

GERADOR TERMOELÉTRICO A SEMICONDUTOR PARA APROVEITAMENTO
EM MOTORES A COMBUSTÃO INTERNA

CELERE, Samuel W.**; VENANZI, Duilio**; SANTOS, Paulo

R.P.*

* UNIVERSIDADE DO RIO GRANDE - CTI

**ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS - USP

SUMÁRIO

Aproveitamento dos gases de escape de motores a combustão interna para a geração de potência elétrica utilizando-se gerador e semicondutor (telureto de bismuto) para recarga de baterias. O uso do sistema proposto se traduzirá numa substancial economia de combustível. É apresentado o projeto para 144 W, com os gases de escape a 400°C.

1. INTRODUÇÃO

Num circuito elétrico para auto veículos, de 12 V e 25 A nominais, a sua recarga consome aproximadamente 300 W de potência em regime contínuo. Esse sistema é composto de um alternador ligado mecanicamente ao eixo do motor, de onde absorve aquela potência e mais as perdas mecânicas do próprio alternador, aqui estimadas em 100 W. Este sistema em funcionamento apresenta um consumo de 176 g/h de álcool para um motor a plena carga e girando 3000 rpm, com potência medida de 33.9 hp com um tempo de utilização mensal de 30 horas, correspondendo portanto a um consumo de 5.28 kg/mês. Além disso, o sistema convencional apresenta um consumo médio de 10 g/hp-h acima do consumo específico calculado para o motor funcionando com o sistema de recarga desacoplado.

Em substituição a este sistema pode-se utilizar geradores a semicondutores, com a fonte fria sendo o ar ambiente e a fonte quente os gases de escape do próprio motor que o abandonam a uma temperatura média de 400°C.

O gerador termoeletrico é um dispositivo composto por dois semicondutores, um do tipo p e outro do tipo n, ligados termica e eletricamente a dois terminais condutores de calor e eletrividade.

Um dos terminais constitui a junção quente que é mantido a T_h por meio da fonte quente e o outro terminal é a junção fria que mantém-se a T_c devido a fonte fria.

O efeito Seebeck que surge entre os terminais do gerador é a força eletromotriz que é proporcional à diferença de temperatura e ao coeficiente de Seebeck. Esse coeficiente varia entre 280 e 430 $\mu V/^\circ C$ quando utiliza-se semicondutores, valor este que é dez vezes superior ao do cobre constantan.

TABELA I^{2,3}

SUBSTÂNCIA	PONTO DE FUSÃO °C	NÍVEL DE ENERGIA eV	TIPO P IMPUREZAS	TIPO N IMPUREZAS	CONDUTIBILIDADE TÉRMICA W/cm °C	FIGURA DE MÉRITO (a 300° K)
As ₂ Te ₃	360	—	As em excesso	Te em excesso	0.025	tipo p > 0.016 tipo n > 0.023
Sb ₂ Te ₃	620	—	Sb em excesso	—	0.048	tipo p > 0.02
Bi ₂ Te ₃	580	0.16	Bi ou Pb em excesso	Te ou I em excesso	0.021	tipo p > 0.041 tipo n > 0.048

2. PARÂMETROS DO PROJETO

Segundo a Tabela I nota-se que o telureto de bismuto apresenta a maior figura de mérito, e também possui temperatura de fusão relativamente alta em comparação à temperatura de trabalho que se pretende usar.

Escolhendo-se o telureto de bismuto, por exemplo, como constituinte dos semicondutores, tanto pelas suas propriedades, quanto pela construção dos protótipos^{3,4}. Para a obtenção dos semicondutores pode-se utilizar o método de Bridgman, onde o material a ser cristalizado é colocado numa cápsula cônica tubular que é movida vagarosamente em um forno, onde sofre um gradiente de temperatura de 625 a 580°C em atmosfera de hidrogênio. Uma outra opção é o método de Czochralski, semelhante ao de Bridgman mas em atmosfera de argônio e com um aquecimento pré purificador.

Tais protótipos poderão ser construídos a partir do telureto de bismuto comercial dopados com Te e Bi em excesso (tipos n e p respectivamente). Os elementos deverão ser encapsulados

SYSNO 0786964
 PROD 001664
 ACERVO EESC
 S. CARLOS

0786964

em tubos cerâmicos para maior estabilidade química.

3. PROJETO DOS PROTÓTIPOS

Adotou-se as temperaturas médias das fontes quente e fria respectivamente iguais a 400°C e 50°C. A da fonte quente foi escolhida com base em dados experimentais tirados em ensaios de motores a combustão interna. Esta temperatura corresponde ao uso de um motor a 75% da carga plena e rotação máxima. A temperatura da fonte fria foi adotada em 50°C por ser mais próxima das condições ambientais reinantes em salas de motores a combustão, vizinhas à tubulação de escape.

Os valores da Tabela II foram obtidos através da metodologia de cálculo, e considerando-se 3 hipóteses simplificadoras:

- Entre as fontes quente e fria só há transmissão de calor através dos semicondutores;
- a resistência de contacto da junção é desprezível;
- a resistividade elétrica, a condutividade térmica e o coeficiente Seebeck são constantes com a temperatura.

