



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

(11) PI 0616123-5 B1

(22) Data do Depósito: 11/09/2006

(45) Data de Concessão: 29/05/2018



(54) Título: MÉTODO DE CONTROLAR UM SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA, MÉTODO DE OPERAR UM SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA E SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA

(51) Int.Cl.: H02M 5/458; H02M 7/49; H02M 1/12

(30) Prioridade Unionista: 09/09/2005 US 60/715,781

(73) Titular(es): SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT

(72) Inventor(es): RICHARD OSMAN; JOHN CHANNING BOUSFIELD III

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para **"MÉTODO DE CONTROLAR UM SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA, MÉTODO DE OPERAR UM SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA E SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA"**.

ANTECEDENTES

[001] Um suprimento de energia para controlar o fluxo de energia entre um primeiro sistema de corrente alternada (CA) e um segundo sistema de CA é requerido em uma variedade de aplicações comerciais e industriais, tais como o controle de operação de motor de CA. Alguns de tais suprimentos de energia convertem a energia de uma primeira frequência e tensão para uma segunda frequência e tensão. Uma maneira de implementar um tal sistema é com um acionamento contendo uma ou mais células de energia que incluem dois conversores de estado sólido com uma ligação de corrente direta (CC) intermediária. A célula de energia é um dispositivo elétrico que tem uma entrada de corrente trifásica alternada e uma saída de corrente alternada monofásica. Um tal sistema é descrito na Patente US No. 5,625,545 para Hammond, cuja descrição é incorporada aqui como referência em sua inteireza.

[002] As células de energia podem ser tanto não regenerativas quanto regenerativas. Células não regenerativas podem acionar um motor mas não podem controlar o fluxo de corrente para frear um motor absorvendo energia regenerativa. As células regenerativas tem a capacidade de absorver energia regenerativa e opcionalmente retorná-la para a fonte, assim, permitindo à célula participar na frenagem do motor. Recentemente, tem sido desenvolvidas células de energia que usam dispositivos de chaveamento, tais como transistores bipolares de porta isolada (IGBTs) para permitir a célula a ajudar tanto acionando quanto freando um motor. Por exemplo, referindo-se à figura 1 aqui, uma célula de energia 160 inclui uma extremidade frontal ativa 162

que serve como uma ponte trifásica enquanto ela recebe energia de enrolamentos secundários trifásicos dedicados do transformador via uma descarga de fluido 142. A célula 160 também inclui uma pluralidade de chaveamentos de entrada 170 - 175, as quais podem ser dispositivos bidirecionais de controlar corrente tais como os IGBTs e outros transistores, tiristores, ou outros dispositivos de chaveamento. Embora sejam ilustrados na figura 1 seis transistores em um formato de ponte - neste exemplo, três pares de dois transistores cada conectados em paralelo através dos terminais de CC, outros números e tipos de chaveamentos podem ser usados. Os chaveamentos de entrada controlam a tensão do barramento de CC na célula. Uma seção de filtro de CC 166 inclui um ou mais capacitores 168. O restante da célula pode incluir um estágio de saída 164 tal como um inversor de ponte-H feito de quatro chaveamentos de saída 131 - 134, cada um conectado através da saída ou terminais de CC da extremidade frontal ativa 162 e o filtro de CC 166, para distribuir energia de CA para a saída 144.

[003] Um circuito incluindo células de energia tais como 160 na figura 1, quando conectadas a uma carga tal como um motor, pode prover energia desde uma fonte de entrada ao motor quando operando no modo de motorização. Quando são usadas seções conversoras de entrada 162 tais como aquelas mostradas na figura 1, os eventos de chaveamento de acionamento podem produzir correntes harmônicas. Correntes harmônicas podem também serem produzidas quando uma seção inversora de fase única é conectada a um motor. As harmônicas podem ser compostas quando células múltiplas têm chaveamentos que operam ao mesmo tempo.

[004] A Patente US No. 5,625,545 descreve que um transformador de múltiplos enrolamentos pode ser usado para reduzir correntes harmônicas criadas por uma célula de energia unidirecional, ou não regenerativa. No entanto, este método nem sempre pode reduzir har-

mônicas nas células de energia não regenerativas a um nível desejado. Outros métodos tais como usar um relógio mestre para gerar portadores sincronizados e aplicar os portadores aos conversores múltiplos conectados a um transformador que tem enrolamentos secundários não defasados, não foram inteiramente efetivos, e pode aumentar a complexidade e custo do acionamento.

[005] A descrição contida aqui descreve tentativas para reduzir harmônicas criadas pela operação de uma célula de energia que tem dispositivos de chaveamento bidirecionais.

SUMÁRIO

[006] Em uma modalidade, um método de controlar um sistema de distribuição de energia inclui operar um sistema compreendendo uma pluralidade de células de energia que são conectadas eletricamente a um primeiro transformador compreendendo um ou mais enrolamentos primários e uma pluralidade de enrolamentos secundários de tal forma que cada célula esteja eletricamente conectada a um dos enrolamentos secundários e uma pluralidade dos enrolamentos secundários são defasados em relação aos enrolamentos primários. Cada célula inclui uma pluralidade de dispositivos de chaveamento. O método pode incluir controlar a sincronização de ativação dos dispositivos de chaveamento dentro de cada célula de forma que uma frequência efetiva da ativação para todas as células como refletida ao primário seja pelo menos três vezes maior do que a frequência de chaveamento de qualquer célula individual. O controle pode não requerer o uso de um sinal de relógio de sincronizar em algumas modalidades. Por exemplo, o controle pode incluir determinar um ângulo de deslocamento do portador, passar o ângulo de deslocamento do portador para a primeira célula de energia, e sincronizar, pela primeira célula de energia, um sinal portador à primeira tensão secundária baseado no ângulo de deslocamento do portador. O método pode incluir também sincronizar,

por cada célula adicional no sistema, um sinal adicional de portador a uma tensão secundária para cada célula individual. Os sinais da portador para cada célula podem ser interdigitados de forma que eles estejam distribuídos substancialmente uniformemente quando refletidos em direção aos enrolamentos primários do transformador de fonte. O sinal portador pode também controlar a regulação de implementação de comandos que controlam os dispositivos de chaveamento, tais como os dispositivos de chaveamento que são parte de uma parte de conversor CA para CC da célula. Quando uma pluralidade das células determina que comandos de chaveamento devem ser implementados, o ângulo de deslocamento do portador para cada célula pode garantir que os comandos sejam efetivamente interdigitados como refletido ao primário do transformador. Um comando pode ser implementado pela primeira célula de energia a uma frequência substancialmente igual a um múltiplo de uma frequência fundamental. O ângulo de deslocamento do portador pode representar uma relação de fase entre o sinal portador da primeira célula e a primeira tensão secundária.

