

Regulação automatizada de temperatura interior

Espaço fechado com regulação de temperatura ambiente

José Sá
Eletrónica Aplicada
Instituto Superior de Engenharia do Porto
ISEP
Porto, Portugal
1180505@isep.ipp.pt

Rafaela Oliveira
Eletrónica Aplicada
Instituto Superior de Engenharia do Porto
ISEP
Porto, Portugal
1181630@isep.ipp.pt

Resumo

Este relatório tem como objetivo abordar a implementação de sensores para o controlo de temperatura, num espaço fechado de acordo com as preferências dos utilizadores. É recorrido então, para a medição das grandezas necessárias, a um sensor resistivo NTC (Negative Temperature Coefficient). São abordados neste relatório os circuitos utilizados para o estudo, os gráficos de função de transferência, a análise matemática e também as simulações inerentes ao sensor e as características do mesmo.

Palavras-chave: espaço fechado, temperatura, interior, regulação, NTC, circuitos.

Introdução

Passo a passo a sociedade vai procurando um maior conforto em suas casas para melhorar assim a qualidade de vida[1][2]. Com isto, cada vez mais pessoas procuram sistemas de climatização de interiores[1][2]. Para escolher estes sistemas de climatização é necessário ter em conta alguns parâmetros. Esses parâmetros são a eficiência energética e custos, pois atualmente no mercado encontramos sistemas com elevados custos e com grandes perdas energéticas[2], consequentemente, pouca eficiência. Tendo em conta a necessidade que a sociedade revela por estes sistemas, já que são indispensáveis, é necessário analisar o seu rendimento, de modo a tornar os sistemas de climatização mais eficientes e também otimizá-los a nível eletrónico de modo a minimizar os seus custos.

Além disso, presencia-se um aumento substancial de diferenças de temperaturas[3], e também se atingem temperaturas recordistas a nível global, provocando consequencialmente um aumento significativo da demanda deste tipo de sistemas, assim como da sua produção, o que leva posteriormente a uma maior evolução dos mesmos.

Estudos comprovaram que o calor pode ter diversos efeitos sobre o corpo humano, sendo que no ambiente de trabalho[4] e a produtividade dos funcionários pode ser influenciada por esta distração[5], nomeadamente nos meses de grandes temperaturas em que é difícil lidar com o calor[6]. Além disso, o mesmo se verifica com baixas temperaturas em que se verifica um declínio de produtividade[4], consequentemente a aquisição deste tipo de sistemas é fulcral para garantir que os funcionários se sintam confortáveis e mantenham bons índices de produtividade.

Tendo então em conta estes fatores e dado que este trabalho é puramente académico, o sensor escolhido pretende avaliar a grandeza física temperatura, grandeza que é facilmente influenciada por diversos motivos, daí serem sensores bastante abundantes e com uns preços bastante baixos em comparação com outros sensores resistivos.

I. ESCOLHA DE SENSOR E SINAL ANALÓGICO

Para a elaboração do projeto, o sensor escolhido é um sensor resistivo, ou seja, com uma resistência variável consoante a grandeza em estudo, que neste caso é a temperatura. Tendo em conta que a temperatura é uma grandeza que influencia muitos parâmetros, estes sensores têm grande variedade de aplicações[7], daí serem os mais produzidos pela indústria.

Os NTC têm um coeficiente de temperatura negativo, ou seja, o aumento de temperatura irá provocar uma diminuição da sua resistência[8]. Já os PTC (Positive Temperature Coefficient Read) têm um comportamento antagónico aos NTC, ou seja, tem um coeficiente de temperatura positivo e o aumento da temperatura provoca um aumento na resistência[8]. Apesar de todos os sensores que foram propostos variarem a sua resistência em função da temperatura nem todos o fazem da mesma forma. Os NTC e PTC apresentam uma resposta exponencial negativa e positiva, respetivamente[9]. Além dos NTC e dos PTC, existem também outros sensores de temperatura, os RTD (Resistance Temperature Detector)[8]. Os RTD possuem uma gama de temperatura entre os 50°C e os 500°C que são ideais para

aplicações industriais e aplicações que requerem uma maior gama de amplitude térmica. Estes sensores apresentam um coeficiente de temperatura positiva, ou seja, o aumento da temperatura provoca um aumento da sua resistência elétrica. A resistência dos RTD, depende dos coeficientes de temperatura, que por sua vez, dependem do material utilizado na sua construção e do tipo de condutor intrínseco do sensor. No caso dos NTC, o aumento da temperatura, irá provocar um aumento dos portadores de carga elétrica no semiconductor e consequentemente uma diminuição da sua resistência. A relação entre a temperatura e a resistência depende das impurezas que estão presentes no material semiconductor, ou seja, quanto maior a quantidade de impurezas no semiconductor, maior será a probabilidade do sensor se aproximar bastante das propriedades de um metal, transformando-se num PTC. Com isto, podemos concluir, que é bastante importante ter em atenção as impurezas presentes no material e o tipo de material escolhido.

