

Termopares industriais

3.ª Parte

Nesta 3.ª e última parte apresentam-se alguns aspectos diversos relacionados com o funcionamento dos termopares industriais.

1. ESTABILIDADE

A estabilidade dos termopares é boa quando considerada a curto prazo. No que respeita à **estabilidade a longo prazo**, esta caracteriza-se por uma **deriva** na tensão de saída, devida à **oxidação da junção**. Esta deriva pode dar origem a erros de alguns graus Celsius, ao fim de algumas centenas de horas de operação do termopar. De uma forma geral, quanto maior é a secção do material constituinte do termopar, menor será a deriva. Os termopares com ferro e cobre apresentam uma maior deriva do que os que são constituídos por platina, ródio, irídio e tungsténio. Mesmo o termopar do tipo N, que apresenta uma boa estabilidade, tem uma deriva de 2 °C, após 1000 horas de funcionamento à temperatura de 1200 °C. Convirá pois, em aplicações a temperaturas elevadas e para medidas que se efectuarão consecutivamente, durante muito tempo, escolher criteriosamente o termopar no que respeita à sua estabilidade a longo prazo. A escolha do tipo de termopar deverá, também, ser feita tendo em conta o tipo de atmosfera em que este irá funcionar, nomeadamente, se é uma atmosfera redutora ou oxidante: como por exemplo, o termopar do tipo K é recomendado para uso em **atmosferas oxidantes**, sendo o termopar do tipo E recomendado para uso em **atmosferas redutoras**, ou ligeiramente oxidantes.

Um outro aspecto a ter em conta, prende-se com o facto de os termopares poderem ser sujeitos a radiações nucleares, caso em que convirá saber qual a sua estabilidade nessas aplicações. Assim, por exemplo, o cobre sofre uma **transmutação** quando sujeito a um bombardeamento de neutrões, pelo que não poderá ser utilizado nesta aplicação.

Em muitos casos deverá ser incorporado no programa de **manutenção**, a substituição periódica de determinados termopares.

2. PRECISÃO

A precisão dos termopares é essencialmente afectada pelas seguintes questões:

- Os termopares são feitos de condutores finos, por forma a minimizar desvios térmicos e a reduzir a sua constante de tempo. Tal tem por consequência que o termopar apresente uma elevada resistência eléctrica, capaz de introduzir erros, caso o instrumento de medida não apresente uma impedância de entrada suficientemente elevada. Uma típica junção exposta de um termopar com condutores de diâmetro 32 AWG¹ ($D = 0,00795'' = 0,202$ mm) tem

¹ **American Wire Gauge** é um sistema de medida, de passo logarítmico normalizado, do diâmetro de fios redondos, sólidos, não ferrosos e condutores eléctricos, predominantemente utilizado na América do Norte, desde 1857.

uma resistência de 583,3 mΩ m⁻¹. Se for necessário utilizar um termopar com condutores finos e longos, é preferível manter o termopar curto e recorrer a cabos de extensão (ver **5. Cabo de compensação e cabo de extensão**), que são mais grossos e de menor resistência eléctrica, para efectuar a ligação entre o termopar e o instrumento de medida.

- O uso de cabos de extensão inapropriados ou a troca de polaridades produzem f.e.m. indesejadas e geradoras de medidas erradas.
- Uma vez que as f.e.m. geradas pelos termopares são da ordem de grandeza dos milivolts, qualquer ruído, proveniente de campos eléctricos ou magnéticos dispersos, torna-se numa fonte de erro, já que a amplitude deste ruído poderá ser da mesma ordem de grandeza do sinal gerado pelo termopar. Para minimizar este problema devem usar-se amplificadores com elevado factor de rejeição de modo comum e minimizar a influência do ruído sobre os condutores do termopar. Tal consegue-se pelo encaminhamento destes através de zonas onde o ruído é menor e entrançando-os, garantindo que ambos os condutores são afectados de igual forma pelo ruído.
- A oxidação da junção de medida, como referido em **1. Estabilidade**, produz uma deriva na tensão de saída.