[007] Opcionalmente, o método pode também incluir operar um segundo sistema compreendendo um segundo transformador e uma segunda pluralidade de células de energia, em que o segundo transformador compreende um ou mais enrolamentos primários e uma pluralidade de enrolamentos secundários, os enrolamentos primários do segundo transformador são conectados eletricamente aos enrolamentos primários do transformador de fonte em um ponto comum, e cada célula de energia no segundo sistema gera um sinal portador. Os sinais portadores para cada uma das células no segundo sistema são interdigitados de forma que eles são distribuídos substancialmente uniformemente quando refletidos em direção aos enrolamentos primários do transformador secundário.

[008] Em uma modalidade alternativa um método para operar um

sistema de distribuição de energia, inclui operar um sistema compreendendo uma pluralidade de células de energia que são conectadas eletricamente a um primeiro transformador compreendendo um ou mais enrolamentos primários e uma pluralidade de enrolamentos secundários de tal forma que cada célula esteja eletricamente conectada a um dos enrolamentos secundários e uma pluralidade dos enrolamentos secundários são defasados em relação aos enrolamentos primários. Cada uma das células inclui uma pluralidade de dispositivos de chaveamento. Um primeiro enrolamento secundário é conectado eletricamente para distribuir energia a uma primeira célula de energia. O método pode incluir determinar um ângulo de deslocamento de portador; passar o primeiro ângulo de deslocamento de portador para a primeira célula de energia, e sincronizar, pela primeira célula de energia, um sinal portador à primeira tensão secundária baseado no primeiro ângulo de deslocamento de portador. O método pode também incluir, para uma segunda célula que é conectada a um segundo enrolamento secundário do transformador de fonte, em que o segundo enrolamento secundário tem uma tensão que está defasada em relação à tensão do primeiro enrolamento secundário sincronizando um segundo sinal portador à segunda tensão secundária usando um segundo ângulo de deslocamento de portador. Os sinais portadores para cada célula que é conectada eletricamente ao transformador de fonte podem ser interdigitados de forma que eles sejam distribuídos substancialmente uniformemente quando refletidos em direção aos enrolamentos primários do transformador de fonte. Os sinais portadores também controlam a regulação de implementação de comandos que controlam os dispositivos de chaveamento, e a sincronização controla a regulação de ativação dos dispositivos de chaveamento dentro de cada célula de forma que uma frequência efetiva de ativação para cada uma das células enquanto refletida ao primário é pelo menos três

vezes maior do que a frequência de chaveamento de qualquer célula individual. Os dispositivos de chaveamento podem ser parte de uma parte de conversor CA para CC de cada célula. Quando múltiplas células determinam que comandos de chaveamento devem ser implementados, os comandos podem ser efetivamente interdigitados como refletidos ao primário do transformador. Um comando pode ser implementado pela primeira célula de energia a uma frequência substancialmente igual a um múltiplo de uma frequência fundamental. O ângulo de deslocamento de portador representa uma relação de fase entre o sinal portador da primeira célula e a primeira tensão secundária.

[009] Em uma modalidade alternativa, um método de operar um sistema de distribuição de energia, inclui operar um sistema compreendendo uma pluralidade de células de energia que são conectadas eletricamente a uma máquina de múltiplos enrolamentos compreendendo um ou mais enrolamentos primários e uma pluralidade de enrolamentos secundários de tal forma que cada célula seja eletricamente conectada a um dos enrolamentos secundários e uma pluralidade dos enrolamentos secundários sejam defasados em relação aos enrolamentos primários. O método inclui determinar, para cada célula em um conjunto das células de energia, um ângulo de deslocamento de portador, e sincronizar, por cada célula no conjunto, um sinal portador à tensão secundária para a célula baseado no ângulo de deslocamento de portador determinado para a célula. O sinal portador para cada célula controla a regulação de operação dos dispositivos de chaveamento dentro da célula. Uma frequência de chaveamento para todas as células pode ser ao menos três vezes maior do que a frequência de chaveamento para o sinal portador de qualquer célula individual.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

[0010] A figura 1 é um diagrama de circuito mostrando características exemplificativas de uma célula de energia que tem dispositivos

de chaveamento bidirecional.

[0011] A figura 2 esboça um circuito compreendendo uma pluralidade de células de energia conectadas a uma carga.

[0012] A figura 3 ilustra um sinal de controle exemplificativo e um sinal portador para controlar uma célula de energia.

[0013] A figura 4 é um diagrama de fluxo de processo descrevendo um método exemplificativo de sincronização de ângulo de fase de tensão de célula.

[0014] A figura 5 é uma ilustração de uma distribuição de sinal portador exemplificativo como refletido a um primário de transformador.

[0015] A figura 6 ilustra um traço exemplificativo de uma fase de tensão e corrente distribuída a uma carga.

[0016] A figura 7 ilustra um traço exemplificativo de uma corrente depois da aplicação dos métodos de sincronização de portador.

[0017] A figura 8 ilustra um traço exemplificativo de uma tensão depois da aplicação dos métodos de sincronização de portador.

DESCRIÇÃO DETALHADA

[0018] Antes que os presentes métodos, sistemas, e materiais sejam descritos, deve ser entendido que esta descrição não está limitada às metodologias, sistemas e materiais descritos, já que estes podem variar. Deve também ser entendido que a terminologia usada na descrição é somente para o propósito de descrever as modalidades particulares, e não tencionado que limite o âmbito. Por exemplo, como usado aqui e nas reivindicações anexas, as formas singulares "um(a/ns)", "um (a/ns)", e "o (a/s)" incluem referências plurais a menos que o contexto dite claramente de outra forma. Ainda mais, as palavras "compreendendo" significa "incluindo mas não limitado a". A menos que definido de outra forma, todos os termos técnicos e científicos usados aqui tem os mesmos significados como comumente entendidos por alguém versado na técnica.

[0019] Em várias modalidades, um circuito de energia de múltiplos níveis inclui uma pluralidade de células de energia para acionar uma carga. A figura 2 ilustra uma modalidade exemplificativa de um circuito que tem tais células de energia. Na figura 2 uma máquina de enrolamentos múltiplos como uma fonte ou transformador de entrada 210 distribui energia trifásica de tensão média a uma carga 230 tal como um motor de indução trifásico por meio de um conjunto de inversores monofásicos (também referidos como células de energia). Como usado aqui, o termo "transformador" é tencionado incluir qualquer

[0020] máquina de enrolamentos múltiplos que está normalmente no lado de suprimento do sistema. O transformador 210 inclui enrolamentos primários 212 que existam um grande número de enrolamentos secundários 214 - 225. Embora o enrolamento primário 212 é ilustrado como tendo uma configuração estrela, uma configuração em malha é também possível. Ainda mais, embora os enrolamentos secundários 214 - 225 sejam ilustrados como tendo uma configuração em malha são possíveis enrolamentos secundários configurados em estrela, ou podem ser usados uma combinação de enrolamentos em estrela e em malha. Ainda mais, o número de enrolamentos secundários ilustrados na figura 2 é meramente exemplificativo, e outros números de enrolamentos secundários são possíveis. O circuito pode ser usado para aplicações de média tensão ou em algumas modalidades, outras aplicações. Como usado aqui, meios de média tensão significa tensão nominal maior do que 690 volts (v) e menor do que 69 quilovolts (kV). Em algumas modalidades, média tensão pode incluir voltagens entre aproximadamente 1000 V e aproximadamente 69 kV. Na modalidade descrita aqui, cada enrolamento secundário é defasado do primário e de outros enrolamentos secundários por uma determinada quantidade baseado nas configurações dos enrolamentos. Ângulos de deslocamento de fase exemplificativos podem ser aproximadamente 0°, +30°,

0° e - 30°. Outros deslocamentos de fase são possíveis.

