

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

(21) **PI0904996-7 A2**

(22) Data de Depósito: 01/12/2009
(43) Data da Publicação: 08/02/2011
(RPI 2092)



(51) *Int.Cl.:*
H05B 6/02
F24C 7/00

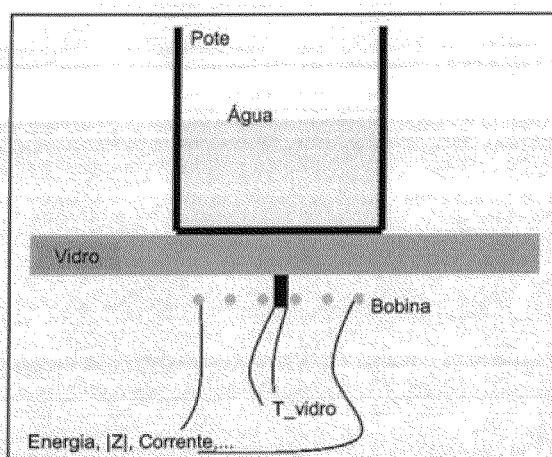
(54) Título: **MÉTODO PARA CONTROLAR O SISTEMA DE AQUECIMENTO POR INDUÇÃO DE UM DISPOSITIVO DE COZIMENTO**

(30) Prioridade Unionista: 02/12/2008 EP 08 170515.4

(73) Titular(es): Teka Industrial S.A., Whirlpool Corporation

(72) Inventor(es): Alessandro Boer, Davide Parachini, Diego Neftali Gutierrez, Francesco Del Bello, Gianpiero Santacatterina, Jurij Paderno

(57) Resumo: MÉTODO PARA CONTROLAR O SISTEMA DE AQUECIMENTO POR INDUÇÃO DE UM DISPOSITIVO DE COZIMENTO. A presente invenção refere-se a um método para controlar um sistema de aquecimento por indução de um dispositivo de cozimento fornecido com uma bobina de indução, para controlar particularmente em conexão com uma condição de funcionamento predeterminada, que compreende medir o valor de pelo menos um parâmetro elétrico do sistema de aquecimento por indução, alimentar um modelo de computação com sinais de frequência de comutação real, a fim de estimar uma temperatura indicativa do estado térmico do sistema de aquecimento e fornecer um valor estimado do dito parâmetro elétrico, e comparar o parâmetro elétrico medido com aquele estimado e ajustar o modelo de computação com base em tal comparação.





PI0904996-7

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

5 A presente invenção refere-se a um método para controlar um sistema de aquecimento por indução de um fogão fornecido com uma bobina de indução, particularmente para controlar em conexão com uma condição de funcionamento predeterminada.

10 Mais especificamente, a invenção refere-se a um método para estimar a temperatura de um utensílio de cozimento colocado no fogão e a temperatura do alimento contido no mesmo, bem como a massa alimentícia.

Com o termo "sistema de aquecimento" entende-se somente a bobina de indução, o circuito de acionamento da mesma e a placa de cerâmica vítrea ou similar, em que o utensílio de cozimento é colocado, mas também o utensílio de cozimento propriamente dito, o conteúdo de alimento
15 do mesmo e qualquer elemento do sistema. Na verdade, nos sistemas de aquecimento por indução é quase impossível fazer uma distinção entre o elemento de aquecimento, em um lado, e o utensílio de cozimento, no outro lado, desde que o utensílio de cozimento propriamente dito seja uma parte ativa do processo de aquecimento.

20 A necessidade crescente de desempenho de fogões em preparação de alimentos é refletida na maneira que a tecnologia está mudando a fim de satisfazer as exigências do consumidor.

As soluções técnicas relacionadas com a avaliação do derivado de temperatura de utensílio de cozimento ou "pote" são conhecidas da EP-A-1732357 e EP-A-1420613, mas nenhuma descreve uma estimativa quanti-
25 tativa da temperatura do pote.

Informações sobre algoritmos referentes à estimativa de estado (Recursive Least Square, Filter Kalman, Extended Kalman Filter [EKF], etc.) estão disponíveis em literatura científica; nenhuma delas se refere a uma
30 aplicação industrial focalizada em dispositivos de cozimento por indução.

É um objetivo da presente invenção fornecer um método de acordo com o qual a temperatura do pote/ou do alimento contido no mesmo

pode ser avaliada em uma maneira segura, particularmente com referência a uma condição de aquecimento em que a temperatura tem que ser mantida substancialmente constante (condução de ebulição ou similar).

De acordo com a invenção, o objetivo acima é alcançado graças
5 aos aspectos listados nas reivindicações anexas.

