



República Federativa do Brasil
Ministério da Economia
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) PI 0924592-8 B1



(22) Data do Depósito: 25/03/2009

(45) Data de Concessão: 26/11/2019

(54) Título: APARELHO DE CONTROLE PARA UMA MÁQUINA ELÉTRICA ROTATIVA PARA EXECUTAR CONTROLE DE ACIONAMENTO DA MÁQUINA ELÉTRICA ROTATIVA

(51) Int.Cl.: H02P 21/00; H02P 27/04.

(73) Titular(es): MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION.

(72) Inventor(es): MASATO ITO; YOSHIHIKO KIMPARA; TOSHIYUKI KAITANI.

(86) Pedido PCT: PCT JP2009001330 de 25/03/2009

(87) Publicação PCT: WO 2010/109522 de 30/09/2010

(85) Data do Início da Fase Nacional: 22/09/2011

(57) Resumo: APARELHO DE CONTROLE PARA UMA MÁQUINA ELÉTRICA ROTATIVA PARA EXECUTAR CONTROLE DE ACIONAMENTO DA MÁQUINA ELÉTRICA ROTATIVA Um meio de controle (5), que emite um comando de voltagem de controle de acionamento para uma máquina elétrica rotativa (1) é equipada com uma parte operacional de comando de voltagem de acionamento (6) que computa um comando de voltagem de controle de acionamento para acionar a máquina elétrica rotativa (1), um gerador de voltagem de estimativa posicional (7) que gera um comando de voltagem de estimativa posicional para estimar a posição da máquina elétrica rotativa (1), um gerador de voltagem de redução de ruído (8) que gera um comando de voltagem de redução de ruído para reduzir ruído da máquina elétrica rotativa (1) que é gerado ao longo da injeção do comando de voltagem de estimativa posicional acionado acima mencionado na máquina elétrica rotativa (1), e adicionadores (20u, 20v, e 20w) que emite para um meio de aplicação de voltagem (3) um comando de voltagem obtido adicionando o comando de voltagem de acionamento, o comando de voltagem de estimativa posicional e o comando de voltagem de redução de ruído.

APARELHO DE CONTROLE PARA UMA MÁQUINA ELÉTRICA ROTATIVA PARA EXECUTAR CONTROLE DE ACIONAMENTO DA MÁQUINA ELÉTRICA ROTATIVA

CAMPO TÉCNICO

[001] A presente invenção relaciona-se a um aparelho de controle para uma máquina elétrica rotativa tal como uma máquina de indução ou uma máquina síncrona, que é capaz de obter informação de posição de rotor sem usar um sensor de posição rotacional, e executar controle de rotação para a máquina elétrica rotativa.

FUNDAMENTOS DA TÉCNICA

[002] A fim de controlar precisamente uma operação rotacional de uma máquina elétrica rotativa, informação de posição de rotor da máquina elétrica rotativa e informação sobre uma corrente fluindo na máquina elétrica rotativa são precisadas. Aqui, convencionalmente, a informação de posição de rotor é obtida prendendo adicionalmente um sensor de posição rotacional à máquina elétrica rotativa. Porém, a provisão adicional de um sensor de posição rotacional tem uma desvantagem significativa devido a redução de custo, redução espacial, melhoria de confiabilidade. Portanto, mudança de estilo de sensor de posição rotacional para estilo sem sensor foi requerido.

Exemplos de métodos de controle para mudar a máquina elétrica rotativa de estilo de sensor de posição rotacional para estilo sem sensor incluem um método de estimar a posição de um rotor da máquina elétrica rotativa principalmente de uma tensão indutiva da máquina elétrica rotativa, e um método de estimar a posição do rotor da máquina elétrica rotativa usando saliência (dependência posicional de indutância) da máquina elétrica rotativa.

A tensão indutiva que é usada no método anterior tem uma característica que a magnitude dela é proporcional à velocidade da máquina elétrica rotativa. Portanto, a uma velocidade zero ou uma baixa velocidade, a

tensão indutiva diminui e uma relação de S/N é deteriorada. Como resultado, fica difícil calcular precisamente a posição do rotor da máquina elétrica rotativa.

[003] Por outro lado, no último método que usa saliência, uma instrução de tensão de estimação de posição de alta frequência tendo uma frequência diferente de uma frequência de acionamento da máquina elétrica rotativa é aplicada à máquina elétrica rotativa, uma corrente de máquina elétrica rotativa de alta frequência fluindo na máquina elétrica rotativa junto com a aplicação da instrução de tensão de estimação de posição é detectada, e a posição do rotor é estimada usando o fato que a magnitude da corrente de máquina elétrica rotativa varia dependendo da posição do rotor devido à saliência.

[004] Assim, o método usando saliência tem uma vantagem que a posição do rotor da máquina elétrica rotativa pode ser estimada sem depender da velocidade rotacional da máquina elétrica rotativa, entretanto a instrução de tensão de estimação de posição para estimar a posição do rotor da máquina elétrica rotativa precisa ser introduzida à máquina elétrica rotativa. Portanto, especialmente a uma velocidade zero ou uma baixa velocidade, um método de controle sem sensor de posição usando saliência é usado.

[005] Porém, em um tal método de controle sem sensor de posição usando saliência, desde que a instrução de tensão de estimação de posição de alta frequência precisa ser aplicada à máquina elétrica rotativa, ruído ocorre junto com a aplicação, e o ruído dá um senso de desconforto a uma pessoa.

[006] Como uma medida para reduzir um tal senso de desconforto devido ao ruído ocorrendo junto com a aplicação da tensão de estimação de posição à máquina elétrica rotativa, convencionalmente, um método de reduzir a magnitude do ruído ocorrendo da máquina elétrica rotativa reduzindo a amplitude da tensão de estimação de posição aplicada à máquina elétrica rotativa, e um método de melhorar a qualidade de som do ruído,

foram propostos.

[007] No método anterior de reduzir a magnitude do ruído ocorrendo da máquina elétrica rotativa reduzindo a amplitude da instrução de tensão de estimação de posição aplicada à máquina elétrica rotativa, desde que a amplitude da instrução de tensão de estimação de posição é pequena, é difícil estimar precisamente a posição do rotor da máquina elétrica rotativa.

[008] Por outro lado, no último método de melhorar a qualidade de som do ruído, por exemplo, como em uma técnica convencional exposta na Literatura de Patente 1, a frequência da instrução de tensão de estimação de posição aplicada à máquina elétrica rotativa é variada intencionalmente de uma maneira aleatória de forma que um som tendo um componente de frequência particular não seja evidente, por meio de que um senso de desconforto que uma pessoa sente é reduzido, porque quando um som tendo um componente de frequência particular é evidente entre sons que uma pessoa pode ouvir, a pessoa sente um senso de desconforto desse som.

[009] LITERATURA DE PATENTE 1: Publicação de Patente Aberta Japonesa No. 2004-343833

DESCRIÇÃO DA INVENÇÃO

PROBLEMAS A SEREM RESOLVIDOS PELA INVENÇÃO

[0010] Porém, se o componente de frequência da instrução de tensão de estimação de posição for variado de uma maneira aleatória como na Literatura de Patente 1 de forma que um som tendo um componente de frequência particular não seja evidente, junto com isto, a frequência de uma corrente precisada para estimar a posição do rotor da máquina elétrica rotativa também se torna aleatória. Portanto, fica difícil de detectar, de uma corrente de máquina elétrica rotativa, a corrente precisada para estimar a posição do rotor. Como resultado, a precisão de estimação da posição é deteriorada, e em alguns casos, há uma possibilidade que a posição não pode ser estimada.

[0011] A presente invenção foi feita para resolver os problemas

anteriores. Um objetivo da presente invenção é prover um aparelho de controle, para a máquina elétrica rotativa, que é capaz de estimar precisamente a posição de um rotor da máquina elétrica rotativa, e reduzir efetivamente um senso de desconforto devido ao ruído ocorrendo junto com a aplicação da instrução de tensão de estimação de posição à máquina elétrica rotativa.

MEIOS DE SOLUÇÃO PARA OS PROBLEMAS

[0012] Um aparelho de controle para uma máquina elétrica rotativa, de acordo com a presente invenção, executa controle de acionamento da máquina elétrica rotativa. O aparelho de controle inclui meio de detecção de corrente para detectar correntes de máquina elétrica rotativa fluindo na máquina elétrica rotativa, meio de estimativa de posição para estimar a posição de um rotor da máquina elétrica rotativa com base na corrente de máquina elétrica rotativa detectada pelo meio de detecção de corrente, meio de controle para emitir instruções de tensão com base na corrente de máquina elétrica rotativa detectada pelo meio de detecção de corrente e informação sobre a posição do rotor estimada pelo meio de estimativa de posição, e meio de aplicação de tensão para aplicar uma tensão para controle de acionamento, à máquina elétrica rotativa, com base na instrução de tensão produzida do meio de controle. O meio de controle inclui uma seção de cálculo de instrução de tensão de acionamento para calcular instruções de tensão de acionamento para acionar a máquina elétrica rotativa, um gerador de tensão de estimação de posição para emitir instruções de tensão de estimação de posição para estimar a posição do rotor da máquina elétrica rotativa, um gerador de tensão de redução de ruído para emitir instruções de tensão de redução de ruído que não contribuem para controle de acionamento e estimação de posição para a máquina elétrica rotativa, e somadores para adicionar as instruções de tensão de estimação de posição e as instruções de tensão de redução de ruído às instruções de tensão de acionamento, e emitir o sinal resultante como as

instruções de tensão para o meio de aplicação de tensão.

EFEITO DA INVENÇÃO

[0013] De acordo com a presente invenção, quando as instruções de tensão de estimação para estimação posição de posição sobre o rotor são adicionadas às instruções de tensão de acionamento para controle de acionamento da máquina elétrica rotativa a serem produzidas ao meio de aplicação de tensão, as instruções de tensão de redução de ruído produzidas do gerador de tensão de redução de ruído também são adicionadas. Portanto, ruído incluindo uma pluralidade de componentes de frequência ocorre da máquina elétrica rotativa. Portanto, ruído ocorrendo junto com a aplicação das instruções de tensão de estimação de posição à máquina elétrica rotativa pode ser suprimido para não ser evidente. Como resultado, um senso de desconforto que uma pessoa sente do ruído pode ser reduzido.

[0014] Neste caso, a frequência da instrução de tensão de estimação de posição não é variada de uma maneira aleatória, mas é fixada para ser constante. Portanto, fica fácil detectar uma corrente precisada para estimar a posição do rotor da máquina elétrica rotativa, comparado com o caso onde a frequência da instrução de tensão de estimação de posição é variada de uma maneira aleatória como na técnica convencional. Como resultado, uma alta precisão de estimação de posição é assegurada.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

[0015] Figura 1 é um diagrama mostrando a configuração de um aparelho de controle para uma máquina elétrica rotativa, de acordo com modalidade 1 da presente invenção.

[0016] Figura 2 é um diagrama mostrando um exemplo específico da configuração de um meio de estimativa de posição do aparelho de controle.

[0017] Figura 3 é um diagrama mostrando as formas de onda de amplitudes de corrente de estimação de posição obtidas por uma unidade de cálculo de amplitude de corrente do aparelho de controle.

[0018] Figura 4 é um diagrama para ilustrar a operação de uma unidade de cálculo de posição do aparelho de controle.

[0019] Figura 5 é um diagrama mostrando as formas de onda de instruções de tensão de estimação de posição geradas por um gerador de tensão de estimação de posição do aparelho de controle.

[0020] Figura 6 é um diagrama mostrando uma modificação da configuração do aparelho de controle para a máquina elétrica rotativa, de acordo com a modalidade 1 da presente invenção.

[0021] Figura 7 é um diagrama mostrando a configuração de um aparelho de controle para a máquina elétrica rotativa, de acordo com a modalidade 2 da presente invenção.

[0022] Figura 8 é um diagrama mostrando um exemplo da forma de onda de uma instrução de tensão de redução de ruído gerada por um gerador de tensão de redução de ruído.

[0023] Figura 9 é um diagrama mostrando um exemplo específico da configuração de um meio de aplicação de tensão do aparelho de controle.

[0024] Figura 10 é um diagrama para ilustrar a operação no caso onde instruções de tensão às quais as instruções de tensão de redução de ruído foram adicionadas são dadas ao meio de aplicação de tensão do aparelho de controle.

[0025] Figura 11 é um diagrama para ilustrar a operação no caso onde instruções de tensão às quais as instruções de tensão de redução de ruído não são adicionadas são dadas ao meio de aplicação de tensão do aparelho de controle.

[0026] Figura 12 é um diagrama mostrando a configuração de um aparelho de controle para a máquina elétrica rotativa, de acordo com a modalidade 3 da presente invenção.

[0027] Figura 13 é um diagrama mostrando a configuração de um aparelho de controle para a máquina elétrica rotativa, de acordo com a

modalidade 4 da presente invenção.

MELHOR MODO PARA EXECUTAR A INVENÇÃO

Modalidade 1

[0028] Figura 1 é um diagrama mostrando uma configuração de um aparelho de controle para uma máquina elétrica rotativa, de acordo com a modalidade 1 da presente invenção.

