214 – Efeito Termoelétrico

Roteiro elaborado com base na documentação que acompanha o conjunto por:
Hermes Urébe Guimarães

Tópicos Relacionados

Efeito Peltier, tubo de calor, termoelétrico f.e.m., coeficiente Peltier, capacidade de refrigeração, capacidade de aquecimento, índice de eficiência, coeficiente Thomson, coeficiente Seebeck, equações Thomson, condução de calor, convecção, refrigeração forçada, efeito Joule.

Princípios e objetivos

A capacidade de refrigeração, a capacidade de aquecimento, e o índice de eficiência de uma bomba de calor Peltier são determinados sob diferentes condições de operação.

Equipamentos

Gerador térmico com suporte mecânico	04366.00	1
Dispositivo de troca de fluxo de calor	04366.01	1
Resfriador de ar	04366.02	1
Termômetro digital	07030.00	1
Cabo de conexão, 32A, 50 cm, vermelho	07361.01	1
Cabo de conexão, 32A, 50 cm, azul	07361.04	1
Sonda de imersão NiCr-Nr,-50/1000C	13615.03	1

Problemas

1. Determinar a capacidade de refrigeração P_c , o preenchimento como uma função da corrente e, calcular o índice de eficiência η_c na saída máxima.

2. Determinar a capacidade de aquecimento P_w da bomba e seu índice de eficiência η_w , em corrente constante e temperatura constante no lado refrigerado.

3. Determinar P_w , η_w e P_c , η_c da relação entre temperatura e tempo, no lado aquecido e no lado refrigerado.

4. Investigar o comportamento da temperatura quando a bomba for usada para refrigeração, estando o lado aquecido resfriado a ar.