O método de controle de acordo com a presente invenção é usado para estimar a temperatura do pote, panela ou chapa (no seguinte indicado simplesmente como "pote"), usado no fogão de indução, o estado termodinâmico do alimento dentro do pote (massa e temperatura/entalpia, entropia/energia interna/etc.) e a temperatura da bobina de indução pelo conhecimento de uma frequência de comutação do sistema de aquecimento por indução e de pelo menos outro parâmetro elétrico medido do sistema de aquecimento por indução.
10

Em geral, a segurança de estimativa (grosseiramente tal segurança poderia ser assumida como uma função da diferença entre o valor real e o valor estimado) fica cada vez melhor quando o número de medições elétricas disponíveis aumenta.
15

De acordo com a invenção, nenhuma restrição é imposta na maneira em que a(s) frequência(s) de comutação, na qual a(s) medição(ões) elétrica é(são) obtida(s), é(são) escolhida(s). A temperatura de pote estimada pode ser usada, por exemplo, para monitorar ou controlar a dita temperatura. A temperatura de alimento estimada pode ser usada, por exemplo, para monitorar ou controlar a dita temperatura ou fase de cozimento (como detecção de ebulição, controle de ebulição, particularmente no caso em que o alimento é água ou tipos de líquido similares). A massa alimentícia estimada poderia ser usada, por exemplo, para monitorar ou controlar a fase de cozimento. A temperatura de bobina estimada poderia ser usada, por exemplo, para evitar danos devido ao superaquecimento. Os parâmetros de um circuito elétrico simplificado equivalente que descreve o comportamento do processo são úteis para estimar a temperatura do pote, para detectar uma falta de correspondência dinâmica, e a qualidade do pote também.
20
25
30

Outro objetivo da presente invenção é fornecer um método que

não somente permite avaliar a temperatura do pote ou do alimento contido no mesmo (e eventualmente sua massa), mas também que seja capaz de compensar diferentes fatores de ruído. Alguns fatores de ruído que podem afetar a estimativa são, por exemplo, a temperatura de pote/alimento inicial e massa de alimento inicial, a flutuação de voltagem da rede elétrica, as tolerâncias/desvios dos componentes, o uso de potes diferentes e os movimentos possíveis do pote a partir de sua posição original.

Aspectos adicionais e vantagens de acordo com a presente invenção tornar-se-ão mais claros a partir da descrição detalhada seguinte com referência aos desenhos anexos em que:

- a figura 1 é uma vista esquemática de um fogão de indução;
- a figura 2 é um esboço mostrando como funciona o modelo de acordo com a invenção;
- a figura 3 é uma vista esquemática de um circuito elétrico de um modelo equivalente possível;
- a figura 4 mostra uma da implementação possível do método de acordo com a invenção;
- a figura 5 mostra um diagrama comparando os valores real e estimado da resistência equivalente do circuito primário;
- a figura 6 é uma figura similar à figura 5 e se refere a uma comparação entre os valores de temperatura real e estimado do pote;
- a figura 7 é similar à figura 5 e mostra a comparação com e sem compensação de voltagem; e
- a figura 8 é similar à figura 6 e mostra a comparação com e sem compensação de voltagem.

Com referência à figura 2, o método compreende uma (ou mais) medição elétrica de um parâmetro elétrico, um modelo matemático que fornece pelo menos uma estimativa da medição(ões) elétrica e uma ou mais temperaturas como uma função da frequência de comutação, e qualquer tipo de algoritmo que ajusta on-line o modelo matemático em função da diferença entre parâmetros elétricos estimada e medida

O ajuste on-line do modelo representa uma maneira de compensar:

a incerteza do estado inicial - isto é, se o modelo é baseado em equações diferenciais, o estado inicial da solução é exigido, mas poderia ser desconhecido;

5 erros de medição - medições são normalmente afetadas por ruídos;

incertezas de modelo - isto é, cada modelo é uma representação simplificada da realidade e assim é sempre afetado por "incertezas de modelo".

10 A capacidade em compensar as incertezas e erros acima vem de um modelo baseado na abordagem que combina o modelo e o ajuste do mesmo por um retrocesso na diferença entre predição e medidas. Muitos algoritmos estão disponíveis na literatura para solucionar estes tipos de problemas (Recursive Least Square, Kalman Filter, Extended Kalman Filter [EKF]) e, portanto nenhuma descrição detalhada destes é necessária aqui.