[0029] Na modalidade 1, a máquina elétrica rotativa 1 é, por exemplo, uma máquina síncrona do tipo de ímã embutido. Um meio de aplicação de tensão 3 para aplicar uma tensão de controle predeterminada está conectado à máquina elétrica rotativa 1. Além disso, são providos: um meio de detecção de corrente 2 para detectar correntes de máquina elétrica rotativa (para duas fases, na presente modalidade) i_u e i_w fluindo entre o meio de aplicação de tensão 3 e a máquina elétrica rotativa 1; um meio de estimativa de posição 4 para estimar uma posição de rotor θ_L da máquina elétrica rotativa 1, com base nas correntes de máquina elétrica giratória i_u e i_w detectadas pelo meio de detecção de corrente 2; e um meio de controle 5 para emitir instruções de tensão V_{up}^* , V_{wp}^* , e V_{vp}^* para controle de acionamento, para o meio de aplicação de tensão 3.

[0030] O meio de detecção de corrente 2 inclui um transformador de corrente e similar, por exemplo. Na presente modalidade, o meio de detecção de corrente 2 detecta duas fases de correntes de máquina elétrica rotativa, quer dizer, as correntes de máquina elétrica rotativa de fase U e fase W, i_u e i_w , entre três fases de correntes de máquina elétrica rotativa fluindo entre a máquina elétrica rotativa 1 e o meio de aplicação de tensão 3. É notado que a corrente de máquina elétrica rotativa de fase V i_v é calculada usando o fato que as correntes de máquina elétrica rotativa estão em equilíbrio trifásico. Além disso, embora na presente modalidade, as correntes de máquina elétrica rotativa de fase U e fase W i_u e i_w sejam detectadas, a presente invenção não está limitada a isso. As correntes de máquina elétrica rotativa de quaisquer

duas fases podem ser detectadas, ou correntes de máquina elétrica rotativa de fase U, fase V e fase W, i_u , i_v e i_w , podem todas ser detectadas ao mesmo tempo. Alternativamente, o meio de detecção de corrente 2 pode detectar uma corrente de barramento de CC introduzida ao meio de aplicação de tensão 3 e calcular as correntes de máquina elétrica rotativa da corrente de barramento de CC.

[0031] Por exemplo, um aparelho de conversão de potência tal como um inversor de PWM de comparação de onda triangular é aplicado ao meio de aplicação de tensão 3. O meio de aplicação de tensão 3 executa conversão de potência, com base em cada uma das instruções de tensão V_{up}^* , V_{vp}^* e V_{wp}^* produzida do meio de controle 5, e aplica uma tensão para controle de acionamento, à máquina elétrica rotativa 1.

[0032] Aqui, a máquina elétrica rotativa 1 tem a denominada saliência na qual a indutância varia conforme a posição do rotor. Portanto, como descrito em detalhes mais tarde, quando uma tensão é aplicada à máquina elétrica rotativa 1 pela meio de aplicação de tensão 3 com base em instruções de tensão V_{up}^* , V_{vp}^* e V_{wp}^* , em que instruções de tensão de estimação de posição CA trifásica V_{uh} , V_{vh} e V_{wh} produzidas de um gerador de tensão de estimação de posição 7 do meio de controle 5 foram sobrepostas, as correntes de máquina elétrica rotativa, i_u , i_v e i_w detectadas pelo meio de detecção de corrente 2 incluem correntes (em seguida, chamadas correntes de estimação de posição) i_{uh} , i_{vh} e i_{wh} tendo os mesmos componentes de frequência como aqueles das instruções de tensão de estimação de posição V_{uh} , V_{vh} e V_{wh} , respectivamente, e as amplitudes das correntes de estimação de posição i_{uh} , i_{vh} e i_{wh} variam conforme a posição do rotor da máquina elétrica rotativa 1.

[0033] Usando a saliência descrita acima, primeiro, o meio de estimativa de posição 4 extrai as correntes de estimação de posição i_{uh} , i_{vh} e i_{wh} tendo os mesmos componentes de frequência como aqueles das instruções de tensão de estimação de posição V_{uh} , V_{vh} e V_{wh} , das correntes

de máquina elétrica rotativa i_u e i_w detectadas pelo meio de detecção de corrente 2. A seguir, o meio de estimativa de posição 4 calcula uma posição de rotor estimada (em seguida, também chamada uma posição estimada) θ_L da máquina elétrica rotativa 1, com base nas amplitudes das correntes de estimação de posição extraídas i_{uh} , i_{vh} e i_{wh} , e produz a posição de rotor θ_L .

[0034] Figura 2 é um diagrama mostrando um exemplo específico de uma configuração do meio de estimativa de posição 4.

[0035] O meio de estimativa de posição 4 inclui um somador 16, extratores de corrente de estimação de posição 17u, 17v e 17w, unidades de cálculo de amplitude de corrente 18u, 18v e 18w, e uma unidade de cálculo de posição 19.

[0036] Entre as três fases de correntes de máquina elétrica rotativa, i_u , i_v e i_w , as correntes de máquina elétrica rotativa de fase U e fase W i_u e i_w , que são detectadas pelo meio de detecção de corrente 2, têm uma relação representada por expressão (1) com a corrente de máquina elétrica rotativa de fase V i_v , que não é detectada pelo meio de detecção de corrente 2. Portanto, o somador 16 soma as correntes de máquina elétrica rotativa de fase U e fase W, i_u e i_w , por esse meio calculando a corrente de máquina elétrica rotativa de fase V i_v . É notado que, como de costume, no caso onde o meio de detecção de corrente 2 detecta as três fases de correntes de máquina elétrica rotativa i_u , i_v e i_w ao mesmo tempo, a corrente de máquina elétrica rotativa de fase V i_v não precisa ser calculada.

Expressão 1

$$i_v = -i_u - i_w \quad (1)$$

[0037] As correntes de máquina elétrica rotativa i_u , i_v e i_w detectadas como descrito acima são introduzidas aos extratores de corrente de estimação de posição 17u, 17v e 17w respectivamente providos para as correntes de máquina elétrica rotativa i_u , i_v e i_w , e as correntes de estimação de posição i_{uh} , i_{vh} e i_{wh} tendo os mesmos componentes de frequência como aqueles das

instruções de tensão de estimação de posição V_{uh} , V_{vh} e V_{wh} são extraídas. Neste caso, a extração das correntes de estimação de posição i_{uh} , i_{vh} e i_{wh} é executada usando um filtro passa-banda ou um filtro de corte. É notado que as correntes de máquina elétrica rotativa i_u , i_v e i_w também incluem sinais tendo os mesmos componentes de frequência como aqueles de instruções de tensão de redução de ruído V_{um} , V_{vm} e V_{wm} descritos mais tarde, respectivamente. Porém, as frequências destes sinais são diferentes daquelas das instruções de tensão de estimação de posição V_{uh} , V_{vh} e V_{wh} . Portanto, estes sinais são removidos nos extratores de corrente de estimação de posição $17u$, $17v$ e $17w$, e qualquer problema não surge para extrair as correntes de estimação de posição i_{uh} , i_{vh} e i_{wh} .

[0038] As correntes de estimação de posição i_{uh} , i_{vh} e i_{wh} extraídas pelos extratores de corrente de estimação de posição $17u$, $17v$ e $17w$ como descrito acima são introduzidas às unidades de cálculo de amplitude de corrente $18u$, $18v$ e $18w$ providas respectivamente para as correntes de estimação de posição i_{uh} , i_{vh} e i_{wh} , e as amplitudes de corrente de estimação de posição I_{uh} , I_{vh} e I_{wh} que são as amplitudes das correntes de estimação de posição i_{uh} , i_{vh} e i_{wh} são calculadas.

[0039] Um método para calcular as amplitudes de corrente de estimação de posição I_{uh} , I_{vh} e I_{wh} neste caso não está limitado especificamente. Por exemplo, as amplitudes podem ser calculadas executando transformada de Fourier ou com base nas autocorrelações respectivas obtidas quadrando as correntes de estimação de posição i_{uh} , i_{vh} e i_{wh} , com base na expressão (2).

Expressão 2

$$\left. \begin{aligned} I_{uh} &= \sqrt{\frac{2}{T_n} \int_0^{T_n} i_{uh}^2 dt} \\ I_{vh} &= \sqrt{\frac{2}{T_n} \int_0^{T_n} i_{vh}^2 dt} \\ I_{wh} &= \sqrt{\frac{2}{T_n} \int_0^{T_n} i_{wh}^2 dt} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

(Onde T_n é o período da corrente de estimação de posição)

[0040] A seguir, a unidade de cálculo de posição 19 calcula a posição estimada θ_L da máquina elétrica rotativa 1, com base nas amplitudes de corrente de estimação de posição I_{uh} , I_{vh} e I_{wh} calculadas pelas unidades de cálculo de amplitude de corrente respectivas 18u, 18v e 18w. Os detalhes de um método do cálculo serão descritos abaixo. É notado que o cálculo pela unidade de cálculo de posição 19 não está limitado ao método descrito abaixo, e qualquer método pode ser aplicado contanto que a posição estimada θ_L seja calculada com base nas amplitudes de corrente de estimação de posição I_{uh} , I_{vh} e I_{wh} .

[0041] Como mostrado na Figura 3, um ofsete I_h foi sobreposto em cada uma das amplitudes de corrente de estimação de posição I_{uh} , I_{vh} e I_{wh} obtidas pelas unidades de cálculo de amplitude de corrente 18u, 18v e 18w, e as amplitudes de corrente de estimação de posição I_{uh} , I_{vh} e I_{wh} variam com 1/2 do período da posição (ângulo elétrico) da máquina elétrica rotativa 1.

[0042] Portanto, como mostrado por expressão (3), primeiro, a unidade de cálculo de posição 19 subtrai o ofsete I_h de cada uma das amplitudes de corrente de estimação de posição I_{uh} , I_{vh} e I_{wh} , por esse meio calculando sinais de cálculo de posição dI_u , dI_v e dI_w . Aqui, desde que as

amplitudes de corrente de estimação de posição I_{uh} , I_{vh} e I_{wh} estão em equilíbrio trifásico, o ofsete I_h pode ser calculado como mostrado por expressão (4).

Expressão 3

$$\left. \begin{aligned} dI_u &= I_{uh} - I_h \\ dI_v &= I_{vh} - I_h \\ dI_w &= I_{wh} - I_h \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Expressão 4

$$I_h = \frac{I_{uh} + I_{vh} + I_{wh}}{3} \quad (4)$$

[0043] Aqui, a posição estimada θ_L da máquina elétrica rotativa 1 pode ser calculada executando operação de co-seno inversa para um dos sinais de cálculo de posição dI_u , dI_v e dI_w mostrados na expressão (3). Porém, é necessário executar operação de co-seno inversa e armazenar uma função de co-seno inversa com antecedência, resultando em aumento da quantidade de cálculo e da memória. Portanto, este método não é preferível. Modalidade 1 emprega um método de calcular a posição estimada θ_L da máquina elétrica rotativa 1 usando aproximação linear, sem usar uma função de co-seno inversa. Em seguida, este método será descrito.

[0044] Na unidade de cálculo de posição 19, com base na inter-relação entre os sinais de cálculo de posição dI_u , dI_v e dI_w calculados por expressão (3), os sinais de cálculo de posição dI_u , dI_v e dI_w são divididos em seis intervalos (I-VI), cujas posições medianas θ_M são representadas por expressão (5), como mostrado na Figura 4.

Expressão 5

$$\theta_M = N \frac{\pi}{6} + \frac{\pi}{12} \quad (N = 0, 1, 2 \cdots 5) \quad (5)$$

[0045] Em cada um dos intervalos (I-VI), um dos sinais de cálculo de posição dI_u , dI_v e dI_w que cruza a zero ao meio do intervalo é representado por uma função de seno ou -seno. Desde que a função de seno ou -seno em cada um dos intervalos (I-VI) é considerada como uma linha reta, o sinal em cada um dos intervalos (I-VI) é sujeito à aproximação linear, e um desvio $\Delta\theta_{ML}$ entre a posição mediana θ_M de cada um dos intervalos (I-VI), e a posição estimada θ_L da máquina elétrica rotativa 1 (a posição θ da máquina elétrica rotativa 1) é calculado com base na expressão (6). Aqui, dI_{uvw} na expressão (6) é um valor no eixo vertical de cada um dos sinais de cálculo de posição dI_u , dI_v e dI_w como é quando o sinal cruza a zero na posição mediana θ_M em cada um dos intervalos (I-VI). Além disso, desde que I_{ha} é a quantidade de variação de cada uma das correntes de estimação de posição i_{uh} , i_{vh} e i_{wh} de acordo com a posição da máquina elétrica rotativa, $(I_{ha}/2)$ é a amplitude de cada um dos sinais de cálculo de posição dI_u , dI_v e dI_w .

Expressão 6

$$\Delta\theta_{ML} = \frac{dI_{uvw}}{(I_{ha} / 2)} \quad (6)$$

[0046] É notado que $(I_{ha}/2)$ pode ser calculado da raiz quadrada da soma dos quadrados dos sinais de cálculo de posição dI_u , dI_v e dI_w , como mostrado por expressão (7).

Expressão 7

$$\frac{I_{ha}}{2} = \sqrt{\frac{2(dI_u^2 + dI_v^2 + dI_w^2)}{3}} \quad (7)$$

[0047] Então, como mostrado por expressão (8), $\Delta\theta_{ML}$ calculado por expressão (6) e a posição mediana θ_M são somados, por meio de que a posição estimada θ_L da máquina elétrica rotativa 1 é calculada.

