

# Instrumentação industrial

## – termopar e termistores

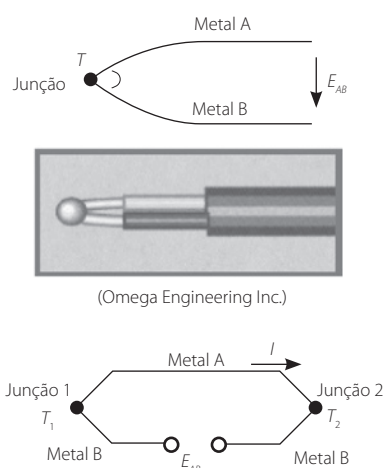
De entre todas as grandezas físicas, a temperatura é provavelmente aquela que é medida com mais frequência. Na indústria o controlo de temperatura é essencial para que as reações químicas, as soldaduras, a destilação fracionada, a secagem de materiais, e outros se efetuem de forma possível, segura e correta. Citam-se como exemplo de atividades onde é essencial a medição da temperatura: as indústrias químicas, siderúrgias, de plásticos e de papel, os sistemas de aquecimento e condicionamento de ar, as indústrias alimentar, farmacêutica e automóvel, a aviação, a meteorologia e a medicina.

### TERMOPAR

O termopar (TC - *thermocouple*) foi descoberto por Seebeck em 1821, e consiste na combinação dos efeitos de Peltier (1834) e Thomson (1851). Da descoberta dos efeitos termoelétricos partiu-se, por meio da aplicação dos princípios da termodinâmica, à enumeração das três leis que constituem a base da teoria termoelétrica nas medições de temperatura com termopares. Portanto fundamentados nesses efeitos e nessas leis, podemos compreender todos os fenómenos que ocorrem na medida de temperatura com esses sensores.

### EFEITO SEEBECK

Num circuito formado por dois metais diferentes cujas junções (de medida e de referência) se encontram a diferentes



**Figura 1.** Representação do efeito Seebeck num termopar de junção simples e de junção dupla.

temperaturas,  $T_1$  e  $T_2$ , circula uma corrente elétrica  $I$ . Portanto, nos terminais de um termopar (junção fria ou de referência) gera-se uma f.e.m.,  $E_{AB}$ , proporcional à diferença de temperatura entre junções (Figura 1).

### EFEITO PELTIER

Sempre que uma junção de dois metais diferentes é percorrida por uma corrente elétrica, desenvolve-se nesta uma quantidade de calor proporcional à corrente que a atravessa (Figura 2):

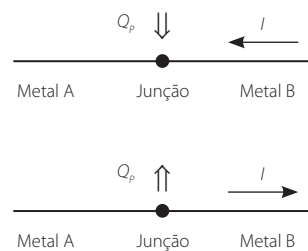
$$Q_p = \pi_{AB} \times I$$

em que:

$I$  – intensidade da corrente elétrica que atravessa a junção;

$Q_p$  – quantidade de calor libertada ou absorvida na junção pela corrente  $I$ , devido ao efeito de Peltier;

$\pi_{AB}$  – coeficiente de Peltier.



**Figura 2.** Representação do efeito Peltier

Note-se que dependendo do sentido da corrente elétrica poderá haver libertação ou absorção de calor na junção dos metais.

### EFEITO THOMSON

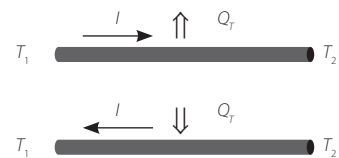
Sempre que um material condutor homogêneo sujeito a uma diferença de temperatura  $T_1 - T_2$ , é atravessado por uma corrente elétrica  $I$ , desenvolve-se uma quantidade de calor dada por:

$$Q_T = \sigma \times (T_1 - T_2)$$

em que:

$\sigma$  – coeficiente de Thompson.

Note-se que dependendo do sentido da corrente elétrica poderá haver libertação ou absorção de calor (Figura 3).



**Figura 3.** Representação do efeito Thomson

### LEI DO CIRCUITO HOMOGÊNIO

A f.e.m. gerada por um TC depende única e exclusivamente da composição química dos metais utilizados e das temperaturas nas suas junções. Esta lei na prática é de bastante importância porque é devido a ela que é possível instalar despreocupadamente o caminho dos cabos dos termopares, sem ter que atender às temperaturas de percurso.

### LEI DOS METAIS INTERMÉDIOS

A soma algébrica das f.e.m. num circuito composto por um número qualquer de metais diferentes é zero, se todo o circuito estiver à mesma temperatura.

Deduz-se que num circuito termoelétrico, composto de dois metais diferentes, a f.e.m. produzida não será alterada ao inserirmos, em qualquer ponto do circuito, um metal genérico C, desde que as novas junções  $T_3$  ou  $T_2$  sejam mantidas a temperaturas iguais (Figura 4).

Um exemplo de aplicação prática desta lei é a utilização de contactos de latão ou cobre, para interligação do termopar ao cabo de extensão no cabeçote.

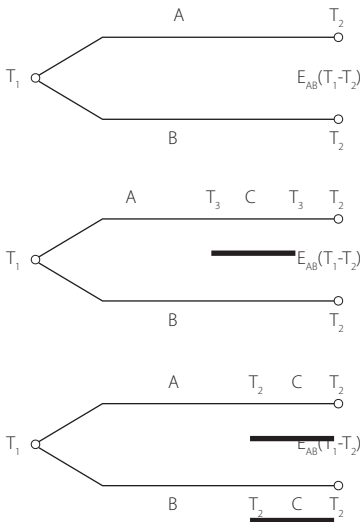


Figura 4. Lei dos metais intermediários.

