

República Federativa do Brasil
Ministério do Desenvolvimento, Indústria
e do Comércio Exterior
Instituto Nacional da Propriedade Industrial.

(21) **PI 1004723-9 A2**

(22) Data de Depósito: 16/11/2010
(43) Data da Publicação: 19/03/2013
(RPI 2202)



(51) *Int.Cl.:*
H05B 6/02
H05B 6/06

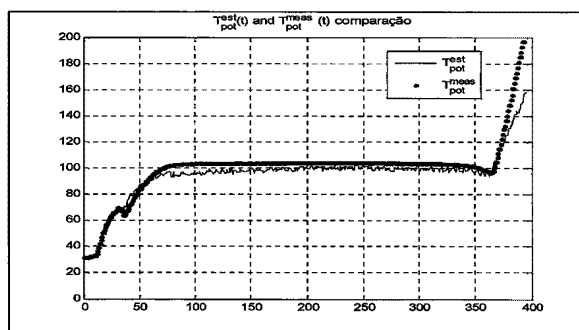
(54) **Título:** MÉTODO PARA CONTROLAR UM SISTEMA DE AQUECIMENTO POR INDUÇÃO

(30) **Prioridade Unionista:** 18/11/2009 EP 09 176298.9

(73) **Titular(es):** Whirlpool Corporation

(72) **Inventor(es):** Brian P. Janke, Davide Parachini, Diego Gutierrez, Francesco del Bello, Gianpiero Santacatterina, Jurij Paderno, TEKA INDUSTRIAL S.A.

(57) **Resumo:** MÉTODO PARA CONTROLAR UM SISTEMA DE AQUECIMENTO POR INDUÇÃO. A presente invenção refere-se a um método para controlar um sistema de aquecimento por indução, em particular um sistema de aquecimento por indução de um fogão de mesa no qual é colocado um utensílio para cozinhar com um certo conteúdo com o propósito de aquecer/cozinhar, que compreende as etapas de executar uma quantidade n predeterminada de medições elétricas de um primeiro parâmetro elétrico do sistema de aquecimento com base em um valor elétrico predeterminado de um segundo parâmetro elétrico, em que " n " é ≥ 2 , repete o conjunto de medições acima em um tempo predeterminado depois das primeiras medições, e estima pelo menos um parâmetro térmico do sistema de aquecimento, particularmente do conteúdo do utensílio de cozinhar, com base no conjunto de medições acima.



Relatório Descritivo da Patente de Invenção para **"MÉTODO PARA CONTROLAR UM SISTEMA DE AQUECIMENTO POR INDUÇÃO"**.

A presente invenção refere-se a um método para controlar um sistema de aquecimento por indução, em particular um sistema de aqueci-
5 mento por indução de um fogão de mesa no qual um utensílio para cozinhar com um conteúdo de comida é colocado para o propósito de aquecer/cozinhar.

Mais especificamente a presente invenção está relacionada a um método para estimar a temperatura de um utensílio para cozinhar colo-
10 cado no fogão de mesa e a temperatura da comida contida no seu interior, bem como a massa da comida.

Com o termo "sistema de aquecimento" quer-se dizer não apenas o sistema de aquecimento por indução com bobina de indução, o circuito de acionamento da mesma e a placa de vidro cerâmica ou similar na qual o
15 utensílio para cozinhar é colocado, mas também o próprio utensílio para cozinhar, o conteúdo de comida do mesmo e qualquer elemento ou componente do sistema. Na realidade, em sistemas de aquecimento por indução é quase impossível fazer uma distinção entre o elemento de aquecimento de um lado e o utensílio para cozinhar do outro lado, uma vez que o próprio u-
20 tensílio para cozinhar é uma parte ativa do processo de aquecimento.

As necessidades crescentes no desempenho de fogões de mesa na preparação de comida são refletidas na forma como a tecnologia está mudando a fim de atender as exigências dos consumidores.

Soluções técnicas relacionadas à avaliação na derivação da
25 temperatura do utensílio para cozinhar ou "panela" são conhecidas a partir dos documentos EP-A-1732357 e EP-A-1420613, mas nenhum destes descreve uma estimativa quantitativa da temperatura da panela. Soluções técnicas relacionadas à avaliação da temperatura do utensílio para cozinhar ou "panela" são conhecidas a partir do pedido de patente Europeu de No.
30 08170518 em nome do requerente, mas estas soluções precisam de uma medição de temperatura. Outras soluções técnicas relacionadas à avaliação da temperatura do utensílio para cozinhar ou "panela" são conhecidas a par-

tir do pedido de patente Europeu de No. 08170515 em nome do mesmo requerente, o qual mostra como o método ajusta o modelo durante todo o processo, com base nos dados coletados durante a fase de cozinhar. Além disso, os algoritmos usados para a abordagem proposta pelo documento 5 08170515 precisam de um grande esforço computacional devido ao fato de que os mesmos compensam continuamente durante todo o processo de cozinhar (ou seja, sistema de circuito fechado). Como resultado disto, não existe compensação das incertezas iniciais das temperaturas do sistema (por exemplo, temperaturas de panela, comida, água, vidro etc.).

10 Um objetivo da presente invenção é definir um método como definido no início da descrição que não apresente os problemas acima e seja simples e econômico para ser implementado.

De acordo com a invenção o objetivo acima é alcançado graças às características listadas nas reivindicações em anexo.

15 No método de acordo com a presente invenção o ajuste do sistema de aquecimento é concentrado apenas na fase inicial, quando a energia fornecida é usada para aquecer o utensílio para cozinhar ou panela, e enquanto o conteúdo da panela está basicamente à temperatura constante.

O método de acordo com a invenção pode adotar um algoritmo 20 que usa menos esforço computacional devido ao fato de que, uma vez que os parâmetros iniciais são estimados, o sistema pode trabalhar em um ciclo aberto. O método de acordo com a invenção é capaz de calcular um conjunto de parâmetros que pode ser usado por todo o processo para estimar as variáveis térmicas (ou seja, uma vez que os parâmetros são identificados no 25 início, os mesmos são sempre válidos). Estes parâmetros podem ser estimados com o resultado de um modelo térmico. Uma vez que estes parâmetros são fixados, este método pode trabalhar em um ciclo aberto, algo que o modelo conhecido, por exemplo, de acordo com o documento 08170515, não consegue fazer.

30 Conhecer as propriedades de um fogão de mesa de indução bem como as propriedades térmicas dos componentes que interagem com o fogão de mesa (temperaturas da panela, frigideira, comida e água contida na

panela etc.) pode fornecer informação valiosa com respeito a como a comida está cozinhando, como a água está aquecendo, bem como com respeito a como um instrumento está operando. O desafio enfrentado é como estimar estes valores térmicos sem uma medição direta de temperatura. Esta invenção é principalmente focada em um método de obtenção de estimativas térmicas quantitativas confiáveis não apenas do fogão de mesa, mas também de componentes que interagem com o fogão de mesa.

Mais especificamente, a presente invenção se refere a uma ligação entre variáveis eletromagnéticas, que podem ser facilmente medidas sem qualquer aumento de custos globais do sistema de aquecimento, ou seja, sem introduzir sensores e componentes similares, e as variáveis térmicas mencionadas acima (que para este fim são estimadas com base em medições elétricas ou eletromagnéticas). Esta ligação reduz a necessidade de medições térmicas ao mesmo tempo em que mantém conhecimento quantitativo confiável destes valores. Métodos da técnica anterior podem fornecer apenas conhecimento qualitativo destas variáveis. Por exemplo, ao usar o método de acordo com a presente invenção, a temperatura da comida e/ou água pode ser estimada como um resultado de medições eletromagnéticas dentro do fogão de mesa. Adicionalmente, o conhecimento desta ligação eletromagnético-térmica pode ser usado para controlar valores térmicos através de variáveis eletromagnéticas.

Como consequência, o método de acordo com a invenção melhora a habilidade de monitorar e/ou controlar individual ou separadamente os estados térmicos dos seguintes itens:

- 1) O sistema (bobina, vidro etc.)
- 2) As partes que interagem com o sistema (panela, frigideira, comida, água etc.)