A. Ponte de wheatstone

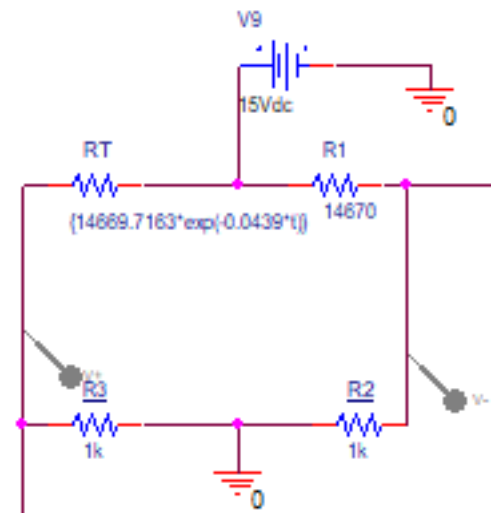


Figura 2. Circuito da Ponte de wheatstone

Uma das principais características da ponte de wheatstone é que permite que sejam efetuadas medições extremamente precisas[10], em contraste com circuitos que tenham apenas um divisor de tensão.

Para serem determinados os valores da resistência do circuito, primeiramente foi necessário calcular os valores da resistência do sensor, pelos quais este varia. Através da datasheet do fabricante foram encontrados os valores vistos na primeira coluna da tabela da figura 3.

Utilizando os valores das resistências e de temperatura que se encontram na Figura 3, foi traçado o gráfico de regressão exponencial, figura 4, que irá permitir relacionar as duas grandezas, a temperatura em função da resistência. Além disso, também foi determinado o erro entre o valor real e o calculado e como este é sempre menor que 4%, conclui-se que teve uma boa aproximação.

Temperatura	Resistencia	Resistencia pela formula	Diferencia entre resistencias	Erro
0	15 300	14669,7163	630	4%
5	11 909	11778,61092	130	1%
10	9340	9457,284141	117	1%
15	7378	7593,444074	215	3%
20	5869	6096,929313	228	4%
25	4700	4895,347446	195	4%
30	3788	3930,573143	143	4%
35	3071	3155,936408	85	3%
40	2505	2533,964958	29	1%
45	2055	2034,571544	20	1%
50	1694	1633,598505	60	4%

