionizing radiation incident on these electronic devices. However, for more precise measurements, a cooling system is necessary, which includes a temperature sensor. The objective of this project is to develop a device capable of measuring cryogenic temperatures using the PT-1000 temperature sensor. The sensor is made of high-purity platinum, which, in turn, is an excellent material for establishing the relationship between its electrical resistance and temperature with high precision. The project focuses on a compact sensor element and the absence of a reference sensor, meaning it utilizes only the PT-1000 as the sole element to carry out temperature measurements during the irradiation experiments of electronic devices.

KEYWORDS: device; cryogenic temperatures; sensor; measurements; electrical resistance.

INTRODUÇÃO

Com o início nos anos 70 diferentes empresas como a IBM e a Texas Instruments, começaram a realizar diversas pesquisas com o propósito de estudar o comportamento de circuitos eletrônicos expostos a radiação ionizante. Consequentemente influenciando em novas aplicações para esses dispositivos, entre elas a tecnologia aeroespacial e a de computadores sob trabalho ininterrupto (Heidel, 2008) e (Baumann, 2005).

Para obter uma medição precisa dos incidentes causados pela irradiação em componentes eletrônicos é necessário um sistema de resfriamento, que por sua vez precisa-se de um sensor. Este projeto busca desenvolver um dispositivo, cuja função é medir a temperatura através de um único elemento isento de um outro ponto como referência.

O sensor usado é o PT-1000, cuja as suas características são favoráveis ao propósito do projeto, pois, a base do dispositivo que foi desenvolvido diz respeito ao funcionamento de um Detetor de Temperatura por Resistência (RTD), ou seja, o PT-1000 é o elemento cuja sua resistência elétrica muda em relação a temperatura (Ist, 2023).

Para alcançar o objetivo dessa pesquisa, foi projetado um circuito que amplifica o sinal de tensão do PT-1000 associado em uma ponte de Wheatstone e também foi usado um microcontrolador Arduino para ler esse sinal e calcular a temperatura através de cálculos desenvolvidos através de regressão juntamente com os cálculos da própria análise do circuito. E todos os resultados obtidos serão discutidos e os resultados experimentais serão comparados com os teóricos.

MATERIAL E MÉTODOS

Materiais:

- Resistores e capacitores;
- Jumpers;
- Multímetro Digital GC-9205;
- Arduino Uno;
- Fonte chaveada +12V 5A;
- 1 Protoboard 830 furos;
- 1 Potenciômetro de 2k do tipo B;
- 2 CI's TL084CN

Como o princípio do funcionamento do sensor PT-1000 é a variação da resistência elétrica em função da temperatura, deve-se descobrir qual é a expressão da qual melhor representa está relação. Suas características são dadas na documentação feita pelo próprio fabricante do sensor, sendo estas: coeficiente de temperatura e a função desejada.

O coeficiente de temperatura do sensor é dado pelo valor da sua resistência em 0 °C e em 100 °C, e de acordo com a relação feita no documento, o coeficiente do sensor escolhido é de 3850 ppm/K, e a documentação fornece duas expressões distintas correspondentes a esse coeficiente (Ist, 2023):

$$R(T) = R_0(1 + AT + BT^2) \quad 0 \text{ }^{\circ}\text{C até } 850 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (1)$$

$$R(T) = R_0(1 + AT + BT^2 + C[T - 100]T^3) \quad -200 \text{ }^{\circ}\text{C até } 0 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (2)$$

em que,

R - resistência do sensor, ohms;

T - temperatura, °C;

R₀ - resistência do sensor em 0 °C, ou seja, 1000 ohms;

A - $3,9083 \times 10^{-3}$, °C⁻¹;

B - $-5,775 \times 10^{-7}$, °C⁻²;

C - $-4,183 \times 10^{-12}$, °C⁻⁴.

Foi escolhida a segunda função, pois, o foco do projeto é fazer um dispositivo que meça temperaturas criogênicas. No entanto, surge um desafio, uma vez que a expressão fornecida descreve a variação da resistência em relação à temperatura, visto que o dispositivo tem por objetivo medir a resistência do sensor. E outro problema é a equação ser do quarto grau, por não existir uma função inversa para funções além do primeiro.