Em um sistema de fogão de mesa de indução, a frequência de comutação do comutador estático e a potência aplicada ao sistema são funções uma da outra. Ou exposto de forma alternativa, a potência fornecida para a bobina é diretamente relacionada à frequência do comutador estático e vice versa. Devido ao fato de que este relacionamento muda com a tempe-

ratura da vasilha, três técnicas principais foram identificadas pelo requerente para determinar qualitativamente os estados térmicos de uma massa que é aquecida bem como da panela (onde a panela é definida como a palavra geral para descrever um utensílio no qual o conteúdo é aquecido, ou seja, 5 panela, frigideira, forma para bolo etc.). Estes métodos qualitativos são o ponto de partida para o método quantitativo que é o assunto da presente invenção. De acordo com uma primeira técnica, a frequência do comutador estático é mantida constante e a(s) variável(is) elétrica(s) mensurável(is) (potência, corrente, fator de potência etc.) é(são) observada(s). As derivadas 10 da(s) variável(is) elétrica(s) manterão um valor relativamente constante diferente de zero durante o processo de aquecimento. Por exemplo, a derivada da potência da bobina (potência ativa medida na bobina) mudará de acordo com a mudança da potência térmica entre os elementos que compõem o sistema (bobina, panela, conteúdo da panela, vidro, ambiente etc.) Através 15 da monitoração da derivada da potência da bobina (ou alternativamente, a derivada de qualquer variável(is) elétrica(s) que interage(m) com a panela), é possível obter informação qualitativa com respeito ao estado da massa térmica. Entretanto, esta informação é qualitativa porque não é possível inferir a temperatura de um elemento dentro do sistema (ou qualquer outro valor 20 térmico). Por exemplo, a temperatura da panela e seu conteúdo não podem ser conhecidos simplesmente pelo uso deste método isoladamente. Se for considerado um conjunto de medições elétricas simbolizado por Y (por exemplo, a potência fornecida para a bobina de indução), e um conjunto de variáveis que defina o estado térmico da panela simbolizado por X_p (por exemplo, sua temperatura), o relacionamento a seguir liga as ditas medições 25 e as ditas variáveis:

$$\frac{dY}{dt} = \frac{\partial Y}{\partial X_p} \frac{dX_p}{dt} \quad (a)$$

Não é disponível nenhuma informação com respeito à $\frac{\partial Y}{\partial X_p}$, onde Y pode ser uma função de muitas variáveis (por exemplo, frequência de comutação, afastamento da panela à bobina, estado térmico X_p da panela 30 etc.). Por este motivo não é possível simplesmente integrar (a) a fim de obter

uma estimativa do estado térmico X_p . Entretanto, (a) pode ser usado, por exemplo, para entender se o sistema (a panela neste exemplo) alcança um equilíbrio térmico:

$$\frac{dX_p}{dt} \approx 0 \Rightarrow \frac{dY}{dt} \approx 0$$

Muitas vezes, é possível inverter o seguinte relacionamento.

5 $(\frac{dY}{dt} \approx 0 \Rightarrow \frac{dX_p}{dt} \approx 0)$. Entretanto, se $\left| \frac{\partial Y}{\partial X_p} \right| \ll 1$, então a inversão não é

possível. Daqui em diante,

$$s = \left| \frac{\partial Y}{\partial X_p} \right| \quad (\text{a2})$$

será referenciado como a função de sensibilidade. Para reduzir as chances desta ocorrência negativa quando $\left| \frac{\partial Y}{\partial X_p} \right| \ll 1$, é usada uma técnica especial

10 que maximiza a função de sensibilidade s . Outro objetivo da presente técnica é quantificar $\frac{\partial Y}{\partial X_p}$ a fim de obter uma estimativa de $\frac{dX_p}{dt}$. Esta primeira

técnica é melhorada pela utilização de um método para escolher a frequência de comutação de modo que o valor máximo da função de sensibilidade seja alcançado. De acordo com uma segunda técnica (que é muito próxima a primeira técnica, e onde os parâmetros elétricos variáveis prévios são agora mantidos constantes e o parâmetro elétrico previamente constante agora é variável), alguma(s) variável (is) elétrica(s) mensurável (is) (potência, corrente, fator de potência etc.) é (são) mantida(s) constante(s) e a frequência de comutação é observada. A derivada da frequência manterá um valor relativamente constante diferente de zero durante o processo de aquecimento.

20 Neste caso, a derivada da frequência mudará de acordo com a mudança de potência térmica entre os elementos que compõem o sistema (bobina, panela, conteúdo etc.). Através da monitoração desta derivada da frequência, é obtida a informação com respeito ao estado da massa térmica. Como exposto anteriormente para a primeira técnica esta informação é apenas qualitativa não é possível inferir, por exemplo, a temperatura de qualquer elemento que compõe o sistema (por exemplo, a temperatura da panela e/ou seu conteúdo). É claro que todos os comentários que foram propostos para descre-

ver a primeira técnica e seus limites são verdadeiros também para esta segunda técnica se "variável (is) elétrica(s)" e "potência da bobina" são substituídas por "frequência de comutação". A sensibilidade neste caso é derivada da frequência de comutação com respeito ao estado térmico da panela, neste caso a sensibilidade é uma função de muitas variáveis (por exemplo, qualquer variável elétrica que é relacionada à panela tal como potência da bobina, a panela e seu afastamento com relação à bobina, o estado térmico X_p da panela etc.).

Uma terceira técnica usa ou uma série temporal de comutação de frequência (ou seja, um conjunto de frequências aplicadas que são uma função do tempo), ou uma série temporal de valores alvo (ou seja, um conjunto de valores alvo que são uma função do tempo), ou uma combinação de ambos. Um exemplo possível desta terceira técnica pode ser uma combinação de ambas primeira e segunda técnicas através da manutenção da frequência constante alguns momentos e manutenção dos valores alvo constantes ou variando em outros momentos. Neste cenário, qualquer derivada pode ser uma indicação de um estado térmico que alcança um certo nível. Através da monitoração destas derivadas, é obtida a informação qualitativa com respeito ao estado da massa térmica.

Em outras palavras, as três técnicas acima são capazes de determinar qualitativamente características de temperatura/térmicas (ou seja, pode ser feito reconhecimento com respeito a uma temperatura característica tal como fervura de água ou controlar a temperatura a um valor desconhecido). Entretanto, estas técnicas falham em oferecer uma estimativa quantitativa dos valores térmicos. Por este motivo, a presente invenção propõe métodos adicionais.

O método proposto de acordo com a invenção melhora qualquer das três técnicas descritas de diferentes formas:

- O método fornece uma forma de estimar o estado térmico X_p (ou seja, a temperatura da panela) para monitorar e/ou controlar o dito estado (por exemplo, detecção de panela vazia, detecção de fervura em seco, detecção de fervura...)

• O método é capaz de compensar a ação do controle: no caso da segunda técnica acima, por exemplo, sistema de controle de ciclo fechado muda a frequência de comutação de acordo com a potência/corrente/outro(s) parâmetro(s) de medição, consequentemente toda perturbação que afeta a variável controlada é refletida na variável de controle (neste caso frequência) em que deste modo afeta a robustez do sistema. O método da invenção é capaz de compensar estas variações, fornecer uma estimativa do estado térmico que não depende destas interferências.

• O método é capaz de compensar variação de ponto de partida: se o usuário muda o ponto de partida (por exemplo, a potência no caso da segunda técnica acima), o método da invenção é capaz de ajustar a nova requisição.

• Para a primeira técnica acima, o método da invenção fornece uma forma de selecionar o parâmetro de controle (a frequência de comutação). Para a segunda técnica, o mesmo fornece uma forma de selecionar a(s) variável(is) elétrica(s) que é(são) usada(s) como alvo no controle (por exemplo, a potência na bobina, a corrente, o fator de potência etc.). Para a terceira técnica (que é uma função das primeiras duas técnicas), o mesmo fornece as vantagens de ambas a primeira e a segunda técnicas. Ao usar o método de acordo com a invenção, a abordagem tradicional de entender $\frac{dX_p}{dt}$ não é apenas melhorada, mas também o mesmo pode obter a melhor estimativa de X_p através da obtenção do valor no qual a sensibilidade está em seu máximo. Sumarizando, o método de acordo com a invenção melhora a estimativa de $\frac{dX_p}{dt}$ bem como fornece a melhor estimativa de X_p .

• A partir do conhecimento de X_p o método pode ser usado para estimar outros valores térmicos (por exemplo, temperatura do conteúdo da panela, temperatura da bobina, temperatura do vidro etc.)

• O método fornece uma forma para detectar o instante em que é alcançado o status de fervura (no caso do conteúdo da panela ser um líquido (por exemplo, água)).

• O método fornece uma forma para detectar o instante em que o conteúdo da panela seca e, como consequência, desligar a energia forne-

cida.

- O método fornece uma forma de manter um status térmico particular (ou seja, temperatura da panela).

- O método fornece uma forma para estimar a temperatura do líquido dentro da panela, que compensa sua quantidade.

- O método fornece uma forma para detectar o instante da fervura, que compensa a quantidade de líquido.

Mesmo se o método de controle de acordo com a presente invenção for primariamente para aplicações em fogões de mesa ou similar, o mesmo também pode ser usado em fornos de indução.

