

Estudo de um Conversor Termoelétrico

Tiago Frederico N°63422, Maria Vilelas N°63438, Lúcia Carreira N°63439

Nesta actividade experimental pretende-se estudar o funcionamento de uma célula de Peltier como máquina térmica e como bomba de calor, com base nos efeitos termo-eléctrico, de Seebeck e de Peltier Thomson e nas Relações de Kelvin.

Introdução

Um conversor termoelétrico é um aparelho que funciona por *efeito termoelétrico*, que consiste no conjunto dos Efeitos de Seebeck e de Peltier.

O *Efeito de Seebeck*, está relacionado com a conversão directa de uma diferença de tensão térmica num potencial eléctrico. Se a temperatura variar ao longo de um corpo condutor, os electrões mais energéticos terão tendência a deslocar-se (e a transportar energia) da fonte quente para a fonte fria, de modo a restabelecer o equilíbrio térmico. O movimento de electrões forma uma corrente eléctrica. No caso de um termopar, cujas juntas são constituídas por dois metais diferentes, a que estiver sujeita ao banho térmico de temperatura mais baixa funciona como fonte fria T e a junta com temperatura mais elevada como fonte quente $(T + \Delta T)$. O metal com menor trabalho de extracção cede electrões e torna-se eléctricamente positivo, dando origem a uma força electromotriz no termopar. O poder termoelétrico do par de metais é conhecido por *coeficiente de Seebeck*:

$$S = \frac{\Delta\phi}{\Delta T}.$$

Já o *Efeito de Peltier* consiste no processo inverso, ou seja, na transferência de energia calorífica de uma extremidade do termopar para a outra através da imposição de uma corrente eléctrica. A corrente eléctrica vai originar um fluxo de electrões diferente nos dois metais, originando por sua vez um fluxo de energia calorífica diferente. Neste caso, a eficiência térmica, ou seja, a quantidade de calor extraída é proporcional à corrente I

$$J_Q = \Pi_{Metal1, Metal2} I \quad (1)$$

onde Π é o *coeficiente de Peltier* e J_Q o fluxo de calor entre as juntas.

A *1ª Relação de Kelvin* relaciona os Efeitos de Seebeck e Peltier pela expressão (2).

$$\Pi_{Metal1, Metal2} = TS_{Metal1, Metal2} \quad (2)$$

O *Efeito de Thomson* está relacionado com o aquecimento ou arrefecimento de um condutor (constituído apenas por um metal) pelo qual circula uma corrente eléctrica, quando sujeito a um gradiente de temperatura.

$$\frac{dq}{dt} = \vec{J} \cdot \vec{E} \quad (3)$$

A *1ª Relação de Kelvin* relaciona os três efeitos referidos através da expressão (4).

$$\frac{d\Pi_{Metal1, Metal2}}{dT} + \tau_{Metal1} - \tau_{Metal2} = -S_{Metal1, Metal2} \quad (4)$$

τ representa o coeficiente de Thomson.

Neste trabalho experimental utilizar-se-á uma Célula de Peltier para reproduzir o funcionamento de uma máquina térmica e de uma bomba de calor e estudar os efeitos de Seebeck e de Peltier.

I. MÁQUINA TÉRMICA

Uma máquina térmica é um sistema que recebe energia sob a forma de calor e o transforma em trabalho. Em particular na célula de Peltier, se as juntas estiverem a diferentes temperaturas (uma à temperatura da fonte quente T_1 e outra à da fonte fria T_2), é produzido trabalho (corrente eléctrica) por efeito de Seebeck.

A relação entre a energia recebida (calor extraído da fonte quente) e a energia produzida (trabalho) é dada pelo rendimento. No caso de a transformação ser reversível, ou seja, se estivermos perante uma máquina cíclica (de Carnot), o rendimento é dado pela expressão (5).

$$\eta_{Carnot} = 1 - \frac{T_2}{T_1} \quad (5)$$

Se, por outro lado, as transformações forem irreversíveis a fórmula para o rendimento é (6).

$$\eta = \frac{W}{Q_{FQ}} \quad (6)$$

Considera-se que a bateria existente dentro da Célula de Peltier tem uma resistência interna. Isto significa que a transformação é irreversível. Por outro lado, atingirá o valor máximo quando a resistência do circuito, onde existe corrente eléctrica criada por efeito de Seebeck, tiver o mesmo valor da resistência interna. Essa é a resistência óptima.