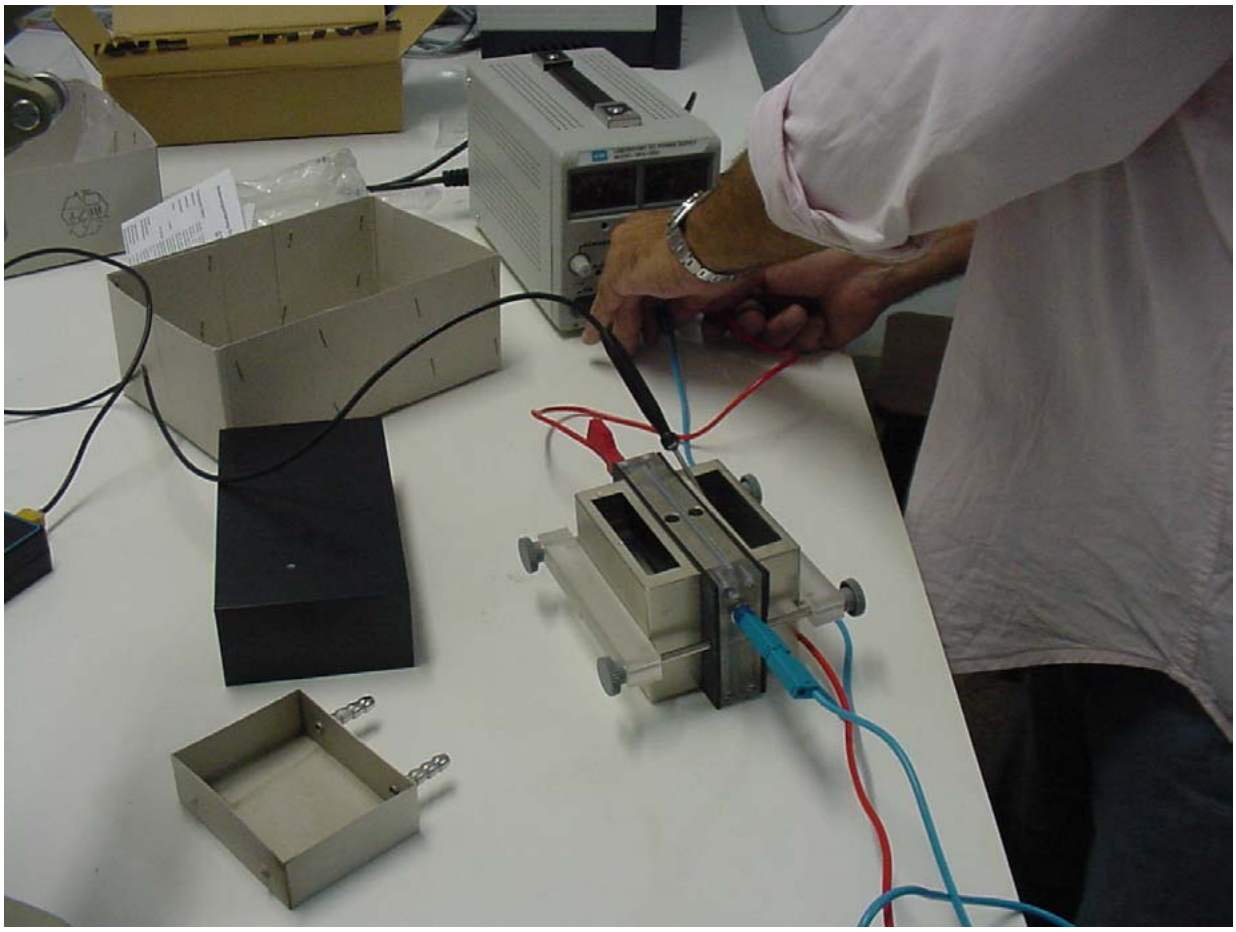


Fig. Montagem do conjunto sendo efetuada na UFES – Vitória.

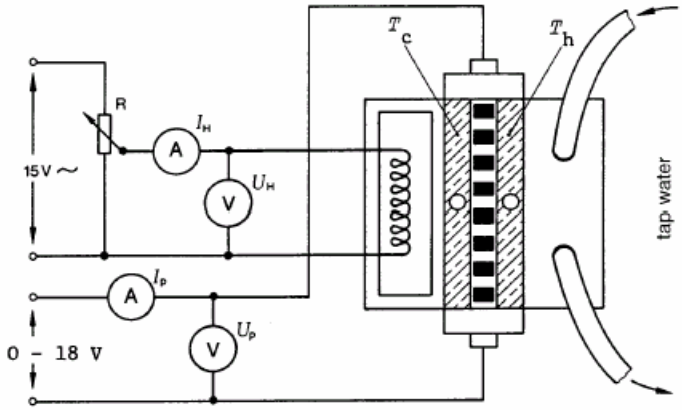


Fig.2 Montagem para determinação da capacidade de resfriamento

Montagem e procedimentos

1. Instale uma banheira de água no lado refrigerado, e um permutador de calor no lado aquecido, através do qual a água tampada fluirá. Um

aquecedor de rolo (resistência de aproximadamente 3 Ohms), operando em AC, será mergulhado na banheira repleta de água. Para cada valor de corrente I_p arranje a capacidade de aquecimento $P_h = U_h \cdot I_h$ com o reostato R, assim a diferença de temperatura entre o lado aquecido e o lado refrigerado será aproximadamente zero. A energia fornecida corresponderá, então, a exatamente a capacidade de refrigeração P_c. Meça a corrente do aquecedor I_h e a voltagem U_h, a corrente operacional I_p e a voltagem U_p, a temperatura do lado aquecido T_h e a temperatura do lado refrigerado T_c.

2. Remova o aquecedor de rolo, pois não mais é requerido. Inverta a corrente operacional, assim a água da banheira se aquecerá. Meça o aumento de temperatura na água T_w em uma corrente constante I_p. Meça também I_p, U_p, T_c. Calcule as capacidades de calor de um bloco de cobre C_{Cu}, da água C_w, e da banheira de latão C_{Br}, a partir de suas dimensões ou pelo peso.

3. Instale uma banheira de água a cada lado da bomba de calor, encha-as completamente com água de mesma temperatura. Com a corrente I_p (constante), meça as mudanças na temperatura das duas banheiras, i.e. $T_h = f(t)$, $T_c = f(t)$, I_p e U_p.

4. Para este quarto experimento teremos a banheira instalada no lado refrigerado, e um resfriador de ar no lado aquecido. Meça a temperatura do lado refrigerado como uma função do tempo, estando o resfriador

a) no ar atmosférico estatístico, e

b) forçosamente refrigerado por um ventilador.