Vantagens e características adicionais do método de acordo com a invenção ficarão claros a partir da descrição detalhada a seguir, com referência aos desenhos em anexo, nos quais:

A figura 1 é um diagrama de potência vs. frequência que mostra a potência absorvida vs. potência de comutação IGBT no início (linha sólida) e no fim (linha pontilhada) de uma fase de aquecimento de panela;

A figura 2 é um diagrama que mostra a temperatura da água (linha sólida) e da panela que a contém (linha pontilhada) vs. o tempo ao longo do processo de aquecimento por indução;

A figura 3 mostra os tempos da sequência de acordo com a invenção;

A figura 4 é um fluxograma que mostra como o método de acordo com a invenção trabalha;

A figura 5 é um diagrama que mostra a diferença de potência entre "varreduras" (como definido a seguir) vs. frequências de comutação IGBT;

A figura 6 mostra um diagrama da potência medida vs. tempo; e

A figura 7 mostra uma comparação entre a temperatura real (medida) da panela e a temperatura estimada de acordo com o método da invenção, com referência ao exemplo mostrado.

A fim de alcançar as metas expostas previamente de estimativa térmica qualitativa, são necessárias três ferramentas principais:

1. Um modelo térmico
2. Um conjunto de medições (que será referenciado como uma "varredura")

3. Um modelo termo-elétrico

5

O Modelo Térmico

No fogão de mesa de indução, existem diferentes escolhas de variáveis nas quais se representa um modelo térmico (por exemplo, massa, temperatura, entalpia, entropia, energia interna etc.). Dependendo da complexidade desejada, o estado térmico pode consistir em uma ou muitas destas variáveis. Estas variáveis (as quais são ligadas a panela e/ou ao conteúdo da panela) podem ser usadas para relacionar diretamente valores elétricos e valores térmicos. Em consideração ao próximo exemplo, admite-se que X representa uma matriz de variáveis associada com o fogão de mesa. Um modelo térmico é um conjunto de equações que depende dos estados térmicos descritos previamente e variáveis de entrada adequadas.

15

A seguir é representado um possível modelo térmico do sistema.

X_c = Variável(is) relacionada(s) com as propriedades térmicas do conteúdo da panela;

X_i = Variável(is) relacionada às propriedades térmicas de todos os elementos no modelo que interagem no sistema, por exemplo, panela, bobina, vidro etc. (excluindo o conteúdo da panela);

20

p = uma quantidade de parâmetros térmicos;

u = variável(is) de entrada para o modelo (ou seja, potência fornecida na bobina e/ou corrente na bobina e/ou Tensão na rede etc.).

$$\text{Modelo Térmico} \begin{cases} \frac{dX_c}{dt} = f_c(X_i, X_c, p) \\ \frac{dX_i}{dt} = f(X_i, X_c, u, p) \end{cases} \quad (I)$$

25

Neste modelo, pode ser observado que a dinâmica do conteúdo da panela (X_c) é uma função dos outros estados térmicos (X_i), dos estados do conteúdo da panela (X_c), e de uma quantidade de parâmetros térmicos (p). Adicionalmente, a dinâmica dos elementos individuais no sistema (X_i = tudo excluído o conteúdo da panela) são funções do restante dos elementos

no sistema (X_c e X_i), bem como das entradas do sistema (ou seja, potência na bobina), e uma quantidade de parâmetros térmicos.

Por exemplo: no caso onde o conteúdo da panela é água, o estado do conteúdo da panela (X_c) pode ser descrito através de 2 parâmetros (ou seja, temperatura da água e massa da água/...).

É assumido que os parâmetros dos quais o modelo depende, (parâmetros p) são valores conhecidos.

A(s) Varredura(s)

Uma varredura é definida como uma série de medições elétricas.

Uma varredura tem que ser rápida o suficiente de modo que toda medição elétrica ocorra com mudança próxima à zero na temperatura do sistema (ou seja, uma varredura tem que ser muito mais rápida do que a dinâmica térmica mais rápida do sistema). Uma varredura consiste em um número inteiro n de medições elétricas (Y) (assumindo-se n = quantidade de medições), cada uma das quais é feita a um valor elétrico particular (z). Existem muitas opções para as quais valores elétricos podem ser usados (por exemplo, frequência de comutação, potência, corrente etc. ou qualquer combinação). Têm que haver n destes valores elétricos. Nesta definição, $n \geq 2$. Para sumarizar, uma varredura fornece uma série de medições elétricas (pelo menos duas) na qual pode ser assumido que as variáveis térmicas do sistema são constantes.

Uma varredura é pelo menos dois conjuntos de n números:

$$\begin{array}{c|c} z & Y \\ \hline z_1 & Y_1 \\ z_2 & Y_2 \\ \vdots & \vdots \\ z_n & Y_n \end{array} \quad n \geq 2 \quad (II)$$

Os dados de varredura (II) podem ser utilizados de várias formas adicionalmente ao uso dos valores de medição reais. Alguns exemplos são interpolações, ou ajustam um modelo baseado na informação de varredura. Como resultado, uma função de varredura pode ser definida $SW(t; z)$. A notação $SW(t; z)$ indica que uma varredura tem que ser realizada no tempo t . Além disso, z indica os valores da(s) variável (is) elétrica(s) independente e

Y representa os valores da(s) medição (ões) elétrica(s) consequente(s) (como exposto anteriormente, uma varredura pode armazenar mais do que uma variável elétrica - por exemplo, potência e tensão da rede). Por exemplo, z (a variável independente) pode ser um conjunto de n frequências de comutação diferentes e Y (a(s) variável(is) dependente(s)) pode(m) ser o(s) conjunto(s) de potências e/ou correntes, e/ou outros parâmetros elétricos medidos na bobina àquelas frequências definidas em z . Entretanto, as correntes, potências, ou outros parâmetros elétricos podem ser usados como o valor z a frequência de comutação medida como o valor Y (por exemplo, no caso de sistema de ciclo fechado).

Deve ser observado aqui que a quantidade de medições feitas em cada varredura não tem que ser uma quantidade constante. Adicionalmente, as varreduras não têm que conter os mesmos valores z (por exemplo, a primeira varredura pode conter duas medições tomadas em z_1 e z_2 , e a segunda varredura pode conter três medições tomadas em z_4 , z_5 , z_6 , onde os valores z podem ser ou não iguais uns aos outros). Com referência a figura 1, que mostra um exemplo de duas varreduras, potência é a medição elétrica avaliada. Por esta razão, a primeira técnica definida acima é considerada, entretanto, é igualmente plausível medir frequência e usar a segunda técnica, ou alguma combinação de variáveis e usar a terceira técnica. Ao considerar apenas a primeira técnica, uma comparação de medições de potência é feita entre varreduras (ou seja, determina como as medições de potência da varredura 1 se comparam com as medições de potência da varredura 2).

25 **O Modelo Eletro-Térmico (ou eletromagnético-térmico)**

Até agora, foi definido o seguinte: um modelo térmico, as idéias de uma varredura e sensibilidade. A próxima etapa é relacionar variáveis elétricas às variáveis térmicas da panela X_p (definidas como um subconjunto de componente(s) de X_i , cada uma relacionada a uma panela). Matematicamente falando, a meta é identificar uma equação de modo que X_p possa ser representado como uma função de medição(ões) elétrica(s) e alguma quantidade de parâmetros conhecidos.

Y = pelo menos uma das variáveis eletromagnéticas medidas já introduzidas na definição de varredura. Atualmente pode haver um modelo onde a variável elétrica magnética estimada é $w \neq Y$, mas um relacionamento conhecido $w = F(Y)$ liga o valor de w ao valor de Y . É óbvio que através de uma simples redefinição de w através da equação $w = F(Y)$, é possível passar do caso geral para o caso específico descrito aqui. Por este motivo, será assumido agora que o modelo eletromagnético-térmico fornece uma estimativa do mesmo Y disponível através das varreduras. O exemplo mostrará o caso mais geral, onde $w \neq Y$

10 k = Algum conjunto de N parâmetros
 X_p = Variáveis térmicas da panela de modo que $X_p \in X_i$
 Modelo termo-elétrico $Y = g(X_p, k)$ (III)

As equações acima no modelo Termo-Elétrico definem um relacionamento entre a eletromagnética e a termodinâmica do sistema. A meta é descobrir os valores que compreendem k de modo que estas equações possam ser usadas para resolver X_p simplesmente fazendo medição(ões) elétrica(s). A próxima etapa é entender e utilizar a física térmica do sistema a fim de obter estes valores k .

O Método

20 Em geral X_p pode ser estimado (e em consequência, o estado do conteúdo da panela X_c também pode ser estimado) de duas formas, em que cada uma delas sofre limitações:

1. Através da integração do modelo térmico descrito acima. O problema é que o estado da comida (X_c , o estado do conteúdo da panela) é desconhecido no início. Ou seja, a condição inicial das equações (I) não é completamente conhecida. Em geral isto tem um grande impacto na "boa qualidade" da estimativa. Por exemplo: se é assumido que há água dentro da panela, mesmo se a temperatura inicial pudesse ser conhecida, o desconhecimento da massa de água introduz uma grande interferência e consequentemente uma grande incerteza na estimativa. Como resultado, esta abordagem se torna impraticável.