A precisão dos termopares está compreendida entre ±0,25 % e ±2 % do valor medido.

3. TEMPERATURA DA JUNÇÃO DE REFERÊNCIA

Os valores das tensões de saída, apresentados nas tabelas, referem-se a termopares com duas junções, em que a junção de referência se encontra a 0 °C. Para se poder efectuar a medida de temperatura na junção de medida, há que colocar a junção de referência a 0 °C. Se este procedimento pode ser facilmente realizado em laboratório, já não será de todo possível em aplicações industriais. Nestas o método corrente consiste em deixar a junção de referência à temperatura ambiente e dispor de um circuito electrónico que efectue a sua compensação. Esta faz-se adicionando à tensão proveniente da junção de medida uma outra tensão, equivalente à da temperatura de referência, que não se encontra a 0 °C, mas antes à temperatura ambiente. Normalmente usa-se um outro dispositivo para medir a temperatura da junção de referência.

A Figura 1 representa esquematicamente um destes circuitos, em que R_0 é o valor de três resistências constantes, independentes da variação de temperatura, e R_T é o elemento sensor, cujo valor de resistência depende da temperatura da junção de referência T_2 . Neste circuito pode observar-se que

$$u_o(T_1) = e_{(A,B)}(T_1) + e_{(B,Cu)}(T_2) - e_{(A,Cu)}(T_2) - u_{12} \quad (1)$$

em que:

$u_o(T_1)$ – tensão de saída do circuito à temperatura T_1 ;

$e_{(A,B)}(T_1)$ – f.e.m. desenvolvida na junção de medida do termopar à temperatura T_1 ;

$e_{(A,Cu)}(T_2), e_{(B,Cu)}(T_2)$ – f.e.m. desenvolvidas na ligação do termopar aos condutores de cobre do circuito à temperatura T_2 ;

u_{12} – tensão que é gerada pelo circuito de compensação, de modo a compensar a f.e.m. gerada pela junção de referência, quando $T_2 \neq 0^\circ\text{C}$.

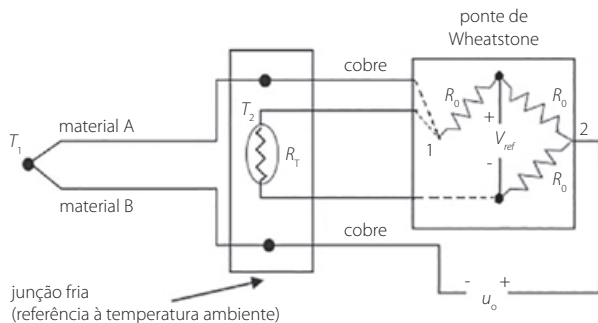


Figura 1. Circuito com ponte de Wheatstone para compensação automática da junção de referência.

De acordo com a lei dos metais intermédios II (ler a 2ª Parte deste artigo, no Ponto **1. Leis de comportamento dos termopares**) a equação (1) pode ser rescrita como

$$u_o(T_1) = e_{(A,B)}(T_1) - e_{(A,B)}(T_2) - u_{12} \quad (2)$$

O circuito representado na Figura 1 é, inicialmente, calibrado de modo a que a tensão de desequilíbrio u_{12} seja nula, por exemplo, à temperatura de 0°C (ou outro valor de referência que se ache conveniente) a resistência do sensor de temperatura será $R_T = R_0$.

De cada vez que a temperatura T_2 da **junção fria**² variar, surgirá um desequilíbrio na tensão u_{12} , devido à variação do valor da resistência R_T (elemento sensor de medida da temperatura T_2). Esta tensão será de amplitude igual, mas de sentido oposto, à tensão $e_{(A,B)}(T_2)$, na junção de referência. Desta forma é garantida a independência da medição da temperatura da junção de medida T_1 , em relação à variação da temperatura da junção de referência T_2 , num vasto intervalo de medição desta última e com um elevado grau de precisão.

