



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

(11) PI 0816759-1 B1



(22) Data do Depósito: 15/09/2008

(45) Data de Concessão: 23/07/2019

(54) Título: SISTEMA E MÉTODO PARA CONTROLAR UM MOTOR DE INDUÇÃO CA

(51) Int.Cl.: H02K 21/38; H02P 5/00.

(30) Prioridade Unionista: 10/09/2008 US 12/207,913; 14/09/2007 US 60/993,706; 21/07/2008 US 61/135,402.

(73) Titular(es): THE POWERWISE GROUP, INC..

(72) Inventor(es): PAUL H. KELLEY.

(86) Pedido PCT: PCT US2008010720 de 15/09/2008

(87) Publicação PCT: WO 2009/035696 de 19/03/2009

(85) Data do Início da Fase Nacional: 12/03/2010

(57) Resumo: SISTEMA E MÉTODO PARA CONTROLAR UM MOTOR DE INDUÇÃO CA A presente invenção refere-se a um controlador de motor (4) e de um método para maximizar a economia de energia em um motor de indução CA (3) a cada carga, em que o motor é calibrado em dois ou mais pontos de carga para estabelecer uma linha de controle (6), que então é programada em uma memória não-volátil (30) do controlador de motor. Um controlador de motor em circuito fechado baseado em DSP observa os parâmetros do motor, como ângulo de acionamento/ ciclo de serviço (23), voltagem (37), corrente (9) e ângulos de fase para chegar a uma voltagem mínima necessária para operar o motor em qualquer carga ao longo da linha de controle. O controlador de motor realiza controle em circuito fechado para manter o motor funcionando em um ponto de controle alvo computado, tal que seja realizada economia de energia máxima por meio da redução da voltagem através de modulação de largura de pulso.

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para **"SISTEMA E MÉTODO PARA CONTROLAR UM MOTOR DE INDUÇÃO CA"**.

REFERÊNCIA CRUZADA A PEDIDO RELACIONADO

[001] Este pedido reivindica o benefício dos pedidos provisórios US N^{os} 60/933.706, depositado em 14 de setembro de 2007 e 61/135.402, depositado em 21 de julho de 2008.

ANTECEDENTES DA INVENÇÃO

[002] A presente invenção refere-se a um sistema e a um método para maximizar a economia de energia em motores de indução CA a qualquer carga, mais particularmente, um que utilize um processador de sinal digital que calibre as linhas de controle para determinar as características operacionais mais eficientes dos motores.

[003] Nos sistemas e métodos anteriores relacionados a controladores de motor que economizam energia com o uso de linhas de controle de um motor, eram usados ângulo de fase constante e/ou fator de potência constante para determinar as linhas de controle. Isso significava que as linhas de controle eram horizontais e os controladores de motor não eram capazes de controlar o motor para o ponto de operação calibrado específico para cada carga para maximizar a economia de energia.

[004] Deste modo, existe a necessidade por um método e sistema para motores de indução CA que controle o motor a um ponto de operação calibrado específico para qualquer carga. Os pontos de operação tirados em todas as cargas irão definir uma linha de controle ou uma curva de controle. Além do mais, existe a necessidade de um método e de um sistema para motores de indução CA que seja capaz de reconhecer quando um motor começa a patinar e esteja prestes a parar e que use aquela informação para determinar linha de controle calibrada de modo a maximizar a economia de energia para qualquer

carga.

[005] As patentes relevantes da técnica anterior incluem as seguintes referências:

Patente/Número de Série	Inventor	Emissão/Data de Publicação
2008/0100245	Turner	01-05-2008
7.288.911	MacKay	30-10-2007
7.279.860	MacKay	09-10-2007
7.256.564	MacKay	14-08-2007
7.211.982	Chang et al.	01-05-2007
7.081.729	Chang et al.	25-07-2006
6.643.149	Arnet et al.	04-11-2003
6.489.742	Lumsden	03-12-2002
5.506.484	Munro et al.	09-04-1996
5.350.988	Le	27-09-1994

SUMÁRIO DA INVENÇÃO

[006] O objetivo principal da presente invenção é proporcionar um sistema e um método para maximizar a economia de energia em motores de indução CA em qualquer carga.

[007] Um outro objetivo da presente invenção é proporcionar um sistema e método que reconheça quando um motor começa a patinar e quando o motor está prestes a parar.

[008] Um outro objetivo da presente invenção é proporcionar um sistema e um método que controlem o motor para um ponto de operação calibrado específico para qualquer carga.

[009] Um outro objetivo da presente invenção é proporcionar um controlador de motor que seja capaz de observar as características operacionais de motores de indução CA.

[0010] Um outro objetivo da presente invenção é proporcionar um controlador de motor capaz de fazer correções na voltagem do motor

RMS quando um motor de indução CA estiver funcionando e sob controle de circuito fechado.

[0011] Um outro objetivo da presente invenção é proporcionar um controlador de motor capaz de responder a mudanças na carga de um motor de indução CA em tempo real.

[0012] A presente invenção preenche os objetivos acima e outros objetivos ao proporcionar um sistema e método controlador de motor para maximizar a economia de energia no motor para cada carga, em que um motor é calibrado em um ou mais pontos de carga, estabelecendo uma linha ou curva de controle, que então é programada em uma memória não-volátil do controlador de motor. Um processador de sinal digital (DSP), uma parte de uma arquitetura de circuito fechado do controlador de motor, possui a capacidade de observar os parâmetros do motor como corrente, ângulos de fase e voltagem do motor. Este controlador de motor baseado em DSP é capaz ainda de controlar o ângulo de acionamento/ciclo de serviço no modo de circuito aberto como parte do procedimento de calibração semiautomático. Em operação normal, o controlador de motor baseado em DSP realiza controle em circuito fechado para manter o motor funcionando em um ponto de controle alvo computado, tal que se realize economia máxima de energia. O método descrito aqui funciona igualmente bem para motores de fase simples e de três fases.

[0013] A implementação preferida deste método utiliza um DSP para fazer amostragem de corrente e de voltagem em um motor em momentos discretos por meio da utilização de conversores analógicos para digitais. A partir destes sinais, o DSP pode computar parâmetros chave do motor, inclusive voltagem do motor RMS, corrente RMS e ângulo de fase. Além do mais, o controlador de motor baseado em DSP pode utilizar cronômetros e técnicas de modulação de largura de pulso (PWM) para controlar de forma precisa a voltagem do motor

RMS. Tipicamente, a PWM é obtida usando-se dispositivos de controle de potência como TRIACs, SCRs, IGBTs e MOSFETs.

[0014] Os objetivos acima e outros objetivos, características e vantagens da presente invenção devem se tornar ainda mais prontamente aparentes para aqueles que são versados na técnica quando da leitura da descrição detalhada a seguir em conjunto com os desenhos, onde são mostradas e descritas modalidades ilustrativas da invenção.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

[0015] Na descrição detalhada a seguir, será feita referência aos desenhos anexos em que:

A figura 1 é um diagrama de bloco de um processador de sinal digital (DSP) com entradas e saídas de hardware da presente invenção mostrando entradas e saídas de hardware;

A figura 2 é um diagrama de bloco de um controlador de motor baseado em DSP da presente invenção;

A figura 3 é um diagrama que mostra um método de detecção de rotação de fase da presente invenção;

A figura 4 é um fluxograma que mostra um método de detecção de rotação de fase da presente invenção;

A figura 5 é um gráfico que mostra saídas do dispositivo de controle de potência para rotação de fase positiva;

A figura 6 é um gráfico que mostra saídas de dispositivo de controle de potência para rotação de fase negativa;

A figura 7 é um diagrama de bloco de um comparador de janela;

A figura 8 é um esquema do comparador de janela;

A figura 9 é um gráfico de uma forma de onda de corrente e sinais de cruzamento no zero;

A figura 10 é um esquema de um circuito neutro virtual;

A figura 11 é um gráfico que mostra saídas de dispositivo

de controle de potência para aplicações de fase simples;

A figura 12 é um gráfico tridimensional que mostra uma linha de controle tridimensional da presente invenção

A figura 13 é um gráfico tridimensional que mostra uma linha de controle projetada sobre um plano;

A figura 14 é um gráfico que mostra uma linha de controle plotada bidimensional;

A figura 15 é um gráfico que mostra uma varredura de ângulo de acionamento/ciclo de serviço em uma calibração semi-automática;

A figura 16 é um gráfico que mostra uma varredura direcionada de um ângulo de acionamento/ciclo de serviço;

A figura 17 é um gráfico que mostra dados plotados de calibração semi-automática;

A figura 18 é um gráfico que mostra dados plotados de calibração semi-automática;

A figura 19 é um gráfico que mostra dados plotados de calibração semi-automática;

A figura 20 é um fluxograma de uma calibração de alto nível semi-automática;

A figura 21 é um fluxograma de uma calibração de alto nível semi-automática;

A figura 22 é um fluxograma de uma calibração manual;

A figura 23 é um fluxograma da obtenção de voltagem de motor RMS;

A figura 24 é um gráfico que mostra a obtenção de voltagem de motor RMS;

A figura 25 é um gráfico que mostra a obtenção de uma voltagem de motor RMS;

A figura 26 é um fluxograma de uma técnica de mitigação

de interrupção de funcionamento; e

A figura 27 é um gráfico que mostra a técnica de mitigação de interrupção de funcionamento.