2. Através da inversão do modelo eletromagnético-térmico.

Neste caso o problema é que os k parâmetros, que são necessários para resolver a(s) equação (ões) (III), são desconhecidos.

O método de acordo com a invenção combina ambos os métodos 1 e 2, em que desta forma supera os problemas e limitações de cada um deles individualmente.

O método usa (I) e (II) de uma forma particular a fim de estimar os parâmetros K .

Duas pressuposições são introduzidas às quais podem ser consideradas muito gerais e razoáveis na maior parte dos casos:

Pressuposição 1: A termodinâmica da panela é mais rápida do que a termodinâmica do conteúdo da panela (Por exemplo: Fase 1 na figura 2).

Pressuposição 2: Os valores térmicos iniciais do fogão de mesa e os elementos que interagem com o fogão de mesa são conhecidos.

Para entender o significado da Pressuposição 1, tem que se considerar, por exemplo, o caso no qual o conteúdo da panela é água. A figura 2 mostra a temperatura da água sendo aquecida no fogão de mesa ($T_{\text{água}}$ - linha sólida) e a temperatura da panela na mesma escala de tempo (T_{pot} - linha pontilhada). Ao quebrar a figura 2 em três fases, pode ser visto que a Fase 1 consiste em dinâmica muito rápida (T_{pot} aumenta muito rapidamente na primeira fase comparada a T_{water}): esta é a fase de aquecimento da panela. Na Fase 2, a massa térmica total (panela e água) aquece a taxas muito similares (existe uma correlação muito próxima entre as inclinações de T_{water} e T_{pot} na Fase 2). O mesmo pode ser dito da Fase 3 que corresponde ao tempo em que a água está fervendo. Este comportamento mostra que a pressuposição 1 é razoável neste caso.

Se considerar-se o modelo térmico descrito previamente, pode ser visto que na Fase 1 a equação que descreve as variáveis térmicas do conteúdo da panela (X_c) pode ser ignorada como resultado da Pressuposição 1. Isto significa que o modelo térmico pode ser simplificado (mostrado abaixo), desconsiderando as equações que se referem ao conteúdo da panela (somente durante a primeira fase). O modelo simplificado pode descre-

ver o processo de aquecimento de algum elemento que interage com o fogo de mesa durante a Fase 1.

$$\frac{dX_i}{dt} = f(X_i, X_c \approx const, u, p) \quad (Ia)$$

Na maior parte dos casos, esta simplificação é válida (ou seja, a dependência do conteúdo da panela pode ser desconsiderada porque $X_c \approx const$). Na Fase 1, o modelo pode ser assumido como sendo o seguinte:

$$\frac{dX_i}{dt} = f(X_i, u, p)$$

Como resultado da Pressuposição 2, este modelo pode ser integrado (numericamente ou analiticamente dependendo do caso). O resultado desta integração é o seguinte:

$$X_i(t) = F(X_i(t_0), u(t), p)$$

Devido à $X_p \in X_i$, pode-se expressar o seguinte:

$$X_p(t) = F(X_p(t_0), u(t), p) \quad (Ib)$$

Agora, os valores de X_i (e X_p) podem ser estimados a cada tempo durante a primeira fase.

Agora se define Δt_{PHASE1} para representar o tempo de duração da Fase 1. Pode ser assumido que este intervalo de tempo é um valor conhecido baseado em informação anterior. Com esta informação, é realizada uma série de varreduras:

<i>time</i>	<i>Sweep</i>	
t_1	$SW(t_1; z)$	$M \geq 2$
t_2	$SW(t_2; z)$	
$\vdots$	$\vdots$	
t_M	$SW(t_M; z)$	

(IV)

Onde

$$t_1 < t_2 < \dots < t_M < \Delta t_{fase1}$$

O período de tempo ($\Delta t = t_M - t_1$) é o tempo entre a primeira e a última varredura. Este intervalo de tempo tem que ser escolhido corretamente para assim garantir que os efeitos térmicos observados são da panela e não do conteúdo aquecendo (ou seja, a varredura final tem que ser comple-

tada antes da Fase 2 começar, porque quando a Fase 2 começa as características térmicas do conteúdo da panela não são mais desprezíveis). Pode ser observado que a quantidade de medições não tem que ser constante entre varreduras (por exemplo, a varredura 1 pode ter uma quantidade diferente de medições da varredura 2, varredura 3 etc.).

Entre cada par de varreduras contíguas, qualquer tipo de estratégia de controle pode ser aplicado. Em outras palavras, entre duas varreduras contíguas $SW(t_j; n) \rightarrow SW(t_{j+1}; n)$ durante o intervalo de tempo $t_{j+1} - t_j$, pode ser usada qualquer estratégia, por exemplo:

- 10- ciclo aberto (que é frequência de comutação constante);
- ciclo fechado (fechado na potência e/ou corrente e/ou fator de potência e/ou outros parâmetros elétricos, adicionalmente, o alvo pode ser qualquer função do tempo);

O relacionamento expresso em (IV) pode ser integrado como descrito em (Ib). Este resultado fornece a estimativa dos estados térmicos X_p da panela a cada instante no qual tenha sido realizada uma varredura:

<i>time</i>	<i>Sweep</i>	X_p		
t_1	$SW(t_1; z)$	$X_p(t_1)$	$M \geq 2$	(V)
t_2	$SW(t_2; z)$	$X_p(t_2)$		
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$		
t_M	$SW(t_M; z)$	$X_p(t_M)$		

Onde, novamente

$$t_1 < t_2 < \dots < t_M < \Delta t_{FASE1}$$

Neste ponto o modelo térmico (ferramenta 1) e a varredura (ferramenta 2) são utilizados na Fase 1 onde a interferência causada pelo conteúdo da panela é limitado (Pressuposição 1). Isto permite coletar um conjunto de medições como reportado em (V). Este conjunto de medições pode ser usado para identificar o parâmetro k do modelo termo-eletromagnético (ferramenta 3), pelo uso de qualquer algoritmo conhecido na literatura (por exemplo, mínimos quadrados). De fato, o Y fica disponível através das varreduras e o estado térmico da panela X_p fica disponível através da estimativa. O resultado final é a identificação de parâmetros k na equação (III) como função de z (a variável independente usada nas varreduras):

$$Y = g[X_p, k(z)] \quad (\text{VI})$$

Este modelo não depende da fase, porque o mesmo representa um relacionamento entre apenas as variáveis térmicas da panela e variáveis eletromagnéticas. Assumindo que é possível inverter com alguma ferramenta matemática e/ou numérica, o resultado é:

$$X_p = h[Y, k(z)] \quad (\text{VII})$$

- 5 A equação (VII) representa o fato de que o método de acordo com a invenção fornece uma forma para estimar o estado térmico X_p (por exemplo, a temperatura da panela). Uma vez que a equação (VII) é resolvida, a mesma pode ser usada para estimar o estado térmico do conteúdo da panela, através da combinação da mesma com o modelo térmico (Ia) usado na Fase 2:

$$\begin{aligned} \frac{dX_i}{dt} &= f(X_i, X_p, X_c, u, p) \quad i \neq p \\ X_p &= h[Y, k(z)] \end{aligned} \quad (\text{Ic})$$

Em outras palavras, é possível livrar-se da parte das equações do modelo térmico que concernem a(s) variável(is) X_p . Então o modelo pode ser reescrito como:

$$\frac{dX_i}{dt} = f(X_i, h[Y, k(z)], X_c, u, p,) \quad i \neq p \quad (\text{Id})$$

- 15 Uma quantidade de equações diferenciais do modelo (Id) é reduzida com respeito ao modelo original (Ia). Além disso, a quantidade de parâmetros dos quais (Id) depende também é menor do que no caso (Ia). Isto significa que a dependência em possíveis incertezas é reduzida.

- 20 Agora, pode-se integrar (numericamente ou analiticamente, dependendo do caso) o modelo (Id) durante a Fase 2, e obter-se a estimativa do estado térmico $X_i \quad i \neq p$ e X_c .

- 25 O método de acordo com a invenção também fornece um procedimento para determinar o(s) parâmetro(s) de controle (ou seja, comutação de frequência e/ou potência e/ou corrente e/ou fator de potência e/ou outros parâmetros elétricos) como função do tempo a fim de ter a melhor estimativa de X_p e/ou sua derivada no tempo. De fato, através da equação (VI) a sensibilidade (a2) pode ser avaliada como uma função de z . Sem este procedimento, a sensibilidade não pode ser identificada.

$$s(z) = \left| \frac{\partial Y}{\partial X_P} \right| = \left| \frac{\partial g[X_P, k(z)]}{\partial X_P} \right| \quad (VIa)$$

Portanto, a um certo valor X_p estimado, z pode ser determinado de modo a maximizar a função $s(z)$:

$$z_{control} = \max_z s(z)$$

É importante observar que o valor $z_{control}$ pode ser estimado pelas varreduras. De fato, uma estimativa da derivada mostrada na equação (VIa) pode ser avaliada na Fase 1 com o uso de varreduras juntamente com muitos algoritmos conhecidos na literatura (por exemplo, diferenças finitas). Por exemplo:

$$s(z) = \left| \frac{\partial Y}{\partial X_P} \right| = \left| \frac{\partial g[X_P, k(z)]}{\partial X_P} \right| \propto |Y_M - Y_1|$$

Deste modo através do uso apenas das varreduras e Pressuposição 1, é possível estimar a sensibilidade e em seguida selecionar o melhor conjunto de parâmetro(s) de controle. Em outras palavras, mesmo quando a meta não é estimar o estado térmico da panela (X_p), o método de acordo com a invenção pode ainda ser usado para selecionar os melhores parâmetros de controle como resultado da ferramenta de varredura. Através do uso da ferramenta de varredura descrita previamente, as três técnicas mencionadas acima podem ser aperfeiçoadas.