Assim, para solucionar esse problema, foi criado um código em Python utilizando a biblioteca "numpy". Esse código usa os pontos fornecidos pela própria função, permitindo a descoberta de uma possível relação inversa (uma inversa com o foco nos valores de temperaturas abaixo de zero) por meio de uma regressão polinomial (Numpy, 2023).

A função dada pelo código está abaixo:

$$T(R) = -5,459 \times 10^{-9} \times R^3 + 2,476 \times 10^{-5} \times R^2 + 0,2228 \times R - 242,1 \quad (3)$$

em que,

T = temperatura, °C;

R = resistência do PT-1000, ohms.

A ponte de Wheatstone é um circuito que usa a Lei de Ohm e a lógica de associação de resistores para descobrir uma resistência desconhecida. Sendo representada por um circuito em forma de losango com três resistores conhecidos e um desconhecido, alimentado por uma fonte simples (Ekelof, 2001).

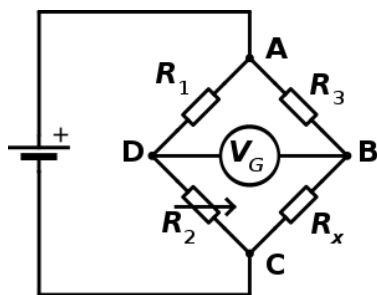


FIGURA 1. Representação do circuito da ponte de Wheatstone. Fonte: <https://en.wikipedia.org/wiki/File:Wheatstonebridge.svg>.

É usado a diferença de potencial entre os pontos D e B (V_G) para descobrir o valor de R_x , como é mostrado na figura anterior (figura 1). Após uma breve análise de circuito, é possível chegar na expressão abaixo:

$$V_G = V \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} - \frac{R_x}{R_3 + R_x} \right) \quad (4)$$

em que,

V_G - diferença de potencial entre os pontos D e B, volts;

V - fonte que alimenta o circuit, volts;

R_1 , R_2 e R_3 - resistores conhecidos, ohms;

R_x - resistor desconhecido, ohms;

O circuito foi usado para descobrir o valor da resistência do PT-1000. Durante os testes, utilizou-se um potenciômetro de 2000 ohms para simular o sensor.

Aplicou-se três amplificadores operacionais do CI TL084CN, para fazer um amplificador de instrumentação (Michalski, 2001). Seu objetivo é amplificar o sinal de tensão gerada pela ponte de Wheatstone, assim melhorando a precisão de leitura do microcontrolador Arduino.

Para o melhor funcionamento do amplificador de instrumentação feito, projetou-se uma fonte simétrica usando outro CI de amplificador operacional TL084CN, assim, em vez do amplificador de instrumentação ser alimentado por uma fonte simples de +12V, ele foi alimentado por +6V e -6V.

O circuito completo está na figura abaixo (figura 2):

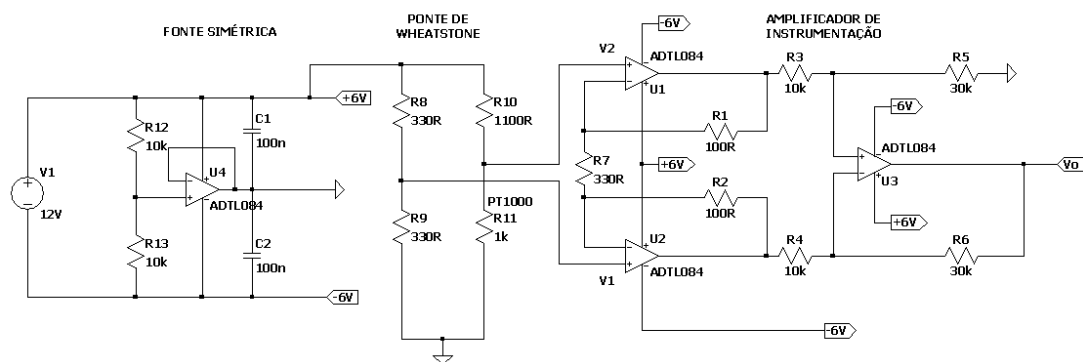


FIGURA 2. Circuito completo usado no projeto feito no simulador LTspice. Fonte: Própria.

