



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

(11) PI 0016704-5 B1



(22) Data de Depósito: 13/12/2000

(45) Data da Concessão: 21/07/2015
(RPI 2324)

(54) Título: PROCESSO PARA DETERMINAR OS MOMENTOS DE ATIVAÇÃO DE ATUADORES DE CORRENTE TRIFÁSICA DE DUAS OU TRÊS FASES PARA A OPERAÇÃO DE MOTORES DE INDUÇÃO E UM DISPOSITIVO CORRESPONDENTE

(51) Int.Cl.: H02P27/16; H02P27/02

(30) Prioridade Unionista: 23/12/1999 DE 199 62 667.7

(73) Titular(es): Siemens Aktiengesellschaft

(72) Inventor(es): Diethard Runggaldier, Gerd Griepentrog, Lynn Johnson

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "PROCESSO PARA DETERMINAR OS MOMENTOS DE ATIVAÇÃO DE ATUADORES DE CORRENTE TRIFÁSICA DE DUAS OU TRÊS FASES PARA A OPERAÇÃO DE MOTORES DE INDUÇÃO E UM DISPOSITIVO CORRESPONDENTE".

[001] A presente invenção refere-se a um processo e um dispositivo correspondente para determinar momentos de ativação de atuadores de corrente trifásica de duas ou três fases para operar motores de indução, sendo que os atuadores de corrente trifásica são conectados a uma rede de corrente trifásica sem ligação do neutro ao enrolamento do estator do motor de indução e da rede de alimentação e que compreendem pelo menos dois pares de tiristores conectados antiparalelamente que em determinados momentos são ativados.

[002] Em várias tarefas do acionamento é desejado operar um motor de indução com um número de rotações mais baixo em comparação com o número de rotações nominal e também com diferentes direções de rotação, sem alterar o sentido de rotação da rede de alimentação. Para tal, atuadores convencionais de corrente trifásica, de modo econômico, como por exemplo, aparelhos de comutação de motor eletrônicos ou os assim chamados motores de partida suaves, podem ser providos com funcionalidades adicionais. Casos de aplicação potenciais são, por exemplo, o posicionamento de produtos de transporte ou portões operados por motor elétrico.

[003] Da US 4 791 341 A, da US 4 524 361 A e da US 4 461 985 A já se conhece equipar um atuador de corrente trifásica com ao todo cinco pares de tiristores antiparalelos. Com isto pode sem alteração do sentido de rotação da rede alimentadora ser obtida uma inversão do sentido de rotação do motor de indução conectado. Também é conhecido da US 4 481 456 A, utilizar de tal modo ao todo nove pares de tiristores antiparalelos que cada condutor externo da rede alimentado-

ra pode ser conectado a cada conexão do motor de indução trifásico através de um par de tiristores. Com esta disposição é realizado um assim chamado conversor de frequência direto de matriz.

[004] Além disto, da EP 0 408 045 B1 e da EP 0 512 372 A2 são conhecidos processos e os respectivos dispositivos para o controle de motor, onde é indicado um padrão de pulsos com os quais podem ser geradas ondas fundamentais de tal frequência que corresponde a $1/(6n + 1)$ da frequência de rede da rede alimentadora, sendo que n é um número natural. Isto significa que no caso podem ser geradas ondas fundamentais cuja frequência correspondem a $1/7$, $1/13$, $1/19$ etc. da frequência de rede. Uma possibilidade para a inversão do sentido de rotação, porém, não faz parte disto. Finalmente, da DE 25 58 113 já é conhecida a sugestão de gerar $1/(6n+1)$ da frequência da rede por meio de pulsos direcionados. No caso, para a inversão do sentido de rotação são utilizados ou dois outros pares de tiristores antiparalelos ou comutadores mecânicos.

[005] Partindo do estado da técnica é a tarefa da presente invenção indicar um processo com o qual podem ser determinados os momentos de ativação apropriados de um atuador de corrente trifásica para a operação de um motor de indução. Nisto, deve ser gerada uma operação de um motor de indução com quaisquer ondas fundamentais, sem dispêndio adicional de componentes eletrônicos de potência, especialmente válvulas de conversores estáticos, e elementos de comutação adicionais, somente por meio de um atuador de corrente trifásica com três ou dois pares de tiristores antiparalelos. Especialmente deve a onda fundamental corresponder a $1/k$ da frequência da rede, sendo que k é um número ≥ 3 . Além disto, simultaneamente deve ser possível qualquer sentido de rotação.

[006] No caso da presente invenção, primeiro são determinados todos os pulsos de ativação potencialmente possíveis que resultam na

passagem por zero da tensão composta, subtraindo-se um ângulo φ . Para a ativação do par de tiristores no condutor externo A ocorrem pulsos de ativação potenciais, por exemplo, quando a posição de fase da rede alimentadora se encontra em torno do ângulo φ antes da passagem por zero da tensão composta (U_{AB}) ou da tensão composta (U_{CA}). No caso, com vantagem o ângulo φ é situado, de preferência, em torno do valor entre 30 e 60°.

[007] No processo de acordo com a presente invenção, primeiro são definidas para todos os três condutores externos as ondas fundamentais que correspondem ao número de rotações e ao sentido de rotação desejado do motor. Especialmente no caso de um atuador de corrente trifásica que contém três pares de tiristores antiparalelos, somente são utilizados em pares os pulsos de ativação potenciais e, com isto, ativados com os mesmos respectivamente dois pares de tiristores, cujo fluxo de corrente resultante possui uma polaridade correspondendo às ondas fundamentais definidas. Em correspondência total, no caso de um atuador de corrente trifásica que somente contém dois pares de tiristores antiparalelos, onde então somente são utilizados tiristores em dois condutores externos e onde o terceiro tiristor causa curto-circuito, além disto, aqueles pares de pulsos de ativação são excluídos que providenciam um fluxo de corrente exclusivamente entre os condutores externos que não acusam curto-circuitos. Com isto é evitada uma corrente não controlável no condutor externo que causa curto-circuito, cuja polaridade não corresponde à onda fundamental definida.