DESCRIÇÃO DE MODALIDADES PREFERIDAS

[0016] Com a finalidade de descrever a modalidade preferida, a terminologia usada em referência aos componentes numerados nos desenhos é conforme segue:

- 1 - processador de sistema digital (DSP)
- 2 - entradas de hardware
- 3 - motor
- 4 - controlador de motor
- 5 - ângulo de fase observado
- 6 - linha de controle
- 7 - curva de dados de calibração observados a partir da varredura do espaço de controle
- 8 - resistores divisores de suprimento
- 9 - corrente
- 10 - ângulo de fase alvo
- 11 - sinal de erro de fase
- 12 - controlador derivativo integral proporcional (PID)
- 13 - voltagem do motor raiz quadrada média (RMS)
- 14 - saídas de dispositivo de controle de potência
- 15 - cruzamento na linha de voltagem zero de fase A
- 16 - cruzamento na linha de voltagem zero de fase B
- 17 - cruzamento na linha de voltagem zero de fase C
- 18 - rotação de fase positiva
- 19 - rotação de fase negativa
- 20 - power-on-reset (POR)
- 21 - ponto de interrupção de funcionamento
- 22 - momentos de ligação de fase a, c, b

- 23 - ângulo de acionamento/ciclo de serviço
- 24 - carga percentual
- 25 - linha de controle paramétrica
- 26 - ponto de operação
- 27 - amplificada operacional de impedância de baixa saída
- 28 - erro de fase
- 29 - voltagem de controle
- 30 - ponto b
- 31 - joelho
- 32 - botão de calibração
- 33 - dispositivo de controle de potência
- 34 - ponto c
- 35 - voltagem mínima (V_{min})
- 36 - entradas no cruzamento com o zero de fase
- 37 - voltagem da linha de fase
- 38 - voltagem do motor de fase
- 39 - tempo é medido
- 40 - o tempo é maior ou menor que 90°
- 41 - rotação ABC
- 42 - rotação ACB
- 43 - ponto d
- 44 - colocar em configuração carregada
- 45 - colocar em configuração não carregada
- 46 - executar calibração
- 47 - controlar extremidades de linha calibrada
- 48 - calcular linha de controle
- 49 - salvar linha de controle
- 50 - voltagens de linha
- 51 - definir ângulo de acionamento/ciclo de serviço para 90°
- 52 - medir parâmetros do motor

- 53 - detectar joelho
- 54 - diminuir ângulo de acionamento/ciclo de serviço em 2°
- 55 - salvar ângulo de fase e voltagem do motor
- 56 - repetir quatro vezes
- 57 - computar valores médios
- 58 - ângulo de acionamento/ciclo de serviço é aumentado
- 59 - medir próxima etapa
- 60 - voltagem fixa
- 61 - sintetizar segmento de controle
- 62 - conversor analógico para digital
- 63 - computação de fase
- 64 - erro de fase é computado
- 65 - erro de voltagem é computado
- 66 - voltagem de motor RMS é comparada com limite de voltagem fixada
- 67 - o alvo de controle é positivo
- 68 - circuito de voltagem é executado
- 69 - circuito de linha de controle é executado
- 70 - motor colocado no dinamômetro
- 71 - o motor é conectado ao computador
- 72 - ângulo de acionamento/ciclo de serviço é aumentado e a voltagem é diminuída
- 73 - registrar ponto de calibração
- 74 - motor de partida
- 75 - ângulo de acionamento/ciclo de serviço é ajustado
- 76 - formar linha de controle
- 77 - amplificadores com terminações diferencial-para-simples
- 78 - inserir resistores
- 79 - atenuador
- 80 - retro-informação de resistor

- 81 - aterrar resistor de referência
- 82 - diodos de proteção
- 83 - amplificada operacional
- 84 - capacitores de bloco CC
- 85 - resistores
- 86 - neutro
- 87 - bloqueio para conexão neutra alternada
- 88 - comparador de janela
- 89 - corrente de motor é fornecida
- 90 - voltagem positiva é proporcionada
- 91 - voltagem negativa é proporcionada
- 92 - voltagem passa através de dois comparadores
- 93 - voltagem passa através de porta de operação (OR)
- 94 - é criado sinal digital de cruzamento no zero
- 95 - forma de onda de corrente
- 96 - voltagem positiva de meio ciclo
- 97 - voltagem negativa de meio ciclo
- 98 - função OR
- 99 - monitores DSP para aumento na corrente
- 100 - aumento é observado
- 101 - voltagem do motor é ligada no total
- 102 - voltagem do motor é reduzida à linha de controle
- 103 - carga no motor
- 104 - potência aplicada ao motor
- 105 - ponto a
- 106 - contar varreduras

[0017] Com referência à Figura 1, é mostrado um diagrama de bloco de um processador de sinal digital (DSP) 1 e hardware de entrada e saída da presente invenção. O DSP 1 pode observar as características operacionais de um motor e fazer correções na raiz quadrada

média da voltagem (RMS) para o motor que está funcionando e sob controle de circuito fechado. As entradas de hardware 2 capturam entradas no cruzamento de fase zero 36, voltagem de linha de fase 37, voltagem de motor de fase 38 e corrente 9 e passadas através do DSP 1 para processamento e então, nos dispositivos de controle de potência através das saídas do dispositivo de controle de potência 14.

[0018] Agora, com referência à Figura 2, um diagrama de bloco de um sistema e método do controlador de motor baseado em DSP 4 da presente invenção, é mostrado. Primeiro, o controlador de motor 4 lê as voltagens 37 de cada fase A, B e C e a corrente 9 para capturar as entradas de cruzamento no zero 36. Neste ponto, a voltagem 13 e a corrente 9 podem ser convertidas de analógica para digital com o uso de conversores 62. A seguir, são calculadas computações 63 de ângulo de fase do motor para cada fase para dar um ângulo de fase observado 5. A seguir, um ângulo de fase alvo 10, que foi derivado de uma linha de controle pré-programada, é comparada com o ângulo de fase observado 5. A diferença entre o ângulo de fase alvo 10 e o ângulo de fase observado 5 dá um sinal de erro de fase resultante 11 que é processado por um filtro digital chamado controlador derivativo integral proporcional (PID) 12, que tem componentes proporcionais, integrais e diferenciais. A saída do controlador PID 12 é a nova voltagem de controle 13 para o motor 3, o que pode ser obtido através do uso de dispositivos de controle de potência 33, como TRIACs, SCRs, IGBTs ou MOSFETs, para dar as saídas do dispositivo de controle de potência 14 da voltagem do motor RMS 13, fornecida com voltagens de linha 50 para cada fase para economia máxima de energia.

[0019] Neste sistema de circuito fechado, a voltagem 13 de cada fase do motor 3 e a corrente, são monitoradas continuamente. O controlador do motor 4 acionará o ângulo de fase observado 5 até o ponto na linha de controle calibrada 6 correspondente à carga que está no

motor. Neste ponto, será realizada economia máxima de energia porque a linha de controle 6 é baseada nos dados de calibração conhecidos do motor 3. O controlador de motor 4 pode controlar o motor 3 como se um técnico ajustasse a voltagem 13 a mão. A diferença é que o DSP 1 pode responder dinamicamente a mudanças na carga em tempo real e fazes estes ajustes em uma base ciclo a ciclo.

[0020] Agora, com referência à Figura 3, em um sistema de três fases, o controlador de motor 4 é usado para determinar automaticamente a rotação de fase. Os detectores de cruzamento no zero nas voltagens de linha fornecem uma medição precisa do ângulo entre os cruzamentos no zero da voltagem da linha de fase A 15 e os os cruzamentos no zero da voltagem da linha de fase B 16. Para rotação de fase positiva 18, o ângulo é nominalmente 120° e para rotação de fase negativa 19, o ângulo é nominalmente 60°.

[0021] Com referência à Figura 4, é mostrado um fluxograma para detecção de rotação de fase. Após um power-on-reset (POR) 20, é fácil para o controlador de motor 4 determinar a rotação de fase positiva 18 e a rotação de fase negativa 19. Primeiro, o tempo é medido desde os cruzamentos no zero da voltagem da linha de fase A até os cruzamentos no zero da voltagem da linha de fase B 39. A seguir, determina-se se o tempo é maior do que ou menor do que 90 graus 40. Se for maior do que 90 graus, então é uma rotação ACB 42. Se o tempo for menor do que 90 graus, então é uma rotação ABC 41. O controlador de motor 4 da presente invenção pode controlar motores de três fases ou de uma fase com a mesma arquitetura básica de software e de hardware. Para o caso de três fases, dependendo da rotação de fase, o controlador de motor 4 pode acionar as saídas do dispositivo de controle de potência 14.

[0022] Agora, com referência à Figura 5, que mostra saídas do dispositivo de controle de potência para rotação positiva, o controlador

de motor aciona as saídas do dispositivo de controle de potência de fase A 14 e as saídas do dispositivo de controle de potência de fase B 14 juntos durante o momento de ligar os cruzamentos no zero da voltagem da linha de fase A 15, conforme indicado pela forma oval 22a. Similarmente, o controlador de motor aciona os dispositivos de controle de potência que acionam as saídas 14 do dispositivo de controle de potência de fase B 16 e fase C, durante o momento de ligação de fase B, conforme indicado pela forma oval 22b. Finalmente, o controlador de motor 4 aciona as saídas 14 do dispositivo de controle de potência de fase A e de fase C 17 durante o momento de ligação do dispositivo de controle de potência de fase C 14, conforme indicado pela forma oval 22c. Note que o exemplo mostrado nas Figuras 5 e 6, ilustra um ângulo de acionamento/ciclo de serviço 23 de 90°.

[0023] Agora, com referência à Figura 6, que mostra as saídas de acionamento TRIAC para rotação de fase negativa, o controlador de motor 4 aciona as saídas do dispositivo de controle de potência de fase A 14 e as saídas do dispositivo de controle de potência de fase C 14 durante o momento de ligação dos cruzamentos no zero da voltagem da linha de fase A 15, conforme indicado pela forma oval 22c. Similarmente, o controlador de motor 4 aciona as saídas do dispositivo de controle de potência de fase B 16 e fase A durante o momento de ligação dos cruzamentos no zero da voltagem da linha de fase B 16, conforme indicado pela forma oval 22a. Finalmente, o controlador de motor aciona as saídas do dispositivo de controle de potência de fase C 14 e as saídas do dispositivo de controle de potência de fase B 14 durante o momento de ligação dos cruzamentos no zero da voltagem da linha de fase C 17, conforme indicado pela forma oval 22b.

[0024] Agora, com referência à Figura 7, é mostrado um diagrama de bloco de um comparador de janela. O controlador de motor baseado em DSP da presente invenção usa o comparador de janela 88 para

detectar os cruzamentos no zero de ambas as metades, positiva e negativa, de uma forma de onda de corrente. Quando a voltagem do motor RMS é reduzida pelo controlador do motor, é difícil detectar cruzamentos no zero de forma de onda de corrente porque a corrente é zero para uma parte significativa de ambos os meio-ciclos. Primeiro, é fornecida corrente de motor 89, é fornecida uma voltagem positiva 90 como uma referência para uma metade de ciclo positiva e uma voltagem negativa é fornecida 91 como uma referência. A seguir, apresenta-se a voltagem positiva e a voltagem negativa a dois comparadores 92 e elas são então passadas através de uma porta de operação (OR) 93 para criar um sinal digital de cruzamento no zero composto 94.