Contudo, existem perdas de calor, como por efeito de Peltier, e o calor transferido para a fonte fria não se deve apenas ao efeito de Seebeck mas também à condução. Para minimizar o erro associado às perdas no cálculo do rendimento utiliza-se a potência dissipada pela fonte fria (fluxo de água a temperatura constante) e a potência eléctrica produzida em vez da potência total recebida (circuito com resistência para aquecimento). Considerando que a fonte fria é um fluido que circula de modo a dissipar o calor para o ambiente pode calcular-se a potência total que lá chega:

$$P_3 = \frac{\Delta m}{\Delta t} c(T_b - T_a), \quad (7)$$

onde $\frac{\Delta m}{\Delta t}$ é a quantidade de massa de fluido que passa por unidade de tempo, c é a capacidade calorífica mássica do fluido, T_a é a temperatura do fluido à entrada da fonte fria e T_b a sua temperatura à saída.

O rendimento corrigido será então

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + P_3} \quad (8)$$

onde P_2 é a potência produzida pela célula e P_3 a potência dissipada por condução na fonte fria, visto que

$$P_1 - P_{Perdas} = P_2 + P_3.$$

Para fazer uma nova correcção em relação à transferência de energia por condução calcula-se a potência que chega à fonte fria abrindo o circuito nos terminais AB (esquema (1)). Neste caso já não existe efeito de Seebeck. O rendimento será dado pela expressão (9), onde P'_3 é a potência que chega à fonte fria por condução na situação de circuito aberto.

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + P_3 - P'_3} \quad (9)$$

O circuito que alimenta a Célula de Peltier tem uma resistência exterior. O cálculo por aproximação linear da resistência óptima, isto é, a resistência para a qual a eficiência da máquina térmica é máxima é dada pela expressão (10).

$$R_{opt} = \frac{I_{2b} \cdot R_b - I_{2a} \cdot R_a}{I_{2a} - I_{2b}} - 2 \cdot R_{int} \quad (10)$$

I_2 refere-se à intensidade no circuito da Célula de Peltier, R às resistências utilizadas e a e b a dois ensaios distintos.

A resistência térmica é calculada através da lei experimental (11) onde R_T é a resistência térmica, T_1 é temperatura da fonte quente, T_2 a da fonte fria e P_3 é calculado a partir de (7).

$$P_3 = \frac{1}{R_T} (T_1 - T_2) \quad (11)$$

II. BOMBA DE CALOR

Uma bomba de calor é uma máquina que converte trabalho em calor. Para reproduzir este tipo de máquina com a Célula de Peltier fornece-se trabalho através de uma fonte de corrente. Como não é possível medir a quantidade de calor que sai da fonte fria nem a que chega à fonte quente altera-se o sentido da corrente e eleva-se a temperatura da fonte fria até que $T_2 > T_1$. Obtém-se com estas alterações a troca das fontes quente e fria e o mesmo sentido do fluxo de calor em relação à Célula de Peltier. Usa-se a expressão seguinte para determinar a potência que chega á nova fonte fria:

$$P_3 = P_2 + P_1$$

onde $P_2 = V_2 I_2$ é o trabalho fornecido ao sistema, por unidade de tempo, e $P_1 = V_1 I_1$ é a potência da fonte fria.

