

(11) Número de Publicação: **PT 1178599 E**

(51) Classificação Internacional:

**H02P 8/04** (2006.01) **H02P 8/24** (2006.01)  
**H02P 8/22** (2006.01)

**(12) FASCÍCULO DE PATENTE DE INVENÇÃO**

(22) Data de pedido: **1996.09.11**

(30) Prioridade(s): **1995.09.11 US 526468**

(43) Data de publicação do pedido: **2002.02.06**

(45) Data e BPI da concessão: **2007.06.13**  
**082/2007**

(73) Titular(es):

**CARDINAL HEALTH 303, INC.**  
**10221 WATERIDGE CIRCLE BUILDING A SAN**  
**DIEGO, CA 92121** **US**

(72) Inventor(es):

**CHARLES R. HOLDAWAY** **US**

(74) Mandatário:

**LUÍS MANUEL DE ALMADA DA SILVA CARVALHO**  
**RUA VICTOR CORDON, 14 1249-103 LISBOA** **PT**

(54) Epígrafe: **SISTEMA DE CONTROLO EM CIRCUITO ABERTO PARA UM MOTOR PASSO A PASSO**

(57) Resumo:

**RESUMO****"SISTEMA DE CONTROLO EM CIRCUITO ABERTO PARA UM MOTOR PASSO A PASSO"**

Sistema de controlo de motor que reduz ruído, ao mesmo tempo que reduz necessidades de potência, proporcionando, mesmo assim, binário suficiente. Utiliza-se um modo de accionamento monofase modificado para micropasso entre posições "monofase" para acelerar o motor de um modo não linear até uma velocidade máxima. Os modos de accionamento micropasso têm um período constante, e a frequência de passo do motor é aumentada ao diminuir o número de micropassos em passos sucessivos do motor. Uma forma de onda de passo inteiro modificada mantém o motor na velocidade máxima, em que a corrente fornecida a um enrolamento do motor passo a passo altera a polaridade no intervalo de um passo de motor, enquanto a outra permanece, aproximadamente, constante, proporcionando um accionamento mais uniforme e ruído reduzido. A polaridade altera-se de acordo com a indutância e gama de tensões do motor. Uma forma de onda monofase modificada para incluir micropassos entre posições "monofase" desacelera, posteriormente, o motor de um modo não linear, e o motor pára numa posição de manutenção até que outra forma de onda de passos seja aplicada ao motor.

## **DESCRIÇÃO**

### **"SISTEMA DE CONTROLO EM CIRCUITO ABERTO PARA UM MOTOR PASSO A PASSO"**

O invento refere-se, de um modo geral, a controlo de motores e, mais particularmente, a sistemas de controlo em circuito aberto para um motor passo a passo que reduzem o ruído acústico, mantendo, ao mesmo tempo, um binário suficiente. Um motor passo a passo aplica um binário à sua carga numa série de passos discretos e, consequentemente, pode funcionar como um transdutor de som, gerando um tom audível com uma frequência fundamental igual à sua frequência de passo. Se se quiser que o motor funcione com uma ampla gama de frequências de passo, uma ou mais destas frequências irá, provavelmente, excitar frequências de ressonância da carga mecânica do motor, ou do próprio motor, o que dá origem à produção de quantidades desagradáveis de ruído acústico e a um funcionamento menos eficiente. No campo dos equipamentos médicos, é, normalmente, desejável diminuir o nível de ruído do equipamento para beneficiar o doente e outros. Por exemplo, bombas de infusão contendo motores passo a passo estão, de um modo geral, situadas junto de um doente e podem funcionar durante horas. Pode ser incómodo para um doente quando uma bomba gera um grau de ruído elevado. Além disso, determinados equipamentos médicos, incluindo muitas bombas de

infusão, têm que ser alimentadas por meio de uma fonte de alimentação portátil tendo um reservatório de energia limitado, tal como baterias, e, por conseguinte, o equipamento deve ser concebido para consumir tão pouca energia quanto possível. Deste modo, o equipamento pode sustentar o doente durante tanto tempo quanto possível antes de ser necessário substituir ou recarregar as baterias. Deste modo, níveis diminuídos de ruído e níveis diminuídos de consumo de energia são características desejáveis em bombas de infusão e outros equipamentos médicos. Uma fonte de ruído acústico num motor passo a passo é a forma de onda do accionamento do motor. O meio mais simples de accionar um motor passo a passo consiste no modo "passo inteiro", no qual um motor bifásico é accionado por uma onda quadrada de corrente ou tensão de magnitude constante. Neste modo, cada passo corresponde a um de  $2^N$  estados possíveis de polaridade de corrente de enrolamento do motor, em que N é o número de enrolamentos do motor (ou fases). Este tipo de accionamento gera ruído acústico com um conteúdo harmónico elevado devido à elevada aceleração angular resultante da elevada frequência de variação do binário que ocorre no bordo de ataque de cada passo. Além disso, quando a frequência de accionamento é menos que óptima e o rotor atinge a sua posição antes da comutação das correntes de enrolamento, pode ocorrer uma oscilação atenuada do rotor em torno da posição do campo magnético do motor o que dá origem a um ruído excessivo e desperdício de potência pelo facto de se providenciar um binário negativo para segurar o rotor, e perde-se energia devido ao simples

aquecimento dos enrolamentos resultante da resistência encontrada. O componente de ruído pode ser reduzido se a magnitude dos impulsos de binário for diminuída através da redução da magnitude do impulso de accionamento do motor. Uma redução destas, no entanto, também reduz a reserva de binário disponível do motor, o que dá origem a um risco aumentado de paragem do motor ou "desengate", em que "desengate" quer dizer a perda de sincronização devido ao facto da carga sobre o motor exceder a potência disponível aplicada ao motor para fazer deslocar a carga, o que faz com que o motor se "desengate" do seu ciclo de movimento e salte um ou mais passos. Esta condição pode dar origem a erros de posicionamento devido aos passos perdidos. A existência de uma reserva de binário adequada é necessária no caso em que podem ocorrer determinadas condições indesejáveis. No campo médico, no qual se utiliza um motor passo a passo para accionar um mecanismo de bombeamento, tal como uma bomba peristáltica, as alturas de carga do fluido de infusão variam, os medicamentos infundidos podem ser particularmente viscosos, e temperaturas mais baixas podem obrigar a uma maior potência para movimentar o mecanismo peristáltico, por exemplo. O binário nominal do motor deve ser suficientemente elevado para resolver todas estas circunstâncias mas, em qualquer caso, o seu binário nominal mais a sua reserva de binário devem ser suficientemente elevados ou pode dar-se um desengate do motor. Um mecanismo tem, tipicamente, um binário nominal e uma reserva de binário. Numa forma de realização, a reserva de binário é definida como setenta porcento do binário nominal "sem

