

(11) Número de Publicação: **PT 1729542 E**

(51) Classificação Internacional:
H05B 6/06 (2015.01) **H05B 6/02** (2015.01)

(12) FASCÍCULO DE PATENTE DE INVENÇÃO

(22) Data de pedido: 2006.05.26	(73) Titular(es): INDUCTOTHERM CORP. 10 INDEL AVENUE, P.O. BOX 157 RANCOCAS, NEW JERSEY 08073 US
(30) Prioridade(s): 2005.06.01 US 141746	
(43) Data de publicação do pedido: 2006.12.06	
(45) Data e BPI da concessão: 2015.02.25 068/2015	(72) Inventor(es): OLEG S FISHMAN US VLADIMIR V NADOT US
	(74) Mandatário: ALBERTO HERMÍNIO MANIQUE CANELAS RUA VÍCTOR CORDON, 14 1249-103 LISBOA PT

(54) Epígrafe: **AQUECIMENTO DE UMA PEÇA DE TRABALHO POR GRADIENTE DE INDUÇÃO**

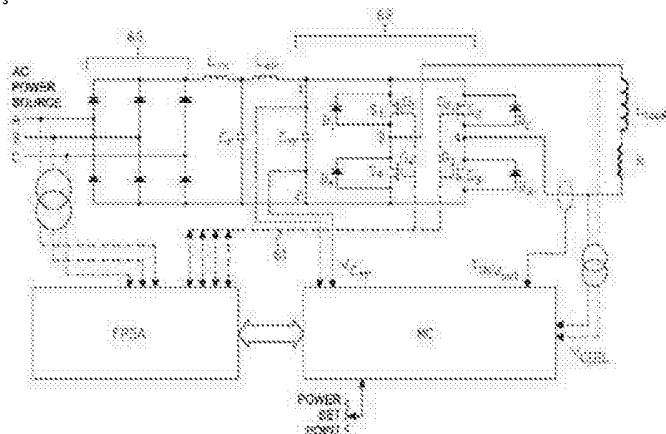
(57) Resumo:

UM APARELHO E PROCESSO SÃO FORNECIDOS PARA O AQUECIMENTO OU FUSÃO DE UMA PEÇA DE TRABALHO POR GRADIENTE DE INDUÇÃO COM UMA PLURALIDADE DE BOBINAS DE INDUÇÃO, CADA UMA DA PLURALIDADE DE BOBINAS DE INDUÇÃO ESTÁ LIGADA A UMA FONTE DE ALIMENTAÇÃO QUE PODE TER UM CONDENSADOR DE AJUSTE LIGADO ATRAVÉS DA ENTRADA DE UM INVERSOR. A PLURALIDADE DE BOBINAS DE INDUÇÃO SÃO SEQUENCIALMENTE DISPOSTAS EM TORNO DA PEÇA DE TRABALHO. O INVERSOR TEM UMA SAÍDA DE POTÊNCIA EM CORRENTE ALTERNADA (AC) COM LARGURA DE PULSO MODULADA QUE PODE ESTAR EM CONTROLO SÍNCRONO COM AS SAÍDAS DE POTÊNCIA EM CORRENTE ALTERNADA (AC) COM LARGURA DE PULSO MODULADA DAS OUTRAS FONTES DE ALIMENTAÇÃO ATRAVÉS DE UMA LINHA DE CONTROLO ENTRE OS CONTROLADORES DE TODAS AS FONTES DE ALIMENTAÇÃO.

RESUMO

"AQUECIMENTO DE UMA PEÇA DE TRABALHO POR GRADIENTE DE INDUÇÃO"

Um aparelho e processo são fornecidos para o aquecimento ou fusão de uma peça de trabalho por gradiente de indução com uma pluralidade de bobinas de indução, cada uma da pluralidade de bobinas de indução está ligada a uma fonte de alimentação que pode ter um condensador de ajuste ligado através da entrada de um inversor. A pluralidade de bobinas de indução são sequencialmente dispostas em torno da peça de trabalho. O inversor tem uma saída de potência em corrente alternada (ac) com largura de pulso modulada que pode estar em controlo síncrono com as saídas de potência em corrente alternada (ac) com largura de pulso modulada das outras fontes de alimentação através de uma linha de controlo entre os controladores de todas as fontes de alimentação.