[008] No caso da presente invenção é de especial vantagem que quaisquer números de rotações podem ser gerados com $1/k$ do número de rotações nominal, sendo que k é um número ≥ 3 . Também é vantajoso que somente pela variação do ângulo φ pode ser influenciado o torque emitido com a frequência da onda fundamental definida.

[0009] O processo descrito é realizado especialmente com um protocolo. Portanto, pode ser implementado de modo simples em atuadores de corrente trifásica existentes sem dispêndio adicional em componentes.

[0010] Outros detalhes e vantagens da presente invenção podem ser obtidos na descrição seguinte das figuras de um exemplo de execução com a ajuda do desenho. Estes mostram:

[0011] Figura 1 - um dispositivo para o controle de um motor de indução com a utilização do processo de acordo com a presente invenção.

[0012] Figura 2 - diagramas para ilustrar o processo com um motor com rotação à direita.

[0013] Figura 3 - um detalhe da figura 2 para a ilustração da influência do ângulo de ativação.

[0014] Figura 4 - um diagrama para a ilustração do processo com um motor com rotação à esquerda.

[0015] Figura 5 - um dispositivo de acordo com a figura 1, especialmente para a ativação em duas fases de um motor.

[0016] Figura 6 - um diagrama do processo com dois pares de tiristores antiparalelos.

[0017] Figura 7 e figura 8 - fluxograma para a determinação por meio do protocolo dos momentos de ativação para as diversas fases.

[0018] Na figura 1 e na figura 5 é conectada nas fases da rede respectivamente uma máquina de indução 2, por exemplo, um motor de indução de corrente trifásica, através de um atuador de corrente alternada 4 trifásico como um assim chamado atuador de corrente trifásica. Estas, na figura 1 são as fases A, B e C de uma rede trifásica, e na figura 4, as fases A e B de uma rede bifásica.

[0019] A cada uma das fases é conjugado um arranjo de tiristores, por exemplo, na figura 1, a cada fase A, B e C, um arranjo de tiristores

V1, V2, V3, e na figura 5 da fase B e C, um arranjo de tiristores V2 e V3. Os arranjos de tiristores consistem cada vez de dois tiristores 6 conectados antiparalelamente. Os eletrodos de ativação dos tiristores 6 são conectados a um dispositivo de controle com o qual são providenciados os pulsos de ativação necessários para a ativação dos tiristores 6 em uma sequência predeterminada.

[0020] Entre dois condutores da rede, por exemplo, entre os bornes A e B da rede na figura 1, é conectado um dispositivo de medição de tensão 10 em cuja saída está à disposição a tensão de rede U_{AB} que ocorre entre estes dois bornes A e B. Além disto, existe um dispositivo de controle 8 para o controle do ângulo operacional para fins de marcha por inércia suave do motor. Tal dispositivo de controle, de preferência, é realizada por meio de um micro controlador.

[0021] No presente caso o dispositivo de controle 8 serve para processar um método apropriado, com o qual, somente pelo protocolo, pode ser feita a operação do dispositivo. A base disto é um processo uniforme com o qual quaisquer partes do número de rotações nominal ($> = 3$) podem ser alcançadas com qualquer sentido de rotação do motor para motores de partida suave de duas ou três fases. O dispositivo de controle também pode ser um micro controlador já existente para o motor.

[0022] Nas figuras 2 e 4 são mostrados os diversos sinais s com um número de rotações de $1/9$ do número de rotações nominal. Especialmente a figura 2 reflete a situação com um motor de rotação à direita, e especialmente a figura 4, a situação com um motor de rotação à esquerda.

[0023] Nos gráficos, os sinais têm o seguinte significado:

[0024] V_{0AB} = tensão da fase A-B da figura 1. O sinal é utilizado como referência para os momentos calculados para a ativação dos tiristores.

[0025] I_A = corrente na fase A em uma ativação de 30° antes da passagem por zero da tensão composta.

[0026] Uma vez que sempre precisa fluir uma corrente de duas fases, há para cada pulso de corrente em uma fase uma corrente com polaridade oposta em uma outra fase, as quais são marcadas com I_B e I_C . A onda fundamental da corrente em $1/k$ do número de rotações nominal para as diversas fases é marcada com F_A , F_B e F_C . Da onda fundamental podem ser deduzidos respectivamente momentos de ativação potenciais P_{FA} , P_{FB} e P_{FC} . Os momentos de ativação definitivos são marcados com D_{FA} , D_{FB} e D_{FC} .

[0027] Para a geração dos momentos de ativação procede-se passo a passo: Primeiro é definida para a fase A uma onda fundamental com a frequência desejada correspondendo a $1/k$ do número de rotações do motor. A desfasagem não é importante no caso. Em sentido de rotação à direita é definida para a fase B uma onda fundamental que possui a mesma frequência como a da fase A, mas que é retardada em relação a esta em 120° - relacionado à frequência dividida. Para a fase C aplica-se o mesmo da fase A, sendo que neste caso a desfasagem é de 240° .

[0028] No segundo passo são marcados para cada fase os momentos de ativação cuja corrente pertencente possui a mesma polaridade da respectiva onda fundamental. No passo seguinte, dos momentos de ativação potenciais para cada fase podem ser utilizados aqueles para os quais existe um momento de ativação potencial em uma das duas outras fases. Estes momentos de ativação são utilizados como os momentos de ativação efetivos para a operação do atuador de corrente trifásica.

[0029] Na figura 3 é mostrado como o ângulo de ativação φ determina o torque do motor de indução. No caso de quaisquer divisores do número de rotações nominal o ângulo de ativação φ pode ser > 0 , de

preferência, ser ajustado entre 30 e 60°, resultand o um torque que pode ser predeterminado.

[0030] Para se conseguir um movimento de rotação do motor no sentido inverso, então, conforme o processo descrito com a ajuda da figura 2, a posição das ondas fundamentais dos condutores externos B e C é trocada. A seleção e a determinação dos momentos de ativação ocorrem de modo idêntico do da figura 2, o que é mostrado com a ajuda da figura 4.