15 Como o efeito da temperatura do pote é usualmente apreciável somente em um pequeno subconjunto dos parâmetros de modelo, o ajuste on-line do algoritmo pode ser dividido em duas etapas. Na primeira etapa, parte dos parâmetros de modelo (eventualmente todos ou nenhum deles) são ajustados com base em um primeiro conjunto de dados; na segunda
20 etapa somente o subconjunto de parâmetros de modelo que são afetados por variações de temperatura, são ajustados com base nos dados coletados durante a fase de cozimento.

Para aperfeiçoar os desempenhos deste método, a primeira etapa do ajuste on-line pode ser repetida durante o processo de cozimento
25 sempre que uma modificação no processo é detectada (por exemplo, quando um falta de correspondência de pote é detectada), fornecendo assim a oportunidade de compensar ruídos detectáveis.

Como uma consequência da abordagem descrita acima, uma implementação possível do método de acordo com a invenção é como segue.
30

Exemplo

- a corrente que circula na bobina de indução (i) é medida;

- o modelo matemático simplificado descrito pelas equações diferenciais seguintes (Eq.1) e mostrado na figura 3 é usado;

- a fim de completar o método proposto neste exemplo, o Extended Kalman Filter é usado como algoritmo de ajuste on-line.

5 O modelo proposto neste exemplo é descrito pelas equações diferenciais seguintes (Eq.1), na qual o sufixo "p" representa o circuito primário (isto é, a bobina de indução, e os capacitores) e o sufixo "s" representa o circuito secundário (isto é, o pote de metal). Estas equações são um exemplo da relação entre a voltagem de entrada, a corrente no circuito primário e
10 a corrente no circuito secundário:

$$\begin{cases} L_p \frac{di_p}{dt} + M \frac{di_s}{dt} + R_p i_p + \frac{1}{C} \int i_p(\tau) d\tau = V_{IN}(t, f) \\ M \frac{di_p}{dt} + L_s \frac{di_s}{dt} + R_s i_s = 0 \\ R_s = R_0 (1 + \alpha(T_{pote} - T_0)) \end{cases} \quad (\text{Eq.1})$$

onde:

- $C \rightarrow$ capacitância equivalente do circuito primário;
- $R_p \rightarrow$ resistência equivalente do circuito primário;
- $L_p \rightarrow$ autoindutância equivalente do circuito do circuito primário;
- 15 rio;
- $L_s \rightarrow$ autoindutância equivalente do circuito do circuito secundário;
- $M \rightarrow$ indutância mútua equivalente;
- $R_s \rightarrow$ resistência equivalente do circuito secundário;
- 20 - $V_{in} \rightarrow$ voltagem de entrada do circuito primário;
- $i_p \rightarrow$ corrente circulante no circuito primário;
- $i_s \rightarrow$ corrente circulante no circuito secundário;
- $R_0 \rightarrow$ resistência equivalente do circuito primário quando
- $T_{pote} = T_0$;
- 25 - $T_{pote} \rightarrow$ Temperatura do fundo do pote;
- $T_0 \rightarrow$ Temperatura de referência
- $\alpha \rightarrow$ Parâmetro adimensional

O modelo fornece uma estimativa de diferentes variáveis elétricas de interesse (neste caso i_p, i_s), pelo menos uma das quais deve ser mensurável (i_p), e a estimativa da temperatura do pote ($\hat{T}_{pote}$), e usa a frequência de comutação f . Para a estimativa on-line dos parâmetros de modelo é possível tirar vantagem das medidas que estão normalmente disponíveis no dispositivo. Por simplicidade, no resto da descrição da invenção será assumido ter a medida da raiz quadrada média da corrente que circula na bobina (i_p); no entanto, um processo análogo pode ser usado tendo diferentes medidas elétricas ou diferentes pontos de medição.

10 Como um resultado, o esboço geral mostrado na figura 2 pode ser modificado como na figura 4, onde o elemento "K" representa a Matriz Kalman.

Neste modelo, a temperatura do pote está afetando somente o parâmetro R_s ; portanto o ajuste on-line do algoritmo neste caso pode ser dividido em duas etapas:

15 parte dos parâmetros de modelo - C, R_p, L_p, L_s, M e R_s - (eventualmente todos ou nenhum deles) são ajustados com base em um primeiro conjunto de dados;

somente o subconjunto de parâmetros de modelo que são afetados por variações de temperatura - R_s - é ajustado com base nos dados coletados durante a fase de cozimento.

20 Teoricamente, os parâmetros C, R_p e L_p devem ser conhecidos pelo fabricante, mas as tolerâncias/desvios dos componentes e a imprecisão do modelo exigem normalmente uma estimativa on-line destes parâmetros junto com M, L_s e R_s . No entanto, se o erro resultante é tolerado, alguém poderia pular a primeira parte do ajuste on-line assumindo que todos os parâmetros são conhecidos.