DESCRIÇÃO

"AQUECIMENTO DE UMA PEÇA DE TRABALHO POR GRADIENTE DE INDUÇÃO"

Campo da Invenção

A presente invenção diz respeito ao aquecimento de uma peça de trabalho por gradiente de indução controlado.

Antecedentes da Invenção

É vantajoso aquecer certas peças de trabalho a um gradiente de temperatura ao longo de uma dimensão da peça. Por exemplo, uma peça cilíndrica de alumínio, ou lingote, que passa por um processo de extrusão é geralmente aquecida a uma temperatura mais elevada ao longo da sua secção transversal na extremidade do lingote que é primeiro extrudida através do extrusor do que a secção transversal na extremidade oposta do lingote. Isto é feito pois o processo de extrusão é exotérmico em si e aquece o lingote à medida que passa através do extrusor. Se o lingote for aquecido uniformemente através da sua secção transversal ao longo de todo o seu eixo longitudinal, a extremidade oposta do lingote ficaria sobreaquecida antes da extrusão e sofreria uma deformação por calor suficiente para tornar impossível a extrusão.

Um método de obtenção de aquecimento por

gradiente de indução de um lingote electricamente condutor, tal como um lingote de uma liga de alumínio, ao longo do seu eixo longitudinal é cercar o lingote com bobinas de indução solenoidais sequenciais discretas. Cada bobina está ligada a uma fonte de corrente à frequência da linha de alimentação (ou seja, 50 ou 60 Hertz). A corrente que flui através de cada bobina solenoidal estabelece um campo de fluxo longitudinal em torno da bobina que penetra no lingote e o aquece indutivamente. A fim de alcançar aquecimento gradiente ao longo do eixo longitudinal do lingote, cada bobina em sequência a partir de uma extremidade do lingote até à outra, fornece geralmente uma menor magnitude de corrente (potência) à bobina. Rectificadores controlados de silicone podem ser usados em série com a bobina de indução para atingir correntes ajustáveis na sequência de bobinas.

A utilização da frequência da linha de alimentação constitui uma fonte de corrente simples, mas limita a gama de tamanhos de lingote que pode ser comercialmente aquecida numa tal disposição. A profundidade de penetração (em metros) da corrente de indução é definida pela equação, $503(\rho/\mu F)^{1/2}$, onde ρ é a resistividade eléctrica do lingote em $\Omega \cdot m$; μ é a permeabilidade magnética relativa (adimensional) do lingote; e F é a frequência do campo aplicado. A permeabilidade magnética de um lingote não magnético, tal como alumínio, é 1. O alumínio a 500 °C tem uma resistividade eléctrica de 0,087 $\mu\Omega \cdot \text{metro}$. Portanto, a partir da equação, com F igual a 60 Hz, a

profundidade de penetração pode ser calculada como aproximadamente 19,2 mm, ou cerca de 0,8 polegadas. O aquecimento por indução de um lingote é praticamente conseguido por um processo de "imersão" em vez de tentar aquecer indutivamente a totalidade da secção transversal do lingote de uma só vez. Ou seja, o campo induzido penetra numa parte da secção transversal do lingote, e o calor induzido é deixado irradiar (imersão) para o centro do lingote. Tipicamente, uma profundidade de penetração de campo induzido de um quinto do raio da secção transversal do lingote é reconhecida como uma profundidade de penetração eficiente. Por conseguinte, um lingote de alumínio com um raio de 4 polegadas (102 mm) resulta numa profundidade de penetração óptima de 0,8 polegadas (19,2 mm) com corrente de 60 Hertz. Por conseguinte, a gama de tamanhos de lingote que pode ser eficientemente aquecida por indução com uma frequência única é limitada.

O documento DE-A-3710085 (Asea Brown Boveri) revela um aparelho para aquecimento indutivo de peças de trabalho no qual um inversor para cada um de um número de indutores está ligado por uma respectiva bobina de amortecimento à saída de um rectificador e cada inversor é controlado independentemente dos outros por um circuito de oscilação de carga associado.