paragem". Verificou-se que o ruído do motor pode ser, significativamente, reduzido pela técnica conhecida como "micropasso". "Micropasso" é um meio de accionamento de um motor através de um passo com uma série de estados de magnitude de corrente que geram deslocamentos angulares mais pequenos da posição vectorial do campo magnético do motor. A soma destes deslocamentos equivale ao de um passo. Dado que o binário instantâneo é, aproximadamente, uma função sinusoidal do deslocamento angular da posição vectorial do campo de um motor, desde a sua posição de rotor, um deslocamento angular mais pequeno dá origem a um menor binário instantâneo. Um menor binário instantâneo gera uma aceleração angular no bordo de ataque de cada "micropasso" mais pequena do que a que seria gerada no bordo de ataque de cada passo no modo de accionamento em "passo inteiro". O efeito consiste em dispersar a grande aceleração, que ocorre, normalmente, no início de um passo, por todo o passo na forma de uma série de pequenas acelerações, reduzindo, deste modo, o nível de ruído acústico. No entanto, a técnica do "micropasso" não é uma técnica de redução de ruído satisfatória se se quiser limitar o consumo de energia, o que é o caso nas aplicações alimentadas a bateria. Na técnica do micropasso, as correntes de enrolamento do motor, que definem a sequência de estados, deve ser mantida ao longo de toda a sequência, o que dá origem a um consumo de energia relativamente elevado. Existem outros modos de funcionamento com menor consumo de energia, tais como o modo "monofase" no qual as correntes de enrolamentos são desligadas depois da

aceleração inicial para poupar energia. No entanto, estes modos são mais ruidosos do que o modo micropasso. A técnica do micropasso também não é desejável quando a largura de banda de controlo é limitada. À medida que o número de micropassos aumenta, a exigência de largura de banda de controlo aumenta, o que obriga à existência de uma maior capacidade em hardware para suportar uma velocidade de relógio mais rápida. Esta maior capacidade comporta um aumento dos custos e da complexidade.

O tipo de circuito de accionamento do motor também pode ter um efeito directo nos custos. Por exemplo, circuitos de accionamento em circuito fechado requerem, tipicamente, sensores para providenciar a necessária realimentação de controlo. O custo do sensor, bem como da largura de banda do processador adicional, necessária para utilizar os dados provenientes do sensor para controlar o circuito de accionamento, pode dar origem a um aumento substancial dos custos. Um sistema em circuito aberto é, no que a isto se refere, preferível.

Deste modo, um maior controlo *versus* consumo de energia é importante em aplicações nas quais se deseja uma longa vida da bateria. O fornecimento de uma potência excessiva aos enrolamentos do motor passo a passo pode provocar desperdício de energia e um tempo de vida da bateria diminuído. A energia pode perder-se na forma de calor devido à resistência dos enrolamentos. Do mesmo modo, movimentar o motor à sua frequência de ressonância é ineficiente e pode dar origem a desperdício de energia.

porque se cria um binário relativamente pequeno a partir da grande potência de entrada fornecida ao motor. Deste modo, é desejável um controlo preciso do motor para evitar desperdiçar energia limitada.

O documento US 4683408 divulga um equipamento de controlo de motor passo a passo que calcula uma corrente de excitação de bobinas do motor correspondente a uma posição de manutenção, sendo o cálculo baseado num padrão predeterminado de forma de onda. O motor passo a passo é accionado de modo a se dirigir para a posição de manutenção final através de uma distância de transferência de micropasso que é mais curta do que um intervalo de transferência de passo regular. No entanto, a configuração de motor passo a passo divulgada neste documento sofre ainda de uma potência acústica desvantajosa.

O documento US 4418907 divulga um método e configuração destinados a controlar um motor "digital" que é configurado para permitir o funcionamento do motor num modo micropasso a baixa velocidade, mas para permitir o funcionamento num modo que não utiliza a técnica do micropasso a uma velocidade de motor mais elevada de modo a aproveitar o maior binário disponível a velocidades mais elevadas.

O documento WO91/10946 divulga uma configuração de accionamento de motor destinada a controlar e accionar um motor de bomba peristáltica no qual a duração de um sinal de accionamento é determinada pela frequência de uma

primeira série de impulsos gerada por um primeiro circuito a uma dada frequência. Também se disponibiliza um segundo circuito que gera uma segunda série de impulsos tendo uma frequência mais elevada do que a frequência da primeira série de impulsos. Disponibiliza-se um terceiro circuito que gera a terceira série de impulsos tendo uma frequência que se situa entre a frequência da primeira e segunda séries de impulsos. O sinal de accionamento está dividido em duas secções, nomeadamente, uma fase de impulsos inicial determinada pela frequência da terceira série de impulsos, e uma fase de impulsos modulados formada por uma série de impulsos determinados pela frequência da segunda série de impulsos.

Consequentemente, os especialistas com experiência na técnica reconheceram a necessidade de diminuir a potência acústica de dispositivos médicos, ao mesmo tempo que se diminui o consumo de energia, mas mantendo uma reserva de binário adequada. Além disso, os especialistas com experiência na técnica também reconheceram a necessidade de se criar um sistema de controlo em circuito aberto para reduzir custos de hardware e processador. O presente invento satisfaz estas e outras necessidades.

#### SUMÁRIO DO INVENTO

Resumidamente e em termos genéricos, o presente invento refere-se a um sistema de controlo para controlar o movimento de um motor, compreendendo o sistema uma fonte de

energia e um controlador para controlar a aplicação de energia ao motor a partir da fonte de energia para controlar o movimento do motor, em que o controlador aplica energia ao motor de um modo crescente não linear para iniciar o movimento do motor.

