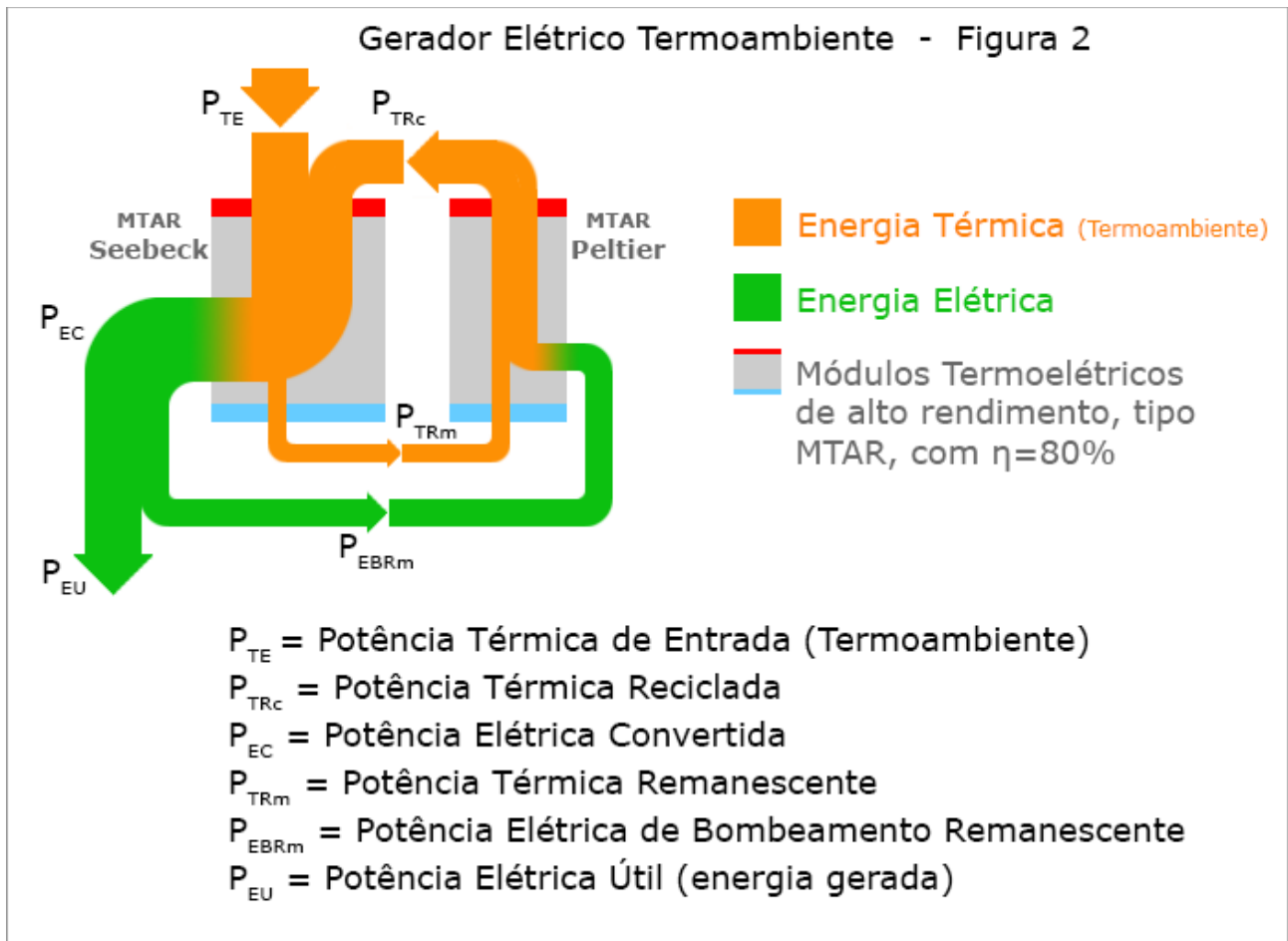


Gerador Elétrico Termoambiente – Parte 3

Versão 24/10/2016 – <http://www.energiatermoambiente.com.br>

Diagrama do Fluxo de Energia e Formulações Matemáticas



Estas são as equações que regem as relações de potência deduzidas a partir do fluxo de energia esboçado na figura 2, tendo como base as leis da termodinâmica e o efeito termoelétrico, Seebeck-Peltier.

$$\mathbf{a)} \quad P_{EC} = \eta (P_{TE} + P_{TRc})$$

$$\mathbf{b)} \quad P_{EU} = P_{EC} - P_{EBRm}$$

$$\mathbf{c)} \quad P_{TRm} = (1 - \eta) (P_{TE} + P_{TRc})$$

$$\mathbf{d)} \quad P_{TRc} = P_{TRm} + P_{EBRm}$$

$$\mathbf{e)} \quad P_{EBRm} = \frac{P_{TRm}}{\eta}$$

$$\mathbf{f)} \quad P_{TE} = \frac{P_{EC}}{\eta} - P_{TRc}$$

Diferentemente das máquinas térmicas convencionais, o Gerador Elétrico Termoambiente possui três indicadores de desempenho:

1) η = Rendimento do módulo termoeletrico, que, neste exemplo, é = 0,8 ;

2) η_G = Rendimento Global, determinado pela razão entre a potência elétrica útil, e a potência de entrada do gerador: $\eta_G = P_{EU} / P_{TE}$,

3) ϵ = Eficácia do sistema, é a razão entre a potência elétrica útil e a potência processada pelo módulo Seebeck ($P_{TE}+P_{TRc}$): $\epsilon = \frac{P_{EU}}{P_{TE}+P_{TRc}}$.