Com referência a uma modalidade específica da presente invenção, se inicia a partir da seguinte pressuposição:

- Assumir que o conteúdo da panela é água
- Durante a Fase 1, são realizadas apenas 2 varreduras ($M=2$)
- Durante a Fase 1, o controle mantém potência constante entre as duas varreduras (isto não é necessário: é apenas por causa da simplicidade)
- A primeira varredura é feita em $t_1 = 0$;
- A segunda varredura é feita em $t_2 = \Delta t = t_2 - t_1$

25 O Modelo Térmico

Assumindo que o conteúdo da panela é água, um dos muitos modelos possível pode ser o seguinte:

$$\begin{aligned}
 (1) \frac{dT_{water}}{dt} &= -p_1 \cdot \Delta T \\
 (2) \frac{d\Delta T}{dt} &= -p_2 \cdot \Delta T + p_3 \cdot P_{in}(t) \\
 \Delta T &= T_{pot} - T_{water}
 \end{aligned}$$

Neste modelo particular, as seguintes definições e pressuposições são usadas:

T_w = temperatura da água

T_{pot} = temperatura do recipiente aquecido (panela, frigideira ou semelhante)

5 P_{in} = potência fornecida para a panela

p_1, p_2, p_3 = constantes positivas

Pressuposição 1: A termodinâmica da panela é mais rápida do que a termodinâmica do conteúdo da panela durante a Fase 1 $\rightarrow p_1 \ll p_2$

Pressuposição 2 $\frac{\Delta T_0}{T_{pot0}} = \frac{\Delta T(t=0)}{T_{pot}(t=0)} = 0^\circ\text{C}$: a panela e a água estão inicialmente

10 te à temperatura ambiente.

A equação de estado 2 acima é aproximadamente uma ordem de magnitude mais rápida do que a equação de estado 1 baseado na Pressuposição 1. Isto significa que a Fase 1 pode ser representada exclusivamente pela equação de estado 2 (isto é determinado porque na figura 2 foi visto que na Fase 1 ΔT_{pot} é muito maior do que ΔT_w). Como resultado, a principal interferência no sistema é eliminada durante a Fase 1. Portanto, a versão simplificada do modelo (que é efetiva durante a Fase 1) é como a seguir:

15 visto que na Fase 1 ΔT_{pot} é muito maior do que ΔT_w). Como resultado, a principal interferência no sistema é eliminada durante a Fase 1. Portanto, a versão simplificada do modelo (que é efetiva durante a Fase 1) é como a seguir:

$$\begin{aligned}
 \frac{d\Delta T}{dt} &= -p_2 \cdot \Delta T_{pot} + p_3 \cdot P_{in}(t) \\
 \Delta T_0 &= \Delta T(t=0) = 0^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

20 Com a meta de estimar as temperaturas quantitativamente a partir das medições do sistema eletromagnético, se torna vantajoso utilizar a Fase 1. É possível integrar analiticamente o modelo simplificado:

$$\Delta T(t) = \Delta T_0 \cdot e^{-p_2 t} + p_3 \int_0^t d\tau \cdot e^{-p_2(t-\tau)} P_{in}(\tau) \quad (\text{VII})$$

Por causa da simplicidade, foi assumido que durante a Fase 1 a potência é mantida constante em um nível particular, (este nível é representado por $\bar{P}_{in}$), então a temperatura estimada da panela se torna:

$$\Delta T(t) = \frac{P_3}{P_2} \bar{P}_{in} \cdot (1 - e^{-P_2 \cdot t})$$

E então:

$$T_{pot}(t) = T_{pot0} + \frac{P_3}{P_2} \bar{P}_{in} \cdot (1 - e^{-P_2 \cdot t})$$

Isto é válido apenas durante a Fase 1. Em outras palavras, a última equação corresponde à equação (Ib) neste caso particular.

A(s) Varredura(s)

- 5 Neste momento particular, é assumido que o sistema está em um ciclo aberto e z = frequência de comutação.

Adicionalmente, são escolhidas como variáveis para serem medidas a potência na bobina e a tensão na rede de modo que $Y = (P, V)$ (entretanto são válidas muitas outras escolhas possíveis). Um conjunto de $n =$
 10 10 medições será assumido durante cada varredura. Então, para esta modalidade, a equação geral (III) se torna:

$z = \text{switch.freq.}$	$P = \text{Power}$	$V = \text{Voltage}$	$n = 10 \geq 2$
z_1	P_1	V_1	
z_2	P_2	V_2	
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	
z_n	P_n	V_n	

- Neste caso, as varreduras são construídas por interpolação dos n pontos, entretanto, esta é uma das muitas possibilidades. Além disso, a mesma quantidade de pontos de dados é usada para as duas varreduras (por motivo
 15 de facilidade de notação). É importante observar que não é necessário usar a mesma quantidade de pontos para cada varredura.

A equação (IV) se torna:

$time$	$Sweep$
0	$SW(0; z)$
Δt	$SW(\Delta t; z)$

O Modelo Eletro-Térmico (ou eletromagnético-térmico)

- 20 Considerando a seguinte definição de variável:

$$P_{comp} := P \left(\frac{230}{V} \right)^2$$

Esta definição corresponde à definição de $w = P_{comp} = F(Y)$ variável, como função das variáveis medidas nas varreduras.

Agora, considerando o seguinte modelo eletromagnético-térmico:

$$P_{comp} \propto \left(\frac{|z|}{\cos \phi} \right)^{-1} \approx \frac{k_1}{T_{pot} + k_2}$$

- Estes dois relacionamentos correspondem à equação (III). O modelo eletro-térmico proposto é um de muitos modelos possíveis que liga variáveis térmicas a variáveis elétricas.

Em particular, a ligação nesta modalidade é entre o relacionamento físico da impedância de carga (que é calculada através de medições elétricas) e características térmicas.

10 O Método

A combinação do que foi exposto previamente resulta no seguinte:

time	Power	Voltage	$w = P_{comp} = P \left(\frac{230}{V} \right)^2$	$X_P = T_{pot}$
0	$P(0, z)$	$V(0, z)$	$P_{comp}(0, z) = P(0, z) \left(\frac{230}{V(0, z)} \right)^2$	$T_{pot}(0) = T_{pot0}$
Δt	$P(\Delta t, z)$	$V(\Delta t, z)$	$P_{comp}(\Delta t, z) = P(\Delta t, z) \left(\frac{230}{V(\Delta t, z)} \right)^2$	$T_{pot}(\Delta t) = T_{pot0} + \frac{\rho_3}{\rho_2} \bar{P}_{in} \cdot (1 - e^{-\rho_2 \cdot \Delta t})$

- Agora as duas colunas podem ser usadas para identificar os dois parâmetros k_1 , k_2 , neste caso é muito fácil e pode ser avaliado analiticamente:

$$\begin{aligned} P_{comp}(0, z) &= \frac{k_1}{T_{pot}(0) + k_2} \\ P_{comp}(\Delta t, z) &= \frac{k_1}{T_{pot}(\Delta t) + k_2} \end{aligned} \Rightarrow \begin{aligned} k_1 &= k_1(z) = P_{comp}(0, z) \cdot \left(T_{pot}(0) + \frac{P_{comp}(0, z) \cdot T_{pot}(0) - P_{comp}(\Delta t, z) \cdot T_{pot}(\Delta t)}{P_{comp}(\Delta t, z) - P_{comp}(0, z)} \right) \\ k_2 &= k_2(z) = \frac{P_{comp}(0, z) \cdot T_{pot}(0) - P_{comp}(\Delta t, z) \cdot T_{pot}(\Delta t)}{P_{comp}(\Delta t, z) - P_{comp}(0, z)} \end{aligned}$$

Então o problema é resolvido:

$$T_{pot}(t) = \frac{k_1(z)}{P_{comp}(t, z)} - k_2(z) \quad (VIII)$$

- Esta solução é válida para qualquer tempo t (dentro ou fora da Fase 1) e para qualquer z (nesta modalidade particular, este conceito pode ser explicado pelo fato de que o valor de T_{pot} não tem dependência no valor z , entretanto esta não dependência é um resultado do método e é um ponto

válido em qualquer situação na qual é usado o método de acordo com a invenção).