[0025] Conforme está ilustrado adicionalmente na Figura 8, um esquema do comparador de janela 88 é mostrado. A corrente do motor é fornecida 89, uma voltagem positiva é fornecida 90 como uma referência para uma metade de ciclo positiva e uma voltagem negativa é fornecida 91 como uma referência. A seguir, a corrente, representada como uma voltagem positiva e uma voltagem negativa, é processada pelos dois comparadores 92 e são então passadas para uma porta OR 93 para criar um sinal digital de cruzamento no zero composto 94.

[0026] Adicionalmente, a Figura 9 mostra gráficos de uma forma de onda de corrente 95, um meio ciclo de voltagem positiva 96, um meio ciclo de voltagem negativa 97 e uma função OR 98.

[0027] Agora, com referência à Figura 10, é mostrado um esquema de um circuito neutro virtual. Um circuito neutro virtual pode ser usado como uma referência em situações onde a potência de três fases só está disponível em modo delta e não existe neutro presente para uso como uma referência. O circuito neutro virtual compreende três amplificadores com terminações diferencial-para-simples 77. Devido ao fato de as voltagens de fase para fase serem altas, os resistores de entrada 78 são usados para formar um atenuador adequado 79 junto

com os resistores de retro-informação 80 e resistores de referência terra 81. Devido ao fato de existir o perigo de uma perda de fase, diodos de proteção 82 são usados para proteger os amplificadores com extremidades diferencial-para-simples 77. Os amplificadores com extremidades diferencial-para-simples 77 são acoplados a um amplificada operacional 83 através de capacitores de bloqueio CC 84 e resistores 85, junto com o resistor de retro-informação 80. A saída do amplificada operacional 83 é elevada pelo amplificada operacional 27, proporcionando assim uma saída com baixa impedância que é um potencial neutro. Resistores adicionais dividem um trilho de fornecimento permitindo que o amplificada operacional 83 lide com sinais alternados positivos e negativos. Uma conexão alternativa está disponível no caso de um neutro 86 estar disponível junto com um jumper para conexão neutra alternativa 87.

[0028] Agora, com referência à Figura 11, que mostra uma saída de um dispositivo de controle de potência 14 para uma aplicação de uma fase, a saída 14 para a fase A é ligada em cada meio ciclo com base em uma saída do dispositivo de controle de potência 14, derivada da entrada de cruzamento na voltagem zero 15. A saída do dispositivo de controle de potência 14 para os cruzamentos na voltagem zero de fase B e cruzamentos na voltagem zero de fase C está desabilitada no DSP 1 e o hardware pode não estar presente. As saídas do dispositivo de controle de potência 14 não estão em par, já que é o caso de três fases.

[0029] Agora, com referência à Figura 12, que ilustra uma linha de controle tridimensional para o espaço de operação do motor limitado por um ângulo de fase observado 5 no eixo geométrico y. Um ângulo de acionamento/ciclo de serviço 23 controlado que mostra a diminuição na voltagem, é mostrado no eixo geométrico x e a carga percentual 24 sobre um motor é mostrada sobre o eixo geométrico z.

[0030] Cada motor opera ao longo de uma linha de controle paramétrica 25 dentro de seu espaço de operação. Por exemplo, quando um dado motor está 50% carregado e o ângulo de acionamento/ciclo de serviço 23 está ajustado para 100° , um ângulo de fase 5 de aproximadamente 55° é observado.

[0031] A linha de controle paramétrica 25 mostrada na Figura 12 é definida por cinco pontos de operação paramétricos 26 que variam de um caso carregado 44, no canto esquerdo superior, até um caso descarregado 45, no canto direito inferior. Além do mais, a linha de controle paramétrica 25 tem um significado especial porque ela é a linha onde um motor está usando o mínimo de energia possível. Se o ângulo de acionamento/ciclo de serviço 23 for aumentado e a voltagem do motor 13 for diminuída, então um motor desaceleraria e, possivelmente, pararia. Resultados similares são vistos se a carga sobre o motor 3 for aumentada.

[0032] Conforme está ilustrado na Figura 13, a linha de controle paramétrica 25 pode ser parametrizada e projetada sobre um plano descrito pelo ângulo de fase 5 na direção vertical e o ângulo de acionamento/ciclo de serviço 23 na direção horizontal.

[0033] Adicionalmente, conforme é mostrado na Figura 14, a linha de controle paramétrica 25 pode ser exibida em um gráfico bidimensional. No eixo geométrico x, o aumento do ângulo de acionamento/ciclo de serviço 23 pode ser igualado por uma voltagem de motor decrescente. Isso é porque pequenos ângulos de acionamento/ciclos de serviço 23 podem resultar em alta voltagem e grandes ângulos de acionamento/ciclos de serviço resultam em baixa voltagem. O controlador do motor acionará o ângulo de fase observado 5 até o ponto na linha de controle 25 que corresponde à carga presentemente sobre o motor. Para conseguir isso, um DSP computa o ângulo de fase 5 entre a voltagem e a corrente.

[0034] De novo com referência ao diagrama de bloco da Figura 2, o DSP 1 computa então o próximo ângulo de fase alvo 5 com base no valor presente da voltagem RMS 13, ou, equivalentemente, o valor presente do ângulo de acionamento/ciclo de serviço. A diferença entre o ângulo de fase observado e o ângulo de fase alvo 10 resulta em um erro de ângulo de fase, que é processado através de um controlador proporcional-integral-diferencial (PID) 12 ou dispositivo similar para gerar um novo alvo de controle. Este alvo de controle muda a voltagem de maneira a minimizar o erro do ângulo de fase. O ângulo de fase 10 é dinâmico e muda como uma função do ângulo de acionamento/ciclo de serviço.

[0035] Conforme dito acima, o controlador do motor 4 acionará o ângulo de fase observado 5 até o ponto na linha de controle 25 que corresponda à carga presentemente sobre o motor 3. Este ponto de operação 26 proporciona a economia de energia máxima possível porque a linha de controle 25 é calibrada diretamente a partir do motor 3, que está sendo controlado.

[0036] Este método preferido para calibração é chamado calibração semi-automática. A calibração semi-automática é baseada no DSP que varre o espaço de controle do motor. Conforme é mostrado na Figura 15, varrer o espaço de controle significa que o DSP aumenta o ângulo de acionamento/ciclo de serviço 23 e registra a corrente 9 e o ângulo de acionamento/ciclo de serviço 23 de cada fase em pontos discretos ao longo do caminho. Assim, é possível ver o início do ponto de parada 21 do motor. Uma parte linear bem definida da curva de dados de calibração observados, obtida a partir da varredura do espaço de controle 7, que é usado para determinar pontos na linha de controle 6, tem uma inclinação negativa constante a ângulos de acionamento/ciclos de serviço menores 23. Então, como o ângulo de acionamento/ciclo de serviço 23 continua a aumentar, a corrente 9 começa a ficar

plana e começa realmente a aumentar conforme o motor 3 começa a patinar e começa a parar, o que se denomina "joelho" 31.

[0037] Conforme é mostrado na Figura 16, varreduras subsequentes podem ser direcionadas a intervalos menores de voltagens do motor, para dar um "zoom" no joelho. O controlador do motor 4 requer múltiplas varreduras para que possa obter dados que sejam precisos do ponto de vista estatístico. Existe uma compensação entre o número de varreduras e o tempo necessário para calibrar a linha de controle 25. Uma medida da qualidade da calibração pode ser mantida pelo DSP 1 com o uso de processos estatísticos bem conhecidos e, se for necessário, podem ser feitas varreduras adicionais. Isso é verdadeiro porque o DSP 1 aprendeu, da primeira varredura, a localização aproximada do joelho 31.

[0038] Existe pouco perigo de parada durante a varredura semi-automática por causa do ambiente controlado da configuração. Um técnico ou operador ajuda a assegurar que nenhuma carga repentina seja aplicada ao motor 3 sob teste enquanto uma calibração semi-automática estiver em andamento.

[0039] O processo de varredura do espaço de controle pode ser executado em qualquer carga fixada. Por exemplo, ele pode ser executado uma vez com o motor 3 totalmente carregado e uma vez com o motor 3 sem carga. Estes dois pontos se tornam os dois pontos que definem a linha de controle 25. Não é necessário realizar a calibração exatamente nestes dois pontos. O DSP 1 estenderá a linha de controle 25 além de ambos os dois pontos, se for necessário.

[0040] Existem muitos métodos numéricos que podem ser aplicados para encontrar o ponto de parada 21 na plotagem da voltagem do motor 23. Conforme é mostrado na Figura 17, o método preferido é usar o método dos "mínimos quadrados" para calcular uma linha reta que melhor acomode os dados acumulados, tabulados das primeiras

cinco voltagens do motor 23.

[0041] A continuação deste método é mostrada na Figura 18. Usando os pontos de dados anteriores, o valor da corrente 9 pode ser previsto. Graficamente, o DSP 1 está verificando por um ou mais pontos aquele desvio na direção positiva a partir da linha reta prevista.

[0042] Conforme é mostrado na Figura 19, o DSP 1 procura o início do joelho na curva. O primeiro ponto que desviar da linha de controle prevista pode ou não ser o início do joelho 31. O primeiro ponto com um erro positivo pode simplesmente ser um dado ruidoso. A única maneira de verificar se a curva de dados de calibração observada, obtida da varredura do espaço de controle 7, é observar os dados obtidos de varreduras adicionais.

[0043] A calibração semi-automática pode ser realizada no campo. Com referência à Figura 20, é mostrado um fluxograma que mostra como se realiza a calibração semi-automática. Primeiro, o motor 3 é colocado em uma configuração bastante carregada 44. Idealmente, esta configuração é mais de 50% da carga total nominal. A seguir, um botão de calibração 32 no controlador do motor 4 é pressionado para que informe ao DSP 1 para realizar uma medição totalmente carregada. O DSP 1 executa uma calibração 46 que requer diversos segundos para explorar o espaço de operação do motor 3 para determinar o ponto totalmente carregado. O controlador do motor 4 indica que ele começou esta etapa ao acender um LED.

[0044] A seguir, o motor 3 é colocado em uma configuração não carregada 45. Idealmente, esta configuração é menor do que 25% da carga nominal. Então, um botão de calibração 32 no controlador de motor 4 é pressionado 47 para informar ao DSP 1 para executar uma medição não carregada. O DSP 1 executa a calibração 46 para determinar o ponto não carregado. O controlador de controle 4 indica que ele terminou a calibração em ambas as extremidades 47 da linha de

controle 25 ao acender um diodo de emissão de luz (LED). Então, o DSP 1 determina a linha de controle 48 usando as duas medições e aplicar esta linha de controle quando se gerencia o motor 3. Os valores da linha de controle 25 são armazenados na memória não-volátil 49.

