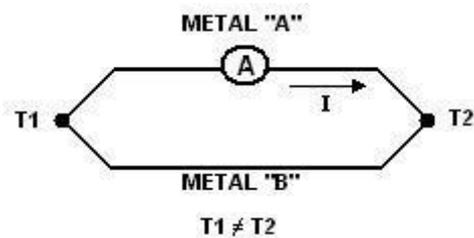


Efeito Seebeck

Em 1821, Thomas Johann Seebeck descobriu que um circuito feito de dois metais diferentes, com junções em temperaturas diferentes desviaria o ímã da bússola. Seebeck inicialmente acreditava que isto devia-se ao magnetismo induzido pela diferença de temperatura. No entanto, foi rapidamente percebido que uma corrente elétrica que é induzida, que pela lei de Ampère desvia o ímã. Mais especificamente, a diferença de temperatura produz um potencial elétrico (tensão), que pode conduzir uma corrente elétrica em um circuito fechado. Hoje, esse efeito é conhecido como efeito Peltier-Seebeck.

A tensão produzida é proporcional à diferença de temperatura entre as duas junções. A tensão de Seebeck não depende da distribuição de temperatura ao longo dos metais entre as junções. Este efeito é a base física para um termopar, que é usado frequentemente para medição de temperatura.



As Três Leis Termoelétricas

Lei do Circuito Homogêneo

Uma corrente elétrica não pode ser sustentada em um circuito de um único metal homogêneo.

Olhe para as duas imagens a seguir. Os dois circuitos são idênticos e a temperatura na junção é igual. Ambos irão gerar uma diferença de tensão. No circuito da direita, uma segunda fonte de calor é colocada sob um dos dois fios do termopar e aquece-o. A primeira lei diz que, devido a segunda fonte de calor aquecer apenas um fio e não a junção, a tensão de saída de ambos os circuitos serão a mesma. A tensão de saída só é afetada pela temperatura da junção e não a temperatura dos fios. Isso porque, qualquer mudança de temperatura num fio homogêneo não criará tensão.

Lei dos Metais Intermediários

Se dois metais diferentes constituem um termopar e um terceiro metal diferente é introduzido ao circuito, enquanto a temperatura ao longo de todo o comprimento do terceiro metal é mantido uniforme, a tensão de saída não será afetado.

Olhe para o seguinte circuito. O fio azul do termopar é unido com um terceiro metal diferente. Se a temperatura do fio em toda a sua extensão total é o mesmo, então a tensão de saída não será afetada por esta inserção.

Lei das Temperaturas Intermediárias

Se um termopar com 2 junções com temperaturas T_1 e T_2 produz uma diferença de tensão V_1 , e a diferença de tensão V_2 nas temperaturas T_2 e T_3 , então a tensão gerada quando as temperaturas são T_1 e T_3 será $V_1 + V_2$.

Esta lei é muito importante para entender como adquirir a temperatura de um termopar. Normalmente, a característica temperatura x tensão de um termopar é dada para temperatura de referência 0°C (32°F). Olhe para os 2 circuitos abaixo. O termopar é um termopar tipo K, e o voltímetro usa fios de cobre. No ponto em que o voltímetro é conectado para medir a tensão, duas novas junções de termopar são criadas. No circuito de esquerda, essas novas junções são mantidas em 0°C (32°F). Desta forma, a tensão medida pode ser diretamente convertida em temperatura, assim como a tabela para conversão normalmente a temperatura de referência está a 0°C . Olhando para o circuito de direita pode-se ver um exemplo mais realista. A temperatura de referência agora é 20°C . A tensão não pode ser diretamente convertida em temperatura uma vez que a junção de referência (onde o voltímetro é conectado) não é 0°C . De acordo com a 3ª lei, se soubermos a temperatura de referência, então podemos calcular a temperatura medida, adicionando a tensão medida e outra tensão chamada V_{REF} . Esta V_{REF} é a tensão que seria criada pelo termopar, se a tensão de referência “diferente de zero” fosse medida por uma junção termopar com temperatura de referência 0°C .

Ligações de termopares series, paralelo e oposição

Questões relativas à definição e à utilização de termopares em série ou paralelo surgem de vez em quando. Numa tentativa de esclarecer de um modo geral a maioria destas questões, as seguintes informações são oferecidas

SERIES - frequentemente denominado como uma Termopilha

Termopares ligados em série produzem um sinal fem que é adicionado. Ou seja, as saídas de um número de termopares que são somadas produzem uma saída total de todos os termopares.

