

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

(21) **PI0708382-3 A2**

(22) Data de Depósito: 27/04/2007
(43) Data da Publicação: 07/06/2011
(RPI 2109)



(51) *Int.Cl.:*
H02P 9/08 2006.01
H02P 6/16 2006.01

(54) Título: **PROCESSO E DISPOSITIVO DE GERAÇÃO DE SINAIS DE COMANDO DE UMA MÁQUINA ELÉTRICA GIRATÓRIA POLIFÁSICA E SEQUÊNCIAS DE INSTRUÇÕES**

(30) Prioridade Unionista: 31/05/2006 FR 0651975

(73) Titular(es): Valeo Equipements Electriques Moteur

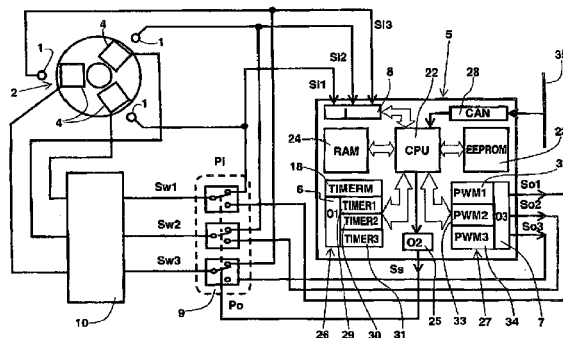
(72) Inventor(es): Oussama Rouis

(74) Procurador(es): Momsen, Leonardos & CIA.

(86) Pedido Internacional: PCT FR2007051195 de 27/04/2007

(87) Publicação Internacional: WO 2007/138203 de 06/12/2007

(57) **Resumo:** PROCESSO E DISPOSITIVO DE GERAÇÃO DE SINAIS DE COMANDO DE UMA MÁQUINA ELÉTRICA GIRATÓRIA POLIFÁSICA E SEQUÊNCIAS DE INSTRUÇÕES. O processo de acordo com a invenção é do tipo daqueles em que os sinais (Sw1, Sw2, Sw3) que comandam a alimentação (10) dos enrolamentos (4) da máquina são constituídos por sinais defasados (So1, So2, So3) de um ângulo de defasagem (p) continuamente variável em relação a sinais de sincronização (Si1, Si2, Si3) produzidos pelos sensores (1) da posição do rotor. De acordo com o processo, uma unidade de tratamento (5) compreende entradas (8) que recebem os sinais de sincronização e saídas (6, 7) que emitem os ditos sinais defasados. Os sinais de sincronização são sinais binários que apresentam frentes de sincronização e as frentes ascendentes e descendentes dos sinais defasados são geradas depois de um retardo de comutação de nível que é função de pelo menos o ângulo de defasagem a partir de pelo menos uma frente de referência escolhida entre as frentes de sincronização tal que o retardo é mínimo.





PI0708382-3

1

“PROCESSO E DISPOSITIVO DE GERAÇÃO DE SINAIS DE COMANDO DE UMA MÁQUINA ELÉTRICA GIRATÓRIA POLIFÁSICA E SEQUÊNCIAS DE INSTRUÇÕES”

DOMÍNIO TÉCNICO DA INVENÇÃO

5 A presente invenção se refere a um processo e a um dispositivo de geração de sinais de comando de uma máquina elétrica giratória polifásica em função da velocidade.

 Esses sinais de comando comandam a alimentação da máquina de maneira a proporcionar à máquina características de potência e de torque adaptadas às diversas aplicações.

PLANO DE FUNDO TECNOLÓGICO DA INVENÇÃO

 Com a generalização dos motores sem escovas, numerosos processos e dispositivos que desempenham essa função são conhecidos do estado da técnica.

15 Mais recentemente, esses dispositivos e processos se referem também aos geradores de eletricidade reversíveis, quer dizer aqueles que funcionam tanto em alternador quanto em motor de arranque.

 Um processo de comando de um alternador-motor de arranque é por exemplo descrito no pedido de patente de invenção FR2854746 pela

20 sociedade VALEO EQUIPEMENTS ELECTRIQUES MOTEUR.

 De acordo com esse processo patentado, os sinais de sincronização provenientes dos sensores que determinam a posição angular do rotor da máquina são defasados para comandar de modo seqüencial as fases do induzido.

25 O ângulo de defasagem dos sinais é escolhido de maneira a controlar o torque em função da velocidade e a adaptar esse último ao modo de funcionamento, notadamente ou em motor de arranque, ou em motor auxiliar.

 Para fazer isso um microcontrolador, que faz interface com um

conversor digital-analógico e amplificadores operacionais, efetua, para gerar cada sinal defasado, uma combinação linear dos sinais de sincronização cuja soma dos coeficientes é nula.

A otimização do alternador-motor de arranque, descrita notadamente no documento FR2854746, levou a sociedade VALEO a implementar em componentes programáveis, em substituição ao sistema que funciona em modo misto, um processo geral inteiramente digital que é o objeto do pedido de patente conjunto intitulado “Processo e dispositivo de geração de sinais defasados e a utilização dos mesmos”.

O processo descrito nesse pedido conjunto é geral na medida em que o ângulo de defasagem dos sinais é uma variável exógena ao sistema, e não uma variável que intervém no laço de comando da máquina.

Esse processo não será descrito em detalhe no presente pedido, a descrição do pedido conjunto sendo introduzida aqui em sua integralidade para todas as referências úteis.

DESCRIÇÃO GERAL DA INVENÇÃO

O objetivo da presente invenção é portanto tirar partido da redução dos tempos de trânsito e da instabilidade obtida pelo processo geral depositado conjuntamente, no caso em questão da melhoria dos desempenhos de uma máquina de tipo alternador-motor de arranque.

Para fazer isso, a presente invenção visa um processo de geração de sinais de comando de uma máquina elétrica giratória polifásica que compreende enrolamentos de fases e sensores da posição do rotor em número igual ao número de fases.

Esse processo é do tipo daqueles nos quais os sinais de comando que comandam a alimentação de potência dos enrolamentos são constituídos por sinais defasados com o auxílio de uma unidade de tratamento de um ângulo de defasagem continuamente variável em relação a sinais de sincronização produzidos pelos sensores, essa unidade de tratamento

compreendendo entradas que recebem os sinais de sincronização e saídas que emitem os sinais defasados.

O processo de acordo com a invenção é notável pelo fato de que os sinais de sincronização são sinais binários que apresentam frentes de sincronização e pelo fato de que as frentes ascendentes e descendentes desses sinais defasados são geradas depois de um retardo de comutação de nível que é função de pelo menos esse ângulo de defasagem a partir de pelo menos uma frente de referência escolhida entre as frentes de sincronização tal que o retardo é mínimo.

De acordo com uma característica adicional do processo, os sinais de comando são bastante vantajosamente idênticos aos sinais de sincronização em condições de funcionamento específicas, notadamente quando a velocidade de rotação da máquina é inferior a uma primeira velocidade mínima, ou superior a uma primeira velocidade máxima.

De preferência, as condições de funcionamento específicas da máquina compreendem além disso o caso em que a velocidade de rotação:

- aumenta e permanece inferior a uma segunda velocidade mínima superior à primeira velocidade mínima;

- diminui e permanece superior a uma segunda velocidade máxima inferior à primeira velocidade máxima, a segunda velocidade máxima sendo superior à segunda velocidade mínima.

Vantajosamente, será considerado aqui que as condições de funcionamento específicas compreendem o caso em que a unidade de tratamento está parada.

Nessas condições de funcionamento específicas a unidade de tratamento re-copia os níveis lógicos das entradas nas saídas, ou alternativamente, de preferência, a unidade de tratamento comanda a comutação dos sinais de comando nas entradas.

De acordo com o processo da invenção, os sinais de

sincronização tendo uma relação cíclica igual a 0,5 e sendo defasados entre si de um ângulo de defasagem nominal em graus igual a 360° dividido pelo número de fases, mede-se um intervalo de tempo compreendido entre duas frentes de sincronização sucessivas, uma sendo ascendente e a outra descendente.

De preferência, um valor inter-frente desse intervalo de tempo resulta de uma contagem com o auxílio de um circuito retardador programável de medição associado aos sinais de sincronização que têm uma frequência de incrementação de medição predeterminada.

A determinação das condições de funcionamento específicas da máquina compreende então vantajosamente a comparação desse valor inter-frente com um grupo de valores inter-frente nominais.

Fora das condições de funcionamento específicas determinadas precedentemente, o ângulo de defasagem é, de acordo com a invenção, uma função da velocidade de rotação da máquina.

De acordo com características adicionais do processo, cada valor do retardo de comutação de nível, em unidade de tempo igual ao inverso da frequência de incrementação de medição, é de preferência tabulado para cada valor inter-frente em uma primeira tabela, assim como um valor de decalagem igual ao complemento a 180° do ângulo de defasagem é preferencialmente tabulado para cada valor inter-frente em uma segunda tabela.

A esse estágio, o processo de base de acordo com a invenção compreende vantajosamente as seguintes etapas:

- torna-se a frequência de incrementação corrente de um circuito retardador programável corrente associado a um sinal de sincronização corrente igual à frequência de incrementação de medição;

- associa-se uma linha de saída corrente ao circuito retardador programável corrente;

- identifica-se a frente de referência a partir do valor de decalagem lido na segunda tabela;

- carrega-se o valor corrente do retardo lido na primeira tabela no circuito retardador programável corrente;

5 - configura-se o circuito retardador programável corrente de maneira que a linha de saída corrente efetue uma primeira transição de um nível alto para um nível baixo, ou então uma segunda transição de um nível baixo para um nível alto, quando um contador corrente do retardador programável corrente atinge o valor corrente;

10 - gera-se o sinal defasado corrente com o auxílio da linha de saída corrente.