4. BAINHA E DIÂMETRO DOS CONDUTORES

Para cada termopar há que considerar os seguintes aspectos construtivos:

Bainha de proteção – A bainha de proteção deve ser utilizada para defender o termopar mecanicamente e do ataque químico efectuado por agentes corrosivos. No entanto, a sua utilização faz aumentar a constante de tempo da resposta do sensor. De entre os termopares com bainha, há a considerar várias opções, como se indica na Figura 2.

A Figura 2 (c) mostra a representação de uma junção exposta. Este tipo de termopar, assim embainhado, não pode ser utilizado na medida de temperatura de fluidos corrosivos.

² Tem este nome, não por ser fria, mas por ser, em geral, uma temperatura de valor inferior ao da temperatura que se está a medir na junção de medida.

a fluidotronica pode ajudar.

PRODUTOS



TECNOLOGIA DE VÁCUO
& COMPONENTES PARA
MÃOS PRESAS

PERFIL DE ALUMÍNIO

APARAFUSADORAS
ELÉTRICAS DE PRECISÃO

MESAS DE INDEXAÇÃO

ESFERAS OMNIDIRECIONAIS

COMPONENTES DE MOVIMENTO LINEAR
& GUIAS LINEARES

SERVIÇOS DE APARAFUSAMENTO E FIXAÇÃO

SERVIÇOS



CÉLULAS ROBOTIZADAS

ESTRUTURAS

LINHAS DE MONTAGEM

MÃOS PRESAS

PERIFÉRICOS E SISTEMAS

TRANSPORTADORES

CENTRO DE ENSAIOS DE MOLDES

IMPRESSÃO 3D

06 - 09 NOVEMBRO

VISITE-NOS NA
MOLDPLÁS

CONHEÇA A GAMA COMPLETA
E TODAS AS NOVIDADES EM
WWW.FLUIDOTRONICA.COM

A bainha oferece uma proteção mecânica razoável, tem uma constante de tempo baixa, mas não protege contra agentes corrosivos. Das opções representadas na Figura 2(a) e (b), utiliza-se a junção soldada à bainha, quando se pretende um termopar protegido com uma constante de tempo relativamente baixa.

De notar, pela sua importância, que nas aplicações em que se mede a temperatura da água ou do vapor a alta pressão, não é permitida apenas a utilização das bainhas representadas na Figura 2, quando em contacto direto com o fluido. Deverá usar-se uma bainha auxiliar, designada por bainha "thermowell" ou **dedo de luva**, dimensionada para as condições de operação, e que deve ser soldada ao processo. Citam-se, como outras aplicações do dedo de luva, a medição em gases ou líquidos corrosivos e em líquidos que estão imediatamente a jusante de bombas, em que as vibrações podem provocar a quebra de uma bainha normal. Nestes casos, a bainha de reforço pode ser roscada, como se mostra na Figura 3.

Diâmetro dos condutores do termopar – Utilizam-se diâmetros pequenos, sempre que se pretende medir com uma constante de tempo baixa. No entanto, os termopares com condutores de diâmetros pequenos têm uma estabilidade baixa, associada a um tempo de vida mais curto, quando comparados com os que têm condutores grossos. A estabilidade depende, também, das temperaturas de operação habituais, pelo que, ao fazer-se a selecção dos termopares, haverá que analisar cuidadosamente este aspecto. Os diâmetros dos condutores dos termopares comerciais variam desde 6 AWG ($D = 0,1620'' = 4,115 \text{ mm}$) até 40 AWG ($D = 0,00314'' = 0,0799 \text{ mm}$).

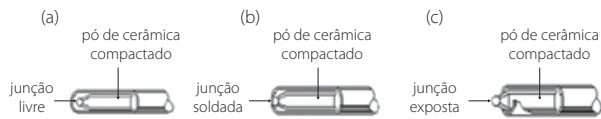


Figura 2. Colocação de bainhas em termopares: junção livre (a), junção soldada (b) e junção exposta (c).

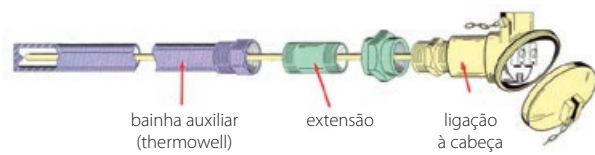


Figura 3. Colocação de termopares dentro de bainhas auxiliares.

