

(17)I-

- a) Identificação da função desempenhada pelo sistema apresentado:

O sistema apresentado mostra uma célula de peltier a receber energia elétrica de uma fonte E2, ao mesmo tempo que é retirada de uma das faces da célula pela circulação de água uma certa energia na unidade de tempo dada por P_{H_2O} e que a outra face da célula recebe calor gerado por uma resistência R1 alimentada por uma fonte E1. Observa-se assim um fluxo de calor entre R1 e a câmara com água através da célula de Peltier. Como a temperatura da face da célula em contacto com a câmara de água é superior à temperatura da face em contacto com R1, o sistema está numa configuração de bomba de calor que retira calor de R1 e o deposita na câmara com água em circulação.

- b) Identificação das componentes do sistema:

O sistema apresentado é composto por uma célula de Peltier ladeada num dos lados por uma fonte fria à temperatura T1, a resistência R1, e no outro lado por uma fonte quente à temperatura T2, a câmara de circulação de água. A resistência R1 é alimentada pela fonte E1 e a célula de Peltier pela fonte E2. Amperímetros medem as correntes I1 e I2 e voltmíetros as tensões V1 e V2. Uma unidade exterior impõe um caudal fixo ao circuito de circulação de água.

- c) Elaboração do relatório solicitado:

Título: Estudo do funcionamento de uma bomba de calor baseada numa célula de Peltier
Autor: Docentes

Resumo: Neste trabalho foi estudado o funcionamento de uma bomba de calor baseada numa célula de Peltier. Os dados recolhidos incluem as temperaturas das fontes quente e fria e permitiram determinar a energia térmica fornecida à fonte quente na unidade de tempo, a energia térmica extraída da fonte fria na unidade de tempo e a energia elétrica fornecida à célula de Peltier na unidade de tempo. Estes valores permitiram determinar a potência de perdas, a eficiência da bomba de calor, a eficiência descontando as perdas e a eficiência da bomba reversível a operar entre as mesmas temperaturas. Estas grandezas permitem caracterizar o funcionamento bomba de calor estudada.

Introdução:

Uma bomba de calor é um dispositivo que recebe trabalho de uma fonte exterior e utiliza esse trabalho para transferir calor de uma fonte fria para uma fonte quente. Uma bomba de calor baseado no ciclo de Carnot percorrido em sentido inverso apresenta uma eficiência $\varepsilon = T_{FQ} / (T_{FQ} - T_{FF})$ correspondente a um ciclo de processos reversíveis.

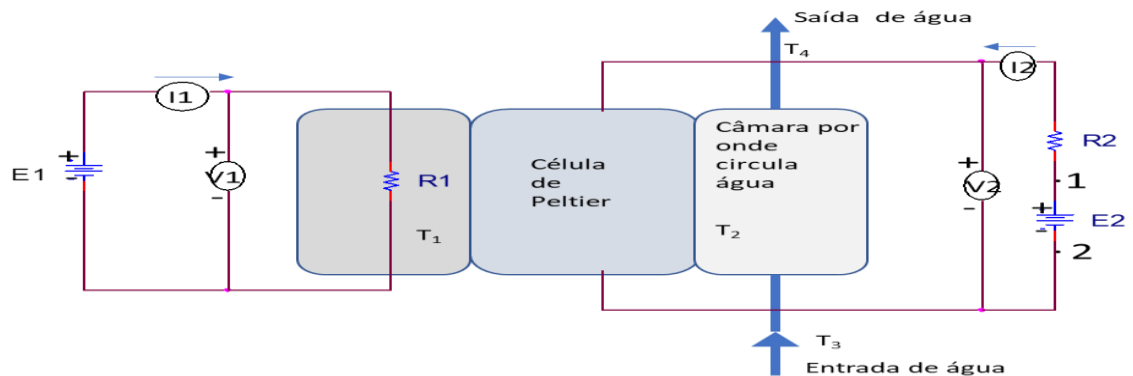
A bomba de calor em estudo neste trabalho usa uma célula de Peltier como elemento ativo que realiza a transferência de calor entre as fontes fria e quente. A célula de Peltier é um dispositivo composto por semicondutores P e N montados de modo apropriado. Nesta célula ocorre o efeito de Peltier quando ela é percorrida por uma corrente elétrica, efeito esse que se traduz numa transferência de calor entre as faces planas da célula induzida pela corrente elétrica. O sentido da transferência de calor depende do sentido da corrente elétrica imposta. O efeito de Peltier está associado a dois outros efeitos termoelétricos que são os efeitos de Seebeck e de Thomson. O efeito de Seebeck

corresponde ao surgimento de uma diferença de potencial aos terminais da célula quando as suas faces estão a temperaturas distintas e o efeito de Thomson corresponde à libertação ou absorção de calor por parte dos portadores de carga num condutor, para além do efeito de Joule, quando esses portadores de carga se estão a deslocar num condutor onde existe um gradiente térmico. Neste trabalho será caracterizado o funcionamento da bomba de calor numa situação específica, através da determinação das várias potências envolvidas incluindo a potência de perdas, da eficiência da bomba, da eficiência corrigida pela exclusão das perdas e da eficiência de uma bomba reversível a operar entre as mesmas temperaturas da fonte quente e da fonte fria.