Figura 3. Valores das resistências em função da temperatura

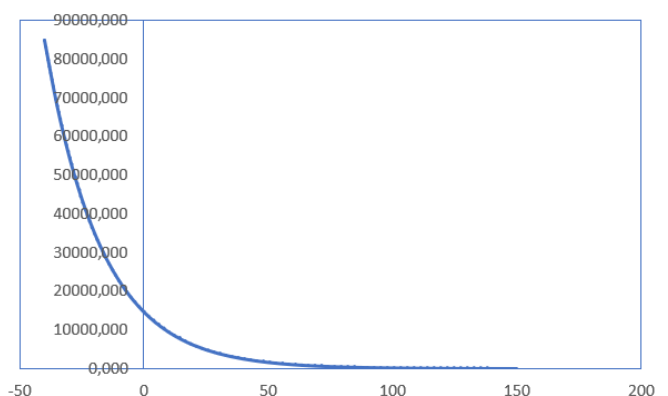


Figura 4. Função característica do sensor

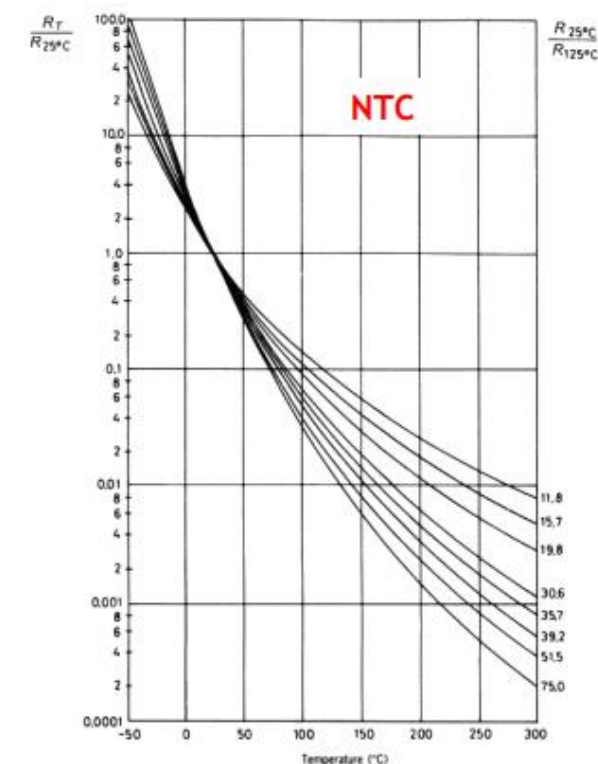


Figura 1. Curva de resistência-temperatura para NTC [8]

II. PRÉ-CONDICIONAMENTO DE SINAL

Para a medição da temperatura com o sensor, foi necessário implementar no circuito uma Ponte de Wheatstone para gerar uma tensão diferencial em série com um amplificador de instrumentação. Na Ponte de Wheatstone, deveremos encontrar uma tensão de aproximadamente 1,587 V a temperatura ambiente. Já na saída do amplificador de instrumentação é 1,675V, o que se traduz num ganho 1,0553 V/V. O amplificador de instrumentação utiliza um TL084, já que são usados 3 AmpOps para a implementação do amplificador de instrumentação. Neste projeto, foi utilizado um sensor com um alcance entre 0°C e 50°C.

Através deste processo foi obtida a seguinte expressão:

$$F(x) = 14669,7163e^{(-0,0439 \cdot t)}$$

Assim,

$$T_{min} = 0^\circ\text{C} \rightarrow R_T = 14669,7163e^{(-0,0439 \cdot 50)} = 14669,7 \, \Omega$$

$$T_{max} = 50^\circ\text{C} \rightarrow R_T = 14669,7163e^{(-0,0439 \cdot 50)} = 1633,6 \, \Omega$$

A saída tem de $\in [0,5]$ logo, para encontrar os valores das resistências resolveu-se o seguinte:

$$\begin{cases} 5 = \left(\frac{R_3}{1633,6 + R_3} - \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \cdot 15 \\ 0 = \left(\frac{R_3}{14669,7 + R_3} - \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \cdot 15 \end{cases}$$

Uma vez que existem apenas 2 equações e 3 incógnitas atribui-se a uma das variáveis um valor. Sendo assim, considerando $R_3 = 1k$ pode-se afirmar que:

$$\begin{cases} 5 = \left(\frac{1k}{1.6336k + 1k} - \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \cdot 15 \\ 0 = \left(\frac{1k}{14.6697 + 1k} - \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \cdot 15 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} 10,69563 = \left(\frac{15R_2}{R_1 + R_2} \right) \\ 0,95726 = \left(\frac{15R_2}{R_1 + R_2} \right) \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} R_1 = 0,402442R_2 \\ R_1 = 14,6697R_2 \end{cases}$$

Considerando $R_2 = 1k$ obtém-se:

$$\begin{cases} R_1 = 402,442 \, \Omega \\ R_1 = 14,6697k \, \Omega \end{cases}$$

Uma vez que se pode optar por escolher em garantir os 5v ou os 0v, verifica-se que é mais vantajoso garantir os 0v e para isso $R_1 = 14,669k$.

Devido aos valores das resistências decidiu-se arredondar os seus valores invés de se usar uma resistência variável, assim os valores passam a ser os seguintes.

$$T_{min} = 0^\circ\text{C} \rightarrow R_T = 146670 \, \Omega \rightarrow V_{o1} = 0 \, \text{V}$$

$$T_{max} = 50^\circ\text{C} \rightarrow R_T = 1630 \, \Omega \rightarrow V_{o1} = 4,74612 \, \text{V}$$

Foi possível verificar o circuito da ponte de wheatstone e medindo a sua tensão diferencial, foi obtido o seguinte gráfico. Inicialmente a figura estava espelhada no eixo dos x e de forma a facilitar o trabalho foram trocados os ramos do sensor pelo que, o gráfico ficou o seguinte:

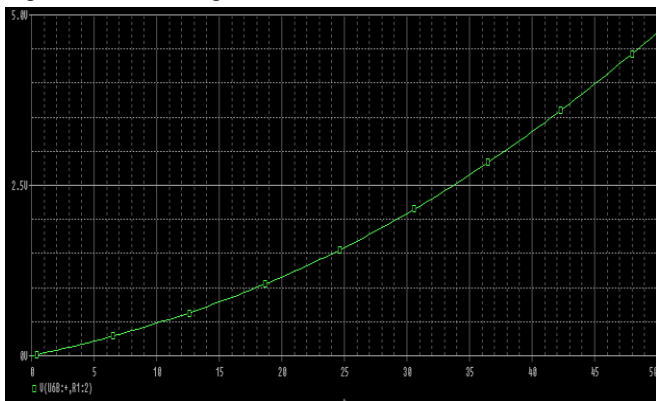


Figura 5. Gráfico $V_{o1}=f(t)$

Dado que o gráfico é o esperado, foram em seguida realizados os cálculos para o amplificador de instrumentação.

B. Amplificador de instrumentação

Visto que a tensão que é necessária obter é 5V e apenas temos um valor muito próximo do mesmo, teve de ser calculado um ganho para que a tensão á saída do amplificador fosse a requerida.

Sendo $R = 1K \, \Omega$

$$V_{o2} = \left(1 + \frac{1+1}{R_{gain}} \right) \cdot V_{o1}$$

Já que se pretendem ter 5v á saída do amplificador, teve de ser calculado o valor de R_{gain} :

$$5 = \left(1 + \frac{2}{R_{gain}} \right) \cdot 4,74612$$

$$R_{gain} = 37.3883k \, \Omega$$

Apesar do valor resultante ser este verifica-se que com a resistência 36.2k obtém-se um valor muito mais próximo de 5v, isto pois como a resistência de 1633,6 foi arredonda para 1630. Esta diferença de valores provocou uma ligeira diferença no resultado esperado. Se for usado o valor original no cálculo do valor máximo obtém-se:

$$T_{max} = 50^\circ\text{C} \rightarrow R_T = 1633,6 \, \Omega \rightarrow V_{o1} = 4,73832 \, \text{V}$$

$$5 = \left(1 + \frac{2}{R_{gain}} \right) \cdot 4,73832$$

$$R_{gain} = 36.2k \, \Omega$$

Deste modo a saída do amplificador em função da saída da ponte passa a ser:

$$V_{o2} = \left(1 + \frac{2}{36,2} \right) V_{o1} = 1.05525 \cdot V_{o1}$$

$$T_{min} = 0^\circ\text{C} \rightarrow V_{o2} = 0 \, \text{V}$$

$$T_{max} = 50^\circ\text{C} \rightarrow V_{o2} = 5 \, \text{V}$$

Como foi referido anteriormente, esta configuração do amplificador utiliza 3 AmpOps e visto que o TL082 apenas possui 2 decidiu-se utilizar o TL084 sendo que este já possui 4.

Equação de transferência:

$$M = \left(\frac{5-0}{50-0} \right) = 0.1t$$

Uma vez que a reta interseta o 0 obtemos: $V_{o2} = 0.1t$

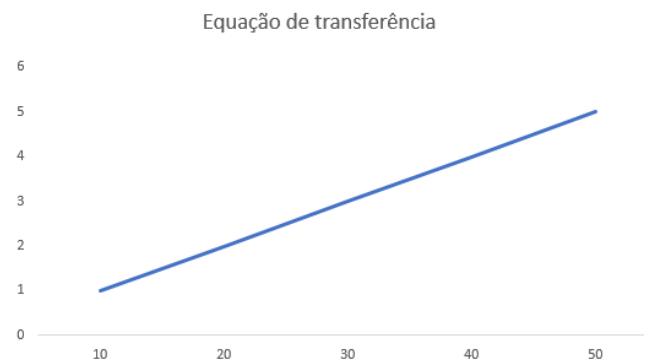


Figura 6. Gráfico $V_{o2}=0.1t$

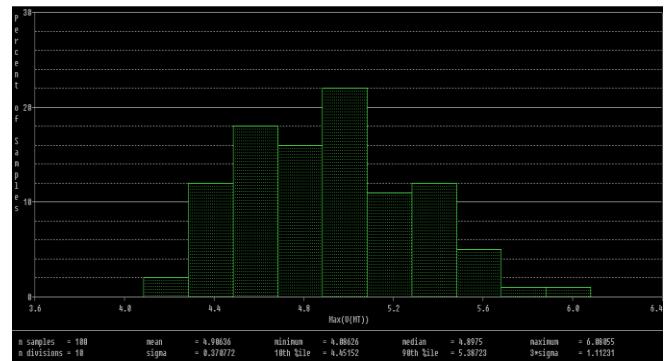
C. Circuito idealizado

Simulando então agora os 2 circuitos obtêm-se 2 retas, como se pode ver na Figura 9. Pelo que se pode verificar na figura, assim como calculado, a saída da ponte irá ser amplificada até aos 5V.