O documento WO-A-00/28787 (Inductotherm) revela uma bobina de indução multiseção em torno de um susceptor. Cada uma das secções da bobina é alimentada a partir de uma única fonte de alimentação através de um circuito de

comutação.

Um dos objectivos da presente invenção consiste em proporcionar um aparelho e um método de aquecimento indutivo gradiente de um lingote com uma frequência de corrente que pode ser facilmente alterada para diversos tamanhos de peças de trabalho.

Breve Resumo da Invenção

A presente invenção providencia um aparelho como descrito na reivindicação 1 e um método como descrito na reivindicação 7. Outros aspectos da invenção são estabelecidos nas reivindicações dependentes.

Breve Descrição dos Desenhos

As figuras, em conjunto com a especificação e reivindicações, ilustram uma ou mais maneiras não limitativas de pôr a invenção em prática. A invenção não se limita à disposição ilustrada e conteúdo dos desenhos.

A FIG. 1 é um esquema simplificado que ilustra um exemplo do aparelho de aquecimento ou fusão por indução gradiente da presente invenção.

A FIG. 2 é um esquema simplificado que ilustra uma da pluralidade de fontes de alimentação utilizadas no aparelho de aquecimento ou fusão por indução gradiente da presente invenção.

A FIG. 3 é um gráfico que ilustra os resultados típicos de correntes das bobinas de carga para as variações na tensão de saída do inversor para um exemplo do aquecimento ou fusão por indução gradiente do aparelho da presente invenção.

Descrição Detalhada da invenção

É mostrado na FIG. 1 um exemplo do aparelho de aquecimento por indução gradiente 10 da presente invenção. A peça de trabalho, neste exemplo particular não limitativo, é o lingote 12. As dimensões do lingote na FIG. 1 estão exageradas para mostrar bobinas de indução sequenciais 14a a 14f em torno da peça. A peça de trabalho pode ser qualquer tipo de peça electricamente condutora que requeira aquecimento gradiente ao longo de uma das suas dimensões mas, por conveniência, neste exemplo específico, a peça de trabalho será referida como um lingote e o aquecimento gradiente será alcançado ao longo do eixo longitudinal do lingote. Noutros exemplos da invenção, a peça de trabalho pode ser um material electricamente condutor colocado dentro de um cadrinho, ou um susceptor, que é aquecido para transferir calor para outro material. Nestes exemplos da invenção, as bobinas de indução são dispostas em torno do cadrinho ou susceptor para proporcionar um aquecimento gradiente do material colocado no cadrinho ou no susceptor.

As bobinas de indução de 14a a 14f são mostradas esquematicamente na FIG. 1. Na prática, as bobinas serão bobinas solenoidais com enrolamentos apertados e adjacentes umas às outras com uma separação como necessária para prevenir curto-circuito entre os enrolamentos, o que pode ser atingido pela colocação de um material dielétrico entre as bobinas. Outras configurações de bobina estão contempladas dentro do âmbito da invenção.

Fontes de alimentação com largura de pulso modulada (PWM) - (Sigla em Inglês para Pulse Width Modulation - em Português: Largura de Pulso Modulada) 16a a 16f podem fornecer diferentes valores de corrente rms (Sigla em Inglês para root mean square - em Português: raiz do valor quadrático médio) (alimentação) a bobinas de indução 14a a 14f, respectivamente. Cada fonte de alimentação pode incluir uma fonte de alimentação rectificadora/inversora com um filtro passa-baixo de condensador (C_F) ligado entre a saída do rectificador 60 e um condensador de ajuste (C_{TF}) ligado entre a entrada do inversor 62, como mostrado na FIG. 2, e como revelado no documento "US Patent No. 6,696,770" intitulado: *Induction Heating or Melting Power Supply Utilizing a Tuning Capacitor*. Na FIG. 2, L_{fc} é um filtro de linha opcional e L_{clr} é um reactor limitador de corrente. A saída de cada fonte de alimentação é uma tensão com largura de pulso modulada para cada uma das bobinas de indução.