[0045] A figura 21 mostra um fluxograma mais detalhado da calibração semi-automática. Primeiro, uma primeira varredura de calibração é realizada 46 com a voltagem do motor definida a um certo grau 51, dependendo de se é uma primeira varredura ou de se houve a realização de varreduras anteriores 106, caso em que o controlador de motor mede o motor 52 até o controlador de motor detectar um joelho 53. Se for detectado um joelho 53, o ângulo de acionamento/ciclo de serviço é diminuído em dois graus 54 e o ângulo de fase e a voltagem do motor são registrados na memória 55. Este processo é repetido para que se obtenha ao menos quatro varreduras 56 para chegar a um valor médio computado 57 do ângulo de fase e do ângulo de acionamento/ciclo de serviço. Se durante qualquer etapa ao longo da varredura de calibração não for detectado nenhum joelho, então o ângulo de acionamento/ciclo de serviço é aumentado em pelo menos um grau 58 e a próxima etapa é medida 59.

[0046] Um método alternativo para calibração é chamado calibração manual. A figura 22 mostra um fluxograma de calibração manual. Primeiro, um motor é colocado em um dinamômetro 70. A seguir, o motor é conectado a um computador para controle manual 71, o que permite que o motor funcione em um modo de circuito aberto e que o ângulo de acionamento/ciclo de serviço do motor de indução CA seja ajustado manualmente para qualquer ponto de operação. Então, o motor é colocado em uma configuração totalmente descarregada 45. a seguir, o ângulo de acionamento/ciclo de serviço é aumentado e a voltagem do motor RMS é reduzida 72 até o motor estar prestes a parar.

O ângulo de acionamento/ciclo de serviço e o ângulo de fase são registrados e isso se torna um ponto calibrado, que é registrado 73. Então, dá-se partida no motor com os elementos de acionamento totalmente ligados 74. Então, o motor é colocado em uma configuração completamente carregada 44. A seguir, o ângulo de acionamento/ciclo de serviço é aumentado ou diminuído, até a voltagem do motor RMS ser cortada pelo controlador do motor 75 até o motor estar prestes a parar. O ângulo de acionamento/ciclo de serviço é registrado e isso se torna um outro ponto calibrado, que é registrado 73. Finalmente, os dois pontos calibrados são usados para formar uma linha de controle 76.

[0047] Quando a voltagem de linha RMS for maior do que uma voltagem fixa pré-programada, o controlador DSP prende a voltagem do motor RMS naquela voltagem fixa tal que seja possível economizar energia, mesmo a carga total. Por exemplo, se a voltagem principal estiver acima da voltagem nominal do motor de 115 V, no caso de motor de uma fase, então a voltagem do motor é fixada em 115 V. Esta operação de fixação da voltagem do motor, permite que o controlador do motor economize energia mesmo quando o motor está totalmente carregado em aplicações de fase simples ou de três fases.

[0048] A figura 23 mostra um fluxograma da fixação da voltagem. Primeiro, computa-se um erro de fase 64. A seguir, computa-se um erro de voltagem 65. Então, a voltagem do motor RMS do motor de indução CA é determinada e comparada com um limite de voltagem fixo 66. Se a voltagem do motor RMS for maior do que o limite de voltagem fixo, então determina-se que o alvo de controle é positivo ou não 67. Se o alvo de controle for positivo, então executa-se um circuito de controle de voltagem 68. Se a voltagem do motor RMS do motor de indução CA for menor do que um limite de voltagem fixado, então executa-se o circuito fechado de linha de controle 69 e todo o processo é

repetido. Se o alvo de controle for determinado como não sendo positivo, então é executado um circuito de linha de controle 69 e todo o processo é repetido.

[0049] Em alguns casos, pode não ser possível carregar completamente o motor 3 durante o processo de calibração. Talvez 50% seja a carga máxima que pode ser atingida enquanto o motor está instalado no camopo. Por outro lado, pode não ser possível descarregar completamente o motor; talvez 40% seja a carga mais leve que pode ser conseguida. A figura 24 mostra um exemplo de ambos os pontos de carga perto do meio da faixa de operação. Na extremidade descarregada 45, à direita da linha de controle 25, o DSP 1 ajustará a voltagem fixa 60 da voltagem na voltagem mínima 35. Quando a carga sobre o motor aumentar, o DSP 1 seguirá a linha de controle que se move da esquerda e para cima no segmento de controle 61. Esta implementação é uma abordagem conservadora e protege o motor 3 contra o funcionamento em espaço não calibrado.

[0050] Conforme é mostrado adicionalmente na Figura 25, na extremidade totalmente carregada 44 à esquerda, o DSP 1 irá sintetizar um segmento de controle 61 com uma grande inclinação negativa. Esta implementação é uma abordagem conservadora e leva a voltagem a seu total.

[0051] Agora, com referência à Figura 26, o controlador de motor baseado em DSP utiliza uma técnica especial para proteger um motor contra parada. Primeiro, o DSP monitora ativamente procurando um aumento significativo na corrente 99 que indique que a carga sobre o motor aumentou. A seguir, se for observado um aumento significativo 100, então o DSP liga completamente a voltagem do motor 101. A seguir, o DSP tentará reduzir a voltagem do motor para retornar para o controle 102 e o DSP retorna a monitorar ativamente procurando um aumento significativo na corrente 99. Esta técnica é conservadora e

uma alternativa segura à tentativa do DSP em rastrear necessidades de potência que não são conhecidas naquele momento.

[0052] Conforme é mostrado adicionalmente na Figura 27, um gráfico da técnica de mitigação de parada, a carga sobre o motor é representada sobre um eixo geométrico x e o tempo é representado sobre um eixo geométrico y. A linha inferior representa a carga sobre o motor 103 e a linha superior representa a potência aplicada ao motor pelo DSP 104. Antes de um ponto 105, o DSP está controlando dinamicamente o motor a uma carga fixa. Entre um ponto 105 e um ponto b 30, a carga sobre o motor é repentinamente aumentada e o DSP coloca a voltagem do motor no máximo. No ponto c 34, o DSP reduz a voltagem do motor até o ponto d 43.

[0053] Embora tenha sido descrita uma modalidade preferida de um método e sistema de controlador de motor para maximizar a economia de energia, deve-se entender que ela não está limitada à forma específica ou arranjo de partes aqui descrito e mostrado. Ficará aparente para aqueles que são versados na técnica que diversas modificações podem ser feitas sem que se afaste do escopo da invenção e a invenção não deve ser considerada limitada ao que é mostrado e descrito no relatório descritivo e desenhos.

REIVINDICAÇÕES

1. Sistema para controlar um motor de indução CA para maximizar a economia de energia, compreendendo:

um meio para conectar um controlador do motor (4) a um motor de indução CA (3);

um meio para aplicar uma carga sobre o motor de indução CA;

um meio para remover uma carga do motor de indução CA;

um meio para varrer um espaço de controle do motor de indução CA e fazer medições dos parâmetros de operação (52) do motor de indução CA;

um meio para estabelecer uma linha de controle (6) a partir das medições;

um meio para armazenar a linha de controle no controlador de motor;

um meio para controlar os parâmetros de operação; e

um meio para executar controle em circuito fechado do motor de indução CA (3) para manter o motor funcionando de acordo com a linha de controle (6), **caracterizado pelo fato de que** o controle em circuito fechado usa uma diferença entre um ângulo de fase observado (5) do motor de indução CA e a linha de controle (6).

2. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de que** ainda compreende um meio para colocar o motor de indução CA (3) em uma configuração totalmente carregada.

3. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de que** ainda compreende um meio para colocar o motor de indução CA (3) em uma configuração totalmente descarregada.

4. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de que** ainda compreende a medição de uma corrente do motor de indução CA (3).

5. Sistema, de acordo com a reivindicação 4, **caracterizado pelo fato de que** a medição de corrente do motor de indução CA (3) é conseguida por meio de um processador de sinal digital (1).

6. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de que** ainda compreende a medição de ângulos de fase do motor de indução CA (3).

7. Sistema, de acordo com a reivindicação 6, **caracterizado pelo fato de que** as medições de ângulos de fase do motor de indução CA (3) são conseguidas por meio de um processador de sinal digital (1).

8. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de que** ainda compreende um meio para controlar um ângulo de acionamento/ciclo de serviço (23) do motor de indução CA (3).

9. Sistema, de acordo com a reivindicação 8, **caracterizado pelo fato de que** o meio para controlar o ângulo de acionamento/ciclo de serviço (23) do motor de indução CA (3) é obtido por um processador de sinal digital (1).

10. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de que** o meio para varrer o espaço de controle do motor de indução CA (3) e observar e medir os parâmetros de operação é obtido variando-se a raiz quadrada média da voltagem do motor (13) do motor de indução CA (3).

11. Sistema, de acordo com a reivindicação 10, **caracterizado pelo fato de que** o meio para variar a raiz quadrada média da voltagem do motor de indução CA (3) é um processador de sinal digital (1).

12. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de que** o meio para estabelecer a linha de controle (6) a partir das medições é obtido por um processador de sinal digital (1).

13. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, **caracteriza-**

do pelo fato de que o meio para o armazenamento da linha de controle (6) no controlador de motor (4) é uma memória não-volátil.

14. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de que** o meio para executar o controle em circuito fechado do motor de indução CA (3) para manter o motor funcionando de acordo com a linha de controle (6) é um processador de sinal digital (1).

15. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de que** o meio para realizar o controle em circuito fechado do motor de indução CA (3) para manter o motor funcionando de acordo com a linha de controle (6) é modulação de largura de pulso.

16. Sistema, de acordo com a reivindicação 15, **caracterizado pelo fato de que** a modulação de largura de pulso é realizada usando pelo menos um acionador TRIAC.

17. Sistema, de acordo com a reivindicação 15, **caracterizado pelo fato de que** a modulação de largura de pulso é realizada usando pelo menos um acionador SCR.

18. Sistema, de acordo com a reivindicação 15, **caracterizado pelo fato de que** a modulação de largura de pulso é realizada usando pelo menos um acionador IGBT.

19. Sistema, de acordo com a reivindicação 15, **caracterizado pelo fato de que** a modulação de largura de pulso é realizada usando pelo menos um acionador MOSFET.

20. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de que** ainda compreende um meio para manter a voltagem do motor na voltagem máxima.

21. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de que** ainda compreende um meio para impedir que o motor de indução CA (3) funcione a voltagens abaixo da voltagem mínima.

22. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de que** ainda compreende um meio para determinar o neutro virtual como uma referência.

23. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de que** ainda compreende um meio para detectar cruzamentos na linha zero de metades positivas e negativas de uma forma de onda de corrente no motor de indução CA (3).

24. Sistema, de acordo com a reivindicação 23, **caracterizado pelo fato de que** o meio para detectar cruzamentos na linha zero de metades positivas e negativas de uma forma de onda de corrente e pelo menos um comparador de janela (88).

25. Sistema, de acordo com a reivindicação 24, **caracterizado pelo fato de que:**

uma voltagem positiva (90) é fornecida a pelo menos um comparador de janela como uma referência para um ciclo de metade positiva;

uma voltagem negativa (91) é fornecida a pelo menos um comparador de janela como uma referência para um ciclo de metade negativa; e

sinais que formam pelo menos um comparador de janela passam através de uma porta OR (93) para criar sinais digitais de cruzamento na linha zero de corrente composta (94).

26. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de que** ainda compreende um meio para proteger contra parada de funcionamento no motor de indução CA (3).

27. Sistema, de acordo com a reivindicação 26, **caracterizado pelo fato de que:**

um DSP (1) controla ativamente o motor de indução CA (3) enquanto varre constantemente o motor de indução CA quanto a aumentos na corrente do motor;

o DSP (1) leva a voltagem do motor ao máximo quando é detectado um aumento na corrente do motor; e

o DSP reduz a voltagem do motor para seguir uma linha de controle após a corrente retornar para um nível inferior.

28. Método para controlar um motor de indução CA para maximizar a economia de energia compreendendo as etapas de:

a. conectar um controlador de motor a um motor de indução CA (3);

b. varrer um espaço de controle do motor de indução CA e observar e medir parâmetros de operação (52) do motor de indução CA em todo o espaço de controle;

c. estabelecer uma linha de controle (6) para o motor de indução CA a partir dos parâmetros;

d. armazenar a linha de controle (6) no controlador de motor (4);

e. controlar os parâmetros de operação ao longo da linha de controle; e

f. realizar controle em circuito fechado do motor de indução CA (3) para manter o motor funcionando de acordo com a linha de controle (6) **caracterizado pelo fato de que** o controle em circuito fechado usa uma diferença entre um ângulo de fase observado (5) do motor de indução CA e a linha de controle (6).

29. Método, de acordo com a reivindicação 28, **caracterizado pelo fato de que** a etapa b compreende:

colocar o motor de indução CA (3) em uma configuração totalmente carregada;

determinar o ponto totalmente carregado do motor de indução CA;

colocar o motor de indução CA em uma configuração totalmente descarregada; e

determinar o ponto totalmente descarregado do motor de indução CA.

30. Método, de acordo com a reivindicação 28, **caracterizado pelo fato de que** ainda compreende:

conectar o ponto totalmente carregado e totalmente descarregado do motor de indução CA para estabelecer a linha de controle (6) do motor de indução CA (3).

31. Método, de acordo com a reivindicação 28, **caracterizado pelo fato de que** ainda compreende uma etapa após a etapa de:

aumentar o ângulo de acionamento/ciclo de serviço (23) do motor de indução CA (3) a partir de oitenta graus até cento e cinquenta graus e registrar a corrente e os ângulos de fase ao longo da linha de controle.

32. Método, de acordo com a reivindicação 28, **caracterizado pelo fato de que** ainda compreende uma etapa de:

registrar corrente e ângulos de fase ao longo da linha de controle (6).

33. Método, de acordo com a reivindicação 28, **caracterizado pelo fato de que** a etapa e compreende:

controlar os parâmetros de operação de voltagem ao longo da linha de controle (6) usando modulação de largura de pulso.

34. Método, de acordo com a reivindicação 28, **caracterizado pelo fato de que**:

a modulação de largura de pulso é realizada usando ao menos um acionador TRIAC.

35. Método, de acordo com a reivindicação 32, **caracterizado pelo fato de que**:

a modulação de largura de pulso é realizada usando ao menos um acionador SCR.

36. Método, de acordo com a reivindicação 32, **caracterizado pelo fato de que:**

a modulação de largura de pulso é realizada usando ao menos um acionador IGBT.

37. Método, de acordo com a reivindicação 32, **caracterizado pelo fato de que:**

a modulação de largura de pulso é realizada ao menos um acionador MOSFET.

38. Método, de acordo com a reivindicação 28, **caracterizado pelo fato de que a etapa e ainda compreende:**

manter os parâmetros de operação de voltagem (60) na voltagem mínima (35) e não permitir que o motor de indução CA (3) funcione a voltagens abaixo da voltagem mínima.

39. Método, de acordo com a reivindicação 28, **caracterizado pelo fato de que** ainda compreende uma etapa após a etapa b de:

determinar o neutro virtual para uso como uma referência.

40. Método, de acordo com a reivindicação 28, **caracterizado pelo fato de que** ainda compreende uma etapa após a etapa b de:

detectar os cruzamentos no zero de metades positivas e negativas de uma forma de onda de corrente no motor de indução CA (3).

41. Método, de acordo com a reivindicação 40, **caracterizado pelo fato de que:**

é fornecida uma voltagem positiva (90) a pelo menos um comparador de janela como uma referência para um meio ciclo positivo;

é fornecida uma voltagem negativa (91) a pelo menos um comparador de janela como uma referência para um meio ciclo negati-

vo; e

sinais que formam ao menos um comparador de janela passam através de uma porta OR (93) para criar sinais digitais de cruzamento na linha zero de corrente composta (94).

42. Método, de acordo com a reivindicação 28, **caracterizado pelo fato de que** ainda compreende uma etapa após a etapa f de:

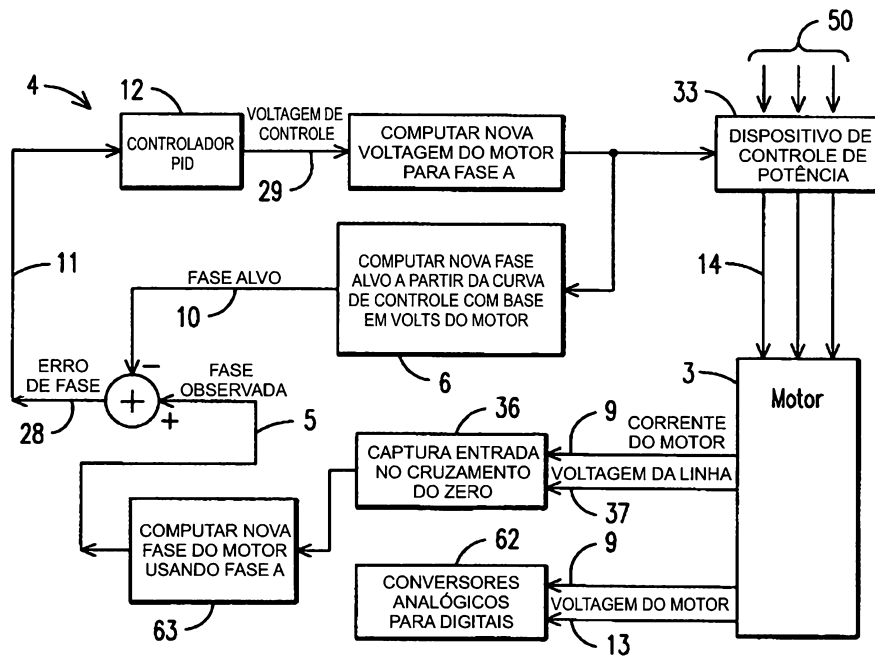
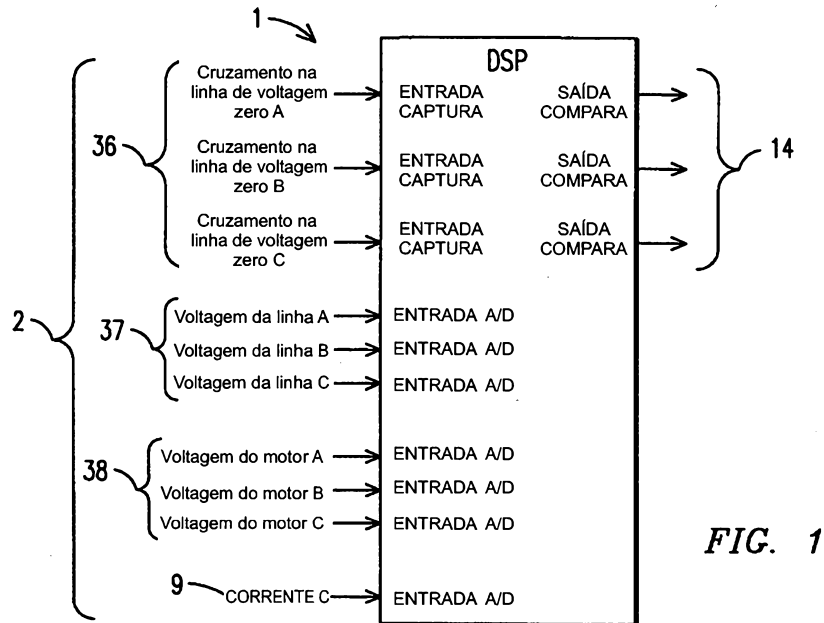
proteger contra parada de funcionamento no motor de indução CA (3).

43. Método, de acordo com a reivindicação 42, **caracterizado pelo fato de que:**

um DSP (1) controla ativamente o motor de indução CA (3) enquanto varre constantemente o motor de indução CA quanto a aumentos na corrente do motor (9);

o DSP leva a voltagem do motor ao máximo quando é detectado um aumento na corrente do motor (101); e

o DSP reduz a voltagem do motor para seguir uma linha de controle após a corrente retornar para um nível inferior.