De acordo com uma primeira vertente do presente invento, disponibiliza-se um sistema de controlo para controlar o movimento de um motor passo a passo, compreendendo:

uma fonte de energia;

um controlador que aplica energia a partir da fonte de energia para acelerar o motor através de um primeiro e segundo passos do motor, em que o primeiro passo do motor inclui uma primeira multiplicidade de micropassos, e o segundo passo do motor inclui uma segunda multiplicidade de micropassos, em que a primeira multiplicidade de micropassos é maior do que a segunda multiplicidade de micropassos; caracterizado por

o controlador aplicar energia proveniente da fonte de energia ao motor de um modo não linear para acelerar o motor passo a passo até uma velocidade de motor pré-seleccionada;

o controlador aplicar energia para manter a velocidade pré-seleccionada durante um primeiro período de tempo predeterminado; e

o controlador remover energia do motor de um modo não linear para desacelerar o motor passo a passo para a

posição de manutenção em que o controlador do motor não fornece qualquer sinal de accionamento ao motor, depois do motor parar na posição de manutenção durante um segundo período de tempo predeterminado.

De um modo preferido, o controlador mantém um período de micropassos constante.

De um modo vantajoso, o controlador aplica energia proveniente da fonte de energia para acelerar o motor através de um terceiro passo do motor, em que o terceiro passo do motor inclui uma terceira multiplicidade de micropassos, em que a segunda multiplicidade de micropassos é maior do que a terceira multiplicidade de micropassos.

Convenientemente, o controlador aplica energia proveniente da fonte de energia ao motor num modo de accionamento "monofase" modificado para micropasso entre as posições "monofase" durante o movimento do motor, em que o controlador controla o motor por meio da variação do número de micropassos por passo do motor, mantendo, ao mesmo tempo, um período de micropassos constante; em que o controlador controla o motor para que este acelere, diminuindo o número de micropassos por passo do motor, mantendo, ao mesmo tempo, um período de micropassos constante.

De um modo preferido, o controlador remove energia do motor num modo de accionamento "monofase"

modificado para micropasso entre as posições "monofase" durante o movimento do motor acabando numa posição "monofase" para o último passo do motor antes da energia ser completamente removida, e

em que o controlador controla o motor para que este desacelere, aumentando o número de micropassos por passo do motor, mantendo, ao mesmo tempo, um período de micropassos constante.

De um modo vantajoso, o controlador aplica energia ao motor num modo de accionamento de passo inteiro depois do motor ter atingido uma velocidade pré-selecccionada.

Convenientemente, quando se está no modo de passo inteiro, o controlador aplica energia proveniente da fonte de energia ao motor, para que o motor se desloque com um micropasso por passo de motor durante o qual uma de, pelo menos, duas fases do motor passo a passo altera a polaridade enquanto a outra fase permanece com um valor constante, e por se selecccionar uma frequência de passo para que a alteração de polaridade seja realizada num período do passo de motor, por meio da qual se obtenha um deslocamento de campo uniforme do motor.

De um modo preferido, o motor passo a passo acciona um mecanismo de bomba para administrar fluido medicinal a um doente.

De acordo com outro aspecto do presente invento, é proporcionado um método para controlar o movimento de um motor passo a passo que se desloca numa série de passos de motor, o método compreendendo:

controlar o motor passo a passo de modo a que este se desloque através de um primeiro passo de aceleração do motor numa primeira multiplicidade de micropassos;

controlar o motor passo a passo de modo a que este se desloque através de um segundo passo de aceleração do motor numa segunda multiplicidade de micropassos, sendo o segundo passo do motor subsequente ao primeiro passo do motor, em que a segunda multiplicidade de micropassos é menor do que a primeira multiplicidade de micropassos; o método sendo caracterizado por:

aplicar energia ao motor passo a passo de um modo crescente não linear para acelerar o motor até uma velocidade de motor pré-seleccionada;

manter a velocidade pré-seleccionada durante um primeiro período de tempo predeterminado; e

remover energia do motor passo a passo de um modo não linear para desacelerar o motor passo a passo, desde a velocidade pré-seleccionada até à posição de manutenção depois do primeiro período de tempo predeterminado, em que o controlador de motor não fornece qualquer sinal de accionamento ao motor depois do motor parar na posição de manutenção durante um segundo período de tempo predeterminado;

em que a frequência de passo é seleccionada de modo a que a alteração de polaridade seja realizada num período de passo de motor, por meio da qual se obtenha um deslocamento de campo uniforme do motor.

De um modo preferido, ambos os passos para controlar o deslocamento do motor passo a passo incluem a manutenção de um período constante para os micropassos.

De um modo vantajoso, o motor passo a passo tem, pelo menos, duas fases e um íman permanente que definem uma posição de manutenção na qual está em posição de repouso, o método sendo ainda caracterizado por:

aplicar uma corrente de enrolamento de crescimento exponencial de um modo exponencialmente crescente para acelerar o motor passo a passo até uma velocidade de motor pré-seleccionada;

manter a velocidade pré-seleccionada durante um primeiro período de tempo predeterminado; e

diminuir exponencialmente a corrente de enrolamento para desacelerar o motor passo a passo desde a velocidade pré-seleccionada até à posição de manutenção depois do primeiro período de tempo predeterminado, em que o motor pára na posição de manutenção durante um segundo período de tempo predeterminado.

Convenientemente, o método inclui:

desacelerar o motor passo a passo numa série de passos de desaceleração do motor, sendo um primeiro dos referidos passos de desaceleração do motor dividido num primeiro número de micropassos de desaceleração, e um segundo dos referidos passos de desaceleração do motor dividido num segundo número de micropassos de desaceleração;

em que o primeiro número de micropassos de desaceleração é inferior ao segundo número de micropassos de desaceleração.

De um modo preferido, o método implica accionar um mecanismo de bomba com o motor passo a passo para administrar fluido medicinal a um doente.

Outras vertentes e vantagens do invento irão ser evidentes a partir da descrição pormenorizada que se segue e dos desenhos em anexo que ilustram, a título de exemplo, as características do invento.

#### BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

A FIG. 1 é um diagrama de blocos que ilustra um motor passo a passo bifásico básico;

A FIG. 2 é um diagrama de blocos de um controlador para um motor passo a passo de acordo com uma vertente do invento e da aplicação do controlador e do motor passo a passo na infusão de fluidos médicos a um doente;

A FIG. 3 é um diagrama de circuito dos elementos de excitação e enrolamentos do motor mostrado na FIG. 2 de acordo com uma vertente do invento;

A FIG. 4 apresenta formas de onda de um accionamento de passo bifásico de frequência constante para accionar um motor passo a passo bifásico;

A FIG. 5 é um gráfico da aplicação não linear de energia a um motor para atingir uma corrente de pico de enrolamento, mostrando-se, neste caso, uma aplicação exponencial de energia comparada com uma aplicação linear de energia;

A FIG. 6 é um gráfico da aceleração não linear de um motor em resposta à aplicação exponencial de energia mostrada na FIG. 5, mostrando-se, neste caso, uma aceleração exponencial comparada com uma aceleração linear;

A FIG. 7 inclui gráficos que ilustram a utilização de múltiplos modos de accionamento no controlo da aplicação de energia a um motor passo a passo;

A FIG. 8 ilustra, de um modo mais pormenorizado, determinadas formas de onda da FIG. 7 de acordo com uma vertente do invento;

A FIG. 9 inclui diagramas vectoriais dos modos de accionamento da FIG. 8;

A FIG. 10 ilustra o efeito da indutância do motor na corrente de enrolamento a alta velocidade originando um deslocamento uniforme do campo magnético;

A FIG. 11A ilustra uma das formas de onda da FIG. 10, de um modo mais pormenorizado, e na FIG. 11B mostra-se um diagrama vectorial; e

A FIG. 12 é um fluxograma do controlo de um motor passo a passo de acordo com vertentes do invento.

<u>DESCRÍÇÃO</u>	<u>PORMENORIZADA</u>	<u>DAS</u>	<u>FORMAS</u>	<u>DE</u>	<u>REALIZAÇÃO</u>
<u>PREFERENCIAIS</u>					

Na descrição que se segue, ir-se-ão utilizar algarismos de referência idênticos para designar elementos idênticos ou correspondentes nas diferentes figuras dos desenhos. A discussão que se segue irá ser baseada no exemplo ilustrativo de um motor 10 passo a passo bifásico, como mostrado na FIG. 1. O motor 10 passo a passo inclui um rotor 12 tendo um íman permanente e rodando em torno de um ponto 13 de articulação, e dois pares de enrolamentos 14 e 16 de estator. Cada enrolamento de estator representa uma fase do motor passo a passo. Por questões de discussão, o enrolamento 14 irá representar a fase A, o enrolamento 16 irá representar a fase B. O rotor 12 desloca-se em passos de acordo com a magnitude e polaridade da corrente aplicada aos respectivos enrolamentos 14 e 16. Se uma corrente atravessar um dos enrolamentos, os pólos norte e sul do estator resultantes do enrolamento 14 excitado irão atrair, respectivamente, os pólos sul e norte do rotor 12. Existem vários modos de accionamento para controlar a rotação do rotor num motor passo a passo. Num modo de accionamento "monofase", um enrolamento está completamente excitado, enquanto o outro enrolamento está desactivado. Ao alterar o fluxo de corrente do primeiro enrolamento 14 para o outro enrolamento 16, o campo do estator roda noventa graus.

Neste modo é exigida menos potência. Isto faz com que o rotor rode um passo de noventa graus. Como se sabe na técnica, podem obter-se passos com graus diferentes utilizando diferentes configurações de rotor e estator. Além disso, se as duas correntes de fase forem desiguais, o rotor tenderá a deslocar-se para uma posição na direcção do pólo com mais intensidade. O modo de accionamento por "micropassos" utiliza este efeito e subdivide o motor passo a passo básico doseando a corrente aplicada aos dois enrolamentos. Por exemplo, excitando, de forma alternada, um enrolamento e, depois, dois, o rotor efectua um deslocamento angular mais pequeno e o número de passos por revolução é duplicado. Isso dá origem a uma resolução mais elevada, melhor uniformidade, mas alguma perda de binário. Este modo é, normalmente, conhecido por modo de accionamento por "meio passo". No que se refere a um motor passo a passo bifásico accionado com um modo de accionamento em "passo inteiro", os dois enrolamentos ou fases mantêm-se excitados, e a corrente é invertida, alternadamente, em cada enrolamento em passos alternados. Pode produzir-se um binário maior sob estas condições porque todos os pólos do estator influenciam o motor. Os seus campos individuais somam-se para produzir um campo magnético maior. No entanto, consume-se mais energia neste modo de accionamento dado que ambos os enrolamentos são constantemente alimentados. Quando não flui corrente através dos enrolamentos, o rotor irá tentar minimizar a relutância, ou resistência magnética, do seu íman permanente ao alinhar-se com os pólos de um dos

enrolamentos do estator. O binário que mantém o motor nesta posição é designado por binário de manutenção.

A FIG. 2 mostra um processador 20 que fornece sinais para accionar o motor 10 passo a passo. Nesta forma de realização, o processador 20, ou outro sistema digital adequado, acede a dados em tabelas de consulta memorizados numa memória 22 de modo a fornecer sinais que definem a forma de onda para accionar, de um modo particular, o motor 10 passo a passo. As tabelas existentes na memória 22 disponibilizam valores para as polaridades e magnitudes das correntes a aplicar aos enrolamentos do motor 10. O processador 20 fornece os sinais de polaridade e magnitude aos elementos 26 de excitação para fornecer as correntes adequadas aos enrolamentos do motor 10 passo a passo. Os valores passam por um conversor 28 D/A para os converter em sinais analógicos antes de serem introduzidos nos elementos 26 de excitação. Como mostrado na FIG. 3, os elementos 26 de excitação para os enrolamentos 14 e 16 do motor 10 passo a passo bifásico compreende um par de pontes 30 H controladas pelo processador. As magnitudes das potências de corrente das pontes H são controladas por transístores 32 chopper. Os transístores 32 chopper funcionam de modo a ligar ou desligar o accionamento do motor conforme requerido para minimizar a diferença entre os sinais de sentido e os de magnitude nas entradas 33 dos comparadores. Os sinais de magnitude são gerados por meio dos conversores 28 D/A (FIG. 2). O processador 20 efectua a comutação entre as tabelas individuais memorizadas na memória 22 que contêm