A eficácia ϵ indica o percentual da potência térmica, processada pelo módulo Seebeck, que é efetivamente transformada em potência elétrica útil. Note que a potência térmica, processada pelo MTAR Seebeck, é maior que a potência térmica, de entrada, e, por conta dessa particularidade, surgiu a necessidade de um novo indicador de desempenho, denominado, aqui, de eficácia do sistema. A eficácia não altera o rendimento global. O que altera é a potência máxima disponibilizada pelo gerador. Geradores com alta eficácia produzirão potências elétricas maiores que os de baixa eficácia e vice-versa, sem, no entanto, comprometer o rendimento global.

A eficácia é diretamente dependente do rendimento dos módulos termoeletricos, e pode variar de -1 a +1 sendo um valor adimensional tal como o rendimento. Geradores com eficácia menor ou igual a zero ($\epsilon \leq 0$) não geram potência elétrica útil. Para produzir potência elétrica útil é necessário que o gerador tenha uma eficácia maior que zero ($\epsilon > 0$).

Considerando que o Gerador Elétrico Termoambiente, deste exemplo, possui módulos termoeletricos com rendimento $\eta=80\%$, e foi projetado para extrair **1000 W** de potência térmica do ambiente ($P_{TE} = 1000$ W), veja abaixo os cálculos das principais características técnicas:

- I. Potência térmica reciclada P_{TRc} ,
- II. Potência elétrica útil P_{EU} ,
- III. Rendimento global do sistema η_G ,
- IV. Eficácia do sistema ϵ .

I. Potência térmica reciclada (P_{TRc})

Utilizando a equação (d):

$$P_{TRc} = P_{TRm} + P_{EBRm}$$

Substituindo P_{TRm} e P_{EBRm} pelas respectivas equações (c) e (e), temos:

$$P_{TRc} = (1 - \eta) (P_{TE} + P_{TRc}) + \frac{(1 - \eta) (P_{TE} + P_{TRc})}{\eta} \quad (1.1)$$

Simplificando a equação (1.1)

$$P_{TRc} = P_{TE} + P_{TRc} - \eta P_{TE} - \eta P_{TRc} - P_{TE} - P_{TRc} + \frac{P_{TE}}{\eta} + \frac{P_{TRc}}{\eta} \quad (1.2)$$

$$P_{TRc} = -\eta P_{TE} + \frac{P_{TE}}{\eta} - \eta P_{TRc} + \frac{P_{TRc}}{\eta} \quad (1.3)$$

$$P_{TRc} = P_{TE} \left(-\eta + \frac{1}{\eta} \right) + P_{TRc} \left(-\eta + \frac{1}{\eta} \right) \quad (1.4)$$

$$P_{TRc} - P_{TRc} \left(-\eta + \frac{1}{\eta} \right) = P_{TE} \left(-\eta + \frac{1}{\eta} \right) \quad (1.5)$$

$$P_{TRc} \left(1 - \left(-\eta + \frac{1}{\eta} \right) \right) = P_{TE} \left(-\eta + \frac{1}{\eta} \right) \quad (1.6)$$

$$P_{TRc} = P_{TE} \left(\frac{-\eta + \frac{1}{\eta}}{1 + \eta - \frac{1}{\eta}} \right) \quad (1.7)$$

$$P_{TRc} = P_{TE} \left(\frac{-\eta^2 + 1}{\eta^2 + \eta - 1} \right) \quad (1.8)$$

Substituindo P_{TE} e η , pelos seus respectivos valores, na equação (1.8):

$$P_{TRc} = 1000 \left(\frac{-(0,8^2) + 1}{(0,8^2) + 0,8 - 1} \right) \Rightarrow P_{TRc} = 818,18 W \quad (1.9)$$

II. Potência elétrica útil (P_{EU})

De acordo com a dedução da equação (b)

$$P_{EU} = P_{EC} - P_{EBRm} \quad (1.10)$$

Substituindo P_{EC} e P_{EBRm} pelas respectivas equações (a), (e) e (c), temos:

$$P_{EU} = \eta(P_{TE} + P_{TRc}) - \frac{(1 - \eta)(P_{TE} + P_{TRc})}{\eta} \quad (1.11)$$