[0021] Qualquer número de conjuntos trifásicos de células de energia podem ser conectadas entre o transformador 210 e a carga 230. As células de energia tais como aquelas tendo uma configuração daquela mostrada na figura 1, ou células de energia podem incluir células que tem uma ou mais de outras configurações. Referindo-se à figura 2, o sistema pode incluir um primeiro conjunto ou "fileira" de células de energia 251 - 253 através do trifásico da carga, uma segunda fileira de células de energia 261 - 263, uma terceira fileira de células de energia 271 - 273, e uma quarta fileira de células de energia 281 - 283. Menos do que quatro conjuntos ou fileiras, ou mais do que quatro conjuntos ou fileiras, são possíveis. Um sistema de controle central 295 envia sinais de comando a um controlador local 292 e/ou controles de níveis de células em cada célula através de fibras óticas ou outro meio de comunicação com fio ou sem fio 290.

[0022] Referindo-se às figuras 1 e 2, é distribuída corrente contínua à seção de filtro de CC 166, e é distribuída corrente alternada à saída 144 de uma célula, baseado nos sinais de controle que os transistores 131 - 134 e 170 - 175 recebem do controlador de modulação local 292. O controlador 292 seleciona quais transistores serão DESLIGADOS ou LIGADOS, assim modulando a energia que é distribuída à saída 144. Opcionalmente circuitos de comunicação como ligações de controle de modulador de fibra-ótica 290 pode ser usado para isolar eletricamente todos os circuitos em qualquer célula de todos os circuitos em qualquer outra célula, e reduzir efeitos de interferência eletromagnética que podem ser impostas entre o controlador local 292 e o controlador de modulação mestre 295. O controlador de modulação local 292 pode receber energia desde uma fonte de energia de controle local a qual pode estar conectada à entrada de circuito do enrolamento secundário.

[0023] A figura 3 mostra uma possível maneira de usar um sinal portador para controlar uma célula de energia tal como um aparelho de comodidade de energia CA/CC descrito aqui. Em geral, um sinal de controle pode ser gerado para cada linha de saída de energia. Ainda mais, cada célula pode incluir circuitos que geram um sinal portador, tal como, por exemplo, um sinal triangular, que tem uma relação de fase fixada à tensão que o portador recebe de seu enrolamento secundário transformado eletricamente conectado. Referindo-se à figura 2 na arquitetura deste exemplo, cada linha de saída de energia, A, B, C tem quatro células de energia conectadas em série, por exemplo, A1, A2, A3 e A4. A saída de cada célula de energia pode ser somada para produzir um sinal de linha de saída de energia composto. Adicionalmente, os sinais de linha de saída de energia compostos, para cada uma das linhas de saída de energia A, B, C, respectivamente podem ser somados para produzir sinal de linha de saída total composto que pode ser suprido à carga.

[0024] Na figura 3, um sinal de controle 310 para uma linha de saída de energia oscila a uma frequência igual à frequência fundamental ou substancialmente igual a ela do primário do transformador, tal como 50 hertz (Hz) ou 60 Hz, por exemplo. O sinal de controle 310 é comparado com um sinal portador triangular, mostrado em 320, oscilando à frequência de chaveamento pré-selecionada, tal como, por exemplo, 1 quilohertz (kHz). Um sinal portador 320 é uma forma de onda de formato triangular que tem uma frequência que é um múltiplo, e preferencialmente um múltiplo inteiro ímpar, da frequência fundamental do controle 310. O sinal portador controla quando comandos são operados pela célula de energia, e assim o sinal portador controla o chaveamento dos dispositivos dentro de cada célula. Por exemplo, a cada momento que o sinal portador 320 e o sinal de controle 310 se interceptam, pode ser operado um comando para operar um ou mais dispositi-

vos de chaveamento dentro da célula. Referindo-se à figura 1, os dispositivos de chaveamento que são operados pelos comandos podem ser dispositivos 170 - 175 tais como aqueles na extremidade frontal ativa 162 (isto é, parte do conversor de CA para CC) da célula. O comando efetivo (isto é, os chaveamentos selecionados para operação) pode depender da tensão distribuída desde o transformador fonte, sinais recebidos do sistema de controle, e/ou outros fatores.

[0025] Cada sinal portador dentro de uma célula de energia é defasado de uma certa quantidade com respeito tanto a o seu correspondente secundário de transformador quanto a outros sinais portadores para as outras células de energia no sistema. O deslocamento de fase pode ser dependente do número de células no acionamento, a posição da célula no acionamento, e o deslocamento de fase relativo entre a tensão de enrolamento secundário correspondente e a tensão primária. O deslocamento de fase de cada sinal portador permite a interdigitação dos sinais portadores quando vistos desde o lado primário do transformador de fonte, como pode ser visto, por exemplo, figura 5, que mostra sinais portadores múltiplos interdigitados, incluindo 510, 520 e 530, como refletidos ao enrolamento primário do transformador de fonte. Como visto na figura 5 os sinais são substancialmente distribuídos uniformemente, de forma que nenhum dos sinais se sobrepõe e a distância entre os picos é substancialmente consistente através de todos os sinais portadores.

[0026] Um resultado de tal deslocamento de fase pode ser que o componente de frequência de chaveamento efetivo nos enrolamentos primários do transformador fonte será aumentado por pelo menos três vezes (isto é, onde a sincronização é feita por pelo menos três células no sistema), até por volta de $N * f_c$ onde N é o número de células de energia e f_c é a frequência portadora dentro de uma célula individual. Em geral, cada sinal portador de célula terá substancialmente a mes-

ma frequência portadora como os outros sinais portadores de célula.

[0027] Referindo-se à figura 4, em um método para reduzir harmônicas de corrente um controlador de modulação local ou outro dispositivo pode monitorar ou receber 410 a tensão primária de fonte de entrada (isto é, a tensão de enrolamento primário de transformador). Como indicado na figura 2, cada célula 251 - 283 é eletricamente conectada ao enrolamento secundário 214 - 225 do transformador fonte 210. Retornando à figura 4, as células monitoram ou recebem 412 a tensão secundária e passam 414 a tensão para o controlador de modulação local, onde o controle calcula um ângulo de deslocamento de portador 416, usando os dados de fase primária do transformador, dados de fase secundária do transformador, o número de células no acionamento, e um parâmetro de deslocamento de portador de acionamento. Pode ser usado qualquer método adequado de determinar um deslocamento de fase entre os sinais portadores de célula para um circuito de energia ou acionamento que tem um transformador de múltiplos enrolamentos com enrolamentos secundários defasados.