Alternativamente às etapas precedentes, em variante:

15 - torna-se a frequência de incrementação corrente de um circuito retardador programável corrente associado ao sinal de sincronização corrente igual à frequência de incrementação de medição;

- identifica-se a frente de referência a partir do valor de decalagem lido na segunda tabela;

- carrega-se o valor corrente $V\Delta T1$ do retardo lido na primeira tabela no circuito retardador programável corrente;

20 - ativa-se uma interrupção corrente associada ao circuito retardador programável corrente que se produz a cada vez que o valor corrente é atingido;

25 - torna-se a frequência de contagem corrente de um contador programável corrente de um módulo de modulação de amplitude de pulsos programável corrente igual à frequência de incrementação de medição dividida pelo dobro do número de fases;

- associa-se uma linha de saída corrente ao módulo de modulação de amplitude de pulsos programável corrente;

- carrega-se um registro de período corrente e um registro de

relação cíclica corrente do módulo de modulação de amplitude de pulsos programável corrente respectivamente com o valor inter-frente e com a metade desse valor inter-frente;

- configura-se o módulo de modulação de amplitude de pulsos corrente de modo que a linha de saída corrente sofra uma transição inicial de um nível alto para um nível baixo, e depois uma primeira transição de um nível baixo para um nível alto quando o contador programável corrente atinge um valor intermediário corrente contido no registro de relação cíclica corrente, e finalmente uma segunda transição de um nível alto para um nível baixo quando o contador programável corrente atinge um valor final corrente contido no registro de período corrente a cada acionamento da interrupção corrente;

- gera-se o sinal binário defasado corrente com o auxílio da linha de saída corrente.

- 15 A invenção também se refere a um dispositivo de geração de sinais de comando de uma máquina elétrica giratória polifásica que compreende enrolamentos de fases e sensores da posição do rotor em número igual ao número de fases.

- 20 O dispositivo de acordo com a invenção é do tipo daqueles que compreendem linhas de comando destinadas a comandar a alimentação de potência desses enrolamentos, e uma unidade de tratamento que apresenta entradas que recebem sinais de sincronização produzidos pelos sensores, e saídas que emitem sinais defasados em relação aos sinais de sincronização.

- 25 Esse dispositivo é notável pelo fato de que ele compreende além disso circuitos de comutação comandados por um sinal de orientação emitido pela unidade de tratamento e que liga as linhas de comando ou às entradas, ou às saídas, em função da velocidade de rotação da máquina e/ou do estado da unidade de tratamento.

Mais precisamente, esses circuitos de comutação são

vantajosamente portas analógicas.

Em um modo de realização preferido da invenção, a unidade de tratamento é de preferência constituída por um microprocessador ou por um microcontrolador que compreende:

- 5 - pelo menos uma unidade central;
- pelo menos uma memória volátil e/ou pelo menos uma memória não volátil;
- pelo menos um contador programável que mede a velocidade de rotação da máquina;
- 10 - circuitos retardadores programáveis em número pelo menos igual ao número de fases;
- pelo menos uma porta de entrada que recebe sinais de sincronização produzidos pelos sensores;
- pelo menos uma primeira capacidade de saída que emite
- 15 sinais defasados em relação aos sinais de sincronização;
- pelo menos uma segunda capacidade de saída que emite o sinal de orientação.

Alternativamente, em variante, a unidade de tratamento é constituída preferencialmente por um microprocessador ou por um

20 microcontrolador que compreende:

- pelo menos uma unidade central;
- pelo menos uma memória volátil e/ou pelo menos uma memória não volátil;
- pelo menos um contador programável que mede a velocidade
- 25 de rotação da máquina;
- circuitos retardadores programáveis em número pelo menos igual ao número de fases;
- módulos de modulação de amplitude pulsos programáveis em número pelo menos igual ao número de fases;

- pelo menos uma porta de entrada que recebe sinais de sincronização produzidos pelos sensores;

- pelo menos uma primeira capacidade de saída que emite sinais defasados em relação aos sinais de sincronização;

5 - pelo menos uma segunda capacidade de saída que emite o sinal de orientação.

Em um e outro modo de realização, a memória não volátil contém vantajosamente uma primeira tabela que associa decalagens temporais dos sinais defasados carregados nos circuitos retardadores programáveis a valores representativos da velocidade de rotação produzidos pelo contador programável.

10

Essa memória não volátil contém também vantajosamente uma segunda tabela que associa o complemento a 180° das defasagens dos sinais defasados aos valores representativos da velocidade de rotação produzidos pelo contador programável.

15

Tira-se evidentemente proveito do fato de que as memórias da unidade de tratamento contêm de preferência um programa que executa o processo de acordo com a invenção que foi exposto em suas grandes linhas precedentemente.

20 Como é evidente, a invenção também se refere às seqüências de instruções executáveis pelo dispositivo descrito brevemente acima que emprega o processo de acordo com a invenção.

Essas algumas especificações essenciais terão tornado evidentes para o profissional as vantagens trazidas pelo processo e pelo dispositivo de geração de sinais de comando de uma máquina elétrica giratória polifásica de acordo com a invenção em relação ao estado da técnica anterior.

25

As especificações detalhadas da invenção são dadas na descrição que se segue em ligação com os desenhos anexos. Deve ser notado

que esses desenhos não têm nenhum outro objetivo que não seja o de ilustrar o texto da descrição e não constituem de nenhuma forma uma limitação do alcance da invenção.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

5 A Figura 1 mostra a fase de aparecimento dos sinais de sincronização provenientes dos sensores.

 A Figura 2 mostra o intervalo de ativação dos sinais defasados.

 A Figura 3 mostra o princípio da orientação dos sinais de sincronização ou dos sinais defasados para os sinais de comando.

10 A figura 4 ilustra o princípio da medição da velocidade da máquina com o auxílio de um circuito retardador programável de medição.

 A Figura 5 representa as variações do ângulo de defasagem em relação ao sinal de sincronização, e as variações da decalagem de fase em relação a uma frente de referência em função do complemento a 180° do
15 ângulo de defasagem.

 A Figura 6 ilustra esquematicamente a utilização de tabulações na entrada da função de decalagem.

 A Figura 7 representa um exemplo de lei de variação do ângulo de defasagem em função da velocidade de rotação.

20 A Figura 8 representa graficamente um exemplo de tabulação do valor do retardo de comutação de nível em função do valor inter-frente.

 A Figura 9 representa graficamente as variações do ângulo de defasagem em função do valor do retardo de comutação de nível.

 A Figura 10 é o esquema de princípio de um modo de
25 realização preferido do dispositivo de acordo com a invenção que recorre unicamente a contadores e a circuitos retardadores programáveis.

 A Figura 11 é o esquema de princípio de uma variante de realização preferida do dispositivo de acordo com a invenção que emprega módulos de modulação em amplitude de pulsos programáveis.

DESCRIÇÃO DOS MODOS DE REALIZAÇÃO PREFERIDOS DA INVENÇÃO

No processo de geração de sinais defasados que é objeto do pedido conjunto mencionado acima, a defasagem é criada por retardos temporais introduzidos por circuitos retardadores, corretamente programados, a partir de referência mútuas entre os sinais de sincronização na entrada.

Esse princípio implica sistematicamente um retardo do aparecimento dos sinais reconstruídos em relação aos sinais na entrada durante uma fase transitória que corresponde ao estabelecimento do primeiro período de cada um desses últimos.

A Figura 1 mostra os sinais de sincronização Si1, Si2, Si3 provenientes dos sensores 1 de uma máquina trifásica 2 representada esquematicamente nas Figuras 1° e 11.

Esses sinais Si1, Si2, Si3 são sinais binários de relação cíclica 0,5 e que apresentam entre si uma mesma defasagem nominal Φ , aqui igual a 120°, a máquina tendo três fases.

O processo geral de geração de sinais defasados utilizado nessa aplicação reconstrói sinais So1, So2, So3 que têm entre si em regime permanente a mesma defasagem nominal Φ , mas que apresentam um ângulo de defasagem φ em relação aos sinais que entram Si1, Si2, Si3.

Durante a fase transitória, partes dos sinais de sincronização Si1, Si2, Si3 podem não ser reconstruídas, tais como a porção 3 do sinal de saída So1 que corresponde ao sinal de entrada Si1 representada na Figura 1.

Ora, o comando de uma máquina elétrica 2 necessita a reconstrução imediata dos sinais de comando Sw1, Sw2, Sw3 das fases 4 desde o aparecimento dos sinais de entrada Si1, Si2, Si3 fornecidos pelos sensores de posição 1.

A solução adotada para resolver esse problema consiste em tornar os sinais de comando Sw1, Sw2, Sw3 da máquina idênticos aos sinais

de sincronização Si1, Si2, Si3 durante a fase transitória do estabelecimento dos sinais defasados So1, So2, So3.

Para fazer isso, de acordo com um primeiro método, o microcontrolador 5 que emprega o processo de defasagem reconfigura as linhas de sua capacidade de saída 6, 7 em saídas clássicas (saídas digitais de níveis alto ou baixo) e re-copia os níveis lógicos Si1, Si2, Si3 presentes nas linhas de sua porta de entrada 8 conectada aos sensores desde o aparecimento dos mesmos, e até uma primeira velocidade mínima de rotação V_{min1} da máquina 2.

Acima dessa velocidade V_{min1} , os algoritmos de reconstrução das frentes de sinais defasados So1, So2, So3 a partir das frentes dos sinais de sincronização Si1, Si2, Si3 são ativadas.

Para limitar a instabilidade devida à medição do período dos sinais na entrada Si1, Si2, Si3, a re-cópia dos sinais é também reativada desde que a velocidade de rotação excede uma primeira velocidade máxima V_{max1} .