Substituindo P_{TE} , P_{RC} e η , pelos seus respectivos valores, temos:

$$P_{EU} = 0,8 (1000 + 818,18) - \frac{(1 - 0,8)(1000 + 818,18)}{0,8} \quad (1.12)$$

$$P_{EU} = 1.454,54 - 454,54 \Rightarrow P_{EU} = 1000 W \quad (1.13)$$

III. Rendimento global do sistema (η_G)

O Rendimento Global η_G , é determinado pela razão entre a potência elétrica útil, e a potência térmica de entrada:

$$\eta_G = \frac{P_{EU}}{P_{TE}} \quad (1.14)$$

Substituindo P_{EU} e P_{TE} pelos seus respectivos valores, temos:

$$\eta_G = \frac{1000}{1000} \Rightarrow \eta_G = 1 \Rightarrow \eta_G = 100\% \quad (1.15)$$

OBS: Esta é, provavelmente, a primeira vez que se projeta um equipamento com rendimento global igual a 100%. Isto só é possível porque a energia de entrada, do Gerador, é o calor ambiente que, em outras máquinas, é tido como perdas térmicas dissipadas na atmosfera. Mas, para o Gerador Elétrico Termoambiente, o calor ambiente é a "matéria-prima" do processo, e não as perdas.

IV. Eficácia do sistema (ϵ)

A eficácia do sistema ϵ , é a razão entre a potência elétrica útil (P_{EU}) e a potência total processada pelo MTAR Seebeck ($P_{TE} + P_{TRC}$),

$$\epsilon = \frac{P_{EU}}{P_{TE} + P_{TRC}} \quad (1.15)$$

Substituindo P_{EU} , P_{TE} e P_{TRC} pelos seus respectivos valores, temos:

$$\epsilon = \frac{1000}{1000 + 818,18} \Rightarrow \epsilon = 0,55 \Rightarrow \epsilon = 55\% \quad (1.16)$$

A eficácia indica o quão eficaz é o processamento da energia termoambiente, dentro do gerador, durante sua conversão em energia elétrica. Quanto mais eficaz, mais rapidamente o calor ambiente é convertido em eletricidade e menor é o volume físico, do gerador, repercutindo na potência útil máxima e no custo do equipamento. Note que o rendimento global não depende da eficácia se ela for maior que zero. O rendimento global η_G sempre será de 100% mesmo que a eficácia, seja de apenas 5%.

Sustentabilidade do sistema

Para determinar o rendimento do MTAR, mínimo, que torna o gerador funcional, vamos utilizar a fórmula da potência elétrica útil (b), e fazer ($P_{EU} = 0$) para, em seguida, calcular a raiz da equação em função de η .

$$P_{EU} = P_{EC} - P_{EBRm} \rightarrow 0 = P_{EC} - P_{EBRm} \rightarrow P_{EC} - P_{EBRm} = 0 \quad (2.1)$$

Substituindo P_{EC} e P_{EBRm} por suas respectivas equações (a) e (e), temos:

$$\eta(P_{TE} + P_{TRc}) - \frac{P_{TRm}}{\eta} = 0 \quad (2.2)$$

Substituindo P_{TRm} pela sua respectiva equação (c), temos:

$$\eta(P_{TE} + P_{TRc}) - \frac{(1 - \eta)(P_{TE} + P_{TRc})}{\eta} = 0 \quad (2.3)$$

$$\eta(P_{TE} + P_{TRc}) - \frac{(P_{TE} + P_{TRc}) - \eta(P_{TE} + P_{TRc})}{\eta} = 0 \quad (2.4)$$

Multiplicando a equação (2.4) por η , para reduzir o denominador, temos:

$$\eta^2(P_{TE} + P_{TRc}) - (P_{TE} + P_{TRc}) + \eta(P_{TE} + P_{TRc}) = 0 \quad (2.5)$$

Dividindo a equação (2.5) por $(P_{TE} + P_{TRc})$, temos:

$$\eta^2 - 1 + \eta = 0 \Rightarrow \eta^2 + \eta - 1 = 0 \quad (2.6)$$

Aplicando a fórmula de Bhaskara para extrair a raiz da equação (2.6), temos:

$$x = \frac{-b \mp \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \rightarrow x = \frac{-1 \mp \sqrt{1^2 - 4 \cdot (1) \cdot (-1)}}{2 \cdot (1)} \rightarrow \begin{matrix} x' = 0,6180 \\ x'' = -1,618 \end{matrix} \quad (2.7)$$

Desprezando x'' , por ser menor que zero, então η é igual a x' ;

$$\eta = 0,6180 \Leftrightarrow \eta = 61,8\% \quad (2.8)$$

Portanto, para que um Gerador Elétrico Termoambiente seja funcional, os módulos termoelétricos, tipo MTAR, precisam ter um rendimento η maior que 61,8%. A eficácia do sistema (ε), será zero quando η for igual a 61,8%. E, tenderá a 100%, quando o rendimento η tender a 100%.

[Voltar para página do Gerador Elétrico Termoambiente - Parte 1](#)

<http://www.energiatermoambiente.com.br>

Autor: Valvim Dutra