Além disso, os fios de saída da ponte (que vão dar entrada no AI) deverão ser entrelaçados, uma vez que no caso de haverem ruídos, que induzem de correntes, pelo facto de os fios estarem entrelaçados, o ruído ficará presente nos 2 cabos, e assim não influenciarem a diferença de potencial.[11]

Ao ver o gráfico é possível observar uma distribuição normal e valores próximos dos 5V, como era esperado[12].



III. CONCLUSÕES

Em suma, o pré-condicionamento de sinal tem grande importância na implementação de um circuito, nomeadamente nos circuitos de medição de grandezas como sensores, pois é crucial para a diminuição de ruídos presentes nas ondas de entrada e saída. Além disso, o pré-condicionamento do sinal, irá também aumentar a fidelidade da medição das grandezas físicas pelo sensor, a ponte Wheatstone irá gerar uma tensão que não conterá ruídos pelo Amplificador de instrumentação, para posteriormente ser lida pelo leitor ADC, com o mínimo de erros possíveis, obtendo valores mais próximos dos cálculos teóricos e resultados pretendidos.

Unidades:

- V – Volt (Tensão)
- A – Ampère (Corrente Elétrica)
- Ω - Ohm (Resistência Elétrica)
- °C – Graus Celsius (Temperatura)

Abreviaturas e Acrónimos:

V_{o1} – Tensão diferencial de saída da ponte de wheatstone;

V_{o2} – Tensão de saída do amplificador instrumental;

NTC – Negative Temperature Coefficient;

PTC – Positive Temperature Coefficient;

RTD – Resistance Temperature Detector;

T_{min} – Temperatura mínima;

T_{max} – Temperatura máxima;

$R_1, R_2, R_3, R_T, R_{gain}$ – Resistências;

t – Temperatura;

M – Declive;

AmpOps – Amplificadores operacionais;

REFERÊNCIAS

- [1] «richard-branson-just-launched-a-3-million-prize-for-a-better-air-conditioner». Disponível em: <https://www.fastcompany.com/90265473/richard-branson-just-launched-a-3-million-prize-for-a-better-air-conditioner>.
- [2] «air-conditioning-is-the-world-s-next-big-threat». Disponível em: <https://www.bloomberg.com/opinion/articles/2019-06-28/air-conditioning-is-the-world-s-next-big-threat>.
- [3] «evidence». Disponível em: <https://climate.nasa.gov/evidence/>.
- [4] «1979-20539-001». Disponível em: <https://psycnet.apa.org/record/1979-20539-001>.
- [5] «niemalaetal2002callcenterproductivity.pdf». Disponível em: <http://www.regionalclimateperspectives.com/uploads/4/4/2/5/44250401/niemalaetal2002callcenterproductivity.pdf>.
- [6] «qt45g4n3rv.pdf». Disponível em: <https://escholarship.org/content/qt45g4n3rv/qt45g4n3rv.pdf>.
- [7] «6740182». Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6740182>.
- [8] «01_EN_sensors_type.pdf». Disponível em: https://moodle.isep.ipp.pt/pluginfile.php/317192/mod_resource/content/1/01_EN_sensors_type.pdf.
- [9] «rtds-ptcs-and-ntcs-how-to-effectively-decipher-this-alphabet-soup-of-temperature-sensors». Disponível em: <https://www.digikey.com/en/articles/techzone/2011/sep/rtds-ptcs-and-ntcs-how-to-effectively-decipher-this-alphabet-soup-of-temperature-sensors>.
- [10] «Wheatstone_bridge». Disponível em: https://en.wikipedia.org/wiki/Wheatstone_bridge.
- [11] «02_EN_ponte_AI.pdf». Disponível em: https://moodle.isep.ipp.pt/pluginfile.php/319279/mod_resource/content/1/02_EN_ponte_AI.pdf.
- [12] «monte-carlo-sampling-for-probability». Disponível em: <https://machinelearningmastery.com/monte-carlo-sampling-for-probability/>.