Como o mostra a Figura 2, dois ciclos de histerese são utilizados nas fronteiras dos domínios de funcionamento específicos que são a partida e o funcionamento em alta velocidade para evitar as oscilações em torno das primeiras velocidades mínima e máxima V_{min1} , V_{min2} .

Quando a velocidade de rotação aumenta a partir de zero, a re-cópia dos sinais é mantida até uma segunda velocidade mínima V_{min2} , ligeiramente superior à primeira velocidade mínima V_{min1} ; do mesmo modo quando a velocidade de rotação diminui a partir de um grande valor, a re-cópia continua até uma segunda velocidade máxima V_{max2} , ligeiramente inferior à primeira velocidade máxima V_{max1} .

De acordo com um segundo método, os sinais de comando Sw1, Sw2, Sw3 são tornados idênticos aos sinais Si1, Si2, Si3 provenientes dos sensores 1 com o auxílio de um número equivalente de circuitos de comutação 9 que permitem a orientação sincronizada dos sinais.

A Figura 3 ilustra esse segundo método. A utilização dos comutadores externos 9 permite a orientação ou dos sinais de sincronização Si1, Si2, Si3, ou dos sinais defasados So1, So2, So3 para a alimentação de potência 10 em função das condições de funcionamento específicas da máquina 2.

O basculamento dos circuitos de comutação 9 de uma posição Pi, Po para uma outra é comandado por um sinal de orientação Ss emitido pelo computador em função do resultado de uma comparação entre uma medição de velocidade de rotação e valores nominais.

Uma vantagem desse segundo método em relação ao primeiro é a segurança de funcionamento trazida pelos circuitos de comutação 9 em caso de passagem do sistema para um modo de funcionamento degradado, por exemplo quando o microcontrolador 5 é parado.

De fato, se é considerada a posição Pi, na qual os sinais de comando SW1, Sw2, Sw3 são idênticos aos sinais de sincronização Si1, Si2, Si3, como uma posição inicial, ou nominal, é possível imaginar uma estratégia de proteção para forçar essa posição em caso de degradação do funcionamento do microcontrolador 5.

Portas analógicas 9, tais como aquelas de um circuito multiplexador, garantem que, nessa posição Pi inicial ou nominal, os sinais de sincronização Si1, Si2, Si3 provenientes dos sensores de posição 1 comandam sem modificação a alimentação de potência 10 da máquina 2.

Os dois métodos expostos acima são aplicáveis às duas soluções de decalagem por software propostas no pedido conjunto “Processo e dispositivo de geração de sinais defasados e utilização dos mesmos” ao qual se poderá recorrer.

Nas soluções de regeneração lógica dos sinais decalados, o valor nominal do ângulo φ é injetado no algoritmo pelos módulos de comando da aplicação.

Mas o comando do valor nominal de decalagem por um módulo aplicativo externo à função decalagem implica a utilização de cálculo intermediário para avaliar os valores que correspondem ao retardo a introduzir, e se traduz sistematicamente por uma sobrecarga da unidade central CPU do microcontrolador 5 utilizado.

A utilização dessas soluções no laço de controle de uma máquina giratória elétrica polifásica 2 implica portanto a integração da lei de variação do ângulo de defasagem φ em função da velocidade no módulo de decalagem e a otimização dos cálculos das defasagens a introduzir.

O modo de integrar essa lei de variação será melhor compreendido fazendo-se referência às Figuras 4 a 9.

Levando-se em consideração o fato de que para uma máquina 2 de N fases, os sensores 1 da posição do rotor são em número de N e que eles geram sinais de sincronização Si1, Si2, Si3 que têm uma relação cíclica de 0,5 e que são defasados entre si de um ângulo de fase nominal $\Phi = 360/N$, basta medir um intervalo de tempo basta medir um intervalo de tempo ΔT_{pn} entre duas frentes sucessivas, descendente e depois ascendente 11,12; 14,15; 17,16, ou ascendente e depois descendente 13,14, como o mostra a Figura 4.

Para fazer isso, é utilizado um circuito retardador programável de medição TIMERM, 18 do qual a frequência de incrementação de medição FTIMERM é predeterminada. O valor em unidade de tempo do timer do intervalo de tempo ΔT_{pn} , quer dizer o resultado $V\Delta T_{pn}$ da contagem pelo TIMERM é então:

$$V\Delta T_{pn} = \Delta T_{pn} * FTIMER$$

O período ΔT_{total} dos sinais de sincronização Si1, Si2, Si3 é então no instante t_n :

$$\Delta T_{total} = N_p * \Delta T_{pn}$$

ou, na unidade de tempo do timer TIMERM:

$$\Delta T_{total} = N_p * V\Delta T_{pn}$$

N_p sendo o número de frentes por período elétrico dos sinais $Si1$, $Si2$, $Si3$, quer dizer $N_p = 2 * N$.

Disso resulta que o valor inter-frente $V\Delta T_{pn}$ é ligado à velocidade de rotação V_r (em rotação por minuto) pela relação seguinte:

$$V\Delta T_{pn} = 60 * FTIMERM / (N_p * V_r)$$

5 Integrar a lei de variação do ângulo de defasagem φ em função da velocidade V_r na aplicação, é o mesmo portanto que integrar uma lei L_v que associa a cada valor inter-frente $V\Delta T_{pn}$ uma defasagem φ .

O pedido de patente conjunto “Processo e dispositivo de geração de sinais defasados e utilização dos mesmos” expõe em detalhe a
10 maneira de reconstruir as frentes dos sinais $So1$, $So2$, $So3$ defasados a partir de frentes de referência dos sinais de sincronização $Si1$, $Si2$, $Si3$.

O valor $V\Delta T1$ do retardo de comutação de nível $\Delta T1$ a introduzir em relação a uma frente de referência é dado pela expressão seguinte:

$$V\Delta T1 = V\Delta T_{pn} * ((\varphi'' * N_p) / 360)$$

15 onde:

$$- \varphi'' = \varphi' + \Delta\varphi_{ref}$$

$$- \varphi' = 180 - \varphi$$

- φ é o ângulo de fase de controle expresso em grau;

- $\Delta\varphi_{ref}$ é a defasagem $\varphi_0 - \varphi_r$, expressa em graus, entre uma
20 frente inicial de ângulo de fase inicial φ_0 do sinal de sincronização corrente e a frente de referência de ângulo de fase de referência φ_r de um sinal de sincronização de referência escolhido entre os sinais de sincronização $Si1$, $Si2$, $Si3$.

Para uma máquina de três fases, os valores de $\Delta\varphi_{ref}$ são dados
25 nas tabelas Ia e Ib seguintes:

Tabela 1a

φ'	$0^\circ \leq \varphi' < 30^\circ$	$30^\circ \leq \varphi' < 90^\circ$	$90^\circ \leq \varphi' < 150^\circ$
$\Delta\varphi_{ref}$	+60	0	-60

Tabela 1b

φ'	$150^\circ \leq \varphi' < 210^\circ$	$210^\circ \leq \varphi' < 270^\circ$	$270^\circ \leq \varphi' < 330^\circ$	$330^\circ \leq \varphi' < 360^\circ$
$\Delta\varphi_{ref}$	-120	-180	-240	-300

A figura 5 mostra as variações de φ e de φ'' em função de φ' . Quando φ' varia de 0 a 360, o ângulo de defasagem φ varia de -180° a $+180^\circ$, cobrindo assim a totalidade da faixa de defasagens possíveis, mas os valores de φ'' que intervêm na expressão que dá o valor $V\Delta T1$ permanecem compreendidos entre 30° e 90° , minimizando assim o retardo de comutação de nível $\Delta T1$.

De acordo com o processo da invenção, a lei de variação do ângulo de defasagem φ em função da velocidade de rotação V_r é representado por uma primeira tabela 19 de duas colunas, ou vetores. A primeira coluna contém os valores de $V\Delta T_{pn}$, e a segunda coluna os valores correspondentes de $V\Delta T1$.

Os valores dos dois vetores são escolhidos de modo a que se tenha o melhor compromisso entre um comando fino e preciso (um número elevado de pontos) e um tempo de cálculo aceitável para evitar uma sobrecarga da unidade central CPU do microcontrolador utilizado 5 (um número menos elevado de pontos). Uma interpolação linear é vantajosamente utilizada para afinar os cálculos.

Como o esquematiza a Figura 6, a função de decalagem 20 tem necessidade, além do valor $V\Delta T1$ do retardo de comutação de nível $\Delta T1$, do valor de decalagem φ' para identificar a frente de referência a partir da qual o valor $V\Delta T1$ será carregado no circuito retardador programável corrente $TIMER1$, $TIMER2$, $TIMER3$ que cria retardo.

Essa informação é determinada graças a uma segunda

tabulação 21 paralela à primeira 19. Nesse caso, a informação de indexação será sempre o valor $V\Delta T_{pn}$ medido e o valor procurado será o ângulo φ' correspondente.

Na prática, a integração da lei de comando em um intervalo limitado permite se liberar da segunda tabulação 21, pois nesse caso $\Delta\varphi_{ref}$ conserva um valor constante que é possível simplesmente informar de um modo estático, como o mostra o exemplo de execução abaixo.

A lei de variação $\varphi = F(V_r)$ do ângulo de defasagem φ em função da velocidade de uma máquina giratória elétrica 2 de três fases é representada na Figura 7.

A partir de uma velocidade de 200 rpm é aplicado um avanço φ de 30° para tender para 90° de decalagem em torno das 6000 rpm.