[0028] Como observado acima, e como ilustrado na figura 2, um portador 320 é uma forma de onda no formato triangular com uma frequência que é um múltiplo inteiro da frequência fundamental 310. Em algumas modalidades, o portador para cada célula de energia pode ser descrito como tendo sido construído desde a fórmula $2 \cdot \arccos(\sin(2_c + 2_{c0})) / B$, e o valor de deslocamento de fase 2_0 (330 na figura 3) representa um valor para cada célula que interdigitará os portadores para todas as células no sistema, tal como ilustrado na figura 5. Os valores listados acima podem ser entendidos ainda mais considerando:

[0029] $T_c = H_N \cdot T_f$ Esta é a frequência do portador que é bloqueado pelo circuito bloqueador de fase dentro da célula a um múltiplo inteiro da frequência fundamental e um ângulo de fase predeterminado

2_{C0} .

[0030] $2_C = \int T_c dt$ Este é o ângulo do portador como uma função do tempo.

[0031] $2_{C0} = 2_{CR} + H_N \cdot 2_0$ Este é o ângulo de referência do portador ajustado por outro ângulo 2_0 tal que o portador quando refletido ao primário do transformador é interdigitado entre os portadores das outras células.

[0032] $2_0 = (2v \cdot H_N - (2B/N \cdot (\text{Trunc}(R/3) + P + 2_R) \text{ módulo } 2B) / H_N$ nesta equação, dado N células numeradas 0 a N-1 e um valor 2v para cada célula, 2_0 é determinado como um ângulo que interdigitará os portadores para todas as células no circuito.

[0033] Nas equações listadas acima:

[0034] 2_C = ângulo do portador (em radianos)

[0035] 2_{C0} = deslocamento do portador na estrutura de referência de portador

[0036] 2_{CR} = ângulo de referência de portador (que pode ser um valor constante arbitrário que é igual em todas as células).

[0037] 2_0 = deslocamento de portador na estrutura de referência fundamental

[0038] $2v$ = diferença entre ângulo de tensão primária e secundária (ou, em uma modalidade alternativa, uma relação de fase entre a tensão secundária e uma forma de onda de referência selecionada, tal como outra tensão secundária).

[0039] 2_R = deslocamento de portador de partida na estrutura de referência fundamental para toda a unidade de acionamento

[0040] H_N = multiplicador de frequência fundamental para portador (qualquer valor inteiro).

[0041] T_c = frequência portadora (em radianos por segundo)

[0042] T_f = frequência fundamental (em radianos por segundo)

[0043] N = número total de células por fase de saída

[0044] R = localização de célula numerada de 0 a N-1

[0045] P = fase de saída que contém a célula ($-2B/3$ para A, 0 para B, e $2B/3$ para C)

[0046] O valor necessário para interdigitar os portadores pode ser calculado de muitas maneiras diferentes, e os cálculos podem variar em uma base de célula a célula. O ângulo de deslocamento de portador representa uma relação de fase fixa entre o sinal portador de uma célula e a tensão secundária de transformador provida na célula. Os cálculos acima representam um exemplo, e a invenção descrita aqui não está limitada ao cálculo acima. Qualquer outro método de calcular um ângulo de deslocamento de portador em uma estrutura de referência fundamental pode ser usado. O cálculo exemplificativo requer uma célula que pode manter o portador sincronizado à sua tensão fundamental secundária a um ângulo relativo a tal tensão, e um método de determinar a diferença entre a tensão primária e cada tensão secundária das células. Quaisquer métodos de cálculo agora ou daqui em diante conhecidos podem ser usados.

[0047] Nos métodos descritos acima, embora um relógio mestre possa ser usado para determinar um valor de deslocamento inicial, o relógio mestre necessita não ser usado quando realizando sincronização, já que o sistema determinou um conjunto de relação de fase para cada sinal portador para o fundamental. Assim, um sinal de relógio de sincronização não é requerido depois que o deslocamento inicial é determinado.

[0048] O controlador pode então passar o ângulo de deslocamento de portador para a célula apropriada com um ângulo de fase deslocado em relação à tensão de linha fundamental que resulta no sinal portador sendo interdigitado com outros sinais portadores distribuídos para outras células. O ângulo de deslocamento de portador pode ser enviado à célula como um sinal de sincronização que represen-

ta a relação de ângulo de fase entre a tensão de entrada (isto é, a tensão da fonte ou primária do transformador) e a tensão secundária efetiva em cada célula. O sinal de sincronização pode ser parte do portador (PWM) ou ele pode ser enviado como um sinal separado. A célula então sincroniza 420 ser sinal portador para o sinal secundário usando o ângulo de deslocamento que ele recebe do controlador.

[0049] A figura 5 ilustra como múltiplos sinais portadores 510, 520, 530 etc. para múltiplas células podem ser interdigitadas com cada outra de uma maneira sincronizada a um sinal de referência 550, como refletida aos enrolamentos primários do transformador fonte. Cada célula pode ter seu próprio sinal de referência, e os sinais de referência para cada célula serão similares, mas não necessariamente os mesmos. O sinal portador em cada célula determinará quando o comando de chaveamento ocorre dentro daquela célula. Como mostrado na figura 5, já que cada sinal portador é defasado dos sinais portadores de outras células por uma quantidade predeterminada (2_0), o efeito dos comandos de chaveamento para cada célula como refletidas ao primário do transformador serão espaçados por um período de tempo baseado no valor 2_0 , ou o espaçamento da interdigitação. Assim, ao invés de todas as células implementarem efetivamente a mesma operação de chaveamento ao mesmo tempo (o que causaria uma grande perturbação harmônica), o efeito das operações de chaveamento no primário do transformador ocorre em sequência rápida no deslocamento substancialmente uniforme dos sinais portadores. Adicionalmente, já que a frequência efetiva dos sinais portadores vista no primário de transformador fonte é relativamente alta (tal como na ordem de aproximadamente $(f_c \cdot N)$), as harmônicas podem ser suavizadas ainda mais, já que a própria impedância do transformador fonte pode filtrar algumas ou todas as altas frequências harmônicas.

[0050] Em algumas modalidades, múltiplos acionamentos podem

ser conectados a um único transformador ou a um grupo de transformadores compartilhando uma tensão primária comum. Em tal situação, acionamentos múltiplos podem ter seus sinais portadores interdigitados ajustando o ângulo de deslocamento de portador de acionamento (2_R) para cada acionamento e fixando cada acionamento para a mesma frequência de portador.