TABELA II

. Temperatura da fonte fria	323.0 °K	
. Temperatura da fonte quente	673.0 °K	
. Semicondutor tipo n	$\alpha = 195.0 \times 10^{-3} \text{ V/}^\circ\text{C}$ $\rho = 1.35 \times 10^{-3} \text{ ohm.cm}$ $Z = 2.05 \times 10^{-3} \text{ V/}^\circ\text{C}$	
. Semicondutor tipo p	$\alpha = 230.0 \times 10^{-3} \text{ V/}^\circ\text{C}$ $\rho = 1.75 \times 10^{-3} \text{ ohm.cm}$ $Z = 2.5 \times 10^{-3} \text{ }^\circ\text{K}$	
. Tensão por célula	0.15	V
. Número de células	90	-
. Figura de mérito	2.26×10^{-3}	$^\circ\text{K}^{-1}$
. Dimensões das células		
(p) diâmetro	11.0	mm
altura	15.0	mm
(n) diâmetro	13.0	mm
altura	15.0	mm
. Corrente	19	A
. Potência de saída	144	W
. Eficiência térmica	12.0	%

Os diâmetros constantes da Tabela II foram escolhidos em função de tubos cerâmicos existentes comercialmente no mercado nacional. O cálculo da relação de diâmetros e altura foi baseado na máxima eficiência e no maior valor da figura de mérito.

Para se construir um gerador que tenha uma tensão de 12 V em seus terminais deverão ser então necessários 80 elementos, para substituição do sistema convencional de recarga. Como o gerador poderá trabalhar com temperaturas diferentes daquelas do projeto, se torna necessário um acréscimo no número de elementos. Este acréscimo foi arbitrado em 10%, tendo-se portanto 90 elementos no total.

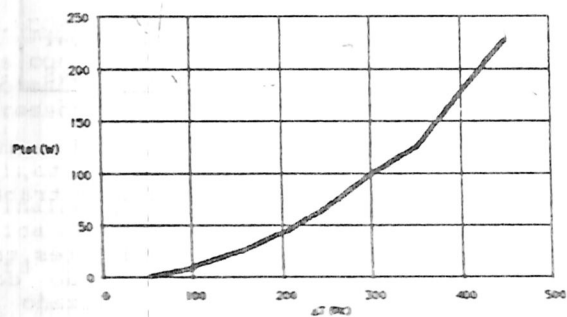


GRÁFICO I

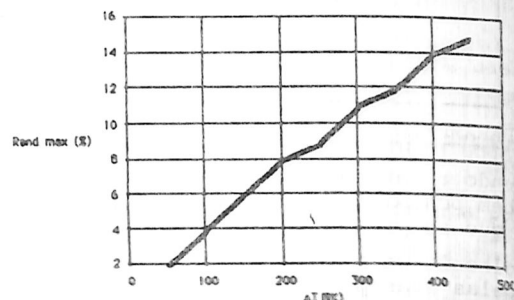


GRÁFICO II

Pelos gráficos I e II pode-se ver que a potência e o rendimento são funções da diferença de temperatura entre as fontes quente e fria:

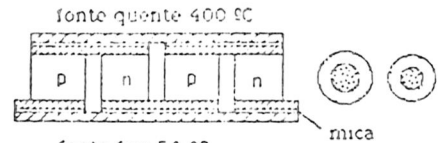
Os geradores poderão ser montados em placas individuais, com isolamento elétrico de mica, etc.

ra receber o calor gerado pela fonte quente, obtida dos gases de escape de motores a combustão interna. O espaço entre semicondutores poderá ser preenchido com amianto em pó ou terra diatomácea para isolamento térmico e estabilidade estrutural. Os dissipadores de calor da fonte fria deverão ser construídos visando-se a utilização de convecção natural e força da (por meio de ventiladores) para a necessária variação de temperatura.

As placas de aço da Figura I deverão ser aletadas e contra ventadas para resistência estrutural e vedação dos termoelementos. Os coletores deverão ser isolados eletricamente das placas por meio de espaçadores de mica. Tais coletores deverão ser construídos em alumínio para fácil usinagem e vedação dos elementos.

4. BIBLIOGRAFIA

- 1) SANTOS, A.M. - "Aproveitamento da energia rejeitada em máquinas térmicas para a produção de frio através de sistemas de absorção". Dissertação de Mestrado, EESC - USP, 1980.
- 2) ANGRIST, S.W. - "Direct energy conversion". Mechanical Engineering Carnegie-Mellon University, 1965.
- 3) HARMAN, T.C. - "Preparation and some physical properties of Bi Te, Sb Te and As Te". J. Phys. Chem. Solids, Vol. 2 - nº 3; pp. 181-190.
- 4) STOLL, R. - "Les générateurs thermoélectriques" L'onde électrique, vol.55, nº 3, pp.167-176
- 5) GOL'TSMAN, B.M. & PROKHOROVA, S.D. - "An apparatus for growing bismuth telluride monocrystals by Czochralski's method". J. Phys. Chem. Solids. 1965, p.45-47.



- ▨ placa dissipadora de calor (aço)
- ▨ coletor (alumínio)
- ▨ cerâmica

figura I

In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE FONTES NOVAS E RENOVÁVEIS
DE ENERGIA, 1, Brasília, 1988. Anais. Brasília: MME, 1988.