Expressão 8

$$\theta L = \theta M + \Delta \theta ML \quad (8)$$

[0048] O meio de controle 5 inclui uma seção de cálculo de instrução de tensão de acionamento 6, um gerador de tensão de estimação de posição 7, um gerador de tensão de redução de ruído 8, um filtro 9 e somadores 20u, 20v e 20w.

[0049] Os somadores 20u, 20v e 20w somam, a instruções de tensão de acionamento V_u^* , V_v^* e V_w^* produzidas da seção de cálculo de instrução de tensão de acionamento 6, as instruções de tensão de estimação de posição V_{uh} , V_{vh} e V_{wh} produzidas do gerador de tensão de estimação de posição 7, e as instruções de tensão de redução de ruído V_{um} , V_{vm} e V_{wm} produzidas do gerador de tensão de redução de ruído 8 pelo filtro 9, respectivamente, e os sinais resultantes são produzidos como as instruções de tensão V_{up}^* , V_{vp}^* e V_{wp}^* para o meio de aplicação de tensão 3.

[0050] Portanto, as instruções de tensão V_{up}^* , V_{vp}^* e V_{wp}^* , que são aplicadas ao meio de aplicação de tensão 3, são as instruções de tensão de acionamento V_u^* , V_v^* e V_w^* em que as instruções de tensão de estimação de posição V_{uh} , V_{vh} e V_{wh} e as instruções de tensão de redução de ruído V_{um} , V_{vm} , e V_{wm} foram sobrepostas, respectivamente. É notado que as instruções de tensão de estimação de posição V_{uh} , V_{vh} e V_{wh} e as instruções de tensão de redução de ruído V_{um} , V_{vm} e V_{wm} serão descritas mais tarde em detalhes.

[0051] A seção de cálculo de instrução de tensão de acionamento 6 inclui dois subtradores 10d e 10q, um controlador de corrente de eixo d 11d, um controlador de corrente de eixo q 11q, um primeiro conversor de coordenada 12, um conversor bifásico/trifásico 13, um segundo conversor de coordenada 14, e um conversor trifásico/bifásico 15.

[0052] O subtrator 10d, que é um dos subtratores, calcula um desvio Δi_d entre uma instrução de corrente de eixo d i_d^* para acionar a máquina

elétrica rotativa 1, que é dada do meio de controle 5, e uma corrente i_d produzida do segundo conversor de coordenada 14. O controlador de corrente de eixo d 11d executa controle proporcional-integral (controle PI) tal que o desvio i_d se torne zero, por esse meio calculando uma instrução de tensão de eixo d V_d^* .

[0053] O subtrator 10q, que é o outro dos subtratores, calcula um desvio Δi_q entre uma instrução de corrente de eixo q i_q^* para acionar a máquina elétrica rotativa 1, que é dada do exterior do meio de controle 5, e uma corrente i_q produzida do segundo conversor de coordenada 14. O controlador de corrente de eixo q 11q executa controle proporcional-integral (controle PI) tal que o desvio Δi_q se torne zero, por esse meio calculando uma instrução de tensão de eixo q V_q^* .

[0054] O primeiro conversor de coordenada 12 converte a instrução de corrente de eixo d V_d^* e a instrução de corrente de eixo q V_q^* produzida do controlador de corrente de eixo d 11d e do controlador de corrente de eixo q 11q, em instruções de tensão V_α^* e V_β^* em dois eixos (eixos α - β) em repouso, respectivamente. O conversor bifásico/trifásico 13 converte as instruções de tensão V_α^* e V_β^* produzidas do primeiro conversor de coordenada 12, em instruções de tensão de acionamento V_u^* , V_v^* e V_w^* em uma sistema de coordenada de CA trifásico.

[0055] O conversor trifásico/bifásico 15 converte as correntes de máquina elétrica rotativa i_u e i_w detectadas pelo meio de detecção de corrente 2, em correntes i_α e i_β em dois eixos (eixos α - β) em repouso. O segundo conversor de coordenada 14 converte as correntes i_α e i_β produzidas do conversor trifásico/bifásico 15, em correntes i_d e i_q em dois eixos rotacionais (eixos d-q) girando em sincronização com a posição estimada θ_L produzida do meio de estimativa de posição 4 descrito previamente, e produz as correntes i_d e i_q para os subtratores 10d e 10q, respectivamente.

[0056] O gerador de tensão de estimação de posição 7 gera, para

estimar a posição do rotor da máquina elétrica rotativa 1, as instruções de tensão de estimação de posição V_{uh} , V_{vh} e V_{wh} tendo frequências diferentes daquelas das instruções de tensão de acionamento V_u^* , V_v^* e V_w^* produzidas da seção de cálculo de instrução de tensão de acionamento 6. As instruções de tensão de estimação de posição V_{uh} , V_{vh} e V_{wh} podem ser de qualquer tipo contanto que suas frequências sejam diferentes daquelas das instruções de tensão de acionamento V_u^* , V_v^* e V_w^* . Na modalidade 1, as instruções de tensão de estimação de posição V_{uh} , V_{vh} e V_{wh} são instruções de tensão de estimação de posição de CA trifásicas.

[0057] As instruções de tensão de estimação de posição de CA trifásicas V_{uh} , V_{vh} e V_{wh} , por exemplo, são mostradas na Figura 5. No caso onde o meio de aplicação de tensão 3 é um inversor de PWM de comparação de onda triangular, se um meio período T_c de uma portadora de onda triangular usada para o inversor de PWM de comparação de onda triangular executar modulação de PWM for um intervalo, as instruções de tensão de estimação de posição de CA trifásicas são sinais cujo um período tem um comprimento de seis intervalos ($= 6 \cdot T_c$), onde o um período é T_h . Além disso, as instruções de tensão de estimação de posição V_{uh} , V_{vh} e V_{wh} são fixadas tal que cada uma delas seja deslocada por dois intervalos ($= 2 \cdot T_c$) entre si, de forma que elas estejam em equilíbrio trifásico. Deste modo, se as instruções de tensão de estimação de posição V_{uh} , V_{vh} e V_{wh} forem instruções de tensão de estimação de posição de CA trifásica, fica fácil fazer um padrão como mostrado na Figura 5. Como resultado, a configuração do gerador de tensão de estimação de posição 7 pode ser simplificada.

[0058] Quando as instruções de tensão de estimação de posição V_{uh} , V_{vh} e V_{wh} produzidas do gerador de tensão de estimação de posição 7 são aplicadas à máquina elétrica rotativa 1 pelo meio de aplicação de tensão 3, ruído ocorre da máquina elétrica rotativa 1 junto com a aplicação, e uma pessoa sente um senso de desconforto do ruído. Portanto, o gerador de tensão

de redução de ruído 8 produz as três fases de instruções de tensão de redução de ruído V_{um} , V_{vm} e V_{wm} a fim de reduzir um tal senso de desconforto. Em seguida, os detalhes das instruções de tensão de redução de ruído V_{um} , V_{vm} e V_{wm} serão descritos.

[0059] Entre ruídos que uma pessoa pode ouvir, em comparação entre ruído tendo um único componente de frequência e ruído tendo uma pluralidade de componentes de frequência, há uma característica que uma pessoa sente mais de um senso de desconforto do ruído tendo o único componente de frequência. Portanto, na modalidade 1, o gerador de tensão de redução de ruído 8 gera as três fases de instruções de tensão de redução de ruído V_{um} , V_{vm} e V_{wm} tendo frequências diferentes daquelas das instruções de tensão de acionamento V_u^* , V_v^* e V_w^* e daquelas das instruções de tensão de estimação de posição V_{uh} , V_{vh} e V_{wh} , e os somadores 20u, 20v e 20w adicionam as instruções de tensão de redução de ruído V_{um} , V_{vm} e V_{wm} às instruções de tensão de acionamento V_u^* , V_v^* e V_w^* e as instruções de tensão de estimação de posição V_{uh} , V_{vh} e V_{wh} , respectivamente. Então, o meio de aplicação de tensão 3 aplica, à máquina elétrica rotativa 1, tensões para controle de acionamento, com base nas instruções de tensão V_{up}^* , V_{vp}^* e V_{wp}^* obtidas pela adição.

[0060] Como resultado, ruído ocorrendo da máquina elétrica rotativa 1 inclui um componente de frequência com base nas instruções de tensão de estimação de posição V_{uh} , V_{vh} e V_{wh} , e um componente de frequência com base nas instruções de tensão de redução de ruído V_{um} , V_{vm} e V_{wm} de uma maneira misturada. Portanto, um senso de desconforto que uma pessoa sente pode ser reduzido comparado com o caso onde o ruído tem um único componente de frequência.

[0061] Especialmente, é preferido que as frequências das instruções de tensão de redução de ruído V_{um} , V_{vm} e V_{wm} sejam fixadas para variar temporalmente em vez de fixar as frequências a valores constantes, porque

neste caso, as frequências das instruções de tensão de redução de ruído V_{um} , V_{vm} e V_{wm} incluem várias frequências, e um senso de desconforto devido ao ruído ocorrendo da máquina elétrica rotativa 1 pode ser reduzido ademais.

[0062] Por exemplo, se cada uma das instruções de tensão de redução de ruído V_{um} , V_{vm} e V_{wm} for fixada como uma onda de modulação de FM representada por expressão (9) em que a amplitude é A_f , é a frequência de centro ω_n , e a fase varia como $m_f \sin(\omega_m t)$, as frequências das instruções de tensão de redução de ruído V_{um} , V_{vm} e V_{wm} variam temporalmente. Como resultado, também o ruído ocorrendo da máquina elétrica rotativa 1 varia temporalmente em frequência, por meio de que várias frequências estão incluídas no ruído. Portanto, um senso de desconforto que uma pessoa sente do ruído pode ser reduzido ademais.

Expressão 9

$$A_f \cdot \cos(\omega_n t + m_f \sin(\omega_m t)) \quad (9)$$

[0063] O filtro 9 provido entre o gerador de tensão de redução de ruído 8 e os somadores 20u, 20v e 20w remove os mesmos componentes de frequência como aqueles das instruções de tensão de estimação de posição V_{uh} , V_{vh} e V_{wh} e componentes de frequência na redondeza disso de forma que tais componentes de frequência não sejam incluídos nas instruções de tensão de redução de ruído V_{um} , V_{vm} e V_{wm} . Por exemplo, um filtro de corte é aplicado ao filtro 9.

[0064] Por exemplo, no caso onde as instruções de tensão de redução de ruído V_{um} , V_{vm} e V_{wm} são as ondas de modulação de FM representadas por expressão (9), se a banda de frequência da onda de modulação de FM sobrepor parcialmente com as frequências das instruções de tensão de estimação de posição V_{uh} , V_{vh} e V_{wh} , as instruções de tensão de redução de ruído V_{um} , V_{vm} e V_{wm} poderiam ter uma influência adversa sobre as instruções de tensão de estimação de posição V_{uh} , V_{vh} e V_{wh} , e a precisão

de estimação de posição poderia ser deteriorada. Especialmente, quando componentes de frequência incluídos nas instruções de tensão de redução de ruído V_{um} , V_{vm} e V_{wm} são iguais àqueles das instruções de tensão de estimação de posição V_{uh} , V_{vh} e V_{wh} , e as fases dos componentes de frequência são opostas às fases das instruções de tensão de estimação de posição V_{uh} , V_{vh} e V_{wh} , as instruções de tensão de redução de ruído V_{um} , V_{vm} e V_{wm} cancelam as instruções de tensão de estimação de posição V_{uh} , V_{vh} e V_{wh} . Então, os níveis de sinal das instruções de tensão de estimação de posição V_{uh} , V_{vh} e V_{wh} ficam pequenos ou zero, e uma dificuldade que a precisão de estimação de posição é deteriorada ocorre.

[0065] Portanto, o filtro 9 remove os mesmos componentes de frequência como aqueles das instruções de tensão de estimação de posição V_{uh} , V_{vh} e V_{wh} e componentes de frequência na redondeza disso de forma que tais componentes de frequência não sejam incluídos nas instruções de tensão de redução de ruído V_{um} , V_{vm} e V_{wm} , por esse meio prevenindo a precisão de estimação de posição de ser deteriorada.

[0066] É notado que se não houver nenhuma possibilidade que os mesmos componentes de frequência como àqueles das instruções de tensão de estimação de posição V_{uh} , V_{vh} e V_{wh} ou componentes de frequência na redondeza disso sejam incluídos nas instruções de tensão de redução de ruído V_{um} , V_{vm} e V_{wm} , o filtro 9 pode ser omitido como mostrado na Figura 6.

[0067] Como descrito acima, na modalidade 1, quando as instruções de tensão de estimação de posição V_{uh} , V_{vh} e V_{wh} são aplicadas à máquina elétrica rotativa 1 para realizar mudança de estilo de sensor de posição rotacional para estilo sem sensor, as instruções de tensão de redução de ruído V_{um} , V_{vm} e V_{wm} tendo componentes de frequência diferentes daqueles das instruções de tensão de estimação de posição V_{uh} , V_{vh} e V_{wh} são somadas ao mesmo tempo. Portanto, o ruído ocorrendo da máquina elétrica rotativa 1 inclui componentes de frequência diferentes daqueles das instruções de tensão

de estimação de posição V_{uh} , V_{vh} e V_{wh} , e um senso de desconforto que uma pessoa sente pode ser reduzido comparado com o caso onde o ruído tem um único componente de frequência.