Teoria e Análise

Quando uma corrente elétrica flui através de um circuito composto de dois diferentes condutores, o calor será liberado em uma junção e absorvido na outra, dependendo da direção que a corrente estiver fluindo (efeito Peltier). A quantidade de calor Q, liberada por unidade de tempo é proporcional a corrente I:

$$\frac{Q}{t} = P_p = \pi \cdot I = \alpha \cdot T \cdot I$$

onde π é o coeficiente Peltier, α o coeficiente Seebeck e, T a temperatura absoluta.

Se uma corrente elétrica I flui em um condutor homogêneo, na direção de um gradiente de temperatura $\frac{dT}{dx}$,

o calor será absorvido ou dissipado, dependendo do material (efeito Thomson):

$$P_T = \tau \cdot I \cdot \frac{dT}{dx}$$ onde τ é o coeficiente Thomson.

A direção na qual o calor fluirá depende do sinal do coeficiente de Thomson, a direção na qual a corrente fluirá e a direção do gradiente de temperatura.

Fig.3 Construção de uma peça semi condutora de Peltier. Normalmente as peças são conectadas em série (eletricamente) e em paralelo (termicamente).

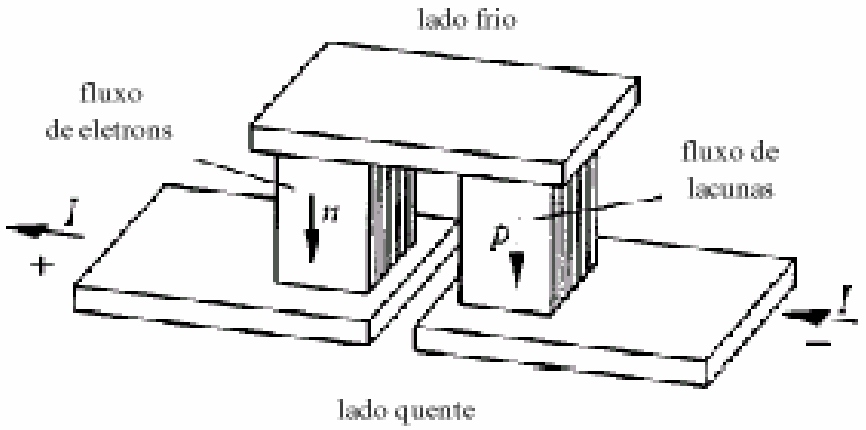
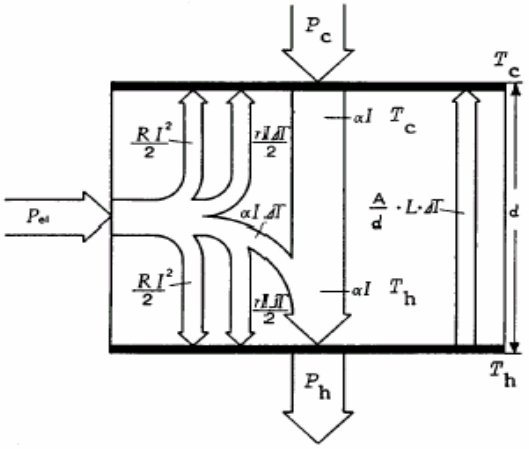


Fig.4: Diagrama de balanço de potência no componente Peltier (O exemplo ilustrado é para o caso de $P_T > 0$)



Se uma corrente elétrica I flui em um condutor isotérmico de resistência R, teremos o efeito Joule:

$$P_J = R \cdot I^2$$

Por causa da condução de calor, o calor também fluirá do lado aquecido (temperatura T_h) para o lado refrigerado (temperatura T_c):

$$P_L = L\frac{A}{d}(T_h - T_c)$$

onde L é a condutividade, A a área local de tribulação e, d a grossura do componente Peltier.