Com referência ao desenho nº 1, vamos supor que A é ferro e B é constantan. Vamos continuar assumindo que as juntas de referência estão em 0°C (32°F) e as juntas de medição estão em 100°C (212°F). Da Tabela de termopar milivolts x temperatura vemos que a saída de um único termopar a 100°C (212°F) é 5.269 milivolts. Com quatro pares em uma série como no desenho nº1, somamos 5.269 milivolts quatro vezes para obter uma saída final de 21.076 milivolts. A fórmula para obter isto é:

$$E = E_{T_1} + E_{T_2} + E_{T_3} + E_{T_4}$$

Duas aplicações comuns são:

1. Medição de temperatura em que uma mudança muito pequena é fundamental para a aplicação. Ampliando o sinal, essas pequenas mudanças podem ser detectadas mais facilmente num simples instrumento.
2. Trabalhando com um relé sensível a tensão, onde uma pequena mudança não é suficiente para disparar o contato. Deve-se tomar cuidado neste caso para que não excedam o limite de impedância de trabalho.

PARALELO – Frequentemente denominado como uma Média de Termopares

Termopares ligados em paralelo produzem a mesma fem para um termopar único. Se todos os termopares possuem impedâncias iguais e suas juntas de medição estão em diferentes temperaturas, então a fem gerada corresponderá à média das temperaturas da das juntas individuais.

Olhando o desenho nº 2, vamos novamente supor que A é ferro e B é constantan. Vamos supor também que a temperatura de referência T1 é 0°C (32 ° F). Se T2 está em 100°C (212°F), T3 está em 96°C (204,8 ° F), T4 está em 98°C (208,4°F), e T5 está em 102°C (215,6°F), e todos os casais são de impedâncias iguais, teremos uma saída de 99°C (210,2°F) que é a temperatura média. A fórmula que se aplica é a seguinte:

$$EMF = \frac{(T_2 + T_3 + T_4 + T_5)}{4}$$

Nem sempre é possível fazer todos os pares paralelos com impedâncias iguais. Quando isto representa um problema, podemos acrescentar resistores em série com cada par. Se tivermos quatro pares variando entre 8 e 12 ohms e adicionar resistores de 200 ohms em série

com cada um, reduzimos a diferença para uma insignificante fração da resistência total.

Duas aplicações comuns são:

1. Montagem das carcaças das aeronaves onde um grupo de pares são colocados em um anel ao redor do escape retornam para um indicador simples na cabine
2. Um método barato de alarme de temperatura alta usando um instrumento único para indicação de alarme.

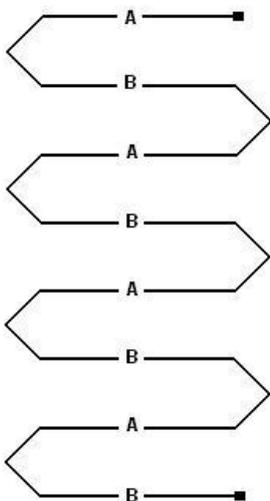
Introduzir conexões cruzadas entre qualquer combinação de termopares série ou paralelo não são permitidas.

OPOSIÇÃO - frequentemente denominado como Termopares Diferenciais.

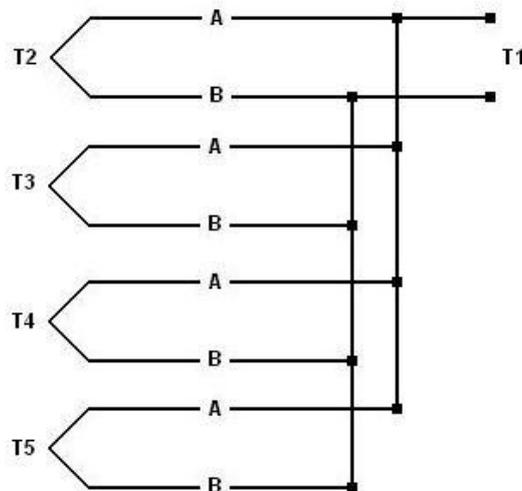
Termopares ligados em oposição apresentam uma fem correspondente à diferença dos sinais dos pares individuais. Ou seja, se as juntas de medição dos termopares estão em temperatura diferentes e estes estão ligados em oposição, então a fem gerada corresponderá à diferença de temperaturas entre em cada um dos pares individuais.