[0068] Além disso, as frequências das instruções de tensão de estimação de posição V_{uh} , V_{vh} e V_{wh} são sempre constantes embora o ruído inclua uma pluralidade de componentes de frequência de uma maneira misturada. Portanto, comparado com o caso onde as frequências das instruções de tensão de estimação de posição V_{uh} , V_{vh} e V_{wh} variam de uma maneira aleatória como na técnica convencional, as correntes de estimação de posição i_{uh} , i_{vh} e i_{wh} podem ser extraídas precisamente das correntes de máquina elétrica rotativa, e como resultado, uma precisão alta de estimação de posição é assegurada.

[0069] Além disso, desde que o filtro 9 remove com antecedência os mesmos componentes de frequência como aqueles das instruções de tensão de estimação de posição V_{uh} , V_{vh} e V_{wh} e componentes de frequência na redondeza disso de forma que tais componentes de frequência não sejam incluídos nas instruções de tensão de redução de ruído V_{um} , V_{vm} e V_{wm} , é possível impedir as instruções de tensão de redução de ruído V_{um} , V_{vm} e V_{wm} de terem uma influência adversa sobre as instruções de tensão de estimação de posição V_{uh} , V_{vh} e V_{wh} .

Modalidade 2

[0070] Figura 7 é um diagrama mostrando uma configuração de um aparelho de controle para a máquina elétrica rotativa, de acordo com modalidade 2 da presente invenção. Componentes que correspondem ou são iguais àqueles na modalidade 1 mostrada na Figura 1 são denotados pelos mesmos numerais de referência. É notado que, na Figura 7, as configurações diferentes do meio gerador de tensão de redução de ruído 8 do meio de controle 5 são iguais como na modalidade 1. Portanto, a descrição das configurações diferentes do gerador de tensão de redução de ruído 8 será

omitida aqui.

[0071] Na modalidade 1, o gerador de tensão de redução de ruído 8 gera as três fases de instruções de tensão de redução de ruído V_{um} , V_{vm} e V_{wm} , enquanto na modalidade 2, o gerador de tensão de redução de ruído 8 gera uma única instrução de tensão de redução de ruído V_m incluindo uma onda de modulação de FM cuja frequência varia temporalmente ou uma onda de modulação de AM cuja amplitude varia temporalmente, e a instrução de tensão de redução de ruído V_m que passou o filtro 9 é dividida em três sinais a serem dados aos somadores respectivos 20u, 20v e 20w.

[0072] Quer dizer, na modalidade 2, a instrução de tensão de redução de ruído V_m gerada pelo gerador de tensão de redução de ruído 8 é uma onda de modulação de FM cuja frequência varia temporalmente como representado por expressão (9), uma onda de modulação de AM representada por expressão (10) em que a frequência angular ω_b e a amplitude varia temporalmente como $(A_{a1} + A_{a2} \cdot \sin \omega_a t)$, ou um onda de modulação de AM cuja amplitude varia periodicamente de um modo gradual como mostrado na Figura 8.

Expressão 10

$$(A_{a1} + A_{a2} \cdot \sin \omega_a t) \cdot \sin \omega_b t \quad (10)$$

[0073] Aqui, no caso onde a instrução de tensão de redução de ruído idêntica V_m está sobreposta nas instruções de tensão de fase U, fase V e fase W V_{up}^* , V_{vp}^* e V_{wp}^* , as tensões de linha entre as instruções de tensão de fase U, fase V e fase W V_{up}^* , V_{vp}^* e V_{wp}^* não variam. portanto, poderia parecer que qualquer som tendo o mesmo componente de frequência como aquele da instrução de tensão de redução de ruído V_m não ocorre da máquina elétrica rotativa 1.

[0074] Porém, no caso onde o meio de aplicação de tensão 3 inclui um inversor de PWM de comparação de portadora, uma tensão de controle de acionamento sujeita à modulação de PWM com base no valor resultante obtido pela comparação entre uma onda portadora triangular ou dente de serra

e as instruções de tensão V_{up}^* , V_{vp}^* e V_{wp}^* introduzidas ao meio de aplicação de tensão 3 é produzida à máquina elétrica rotativa 1. Portanto, se a instrução de tensão de redução de ruído V_{um} incluindo uma onda de modulação de FM cuja frequência varia temporalmente ou uma onda de modulação de AM cuja amplitude varia temporalmente for sobreposta nas instruções de tensão V_{up}^* , V_{vp}^* e V_{wp}^* como descrito acima, uma temporização de comutação de ligar/desligar cada um de dispositivos de comutação incluídos no inversor de PWM de comparação de portadora varia. Devido à variação da temporização de comutação, ruído incluindo uma pluralidade de componentes de frequência ocorre da máquina elétrica rotativa 1. Assim, ruído ocorrendo junto com a aplicação das instruções de tensão de estimação de posição V_{uh} , V_{vh} e V_{wh} pode ser suprimido para não ser evidente, e como resultado, um senso de desconforto que uma pessoa sente do ruído pode ser reduzido. Em seguida, os detalhes disso serão descritos.

[0075] Figura 9 é um diagrama mostrando uma configuração do meio de aplicação de tensão 3 funcionando como uma inversor de PWM de comparação de portadora.

[0076] O meio de aplicação de tensão 3 inclui uma seção de cálculo de sinal de comutação 23, uma seção de conversão de potência 24, e um capacitor de alisamento 25.

[0077] Aqui, a seção de cálculo de sinal de comutação 23 inclui um gerador de sinal de portadora 27, e comparadores 28u, 28v e 28w para três fases. O gerador de sinal de portadora 27 gera um sinal de portadora Sc tal como uma onda triangular ou uma onda dente de serra.

[0078] Além disso, os comparadores 28u, 28v e 28w comparam o sinal de portadora Sc produzido do gerador de sinal de portadora 27 com as instruções de tensão V_{up}^* , V_{vp}^* e V_{wp}^* produzidas do meio de controle 5, respectivamente, e produzem sinais de comutação Sup , Sun , Svp , Svn , Swp e Swn para ligar/desligar os dispositivos de comutação 26 respectivos da seção

de conversão de potência 24. Por exemplo, os comparadores 28u, 28v e 28w comparam o sinal de portadora Sc de uma onda triangular com as instruções de tensão V_{up}^* , V_{vp}^* e V_{wp}^* , respectivamente. Então, se o nível de cada uma das instruções de tensão V_{up}^* , V_{vp}^* e V_{wp}^* for maior que aquele do sinal de portadora Sc , cada um dos comparadores 28u, 28v e 28w produz um sinal de comutação que ativa o dispositivo de comutação correspondente 26, e se o nível de cada uma das instruções de tensão V_{up}^* , V_{vp}^* e V_{wp}^* for menor que aquele do sinal de portadora Sc , cada um dos comparadores 28u, 28v e 28w produz um sinal de comutação que inativa o dispositivo de comutação correspondente 26.

[0079] A seção de conversão de potência 24 inclui os seis dispositivos de comutação 26 (UP, ONU, VP, VN, WP e WN) que são chaves de semicondutor tais como IGBTs, por exemplo. Os seis dispositivos de comutação 26 são ligados/desligado pelos sinais de comutação respectivos Sup , Sun , Svp , Svn , Swp e Swn dados pela seção de cálculo de sinal de comutação 23, por meio de que a seção de conversão de potência 24 converte uma tensão de CC V_{dc} dada por uma fonte de tensão de CC externa do meio de aplicação de tensão 3, em uma tensão de CA, e aplica a tensão de CA à máquina elétrica rotativa 1.

[0080] Figura 10 é um diagrama de forma de onda mostrando esquematicamente a relação entre as instruções de tensão V_{up}^* , V_{vp}^* e V_{wp}^* , o sinal de portadora Sc de uma onda triangular, e os três sinais de comutação Sup , Svp e Swp no caso onde a instrução de tensão de redução de ruído V_m incluindo uma onda de modulação de AM cuja amplitude varia periodicamente de um modo gradual como mostrado na Figura 8 foram somadas às instruções de tensão V_{up}^* , V_{vp}^* e V_{wp}^* . Figura 11 é um diagrama de forma de onda mostrando esquematicamente a relação entre as instruções de tensão V_{up}^* , V_{vp}^* e V_{wp}^* , o sinal de portadora Sc de uma onda triangular, e os três sinais de comutação Sup , Svp e Swp no caso onde a

instrução de tensão de redução de ruído V_m como mostrada na Figura 8 não está somada às instruções de tensão V_{up}^* , V_{vp}^* e V_{wp}^* .

[0081] É notado que na Figura 10 e Figura 11, embora as instruções de tensão V_{up}^* , V_{vp}^* e V_{wp}^* sejam de fato sinais de onda de seno, elas são representadas de um modo linear porque suas frequências são mais baixas do que aquelas do sinal de portadora Sc e a instrução de tensão de redução de ruído V_m . Além disso, embora as instruções de tensão de estimação de posição V_{uh} , V_{vh} e V_{wh} tenham sido sobrepostas nas instruções de tensão V_{up}^* , V_{vp}^* e V_{wp}^* , as instruções de tensão de estimação de posição V_{uh} , V_{vh} e V_{wh} não são mostradas nos desenhos porque a operação de temporizações de chave dos dispositivos de comutação 26 será descrita principalmente aqui.

[0082] No caso onde as instruções de tensão V_{up}^* , V_{vp}^* e V_{wp}^* às quais a instrução de tensão de redução de ruído V_m não é somada são dadas aos dispositivos de comutação 26 respectivos, todas as temporizações de comutação dos dispositivos de comutação 26 em um intervalo A são respectivamente iguais àsquelas em um intervalo B, como mostrado na Figura 11.

[0083] Por outro lado, no caso onde as instruções de tensão V_{up}^* , V_{vp}^* e V_{wp}^* às quais a instrução de tensão de redução de ruído V_m foi somada são dadas aos dispositivos de comutação 26 respectivos, as tensões de linha são constantes, mas as temporizações de comutação dos dispositivos de comutação 26 em um intervalo A são diferentes daquelas em um intervalo B, como é óbvio da Figura 10.

[0084] Como descrito acima, no caso onde a instrução de tensão de redução de ruído V_m incluindo uma onda de modulação de AM cuja amplitude varia temporalmente ou uma onda de modulação de AM cuja amplitude varia temporalmente de um modo gradual foi somada, as temporizações de comutação de ligar/desligar os dispositivos de comutação

26 variam. Então, devido à variação das temporizações de comutação, ruído incluindo uma pluralidade de componentes de frequência ocorre da máquina elétrica rotativa 1. Assim, ruído ocorrendo junto com a aplicação das instruções de tensão de estimação de posição V_{uh} , V_{vh} e V_{wh} é suprimido para não ser evidente, e como resultado, um senso de desconforto que uma pessoa sente do ruído pode ser reduzido.

[0085] Além disso, como na modalidade 1, desde que o filtro 9 remove com antecedência os mesmos componentes de frequência como àqueles das instruções de tensão de estimação de posição V_{uh} , V_{vh} e V_{wh} e componentes de frequência na redondeza disso de forma que tais componentes de frequência não sejam incluídos na instrução de tensão de redução de ruído V_m , é possível impedir a instrução de tensão de redução de ruído V_m ter uma influência adversa sobre as instruções de tensão de estimação de posição V_{uh} , V_{vh} e V_{wh} . É notado que se os mesmos componentes de frequência como àqueles das instruções de tensão de estimação de posição V_{uh} , V_{vh} e V_{wh} ou componentes de frequência na redondeza disso não estiverem incluídos na instrução de tensão de redução de ruído V_m , o filtro 9 pode ser omitido.

[0086] Como descrito acima, na modalidade 2, desde que a máquina elétrica rotativa 1 é acionada pelas instruções de tensão V_{up}^* , V_{vp}^* e V_{wp}^* às quais a única instrução de tensão de redução de ruído V_m incluindo uma onda de modulação de AM cuja amplitude varia temporalmente ou uma onda de modulação de AM cuja amplitude varia temporalmente de um modo gradual foi somada, as temporizações de comutação dos dispositivos de comutação 26 incluídos no meio de aplicação de tensão 3 variam, e devido à variação, ruído incluindo uma pluralidade de componentes de frequência ocorre da máquina elétrica rotativa 1. Portanto, ruído ocorrendo junto com a aplicação das instruções de tensão de estimação de posição V_{uh} , V_{vh} e V_{wh} pode ser suprimido para não ser evidente, e como resultado, um senso de

desconforto que uma pessoa sente do ruído pode ser reduzido.

[0087] Além disso, na modalidade 1, desde que as três fases de instruções de tensão de redução de ruído V_{um} , V_{vm} e V_{wm} são somadas, correntes de máquina elétrica rotativa tendo os mesmos componentes de frequência como àqueles das instruções de tensão de redução de ruído V_{um} , V_{vm} e V_{wm} fluem na máquina elétrica rotativa 1, e as correntes de máquina elétrica rotativa se tornam perdas. Por outro lado, na modalidade 2, desde que a única instrução de tensão de redução de ruído V_m é geralmente aplicada às três fases, as tensões de linha não variam pela adição da instrução de tensão de redução de ruído V_m . Portanto, uma corrente de máquina elétrica rotativa tendo o mesmo componente de frequência como aquele da instrução de tensão de redução de ruído V_m não flui na máquina elétrica rotativa 1. Portanto, a configuração do gerador de tensão de redução de ruído 8 pode ser simplificada, e ocorrência de uma perda devido à adição da instrução de tensão de redução de ruído V_m pode ser prevenida.