A FIG. 2 ilustra adicionalmente os detalhes de uma fonte de alimentação típica em que a alimentação não limitativa (linhas designadas A, B e C) a cada fonte de alimentação é de 400 volts, 30 Hertz. O inversor 62 comprehende uma ponte inversora completa utilizando dispositivos de comutação IGBT (Sigla em Inglês para *Isolated Gate Bipolar Transistor* - em português: Transistor Bipolar de Porta Isolada). Noutros exemplos da invenção, o inversor pode ser configurado de outra maneira, como um inversor ressonante ou um inversor utilizando outros tipos

de dispositivos de comutação. O microcontrolador MC fornece um meio para o controlo e para as funções de indicação da fonte de alimentação. Muito pertinente para a presente invenção, o microcontrolador controla os circuitos das portas dos quatro dispositivos de comutação IGBT no circuito da ponte. Neste exemplo não limitativo da invenção, os circuitos das portas são representados por uma matriz de portas de campo programáveis (FPGA) (Sigla em Inglês para *Field Programmable Gate Array* - em Português: Matriz de Portas de Campo Programáveis), e os sinais de *gating* podem ser fornecidos às portas G1 a G4 por uma ligação de fibra óptica (indicada pelas linhas a traço interrompido 61 na FIG. 2). A bobina de indução ligada à saída da fonte de alimentação mostrada na FIG. 2 está representado como a bobina de carga L_{load} . A bobina L_{load} representa uma das bobinas de indução 14a até 14f na FIG. 1. O elemento resistivo, R , na FIG. 2 representa a impedância resistiva do lingote aquecido 12 que é inserido no lingote, como mostrado na FIG. 1.

Em operação a saída de largura de pulso modulada do inversor de cada fonte de alimentação 16a até 16f pode ser variada em duração, fase e/ou amplitude para alcançar o grau necessário de aquecimento por indução gradiente do lingote. A FIG. 3 é uma ilustração gráfica típica de variações na tensão de saída (V_1 , V_2 e V_3) das fontes de alimentação para três bobinas de indução adjacentes que resultam em correntes de carga das bobinas I_1 , I_2 e I_3 , respectivamente. Perfis de aquecimento desejados podem ser

incorporados num ou mais programas de computador que são executados por um computador principal que comunica com o microcontrolador em cada uma das fontes de alimentação. As bobinas de indução têm indutância mútua; para evitar oscilações de baixa frequência todas as bobinas devem operar substancialmente à mesma frequência. Ao utilizar a flexibilidade proporcionada pelo uso de inversores com saídas com largura de pulso modulada, todos os inversores estão sincronizados. Isto é, a frequência e fase de saída de todos os conversores estão, em geral, sincronizadas.

Enquanto existe fluxo de energia da saída de cada inversor para a sua bobina de indução associada dois dispositivos de comutação dispostos diagonalmente (por exemplo, S_1 e S_3 , ou S_2 e S_4 na FIG. 2) estão a conduzir e uma tensão é aplicada através da bobina de carga. Noutros momentos, a bobina é curto-circuitada e corrente flui através de um dispositivo de comutação e um diodo antiparalelo (por exemplo, S_1 e D_2 ; S_2 e D_1 ; S_3 e D_4 ; ou S_4 e D_3 na FIG. 2). Isto minimiza a captação de energia de bobinas adjacentes.

Em referência, novamente, à FIG. 1, o controlo síncrono das saídas de alimentação da pluralidade de fontes de alimentação é utilizado para minimizar interferências de circuito entre bobinas adjacentes. O circuito série fechado de controlo 40 representa um meio não limitativo para o controlo síncrono das saídas de alimentação da pluralidade de fontes de alimentação. Neste exemplo não limitativo o