No presente exemplo, na primeira etapa do ajuste on-line, todos os parâmetros de modelo foram otimizados usando um algoritmo de busca de linha com base em seis aquisições em seis frequências diferentes. Na 30 segunda etapa do ajuste on-line, o parâmetro foi sintonizado com um filtro Kalman usando a corrente adquirida a uma frequência conhecida que pode

mudar eventualmente durante o processo de cozimento.

Embora os parâmetros otimizados sejam diferentes daqueles reais (conforme figura 5), como pode ser visto na figura 6, a temperatura do pote é estimada corretamente. Neste caso particular, o modelo não é capaz de compensar o erro de temperatura de estado inicial, mas o uso de um modelo mais sofisticado, que leva em conta também a dinâmica térmica do alimento, pode fazer este tipo de compensação.

Os resultados do exemplo prévio podem ser aperfeiçoados introduzindo a medição de voltagem.

Em um exemplo adicional, os desvios de voltagem de entrada de 230 V rms no começo da simulação para 232,3 V rms (1% em 100) no fim enquanto todos os outros parâmetros de simulação são iguais àqueles do exemplo prévio. Como mostrado na figura 7 e figura 8, em que os resultados obtidos sem e com o uso da informação de voltagem são comparados, a variação de voltagem pode ser compensada somente se esta informação está disponível.

Como está claro, a partir da descrição acima, a presente invenção pode ser usada para aperfeiçoar os desempenhos de um fogão de indução, para fornecer mais informação sobre o estado da fase de cozimento e permitir novos aspectos de produto. Em particular os principais benefícios são:

- a temperatura de pote estimada pode ser usada, por exemplo, para monitorar e controlar a dita temperatura;
- a temperatura de alimento estimada pode ser usada, por exemplo, para monitorar ou controlar a dita temperatura ou fase de cozimento (como detecção de ebulição ou controle de ebulição no caso do "alimento" ser "água" ou tipo similar de líquidos);
- conhecendo o tipo de alimento, o modelo de computação é capaz de detectar uma condição de funcionamento ótimo predeterminado, por exemplo, a temperatura ótima para a reação de Maillard (se o alimento é carne ou similar);
- a massa de alimento estimado pode ser usado, por exemplo,

para monitorar ou controlar a fase de cozimento;

- a temperatura de bobina estimada pode ser usada, por exemplo, para impedir danos devido ao superaquecimento; e

- os parâmetros de um circuito elétrico equivalente simplificado
- 5 que descreve o comportamento do processo são úteis para estimar a temperatura do pote, detectar uma falta de correspondência dinâmica e a qualidade do pote.

Mesmo se o método de controle de acordo com a presente invenção é primariamente para aplicações em fogões ou similares, pode ser

10 usado em fornos de indução também.

REIVINDICAÇÕES

1. Método para controlar um sistema de aquecimento por indução de um dispositivo de cozimento fornecido com uma bobina de indução, para controlar particularmente em conexão com uma condição de funcionamento predeterminada, caracterizado pelo fato de que compreende medir o valor de pelo menos um parâmetro elétrico do sistema de aquecimento por indução, alimentar um modelo de computação com sinais de frequência de comutação real, a fim de estimar uma temperatura indicativa do estado térmico do sistema de aquecimento e fornecer um valor estimado do dito parâmetro elétrico, comparar o parâmetro elétrico medido com aquele estimado e ajustar o modelo de computação com base em tal comparação.

2. Método, de acordo com a reivindicação 1, em que a temperatura estimada está relacionada com a temperatura de um utensílio de cozimento associado ao sistema de aquecimento por indução.

3. Método, de acordo com a reivindicação 1, em que a temperatura estimada está relacionada com a temperatura do conteúdo de um utensílio de cozimento colocado no sistema de aquecimento por indução.

4. Método, de acordo com a reivindicação 3, em que o alimento é água ou líquido similar, em que a condição de funcionamento predeterminada é uma condição de ebulição.

5. Método, de acordo com a reivindicação 1, em que conhecendo o tipo de alimento, o modelo de computação é capaz de detectar uma condição de funcionamento predeterminada.

6. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, em que o dito parâmetro elétrico é a corrente que circula no circuito primário do sistema de aquecimento por indução.

7. Método, de acordo com a reivindicação 6, em que um segundo parâmetro elétrico é a voltagem de entrada do circuito primário.

8. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, em que compreende uma primeira etapa na qual o modelo de computação é alimentado com um conjunto de parâmetros elétricos predeterminados e uma segunda etapa na qual o modelo de computação é ali-

mentado somente com os parâmetros elétricos medidos que são afetados pelas variações de temperatura.

9. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, em que o modelo de computação é baseado nas equações diferenciais seguintes:

$$\begin{cases} L_p \frac{di_p}{dt} + M \frac{di_s}{dt} + R_p i_p + \frac{1}{C} \int i_p(\tau) d\tau = V_{IN}(t, f) \\ M \frac{di_p}{dt} + L_s \frac{di_s}{dt} + R_s i_s = 0 \\ R_s = R_0 (1 + \alpha(T_{pote} - T_0)) \end{cases} \quad (\text{Eq.1})$$

onde:

- $C \rightarrow$ capacitância equivalente do circuito primário;
- $R_p \rightarrow$ resistência equivalente do circuito primário;
- $L_p \rightarrow$ autoindutância equivalente do circuito do circuito primário;
- $L_s \rightarrow$ autoindutância equivalente do circuito do circuito secundário;
- $M \rightarrow$ indutância mútua equivalente;
- $R_s \rightarrow$ resistência equivalente do circuito secundário;
- $V_{in} \rightarrow$ voltagem de entrada do circuito primário;
- $i_p \rightarrow$ corrente circulante no circuito primário;
- $i_s \rightarrow$ corrente circulante no circuito secundário;
- $R_0 \rightarrow$ resistência equivalente do circuito primário quando $T_{pote} = T_0$;
- $T_{pote} \rightarrow$ Temperatura do fundo do pote;
- $T_0 \rightarrow$ Temperatura de referência
- $\alpha \rightarrow$ Parâmetro adimensional

10. Dispositivo de cozimento, compreendendo um sistema de aquecimento por indução com uma bobina de indução e um circuito de controle, caracterizado pelo fato de que o circuito de controle compreende um modelo de computação adaptado para ser alimentado com sinais de fre-

- quência de comutação real e fornecer uma temperatura estimada indicativa do estado térmico do sistema de aquecimento por indução e um valor estimado de pelo menos um parâmetro elétrico do sistema de aquecimento por indução, o circuito de controle sendo adaptado para comparar tal parâmetro
- 5 estimado com um real medido, o resultado de tal comparação sendo adaptado para ser usado pelo circuito de controle para ajustar o modelo de computação.