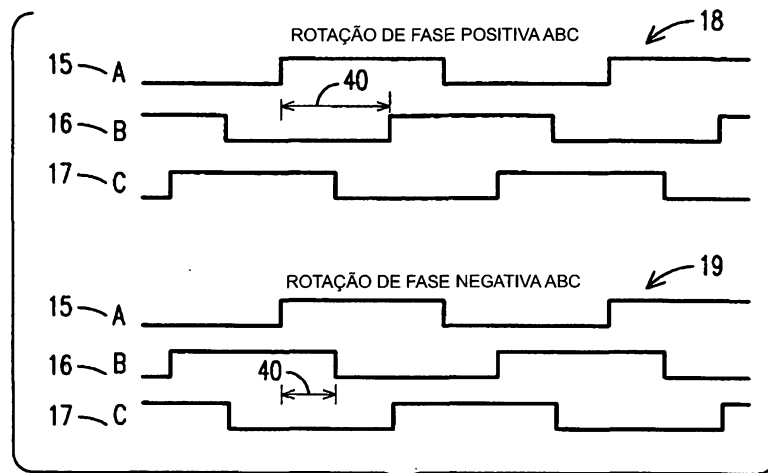


FIG. 3

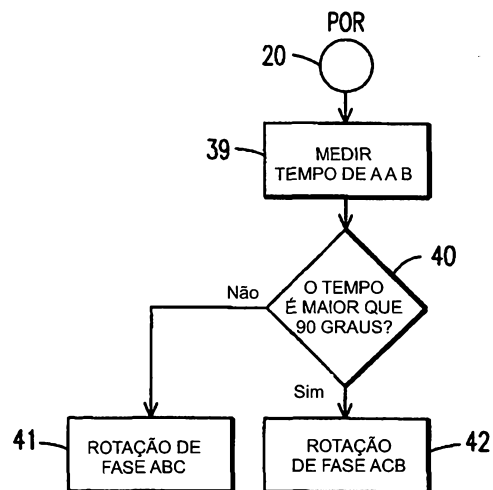


FIG. 4

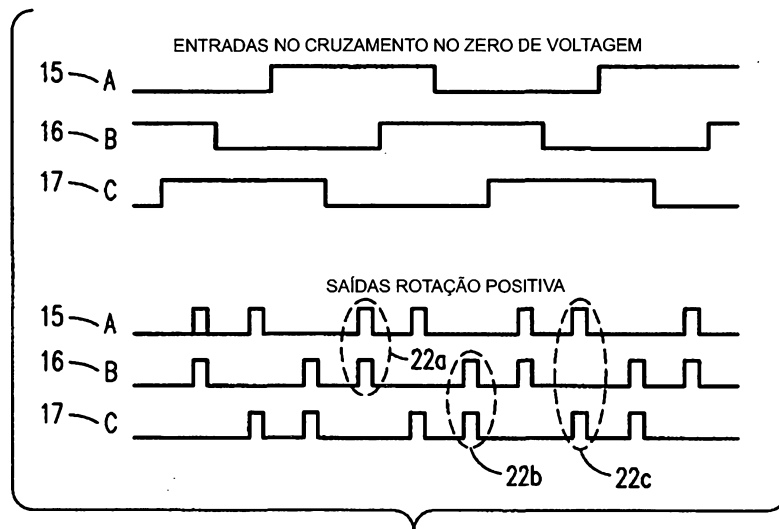


FIG. 5

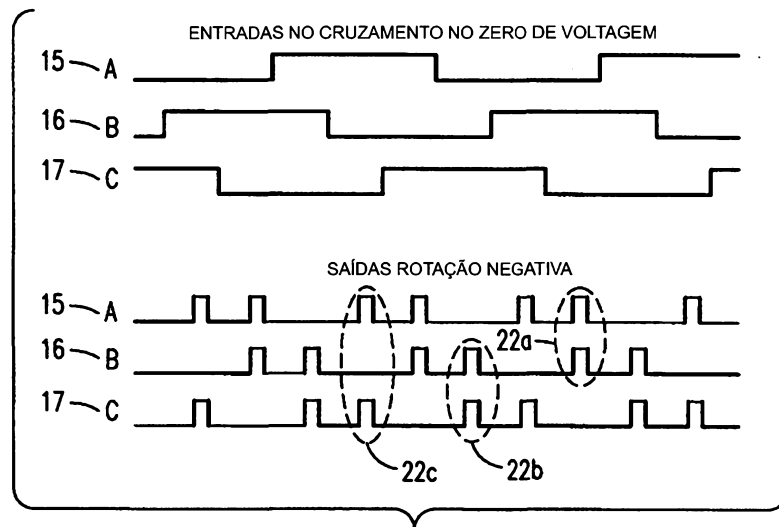


FIG. 6

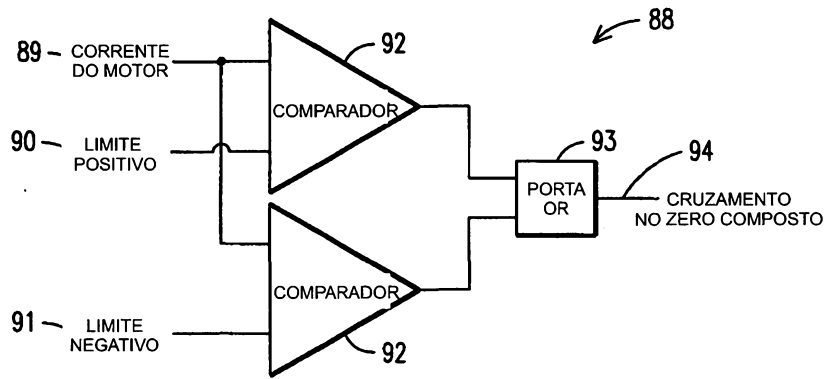


FIG. 7

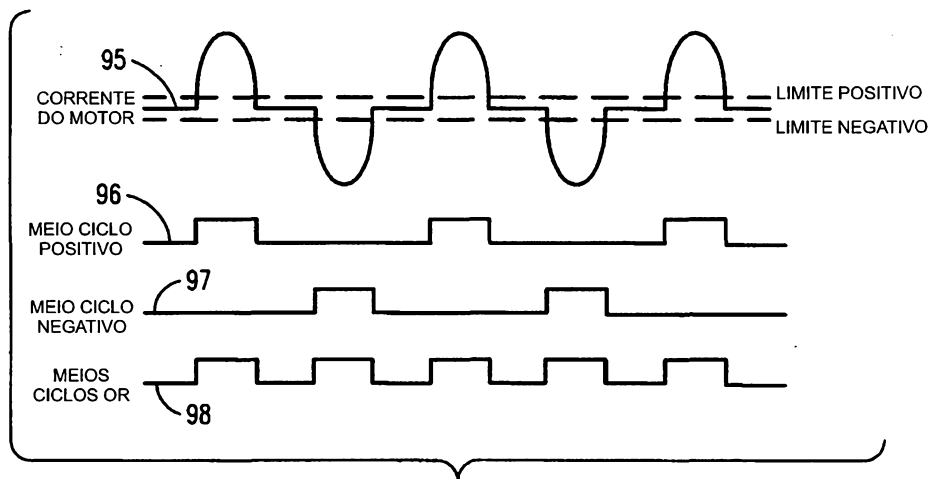


FIG. 9

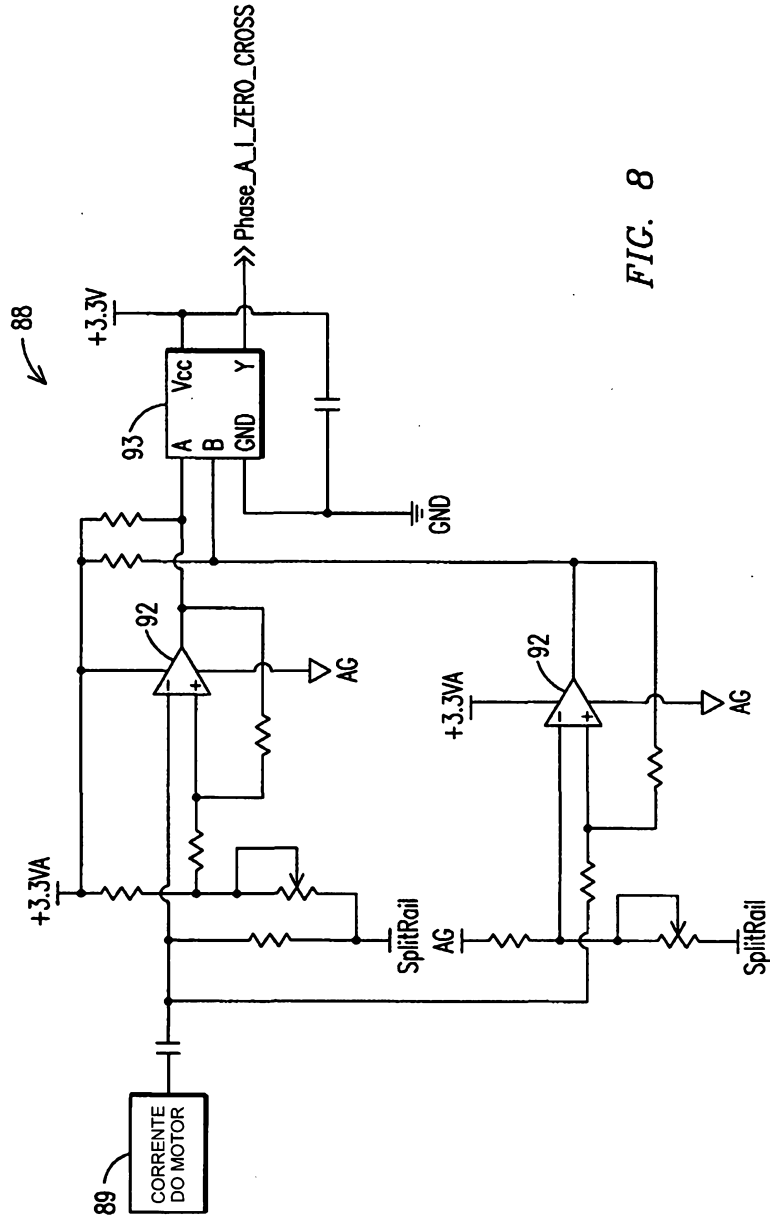


FIG. 8

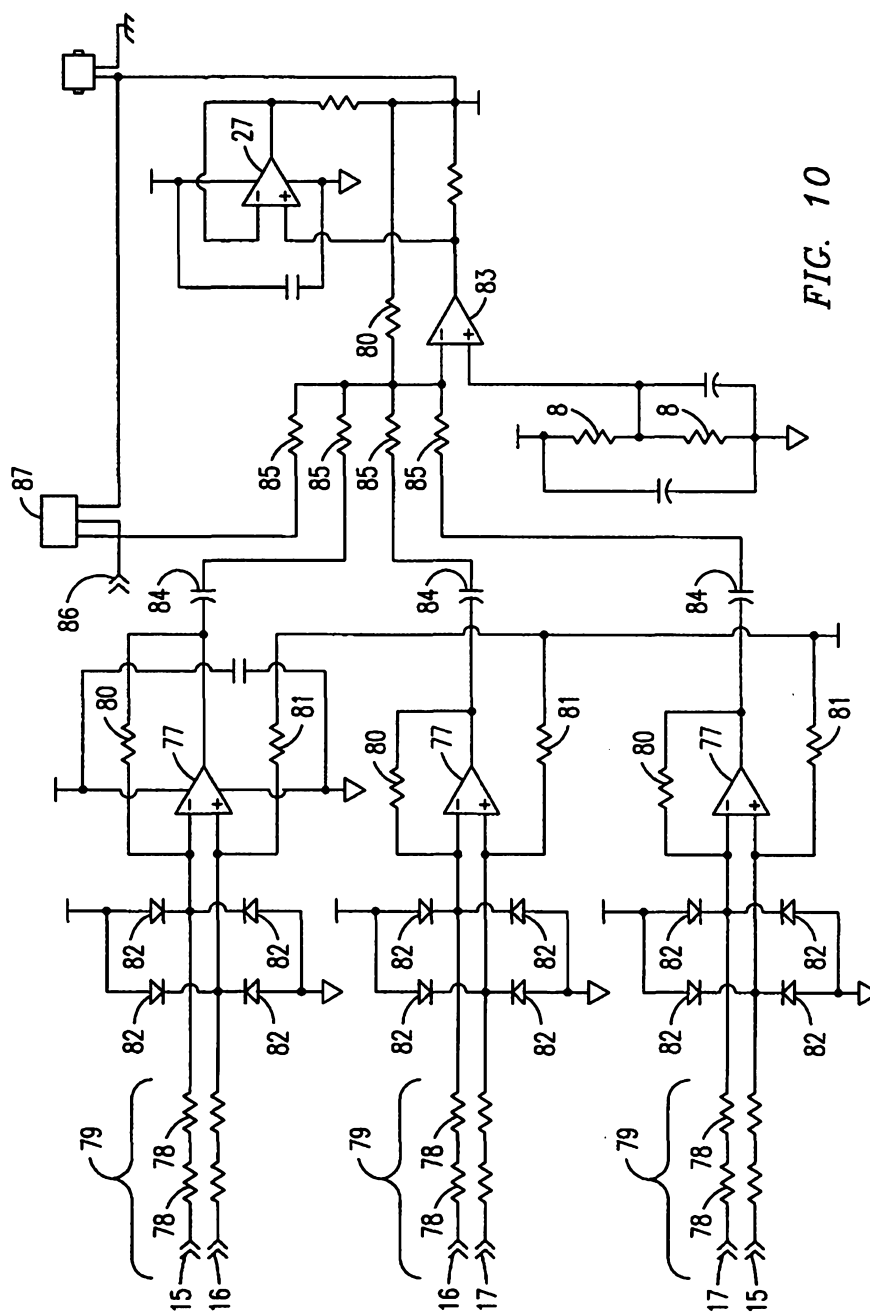


FIG. 10