Nesse intervalo de valores de defasagem:

- $\Delta\varphi_{ref}$ conserva um valor constante nulo (a frente de referência é tomada na frente ascendente);

- $\varphi'' = \varphi'$

- $V\Delta T1 = V\Delta T_{pn} * \varphi' / 60$

A conversão da velocidade em valores inter-frente $V\Delta T_{pn}$ pelo circuito retardador programável de medição TIMERM, 18 do período inter-frente ΔT_{pn} medido nos sensores de posição da máquina 2, leva à lei de variação do retardo de comutação de nível $V\Delta T1$ representada na Figura 8.

A figura 9 mostra as variações da defasagem real φ que resultam disso.

O método de integração da lei de variação do ângulo de defasagem φ em função da velocidade de rotação V_r é aplicável ao processo de base de geração de sinais defasados, assim como a sua variante, expostos no pedido de patente conjunto, quer dizer que a regeneração dos sinais de decalagem sejam efetuados por contadores programáveis TIMERM, TIMER1, TIMER2, TIMER3, ou que a regeneração dos sinais seja realizada

por módulos de modulação de amplitude de pulso programáveis PWM1, PWM2, PWM3 e a decalagem por contadores programáveis TIMERM, TIMER1, TIMER2, TIMER3.

5 As Figuras 10 e 11 mostram a arquitetura geral do dispositivo 5, 9 adaptado à execução do processo de geração dos sinais de comando Sw1, Sw2, Sw3 de acordo com a invenção.

O microcontrolador 5 utilizado é de preferência um microcontrolador 16 bits de tipo MC9S12DG128 fabricado pela sociedade MOTOROLA, que compreende:

- 10 - uma unidade central de tratamento 22, da qual a frequência do relógio interno Fbus do bus interno é de preferência de 20 MHz;
- uma memória não volátil 23 de tipo “flash”, de preferência de 128 K octetos;
- uma memória RAM 24, que tem de preferência uma
- 15 capacidade de 8 K octetos (RAM é o acrônimo inglês de “Random Access Memory”, quer dizer “Memória de Acesso Aleatório”);
- uma capacidade I/O 6, 7, 8, 25 (I/O designa Entradas/Saídas, Input/Output em inglês);
- um periférico ECT 26 (ECT é o acrônimo inglês de
- 20 “Enhanced Capture Timer”, quer dizer “Contador de Aquisição Otimizado”);
- um periférico PWM 27 (PWM é o acrônimo inglês de “Pulse Width Modulation”, quer dizer “Modulação em Amplitude de Pulsos”;
- uma interface CAN 28 (CAN é o acrônimo inglês de “Controller Area Network”, quer dizer “Rede Local de Controladores”);
- 25 - uma interface JTAG (JTAG é o acrônimo inglês de “Join Test Action Group”, quer dizer “Grupo de Ação para os Testes Comum”) para a programação e a depuração de erros de programação de acordo com o padrão IEEE1149.1.

Por uma linha de saída 25 dedicada, o microcontrolador 5

comanda SS das portas analógicas 9 constituídas de preferência por um multiplexador-desmultiplexador de tipo 74HC4053.

O módulo ECT 26 compreende um contador programável 18 destinado a medir a velocidade de rotação V_r e circuitos retardadores programáveis 29, 20, 31 destinados a gerar os sinais defasados So1, So2, So3 em um primeiro modo de realização preferido representado na Figura 10.

Alternativamente, como o mostra a Figura 11, os sinais defasados So1, So2, So3 são reconstruídos por módulos de modulação em amplitude de pulsos programáveis 32, 33, 34 do periférico PWM 27 no lugar de sê-lo pelos circuitos retardadores programáveis 29, 30, 31.

Os valores nominais de velocidade da máquina são passados ao dispositivo de geração 5,9 de sinais de comando Sw1, Sw2, Sw3 a partir de um bus embarcado de tipo CAN 35 via a interface dedicada 28.

A implementação do processo de acordo com a invenção em um tipo especial de microcontrolador 5, limitando-se à geração dos três sinais de comando Sw1, Sw2, Sw3 de uma máquina trifásica 2, só é dada a título de exemplo.

O profissional levará sem dificuldades os algoritmos descritos para outros componentes programáveis tais como microprocessadores associados a memórias, ou FPGA (FPGA é o acrônimo inglês de “Field Programmable Gate Array” quer dizer de “Rede de Portas Programáveis Pré-difundida”) para um número qualquer de fases.

Como é evidente, a invenção não se limita portanto somente aos modos de execução preferenciais descritos acima. Ela engloba ao contrário todas as variantes possíveis de realização dentro do limite do objeto das reivindicações abaixo.

REIVINDICAÇÕES

1. Processo de geração de sinais de comando (Sw1, Sw2, Sw3) de uma máquina elétrica giratória polifásica (2) que compreende enrolamentos de fases (4) e sensores (1) da posição do rotor em número igual
 5 ao número das ditas fases, do tipo daqueles nos quais os ditos sinais de comando (Sw1, Sw2, Sw3) que comandam a alimentação de potência (10) dos ditos enrolamentos (4) são constituídos por sinais defasados (So1, So2, So3) com o auxílio de uma unidade de tratamento (5) de um ângulo de defasagem (ϕ) continuamente variável em relação a sinais de sincronização
 10 (Si1, Si2, Si3) produzidos pelos ditos sensores (1), a dita unidade de tratamento (5) compreendendo entradas (8) que recebem os ditos sinais de sincronização (Si1, Si2, Si3) e saídas (6, 7) que emitem os ditos sinais defasados (So1, So2, So3), caracterizado pelo fato de que os ditos sinais de sincronização (Si1, Si2, Si3) são sinais binários que apresentam frentes de
 15 sincronização (11-17) e pelo fato de que as frentes ascendentes e descendentes dos ditos sinais defasados (So1, So2, So3) são geradas depois de um retardo de comutação de nível ($\Delta T1$) que é função de pelo menos o dito ângulo de defasagem (ϕ) a partir de pelo menos uma frente de referência escolhida entre as ditas frentes de sincronização tal que o dito retardo ($\Delta T1$) é
 20 mínimo.

2. Processo de geração de sinais de comando (Sw1, Sw2, Sw3) de uma máquina elétrica giratória polifásica (2) de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que os ditos sinais de comando (Sw1, Sw2, Sw3) são idênticos aos ditos sinais de sincronização (Si1, Si2,
 25 Si3) em condições de funcionamento específicas, notadamente quando a velocidade de rotação (V_r) da dita máquina (2) é inferior a uma primeira velocidade mínima (V_{min1}), ou superior a uma primeira velocidade máxima (V_{max1}).

3. Processo de geração de sinais de comando (Sw1, Sw2, Sw3)

de uma máquina elétrica giratória polifásica de acordo com a reivindicação 2, caracterizado pelo fato de que as ditas condições de funcionamento específicas compreendem o caso em que a dita velocidade de rotação (V_r):

- aumenta e permanece inferior a uma segunda velocidade mínima (V_{min2}) superior à dita primeira velocidade mínima (V_{min1});
- diminui e permanece superior a uma segunda velocidade máxima (V_{max2}) inferior à dita primeira velocidade máxima (V_{min1}), a dita segunda velocidade máxima (V_{max2}) sendo superior à dita segunda velocidade mínima (V_{min2}).

10 4. Processo de geração de sinais de comando ($Sw1$, $Sw2$, $Sw3$) de uma máquina elétrica giratória polifásica (2) de acordo com uma qualquer das reivindicações 2 ou 3 precedentes, caracterizado pelo fato de que as ditas condições de funcionamento específicas compreendem o caso em que a dita unidade de tratamento (5) está parada.

15 5. Processo de geração de sinais de comando ($Sw1$, $Sw2$, $Sw3$) de uma máquina elétrica giratória polifásica (2) de acordo com uma qualquer das reivindicações 2 ou 3 precedentes, caracterizado pelo fato de que, nas ditas condições de funcionamento específicas, a dita unidade de tratamento (5) re-copia os níveis lógicos das ditas entradas (8) nas ditas saídas (6, 7).

20 6. Processo de geração de sinais de comando ($Sw1$, $Sw2$, $Sw3$) de uma máquina elétrica giratória polifásica (2) de acordo com uma qualquer das reivindicações 2 a 4 precedentes, caracterizado pelo fato de que, nas ditas condições de funcionamento específicas, a dita unidade de tratamento (5) comanda a comutação dos ditos sinais de comando ($Sw1$, $Sw2$, $Sw3$) nas ditas
25 entradas (8).

7. Processo de geração de sinais de comando ($Sw1$, $Sw2$, $Sw3$) de uma máquina elétrica giratória polifásica (2) de acordo com uma qualquer das reivindicações 2 a 6 precedentes, caracterizado pelo fato de que os ditos sinais de sincronização ($Si1$, $Si2$, $Si3$) tendo uma relação cíclica igual a 0,5 e

sendo defasados entre si de um ângulo de defasagem nominal (Φ) em graus igual a 360° dividido pelo dito número de fases, mede-se um intervalo de tempo (ΔT_{pn}) compreendido entre duas das ditas frentes de sincronização (11-17) sucessivas, uma sendo ascendente e a outra descendente.

5 8. Processo de geração de sinais de comando (Sw1, Sw2, Sw3) de uma máquina elétrica giratória polifásica (2) de acordo com a reivindicação 7, caracterizado pelo fato de que um valor inter-frente ($V\Delta T_{pn}$) do dito intervalo de tempo (ΔT_{pn}) resulta de uma contagem com o auxílio de um circuito retardador programável de medição (TIMER_M) associado aos
10 ditos sinais de sincronização (Si1, Si2, Si3) que têm uma frequência de incrementação de medição (FTIMER_M) predeterminada.