[0051] Nas modalidades providas aqui, a interdigitação dos sinais portadores pode aumentar a frequência das harmônicas de tensão e reduzir os picos das harmônicas de tensão, o que por sua vez pode reduzir harmônicas de corrente. Por exemplo, a figura 6 ilustra um traço exemplificativo de uma fase de tensão 610 e corrente 620 distribuída a uma carga de um acionamento que tem vinte e uma células de energia regenerativas usando um transformador fonte para 7200 volts nominal de primário e 600 volts nominal secundário. Nos dados mostrados na figura 6 embora o transformador fonte tenha secundários defasados, a dessincronização (isto é, o deslocamento dos sinais portadores por um deslocamento) não foi realizado, e a tensão e corrente harmônicas são obvias nos traços. As figuras 7 e 8 mostram traços de corrente 720 e tensão 810 no mesmo circuito depois da aplicação dos métodos de sincronização tais como aqueles descritos aqui.

[0052] Em algumas modalidades, interdigitação dos eventos de chaveamento podem ocorrer usando outros métodos conhecidos além de ajuste de um sinal portador. Por exemplo, se é usado modulação de vetor espacial ao invés de métodos triangulares de sincronização como descrito aqui, o método ainda pode incluir interdigitar a regulação efetiva dos eventos de chaveamento como refletidos ao primário.

[0053] Ainda outras modalidades se tornarão prontamente claras a aqueles versados na técnica pela leitura da descrição detalhada acima recitada e desenhos de certas modalidades exemplificativas. Deve ser entendido que numerosas variações, modificações, e modalidades

adicionais são possíveis, e correspondentemente, todas tais variações, modificações e modalidades são para serem consideradas como estando dentro do espírito e âmbito deste pedido.

REIVINDICAÇÕES

1. Método de controlar um sistema de distribuição de energia, compreendendo:

operar um sistema compreendendo uma pluralidade de células de energia (160, A1-A4, B1-B4, C1-C4) que são conectadas a um primeiro transformador (210) compreendendo um ou mais enrolamentos primários (212) e uma pluralidade de enrolamentos secundários (214-225) de tal forma que cada célula esteja eletricamente conectada a um dos enrolamentos secundários (214-225) e uma pluralidade dos enrolamentos secundários (214-225) são defasados em relação aos enrolamentos primários (212), sendo que cada célula inclui uma pluralidade de dispositivos de chaveamento (170-175);

caracterizado por,

controlar a sincronização de ativação dos dispositivos de chaveamento (170-175) dentro de cada célula (160, A1-A4, B1-B4, C1-C4) de forma que uma frequência efetiva da ativação para todas as células (160, A1-A4, B1-B4, C1-C4) como refletida ao primário seja pelo menos três vezes maior do que a frequência de chaveamento de qualquer célula individual.

2. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por o controle não requerer o uso de um sinal de relógio de sincronização.

3. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por o controle compreender,

determinar um ângulo de deslocamento do portador;

sincronizar, pela primeira célula de energia, um sinal portador (320) à primeira tensão secundária baseado no ângulo de deslocamento do portador;

4. Método de acordo com a reivindicação 3, caracterizado por ainda compreender, sincronizar, por cada célula adicional no sis-

tema, um sinal adicional (320) de portador a uma tensão secundária para cada célula individual.

5. Método de acordo com a reivindicação 3, caracterizado por os sinais do portador para cada célula serem interdigitados de forma que eles estejam distribuídos uniformemente quando refletidos em direção aos enrolamentos primários (212) do transformador de fonte.

6. Método de acordo com a reivindicação 3, caracterizado por o sinal portador também controlar a regulação de implementação de comandos que controlam os dispositivos de chaveamento (170-175).

7. Método de acordo com a reivindicação 6, caracterizado por os dispositivos de chaveamento (170-175) serem parte de uma parte de conversor CA para CC da célula

8. Método de acordo com a reivindicação 6, caracterizado por quando uma pluralidade das células determinar que comandos de chaveamento devem ser implementados, o ângulo de deslocamento do portador para cada célula garante que os comandos sejam efetivamente interdigitados como refletido ao primário do transformador.

9. Método de acordo com a reivindicação 8, caracterizado por um comando ser implementado pela primeira célula de energia a uma frequência igual a um múltiplo de uma frequência fundamental.

10. Método de acordo com a reivindicação 3, caracterizado por o ângulo de deslocamento do portador representar uma relação de fase entre o sinal portador da primeira célula e a primeira tensão secundária.

11. Método de acordo com a reivindicação 3, caracterizado por ainda compreender operar um segundo sistema compreendendo um segundo transformador e uma segunda pluralidade de células de energia (160, A1-A4, B1-B4, C1-C4), onde,

o segundo transformador compreende um ou mais enrola-

mentos primários (212) e uma pluralidade de enrolamentos secundários (214-225);

os enrolamentos primários (212) do segundo transformador são conectados eletricamente aos enrolamentos primários (212) do transformador de fonte em um ponto comum; e

cada célula de energia no segundo sistema gera um sinal portador;

sendo que os sinais portadores para cada uma das células no segundo sistema são interdigitados de forma que eles são distribuídos uniformemente quando refletidos em direção aos enrolamentos primários (212) do transformador secundário.

12. Método de operar um sistema de distribuição de energia, compreendendo

operar um sistema compreendendo uma pluralidade de células de energia (160, A1-A4, B1-B4, C1-C4) que são conectadas eletricamente a um primeiro transformador compreendendo um ou mais enrolamentos primários (212) e uma pluralidade de enrolamentos secundários (214-225) de tal forma que cada célula esteja eletricamente conectada a um dos enrolamentos secundários (214-225) e uma pluralidade dos enrolamentos secundários (214-225) são defasados em relação aos enrolamentos primários (212), em que cada célula inclui uma pluralidade de dispositivos de chaveamento (170-175);

caracterizado por um primeiro enrolamento secundário ser conectado eletricamente para distribuir energia a uma primeira célula de energia;

determinar um ângulo de deslocamento do portador;

passar o primeiro ângulo de deslocamento do portador para a primeira célula de energia;

sincronizar, pela primeira célula de energia, um sinal portador à primeira tensão secundária baseado no ângulo de deslocamento

do portador; e

para uma segunda célula que é conectada a um segundo enrolamento secundário do transformador de fonte, em que o segundo enrolamento secundário tem uma tensão que está defasada em relação à tensão do primeiro enrolamento secundário sincronizando um segundo sinal portador à segunda tensão secundária usando um segundo ângulo de deslocamento de portador.

13. Método de acordo com a reivindicação 12, caracterizado por os sinais portadores para cada célula que é conectada eletricamente ao transformador de fonte serem interdigitados de forma que eles estejam distribuídos uniformemente quando refletidos em direção aos enrolamentos primários (212) do transformador de fonte.