Olhando o desenho nº 3, mais uma vez supor que A é ferro e B é constantan. Vamos considerar também que as juntas de referências estão em 0°C (32°F), e as juntas de medição estão em 100°C (212°F) e 102°C (215,6°F). Da Tabela de termopar milivolts x temperatura vemos que a saída de um termopar a 100°C (212°F) é 5.269 milivolts, e outro a 102°C é 5.378 milivolts. Com os dois pares em ligados em oposição como no desenho nº3, subtraímos 5.378 milivolts e 5.269 milivolts para obter uma saída final de 0.109 milivolts, que corresponde a 2°C (35,6°F). A fórmula para obter isto é:

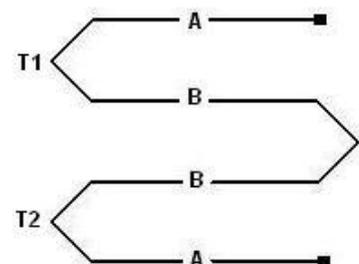
$$E = E_{T_1} - E_{T_2}$$



Desenho no. 1
Ligação Série



Desenho no. 2
Ligação Paralela



Desenho no. 3
Ligação Oposição

Tipos de Termopares

Diferentes combinações de metais produzirão termopares diferentes, e estes metais diferentes têm durabilidade e níveis diferentes de força, pesquisadores produziram combinações padronizadas para explorar o máximo resultado do potencial e num conjunto padronizado de combinações.

Existem quatro diferentes classificações de termopares, a maioria distinguidos por uma letra maiúscula. Estes são *home body class* (comum), a *upper crust class* (nobre), a *rarified class* e a *exotic class*. A *home body class* consiste no "padrão" ou metais comumente utilizados, enquanto a classe nobre representa todas as combinações de platina. A *rarified class* consiste de metais refratários e da *exotic class* é muito mais específico por natureza, geralmente com combinações especiais de metais raros usados para aplicações especificadas.

Home Body Class (Comum)

Tipo K Cromel (90% de Níquel e 10 % de Cromo) – Alumel (composto de 95% de Níquel, 2% de Manganês, 2% de Alumínio e 1% Silício) é um dos termopares mais comuns de uso geral com uma sensibilidade de aproximadamente $41\mu\text{V}/^\circ\text{C}$, Cromel é positivo em relação ao Alumel. É barato, e há uma grande variedade de tipos de construções ao longo de sua escala - 200°C a 1260°C / -328°F a 2300°F . O tipo K foi especificado em um momento em que a metalurgia era menos avançada do que é hoje e, conseqüentemente, as características variavam consideravelmente entre as amostras. Um dos metais constituintes, o Níquel é magnético; uma característica de termopares feitos com material magnético é que eles passem por uma mudança radical na produção quando o material magnético atinge o seu ponto de curie (cerca de $354^\circ\text{C}/669^\circ\text{F}$ para termopares tipo K).

Tipo E (Cromel/Constantan) tem uma saída elevada ($68\mu\text{V}/^\circ\text{C}$), que o torna adequado para uso criogênico. Além disso, não é magnético.

Tipo J (Ferro/Constantan) tem um alcance mais restrito em relação ao tipo K (- 40 a $750^\circ\text{C}/-40$ a 1382°F), mas maior sensibilidade por volta de $55\mu\text{V}/^\circ\text{C}$. O ponto de Curie do Ferro ($770^\circ\text{C}/1418^\circ\text{F}$) provoca uma mudança abrupta na característica, que determina o limite superior da temperatura.

Tipo N Nicrosil (Níquel-Cromo-Silício) / Nisil (Níquel-Silício) são adequados para uso em altas temperaturas, superiores a $1200^\circ\text{C}/2192^\circ\text{F}$, devido à sua estabilidade e capacidade de resistir à oxidação a altas temperaturas. A sensibilidade é cerca de $39\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ a $900^\circ\text{C}/1652^\circ\text{F}$, ligeiramente inferior ao tipo K. Projetado para ser um tipo K melhorado, está se tornando mais popular.

Tipo T (Cobre/Constantan) são adequados para medições de -200 a $370^\circ\text{C}/-328$ a 698°F . Muitas vezes usado para medições diferenciais onde

somente o fio de Cobre une as sondas. Uma vez que ambos os condutores são não-magnético, não há nenhum ponto de Curie e, portanto, nenhuma mudança abrupta nas características. Termopares tipo T têm uma sensibilidade por volta de $43\mu\text{V}/^\circ\text{C}$.

Upper Crust Class (Nobres)

Termopares tipo B, R, S usam Platina ou uma liga de Platina-Ródio para cada condutor. Estes estão entre os termopares mais estáveis, mas têm menor sensibilidade em relação aos outros tipos, cerca de $10\mu\text{V}/^\circ\text{C}$. Eles normalmente são usados apenas para medições de temperaturas elevadas devido ao seu alto custo e baixa sensibilidade.