Modalidade 3

[0088] Figura 12 é um diagrama mostrando a configuração de um aparelho de controle para a máquina elétrica rotativa, de acordo com modalidade 3 da presente invenção. Componentes que correspondem ou são iguais àqueles na modalidade 1 mostrada na Figura 1 são denotados pelos mesmos numerais de referência. É notado que, na Figura 12, as configurações diferentes daquelas do meio de estimativa de posição 4 e do meio de controle 5 são iguais como na modalidade 1. Portanto, a descrição das configurações diferente daquelas do meio de estimativa de posição 4 e do meio de controle 5 será omitida aqui.

[0089] O meio de controle 5 inclui a seção de cálculo de instrução de tensão de acionamento 6, o gerador de tensão de estimação de posição 7, o gerador de tensão de redução de ruído 8, o filtro 9, o primeiro conversor de coordenada 12, e o conversor bifásico/trifásico 13.

[0090] A seção de cálculo de instrução de tensão de acionamento 6 inclui os dois subtratores 10d e 10q, o controlador de corrente de eixo d 11d, o controlador de corrente de eixo q 11q, o segundo conversor de coordenada 14, e o conversor trifásico/bifásico 15. Na seção de cálculo de instrução de tensão de acionamento 6, as configurações dos dois subtratores 10d e 10q, do controlador de corrente de eixo d 11d, do controlador de corrente de eixo q 11q, do segundo conversor de coordenada 14, e do conversor trifásico/bifásico 15 são iguais como na modalidade 1. Portanto, a descrição disso será omitida aqui.

[0091] Nas modalidades 1 e 2, a fim de estimar a posição do rotor da máquina elétrica rotativa 1, o gerador de tensão de estimação de posição 7 gera as instruções de tensão de estimação de posição de CA trifásica V_{uh} , V_{vh} e V_{wh} , enquanto na modalidade 3, o gerador de tensão de estimação de posição 7 gera uma instrução de tensão de estimação de posição V_{dh} que é uma tensão alternada e que tem uma frequência diferente daquela da instrução de tensão de acionamento V_d^* produzida da seção de cálculo de instrução de tensão de acionamento 6.

[0092] Neste caso, a instrução de tensão de estimação de posição V_{dh} pode ser de qualquer tipo contanto que a frequência disso seja diferente daquela da instrução de tensão de acionamento V_d^* . Na modalidade 3, a instrução de tensão de estimação de posição V_{dh} , que é uma tensão alternada, é adicionada só à instrução de tensão de eixo d V_d^* entre a instrução de tensão de eixo d V_d^* e a instrução de tensão de eixo q V_q^* . Como resultado, ondulação de torque ocorrendo quando a instrução de tensão de estimação de posição V_{dh} é aplicada à máquina elétrica rotativa 1 pode ser suprimida, que é vantajoso.

[0093] O gerador de tensão de redução de ruído 8 produz, por exemplo, duas fases de instruções de tensão de redução de ruído V_{dm} e V_{qm} tal como a onda de modulação de FM representada por expressão (9),

semelhantemente ao gerador de tensão de redução de ruído 8 da modalidade 1. Então, o filtro 9 remove com antecedência componentes de frequência, incluídos nas instruções de tensão de redução de ruído V_{dm} e V_{qm} que são iguais àquela da instrução de tensão de estimação de posição V_{dh} e componentes de frequência na redondeza disso e as instruções de tensão de redução de ruído resultantes V_{dm} e V_{qm} são dadas aos somadores 20d e 20q. É notado que se os mesmos componentes de frequência como aquele da instrução de tensão de estimação de posição V_{dh} ou componentes de frequência na redondeza disso não estiverem incluídos nas instruções de tensão de redução de ruído V_{dm} e V_{qm} produzidas do gerador de tensão de redução de ruído 8, o filtro 9 pode ser omitido.

[0094] O somador 20d, que é um dos somadores 20d e 20q, soma a instrução de tensão de estimação de posição V_{dh} , e a instrução de tensão de estimação de posição V_{dm} que passou o filtro 9, para a instrução de tensão de eixo d V_d^* produzida do seção de cálculo de instrução de tensão de acionamento 6, e produz a instrução resultante como uma instrução de tensão V_{dp}^* para o primeiro conversor de coordenada 12. Além disso, a somador 20d, que é o outro das somadores 20d e 20q, soma a instrução de tensão de redução de ruído V_{qm} que passou o filtro 9, à instrução de tensão de eixo q V_q^* produzida do seção de cálculo de instrução de tensão de acionamento 6, e produz a instrução resultante como uma instrução de tensão V_{qp}^* para o primeiro conversor de coordenada 12.

[0095] O primeiro conversor de coordenada 12 converte as instruções de tensão V_{dp}^* e V_{qp}^* produzidas dos somadores 20d e 20q, em instruções de tensão V_{α}^* e V_{β}^* em dois eixos (eixos α - β) em repouso, respectivamente. Subsequentemente, o conversor bifásico/trifásico 13 converte as instruções de tensão V_{α}^* e V_{β}^* produzidas do primeiro conversor de coordenada 12, nas instruções de tensão V_{up}^* , V_{vp}^* e V_{wp}^* em um sistema de coordenada de CA trifásico. Então, o meio de aplicação de tensão 3 aplica, à máquina

elétrica rotativa 1, tensões para controle de acionamento, com base nas instruções de tensão V_{up}^* , V_{vp}^* e V_{wp}^* .

[0096] Como resultado, ruído ocorrendo da máquina elétrica rotativa 1 inclui componentes de frequência com base na instrução de tensão de estimação de posição V_{dh} , e componentes de frequência com base nas instruções de tensão de redução de ruído V_{dm} e V_{qm} de uma maneira misturada. Portanto, um senso de desconforto que uma pessoa sente pode ser reduzido comparado com o caso onde o ruído tem um único componente de frequência.

[0097] O meio de estimativa de posição 4 extrai correntes tendo os mesmos componentes de frequência como aqueles da instrução de tensão de estimação de posição V_{dh} , que é uma tensão alternada, produzida do gerador de tensão de estimação de posição 7, das correntes de máquina elétrica rotativa i_u e i_w detectadas pelo meio de detecção de corrente 2, e produz a posição estimada θ_L , com base nas correntes, usando, por exemplo, uma técnica conhecida exposta na Publicação de Patente No. 3312472 ou Publicação de Patente No. 3707528.

[0098] Neste caso, a frequência da instrução de tensão de estimação de posição V_{dh} , que é uma tensão alternada, é diferente daquela da instrução de tensão de eixo d V_d^* . Além disso, os mesmos componentes de frequência como aqueles da instrução de tensão de estimação de posição V_{dh} e componentes de frequência na redondeza disso são removidos com antecedência pelo filtro 9 das instruções de tensão de redução de ruído V_{dm} e V_{qm} que são somadas pelos somadores 20d e 20q. Portanto, a precisão da posição estimada θ_L produzida do meio de estimativa de posição 4 não é deteriorada.

[0099] Como descrito acima, na modalidade 3, quando o gerador de tensão de estimação de posição 7 produz a instrução de tensão de estimação de posição V_{dh} , que é uma tensão alternada, o gerador de tensão de redução

de ruído 8 produz as instruções de tensão de redução de ruído V_{dm} e V_{qm} ao mesmo tempo, e os somadores 20d e 20q geram as instruções de tensão V_{dp}^* e V_{qp}^* às quais as instruções de tensão de redução de ruído V_{dm} e V_{qm} foram somadas, como nas modalidades 1 e 2. Portanto, ruídos ocorrendo da máquina elétrica rotativa 1 também incluem ruído ocorrendo junto com a adição das instruções de tensão de redução de ruído V_{dm} e V_{qm} , além de ruído ocorrendo junto com a aplicação da instrução de tensão de estimação de posição V_{dh} . Como resultado, ruído devido à instrução de tensão de estimação de posição V_{dh} não é evidente, e um senso de desconforto que uma pessoa sente do ruído pode ser reduzido.

Modalidade 4

[00100] Figura 13 é um diagrama mostrando a configuração de um aparelho de controle para a máquina elétrica rotativa, de acordo com a modalidade 4 da presente invenção. Componentes que correspondem ou são iguais àqueles na modalidade 3 mostrada na Figura 12 são denotados pelos mesmos numerais de referência. É notado que, na Figura 13, as configurações diferentes daquela do meio de gerador de tensão de redução de ruído 8 do meio de controle 5 são iguais como na modalidade 3. Portanto, a descrição das configurações diferentes daquelas do gerador de tensão de redução de ruído 8 será omitida aqui.

[00101] Na modalidade 3, o gerador de tensão de redução de ruído 8 gera as duas fases de instruções de tensão de redução de ruído V_{dm} e V_{qm} , enquanto na modalidade 4, o gerador de tensão de redução de ruído 8 gera uma única instrução de tensão de redução de ruído V_{mdq} incluindo uma onda de modulação de FM cuja frequência varia temporalmente como representado por expressão (9) ou uma onda de modulação de AM cuja amplitude varia temporalmente como representado por expressão (10), como na modalidade 2.

[00102] A instrução de tensão de redução de ruído V_{mdq} é introduzida ao filtro 9, por meio de que o mesmo componente de frequência como aquele

da instrução de tensão de estimação de posição V_{dh} e componentes de frequência na redondeza disso são removidos com antecedência, e então o sinal resultante é dividido em dois sinais a serem dados aos somadores respectivos 20d e 20q. Os somadores 20d e 20q adicionam os dois sinais divididos às instruções de tensão de acionamento V_d^* e V_q^* , e produzem os sinais resultantes como as instruções de tensão V_{dp}^* e V_{qp}^* , respectivamente. É notado que, também neste caso, se o mesmo componente de frequência como aquele da instrução de tensão de estimação de posição V_{dh} não estiver incluído ou componentes de frequência na redondeza disso na instrução de tensão de redução de ruído V_{mdq} produzida do gerador de tensão de redução de ruído 8, o filtro 9 pode ser omitido.

[00103] Assim, a instrução de tensão de redução de ruído V_{mdq} não tem uma influência adversa na instrução de tensão de estimação de posição V_{dh} , e as temporizações de comutação dos dispositivos de comutação incluídos no meio de aplicação de tensão 3 variam temporalmente. Portanto, ruído incluindo uma pluralidade de componentes de frequência de acordo com as temporizações de comutação ocorre da máquina elétrica rotativa 1. Como resultado, ruído ocorrendo junto com a aplicação da instrução de tensão de estimação de posição V_{dh} para a máquina elétrica rotativa 1 não é evidente, e um senso de desconforto que uma pessoa sente pode ser reduzido.

[00104] Como descrito acima, na modalidade 4, quando a instrução de tensão de estimação de posição V_{dh} , que é uma tensão alternada, gerada pelo gerador de tensão de estimação de posição 7 é adicionada à instrução de tensão de eixo d V_d^* , o gerador de tensão de redução de ruído 8 produz a única instrução de tensão de redução de ruído V_{mdq} incluindo uma onda de modulação de AM cuja amplitude varia temporalmente ou uma onda de modulação de AM cuja amplitude varia temporalmente de um modo gradual. Portanto, as temporizações de comutação dos dispositivos de comutação incluídos no meio de aplicação de tensão 3 variam, e ruído incluindo uma

pluralidade de componentes de frequência ocorre da máquina elétrica rotativa 1, como na modalidade 2. Portanto, ruído ocorrendo da máquina elétrica rotativa 1 junto com a aplicação da instrução de tensão de estimação de posição Vdh pode ser suprimido para não ser evidente, e como resultado, um senso de desconforto que uma pessoa sente do ruído pode ser reduzido. Além disso, na modalidade 4, desde a única instrução de tensão de redução de ruído Vm é aplicada, a configuração do gerador de tensão de redução de ruído 8 pode ser simplificada, e ocorrência de uma perda devido à adição da instrução de tensão de redução de ruído Vm pode ser prevenida, comparado com a modalidade 3.

APLICABILIDADE INDUSTRIAL

[00105] Nas modalidades 1 a 4, uma máquina síncrona de tipo de ímã embutido é usada como a máquina elétrica rotativa 1. Porém, o aparelho de controle para a máquina elétrica rotativa, de acordo com a presente invenção, também é aplicável a máquinas síncronas de outros tipos tal como tipo de relutância síncrona.