Após fazer diversas medições e a análise do circuito, notou-se que a tensão gerada pela ponte é proporcional à tensão de saída do amplificador de instrumentação. Ou seja, pôde-se realizar uma simples razão entre as tensões para descobrir uma constante.

$$V_o = \frac{181}{36} \times (V_2 - V_1) \quad (5)$$

em que,

V_o - tensão de saída do circuito, volts;

V_1, V_2 - tensão gerada pela ponte de Wheatstone, volts.

A vantagem de usar essa expressão é não precisar fazer um cálculo extenso do amplificador de instrumentação considerando todas as perdas e tolerâncias dos valores de cada componente.

Considerando todas as informações dadas até o momento, foi feito um código no Arduino para medir a tensão gerada pelo circuito completo e mostrar no computador a tensão medida, a tensão da ponte, a resistência do sensor e a temperatura.

Até o momento houve apenas um experimento prático (11/04) com o PT-1000. Foi feito no laboratório de química localizado no IFSP campus Guarulhos, visando medir a resistência do sensor com um multímetro e medir a temperatura em que o PT-1000 está submetido com um termômetro de mercúrio. O sensor foi embrulhado em um saco plástico para ser mergulhado em uma banheira térmica com gelo, e com isso foi monitorado o valor da temperatura em relação à sua resistência.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os testes foram feitos com o potenciômetro no lugar do sensor. A tabela abaixo (Tabela 1) mostra os valores medidos com o multímetro e os valores medidos e calculados com o Arduino, de acordo com a variação da resistência do potenciômetro.

TABELA 1. Comparação entre os resultados obtidos pela medição do milímetro com os resultados medidos e calculados pelo microcontrolador Arduino.

Multímetro (M)			Arduino (A)		
V_o (Volts)	V_p (Volts)	PT-1000 (Ω)	V_o (Volts)	V_p (Volts)	PT-1000 (Ω)
0,03	0,00	134,00	0,05	0,01	149,11
0,59	0,11	223,00	0,60	0,12	237,19
1,15	0,22	322,00	1,17	0,23	334,54
1,60	0,31	406,00	1,61	0,32	415,19
2,10	0,41	517,00	2,12	0,42	516,95
2,61	0,51	620,00	2,62	0,52	625,30
2,96	0,59	705,00	2,97	0,59	707,08
3,40	0,67	814,00	3,42	0,68	820,44
3,77	0,75	916,00	3,78	0,76	915,31
4,12	0,82	1024,00	4,15	0,83	1020,95

V_o : sinal de tensão gerada pelo circuito completo;

V_p : sinal de tensão gerada apenas pela ponte de Wheatstone.

Foi feito um programa em python usando a Equação 2 que varia o valor da temperatura de -250 até 200 °C, com o objetivo de encontrar o resultado que mais se aproxima com a resistência medida pelo multímetro.

TABELA 2. Tabela de comparação entre os resultados medidos pelos dispositivos utilizando a Equação 3 com o programa feito em python utilizando a Equação 2.

Multímetro		Arduino		Python	
PT-1000(Ω)	Temp. (°C)(Eq.3)	PT-1000 (Ω)	Temp. (°C)(Eq.3)	PT-1000(Ω)(Eq.2)	Temp. (°C)
134,00	-211,813	149,11	-208,346	134,142	-211,750
223,00	-191,245	237,19	-187,934	223,429	-191,125
322,00	-167,973	334,54	-164,998	322,318	-167,875
406,00	-147,927	415,19	-145,718	406,079	-147,875
517,00	-121,049	516,95	-121,061	517,003	-121,000
620,00	-95,747	625,30	-94,437	620,273	-95,625
705,00	-74,633	707,08	-74,113	705,325	-74,500
814,00	-47,279	820,44	-45,654	814,474	-47,125
916,00	-21,436	915,31	-21,611	916,191	-21,375
1024,00	6,148	1020,95	5,367	1024,404	6,250

Segue abaixo um gráfico com os pontos do experimento prático sobre a curva da Equação 2 no intervalo de -5 até 100 °C:

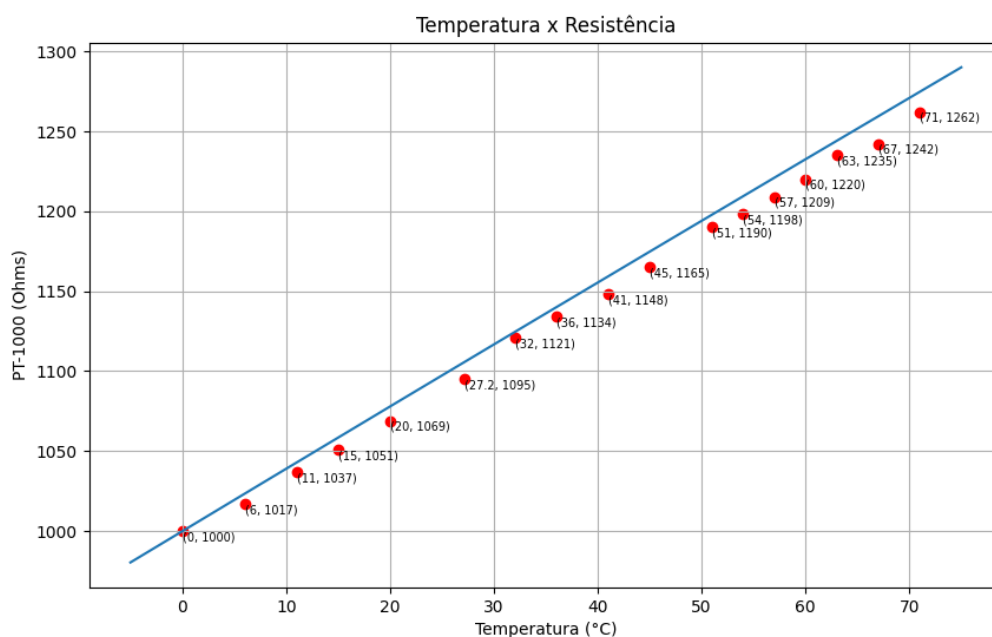


GRÁFICO 1. Gráfico da curva feita pela Equação 2 com os pontos obtidos no experimento do dia 11/04.

Os resultados foram bem próximos do esperado, mesmo com a tolerância dos componentes ainda foi possível chegar em bons resultados. Para futuras melhorias, seria trocado o microcontrolador por algum outro dispositivo que consiga medir com mais precisão os sinais de tensão gerado pelo circuito.

CONCLUSÕES

O objetivo inicial consistia em projetar um dispositivo que fosse capaz de medir temperaturas criogênicas. Durante as etapas de simulação em ambientes virtuais e os testes feitos com o uso do potenciômetro no lugar do sensor tiveram êxito em relação ao objetivo. Sendo capaz de medir uma faixa de temperatura que satisfaz as condições da pesquisa e com uma precisão média de ± 2 °C de temperatura.

CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

M.P.M.S e D.L.T contribuíram com a concepção, pesquisa, coleta e análise de dados, metodologia e redação do manuscrito original. M.B.J, A.G.O, A.A.S e W.N.O contribuíram com a Disponibilização de ferramentas e Metodologia.

Todos os autores contribuíram com a revisão do trabalho e aprovaram a versão submetida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a bolsa do PIBIFSP campus Guarulhos.

REFERÊNCIAS

BAUMANN, R.C. IEEE Transactions on Device and Materials Reliability, 5 (3), 305-316, 2005

EKELOF, Stig. The Genesis of the Wheatstone Bridge. Engineering Science and Education Journal, p(37-40), fevereiro, 2001.

HEIDEL, D. F., IBM J. Res. Develop. 52 (3), 3-18, 2008.

IST, Innovative Sensor Technology. Application Note RTD Platinum Sensor. Disponível em: https://www.ist-ag.com/sites/default/files/downloads/ATP_E.pdf. Acessado em: 14 de agosto de 2023.

MICHALSKI, L. Temperature Measurement. New York: ed. Wiley, 2 ed. 2001.

NUMPY. Biblioteca NumPy. Disponível em: <https://numpy.org/>. Acesso em: 14 de agosto de 2023.