Escrevendo $\Delta T = T_h - T_c$, obtemos para a capacidade de calor da bomba no lado refrigerado (a capacidade de refrigeração):

$$-P_c = \alpha T_c I \pm \frac{\tau I \Delta T}{2d} - \frac{1}{2} I^2 R - \frac{L \cdot A \cdot \Delta T}{d}$$

e, para a capacidade de calor da bomba no lado aquecido (a capacidade de aquecimento):

$$+P_h = \alpha T_h I \pm \frac{\tau I \Delta T}{2d} - \frac{1}{2} I^2 R - \frac{L \cdot A \cdot \Delta T}{d}$$

A energia elétrica fornecida é

$$+P_{el.} = \alpha I \Delta T + RI^2 + \frac{\tau I \Delta T}{d} = U_p \cdot I_p$$

1. A capacidade de refrigeração da bomba P_c foi de 49 W, quando I_p = 5 A e $P_h = P_c$

O índice de eficiência $\eta_c = \frac{P_c}{P_{el.}}$

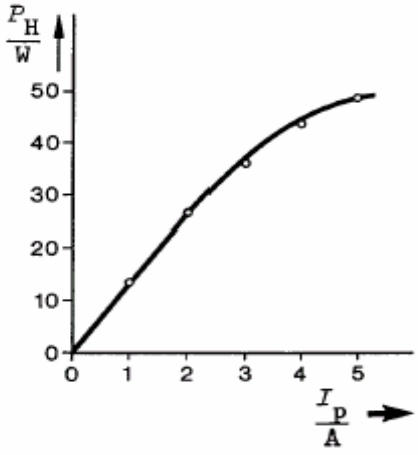


Fig.5: Capacidade da bomba de resfriamento em função da corrente de operação

Logo, para os valores medidos, têm-se:

$$I_p = 5{,}0\ A \text{ e } U_p = 14{,}2\ \text{V},$$
$$\eta_c = 0{,}69 \quad (\upsilon_h = \upsilon_c = 20^0\ \text{C})$$

2. Da inclinação da curva na Fig. 6 (onde a curva começa como um segmento de reta), podemos calcular a capacidade de aquecimento da bomba

$$P_h = \frac{C_{tot.} \cdot \Delta T_h}{\Delta T}$$

e o índice de eficiência correspondente

$$\eta_h = \frac{P_h}{P_{el.}} ,$$

onde $P_{el.} = I_p \cdot \overline{U}_p$

como segue:

m_w = 0,194 kg, $\qquad C_w = 4182 \frac{J}{kg\,K}$

m_{Br} = 0,983 kg , $\qquad C_{Br} = 381 \frac{J}{kg\,K}$

m_{Cu} = 0,712 kg , $\qquad C_{Cu} = 383 \frac{J}{kg\,K}$

$$C_{tot.} = m_w \cdot c_w \cdot m_{Br} \cdot c_{Br} + m_{Cu} \cdot c_{Cu} = 1121 \frac{J}{kg\,K}$$

onde m_w é a massa da água, c_w a capacidade de calor específica da água, m_{Cu} a massa do bloco de cobre, c_{Cu} a capacidade de calor específica do cobre, m_{Br} a massa da banheira de latão, c_{Br} a capacidade de calor específica do latão, I_p a corrente da bomba, e $\overline{U}_p$ a média de voltagem da bomba.

Com a inclinação $\frac{\Delta T_h}{\Delta t} = 6.7 \times 10^{-2}\ K/s$ obtemos um valor P_h de 75 W

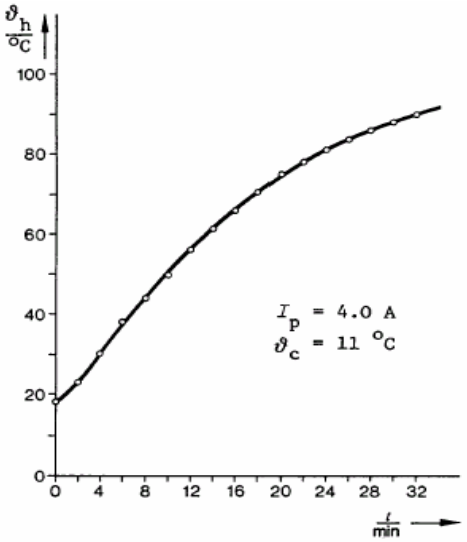


Fig.6: Temperatura do lado quente em função do tempo

Com valores para I_p de 4,0 A e $\overline{U}_p$ de 12,5 V (valor médio), obtemos um índice de eficiência

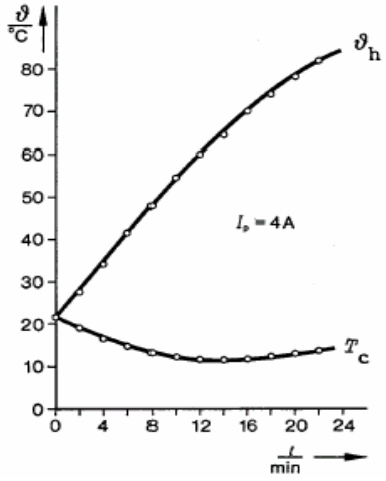


Fig 7: Temperatura da água em função do tempo.