14. Método de acordo com a reivindicação 12, caracterizado pelo fato de que o sinal portador também controla a regulação de implementação de comandos que controlam os dispositivos de chaveamento (170-175); e

a sincronização controla a regulação da ativação dos dispositivos de chaveamento (170-175) dentro de cada célula de forma que uma frequência efetiva de ativação para cada uma das células enquanto refletida ao primário é pelo menos três vezes maior do que a frequência de chaveamento de qualquer célula individual.

15. Método de acordo com a reivindicação 14, caracterizado por os comandos controlarem dispositivos de chaveamento (170-175) que são parte de uma parte de conversor CA para CC de cada célula.

16. Método de acordo com a reivindicação 14, caracterizado por quando uma pluralidade das células determinar que comandos de chaveamento devem ser implementados, os comandos são efetivamente interdigitados como refletidos ao primário do transformador.

17. Método de acordo com a reivindicação 14, caracteriza-

do por um comando ser implementado pela primeira célula de energia a uma frequência igual a um múltiplo de uma frequência fundamental.

18. Método de acordo com a reivindicação 12, caracterizado por o ângulo de deslocamento do portador representar uma relação de fase entre o sinal portador da primeira célula e a primeira tensão secundária.

19. Método de operar um sistema de distribuição de energia, compreendendo

operar um sistema compreendendo uma pluralidade de células de energia (160, A1-A4, B1-B4, C1-C4) que são conectadas eletricamente a uma máquina de múltiplos enrolamentos compreendendo um ou mais enrolamentos primários (212) e uma pluralidade de enrolamentos secundários (214-225) de tal forma que cada célula esteja eletricamente conectada a um dos enrolamentos secundários (214-225) e uma pluralidade dos enrolamentos secundários (214-225) são defasados em relação aos enrolamentos primários (212);

caracterizado por,

determinar para cada célula em um conjunto de células de energia (160, A1-A4, B1-B4, C1-C4), um ângulo de deslocamento do portador;

sincronizar, por cada célula no conjunto, um sinal portador à tensão secundária para a célula baseado no ângulo de deslocamento do portador determinado para cada célula; e

sendo que o sinal portador para cada célula controla a regulação de operação dos dispositivos de chaveamento (170-175) dentro da célula.

20. Método de acordo com a reivindicação 19, caracterizado por a frequência de chaveamento para todas as células ser menos três vezes maior do que a frequência de chaveamento para o sinal portador de qualquer célula individual.

21. Sistema de distribuição de energia, compreendendo:

uma pluralidade de células de energia (160, A1-A4, B1-B4, C1- C4) que são conectadas eletricamente a um primeiro transformador (210) compreendendo um ou mais enrolamentos primários (212) e uma pluralidade de enrolamentos secundários (214-225) de tal forma que cada célula (160, A1-A4, B1-B4, C1- C4) esteja eletricamente conectada a um dos enrolamentos secundários (214-225) e uma pluralidade dos enrolamentos secundários (214-225) são defasados em relação aos enrolamentos primários (212);

caraterizado por,

uma pluralidade de dispositivos de chaveamento (170-175) incluídos dentro de cada célula de energia (160, A1-A4, B1-B4, C1- C4) a ser regulada, sendo que a regulação de ativação dos dispositivos de chaveamento (170-175) dentro de cada uma das células (160, A1-A4, B1-B4, C1- C4) de forma que uma frequência efetiva da ativação para cada uma das células como refletida ao primário é pelo menos três vezes maior do que a frequência de chaveamento de cada célula individual.

22. Sistema de acordo com a reivindicação 21, caracterizado por um sinal e relógio de sincronização não ser requerido para ativação dos dispositivos de chaveamento (170-175).

23. Sistema de acordo com a reivindicação 21, caracterizado por a frequência efetiva ser determinada por um ângulo de deslocamento de portador, passando o ângulo de deslocamento de portador para a primeira célula de energia, e sincronizando pela primeira célula de energia, um sinal portador (510, 520, 530) à primeira tensão secundária baseada no ângulo de deslocamento de portador.

24. Sistema de acordo com a reivindicação 21, caracterizado por cada célula incluir um sinal portador (510, 520, 530) interdigitado de forma que eles sejam distribuídos uniformemente quando refleti-

do em direção aos enrolamentos primários (212) do transformador de fonte.