[0031] Na figura 5 é executado um estator para uma rede bifásica com dois pares de tiristores antiparalelos 6, sendo que o terceiro condutor externo está permanentemente em ponte. Quando os dois pares de tiristores forem ativados, uma corrente fluiria também neste condutor externo. Por esta razão são removidos aqueles pulsos de ativação que somente referem-se os dois condutores externos equipados com tiristores.

[0032] Este último é ilustrado com a ajuda da figura 6, onde por sua vez, se parte de 1/9 do número de rotações nominal. Para o caso que a fase A está em curto-circuito são removidos os pulsos de ativação que somente se referem os condutores externos B e C.

[0033] Com o dispositivo de controle 8 da figura 1 e da figura 5 ocorre em momentos apropriados a ativação dos respectivos tiristores para ajustar um número de rotações predeterminado. Para tal, o dispositivo de controle 8 compreende uma unidade de computação que doravante é marcada com 8a e que pode ser um microcontrolador MC que em um atuador de corrente trifásica moderno usualmente existe para determinar por meio de protocolo os momentos de ativação. Referência é feita ao diagrama da figura 4, onde é mostrado um período completo de nove períodos individuais. Existem contadores SC, FC e CC que listam os diversos momentos.

[0034] Cada período de rede individual é subdividido em segmen-

tos de 60 graus. Estes são contados pelo contador SC. O contador FC conta os segmentos de 60 graus dentro de um período de onda fundamental. Com o contador CC são contados os períodos de rede dentro de um período de onda fundamental.

[0035] Em cada segmento de 60 graus são utilizadas duas funções as quais calculam a polaridade da corrente na respectiva fase e a da onda fundamental.

[0036] Na tabela seguinte é ilustrada a determinação da polaridade da corrente (função signOfCurrent):

Resultado: -1 sinal negativo
 0 zero
 1 sinal positivo

CC	0	1	2	3	4	5
Fase						
A	-1	-1	0	1	1	0
B	1	0	-1	-1	0	1
C	0	1	1	0	-1	-1

[0037] Com a ajuda da figura 7 é explicada a determinação da polaridade da onda fundamental, sendo que é utilizado um fator de velocidade (Speed-factor)SF = 9: na posição 50 parte-se de um valor de contagem $x = FC$ que corresponde a segmentos de 60 graus dentro de um período de ondas fundamentais. A fase A é marcada com 100, a fase B com 200 e a fase C com 300. Nos membros de decisão 101, 201 e 301 é examinado qual é o valor da grandeza x . Se o valor for cumprido, nas posições 102, 202 e 302 é indicado um valor correspondente relacionado ao valor de saída FC. De outro modo, na posição 103, 203 e 303 é indicado um valor aumentado pela velocidade $6 \times SF$. Nas fases individuais ocorre respectivamente um deslocamento correspondente. Nas posições 104, 204 e 304 os valores são sobre-

postos e é dado o sinal de soma sobre a posição 305. Em 310 decide-se sobre o valor da velocidade e com a ajuda dos sinais é emitida a polaridade das correntes.

[0038] Para a ativação dos tiristores 6 procede-se de tal modo que o procedimento acima é chamado em todos os 60 graus relacionado a V0AB. O momento exato de chamada fica antes da marca de 60 graus por um tempo ajustável. A grandeza deste intervalo de tempo determina a potência conduzida para o motor e com isto, o torque desenvolvido pelo motor. Com a ajuda de CC, SC o torque desenvolvido pelo motor. Com a ajuda de CC, SC e FC é decidido para cada par de fases, deve-se ocorrer uma ativação nas respectivas fases.

[0039] Na figura 8 é decidido com a ajuda dos losangos de decisão em dependência dos sinais das diversas fases, quais os tiristores que devem ativar-se. A posição 400 refere-se às fases A e B, posição 410 às fases B e C, e a posição 420 às fases A e C. Dependendo dos sinais constatados com a ajuda da figura 7 é dado nas posições 401, 411 e 421 respectivamente o sinal para uma ativação apropriada dos tiristores conjugados à diferentes fases.

[0040] Nos exemplos de acordo com as figuras parte-se do fato de que a ativação fica a 30 graus antes da passagem por zero da respectiva tensão composta. Para aumentar o momento do motor, a ativação pode ser antecipada, com o que é obtido para cada ativação um tempo mais longo do fluxo de corrente. A ativação pode ocorrer, por exemplo, 30 até 60 graus antes da passagem por zero da tensão composta.

REIVINDICAÇÕES

1. Processo para determinar os momentos de ativação de atuadores de corrente trifásica de duas ou três fases (A, B, C) para a operação de motores de indução (2), sendo que os atuadores de corrente trifásica (4) são conectados a uma rede de corrente trifásica sem ligação do neutro ao enrolamento do estator do motor de indução (2) e da rede de alimentação e que compreendem pelo menos dois pares de tiristores (6) conectados antiparalelamente que em determinados momentos são ativados, caracterizado pelo fato de que inclui as seguintes etapas:

- primeiro são definidos pulsos de ativação potenciais para os pares de tiristores antiparalelos (6) que com um determinado ângulo de ativação (φ) se encontram antes da respectiva passagem por zero da tensão da rede;

- uma onda fundamental senoidal é definida com uma frequência correspondente a uma velocidade rotacional desejada e que essa frequência é menor do que a utilizada para a tensão da rede;

- em seguida, são definidas duas outras ondas fundamentais desfasadas da mesma frequência que são desfasadas em relação à primeira onda fundamental;

- para cada fase são rejeitados os momentos de ativação potenciais anteriormente marcados os quais causariam uma corrente de polaridade oposta associada à respectiva onda fundamental;

- dos momentos de ativação potenciais permanentes para cada fase (A, B, C) são selecionados aqueles momentos de ativação para os quais há também um momento de ativação em uma das duas outras fases;

- os momentos de ativação determinados deste modo são utilizados como momentos de ativação efetivos para os tiristores (6) dos atuadores de corrente trifásica (4).

2. Processo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que em caso de sentido de rotação à direita é definida uma onda fundamental para a segunda fase que possui a mesma frequência da primeira fase, mas que é retardada em relação à primeira por 120° , e de que é definida uma onda fundamental para a terceira fase que corresponde à primeira fase, mas que é retardada em relação à mesma em 240° .