circuito série de controlo 40 da invenção pode compreender uma ligação de cabo de fibra óptica (FOL) (Sigla em Inglês para *Fibre Optic Link* - em Português: Ligação por Fibra Óptica) que liga em série todas as fontes de alimentação. A entrada de controlo (CONTROL INPUT na FIG. 1) da ligação de controlo a cada fonte de alimentação pode ser um receptor de fibra óptica (FOR) (Sigla em Inglês para *Fibre Optic Receiver* - em Português: Receptor de Fibra Óptica) e a saída de controlo (CONTROL OUTPUT na FIG. 1) da ligação de controlo de cada fonte de alimentação pode ser um transmissor de fibra óptica (FOT) (Sigla em Inglês para *Fibre Optic Transmitter* - em Português: Transmissor de Fibra Óptica). Um dos controladores da pluralidade de fontes de alimentação, por exemplo o controlador da fonte de alimentação 16a é programavelmente seleccionado como o controlador *master*. A saída de controlo (CONTROL OUTPUT) do controlador *master* da fonte de alimentação 16a emite um pulso de sincronização normal 20 à entrada de controlo (CONTROL INPUT) do controlador *slave* da fonte de alimentação 16f. Se o controlador *slave* da fonte de alimentação 16f está num estado normal de funcionamento, passa o pulso normal de sincronização ao controlador *slave* da fonte de alimentação 16e, e assim por diante, até que o pulso de sincronização normal seja devolvido à entrada de controlo (CONTROL INPUT) do controlador *master* da fonte de alimentação 16a. Além disto, cada controlador gera uma alimentação de saída alternada com largura de pulso modulada independente a cada inversor na pluralidade de fontes de alimentação. No caso de uma condição anormal em

qualquer uma das fontes de alimentação, o controlador afectado pode dar um pulso de funcionamento anormal ao controlador da fonte de alimentação seguinte. Por exemplo, enquanto um pulso de sincronização normal pode ser da ordem de 2 microssegundos, um pulso de funcionamento anormal pode ser da ordem de 50 microssegundos. Pulses de funcionamento anormais são processados pelos controladores de fontes de alimentação a montante para desligar ou modificar o processo de aquecimento por indução. Geralmente o tempo de atraso na transmissão de ida e volta de um pulso de sincronização a partir do controlador *master* e de volta é negligenciável. Em caso de falha de um dos controladores, um sinal de sincronização não voltará ao controlador *master*, o que resultará na execução de uma rotina de condição anormal, tal como parar a geração normal subsequente de pulsos de sincronização.

No exemplo acima não limitativo da invenção, foram usadas seis fontes de alimentação e bobinas de indução. Noutros exemplos da invenção outras quantidades de fontes de alimentação e bobinas podem ser utilizadas sem desvio do âmbito da invenção.

Os exemplos da presente invenção incluem referências a componentes eléctricos específicos. Alguém experiente na técnica pode praticar a invenção substituindo componentes que não são necessariamente do mesmo tipo, mas que irão criar as condições desejadas ou alcançar os resultados desejados da invenção. Por exemplo, componentes

individuais podem ser substituídos por vários componentes, ou vice-versa.

Os exemplos anteriores não limitam o âmbito da invenção. O âmbito da invenção é definido nas reivindicações anexas.

Lisboa, 24 de Março de 2015

REIVINDICAÇÕES

1. Um aparelho para aquecimento ou fusão por indução gradiente de uma peça de trabalho (12), compreendendo o aparelho:

uma pluralidade de bobinas de indução (14a-14f) para disposição sequencial em torno da peça de trabalho; e uma fonte de alimentação /16a-16f) para cada uma da pluralidade de bobinas de indução, incluindo cada fonte de alimentação um inversor (INV) com uma saída em corrente alternada (ac) ligada a uma respectiva bobina da pluralidade de bobinas de indução;

caracterizadas pelo facto de:

uma linha de controlo (40) estar ligada entre as fontes de alimentação;

a saída de corrente alternada (ac) do inversor de cada uma das fontes de alimentação ter controlo de modulação da largura de pulso; e

a linha de controlo controlar em sincronia a saída de corrente alternada (ac) de largura de pulso modulada de cada uma das fontes de alimentação.

2. Um aparelho de acordo com a reivindicação 1, em que o inversor de cada uma das fontes de alimentação compreende pelo menos quatro aparelhos de comutação de estado sólido (S_1, S_2, S_3, S_4) e um controlador (MC) associado a cada inversor controla os aparelhos de comutação de estado sólido do inversor.

3. Um aparelho de acordo com a reivindicação 1 ou 2, em que pelo menos um dos inversores tem um condensador de ajuste (C_{TF}) através da entrada do inverSOR.

4. Um aparelho de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, em que a pluralidade das bobinas de indução são bobinas de indução solenóides com enrolamento apertado dispostas adjacentemente umas às outras com separação dieléctrica para prevenir curto-circuitos entre bobinas adjacentes.

