

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
EEL7051 - Materiais Elétricos

PROJETO PRÁTICO DE MATERIAIS ELÉTRICOS: TERMOPARES

Alunos: Bobão 1
Alunos: Bobão 2
Alunos: Bobão 3
Professor: Rambo

Departamento de Engenharia Elétrica e Eletrônica
Curso de Graduação em Engenharia Eletrônica
Brasil

Lista de Figuras

1.1	Termopar Tipo K	3
2.1	Utilização do Termopar tipo K	4
2.2	Efeito Seebeck	5
2.3	Efeito Seebeck para dois condutores diferentes	6
2.4	Funcionamento do Efeito Peltier	6
2.5	Exemplo da Lei do Circuito Homogêneo	12
2.6	Exemplo dos Metais Intermediários	13
2.7	Exemplo das Temperaturas Intermediárias	13

Sumário

1	Introdução Teórica	3
2	Utilização	4
2.1	Efeito Seebeck	5
2.1.1	Efeito Peltier	6
2.2	Efeito Thompson	7
2.3	Aplicações	8
2.3.1	Construção	10
2.4	Potência Termoelétrica	11
2.5	Leis Termoelétricas	11
2.5.1	Lei do circuito Homogêneo	11
2.5.2	Lei dos Metais Intermediários	12
2.5.3	Lei das Temperaturas Intermediárias	13
2.6	Simulações	14
2.7	Conclusão	14

Capítulo 1

Introdução Teórica

Termopares são dispositivos formados pela junção de dois materiais condutores ou, por vezes, semicondutores, distintos, unidos em uma extremidade e sensíveis à variação de temperatura, expressando esta sensibilidade através de uma diferença de potencial. Possuem larga utilização industrial e em sistemas de instrumentação para aferição de temperatura, sendo o mais conhecido método para este tipo de medição.

Um termopar é também conhecido por sua versatilidade como sensor de temperatura, portanto, normalmente são utilizados em uma ampla gama de aplicações - desde um termopar de uso industrial à um termopar regularmente encontrado em utilitários e aparelhos regulares. Devido à sua vasta gama de modelos e especificações técnicas, é extremamente importante entender a sua estrutura básica, como um termopar funciona, suas escalas para melhor determinar qual é o tipo certo e material do termopar para sua aplicação.



Figura 1.1: Termopar Tipo K

Capítulo 2

Utilização

Ao ser aplicada uma diferença de temperatura entre a junção de metais e as extremidades livres, haverá a geração de uma diferença de potencial da ordem de mV (milivolts) entre estas extremidades, da qual pode ser medida por um sistema de aquisição, utilizando-se comumente um multímetro como pode ser observado no esquemático da Figura 2.1.

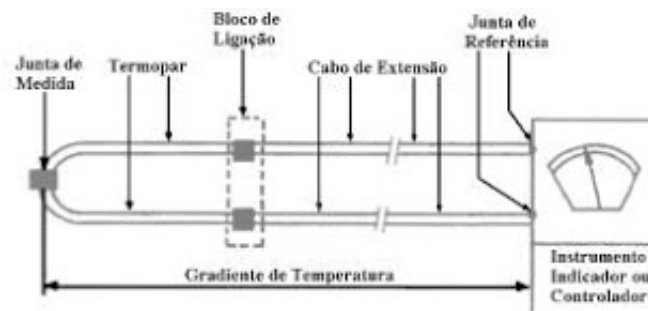


Figura 2.1: Utilização do Termopar tipo K

2.1 Efeito Seebeck

O princípio termoelétrico dos termopares deriva de uma propriedade física dos condutores metálicos, que quando submetidos a um gradiente térmico em suas extremidades: a extremidade mais quente faz com que os elétrons dessa região tenham maior energia cinética e se acumulem no lado mais frio, gerando uma diferença de potencial elétrico entre as extremidades do condutor na ordem de alguns milivolts, como está representado na Figura 2.2.

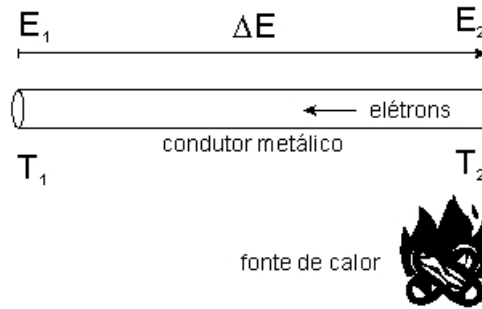


Figura 2.2: Efeito Seebeck

Podemos relacionar a temperatura com a força eletromotriz ΔE medido pelo coeficiente termodinâmico de Seebeck, representado na Equação 2.1.

$$S = \frac{\Delta E}{\Delta T} \quad (2.1)$$

Quando dois condutores metálicos de natureza diferente são acoplados, na presença um gradiente de temperatura, os elétrons de um metal tendem a migrar de um condutor para outro, gerando uma diferença de potencial entre suas extremidades livres, como representado na Figura 2.3, de acordo com com seus coeficientes S , temos que a diferença de potencia gerada por essa diferença segue a Equação 2.2.

$$E = \int_{T_1}^{T_2} (S_B(T) - S_A(T)) dT \quad (2.2)$$

Aproximando linearmente, para uma região de temperatura onde os coeficientes possam ser considerados contantes podemos chegar na seguinte simplificação.