### LEI DAS TEMPERATURAS SUCESSIVAS

A f.e.m. gerada por um TC com as suas junções às temperaturas  $T_1$  e  $T_3$  respetivamente, é igual à soma algébrica da f.e.m. deste TC, com as junções às temperaturas  $T_1$  e  $T_2$  e da f.e.m. do mesmo TC com as junções às temperaturas  $T_2$  e  $T_3$  (Figura 5).

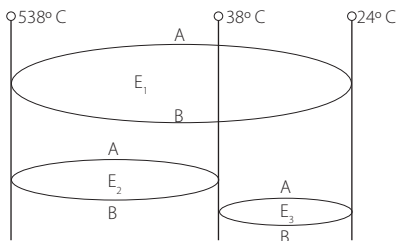


Figura 5. lei das temperaturas intermediárias.

Exemplo:

$$T_1 = 24^\circ \text{C}; T_2 = 38^\circ \text{C}; T_3 = 538^\circ \text{C}$$

$$(T_3 > T_2 > T_1)$$

$$E_{1,3} (538 - 24) = E_{2,3} (538 - 38) + E_{1,2} (38 - 24)$$

Um exemplo prático da aplicação desta lei é quando se pretende utilizar uma temperatura de referência diferente de zero graus Celsius. A título de exemplo suponha-se que se utiliza um termopar para medir a temperatura da fornalha da caldeira em que a junção de medida estará no interior da fornalha, normalmente protegida por uma bainha, e a junção de referência encontra-se normalmente

Tabela 1. Composição química dos termopares.

Termo Elemento	Composição Química (%)								
	Cr	Fe	Mn	Si	Ni	Cu	Al	Pt	Rh
Jp (Ferro)		99,5	*	*	*	*	*		
Jn,Tn (Constantan)					45	55			
Tp (Cobre)						100			
Kp(Cromel)	10				90				
Kn(Alumel)			2	1	95		2		
Rp (Platina/Ródio)								87	13
Sp (Platina/Ródio)								90	10
Rn,Sn (Platina)								100	

\*Enxofre e Fósforo; (1) Marca Hosklins Manufacturing Co.

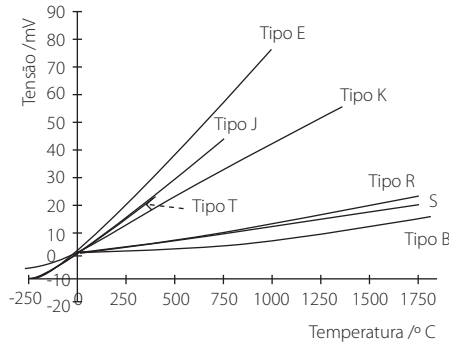


Figura 6. Curvas de f.e.m. / temperatura de diversos tipos de termopares.

numa sala de controlo com ar-condicionado (20° C). Nestas condições, a f.e.m.  $E_{T,20}$  do termopar virá mais baixa do que a f.e.m.  $E_{T,0}$  se a junção de referência estivesse a 0° C:

$$E_{T,0} = E_{T,20} + E_{20,0}$$

### TIPOS E CARATERÍSTICAS DOS TERMOPARES

A seleção dos metais utilizados no fabrico de termopares obedece a diversos critérios nomeadamente: que tenham elevada resistência à corrosão, oxidação e redução; que desenvolvam uma f.e.m. alta, sejam estáveis, de baixo custo e baixa resistência eléctrica; que a relação temperatura/f.e.m seja o mais linear possível.

- O termopar tipo **T**, de cobre-constantan, tem uma elevada resistência à corrosão por humidade atmosférica ou condensação e pode utilizar-se em atmosferas oxidantes ou redutoras. Usado normalmente na medição de temperatura de -200 ~ 260° C;
- O termopar tipo **J**, de ferro-constantan, é adequado para atmosferas com baixo teor de oxigénio. A oxidação do fio de ferro aumenta rapidamente acima dos 550° C, sendo necessário um maior diâmetro do fio

- até uma temperatura limite de 750° C;
- O termopar tipo **K**, de cromel-alumel, recomenda-se em atmosferas oxidantes e a temperaturas de trabalho entre 500 ~ 1000° C. Não deve ser usado em atmosferas redutoras nem sulfurosas a menos que esteja protegido com um tubo de proteção;
- Os termopares tipo **R** e **S**, de Pt/Rh-Pt, utilizam-se em atmosferas oxidantes e a temperaturas de trabalho até 1500° C. Se a atmosfera não é oxidante, o termopar deve ser protegido com um tubo cerâmico estanque.

A Tabela 1 mostra a composição dos termoelementos que constituem os termopares tipo **J, T, K, R e S**.

Na Figura 6 indicam-se as tensões de saída destes termopares. Repare-se na não linearidade da resposta, um pouco mais acentuada nos termopares usados em temperaturas elevadas, ou quando se usa um campo de medida muito amplo.

As Tabelas 2.7 e 2.8 mostram os valores da f.e.m. em função da temperatura de acordo com as normas DIN/BS/IEC, com a junta de referência à temperatura de 0° C.

(Nota: Estas tabelas podem ser visualizadas no website, [www.robotica.pt](http://www.robotica.pt)). ¶