5. Um aparelho de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, em que a peça de trabalho compreende material electricamente condutor colocado num cadinho.

6. Um aparelho de acordo com qualquer das reivindicações 1 a 4, em que a peça de trabalho compreende um susceptor.

7. Um método de aquecimento ou fusão gradiente de uma peça de trabalho (12) por indução que compreende os passos de:

fornecimento de corrente alternada a partir de um inversor respectivo (INV) a cada uma da pluralidade de bobinas de indução (14a-14f) dispostas em torno e ao longo do comprimento da peça de trabalho;

caracterizado por:

modulação da largura de pulso da alimentação em corrente alternada de cada um dos inversores separados a cada uma das bobinas da pluralidade de bobinas de indução; e

variação da modulação da largura de pulso da alimentação em corrente alternada de cada um dos inversores separados.

8. Um método de acordo com a reivindicação 7, incluindo o passo de inserção de um condensador de ajuste (C_{TF}) através da entrada de pelo menos um dos inversores separados.

9. Um método de acordo com a reivindicação 7 ou 8, incluindo o passo de sincronização da modulação da largura de pulso da alimentação em corrente alternada de cada um dos inversores.

10. Um método de acordo com a reivindicação 9, incluindo o passo de transmissão de um sinal de controlo em série entre os inversores para sincronizar a modulação da largura de pulso da alimentação em corrente alternada de cada um dos inversores separados.

11. Um método de acordo com a reivindicação 10, em que o sinal de controlo compreende um sinal de controlo *master* gerado num dos inversores para transmissão em série aos restantes inversores da pluralidade de inversores.

12. Um método de acordo com a reivindicação 11, em que um dos inversores gera um sinal de controlo anormal em série com um dos inversores no qual o sinal de controlo *master* é gerado.