REIVINDICAÇÕES

1. Aparelho de controle para uma máquina elétrica rotativa (1) para executar controle de acionamento da máquina elétrica rotativa, compreendendo:

meio de detecção de corrente (2) para detectar correntes de máquina elétrica rotativa (i_u, i_w) fluindo na máquina elétrica rotativa (1);

meio de estimativa de posição (4) para estimar a posição de um rotor da máquina elétrica rotativa (1), com base na corrente de máquina elétrica rotativa detectada (i_u, i_w) pelo meio de detecção de corrente (2);

meio de controle (5) para emitir instruções de tensão ($V_{up}^*, V_{vp}^*, V_{wp}^*$), com base na corrente de máquina elétrica rotativa (i_u, i_w) detectada pelo meio de detecção de corrente e informação sobre a posição (θ_L) do rotor estimada pelo meio de estimativa de posição (4); e

meio de aplicação de tensão (3) para aplicar uma tensão para controle de acionamento, à máquina elétrica rotativa (1), com base nas instruções de tensão ($V_{up}^*, V_{vp}^*, V_{wp}^*$) emitidas do meio de controle (5);

o meio de controle (5) incluindo uma seção de cálculo de instrução de tensão de acionamento (6) para calcular instruções de tensão de acionamento (V_u^*, V_v^*, V_w^*) para acionar a máquina elétrica rotativa (1),

o meio de controle (5) incluindo um gerador de tensão de estimação de posição (7) para emitir instruções de tensão de estimação de posição (V_{uh}, V_{vh}, V_{wh}) para estimar a posição (θ_L) do rotor da máquina elétrica rotativa (1),

o meio de controle (5) incluindo um gerador de tensão de redução de ruído (8) para emitir instruções de tensão de redução de ruído (V_{um}, V_{vm}, V_{wm}) tendo diferentes frequências daquelas das instruções de tensão de acionamento (V_u^*, V_v^*, V_w^*) e daquelas das instruções de tensão de estimativa de posição (V_{uh}, V_{vh}, V_{wh}), e

o meio de controle (5) incluindo somadores (20) para adicionar

as instruções de tensão de estimação de posição (V_{uh}, V_{vh}, V_{wh}) e as instruções de tensão de redução de ruído (V_{um}, V_{vm}, V_{wm}) às instruções de tensão de acionamento (V_u^*, V_v^*, V_w^*), e emitir o sinal resultante como as instruções de tensão ($V_{up}^*, V_{vp}^*, V_{wp}^*$) para o meio de aplicação de tensão (3), caracterizado pelo fato de que compreende

um filtro (9) para remover o mesmo componente de frequência como aquele das instruções de tensão de estimação de posição (V_{uh}, V_{vh}, V_{wh}) das instruções de tensão de redução de ruído (V_{um}, V_{vm}, V_{wm}) é provido entre o gerador de tensão de redução de ruído (8) e os somadores (20).

2. Aparelho de controle para a máquina elétrica rotativa (1), de acordo com reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que

o gerador de tensão de redução de ruído (8) emite uma única instrução de tensão de redução de ruído (V_m), e

os somadores (20) dividem a única instrução de tensão de redução de ruído (V_m) em uma pluralidade de sinais, e adicionam a pluralidade de sinais às instruções de tensão de acionamento (V_u^*, V_v^*, V_w^*) para fases respectivas.

3. Aparelho de controle para a máquina elétrica rotativa (1), de acordo com a reivindicação 1 ou 2, caracterizado pelo fato de que o gerador de tensão de redução de ruído (8) produz as instruções de tensão de redução de ruído (V_{um}, V_{vm}, V_{wm}) cujas frequências variam temporalmente.

4. Aparelho de controle para a máquina elétrica rotativa (1), de acordo com a reivindicação 1 ou 2, caracterizado pelo fato de que o gerador de tensão de redução de ruído (8) emite as instruções de tensão de redução de ruído (V_{um}, V_{vm}, V_{wm}) cujas amplitudes variam temporalmente.

5. Aparelho de controle para a máquina elétrica rotativa (1), de acordo com a reivindicação 1 ou 2, caracterizado pelo fato de que o gerador de tensão de estimação de posição (7) emite instruções de tensão de estimação de

posição de CA trifásica (V_{uh}, V_{vh}, V_{wh}) como as instruções de tensão de estimação de posição (V_{uh}, V_{vh}, V_{wh}) para estimar a posição da máquina elétrica rotativa (1).

6. Aparelho de controle para a máquina elétrica rotativa (1), de acordo com a reivindicação 1 ou 2, caracterizado pelo fato de que o gerador de tensão de estimação de posição (7) emite instruções de tensão de estimação de posição (V_{uh}, V_{vh}, V_{wh}) que são tensão alternada, como as instruções de tensão de estimação de posição (V_{uh}, V_{vh}, V_{wh}) para estimar a posição da máquina elétrica rotativa (1).

7. Aparelho de controle para a máquina elétrica rotativa (1), de acordo com a reivindicação 1 ou 2, caracterizado pelo fato de que o meio de estimativa de posição (4) estima a posição do rotor da máquina elétrica rotativa (1), com base em uma corrente tendo o mesmo componente de frequência como aquele das instruções de tensão de estimação de posição (V_{uh}, V_{vh}, V_{wh}), a corrente estando incluída na corrente de máquina elétrica rotativa (i_u, i_w).