 9. Processo de geração de sinais de comando (Sw1, Sw2, Sw3) de uma máquina elétrica giratória polifásica (2) de acordo com a reivindicação 8, caracterizado pelo fato de que a determinação das ditas
15 condições de funcionamento específicas da máquina compreende a comparação do dito valor inter-frente ($V\Delta T_{pn}$) com um grupo de valores inter-frente nominais.

 10. Processo de geração de sinais de comando (Sw1, Sw2, Sw3) de uma máquina elétrica giratória polifásica (2) de acordo com a
20 reivindicação 8, caracterizado pelo fato de que fora das condições de funcionamento específicas, o dito ângulo de defasagem (Φ) é uma função da dita velocidade de rotação da máquina.

 11. Processo de geração de sinais de comando (Sw1, Sw2, Sw3) de uma máquina elétrica giratória polifásica (2) de acordo com a
25 reivindicação 10, caracterizado pelo fato de que cada valor ($V\Delta T_1$) do dito retardo (ΔT_1), em unidade de tempo igual ao inverso da dita frequência de incrementação de medição, é tabulado para cada valor inter-frente ($V\Delta T_{pn}$) em uma primeira tabela (19).

 12. Processo de geração de sinais de comando (Sw1, Sw2,

Sw3) de uma máquina elétrica giratória polifásica (2) de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo fato de que um valor de decalagem (φ') igual ao complemento a 180° do dito ângulo de defasagem (φ) é tabulado para cada valor inter-frente ($V\Delta T_{pn}$) em uma segunda tabela (21).

5 13. Processo de geração de sinais de comando (Sw1, Sw2, Sw3) de uma máquina elétrica giratória polifásica (2) de acordo com as reivindicações 11 e 12, caracterizado pelo fato de que ele compreende as etapas seguintes:

10 - torna-se a frequência de incrementação corrente (FTIMER1) de um circuito retardador programável corrente (TIMER1) associado a um sinal de sincronização corrente (Si1) igual à dita frequência de incrementação de medição (FTIMERM);

 - associa-se uma linha de saída corrente ao dito circuito retardador programável corrente (TIMER1);

15 - identifica-se a dita frente de referência a partir do dito valor de decalagem (φ') lido na dita segunda tabela (21);

 - carrega-se o valor corrente ($V\Delta T1$) do dito retardo ($\Delta T1$) lido na dita primeira tabela (19) no dito circuito retardador programável corrente (TIMER1);

20 - configura-se o dito circuito retardador programável corrente (TIMER1) de maneira que a dita linha de saída corrente efetue uma primeira transição de um nível alto para um nível baixo, ou então uma segunda transição de um nível baixo para um nível alto, quando um contador corrente do dito retardador programável corrente (TIMER1) atinge o dito valor
25 corrente ($V\Delta T1$);

 - gera-se o dito sinal binário defasado corrente (So1) com o auxílio da dita linha de saída corrente.

 14. Processo de geração de sinais de comando (Sw1, Sw2, Sw3) de uma máquina elétrica giratória polifásica (2) de acordo com as

reivindicações 11 e 12, caracterizado pelo fato de que ele compreende as etapas seguintes:

- torna-se a frequência de incrementação corrente (FTIMER1) de um circuito retardador programável corrente (TIMER1) associado ao dito sinal de sincronização corrente (Si1) igual à dita frequência de incrementação de medição (FTIMERM);
- identifica-se a dita frente de referência a partir do dito valor de decalagem (ϕ') lido na dita segunda tabela (21);
- carrega-se o valor corrente ($V\Delta T1$) do dito retardo ($\Delta T1$) lido na dita primeira tabela (19) no dito circuito retardador programável corrente (TIMER1);
- ativa-se uma interrupção corrente associada ao dito circuito retardador programável corrente (TIMER1) que se produz a cada vez que o dito valor corrente ($V\Delta T1$) é atingido;
- torna-se a frequência de contagem corrente (FPWM) de um contador programável corrente de um módulo de modulação de amplitude de pulsos programável corrente (PWM1) igual à dita frequência de incrementação de medição (FTIMERM) dividida pelo dobro do dito número de fases;
- associa-se uma linha de saída corrente ao dito módulo de modulação de amplitude de pulsos programável corrente (PWM1);
- carrega-se um registro de período corrente e um registro de relação cíclica corrente do dito módulo de modulação de amplitude de pulsos programável corrente (PWM1) respectivamente com o dito valor inter-frente ($V\Delta Tpn$) e com a metade do dito valor inter-frente ($V\Delta Tpn$);
- configura-se o dito módulo de modulação de amplitude de pulsos programável corrente (PWM1) de modo que a dita linha de saída corrente sofra uma transição inicial de um nível alto para um nível baixo, e depois uma primeira transição de um nível baixo para um nível alto quando o

dito contador programável corrente atinge um valor intermediário corrente contido no registro de relação cíclica corrente, e finalmente uma segunda transição de um nível alto para um nível baixo quando o dito contador programável corrente atinge um valor final corrente contido no dito registro de período corrente a cada acionamento da dita interrupção corrente;

- gera-se o dito sinal binário defasado corrente (So1) com o auxílio da dita linha de saída corrente.

15. Dispositivo de geração (5, 9) de sinais de comando (Sw1, Sw2, Sw3) de uma máquina elétrica giratória polifásica (2) que compreende enrolamentos de fases (4) e sensores (1) da posição do rotor em número igual ao número das ditas fases, do tipo daqueles que compreendem linhas de comando destinadas a comandar a alimentação de potência (10) dos ditos enrolamentos (4), e uma unidade de tratamento (5) que apresenta entradas (8) que recebem sinais de sincronização (Si1, Si2, Si3) produzidos pelos ditos sensores (1), e saídas (6, 7) que emitem sinais defasados (So1, So2, So3) em relação aos ditos sinais de sincronização (Si1, Si2, Si3) caracterizado pelo fato de que ele compreende além disso circuitos de comutação (9) comandados por um sinal de orientação (Ss) emitido pela dita unidade de tratamento (5) e que liga as ditas linhas de comando ou às ditas entradas (8), ou às ditas saídas (6, 7), em função da velocidade de rotação (Vr) da dita máquina (2) e/ou do estado da dita unidade de tratamento (5).

16. Dispositivo de geração (5, 9) de sinais de comando (Sw1, Sw2, Sw3) de uma máquina elétrica giratória polifásica (2) de acordo com a reivindicação 15, caracterizado pelo fato de que os ditos circuitos de comutação (9) são portas analógicas.

17. Dispositivo de geração (5, 9) de sinais de comando (Sw1, Sw2, Sw3) de uma máquina elétrica giratória polifásica (2) de acordo com uma qualquer das reivindicações 15 ou 16, caracterizado pelo fato de que a dita unidade de tratamento (5) é constituída por um microprocessador ou por

um microcontrolador que compreende:

- pelo menos uma unidade central (22);
 - pelo menos uma memória volátil (24) e/ou pelo menos uma memória não volátil (23);
 - 5 - pelo menos um contador programável (18) que mede a dita velocidade de rotação (V_r);
 - circuitos retardadores programáveis (29, 30, 31) em número pelo menos igual ao dito número de fases;
 - pelo menos uma porta de entrada (8) que recebe sinais de
 - 10 sincronização (Si_1 , Si_2 , Si_3) produzidos pelos ditos sensores (1);
 - pelo menos uma primeira capacidade de saída (6) que emite sinais defasados (So_1 , So_2 , So_3) em relação aos ditos sinais de sincronização (Si_1 , Si_2 , Si_3);
 - pelo menos uma segunda capacidade de saída (25) que emite
 - 15 o dito sinal de orientação (S_s).
18. Dispositivo de geração (5, 9) de sinais de comando (Sw_1 , Sw_2 , Sw_3) de uma máquina elétrica giratória polifásica (2) de acordo com uma qualquer das reivindicações 15 ou 16, caracterizado pelo fato de que a dita unidade de tratamento (5) é constituída por um microprocessador ou por
- 20 um microcontrolador que compreende:
- pelo menos uma unidade central (22);
 - pelo menos uma memória volátil (24) e/ou pelo menos uma memória não volátil (23);
 - pelo menos um contador programável (18) que mede a dita
 - 25 velocidade de rotação (V_r);
 - circuitos retardadores programáveis (29, 30, 31) em número pelo menos igual ao dito número de fases;
 - módulos de modulação de amplitude pulsos programáveis (32, 33, 34) em número pelo menos igual ao dito número de fases;

- pelo menos uma porta de entrada (8) que recebe sinais de sincronização (Si1, Si2, Si3) produzidos pelos ditos sensores (1);

- pelo menos uma primeira capacidade de saída (7) que emite sinais defasados (So1, So2, So3) em relação aos ditos sinais de sincronização (Si1, Si2, Si3);

- pelo menos uma segunda capacidade de saída (25) que emite o dito sinal de orientação (Ss).

19. Dispositivo de geração (5, 9) de sinais de comando (Sw1, Sw2, Sw3) de uma máquina elétrica giratória polifásica de acordo com uma qualquer das reivindicações 17 ou 18, caracterizado pelo fato de que a dita memória não volátil (24) contém uma primeira tabela (19) que associa decalagens temporais ($V\Delta T1$) dos ditos sinais defasados (So1, So2, So3) carregados nos ditos circuitos retardadores programáveis (29, 30, 31) a valores ($V\Delta Tpn$) representativos da dita velocidade de rotação (Vr) produzidos pelo dito contador programável (18).

20. Dispositivo de geração (5, 9) de sinais de comando (Sw1, Sw2, Sw3) de uma máquina elétrica giratória polifásica (2) de acordo com a reivindicação 19, caracterizado pelo fato de que a dita memória não volátil (24) contém uma segunda tabela (21) que associa o complemento a 180° das defasagens (φ) dos ditos sinais defasados (So1, So2, So3) aos ditos valores representativos ($V\Delta Tpn$) da dita velocidade de rotação (Vr) produzidos pelo dito contador programável (18).