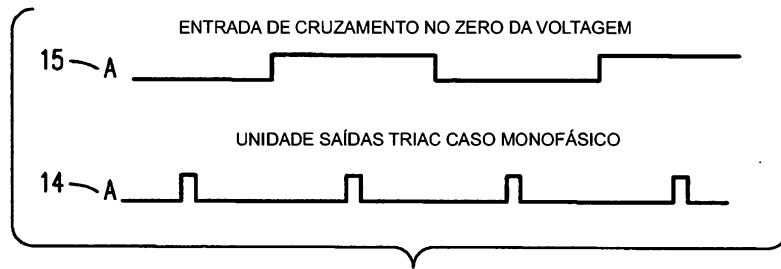


FIG. 11

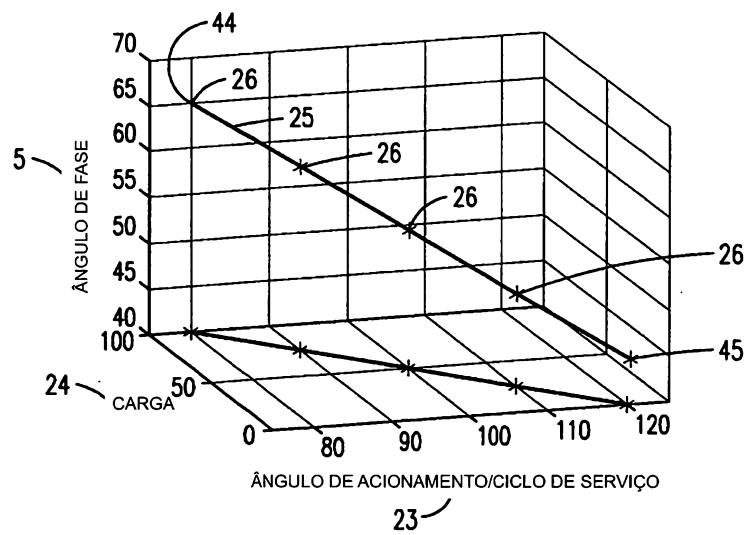


FIG. 12

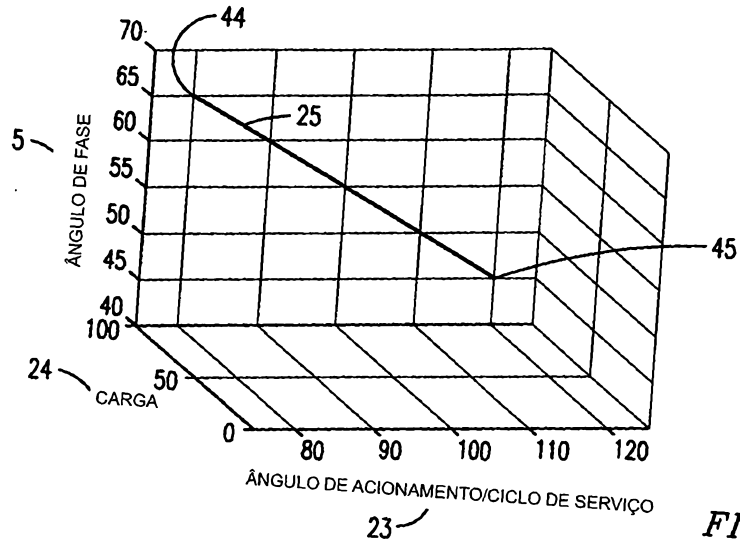


FIG. 13

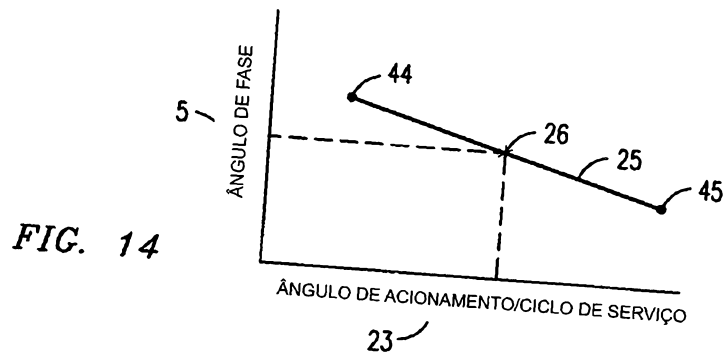


FIG. 14



FIG. 15

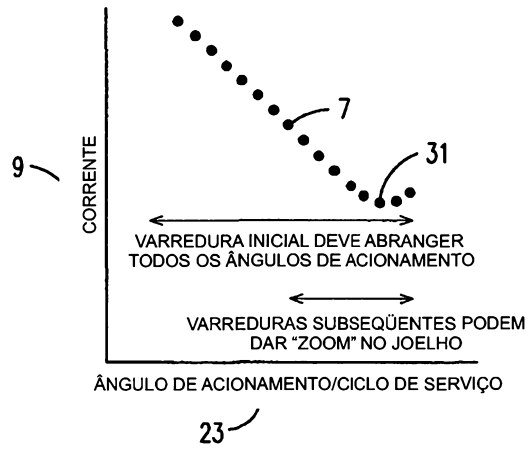


FIG. 16

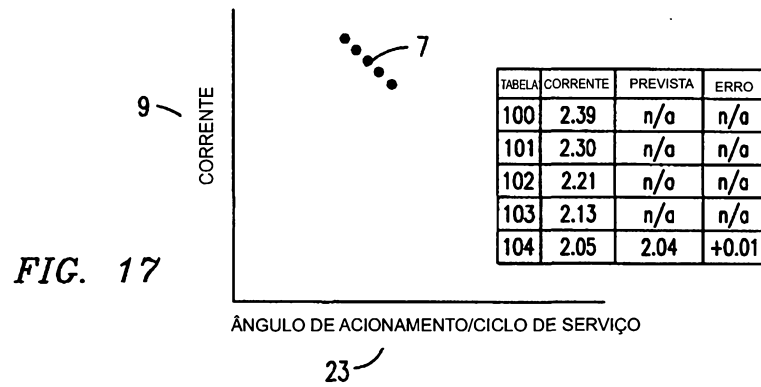


FIG. 17

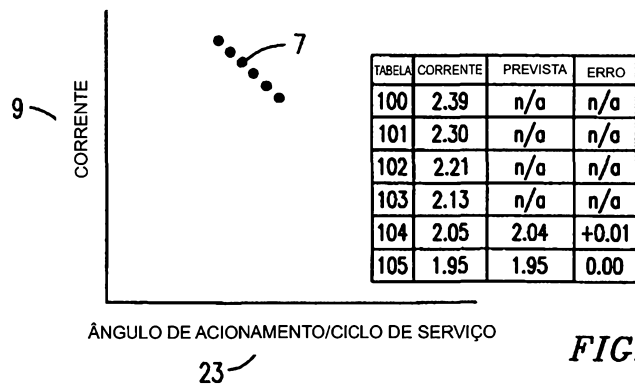


FIG. 18

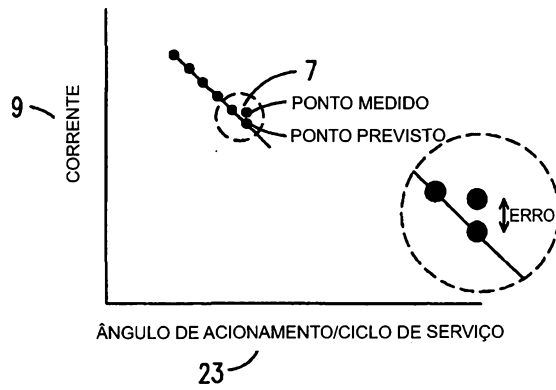