$$\eta = \frac{Q}{W} \quad (12)$$

Para calcular a eficiência deste mecanismo, utiliza-se a expressão (12) que, quando se substitui pelas potências postas em jogo, fica:

$$\eta = \frac{P_3}{P_2},$$

que é superior a 1. Este valor pode ser comparado com o teórico, para máquinas reversíveis:

$$\eta_{Carnot} = \frac{T_2}{T_2 - T_1} \quad (13)$$

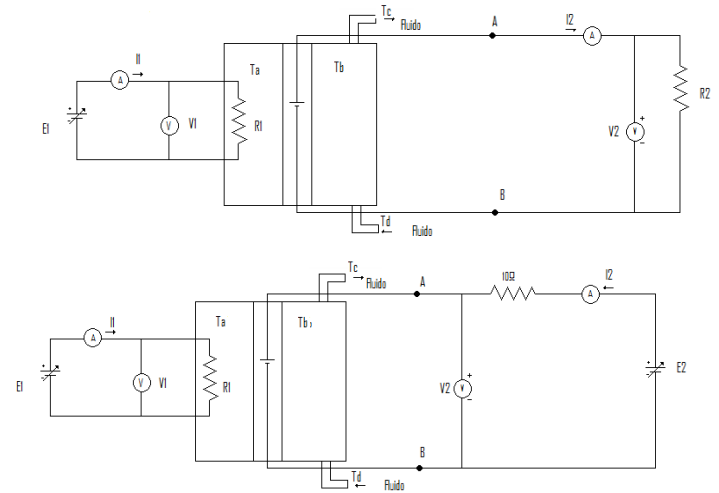
onde T_2 é a temperatura da fonte quente e T_1 é a temperatura da fonte fria.

Experiência Realizada

Neste trabalho experimental serão necessários os seguintes equipamentos:

- 1 célula de Peltier com juntas de cobre e alumínio
- 1 resistência de 20Ω para aquecimento
- sistema de circulação de água para arrefecimento
- 2 fontes de alimentação de tensão variável
- 2 amperímetros
- 2 voltímetros
- 1 termómetro digital
- 1 resistência exterior de resistência variável
- 1 resistência exterior de 10Ω .

Esquema das montagens



Para estudar o funcionamento da máquina térmica utiliza-se a montagem descrita pelo esquema (1). A fonte quente utilizada é o aquecimento de uma resistência ligada a uma fonte de tensão regulável e a fonte fria é o fluxo constante de um fluido que retira energia ao sistema. Para 10V na fonte de alimentação e 5 e 2Ω para a resistência de carga do circuito da Célula de Peltier, na situação de equilíbrio térmico, registam-se os valores de tensão e intensidade de corrente e calcula-se a resistência de carga óptima. De seguida, para esse valor de resistência e tensões de 7, 10, 13 e 16V, registam-se os valores de tensão, intensidade de corrente e temperatura quando se atinge

o equilíbrio. Finalmente, retira-se a resistência exterior e ajusta-se a tensão criada pela fonte de alimentação de modo a que a temperatura da fonte quente coincida com a sua temperatura a 7 e 16V em circuito fechado. Realizam-se as mesmas leituras que nos casos anteriores, também no equilíbrio térmico.

Na segunda fase do trabalho a montagem utilizada para o estudo de uma bomba de calor é a evidenciada no esquema (2). Escolhem-se para a segunda fonte de alimentação tensões de modo a que a intensidade na célula de Peltier seja 0.5 e 0.3A. Repete-se o mesmo procedimento com a primeira fonte de modo a que a temperatura na fonte quente seja 23°C. Registam-se novamente os valores lidos pelos aparelhos de medição.

Resultados Obtidos

Análise dos Resultados

Discussão

Na reprodução da máquina térmica obteve-se uma resistência óptima de Ω . O rendimento de Carnot foi de . O primeiro rendimento corrigido (calculado pela fórmula (8)) foi de com um erro de . As perdas energéticas por condução calculadas foram bastante elevadas, J, o que justifica o afastamento em relação ao valor teórico (rendimento de Carnot). A resistência térmica calculada foi de Ω . O segundo rendimento corrigido (pela fórmula (9)) foi de . Quanto à bomba de calor a potência de arrefecimento foi de W para 0,5A e de W para 0,3A. A eficiência no primeiro caso foi de e no segundo caso foi de , com erros inferiores a e a . Conclui-se que é mais vantajoso do ponto de vista energético utilizar a energia recebida para fornecer calor a esta máquina do que aplicá-la directamente no aquecimento de matéria.

Bibliografia