21. Dispositivo de geração (5, 9) de sinais de comando (Sw1, Sw2, Sw3) de uma máquina elétrica giratória polifásica (2) de acordo com uma qualquer das reivindicações 17 ou 18, caracterizado pelo fato de que as ditas memórias (23, 24) contêm um programa que executa o processo de acordo com uma qualquer das reivindicações 1 a 14 precedentes.

22. Sequências de instruções caracterizadas pelo fato de que elas são executáveis pelo dispositivo (5, 9) de acordo com uma qualquer das

reivindicações 15 a 21 que emprega o processo de acordo com uma qualquer das reivindicações 1 a 14.

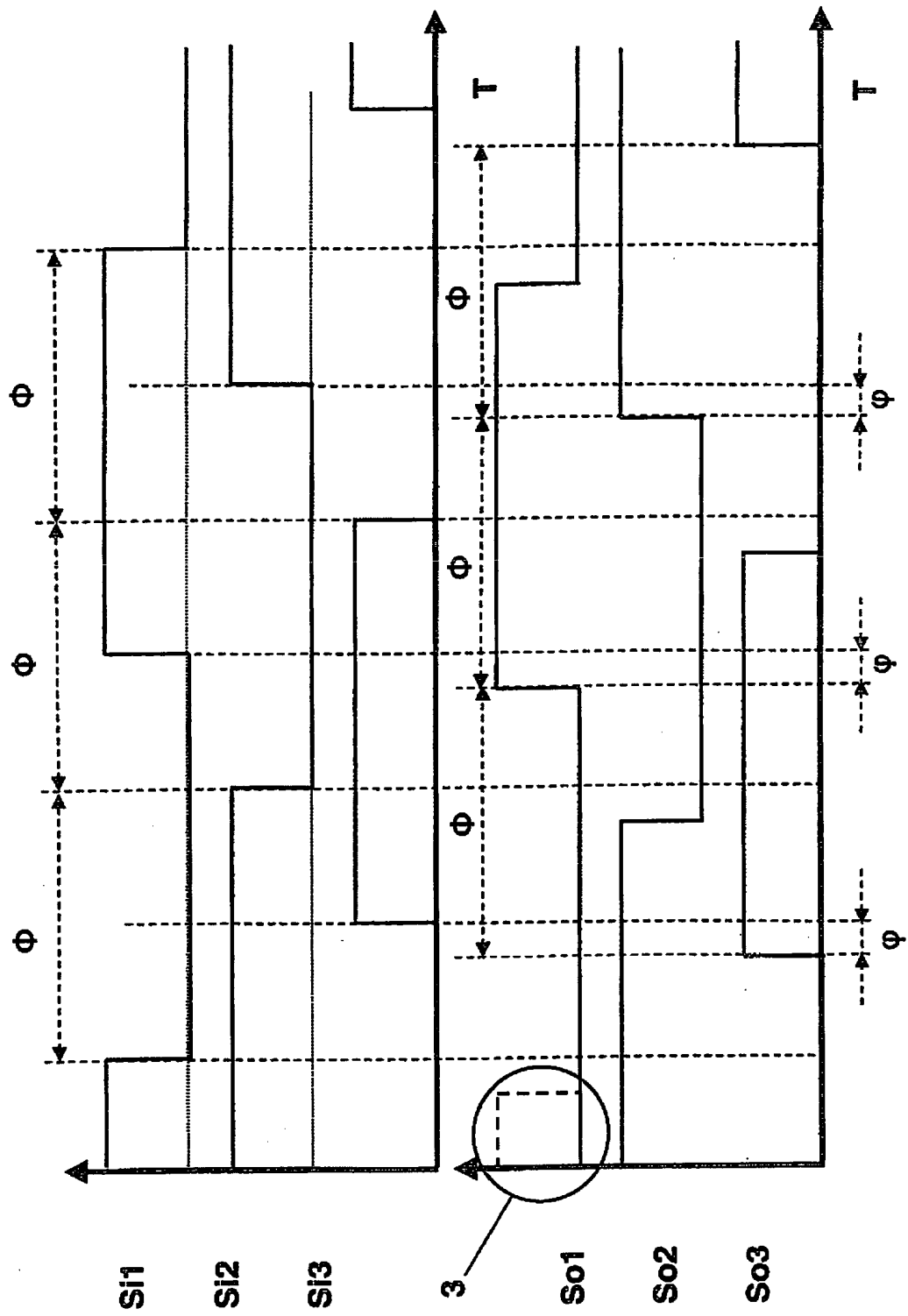


FIG. 1

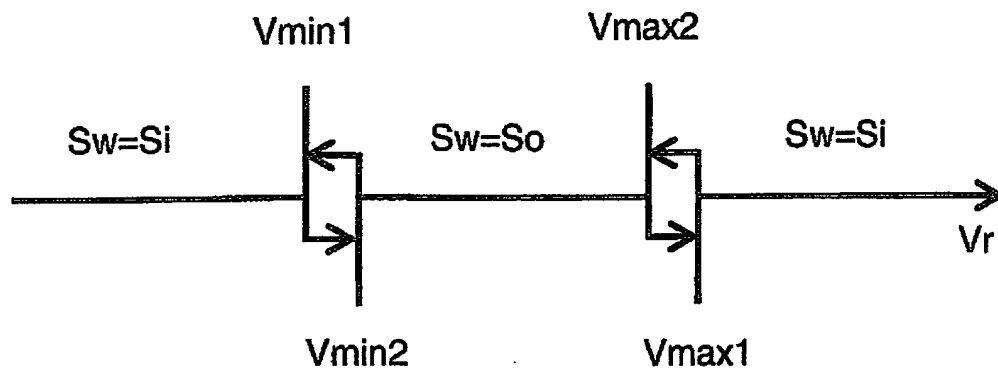


FIG. 2

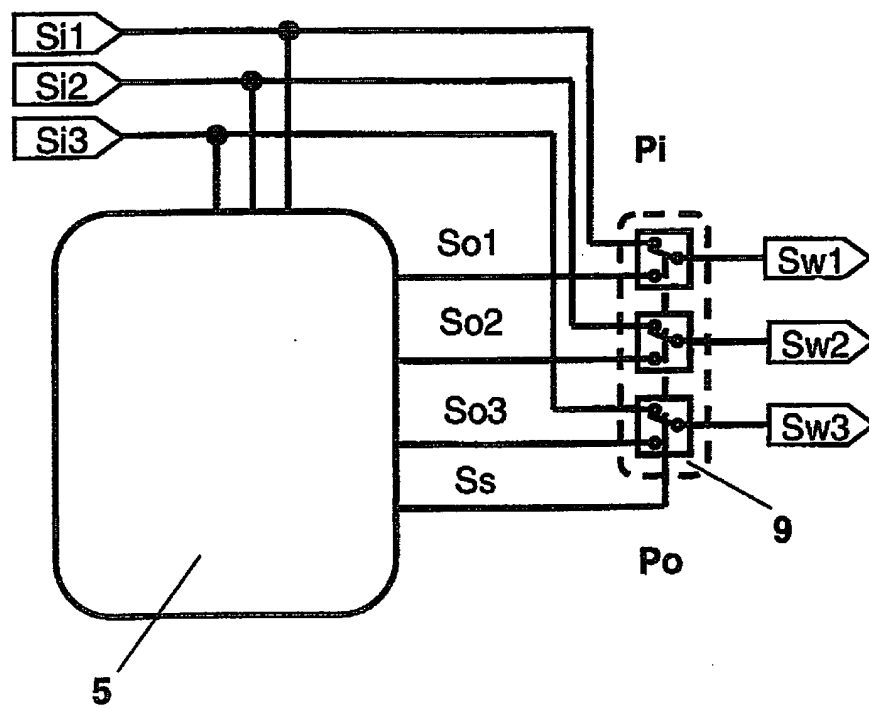


FIG. 3