os dados específicos para fornecer a forma de onda apropriada para accionar o motor passo a passo. A memória 22 numa forma de realização continha múltiplas tabelas de consulta, em que cada uma delas estava disponível para o processador de modo a ser utilizada durante o funcionamento do motor ao longo de cada grupo de passos. O processador está, neste modo, apto para alterar formas de onda de accionamento do motor "dinamicamente" e efectua isso de modo automático como descrito aqui. O índice das tabelas de consulta é alterado durante a rotação do motor para que o processador tenha sempre formas de onda adequadas disponíveis para controlar o motor. Por exemplo, uma tabela de consulta foi memorizada para as formas de onda de aceleração e outra foi memorizada para a forma de onda de passo inteiro. A FIG. 3 também mostra a corrente de excitação por meio de setas a tracejado e correntes de declínio por meio de setas 31 cheias para o enrolamento de fase A. Os transístores 32 *chopper* activam os transístores A1 e A2 consoante o resultado da comparação do sinal de magnitude com o sinal de sentido efectuada pelo comparador 33. Nos motores 10 passo a passo utilizados com bombas de infusão médicas, tais como a bomba 34 peristáltica linear mostrada na FIG. 2 agindo sobre um tubo 36 ligado entre um reservatório 38 de fluido e um doente 40, um modo de accionamento de passo inteiro mostrado na FIG. 4 com uma frequência de passo constante pode não ser o modo mais eficiente para accionar o motor 10 de modo a reduzir ruído e consumo de energia. Como discutido anteriormente, o período de passo resultante pode ter uma duração excessiva

na qual a maior parte do movimento do motor ocorre logo no início do período, perdendo-se a potência na forma de calor na resistência dos enrolamentos 14 e 16 no que resta do período, o que dá origem a ruído desagradável. No que se refere, agora, à FIG. 5, mostra-se uma forma de realização na qual se aplica energia ao motor de um modo não linear para iniciar o movimento do motor. A corrente 42 no enrolamento é aplicada de um modo exponencial para fazer com que o motor atinja o seu binário máximo a uma frequência mais rápida do que se se utilizasse um aumento linear na corrente 44 no enrolamento. Esta abordagem dá origem a uma transição uniforme para um binário de saída elevado com uma baixa frequência inicial de aumento do binário, gerando, desse modo, menos ruído e consumindo menos energia do que se se utilizasse uma abordagem linear. Como mostrado na FIG. 5, a corrente 46 de pico no enrolamento é atingida muito mais rapidamente com a aplicação exponencial de energia ao motor do que com a aplicação linear. Nesta forma de realização, a corrente de pico de enrolamento é aplicada durante um passo de motor. Embora não mostrada, uma abordagem idêntica é utilizada no ponto de desaceleração do motor. A potência é removida num modo de declínio não linear, nesta forma de realização, um declínio exponencial. A FIG. 6 apresenta um gráfico do movimento do motor em resultado da aplicação exponencial de potência mostrada na FIG. 5. O motor atinge, mais rapidamente, a velocidade 43 angular máxima por meio da aceleração 45 exponencial do que por meio de uma aceleração 47 linear. Isto dá origem a que o motor passe mais

rapidamente por quaisquer frequências de ressonância que possam existir com menos ruído do que no caso da utilização da abordagem linear. Nesta forma de realização, o motor atingiu a sua velocidade angular de pico em quatro passos de motor. Além disso, é necessária menos potência para obter a velocidade desejada quando existe uma aceleração exponencial. No que se refere, agora, à FIG. 7, mostram-se dois intervalos 48 e 50 de tempo de correntes A 51 e B 53 de fase para o accionamento de um motor passo a passo. Em cada intervalo de tempo, o motor efectua um movimento ao longo de um grupo predeterminado de passos 52, 54 e 56 e é, depois, imobilizado no tempo restante do intervalo 58 de tempo. Por conseguinte, cada intervalo de tempo inclui períodos de aceleração 52, frequência 54 máxima de passos, desaceleração 56, e desactivação ou paragem 58 (embora só se mostrem algarismos num intervalo). No intervalo sem aplicação de potência, nesta forma de realização, o rotor é mantido em posição pelo binário de manutenção do seu campo magnético permanente. Verificou-se que, para a mesma frequência média de passos, o accionamento do motor do modo mostrado; *i. e.*, aceleração não linear até atingir uma frequência máxima de passos seleccionada, desaceleração por meio de um declínio não linear da frequência de passo, e desactivação, dá origem à utilização de uma menor potência média para controlar o motor do que o accionamento com frequência de passo constante mostrado na FIG. 4. A FIG. 8 mostra duas formas de onda 51 e 83 de correntes nos enrolamentos do grupo de passos num único intervalo de tempo da FIG. 7 em maior pormenor. A FIG. 8 irá ser

considerada com os diagramas vectoriais na FIG. 9 na discussão que se segue. A FIG. 9 contém gráficos que mostram sequências vectoriais de aceleração-desaceleração e de velocidade constante para o motor 10 passo a passo bifásico accionado pela forma de onda mostrada na FIG. 8. Os gráficos ilustram as três secções da forma de onda e os seus passos e micropassos de motor correspondentes. Os vectores indicam a direcção e magnitude do campo magnético que age sobre o rotor 12 em cada micropasso. A secção de aceleração ilustra a frequência de passo rapidamente crescente (*i. e.*, micropassos decrescentes para passos sucessivos) à medida que o rotor aumenta a velocidade utilizando um modo "monofase" modificado. A secção de alta velocidade mantida pela forma de onda de onda completa modificada mantém a velocidade constante do motor com um posicionamento correcto. A secção de desaceleração ilustra a frequência de passo rapidamente decrescente, à medida que o motor diminui a velocidade com, novamente, um modo "monofase" modificado. No micropasso nº 40, o final da secção de desaceleração, o rotor encontra-se perto da sua posição de manutenção antes da corrente para os enrolamentos do motor ser descontinuada. O rotor pára numa posição "monofase" antes do enrolamento ser desactivado. O rotor é, em seguida, mantido em posição pelo binário de manutenção gerado pelo íman permanente do rotor até que o grupo de passos seguinte seja aplicado ao motor. Isto dá origem a um posicionamento correcto do motor sem utilizar corrente para manter a posição. Durante a aceleração e desaceleração, o motor é accionado com uma forma de onda