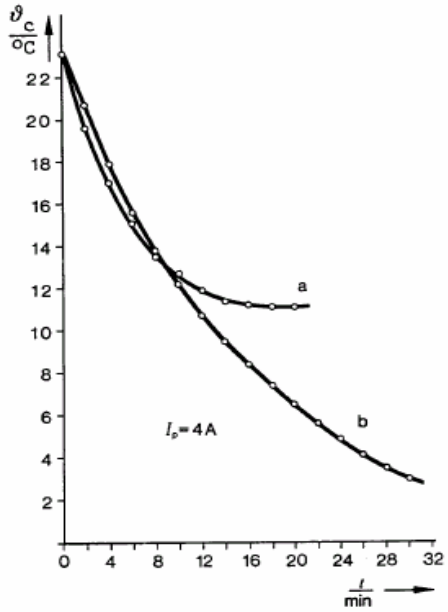


Fig.8: Temperatura da água, quando a parte quente é resfriada por um refrigerador de ar com aletas.

a. refrigeração por convecção.
b. refrigeração forçada.

3. P_h e P_c , η_h e η_c , podem ser calculados das inclinações das curvas $\upsilon_h = f(t)$ e $\upsilon_c = f(t)$, das pertinentes capacidades de calor.

Com $\frac{\Delta \upsilon_h}{\Delta t} = 0.056\, K/s$ (começo da curva) e

$\frac{\Delta \upsilon_c}{\Delta t} \underline{c} = -0.023\, K/s$ e com $C_{tot.} = 1121\, J/K$, obtemos:

$$P_h = 63 \text{ W} ; \; P_c = 26 \text{ W}.$$

No alcance considerado, a voltagem $\overline{U}_p$ (valor médio) foi de 12,4 V, assim obtemos os índices de eficiência η_h = 1,3 e η_c = 0,52. (*I = 4 A, T = 22⁰ C).*

4. A Fig. 8 mostra o curso da temperatura na banheira de água, no lado refrigerado, quando o lado aquecido foi resfriado por um resfriador de ar. A temperatura υ_h do lado aquecido, após 20 minutos, foi de aproximadamente 72⁰ C (sem ventilador). A diferença máxima de temperatura υ_h - υ_c = 60 K, é então alcançada e, a saída da bomba do componente Peltier iguala-se a zero. Quando o ventilador foi usado, T_h permaneceu constante em aproximadamente 45⁰ C, após 20 minutos.

214 – Efeito Termoelétrico

Tópicos relacionados

Efeito Seebeck (efeito termoelétrico), eficiência termoelétrica f.e.m., coeficiente Peltier, coeficiente Thomson, coeficiente Seebeck, conversão direta de energia, equações Thomson.

Princípios e objetivos

Em um gerador térmico semicondutor, a tensão em vazio (sem carga) e a corrente de curto-circuito são medidos como uma função da diferença de temperatura. A resistência interna, o coeficiente Seebeck e, a eficiência são determinadas.

Problemas

1. Medir a voltagem sem carga U_0 e a corrente curto-circuito I_s em diferente diferença de temperaturas, e determinar o coeficiente Seebeck.

2. Medir a corrente e a voltagem em uma constante diferença de temperatura, mas com diferentes resistores carregados, e determinar a resistência interna R_i dos valores medidos.

3. Determinar a eficiência de conversão de energia a partir da quantidade de calor consumida e da energia elétrica produzida por unidade de tempo.

Montagem e procedimento

1. Ajunte os permutadores de calor tipo fluxo a cada lado do gerador térmico. Encha o lado refrigerado com água e tampe, estabeleça a temperatura do lado aquecido no termostato. As duas temperaturas são medidas usando os recipientes do gerador térmico, designadas para esse propósito. A corrente de curto-circuito e a voltagem sem carga (em vazio) são medidas diretamente, sendo a resistência interna do equipamento de medidas desprezada.