Em outras palavras, a interferência introduzida por z é compensada na estimativa X_p através da identificação dos k parâmetros como funções próprias de z .

Pela combinação da equação (VII) e (VIII) também pode ser fornecida uma estimativa da temperatura da água durante o processo inteiro (Fase 1 e Fase 2):

$$T_{water}(t) = T_{pot}(t) - \Delta T(t) = \left(\frac{k_1(z)}{P_{comp}(t, z)} - k_2(z) \right) - \left(\Delta T_0 \cdot e^{-p_2 \cdot t} + p_3 \int_0^t d\tau \cdot e^{-p_2 \cdot (t-\tau)} P_{in}(\tau) \right)$$

Portanto se estima a temperatura da água sem um conhecimento preciso do parâmetro p_1 . Isto significa que as incertezas sobre uma parte do modelo térmico são compensadas. Nesta modalidade particular, o parâmetro p_1 depende da massa de água que é uma variável desconhecida do processo.

Neste ponto tem que ser mostrado nesta modalidade simples como selecionar os parâmetros de controle para serem determinados a fim de ter o melhor desempenho de estimativa. Como explicado anteriormente, uma vez que se identifica os k parâmetros, pode-se avaliar facilmente a equação (VIa), que se torna:

$$s(t, z) = \left| \frac{\partial Y}{\partial X_p} \right| = \left| \frac{\partial P_{comp}[T_{pot}(t), z]}{\partial T_{pot}(t)} \right| = |k_1(z)| \left(\frac{1}{T_{pot}(t) + k_2(z)} \right)^2$$

Assim, a um certo x_p estimado, o z pode ser determinado de forma a maximizar a função $s(t, z)$ com respeito a z

$$z_{control} = \max_z s(z)$$

Mas é muito mais fácil adotar o outro método já descrito. Pode ser estimada a função da sensibilidade na Fase 1 através de uma comparação entre as duas varreduras. Em particular, com o uso da definição simplificada de sensibilidade:

$$s(z) = |P_{comp}(0, z) - P_{comp}(\Delta t, z)|$$

Nesta modalidade, a frequência na qual ocorre este máximo ΔP_{comp} será chamada (f_0) (vide figura 5). O valor de (f_0) corresponde à fre-

quência na qual a sensibilidade é a maior. Usar os valores com maior sensibilidade resulta em erro reduzido nas estimativas.

Exemplo

- De acordo com a modalidade descrita acima, é fornecido juntamente um exemplo baseado no experimento real. Este experimento foi realizado através do uso de uma panela comercial (Lagostina) que foi levemente modificada. Antes de realizar o teste, foi feito um furo cego no fundo da panela e foi introduzido um termopar neste furo para assim estar completamente imerso no metal da vasilha. O conteúdo da panela era água. O termopar não estava em contato com a água. Então para ter um cálculo simplificado, assumiu-se trabalhar com a abordagem descrita na primeira técnica durante a Fase 2 (frequência constante).

O modelo térmico

$$\begin{aligned}\frac{dT_{water}}{dt} &= -p_1 \cdot \Delta T \\ \frac{d\Delta T}{dt} &= -p_2 \cdot \Delta T + p_3 \cdot P_{in}(t) \\ \Delta T &= T_{pot} - T_{water}\end{aligned}$$

é definido por um dos seguintes conjuntos de parâmetros:

- 15 $p_1 = desconhecido$
 $p_2 = 1e-2$
 $p_3 = 1,033e-3$

Em seguida se trabalhará em ciclo aberto, assumindo-se que a variável z introduzida previamente é a frequência de comutação f , ou seja, $z = f(1)$.

- 20 A primeira varredura foi realizada em $t = 0$ [s] em ciclo aberto em 13 valores de frequência de comutação diferentes, medindo-se

1. a potência fornecida (na bobina)
2. a tensão (no conversor)

em seguida a potência compensada $P_{comp} = P \left(\frac{230}{V} \right)^2$ é avaliada:

frequency [kHz]	Power [W]	Voltage [V]	P_{comp} [W]
50	304	234	293,7
40	416	230	416,0
35	528	229	532,6

frequency [kHz]	Power [W]	Voltage [V]	P _{comp} [W]
30	800	227	821,3
29	928	223	987,2
28	1056	225	1103,5
27	1232	220	1346,5
26	1504	223	1599,9
25	1792	216	2031,8
24	2352	218	2618,1
23	2991	225	3126,5
22	3696	233	3601,4
21	3984	239	3689,6

(2)

Em seguida, o ciclo de controle fornece uma potência constante por 20 [s]. A potência alvo neste exemplo particular foi determinada como $P = 2000$ [W]:

$$\Delta t = 20[s]$$

$$\bar{P}_{in} = 2000[W]$$

(3)

- 5 Depois de 20 segundos (ou seja, $\Delta t = 20[s]$) a segunda varredura foi realizada:

frequency [kHz]	Power [W]	Voltage [V]	P _{comp} [W]
50	288	235	275,9
40	384	231	380,7
35	480	230	480,0
30	736	227	755,6
29	832	224	877,2
28	960	225	994,3
27	1120	221	1213,1
26	1360	223	1446,7
25	1632	217	1833,4
24	2144	219	2364,8
23	2768	225	2892,4

frequency [kHz]	Power [W]	Voltage [V]	P_{comp} [W]
22	3472	233	3383,2
21	3904	239	3615,5

(4)

Neste ponto a curva de sensibilidade é avaliada
 $s(f) = |P_{comp}(0, f) - P_{comp}(\Delta t, f)|$

frequency [kHz]	$s(f) = P_{comp}(0, f) - P_{comp}(\Delta t, f) $
50	17,82
40	35,32
35	52,62
30	65,70
29	110,01
28	109,17
27	133,47
26	153,18
25	198,43
24	253,27
23	234,07
22	218,27
21	74,09

(5)

5 O máximo da curva de sensibilidade é selecionado $f_0 = 24$ [kHz]

$$f_0 = 24[\text{kHz}]$$

Para este valor, se têm das duas varreduras os seguintes valores:

$$P_{comp}(0, 24[\text{kHz}]) = 2618.1[\text{W}]$$

$$P_{comp}(\Delta t, 24[\text{kHz}]) = 2364.8[\text{W}]$$

(6)

A temperatura da panela no fim da Fase 1 é avaliada de acordo

10 com:

$$\Delta T(\Delta t) = \frac{P_3}{P_2} \bar{P}_{in} \cdot (1 - e^{-P_2 \cdot \Delta t}) = \frac{P_3}{P_2} \bar{P}_{in} \cdot (p_2 \cdot \Delta t + O(p_2 \cdot \Delta t)^2) \approx p_3 \bar{P}_{in} \Delta t \quad p_2 \cdot \Delta t = 0.2 \ll 1$$

Então

$$\Delta T(\Delta t) \approx p_3 \bar{P}_{in} \Delta t = 41.32^\circ$$

Assumindo-se que $T_{pot}(0) = 25^\circ$, se tem

$$T_{pot}(0) = 66.32^\circ \text{ C}$$

(7)

Os parâmetros $k_1 = k_1(24[\text{kHz}])$, $k_2 = k_2(24[\text{kHz}])$ são avaliados:

$$k_1 = P_{comp}(0,24[\text{kHz}]) \cdot \left(T_{pot}(0) + \frac{P_{comp}(0,24[\text{kHz}]) \cdot T_{pot}(0) - P_{comp}(\Delta t, 24[\text{kHz}]) \cdot T_{pot}(\Delta t)}{P_{comp}(\Delta t, 24[\text{kHz}]) - P_{comp}(0,24[\text{kHz}])} \right) = 2618.1 \cdot \left(25 + \frac{2618.1 \cdot 25 - 2364.8 \cdot 66.32}{2364.8 - 2618.1} \right) = 1.0099\text{e6}$$

$$k_2 = \frac{P_{comp}(0,24[\text{kHz}]) \cdot T_{pot}(0) - P_{comp}(\Delta t, 24[\text{kHz}]) \cdot T_{pot}(\Delta t)}{P_{comp}(\Delta t, 24[\text{kHz}]) - P_{comp}(0,24[\text{kHz}])} = \frac{2618.1 \cdot 25 - 2364.8 \cdot 66.32}{2364.8 - 2618.1} = 360.76$$

(8)

A equação (VIII) agora é conhecida em cada valor do tempo (t

5 $\geq \Delta t$)

$$T_{pot}(t) = \frac{k_1}{P_{comp}(t, 24[\text{kHz}])} - k_2 \quad (\text{VIIIb})$$

Neste exemplo particular, durante a fase 2 a potência tem que ser avaliada em $f_0 = 24[\text{kHz}]$. Mas, como explicado antes, pode ser generalizado para o caso onde a frequência de comutação é variável (ver figura 6).