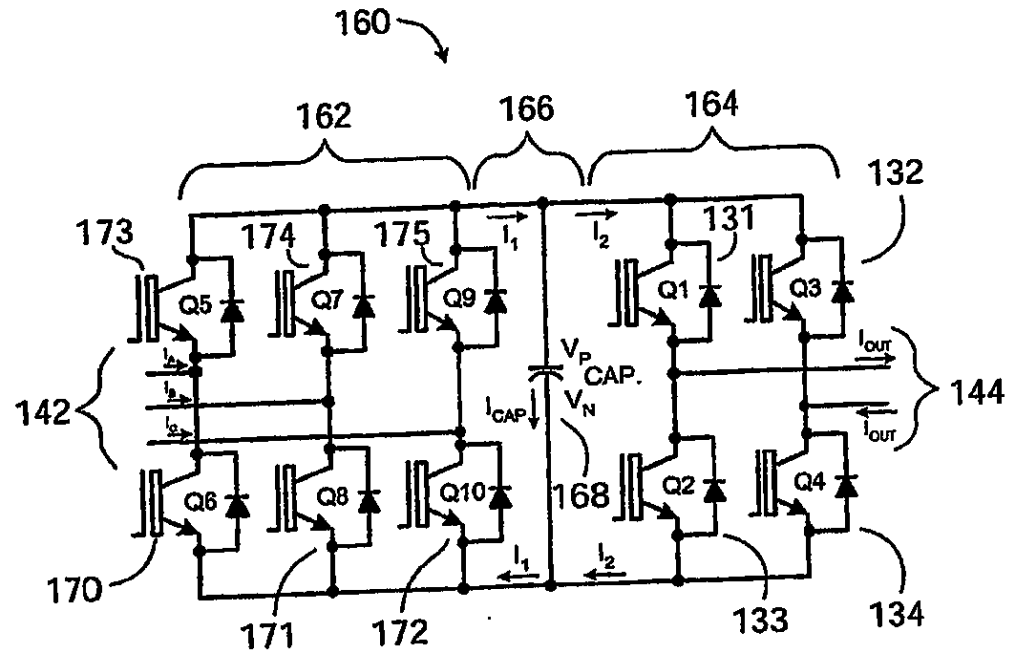


FIG. 1

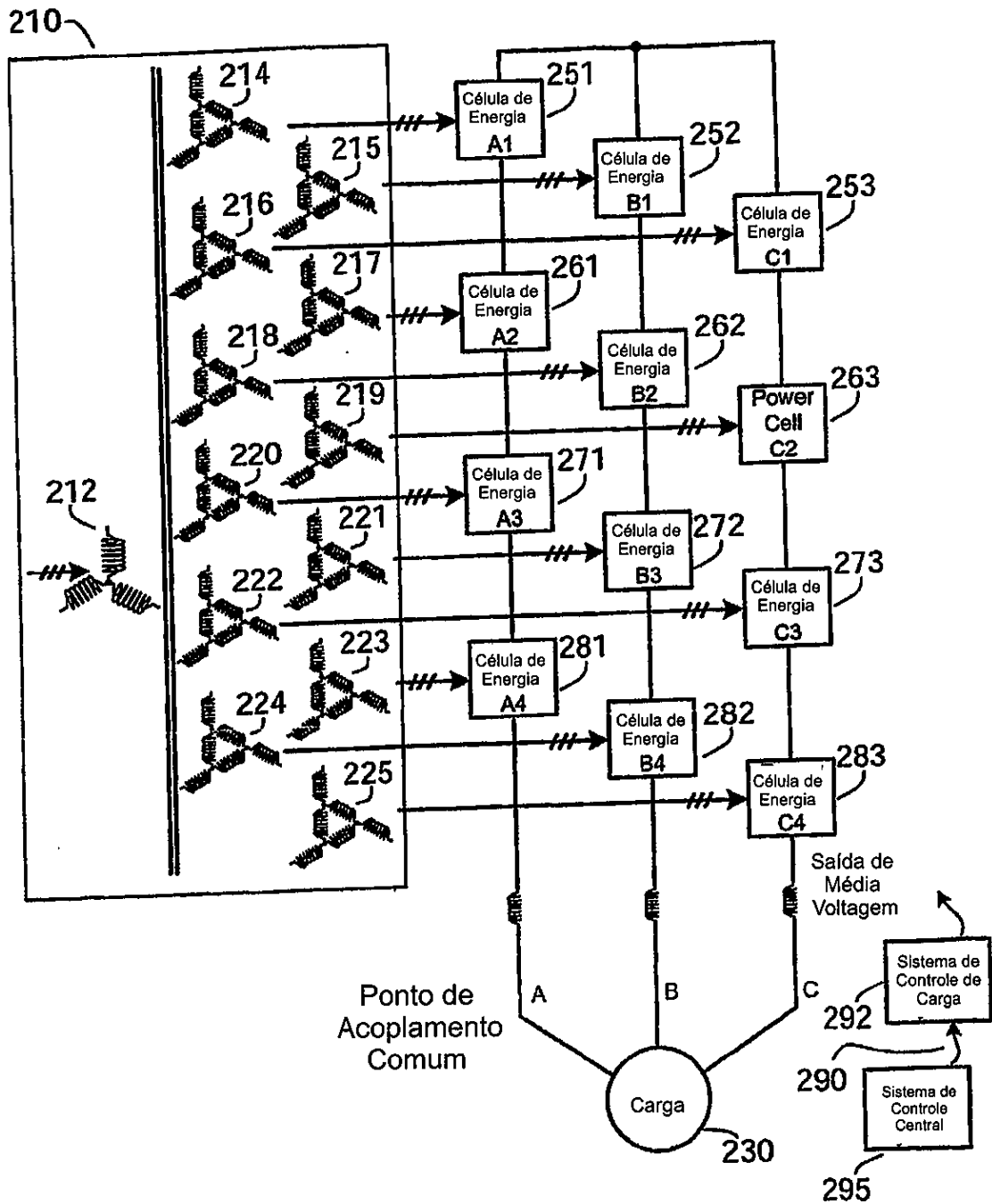


FIG. 2

33
μ

3/8

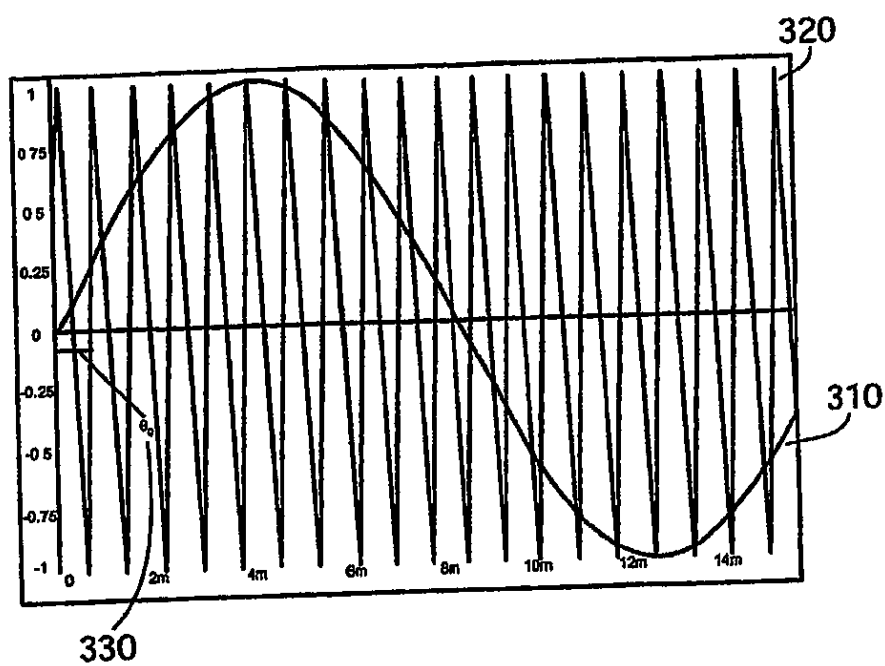


FIG. 3

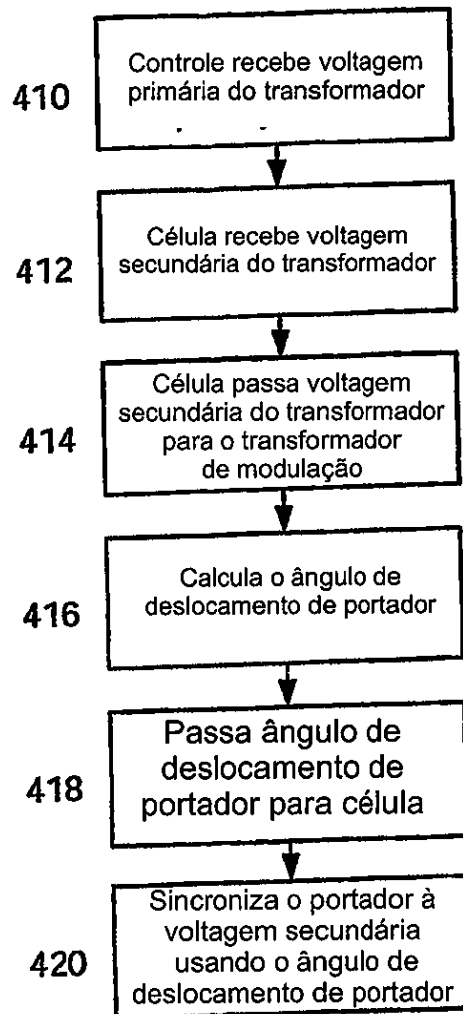


FIG. 4

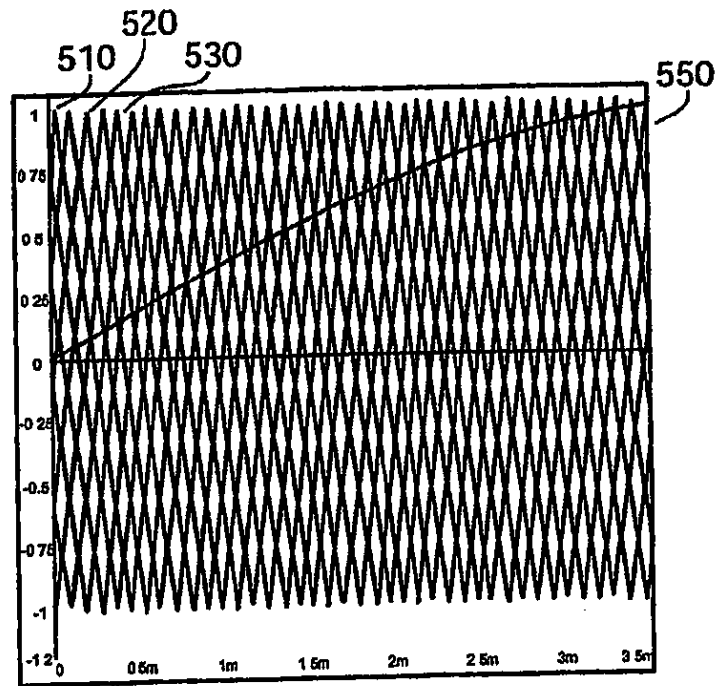


FIG. 5

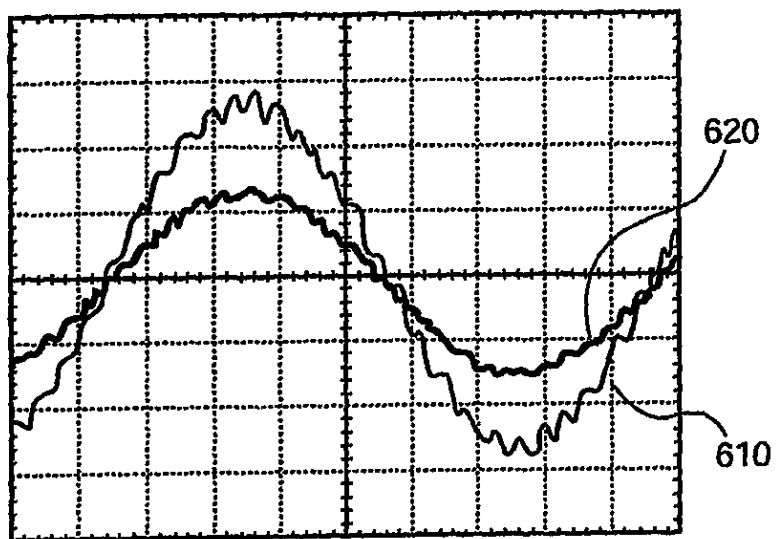


FIG. 6

34
u

7/8

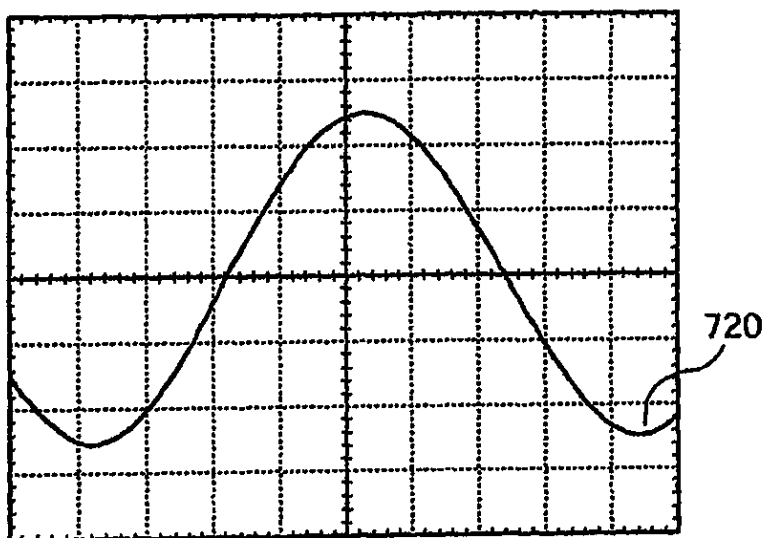


FIG. 7

8/8

8/8

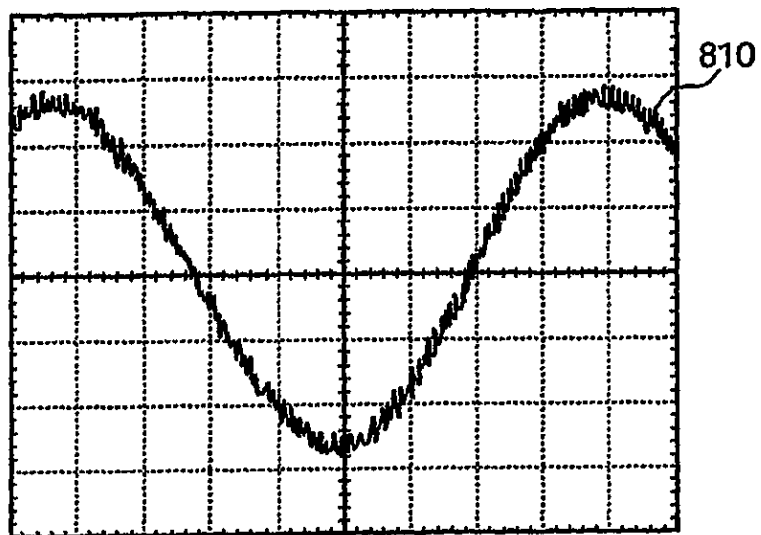


FIG. 8

RESUMO

Patente de Invenção: **"MÉTODO DE CONTROLAR UM SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA, MÉTODO DE OPERAR UM SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA E SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA"**.

A presente invenção refere-se a um sistema de distribuição de energia, e um método para operá-lo que inclui uma pluralidade de células de energia que são conectadas a uma máquina de múltiplos enrolamentos compreendendo um ou mais enrolamentos primários e uma pluralidade de enrolamentos secundários de tal forma que cada célula seja eletricamente conectada a um dos enrolamentos secundários e uma pluralidade dos enrolamentos secundários são defasados em relação aos enrolamentos primários, em que cada célula inclui uma pluralidade de dispositivos de chaveamento. O método inclui determinar para cada célula em um conjunto de células de energia, um ângulo de deslocamento de portador, e sincronizar, para cada célula no conjunto, um sinal portador à tensão secundária para a célula baseado no ângulo de deslocamento de portador determinado para a célula. O sinal portador para cada célula controla a regulação de operação dos dispositivos de chaveamento dentro da célula.