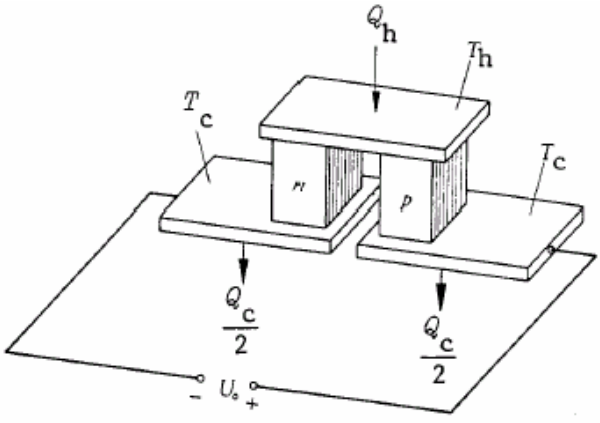


Fig.2: Construção do elemento semicondutor Seebeck. Normalmente as peças são conectadas em série (eletricamente) e em paralelo (termicamente).

2. Conecte o reostato $R_{ext.}$ ao gerador térmico sob uma média constante de diferença de temperatura. Meça a corrente e a voltagem em diferentes arranjos, organize os resultados em um gráfico.

3. Remova o permutador de calor que foi conectado ao termostato e, ponha uma banheira com água em ebulição até a borda. Meça a temperatura do lado aquecido $T_h = f(t)$ e do lado refrigerado $T_c = f(t)$ como uma função do tempo. Meça a corrente e a voltagem através de uma resistência externa de aproximadamente o mesmo valor da resistência interna.

Teoria e Análise

Se uma queda de temperatura for criada junto com um ramo de corrente-livre de um condutor feito de diferentes materiais, o calor fluirá da região mais aquecida para a menos aquecida. Os transportadores de cargas que têm parte nessa transferência de calor, são de forma desigual distribuídos junto ao condutor. Uma força no campo interno é então estabelecida, a qual pode ser entendida como sendo a f.e.m. U_0 no fim da abertura do condutor (efeito Seebeck).

O nível de voltagem depende da diferença de temperatura e dos materiais usados. Para uma primeira abordagem, a voltagem pode ser escrita assim:

$$U_0 = \alpha_{1,2} (T_h - T_c) = \alpha_{1,2} \Delta T$$

onde $\alpha_{1,2}$ é o coeficiente Seebeck da combinação de materiais usados, T_h é a temperatura do lado aquecido e, T_c a temperatura do lado refrigerado.

1. Aplicando a expressão de regressão

$$U_0 = a + b \Delta T$$

para os valores medidos na Fig. 3, temos

$$b = 0.0587 \frac{V}{K}$$

com o erro aceitável

$$S_b = 0.0006 \frac{V}{K}$$

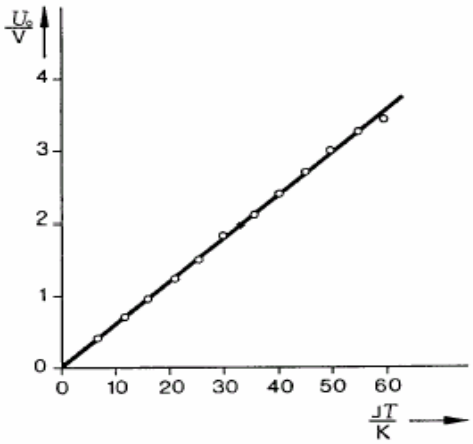


Fig.3: Tensão em vazio (sem carga) em função da diferença de temperatura.

O gerador térmico se constitui de 142 elementos conectados em série. O coeficiente Seebeck da combinação de semi-condutores aplicada é portanto

$\alpha_{1,2} = 4.13 \cdot 10^{-4} \frac{V}{K}$ com o erro aceitável $\alpha_{1,2} = 4.04 \cdot 10^{-4} \frac{V}{K}$

Como o curto-circuito também aumenta linearmente com a temperatura, a resistência interna do gerador térmico fica constante na média de temperatura considerada.

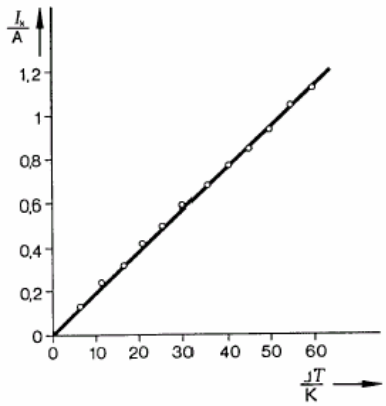


Fig.4: Corrente de curto circuito em função da diferença de temperatura.