3. Processo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que em caso de sentido de rotação à esquerda é definida uma onda fundamental para a segunda fase que possui a mesma frequência da primeira fase, mas que em relação à mesma é retardada por 240° , e de que para a terceira fase é definida uma onda fundamental que corresponde à primeira fase, mas que é retardada em relação à mesma por 120° .

4. Processo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a frequência da onda fundamental é de $1/k$ do número de rotações nominal do motor, sendo que $k \geq 3$.

5. Processo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que quaisquer divisores do número de rotações nominal são gerados com ($k \geq 3$) com qualquer sentido de rotação do motor (2).

6. Processo de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, caracterizado pelo fato de que o torque com os quaisquer divisores $k \geq 3$ do número de rotações nominal é influenciado pelo ângulo de ativação (φ).

7. Processo de acordo com a reivindicação 6, caracterizado pelo fato de que o ângulo de ativação (φ) fica entre 30° e 60° .

8. Processo de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, caracterizado pelo fato de que a geração das ondas fundamentais e a seleção dos momentos de ativação são determina-

das por um protocolo.

9. Processo de acordo com a reivindicação 8, caracterizado pelo fato de que a geração das ondas fundamentais e a seleção do momento de ativação são realizadas no microcontrolador (α C) existente no dispositivo de controle do motor de indução (2).

10. Dispositivo para determinar os momentos de ativação de atuadores de corrente trifásica (4) de duas ou três fases para operar um motor de indução (2), especialmente para a partida e a parada do motor de indução (2) com um atuador de corrente trifásica (4) para o controle de operação do motor de indução (2), com pelo menos dois pares de tiristores (6) conectados antiparalelamente, cada um podendo ser ativado seletivamente, sob utilização do processo como definido na reivindicação 1 ou em qualquer uma das reivindicações 2 a 9, caracterizado pelo fato de que uma unidade de computação (8a) para a determinação e a seleção com a ajuda de um protocolo dos momentos de ativação dos tiristores (6) possui os seguintes elementos:

- Contador (SC, FC, CC) para listar segmentos de 60 graus de ondas fundamentais para as diversas fases;
- Meios para determinar a polaridade da corrente nos momentos listados;
- Meios de decisão para determinar momentos de ativação para os diversos tiristores.

11. Dispositivo de acordo com a reivindicação 10, caracterizado pelo fato de que a unidade de computação (8a) é o microcontrolador (α C) existente no motor (2).

12. Dispositivo de acordo com a reivindicação 10, caracterizado pelo fato de que a unidade de computação (8a) é parte de um dispositivo de controle (8) como atuador de corrente trifásica (4).

13. Dispositivo de acordo com a reivindicação 12, caracterizado pelo fato de que a unidade de computação (8a) elabora um mé-

todo para a determinação dos momentos de ativação.

14. Dispositivo de acordo com a reivindicação 13, caracterizado pelo fato de que com a unidade de controle (8) ocorre a ativação dos tiristores (6) nos momentos de ativação determinados pela unidade de computação (8a).