"monofase" modificada. Isto corresponde aos passos 1-4 e 16-18, em que cada passo se inicia e termina com o motor numa posição de manutenção na qual o referido enrolamento ou fase excitados podem ser activados ou desactivados sem qualquer binário de motor resultante. Na presente forma de realização mostrada, um modo de accionamento "monofase" é utilizado para que o motor seja acelerado de um modo mais uniforme. O campo magnético não se encontra precisamente na posição de manutenção mas está, de algum modo, atrasado no final da aceleração nos passos 2 e 3 do motor para preparar o rotor para a transição para um modo de accionamento de alta velocidade. O campo é, do mesmo modo, ligeiramente atrasado no final de cada passo de desaceleração para preparar o rotor de modo a que este avance, sem esforço, para uma paragem precisamente numa posição de manutenção, no momento em que a corrente de enrolamento é suprimida. A quantidade de energia aplicada ao segundo enrolamento para que esta modificação aconteça depende dos parâmetros físicos do motor. Por exemplo, o momento de inércia do rotor, as cargas de atrito (estáticas, gravitacionais e viscosas), o binário de saída do motor, a intensidade do campo de manutenção e a resistência e indutância dos enrolamentos do motor podem, todos eles, afectar o ruído do motor e podem ser tidas em conta quando se selecciona a modificação da forma de onda "monofase". Os modos de accionamento "monofase" são modificados para micropasso entre posições "monofase" do rotor durante o movimento do motor. O binário pode ser aumentado e uma sequência de deslocamento vectorial uniforme do campo providenciada ao

excitar, temporariamente, mais do que um enrolamento durante cada passo. Utilizam-se micropassos na forma de onda "monofase" modificada para diminuir o deslocamento angular e ruído e para proporcionar uma aceleração mais uniforme para o motor. Uma sequência preferencial de micropassos gera uma magnitude de corrente de crescimento exponencial ao longo de todo o passo de aceleração inicial, como mostrado na FIG. 5. Como mencionado anteriormente, o motor é acelerado, de preferência, no início do intervalo de tempo com uma frequência de passo exponencialmente crescente até se obter a frequência de passo máxima para o motor num período mínimo de tempo. Uma frequência de passo exponencialmente crescente permite que a frequência de passo ultrapasse, mais rapidamente, as frequências de ressonância do motor, reduzindo, desse modo, ruído acústico, depois de fazer arrancar o motor desde uma posição estacionária com uma baixa aceleração angular inicial. A baixa aceleração angular inicial permite a utilização de um baixo binário de motor inicial, que pode ser expresso da seguinte forma:

$$\tau = J\alpha$$

em que  $\tau$  é o binário de motor,  $\alpha$  é a aceleração angular, e  $J$  é o momento de inércia da carga. O ruído é reduzido pelo facto de se fazer arrancar o motor a partir de uma posição estacionária com uma frequência de alteração de binário mais baixa do que seria o caso com um aumento linear da magnitude vectorial da corrente do motor. A magnitude

vectorial da corrente final de um passo do motor deve ser suficiente para gerar a necessária "reserva de binário" que garanta o arranque do motor com a carga mecânica mais desfavorável. Um perfil de corrente exponencialmente crescente permite a obtenção deste valor final num dado período, *i. e.*, um passo do motor, com uma frequência inicial de alteração de corrente e binário mais baixa. O baixo binário inicial reduz o consumo de energia, bem como ruído. Dado que o binário é uma função linear da corrente de enrolamento para funcionamento abaixo da saturação, só é necessária uma baixa corrente inicial nos enrolamentos, o que reduz o consumo de energia. Os níveis de corrente nos passos de aceleração inicial são mais significativos no consumo de energia, dado que estes passos são os que duram mais tempo de entre o grupo de passos. Todos os passos contêm micropassos com um período constante, e os passos de aceleração inicial contêm o maior número de micropassos. A utilização de uma aceleração de crescimento exponencial faz com que o motor atinja, rapidamente, a sua velocidade máxima desejada. As tabelas com as formas de onda da aceleração memorizadas na memória 22 podem ser programadas para aumentar a corrente de enrolamento à medida que a aceleração progride de modo a disponibilizar o nível de binário crescente necessário para sustentar uma frequência de crescimento não linear da aceleração. As tabelas memorizadas na memória contêm os valores para os micropassos no que se refere às sequências de passos da forma de onda para accionar o motor passo a passo. Para além disso, a exigência em largura de banda do controlador

pode ser minimizada utilizando micropassos tendo um período constante. A frequência de passo do motor em passos sucessivos durante a aceleração pode ser aumentada ao diminuir o número de micropassos por passo de motor e mantendo um período de micropasso constante, em vez de diminuir o período do micropasso e manter um número constante de micropassos por passo. O período de micropasso é o intervalo mais curto a decidir, porque o micropasso determina a largura de banda necessária do controlador. Normalmente, a aceleração é efectuada por meio da diminuição deste período para obter uma frequência mais elevada de micropassos por unidade de tempo. O aumento da frequência de micropassos, no entanto, necessita de uma largura de banda do controlador aumentada. O facto de se manter o período do micropasso constante durante a aceleração mantém constante a exigência de largura de banda do controlador e igual à que foi necessária para a frequência de passo inicial mais baixa. Dado que há um micropasso por passo de motor à frequência máxima, o período de passo do motor à frequência máxima é igual ao período do micropasso à frequência inicial mais baixa, como mostrado na FIG. 8, onde os micropassos são mostrados nos eixos horizontais e os passos de motor são mostrados entre os dois gráficos com setas envolvendo o número do passo do motor. A diminuição do número de micropassos por passo de motor quando o motor acelera é aceitável, dado que a frequências de passo mais elevadas a frequência de alteração do binário é uniformizada pela indutância do motor, e o motor tende a ser menos sensível a alterações no

binário a velocidades elevadas. Depois de atingir a velocidade desejada para o motor 10 passo a passo, utiliza-se uma forma de onda de onda completa modificada para a secção de frequência constante máxima do grupo de passos para accionar o motor 10 passo a passo bifásico. Para motores passo a passo tendo mais do que duas fases pode ser desejável utilizar uma forma de onda diferente. Como se mostra na FIG. 8, para cada passo das formas de onda 51 e 53 de onda completa modificada, uma corrente de enrolamento altera a polaridade de modo uniforme enquanto a outra permanece aproximadamente constante. Isto é mostrado, de um modo mais pormenorizado, nas FIGS. 10, 11A e 11B, com a corrente 60 de fase A e corrente 62 de fase B. A frequência à qual a mudança de polaridade ocorre é uma função da indutância do motor e da gama de tensões de accionamento do motor, como expresso por:

$$\partial I_{ENROLAMENTO} / \partial t = V_{gama} / L$$

Como  $V_{gama}$  do controlador e a indutância do motor,  $L$ , são constantes, a corrente no enrolamento sujeita a inversão de polaridade altera-se, aproximadamente, como uma função linear de tempo até atingir o seu valor final no fim do período de passo. Pode ser introduzida alguma não linearidade por meio da resistência do enrolamento do motor. O presente deslocamento vectorial do campo é uma função analógica uniforme determinada pelo declínio indutivo dos enrolamentos do motor, como mostrado nas FIGS. 10, 11A e 11B. O outro enrolamento é mantido com uma corrente constante igual ao valor final do declínio ou

menor do que este. O nível 66 de corrente constante é seleccionado de modo a minimizar o consumo de energia enquanto, simultaneamente, se proporciona o binário mínimo exigido de alta velocidade para a carga especificada. Quando o motor é accionado à sua velocidade máxima, que se escolhe de modo a ser bem superiora à sua ressonância, o ruído acústico normalmente associado com um accionamento de passo inteiro é reduzido. O ruído acústico, e o consumo de energia, podem ser ainda mais reduzidos através da optimização do nível de corrente constante, como descrito anteriormente, para um valor que minimize o consumo de energia, ao mesmo tempo que proporciona o binário mínimo exigido de alta velocidade para a carga especificada. Isto dá origem ao modo de accionamento de passo inteiro "modificado". Dado que um componente do vector de corrente se altera uniformemente desde o valor inicial até ao final durante cada passo de alta velocidade, o deslocamento vectorial de campo resultante (FIG. 11B) é uniforme e gera-se menos ruído. Não é necessário aumentar a largura de banda do controlador acima da do modo de accionamento com a frequência inicial mais baixa. Como se pode ver na FIG. 8, cada passo das formas de onda 51 e 53 de onda completa tem um período que é, de preferência, igual ao período de um micropasso. A FIG. 11A mostra em pormenor uma parte de uma forma de onda da FIG. 10 com incrementos de tempo arbitrários ao longo do eixo horizontal. A corrente 60 de fase A pode ser vista a efectuar, de modo uniforme, a transição de polaridade no intervalo de um passo de motor (oito incrementos de tempo arbitrários) com a consequente

diminuição dos níveis de ruído. Estas unidades de tempo arbitrárias são utilizadas uma vez mais na FIG. 11B para mostrar o deslocamento vectorial do campo no intervalo do referido passo de motor. Ocorre uma rotação vectorial uniforme sem passos discretos que conduzem a níveis de ruído mais elevados. Em vez de permitir que a corrente atinja o valor de declínio final mostrado na FIG. 10, o declínio da corrente é limitado ao nível 66 de corrente constante para que seja preciso um passo de motor para a inversão de polaridade.

Durante a desaceleração, o motor é, novamente, accionado com uma forma de onda "monofase" modificada para micropassos entre cada posição "monofase" que se inicia e termina com o motor numa posição de manutenção, em que o enrolamento ou fase excitados no passo final do grupo podem ser activados ou desactivados sem qualquer binário de motor resultante. Os modos de accionamento dos micropassos são espaçados com as posições de accionamento "monofase" para aumentar o binário e para proporcionar uma sequência de deslocamento vectorial uniforme de campo. Não é necessária energia para manter o motor na posição de manutenção estacionária final para o grupo de passos. O íman permanente no rotor 12 mantém o motor 10 passo a passo na posição de manutenção. Deste modo, a energia pode ser desactivada entre grupos de passos para reduzir o consumo médio de energia do motor 10 passo a passo ao longo de um intervalo de tempo. À medida que o sistema progride através de períodos de aceleração, alta velocidade e desaceleração,

o processador 20 efectua a comutação de índices de tabela para progredir através das tabelas individuais que contêm as formas de onda da aceleração, alta velocidade e desaceleração. O número de passos no intervalo de tempo, o tempo total do intervalo de tempo e a duração do intervalo sem alimentação são controlados pelo processador 20 para determinar, com precisão, a frequência de passo média do motor. Alguns dispositivos médicos, tais como bombas de fluido, podem empregar rotação com uma frequência média seleccionada por meio do agrupamento de passos para dispensar medicamentos com o doseamento correcto. Por exemplo, ver o Pedido de Patente U.S. com o nº de série 08/305677 apresentado em 12 de Setembro de 1994 por Butterfield et al intitulado *System for Increasing Flow Uniformity*. Dado que a frequência de passo média do motor é determinada pelo número de passos no grupo de passos e intervalo sem alimentação entre grupos, o mesmo perfil de frequência de passo máxima e aceleração-desaceleração pode ser utilizado para qualquer frequência de passo média desejada, e pode obter-se um rendimento óptimo em todas as frequências de passo médias por meio da selecção de uma frequência de passo optimamente elevada. Pode utilizar-se a mesma gama de tensões para o motor passo a passo em todas as frequências médias porque se utiliza a mesma frequência de passo máxima para o motor. Só é preciso alterar o número de passos no grupo de passos e o intervalo sem alimentação para regular a frequência média desejada para o motor. A gama de tensões é a tensão máxima requerida para manter um valor específico de corrente ao longo de um intervalo de