Lisboa, 24 de Março de 2015

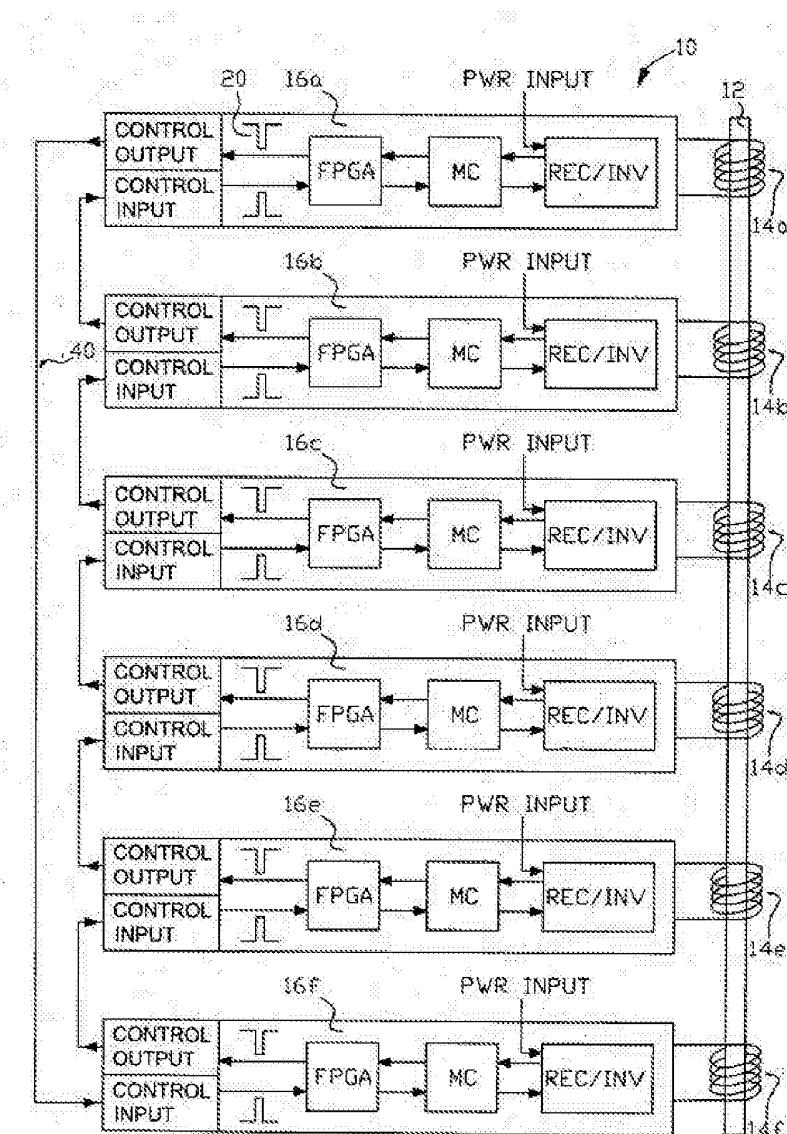


FIG. 1

FPGA	Matriz de Portas de Campo Programáveis	Sigla em Inglês para Field Programmable Gate Array
CONTROL OUTPUT	Controlo de entrada	
CONTROL INPUT	Controlo de saída	
MC	Microcontrolador	Sigla em Inglês para Micro Controller
REC/INV	Rectificador/Inversor	
PWR INPUT	Entrada de alimentação	

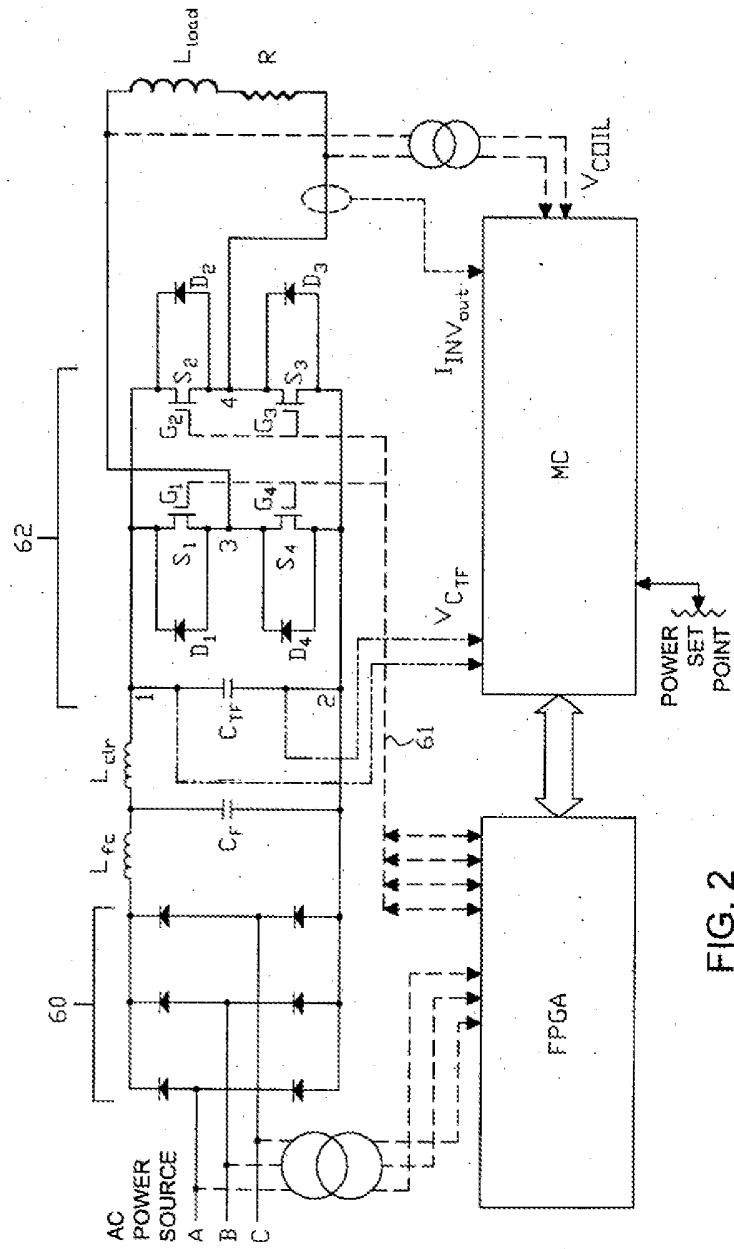


FIG. 2

AC POWER SOURCE	Fonte de alimentação CA	
POWER SET POINT	Ponto definido de alimentação	Normalmente definido como <i>Set Point</i> de alimentação
FPGA	Matriz de Portas de Campo Programáveis	Sigla em Inglês para Field Programmable Gate Array
MC	Microcontrolador	Sigla em Inglês para Micro Controller