Na figura 7, é feita uma comparação entre a temperatura estimada e real da panela.

10

REIVINDICAÇÕES

1. Método para controlar um sistema de aquecimento por indução, particularmente um sistema de aquecimento por indução de um fogão de mesa no qual um utensílio para cozinhar é colocado com um certo conteúdo com o propósito de aquecer/cozinhar, que compreende as etapas de:
- 5 — realizar uma quantidade n predeterminada de medições elétricas de um primeiro parâmetro elétrico do sistema de aquecimento com base em um valor elétrico predeterminado de um segundo parâmetro elétrico, em que $n \geq 2$,
- 10 — repetir o conjunto de medições acima em um tempo predeterminado depois das primeiras medições, e
- estimar pelo menos um parâmetro térmico do sistema de aquecimento, particularmente do conteúdo do utensílio de cozinhar, com base no conjunto de medições acima.
- 15 2. Método, de acordo com a reivindicação 1, em que a etapa de estimar pelo menos um parâmetro térmico do sistema de aquecimento compreende o uso de um modelo térmico e de um modelo eletro-térmico.
3. Método, de acordo com a reivindicação 2, em que o mesmo compreende integrar o modelo térmico através do uso de pelo menos dois
- 20 dos ditos conjuntos de medições e inverter o modelo eletro-térmico.
4. Método, de acordo com a reivindicação 1, em que o primeiro parâmetro é selecionado no grupo que consiste em potência, corrente, tensão, fator de potência ou derivadas ou combinações dos mesmos, e o segundo parâmetro elétrico é a frequência de comutação do sistema de aque-
- 25 cimento por indução.
5. Método, de acordo com a reivindicação 1, em que o primeiro parâmetro é a frequência de comutação do sistema de aquecimento por indução e o segundo parâmetro elétrico é selecionado no grupo que consiste em potência, corrente, tensão, fator de potência ou derivadas ou combina-
- 30 ções do mesmo.
6. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, em que as medições do primeiro parâmetro acima são realizadas

em um pequeno tempo em que pode ser assumido que os parâmetros térmicos do sistema de aquecimento são constantes.

7. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, em que o segundo parâmetro elétrico é escolhido como função do tempo a fim de ter a melhor estimativa do parâmetro térmico em termos de sensibilidade.

8. Sistema de aquecimento por indução, particularmente sistema de aquecimento por indução de um fogão de mesa, no qual um utensílio para cozinhar é colocado com um certo conteúdo para o propósito de aquecer/cozinhar, que compreende um circuito de controle eletrônico adaptado para executar uma quantidade n de medições elétricas predeterminada de um primeiro parâmetro elétrico do sistema de aquecimento com base em um valor elétrico predeterminado de um segundo parâmetro elétrico, em que $n \geq 2$, repete o conjunto de medições acima em um tempo predeterminado depois das primeiras medições, e estima pelo menos um parâmetro térmico do sistema de aquecimento, particularmente do conteúdo do utensílio para cozinhar, com base no conjunto de medições acima.

9. Sistema de aquecimento por indução, de acordo com a reivindicação 8, em que o circuito de controle eletrônico embute um algoritmo com um modelo térmico e um modelo eletro-térmico de um sistema de aquecimento.

10. Sistema de aquecimento por indução, de acordo com a reivindicação 8, em que o modelo térmico é como a seguir:

$$\begin{cases} \frac{dX_c}{dt} = f_c(X_i, X_c, p) \\ \frac{dX_i}{dt} = f(X_i, X_c, u, p) \end{cases}$$

em que:

25 X_c = variável (is) relacionada(s) às propriedades térmicas do conteúdo do utensílio para cozinhar;

X_i = variável (is) relacionada(s) às propriedades térmicas de todos os elementos no modelo que estão interagindo no sistema, por exemplo, utensílio para cozinhar, bobina de indução etc. (excluindo o conteúdo do utensílio pa-

ra cozinhar);

p = uma quantidade dos parâmetros térmicos;

u = variável(is) de entrada para o modelo (ou seja, potência fornecida à bobina e/ou corrente na bobina e/ou tensão na rede etc.).

- 5 11. Sistema de aquecimento por indução, de acordo com a reivindicação 9 ou 10, em que o modelo térmico é como a seguir:

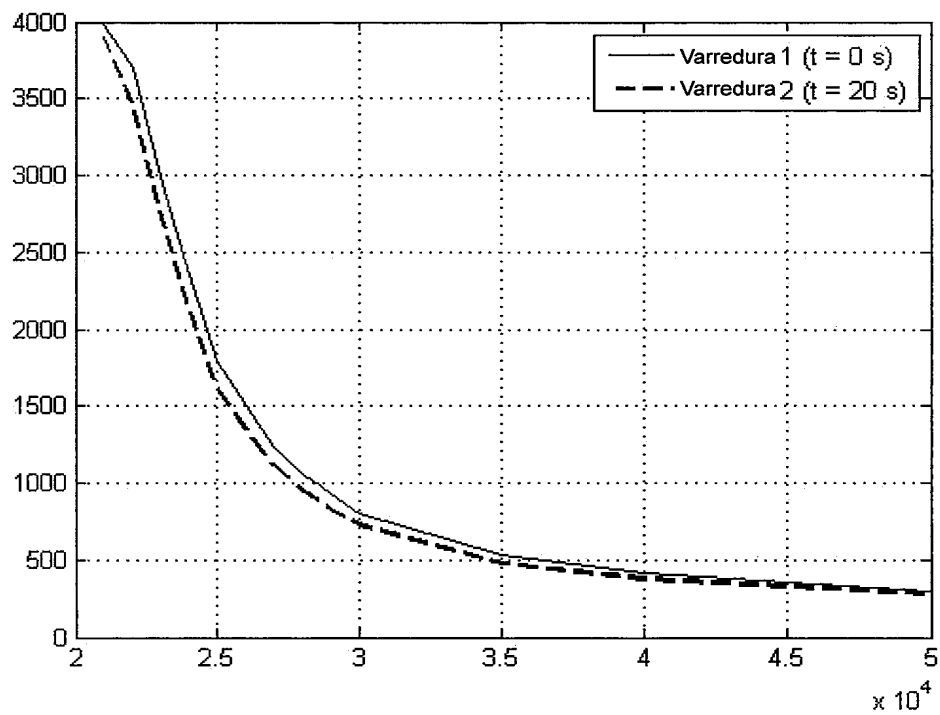
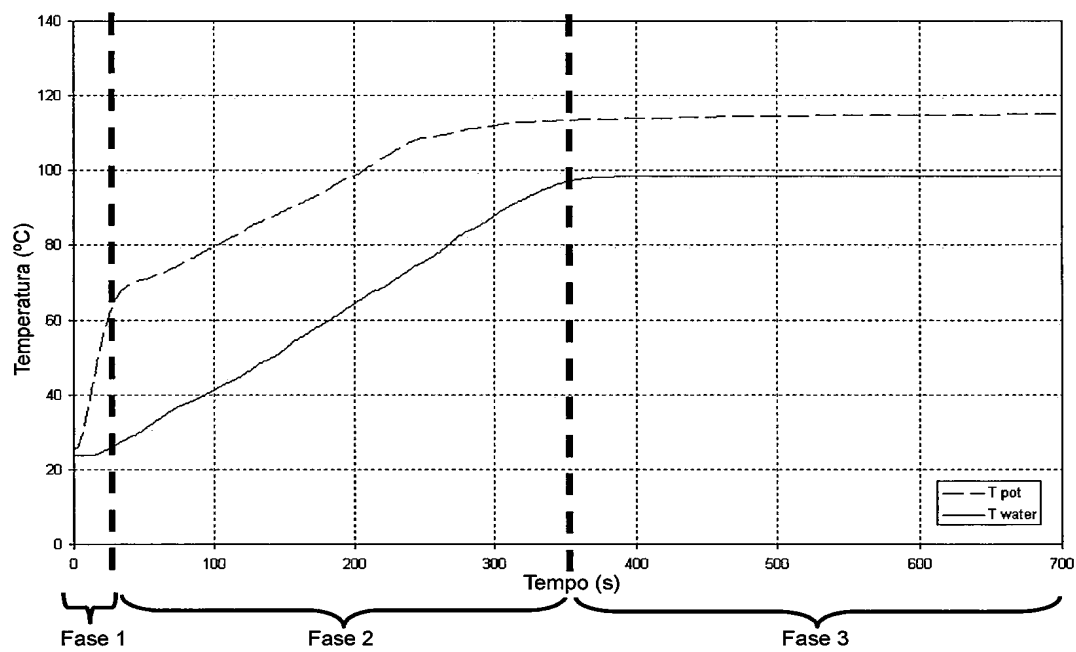
$$Y = g(X_p, k)$$