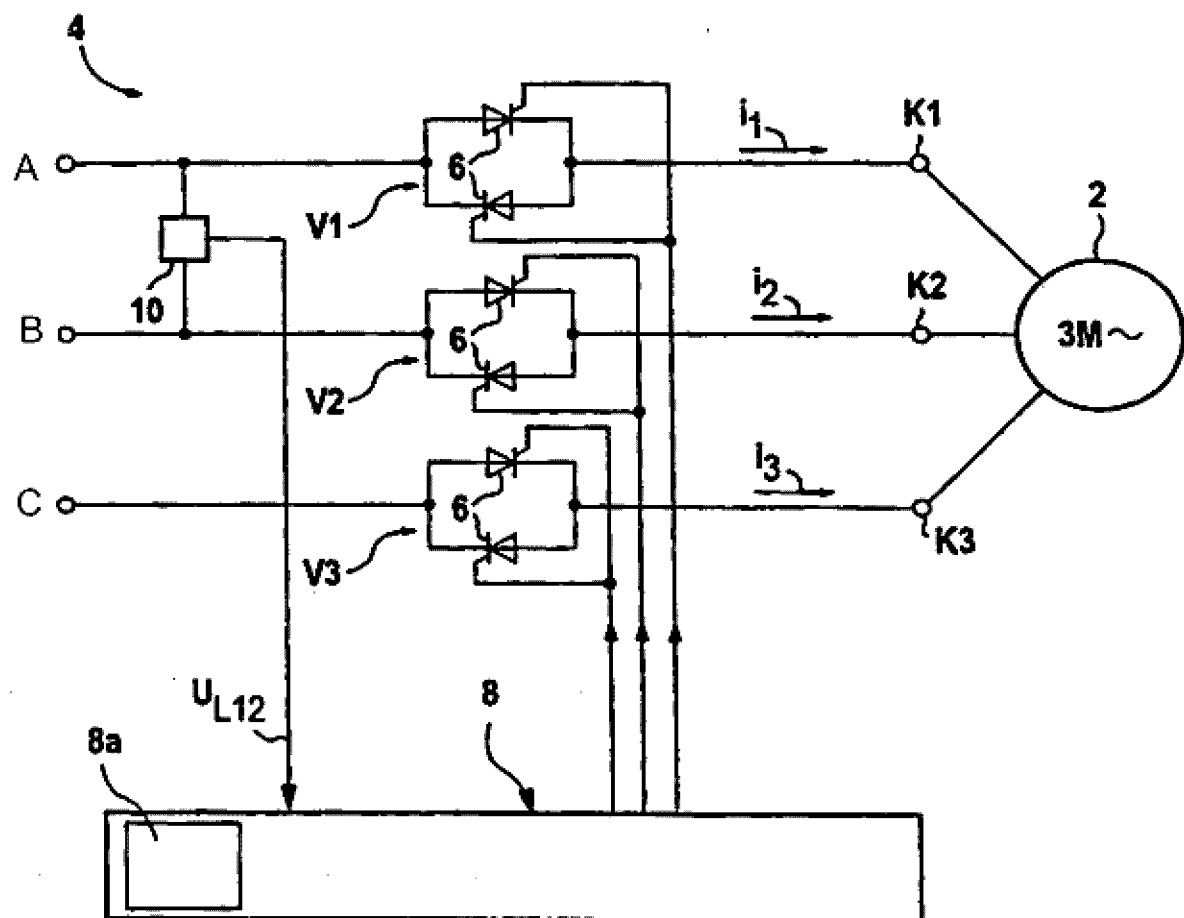


FIG 1

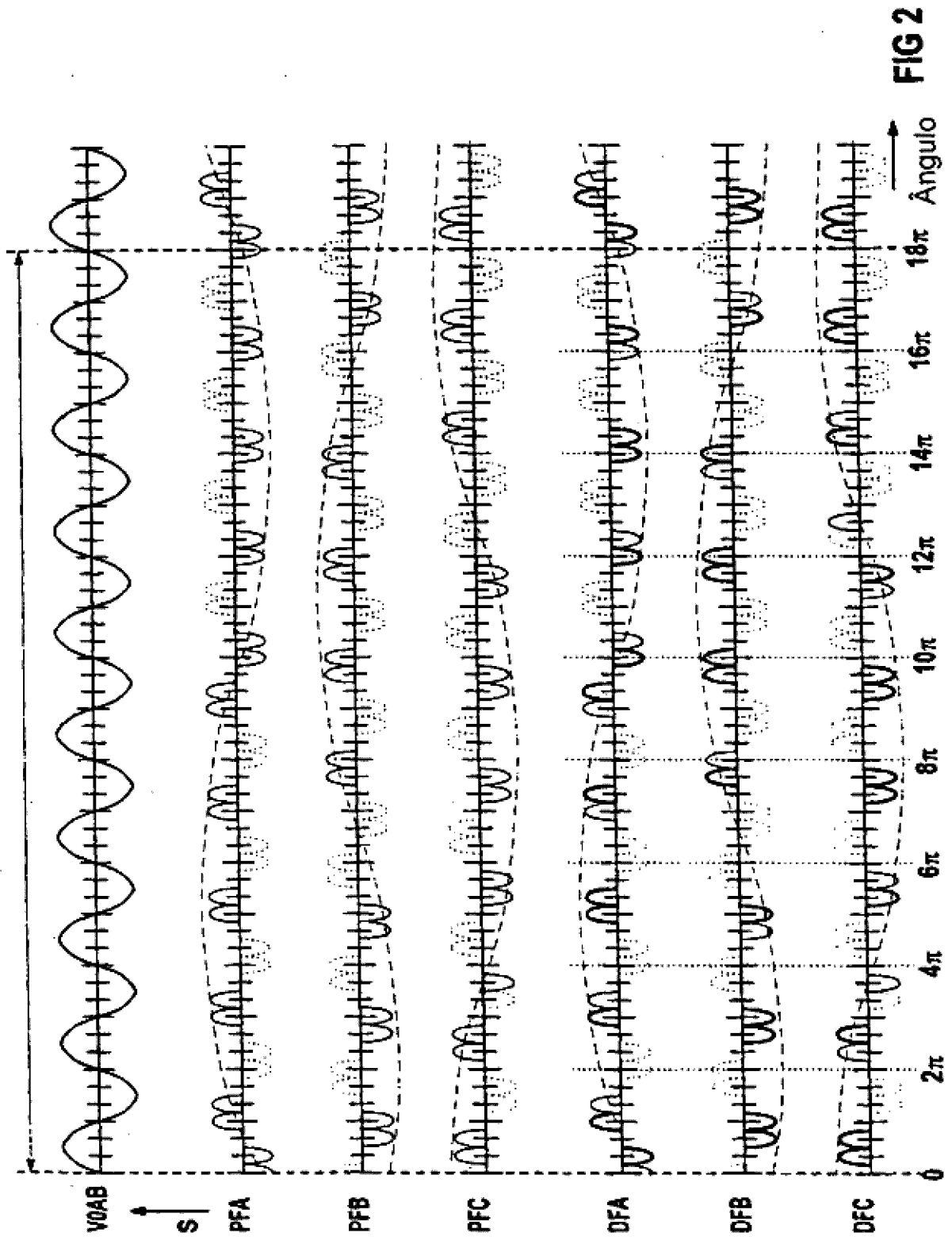


FIG 2

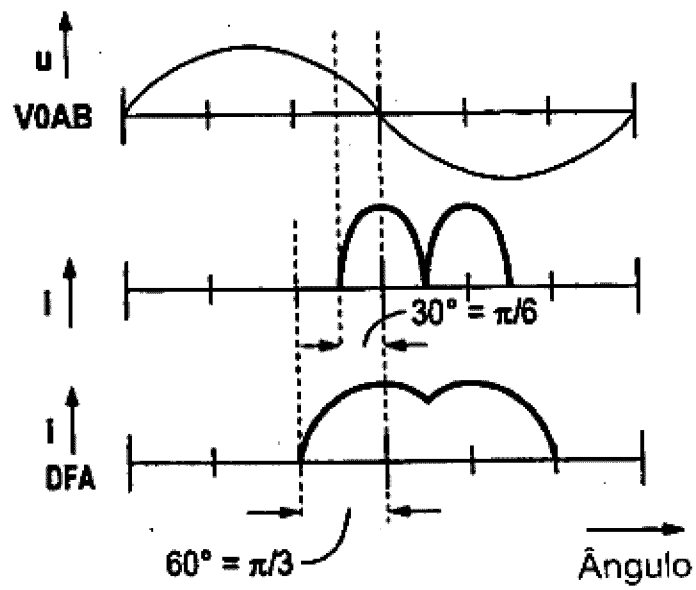


FIG 3

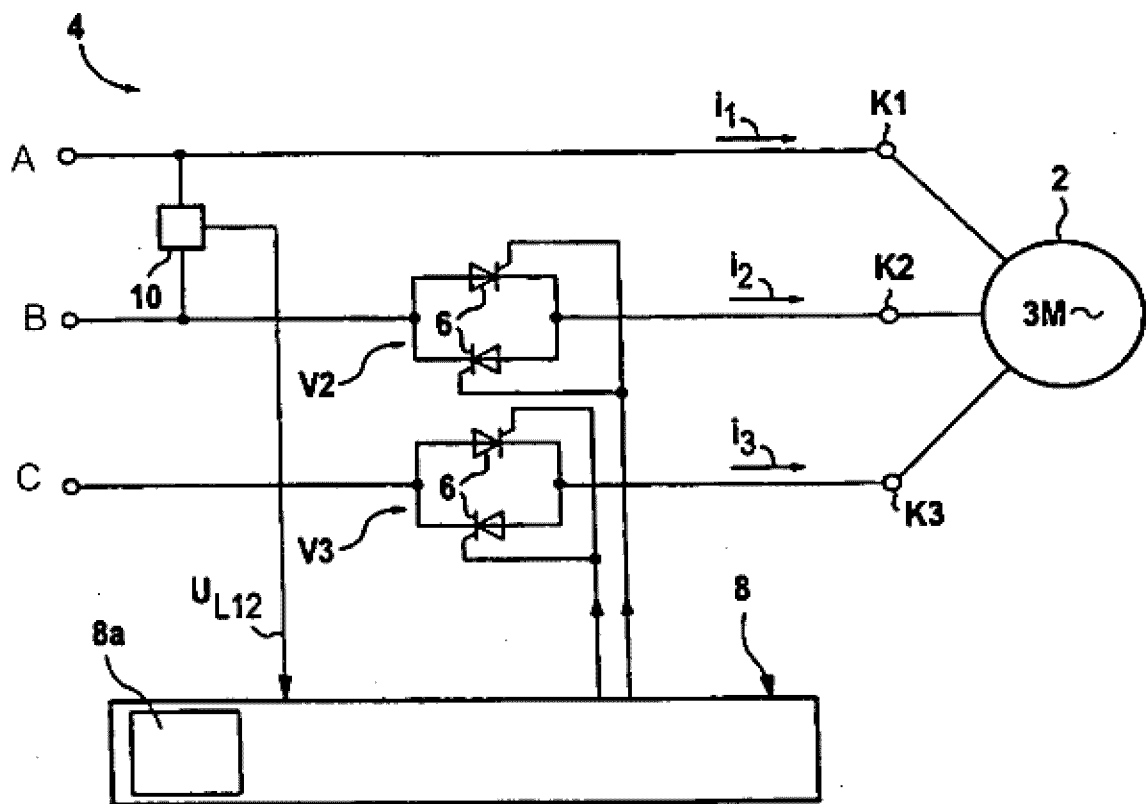


FIG 5

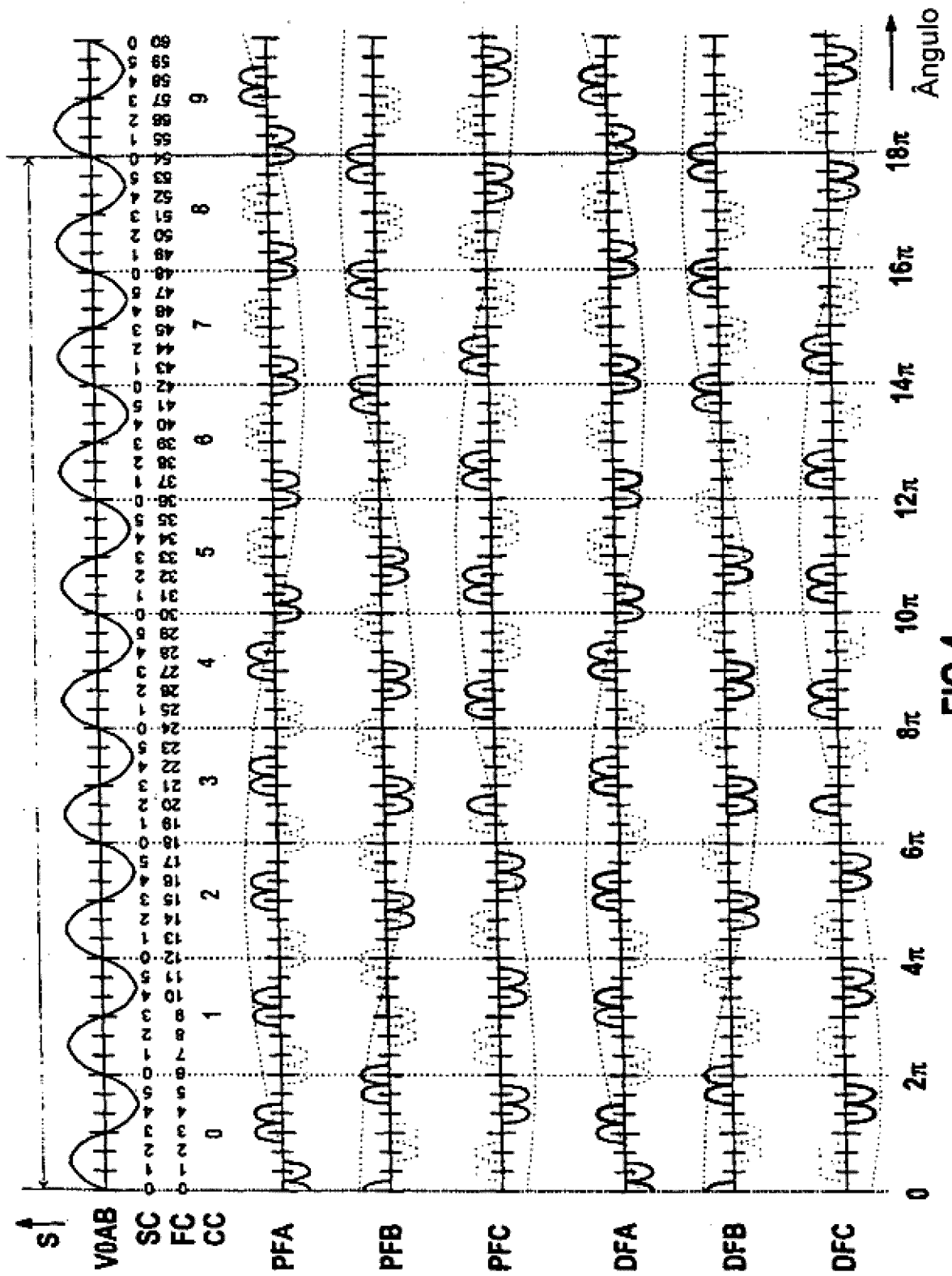


FIG 4

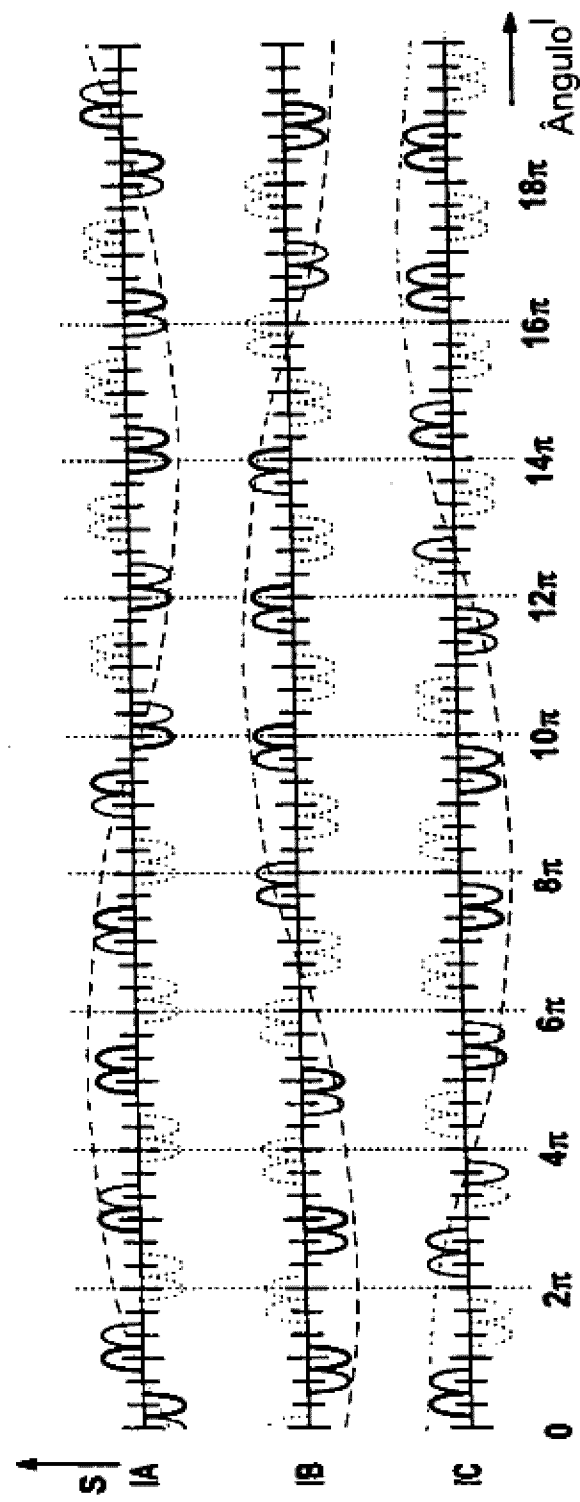


FIG 6

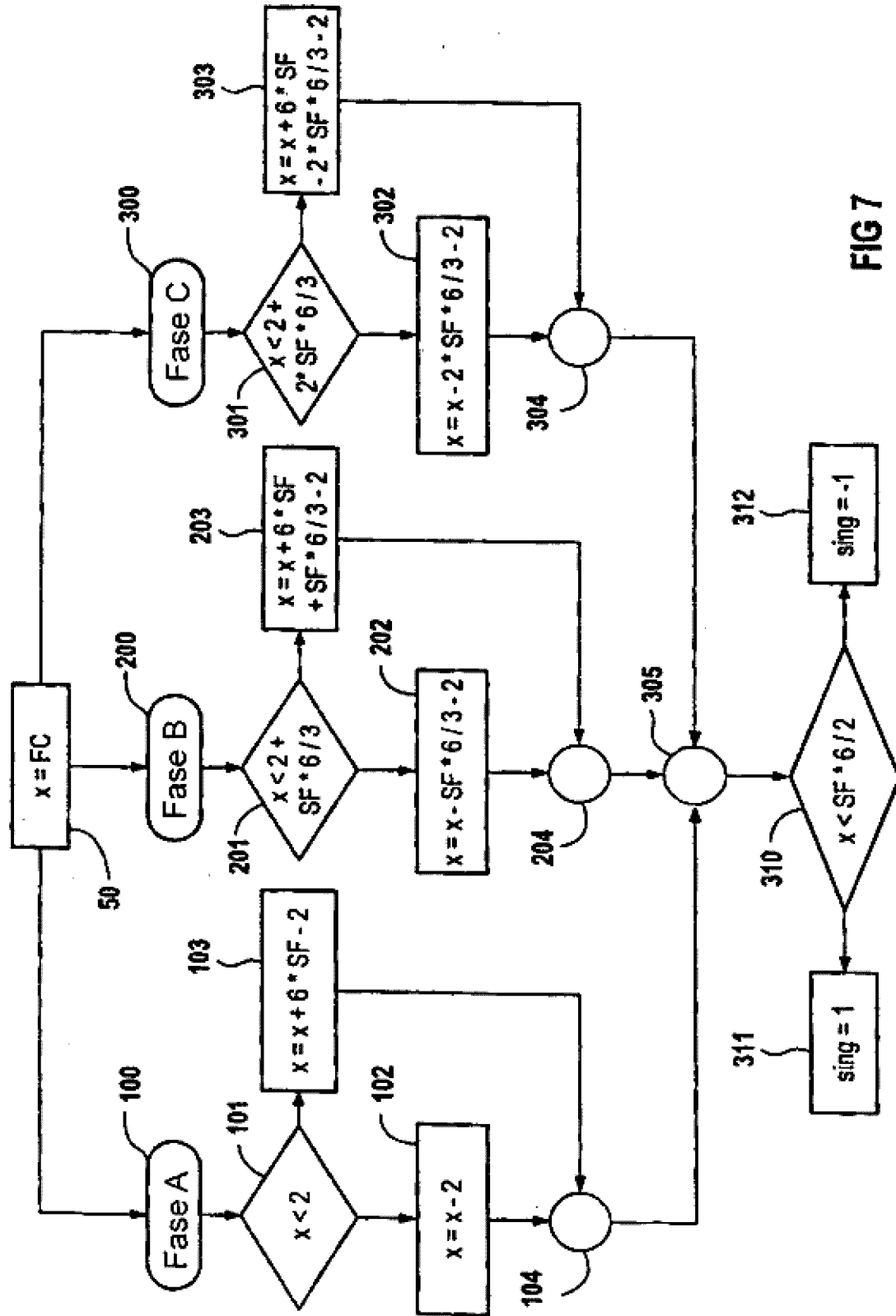


FIG 7