Tipo B utiliza uma liga de Platina-Ródio para cada condutor. Um condutor contém 30% de Ródio, enquanto o outro condutor contém 6% de Ródio. Estes termopares são adequados para uso até $1800^\circ\text{C}/3272^\circ\text{F}$. Termopares tipo B produzem o mesmo resultado a $0^\circ\text{C}/32^\circ\text{F}$ e $42^\circ\text{C}/107,6^\circ\text{F}$, limitando a sua utilização abaixo de $50^\circ\text{C}/122^\circ\text{F}$.

Tipo R utiliza uma liga de Platina-Ródio contendo 13% de Ródio para um condutor e de Platina pura para o outro condutor. Termopares tipo R são usados até $1600^\circ\text{C}/2912^\circ\text{F}$.

Tipo S são construídos utilizando um fio com 90% de Platina e 10% de Ródio (fio positivo ou "+") e um segundo fio de 100% de Platina (o fio negativo ou "-"). Como o tipo R, termopares tipo S são usados até $1600^\circ\text{C}/2912^\circ\text{F}$. Em particular, tipo S é usado como padrão de calibração para o ponto de fusão do Ouro ($1064,43^\circ\text{C}/1947,97^\circ\text{F}$).

Rarified Class

Tipo C (Tungstênio-5%Rênio / Tungstênio-26%Rênio) são adequados para medições de 0 a $2320^\circ\text{C}/32$ a 4208°F . Este termopar é adequado para fornos a vácuo em temperaturas extremamente altas. Ele nunca deve ser usado na presença de oxigênio em temperaturas acima de $260^\circ\text{C}/500^\circ\text{F}$.

Exotic Class

Cromel / Ouro-Ferro, o fio positivo é chromel e o fio negativo é de ouro com uma pequena fração (0,03-0,15% de átomo) de Ferro. Ele pode ser usado para aplicações criogênicas (1,2-300 K e mesmo até 600 K). A sensibilidade e a faixa de temperatura dependem da concentração de Ferro. A sensibilidade é tipicamente por volta de $15\mu\text{V}/\text{K}$ em baixas temperaturas e as menores temperaturas aplicáveis variam entre 1,2 e 4,2 K.

Características dos termopares

Tipo	Material do Condutor (+)	Material do Condutor (-)	Atmosfera Recomendada	Características
J	Ferro	Constantan	Vácuo Inerte Oxidante Redutora	O condutor de Ferro pode enferrujar ou tornar-se frágil em temperaturas abaixo de zero. Se desprotegido, o condutor de Ferro pode ser

				atacado em atmosferas de Amônia, Nitrogênio e Hidrogênio. O Tipo J não deve ser utilizado em atmosferas sulfurosas acima de 540°C/1004°F
K	Cromel	Alumel	Inerte Oxidante	Geralmente utilizado para medição em altas temperaturas até 1260°C/2300°F. Não deve ser usado para medidas precisas abaixo de 600°C/1112°F ou após exposição prolongada acima de 760°C/1400°F. Vida reduzida em atmosferas oxidantes e redutoras alternadas.
T	Cobre	Constantan	Vácuo Inerte Oxidante Redutora	Comumente utilizado de temperaturas negativas até 370°C/698°F. Boa resistência a corrosão. Preferido ao termopar tipo J para temperaturas negativas pela maior resistência do Cobre à umidade comparado ao Ferro.
E	Cromel	Constantan	Inerte Oxidante Redutora	Maior FEM que qualquer par metálico padronizado. Os fios não estão sujeitos a corrosão em temperaturas negativas.
N	Nicrosil	Nisil	Inerte Redutora	Desenvolvido para resistência à oxidação e uma FEM com estabilidade maior que o tipo K em temperaturas elevadas. Mais popular na Europa
R	Platina-Ródio13%	Platina	Inerte Oxidante	Boa linearidade em altas temperaturas. Sempre deve ser protegidos de contaminações - isolação de alta alumina
S	Platina-Ródio10%	Platina	Inerte Oxidante	Amplamente utilizado em laboratórios como padrão para calibração de termopares de metais comuns e outros instrumentos.
B	Platina-Ródio30%	Platina-Ródio6%	Inerte Oxidante	Aconselhável para utilização entre 540°C/1000°F e

				1800°C/3272°F. Como os outros termopares de Platina, é necessário proteção contra contaminação com isolação em alta alumina.
--	--	--	--	--