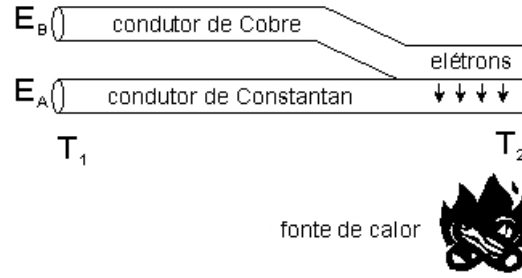


Figura 2.3: Efeito Seebeck para dois condutores diferentes

$$E = (S_B - S_A) \cdot (T_2 - T_1) \quad (2.3)$$

Podemos inclusive aplicando a equação 2.4, para assim determinar densidade termoelétrica do material.

$$J = \sigma(-\Delta V + E) \quad (2.4)$$

Onde J é a densidade termoelétrica do material e σ a condutividade do meio.

2.1.1 Efeito Peltier

O efeito Peltier se comporta de forma inversa ao efeito Seebeck, pois este efeito consiste na produção de um gradiente de temperatura na junção de dois condutores de materiais diferentes quando submetidos a uma tensão elétrica em circuito fechado, como pode ser observado na Figura 2.4 .

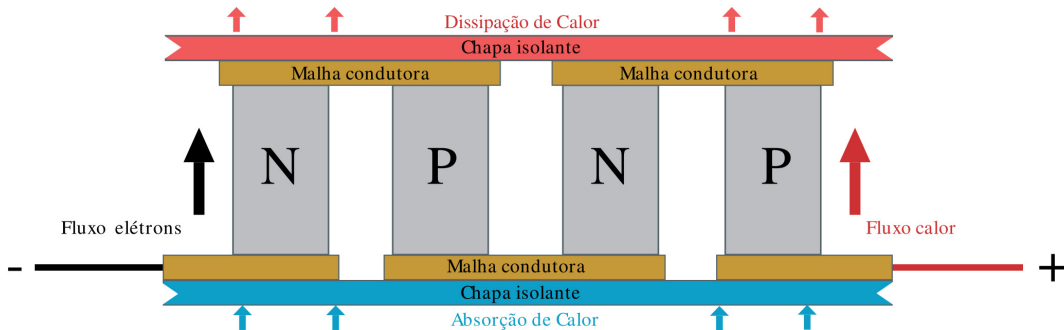


Figura 2.4: Funcionamento do Efeito Peltier

A energia térmica do sistema é proporcional à corrente elétrica que percorre o sistema, sendo possível assim definir o calor associado pelo

efeito pela Equação 2.5.

$$Q_p = \Pi \cdot I \quad (2.5)$$

Onde Q_p é o calor associado, Π o coeficiente de Peltier, e I a corrente elétrica gerada pelo sistema. O coeficiente de Peltier está relacionado com o coeficiente de Seebeck pela Equação 2.6 e pela Equação 2.7.

$$\Pi = T \frac{S}{q} \quad (2.6)$$

$$Q_p = S \cdot I \cdot T \quad (2.7)$$

2.2 Efeito Thompson

O efeito Thompson, descreve a capacidade de uma corrente elétrica passando em um material no qual existe um gradiente de temperatura leva à produção de calor neste material, que atua em conjunto com o Efeito Joule, temos na Equação 2.8 o calor produzido por unidade de volume gerado por uma densidade de corrente \vec{J} .

$$Q = \rho J^2 - \mu_{Th} \vec{J} \cdot \nabla_r T \quad (2.8)$$

Onde ρ é a resistividade do condutor e μ_{Th} o coeficiente de Thompson, podemos identificar a componente do Efeito Joule descrito por ρJ^2 e o segundo termo, o efeito Thompson que muda de sinal dependendo da direção de \vec{J} sendo descritos como efeito positivo/negativo de Thompson para cada situação. E também vale ressaltar que o coeficiente de Thompson está relacionado com o coeficiente termo-elétrico(S) pela Equação 2.9.

$$S = q \int_0^T \frac{\mu_{Th}}{T} dT \quad (2.9)$$

2.3 Aplicações

Termopares podem ser utilizados em equipamentos via medição de tensão, geralmente utilizando algum aspecto de instrumentação eletrônica. A partir da tensão mensurada, é possível calcular a temperatura utilizando métodos de *look-up table* e interpolação. Com uma interpolação combinando métodos de segundo e terceiro é possível ter um erro mínimo para um bom *range* de temperatura.