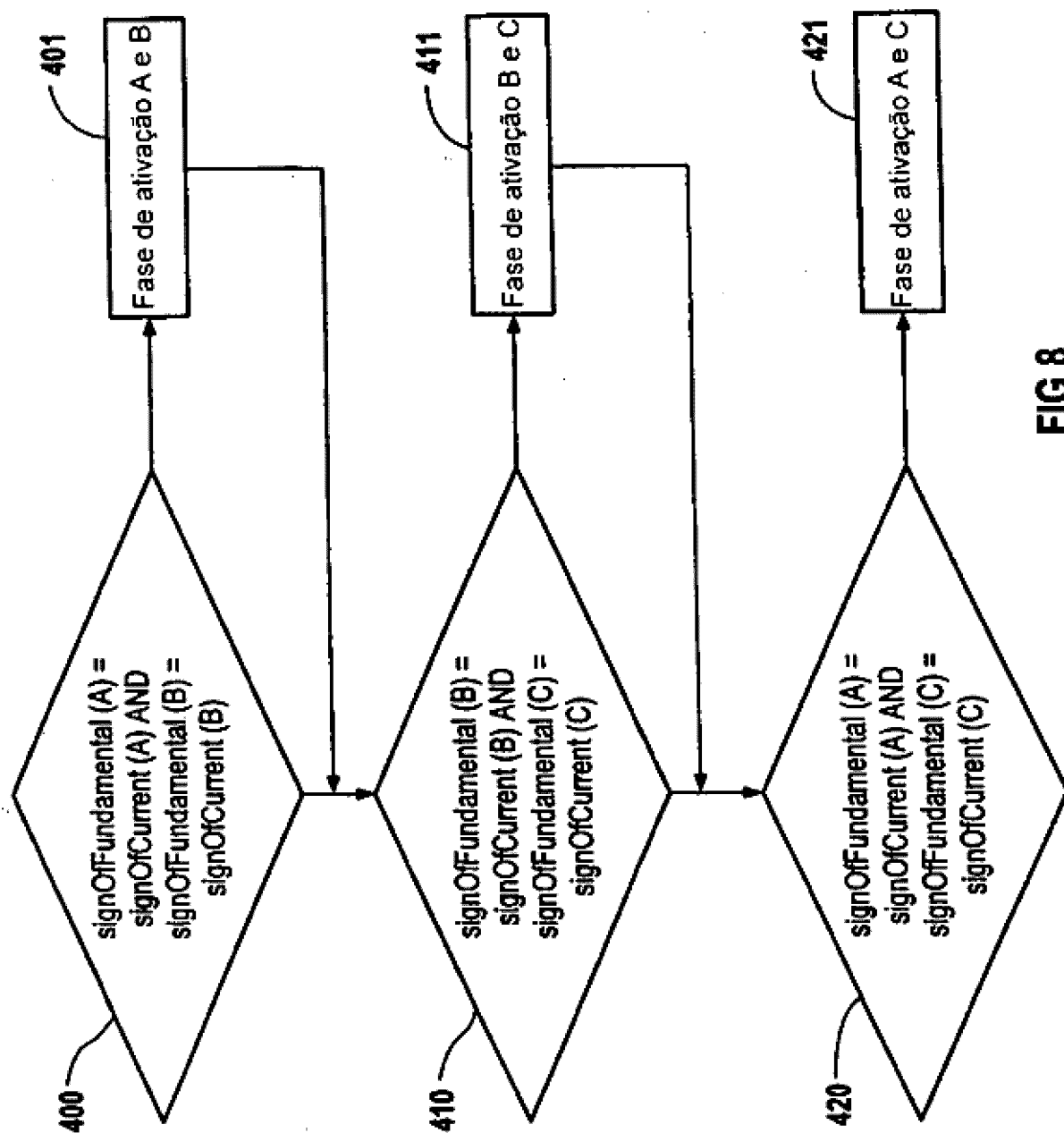


FIG 8

RESUMO

Patente de Invenção: "PROCESSO PARA DETERMINAR OS MOMENTOS DE ATIVAÇÃO DE ATUADORES DE CORRENTE TRIFÁSICA DE DUAS OU TRÊS FASES PARA A OPERAÇÃO DE MOTORES DE INDUÇÃO E UM DISPOSITIVO CORRESPONDENTE".

Motores de indução são controlados por atuadores de corrente trifásica de duas ou três fases que possuem pelo menos dois pares de tiristores conectados antiparalelamente que são ativados a determinados momentos de ativação. De acordo com a presente invenção, para a primeira fase é definida uma onda fundamental com a frequência desejada e também nas outras fases é definida uma onda fundamental possuindo a mesma frequência como a da primeira fase, mas que é desfasada por determinados valores. Para cada fase são marcados os momentos de ativação os quais possuem a mesma polaridade como a respectiva onda fundamental. Dos momentos de ativação potenciais para cada fase são utilizados aqueles para os quais há um momento de ativação potencial em uma das outras duas fases. Estes momentos são utilizados como momentos de ativação efetivos.