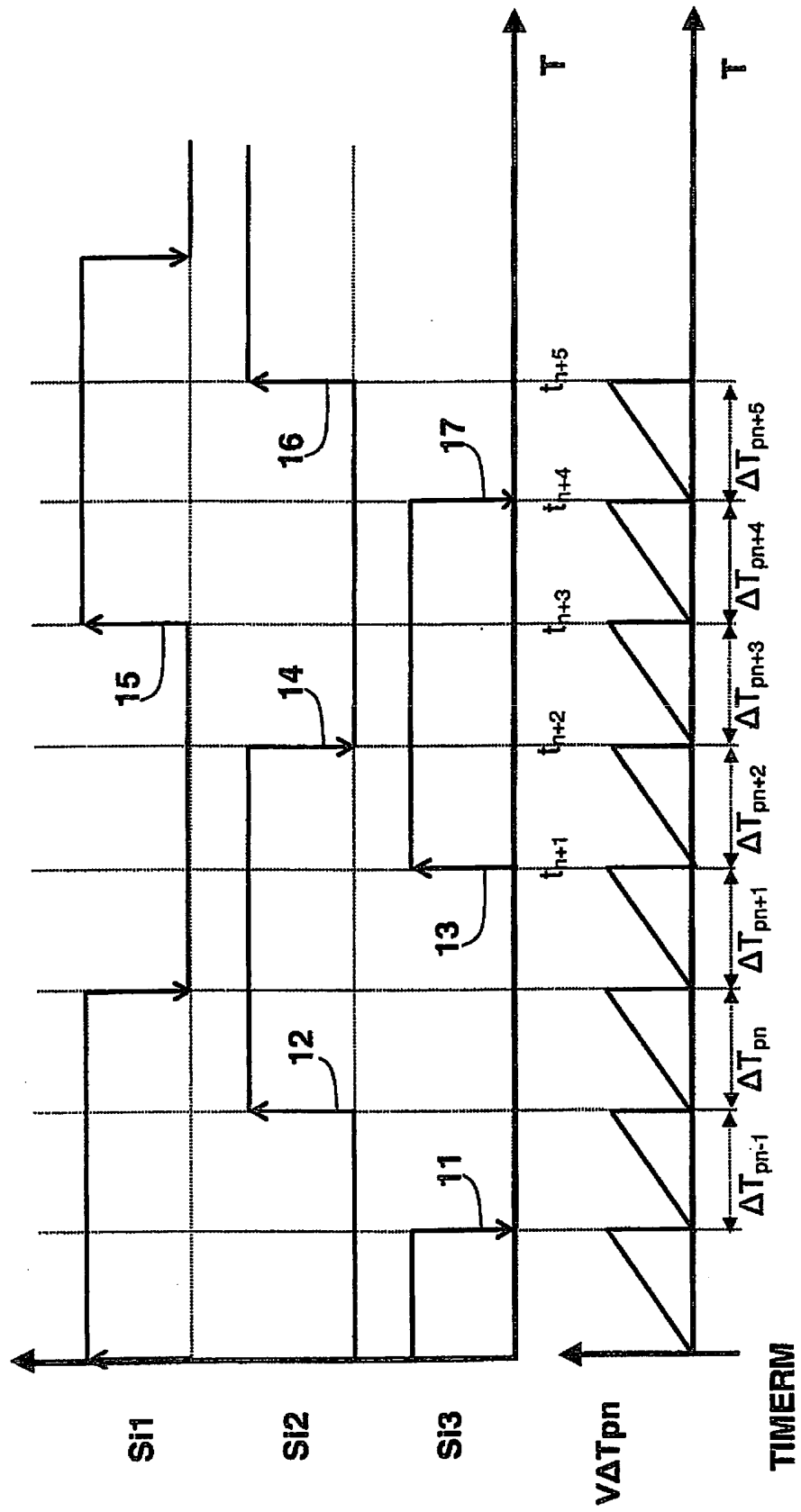


FIG. 4

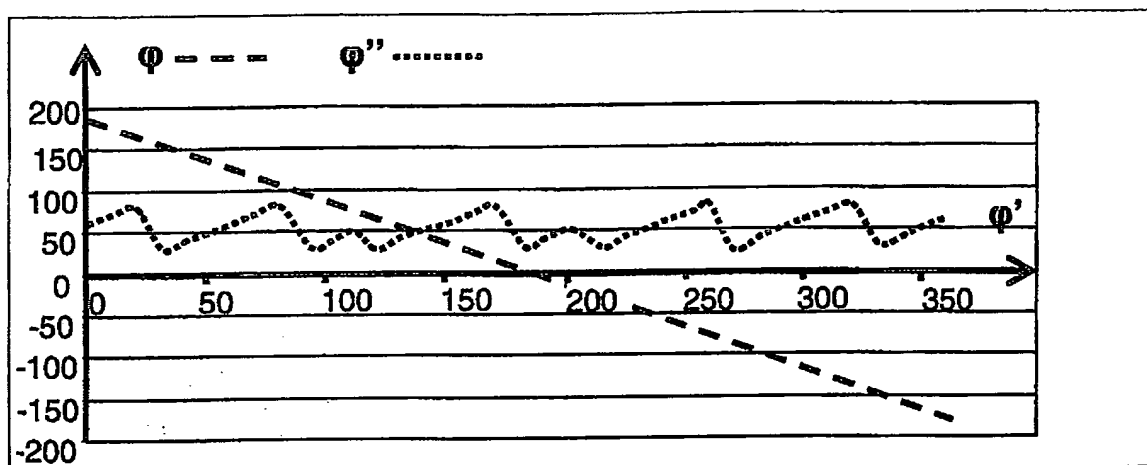


FIG. 5

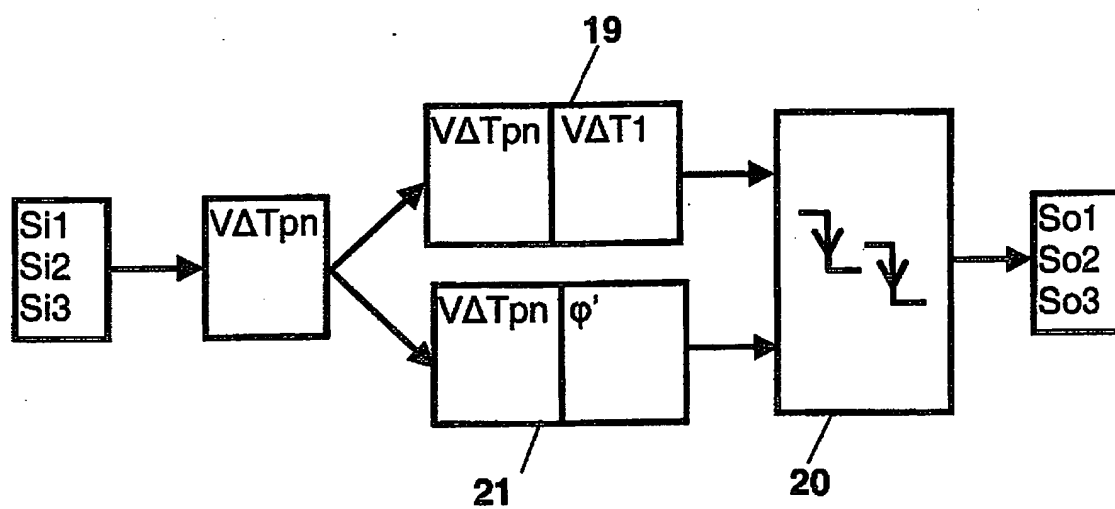


FIG. 6

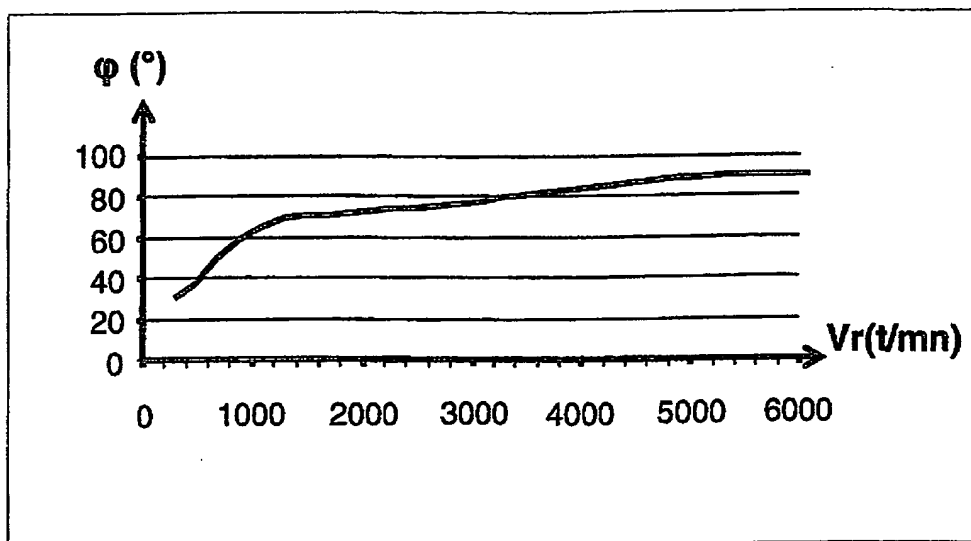


FIG. 7

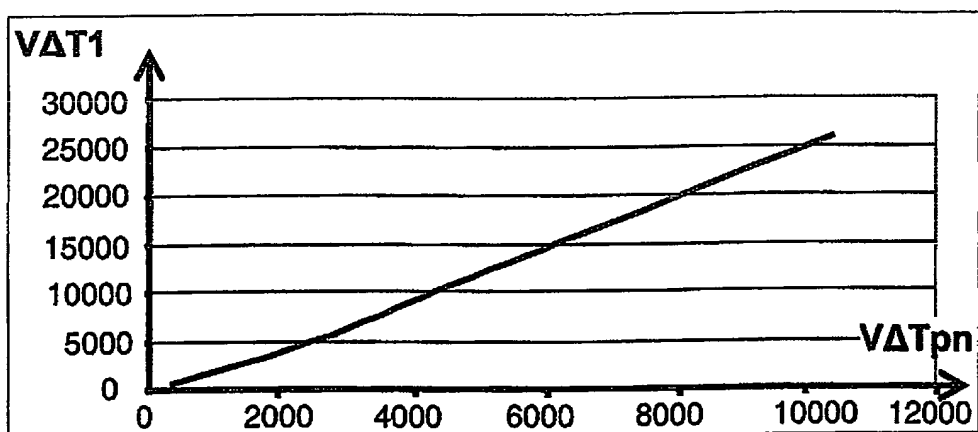


FIG. 8

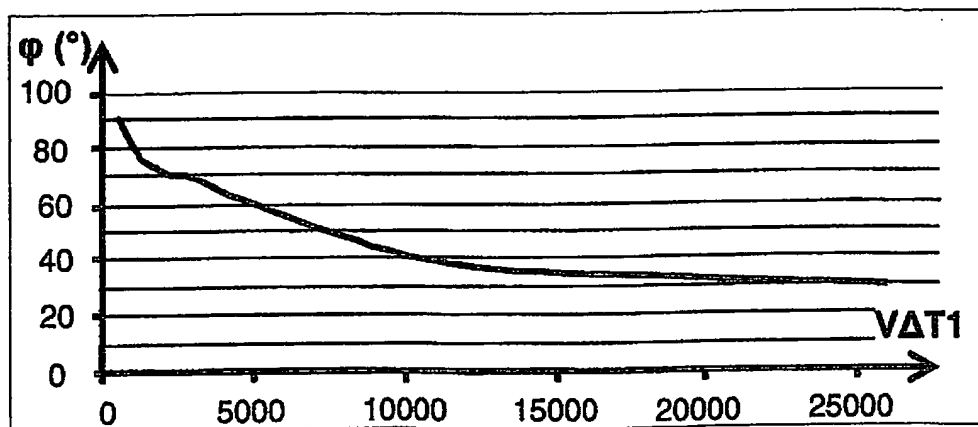


FIG. 9

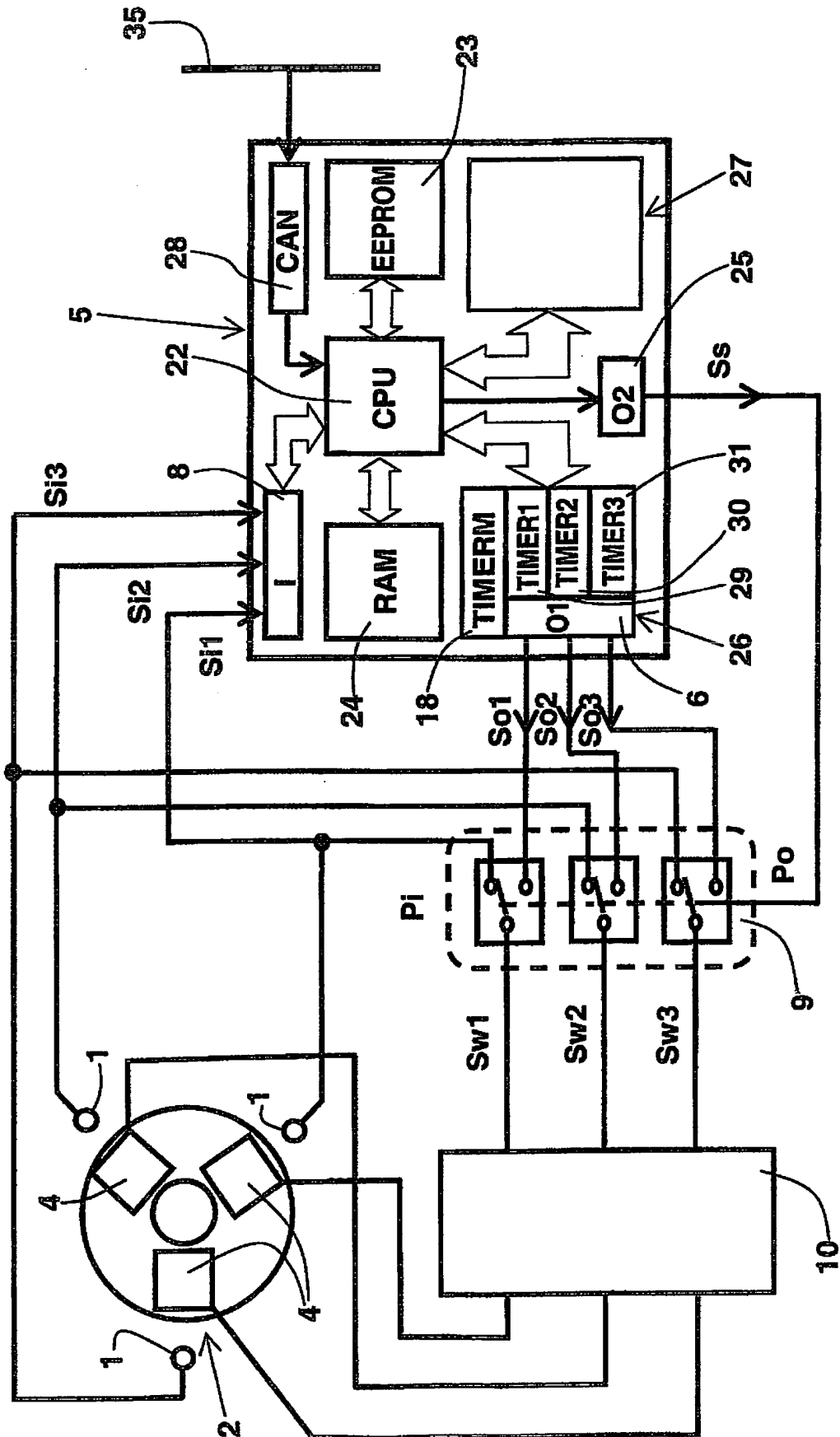


FIG. 10

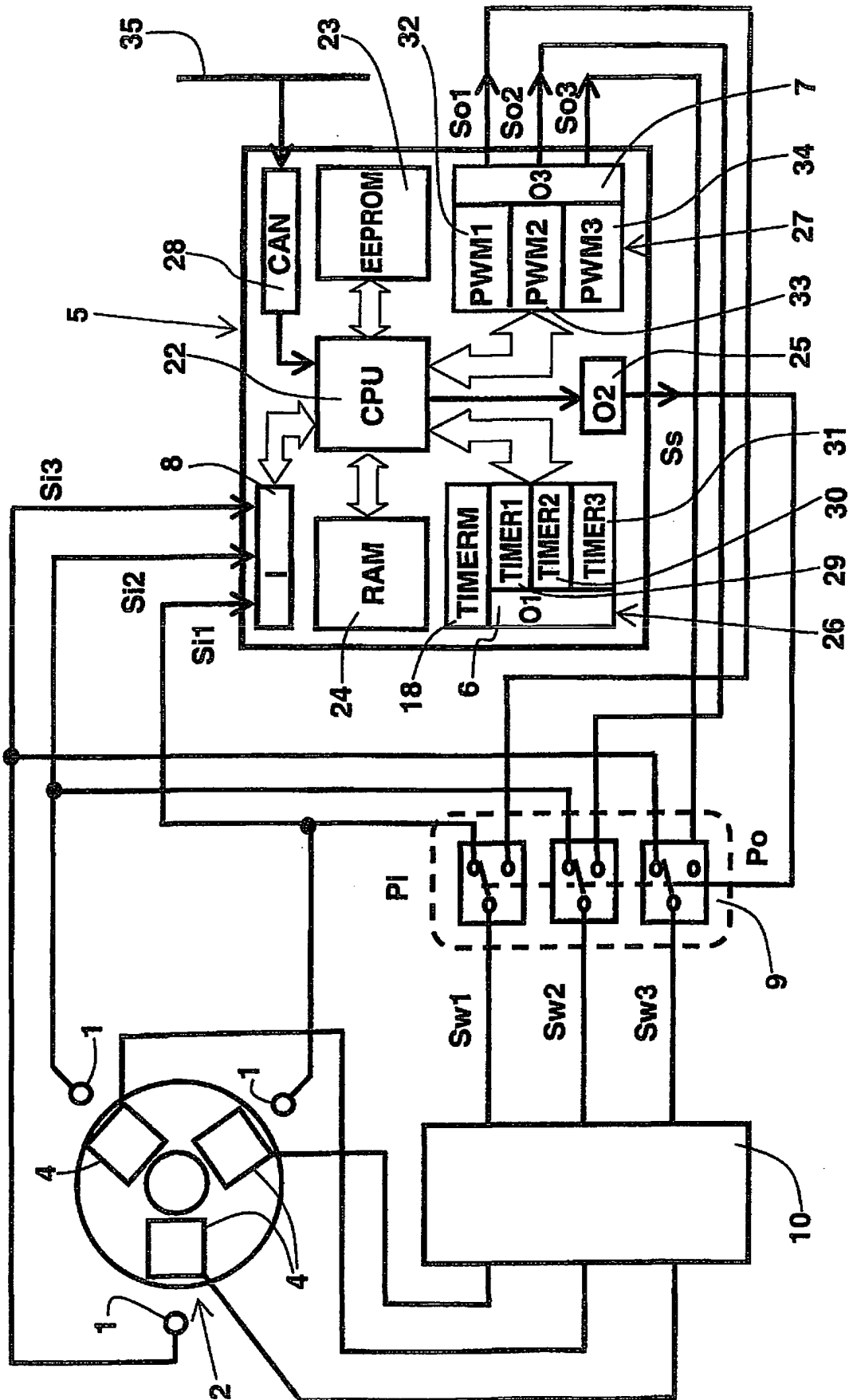


FIG. 11

RESUMO

PI0208382-3

“PROCESSO E DISPOSITIVO DE GERAÇÃO DE SINAIS DE COMANDO DE UMA MÁQUINA ELÉTRICA GIRATÓRIA POLIFÁSICA E SEQUÊNCIAS DE INSTRUÇÕES”

5 O processo de acordo com a invenção é do tipo daqueles em que os sinais (Sw1, Sw2, Sw3) que comandam a alimentação (10) dos enrolamentos (4) da máquina são constituídos por sinais defasados (So1, So2, So3) de um ângulo de defasagem (φ) continuamente variável em relação a sinais de sincronização (Si1, Si2, Si3) produzidos pelos sensores (1) da

10 posição do rotor. De acordo com o processo, uma unidade de tratamento (5) compreende entradas (8) que recebem os sinais de sincronização e saídas (6, 7) que emitem os ditos sinais defasados. Os sinais de sincronização são sinais binários que apresentam frentes de sincronização e as frentes ascendentes e descendentes dos sinais defasados são geradas depois de um retardo de

15 comutação de nível que é função de pelo menos o ângulo de defasagem a partir de pelo menos uma frente de referência escolhida entre as frentes de sincronização tal que o retardo é mínimo.