Experiência realizada:

A experiência realizada faz uso da montagem apresentada na figura anexa que inclui uma célula de Peltier ladeada por uma resistência R1 à temperatura T1 e por uma câmara de circulação de água à temperatura T2. A célula é alimentada por uma fonte de tensão E2 ligada em série com uma resistência R2, que lhe impõe uma corrente I2. V2 é a tensão aos terminais da célula de Peltier. A resistência R1 é alimentada pela fonte de tensão E1 e é percorrida pela corrente I1. V1 é a tensão aos terminais da resistência R1. A câmara onde circula água, recebe água à temperatura T3 e expela água à temperatura T4. O caudal de água (dm/dt) é determinado. No funcionamento como bomba de calor, a resistência R1 desempenha a função de fonte fria à temperatura T1=T_{FF} e a câmara de circulação de água desempenha a função de fonte quente à temperatura T2=T_{FQ}. A fonte E2 foi ajustada de modo que I2 tenha um valor da ordem de 0.5 A. A fonte E1 foi ajustada de modo que a temperatura T1 seja semelhante à temperatura ambiente. Os valores das temperaturas, tensões e correntes são recolhidos quando o sistema atinge o regime estacionário.

Esquema da montagem usada;



Dados e análise:

Dados fornecidos;

V1	I1	V2	I2	dm/dt (caudal) H2O
2.330+- 0.001 V	0.126+-0.001 A	1.869+-0.001 V	0.496+-0.001 A	0.087+-0.002g/s
T1	T2	T3	T4	T ambiente

23.69+- 0.01 °C	32.02+-0.01 °C	23.44+-0.01 °C	26.03+-0.01 °C	23.0+-0.2 °C
--------------------	----------------	----------------	----------------	--------------

Análise dos dados;

$$P_{FF}=P_1=V_1 \cdot I_1=0.2936+-0.0023 \text{ W}$$

$$P_{FQ}=P_{H_2O}=C \cdot dm/dt \cdot (T_4-T_3)=0.943+-0.022 \text{ W}$$

$$P_W=P_2=V_2 \cdot I_2=0.927+-0.0019 \text{ W}$$

$$P_{perdas}=P_W+P_{FF}-P_{FQ}=P_2+P_1-P_{H_2O}=0.278+-0.022 \text{ W}$$

$$\epsilon_{(eficiência)}=P_{FQ}/P_W=P_{H_2O}/P_2=1.017+-0.024$$

$$\epsilon_{sp}(eficiência\ descontando\ perdas)=(P_{FQ}+P_{perdas})/P_W=(P_1+P_2)/P_2=1.3167+-0.0026$$

$$\epsilon_{(eficiência\ bomba\ reversível)}=T_{FQ}/(T_{FQ}-T_{FF})=(32.02+273.15)/(32.02-23.69)=36.64+-0.061$$

Discussão dos resultados:

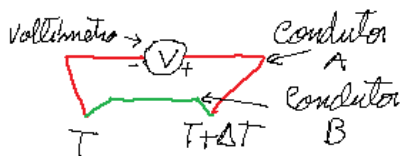
Os resultados obtidos indicam a existência de perdas de potência no sistema tendo-se encontrado uma potência de perdas que é cerca de 23% da potência total fornecida ao sistema. Como a fonte fria está a uma temperatura perto da temperatura ambiente, essas perdas deverão estar a acontecer maioritariamente da fonte quente para o exterior e também da célula de Peltier para o exterior. A eficiência calculada para a bomba de calor ϵ mostra um valor muito perto da unidade, descontando as perdas obtém-se uma eficiência cerca de 30% superior, mas ambas as eficiências estão muito abaixo da eficiência da bomba reversível. A bomba em estudo é por isso muito pouco eficiente, na verdade poderíamos fornecer á fonte quente uma potência pouco inferior à que está agora a ser fornecida, sem necessidade da célula de Peltier, fornecendo diretamente P_2 à fonte quente. Que causas poderão então justificar esta baixa eficiência? O efeito das perdas de energia para o exterior já é contabilizado no cálculo da eficiência descontando as perdas, por isso essas perdas não justificam os baixos resultados encontrados, as causas têm de ser procuradas no funcionamento da célula de Peltier; A célula de Peltier realiza a transferência de calor entre as suas faces por efeito de Peltier quando é percorrida pela corrente I_2 e a relação entre a potência térmica transferida entre as faces da célula e a corrente que percorre a célula é proporcional ao coeficiente de Peltier das unidades que constituem a célula existente no lab. Se devido ao desgaste causado por excessos de uso o coeficiente de Peltier diminuir, a capacidade da célula realizar a transferência de calor fica comprometida, um coeficiente de Peltier nulo leva a zero transferência de calor. Outro fator que afeta a capacidade da célula em realizar a transferência de calor da fonte fria para a fonte quente, é a condução térmica através da própria célula, essa condução origina um fluxo de calor da fonte quente para a fonte fria podendo contrariar por isso o fluxo gerado pelo efeito de Peltier. Um terceiro fator que degrada a eficiência da célula será a dissipação interna por efeito de Joule nos elementos condutores da célula. Os 3 fatores apontados relativamente ao funcionamento da célula de Peltier são os candidatos mais credíveis para justificar os resultados obtidos relativamente às eficiências da bomba de calor.