É possível, ainda, comprar designs analógicos e digitais de referência para instrumentação de termopares. Um exemplo é o design **TIDA-00468** da *Texas Instruments*TM, que oferece sensoriamento de -270°C até +1372°C para termopares do tipo K.

A escolha do design é importante, visto que o custo agregado ao sensoriamento pode ser até maior que o custo do dispositivo em si, apesar do sensoriamento digital ser relativamente barato no presente momento.

Na tabela a seguir é possível ver características de operação de alguns tipos de termopares populares.

Type	Positive Material	Negative Material	Accuracy ¹ Class 2	Range °C (extension)
B	Pt, 30%Rh	Pt, 6% Rh	0.5% 800°C	50 to 1820
E	Ni, 10%Cr	Cu, 45% Ni	0.5% or 1.7°C	-270 to 1000
J	Fe	Cu, 45% Ni	0.75% or 2.2°C	-210 to 1200
K	Ni, 10%Cr	Ni, 2% Al 2% Mn 1% Si	0.75% or 2.2°C	-270 to 1372
N	Ni, 14%Cr 1.5%Si	Ni, 4.5 % Si 0.1% Mg	0.75% or 2.2°C	-270 to 1300
R	Pt, 13%Rh	Pt	0.25% or 1.5°C	-50 to 1768
S	Pt, 10%Rh	Pt	0.25% or 1.5°C	-50 to 1768
T	Cu	Cu, 45% Ni	0.75% or 1.0°C	-270 to 400

Esses dispositivos podem ser divididos em dois grupos principais:

- Nobres: Contém ligas nobres na sua composição, como platina. Geralmente possuem uma temperatura mais alta de operação. Exemplos incluem os tipos R, S e B.
- Base: Mais comuns, geralmente feitos com ligas de níquel em um ou ambos materiais. Exemplos incluem os tipos J, K, T e E. O nome "base" vem do inglês "*base metal*", denotando um metal relativamente barato, oposto aos metais preciosos.

2.3.1 Construção

Tipos de termopares diferentes servem propósitos diferentes. Dentro dos tipos de junções, existem características de operação, e além disso, existem formas de construção que podem ser melhor utilizadas em algum ambiente específico. Questões como vibrações mecânicas, radiação ou operação Ininterrupta são considerações que devem ser realizadas ao escolher o tipo de termopar, e o próprio meio de instrumentação.

Quatro tipos de construção do dispositivo em si podem ser encontradas:

- Aterrados: Os dois materiais são soldados juntamente com o invólucro. Permite respostas relativamente rápidas, porém pode apresentar um mau desempenho em aplicações com muita interferência eletromagnética.
- Não aterrados comum: Os dois materiais são isolados do invólucro por algum tipo de material. Mais estável que o Aterrado, porém tem um tempo de resposta significativamente mais lento.
- Expostos: A junção é totalmente exposta, sem invólucro. Melhor tempo de resposta, porém é extremamente susceptível a corrosão.

2.4 Potência Termoelétrica

A potência termoelétrica é a relação que expressa a quantidade de milivolts, gerada a cada variação de 1°C de variação de temperatura, expressa na Equação 2.10.

$$P_T = \frac{mV}{^{\circ}\text{C}} \quad (2.10)$$

Como a tensão gerada por 1°C de variação é um número muito pequeno e como a variação da F.E.M. gerada em função da temperatura não é linear, é usual definir-se a potência termoelétrica média no intervalo de utilização de cada termopar e multiplicar-se este valor por 100°C .

A potência termelétrica é muito útil na caracterização e comparação dos termopares, indicando principalmente a sensibilidade do dispositivo. Quanto maior for a sua variação de tensão, mais sensível é o sensor.

2.5 Leis Termoelétricas

Com a descoberta dos efeitos termoelétricos, a partir da aplicação das leis da termodinâmica, foi enunciado as três leis que contêm toda a base da teoria termoelétrica, aplicados em componentes como termopares. E Portanto a partir destas leis, podemos compreender todos os fenômenos que ocorrem na medida de temperatura com estes sensores.

2.5.1 Lei do circuito Homogêneo

A lei do circuito homogêneo enuncia que: “A F.E.M. termal, desenvolvida em um circuito termoelétrico de dois metais diferentes, com suas junções às temperaturas T_1 e T_2 , é independente do gradiente de temperatura e de sua distribuição ao longo dos fios.” Isso significa

que, a F.E.M. medida depende única e exclusivamente da composição química dos dois metais e das temperaturas existentes nas junções.