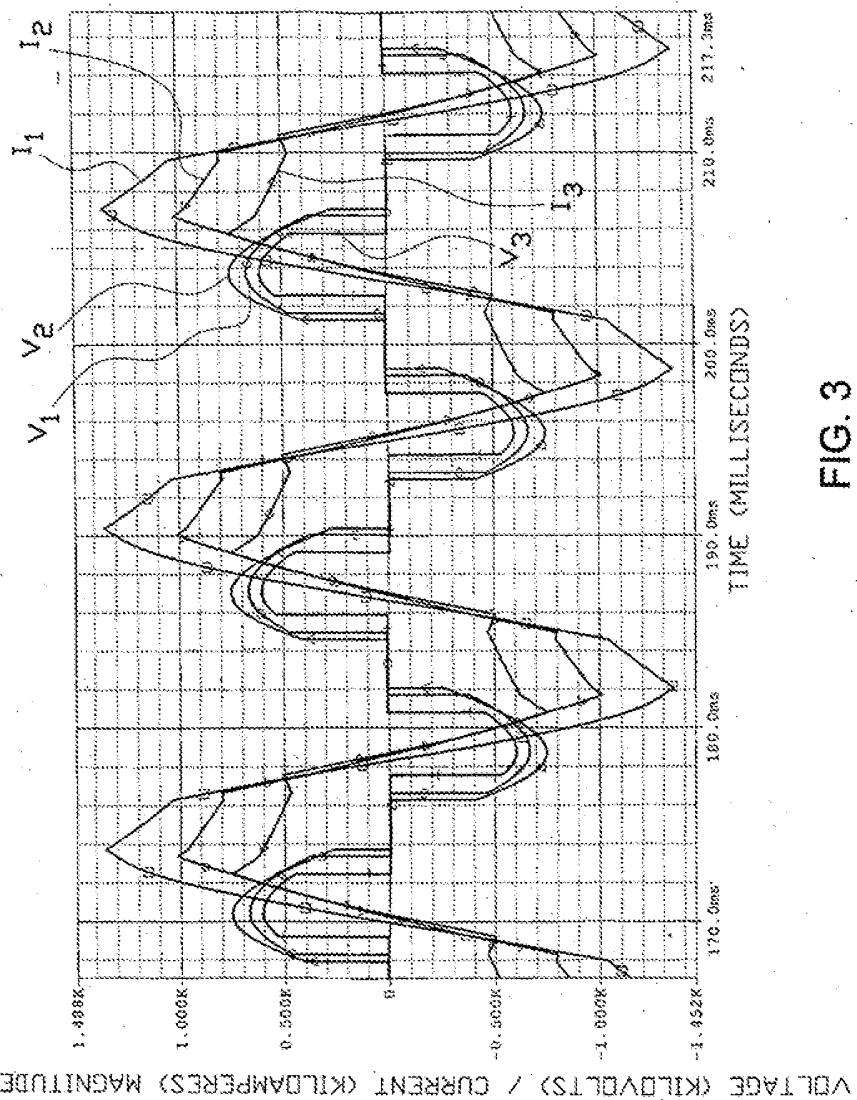


FIG. 3

TIME (MILISECONDS)	Tempo (milissegundos)
VOLTAGE (KILOVOLTS)	Tensão (Kilovolts)
CURRENT (KILOAMPERES)	Corrente (Kiloampéres)
MAGNITUDE	

REFERÊNCIAS CITADAS NA DESCRIÇÃO

Esta lista de referências citadas pelo requerente é apenas para conveniência do leitor. A mesma não faz parte do documento da patente europeia. Ainda que tenha sido tomado o devido cuidado ao compilar as referências, podem não estar excluídos erros ou omissões e o IEP declina quaisquer responsabilidades a esse respeito.

Documentos de patentes citadas na Descrição

- DE 3710085 A, Asea Brown Boveri
- WO 0028787 A
- US 6696770 B