FIG. 1

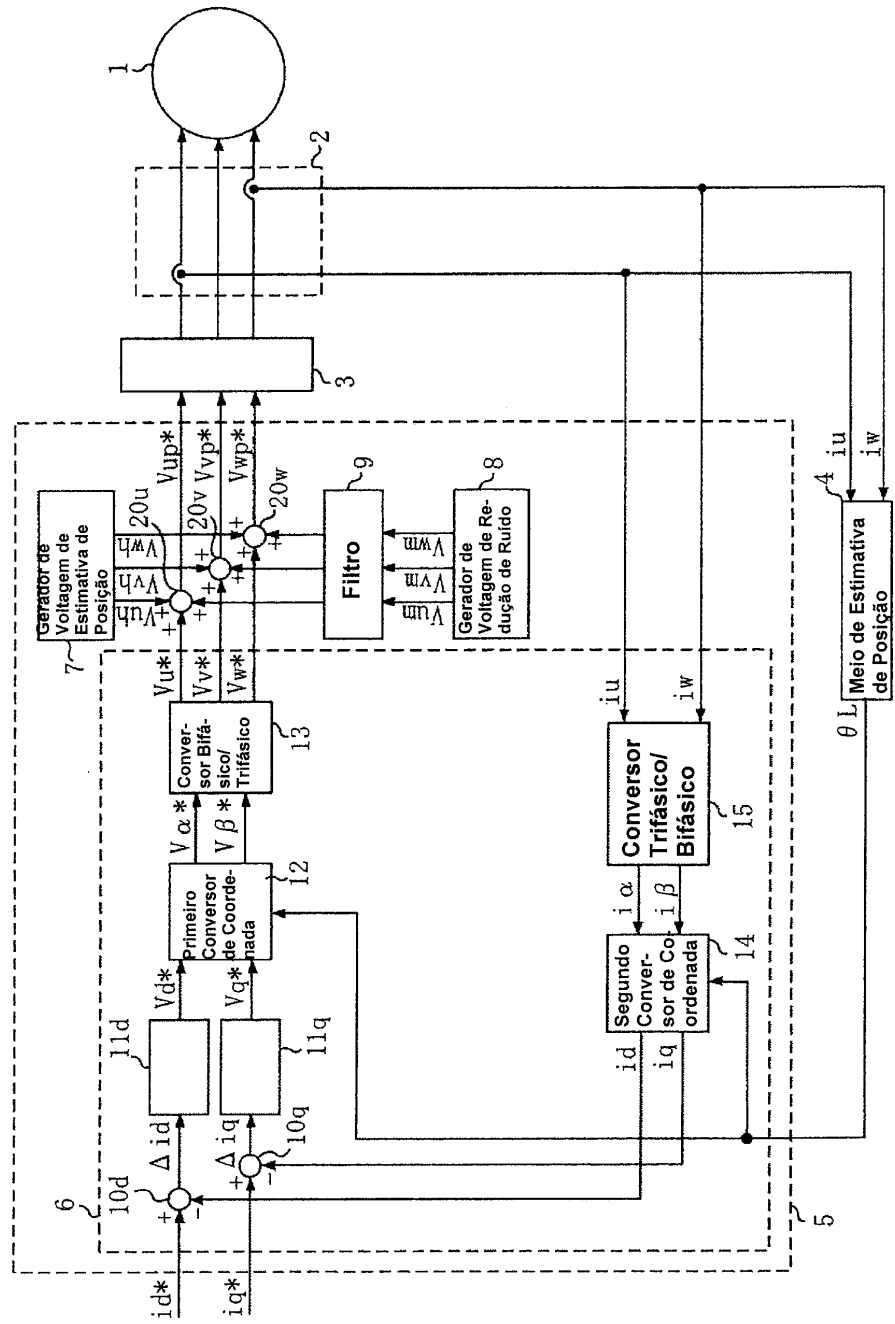


FIG. 2

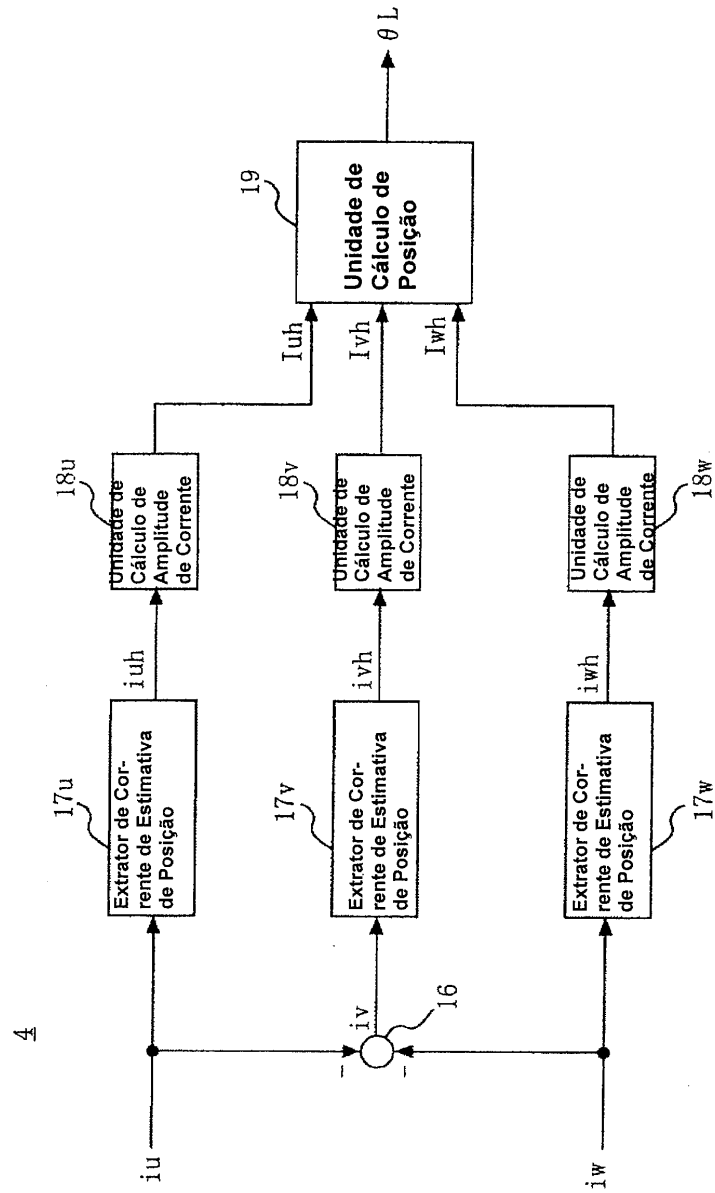


FIG. 3

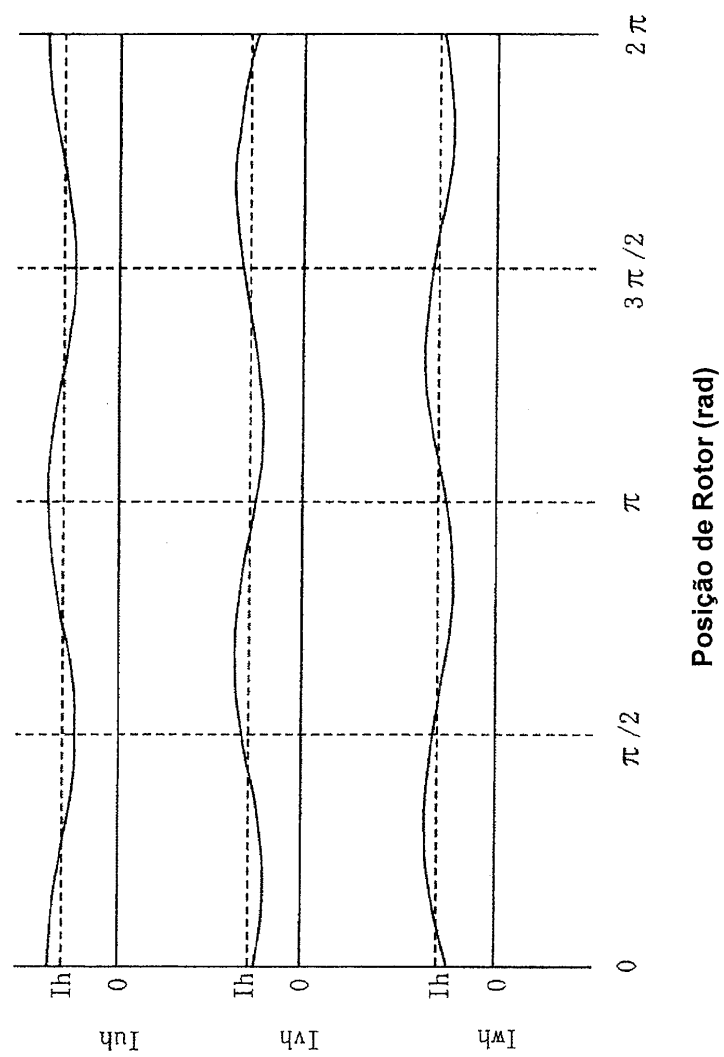


FIG. 4

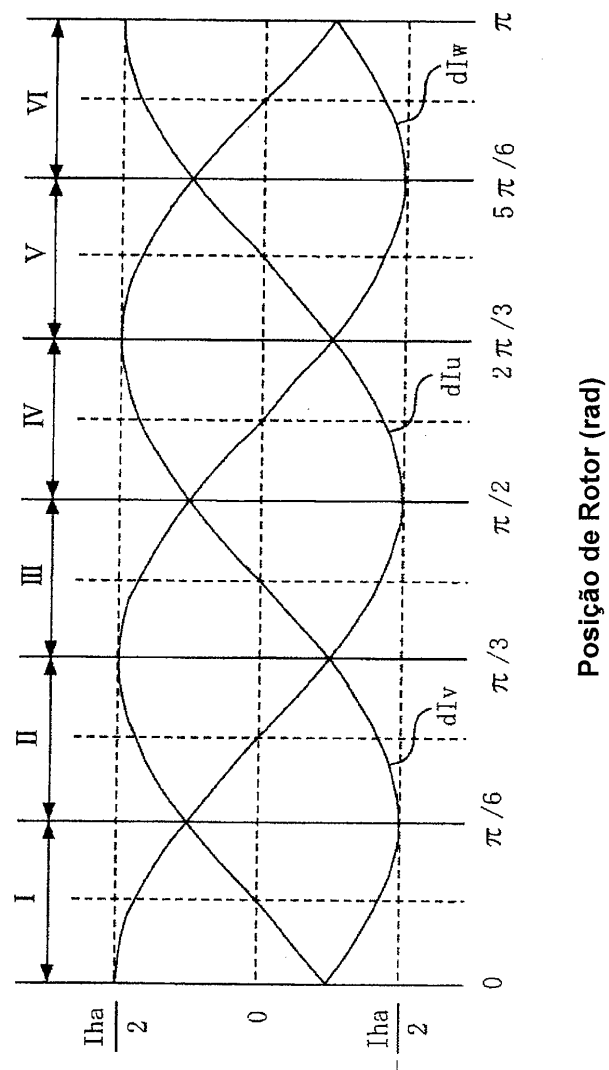
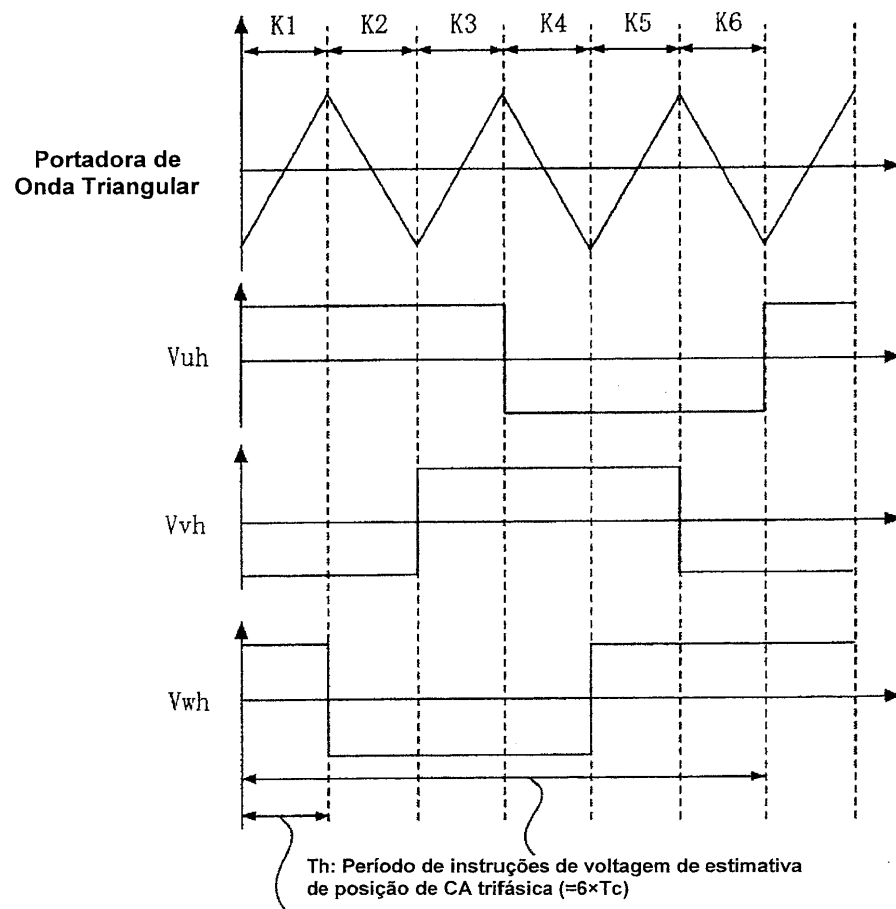