Um exemplo de aplicação prática desta lei é que podemos ter uma grande variação de temperatura em um ponto qualquer, ao longo dos fios dos Termopares, como esquematizado na Figura 2.5, que esta não influirá na F.E.M. produzida pela diferença de temperatura entre as juntas. Portanto, garante-se fazer medidas de temperatura em pontos bem definidos com os Termopares, pois o importante é a diferença de temperatura entre as juntas.

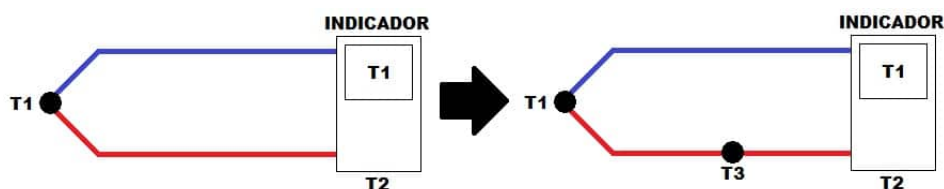


Figura 2.5: Exemplo da Lei do Circuito Homogêneo

2.5.2 Lei dos Metais Intermediários

A lei dos metais intermediários enuncia que: "A soma algébrica das F.E.M. termais, em um circuito composto de um número qualquer de metais diferentes, é zero se todo o circuito estiver à mesma temperatura". Em outras palavras, esta lei estabelece que em um circuito, composto de dois metais diferentes, a tensão gerada não será modificada caso seja inserido um outro metal intermediário em qualquer ponto do circuito, desde que as junções recém formadas sejam mantidas a uma mesma temperatura devida. Isto ocorre devido ao fato de que a tensão gerada a partir destas duas novas junções será igual a zero. Este princípio por sua vez garante o uso de fios de extensão, bem como de conectores, como representado na Figura 2.6.

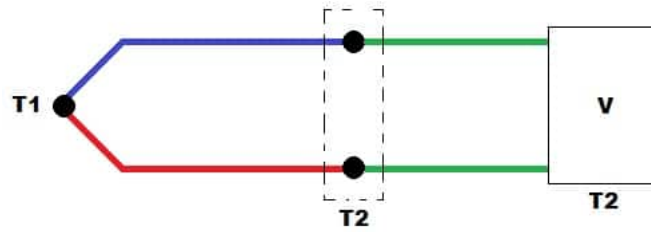


Figura 2.6: Exemplo dos Metais Intermediários

2.5.3 Lei das Temperaturas Intermediárias

“A F.E.M. produzida em circuito termoeletrico de dois metais homogêneos e diferentes entre si, com as suas junções às temperaturas T_1 e T_3 respectivamente, é a soma algébrica da F.E.M. deste circuito, com as junções às temperaturas T_1 e T_2 , e a F.E.M. deste mesmo circuito, com as junções às temperaturas T_2 e T_3 ”. Podemos ver os esquema dessa lei representada na Figura 2.7.

Assim, como consequência direta deste princípio, pode-se efetuar correções caso termopares que foram calibrados a uma determinada temperatura de referência possam ser utilizados em qualquer outra temperatura de referência.

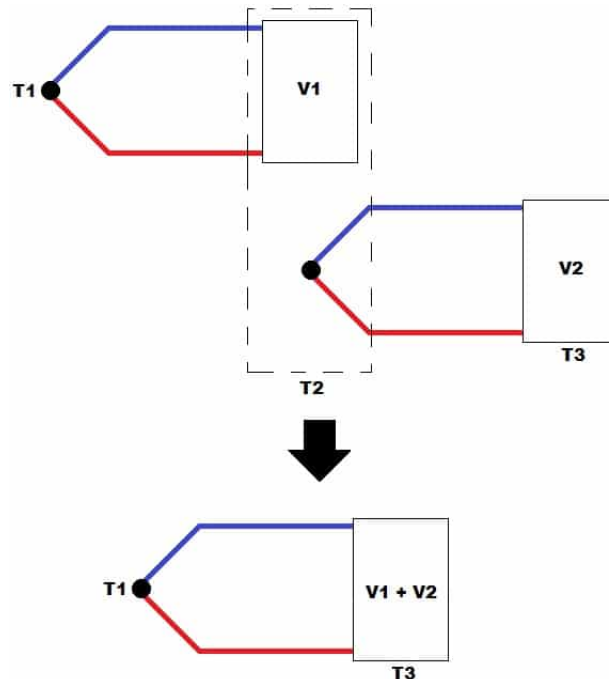


Figura 2.7: Exemplo das Temperaturas Intermediárias

2.6 Simulações

Simulações em Python —

2.7 Conclusão