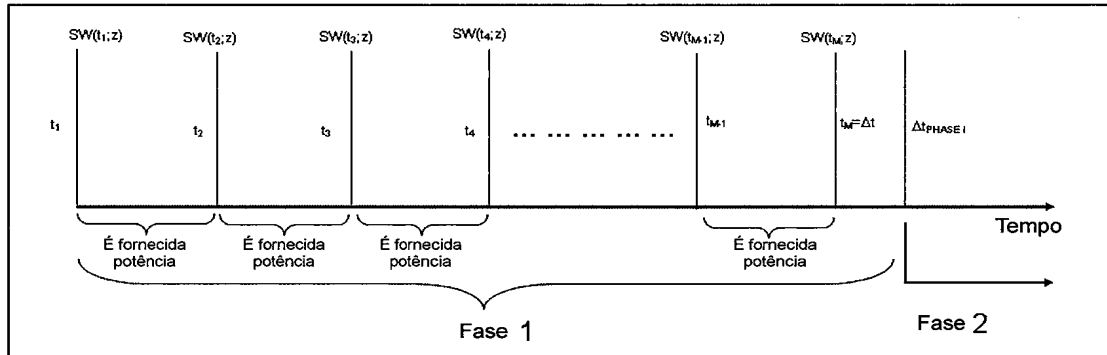
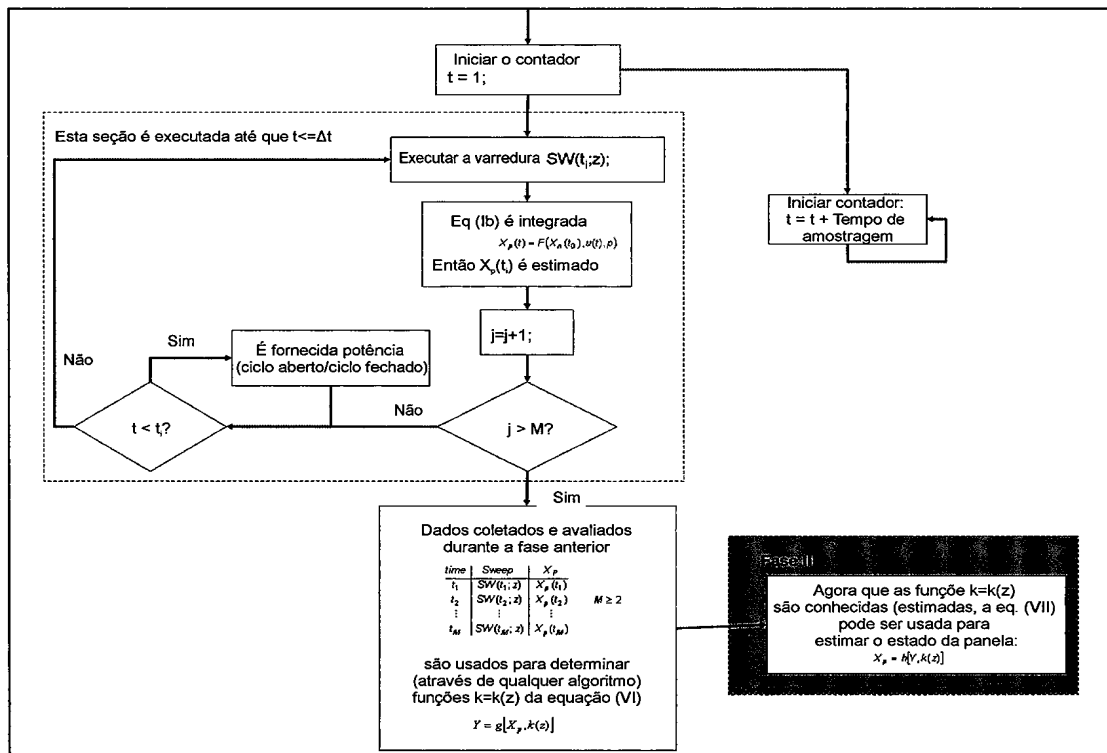
k = um conjunto de parâmetros N

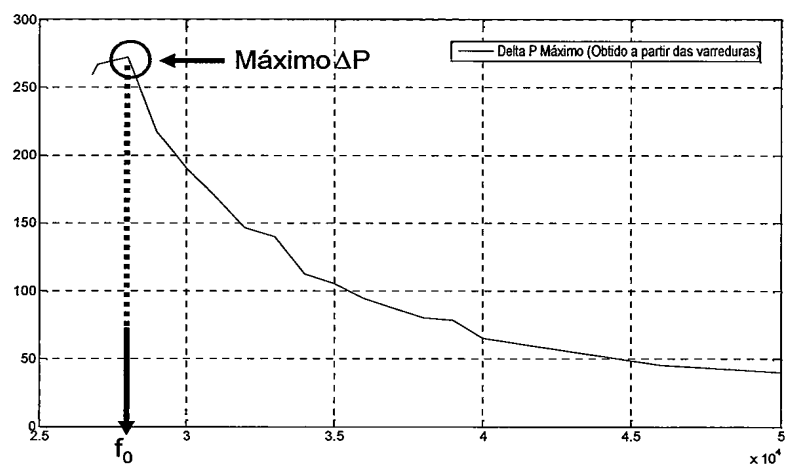
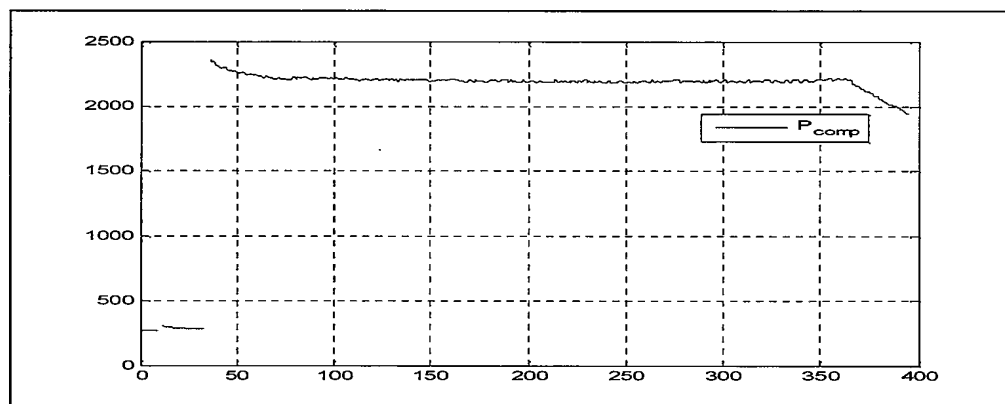
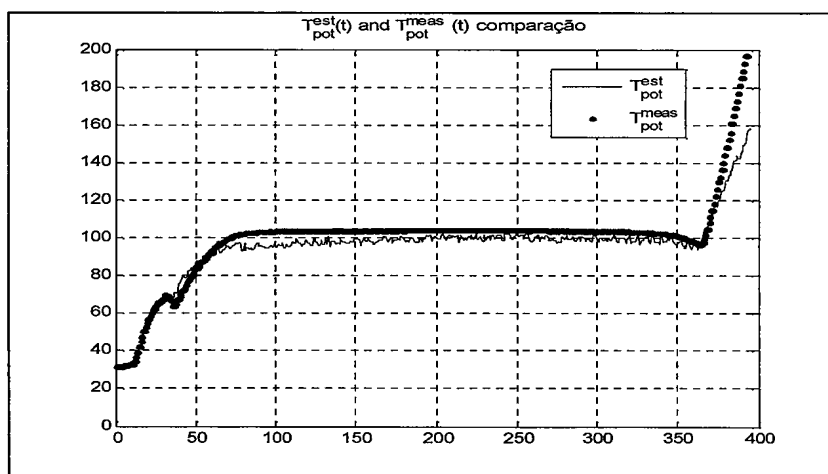
X_p = variáveis térmicas da panela

- 10 e térmicas da panela

e Y é o primeiro parâmetro elétrico.

**Fig.1****Fig.2**

**Fig.3****Fig.4**

**Fig.5****Fig.6****Fig.7**

RESUMO

Patente de Invenção: **"MÉTODO PARA CONTROLAR UM SISTEMA DE AQUECIMENTO POR INDUÇÃO"**.

A presente invenção refere-se a um método para controlar um sistema de aquecimento por indução, em particular um sistema de aquecimento por indução de um fogão de mesa no qual é colocado um utensílio para cozinhar com um certo conteúdo com o propósito de aquecer/cozinhar, que compreende as etapas de executar uma quantidade n predeterminada de medições elétricas de um primeiro parâmetro elétrico do sistema de aquecimento com base em um valor elétrico predeterminado de um segundo parâmetro elétrico, em que " n " é ≥ 2 , repete o conjunto de medições acima em um tempo predeterminado depois das primeiras medições, e estima pelo menos um parâmetro térmico do sistema de aquecimento, particularmente do conteúdo do utensílio de cozinhar, com base no conjunto de medições acima.