FIG. 19

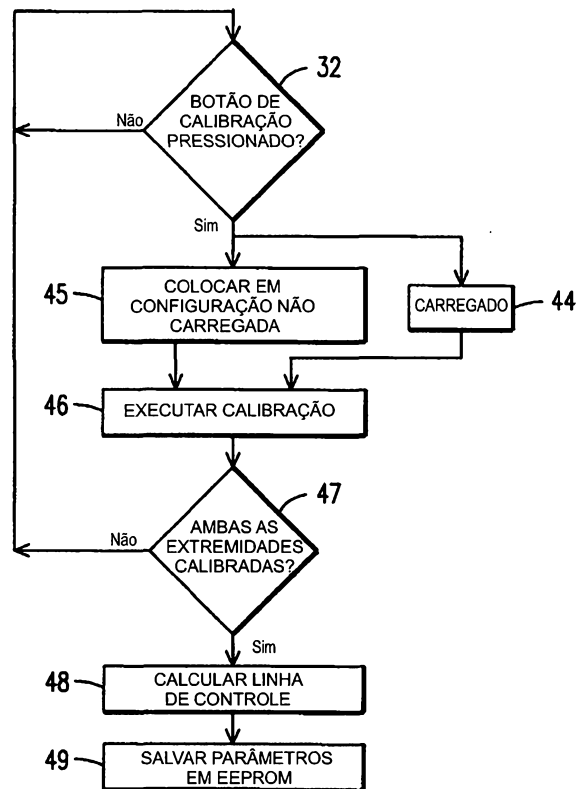


FIG. 20

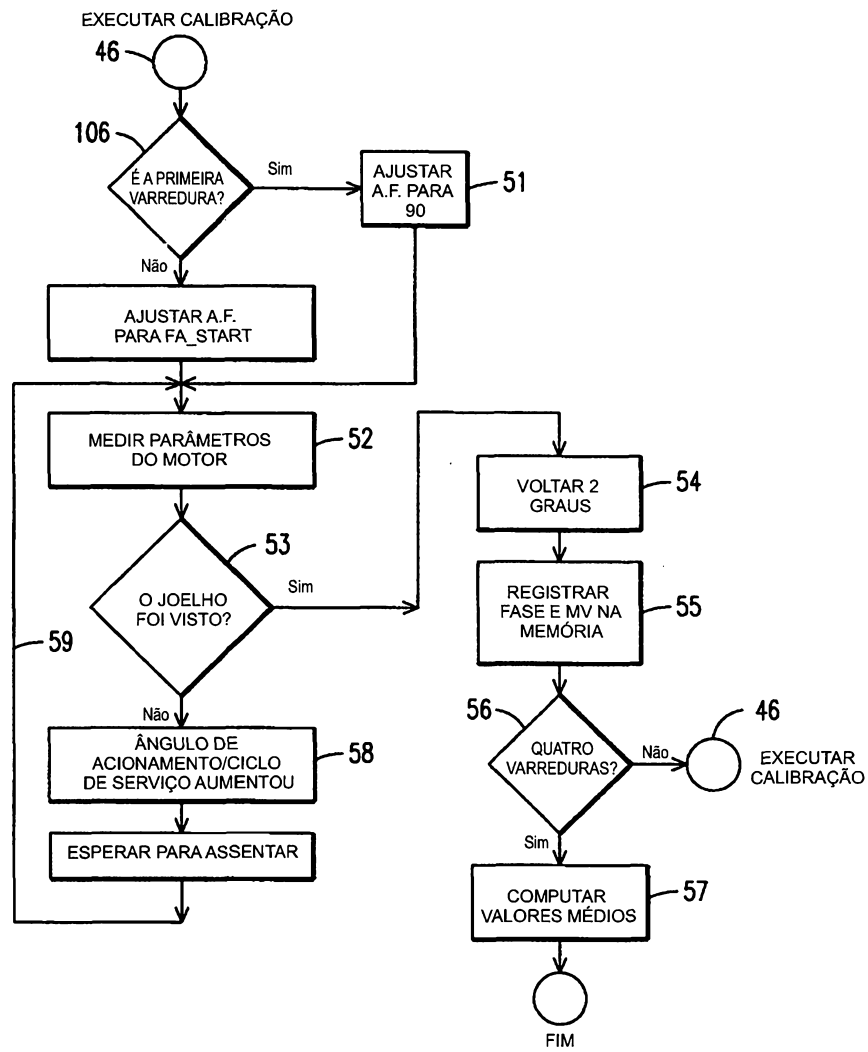
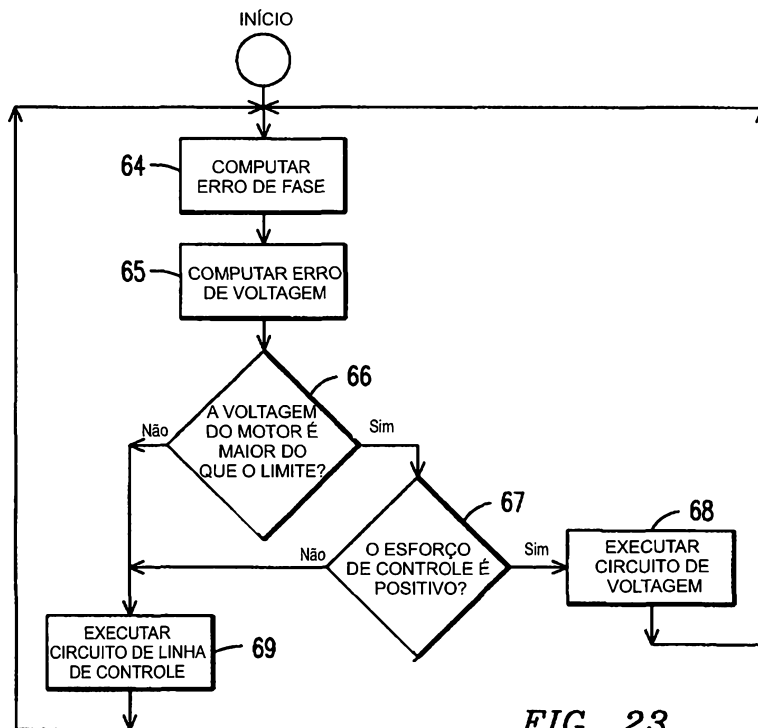
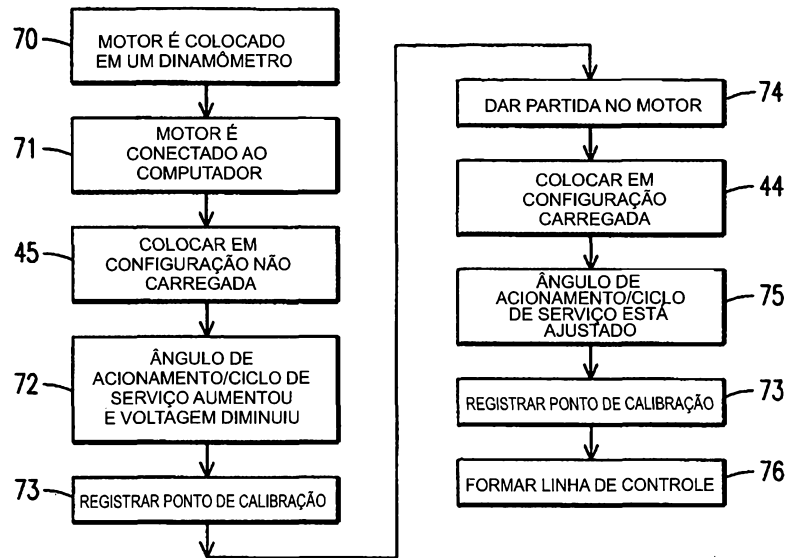


FIG. 21



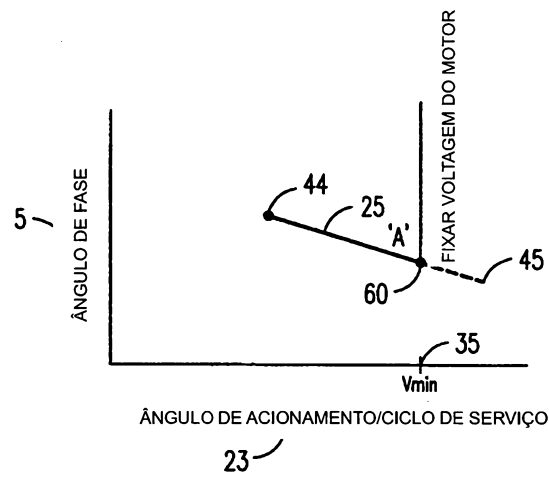


FIG. 24

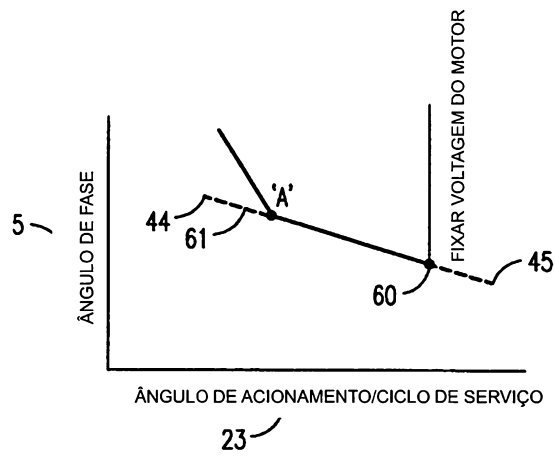


FIG. 25

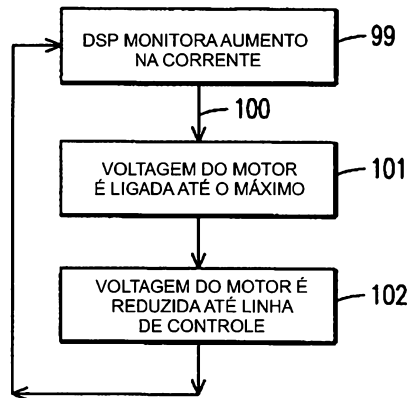


FIG. 26

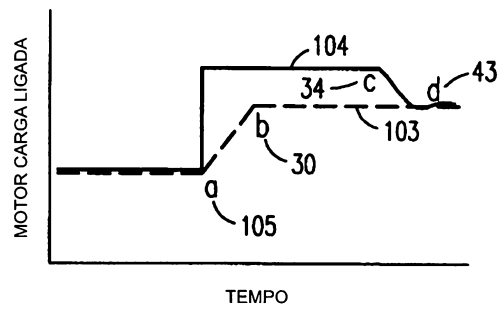


FIG. 27