FIG. 5



T_c: Meio período de portadora

FIG. 6

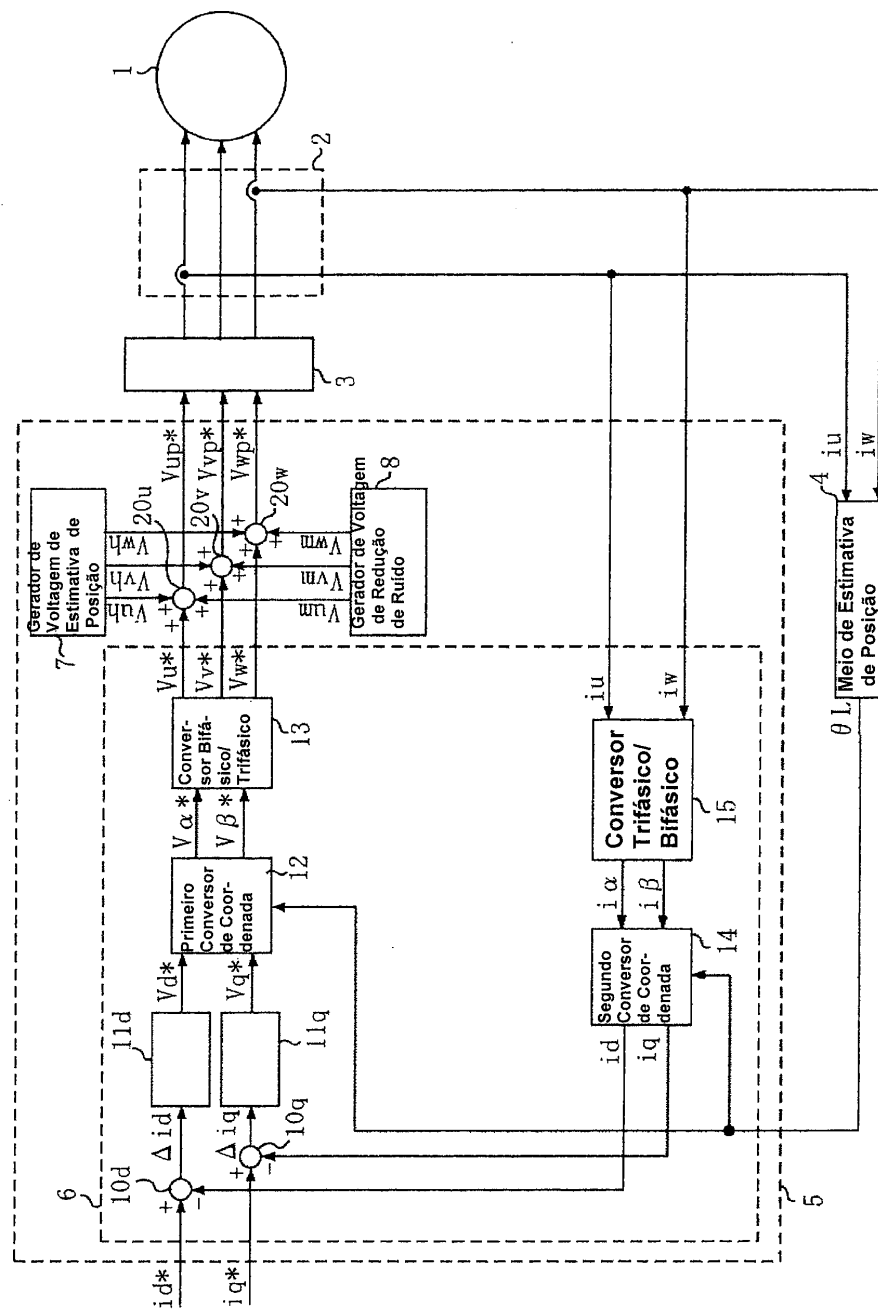


FIG. 7

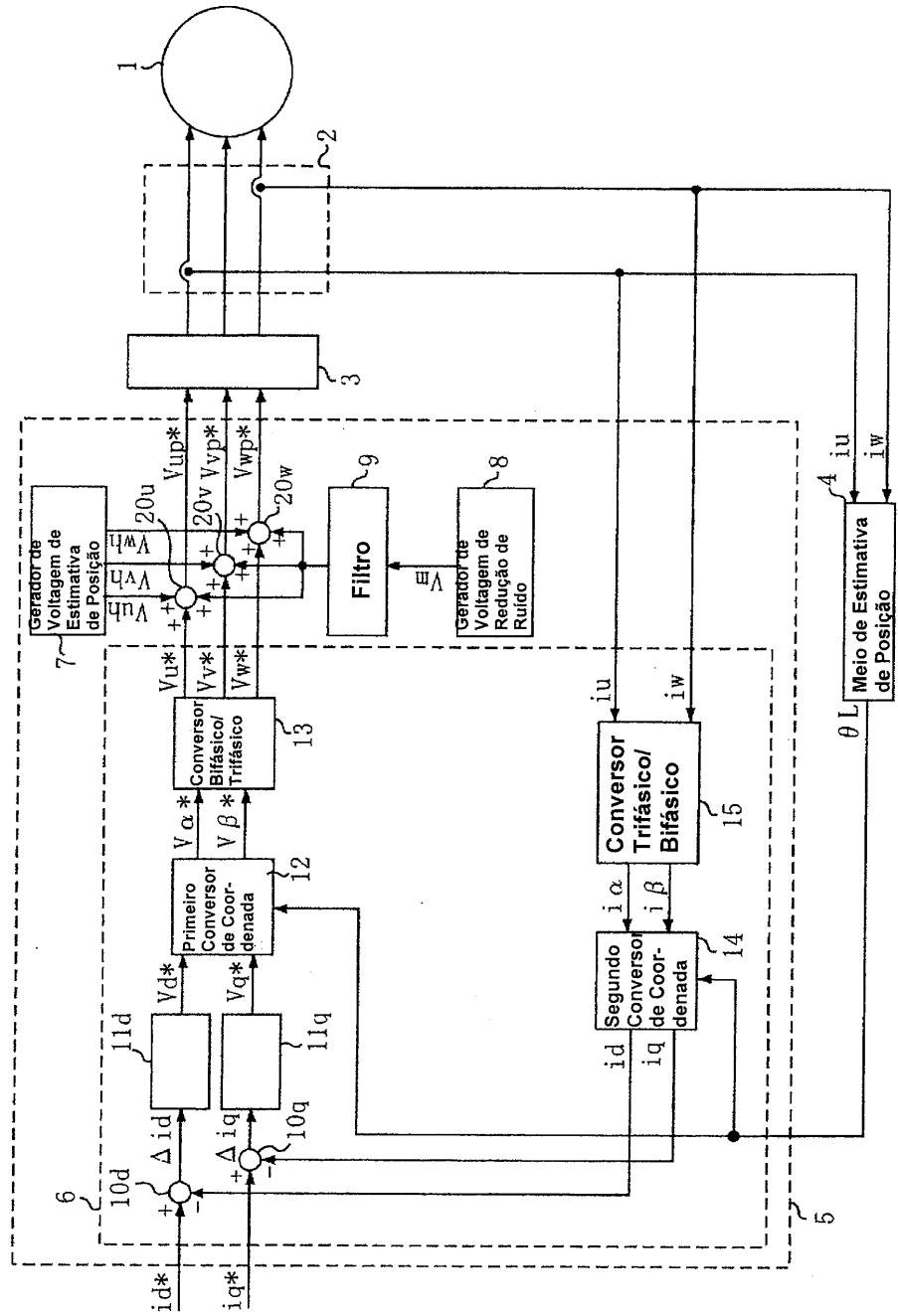


FIG. 8

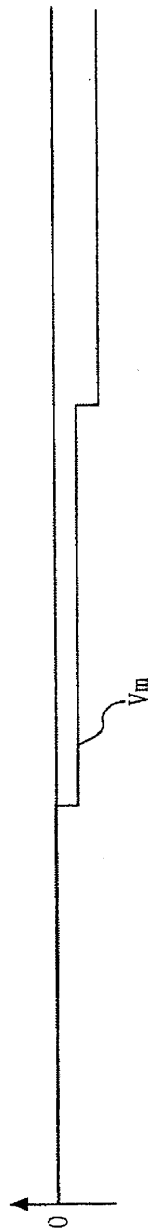


FIG. 9

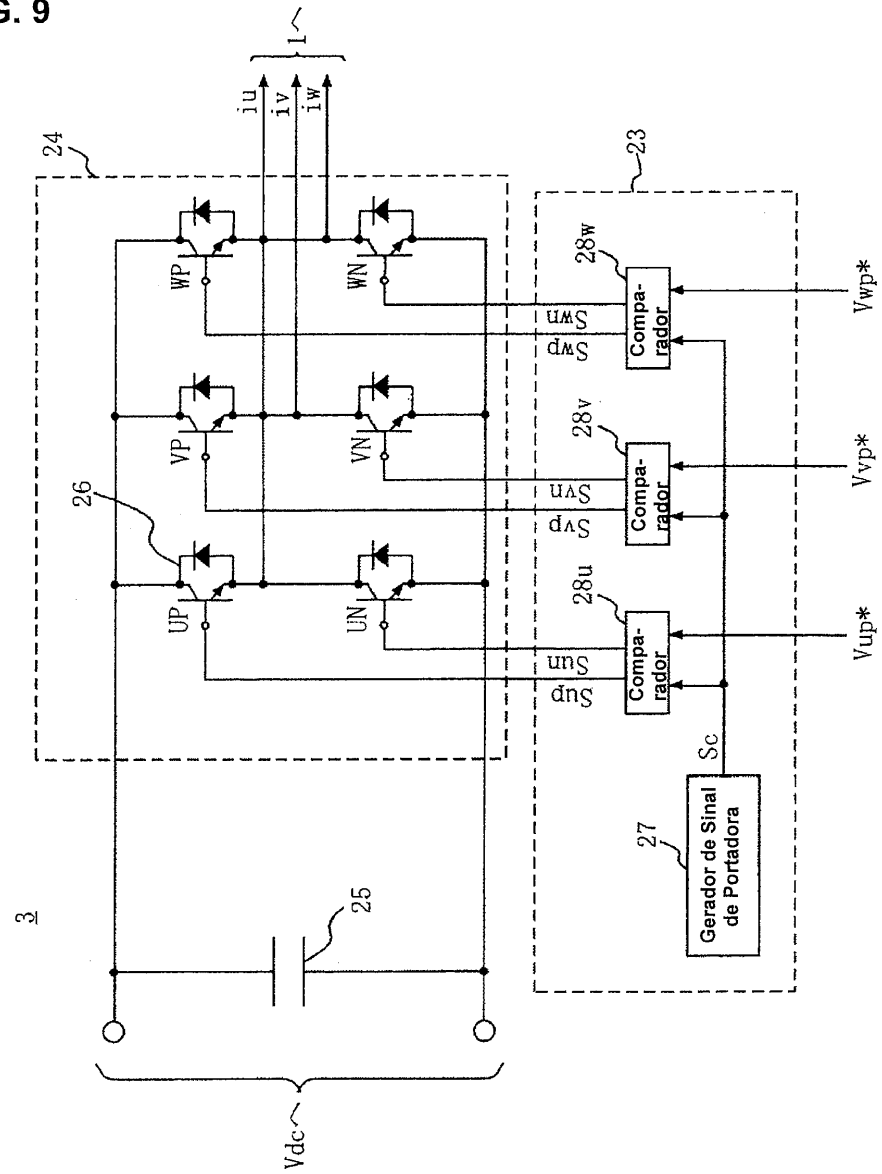


FIG. 10

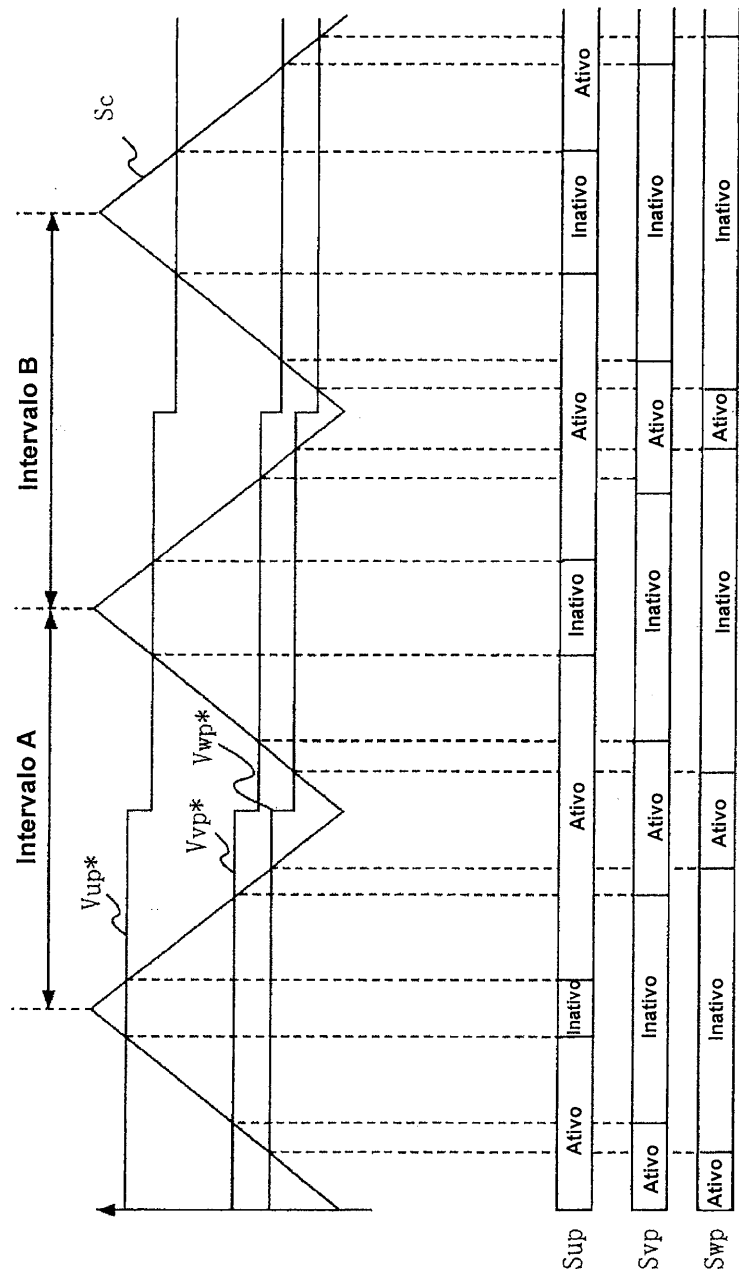


FIG. 11

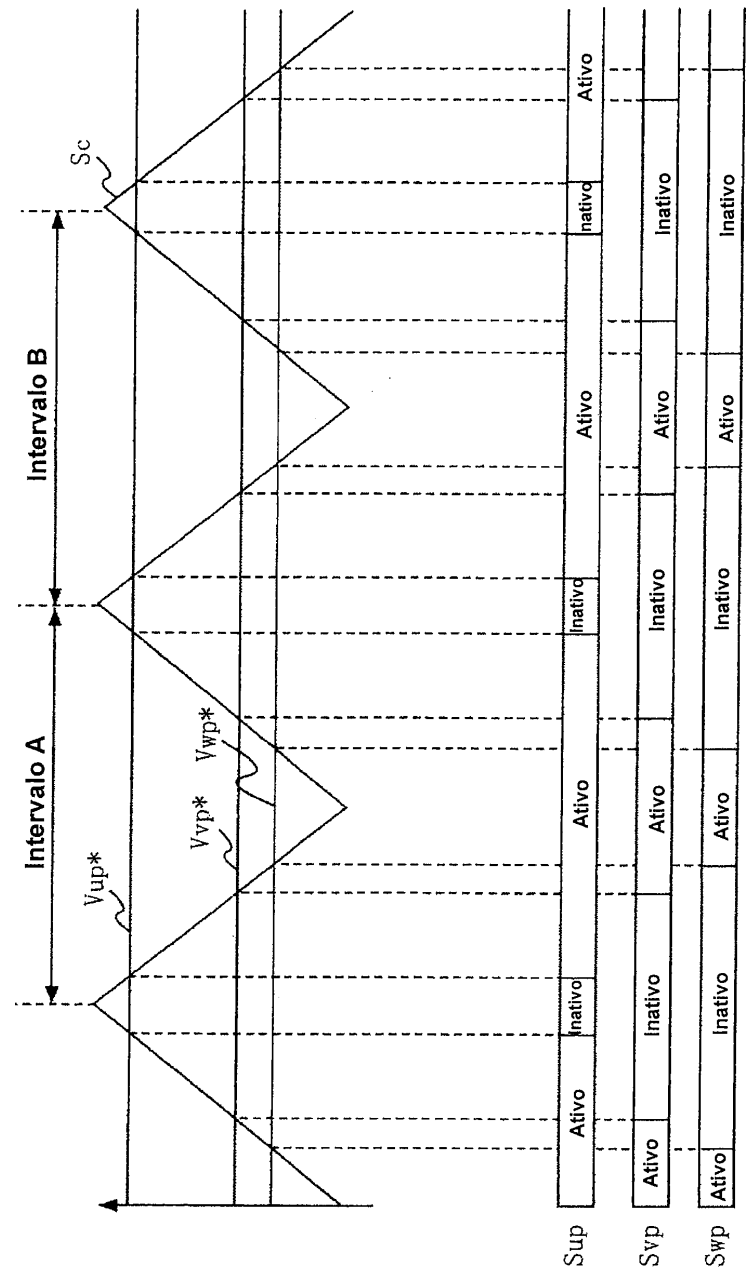


FIG. 12

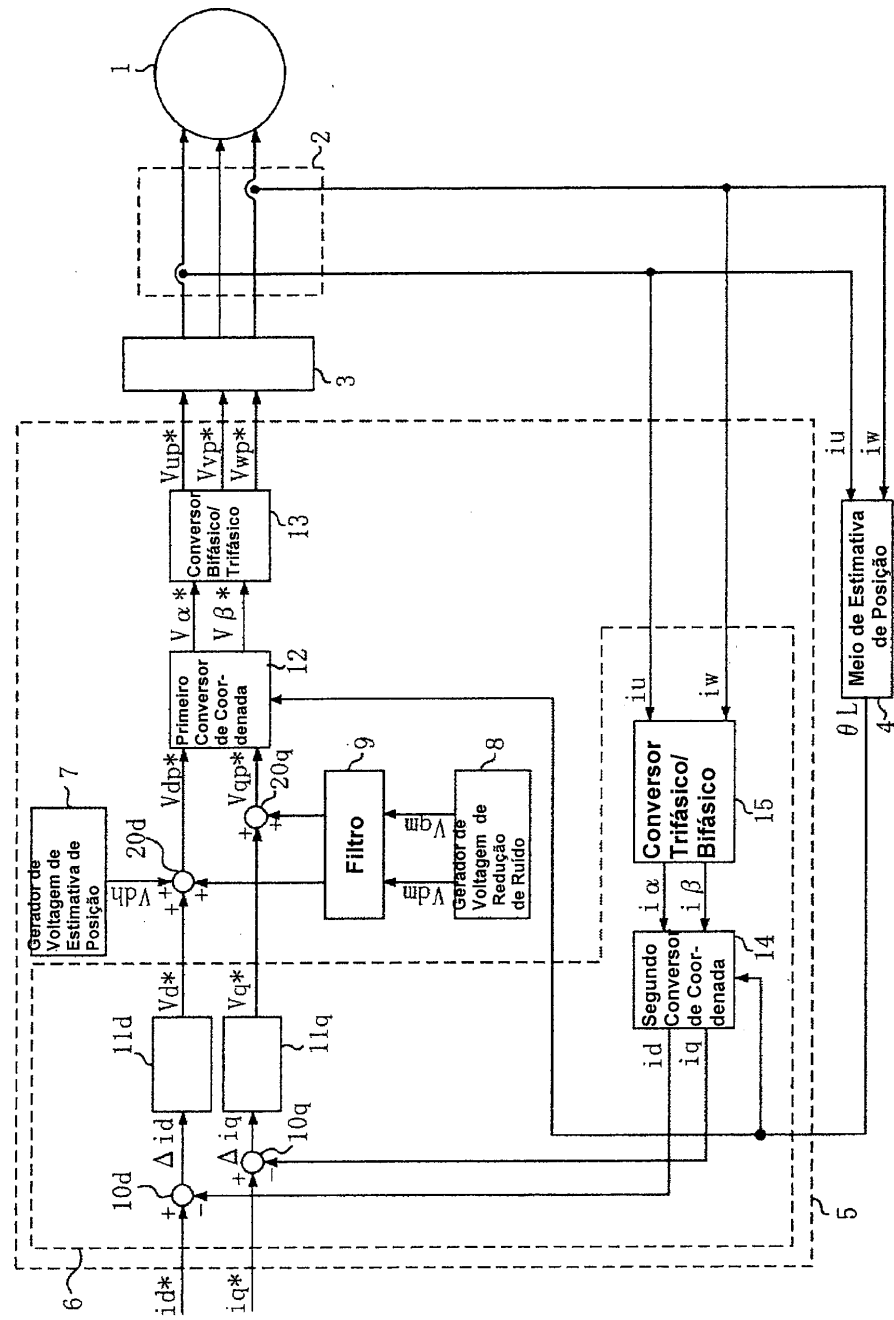


FIG. 13