5. CABO DE COMPENSAÇÃO E CABO DE EXTENSÃO

Um **cabo de compensação** é um cabo utilizado em circuitos de medida com termopares, que apenas tem a função de transportar o sinal proveniente do termopar até ao condicionador de sinal. Estes cabos são identificados pela letra C (como por exemplo, um termopar do tipo J tem um cabo de compensação JC) e possuem as mesmas características eléctricas que os respetivos termopares, embora não sejam constituídos pelos mesmos materiais. Os cabos de compensação têm um custo reduzido face aos **cabos de extensão**, a seguir descritos, embora a temperatura ambiente máxima permitida seja inferior, aproximadamente entre 100 °C e 200 °C, consoante o material de isolamento.

Normalmente, a junção de referência encontra-se afastada da junção de medida. Nesta situação torna-se necessário efetuar a ligação da junção de medida, à junção de referência, através de cabos de extensão. Estes cabos são identificados pela

letra X (como por exemplo, um termopar do tipo J tem um cabo de compensação JX) e são exactamente do mesmo material que os condutores do termopar, ou, então, de materiais com propriedades termoeléctricas equivalentes, para que não sejam introduzidas junções adicionais, a temperaturas desconhecidas. As temperaturas de funcionamento dos cabos de extensão são as mesmas das dos respectivos termopares.

Na Figura 4 indica-se, esquematicamente, a utilização dos cabos de extensão.

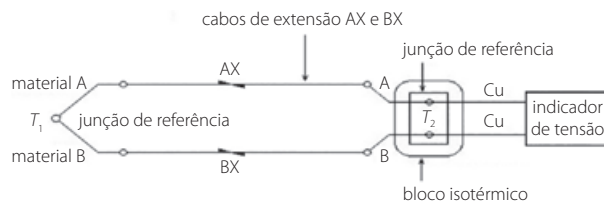


Figura 4. Utilização de cabos de extensão AX e BX para ligação aos condutores de material A e B do termopar, respectivamente. Ligação dos cabos de extensão AX e BX a um bloco isotérmico.

À semelhança do código de cores existente para termopares normalizados, também para os cabos de extensão existe um código de cores, que se apresenta na Tabela 1, de acordo com a Norma ASTM E230/E230M-17, em vigor nos EUA e no Canadá. As cores indicadas nas colunas intituladas *Exterior*, + e -, referem-se às cores do material de isolamento exterior, de isolamento do condutor mais positivo e de isolamento do condutor menos positivo, respectivamente.

Tabela 1. Código de cores para cabos de extensão, de acordo com a Norma ASTM E230/E230M-17.

Tipo de termopar	Norma ASTM E230/E230M-17		
	Exterior	+	-
TX	azul	azul	vermelho
JX	preto	branco	vermelho
EX	roxo	roxo	vermelho
KX	amarelo	amarelo	vermelho
NX	laranja	laranja	vermelho
SX	verde	preto	vermelho
RX	verde	preto	vermelho
BX	cinzento	cinzento	vermelho
CX	vermelho	verde	vermelho

6. BLOCO ISOTÉRMICO

A interligação do termopar, ou do cabo de compensação, ao aparelho de medida é, normalmente, efectuada através de condutores de cobre. Para que o aparecimento das duas f.e.m. adicionais, associadas aos dois terminais de ligação, não alterem o resultado da medição, é necessário que estes terminais estejam à mesma temperatura, seja ela qual for. Desta forma, recorrendo à lei dos metais intermédios II (ler a 2.ª Parte deste artigo, no Ponto 1. **Leis de comportamento dos termopares**), é possível garantir que as ligações ao aparelho de medida não alteram a correcta medida da temperatura. Utilizam-se, para este efeito, blocos isotérmicos, que têm a propriedade de serem bons isolantes eléctricos e bons condutores de calor, conforme se mostra na Figura 4. ❗