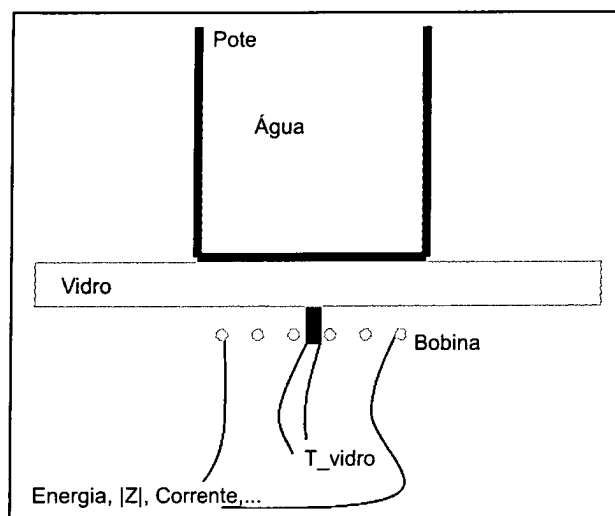


Fig. 1

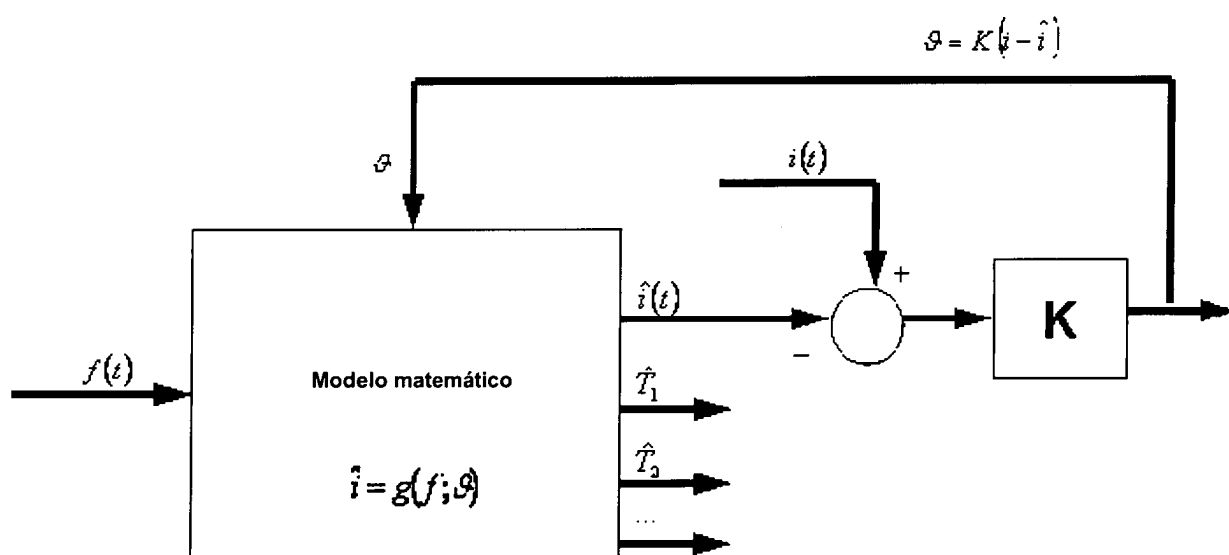


Fig. 2

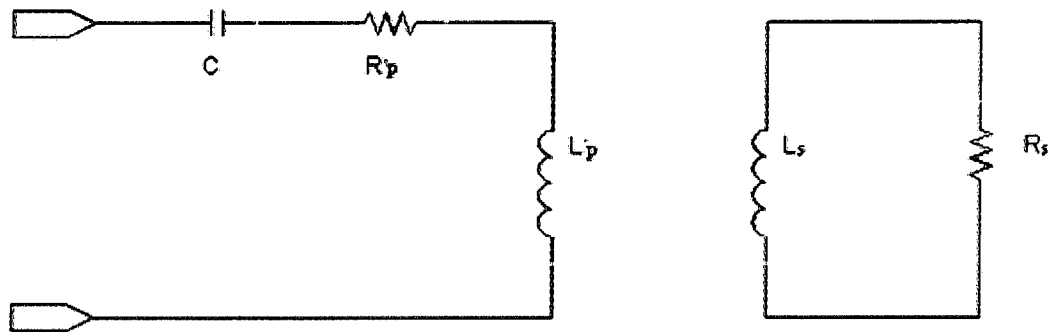


Fig. 3

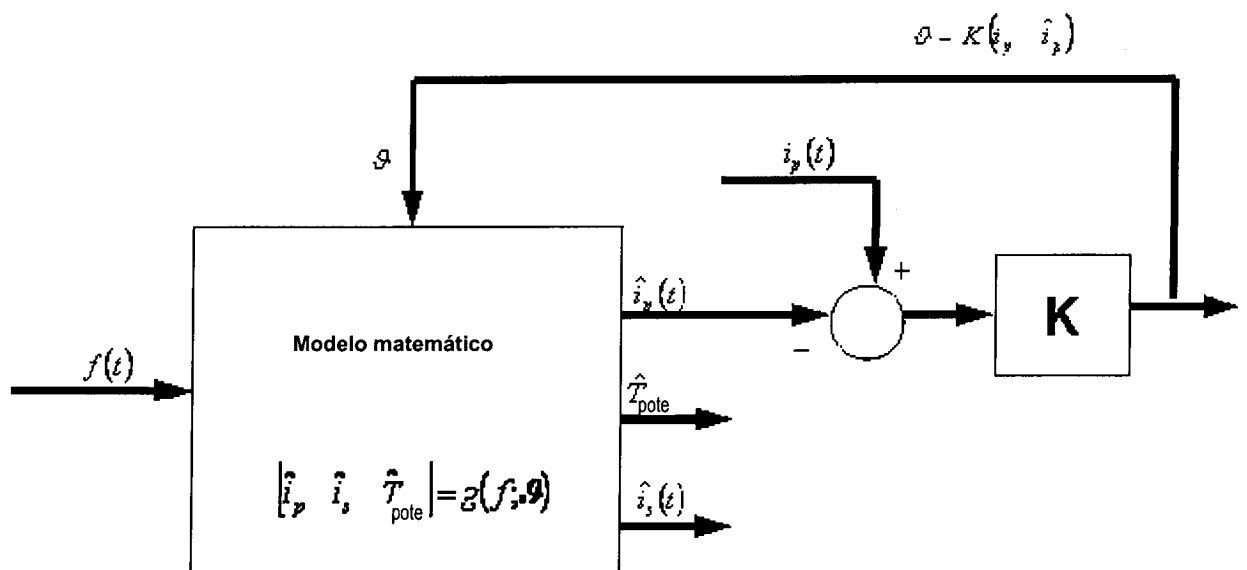
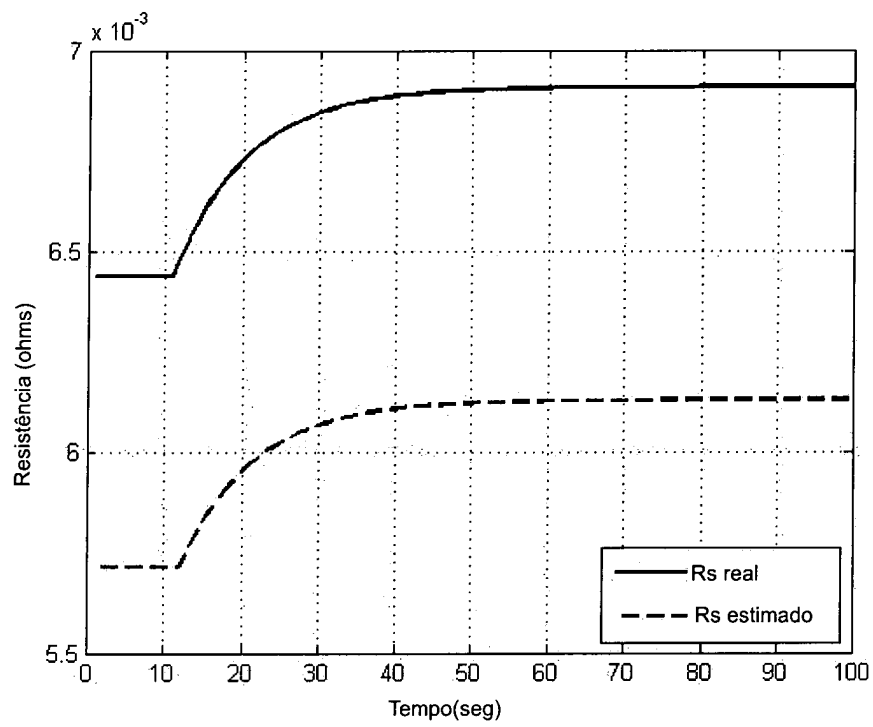
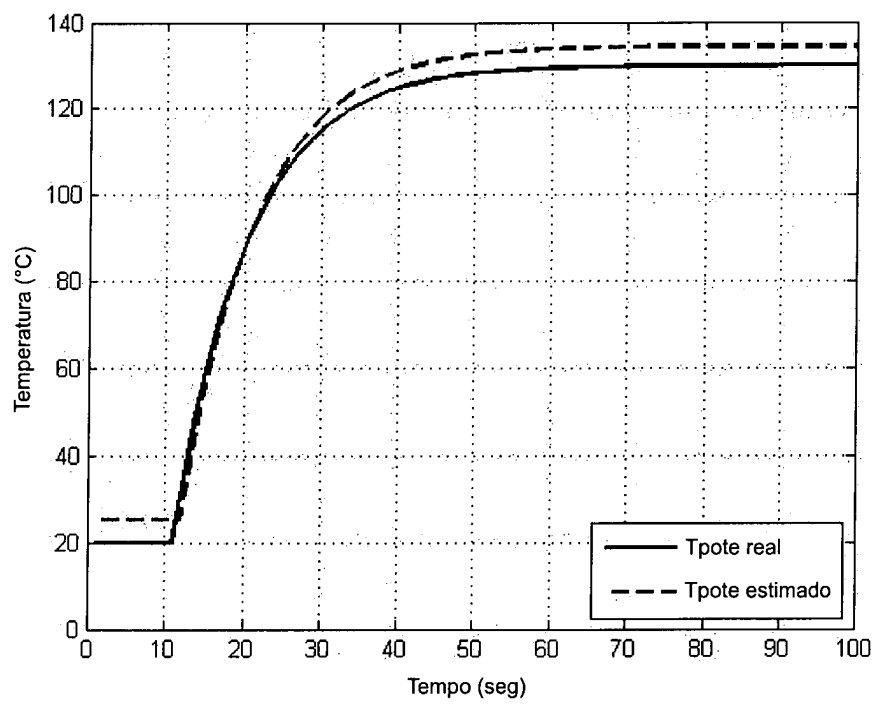
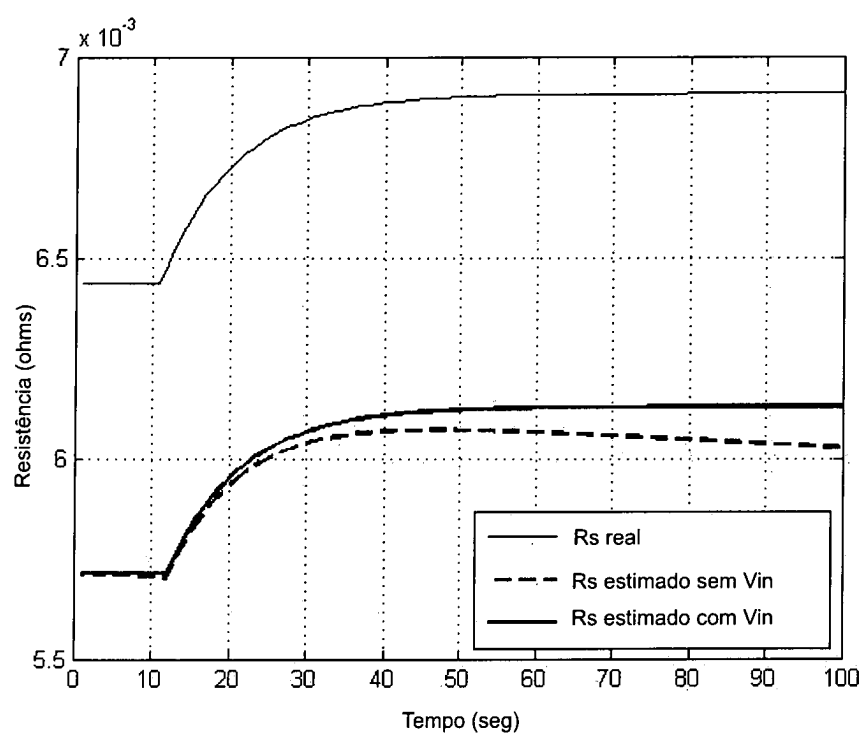
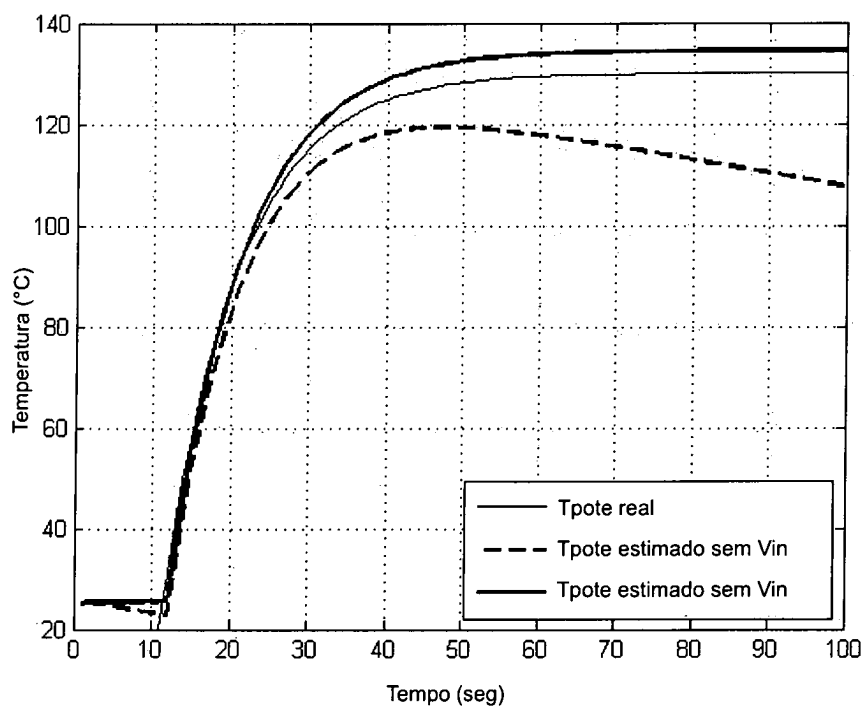


Fig. 4

Fig. 5Fig. 6

Fig. 7Fig. 8

RESUMO

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

5 A presente invenção refere-se a um método para controlar um sistema de aquecimento por indução de um dispositivo de cozimento fornecido com uma bobina de indução, para controlar particularmente em conexão com uma condição de funcionamento predeterminada, que compreende medir o valor de pelo menos um parâmetro elétrico do sistema de aquecimento por indução, alimentar um modelo de computação com sinais de frequência de comutação real, a fim de estimar uma temperatura indicativa do estado térmico do sistema de aquecimento e fornecer um valor estimado do dito parâmetro elétrico, e comparar o parâmetro elétrico medido com aquele estimado e ajustar o modelo de computação com base em tal comparação.

10