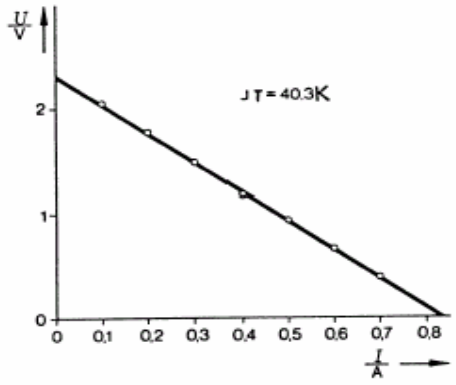


Fig.5: Tensão nos terminais em função da intensidade de corrente a uma diferença de temperatura constante.

2. Aplicando a expressão de regressão $U = a + b\ I$ aos valores medidos e, organizados na Fig. 5, temos

$a = U_0 = 2{,}34$ V
Sa = $SU_0 = 0{,}01$ V
e $|\ b\ | = R_i = 2{,}80\ \Omega$
$S_b = SR_i = 0{,}02\ \Omega$

e a corrente curto-circuito

$$I_s = \frac{U_0}{R_i} = 0{,}84\,A \qquad \text{com} \quad I_S = 0{,}01 \text{ A}$$

Da Fig. 6 determinamos a inclinação (descendente) da curva em um ponto preciso traçando uma tangente, ou por regressão linear.

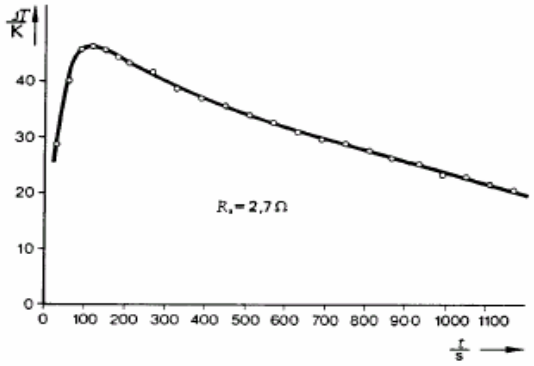


Fig.6: Diferença de temperatura em função do tempo.

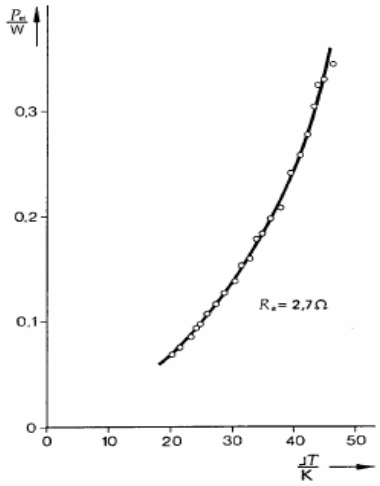


Fig.7: Potência elétrica gerada em função da diferença de temperatura.

Em uma diferença de temperatura ΔT de 40 K, usando a expressão de regressão $\Delta T = a + b\ t$, obtemos o seguinte para os valores medidos mais próximos:

$$b = \frac{d\,\Delta T}{dt} = -0.0361 \frac{K}{s}$$

Podemos, então, trabalhar a quantidade de calor Q fluída através do gerador, em unidade de tempo de acordo com:

$$\frac{dQ}{dt} = P_{th.} = C \cdot \frac{d\Delta T}{dt}$$

Conforme a massa de água seja m_w = 0,194 kg, e seu calor específico

$$C_w = 4182\ \frac{J}{kg\,K}$$

temos $C = m_w \cdot c_w = 811\ \frac{J}{K}$, e por isso $P_{th.} = 29.3\ \frac{J}{s}$

A força elétrica medida em uma carga constante $P_{el.}$, pode ser obtida a partir da Fig. 7. Para uma diferença de temperatura de ΔT = 40 K , obtem-se $P_{el.}$ = 0,25 W , assim a eficiência será: $\eta = \frac{P_{el.}}{P_{th.}} = 0.009$ ou 0,9%