Conclusões: O estudo realizado mostra que esta bomba de calor baseada na célula de Peltier tem uma eficiência muito inferior à da bomba reversível a operar entre as mesmas temperaturas, apesar das perdas globais representarem unicamente 23 % da potência total que lhe é fornecida. Os resultados apontam para uma célula de Peltier com significativa condução e térmica e/ou com um baixo coeficiente de Peltier.

(2)II- Os efeitos termoelétricos relevantes para o funcionamento da célula de Peltier são os efeitos de Peltier, Seebeck e Thomson, estes efeitos estão ligados entre si pelas duas relações de Kelvin. O efeito de Seebeck consiste no aparecimento de uma tensão V não nula no voltímetro inserido no circuito a) da figura anexa quando ΔT é diferente de zero. Os troços marcados a verde e laranja correspondem a condutores distintos cujos pontos de contato se encontram às temperaturas T e $T+\Delta T$. S é o coeficiente de Seebeck para esse par de condutores. O efeito de Peltier consiste na libertação de calor na unidade de tempo numa das junções entre os dois condutores e na absorção da mesma quantidade de calor na unidade de tempo na outra junção quando o circuito b) é percorrido pela corrente I . π é o coeficiente de Peltier para esse conjunto de dois condutores. O efeito de Thomson consiste na libertação ou absorção de calor num condutor c) percorrido por corrente I e sujeito a um gradiente de temperatura T . A quantidade de calor libertado/absorvido na unidade de tempo e na unidade de volume do condutor é dada pelo calor de Thomson. ζ é o coeficiente de Thomson para esse condutor.

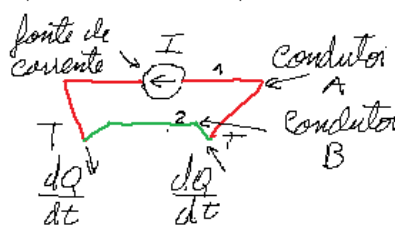
Efeitos Termoelétricos

a) Seebeck:



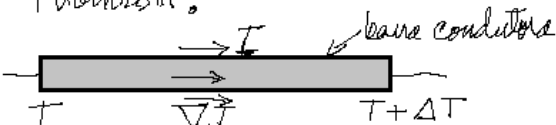
Efeito de Seebeck: $S = \frac{V}{\Delta T}$
 $\Delta T \neq 0 \Rightarrow V \neq 0$

b) Peltier:



Efeito de Peltier: $\pi = \frac{J_{Q1}}{J} - \frac{J_{Q2}}{J}$
 $I \neq 0 \Rightarrow \frac{dQ}{dz} \neq 0 = \frac{dQ/dt}{I}$

c) Thomson:



Calor de Thomson: $\frac{dQ}{dt} = (\zeta \cdot \nabla T) I$

(Nota: a cotação máxima nesta questão não implica a indicação das expressões para S , π ou o calor de Thomson)

(1)III- Retirando E2 e ligando entre si os pontos 1 e 2 do circuito terá como consequência que a corrente I_2 seja não nula e circule no sentido contrário relativamente à situação anterior em que E2 estava ligada. A mudança de sentido de I_2 ocorre porque quando E2 estava ligada o sentido da corrente I_2 era o necessário para gerar uma transferência de calor por efeito de Peltier da resistência R_1 para a câmara com água, substituindo E2 por um curto-circuito, a

tensão presente aos terminais da célula de Peltier devida ao efeito de Seebeck, origina a corrente I_2 que por efeito de Peltier retira calor da fonte quente para a fonte fria ou seja o fluxo de calor ocorre agora em sentido contrário ao da condição com E2 ligado e por isso a corrente I_2 tem o sentido contrário ao que tinha na condição de E2 ligado.