resistências de carga. O algoritmo e hardware de accionamento requerido são simplificações dos requeridos para optimizar o rendimento de um motor utilizando um modo de accionamento com frequência de passo máxima porque se utiliza a mesma frequência de passo constante para obter uma qualquer frequência média desejada. A mesma frequência de passo máxima para a forma de onda, seleccionada para um rendimento óptimo do motor, é utilizada independentemente da frequência de passo média desejada. Quando se utiliza um modo de accionamento com frequência de passo constante, deve utilizar-se uma frequência de passo constante menor e menos eficiente de modo a obter a frequência de passo média desejada. O motor 10 passo a passo, quando accionado pela combinação de modos de accionamento descritos anteriormente, tem um menor consumo de energia médio do que um accionado por um sinal de accionamento com frequência de passo constante. Utilizam-se modos de accionamento "monofase" com baixo consumo de energia e não se consome qualquer energia durante o tempo que medeia entre os grupos de passos. O rendimento do motor é optimizado por meio da selecção de uma elevada frequência de passo máxima cujo período coincide com o tempo de declínio da corrente de enrolamento requerido determinado pela indutância do motor e gama de tensões para obter a forma de onda mostrada nas FIGS. 10, 11A e 11B. A FIG. 12 é um fluxograma que ilustra o funcionamento de um sistema de controlo em circuito aberto de acordo com princípios do invento. Quando o movimento do motor está prestes a iniciar-se 80, o motor acelera em resultado da aplicação exponencial de corrente

aos enrolamentos 82. Utiliza-se um modo de accionamento "monofase" modificado para micropasso entre posições "monofase" com números decrescentes de micropassos durante a aceleração 84. Quando o motor atingir uma velocidade 86 pré-seleccionada, utiliza-se um modo de accionamento de passo inteiro modificado 88. Depois de ter rodado o número exigido de passos no modo de passo inteiro e sendo, agora, preciso desacelerar 90, utiliza-se um modo "monofase" modificado para micropasso entre as posições "monofase" com números crescentes de micropassos para desaceleração 92. A desaceleração é efectuada através da remoção exponencial de energia do motor. Quando o motor está numa posição 94 de manutenção, a energia é desligada 96. Embora o invento tenha sido ilustrado e descrito em termos de determinadas formas de realização preferenciais, é óbvio que o invento pode ser sujeito a inúmeras modificações e adaptações ao alcance dos especialistas com experiência na técnica. Deste modo, deve compreender-se que o presente invento pode ser sujeito a várias alterações em forma, pormenor e utilização sem divergir do âmbito das reivindicações anexas.

Lisboa, 6 de Setembro de 2007

## REIVINDICAÇÕES

1. Sistema de controlo para controlar o movimento de um motor (10) passo a passo, compreendendo:

uma fonte de energia;

um controlador (20) que aplica energia a partir da fonte de energia para acelerar o motor (10) através de um primeiro e segundo passos do motor, em que o primeiro passo do motor inclui uma primeira multiplicidade de micropassos, e o segundo passo do motor inclui uma segunda multiplicidade de micropassos, em que a primeira multiplicidade de micropassos é maior do que a segunda multiplicidade de micropassos; caracterizado por

o controlador (20) aplicar energia proveniente da fonte de energia ao motor de um modo não linear para acelerar o motor (10) passo a passo até uma velocidade de motor pré-seleccionada;

o controlador (20) aplicar energia para manter a velocidade pré-seleccionada durante um primeiro período de tempo predeterminado; e

o controlador (20) remover energia do motor de um modo não linear para desacelerar o motor (10) passo a passo para a posição de manutenção em que o controlador (20) do motor não fornece qualquer sinal de accionamento ao motor (10), depois do motor (10) parar na posição de manutenção durante um segundo período de tempo predeterminado.

2. Sistema da controlo de acordo com qualquer reivindicação anterior, caracterizado ainda por o controlador (20) manter um período de micropassos constante.

3. Sistema da controlo de acordo com, ou a reivindicação 1 ou 2, caracterizado ainda por o controlador (20) aplicar energia proveniente da fonte de energia para acelerar o motor (10) através de um terceiro passo do motor, em que o terceiro passo do motor inclui uma terceira multiplicidade de micropassos, em que a segunda multiplicidade de micropassos é maior do que a terceira multiplicidade de micropassos.

4. Sistema de controlo de acordo com qualquer das reivindicações 1 a 3, caracterizado ainda por o controlador (20) aplicar energia proveniente da fonte de energia ao motor (10) num modo de accionamento "monofase" modificado para micropasso entre as posições "monofase" durante o movimento do motor (10), em que o controlador (20) controla o motor (10) por meio da variação do número de micropassos por passo do motor, mantendo, ao mesmo tempo, um período de micropassos constante; em que o controlador (20) controla o motor para que este acelere, diminuindo o número de micropassos por passo do motor, mantendo, ao mesmo tempo, um período de micropassos constante.

5. Sistema de controlo de acordo com qualquer das reivindicações 1 a 4, caracterizado ainda por o controlador (20) remover energia do motor (10) num modo de accionamento "monofase" modificado para micropasso entre as posições "monofase" durante o movimento do motor (10) acabando numa posição "monofase" para o último passo do motor (10) antes da energia ser completamente removida, e em que o controlador (20) controla o motor para que este desaccelere, aumentando o número de micropassos por passo do motor, mantendo, ao mesmo tempo, um período de micropassos constante.

6. Sistema de controlo de acordo com qualquer reivindicação anterior, caracterizado ainda por o controlador (20) aplicar energia ao motor (10) num modo de accionamento de passo inteiro depois do motor (10) ter atingido uma velocidade pré-selecccionada.

7. Sistema de controlo de acordo com a reivindicação 6, caracterizado ainda por, quando se está no modo de passo inteiro, o controlador (20) aplicar energia proveniente da fonte de energia ao motor (10), para que o motor (10) se desloque com um micropasso por passo de motor durante o qual uma de, pelo menos, duas fases do motor passo a passo altera a polaridade enquanto a outra fase permanece com um valor constante, e por se seleccionar uma frequência de passo para que a alteração de polaridade seja realizada num período do passo de motor, por meio da qual se obtenha um deslocamento de campo uniforme do motor.

8. Sistema de controlo de acordo com qualquer reivindicação anterior, caracterizado ainda por o motor (10) passo a passo accionar um mecanismo (34) de bomba para administrar fluido medicinal a um doente.

9. Método para controlar o movimento de um motor (10) passo a passo que se desloca numa série de passos de motor, compreendendo o método:

controlar o motor (10) de modo a que este se desloque através de um primeiro passo de aceleração do motor numa primeira multiplicidade de micropassos;

controlar o motor (10) passo a passo de modo a que este se desloque através de um segundo passo de aceleração do motor numa segunda multiplicidade de micropassos, sendo o segundo passo do motor subsequente ao primeiro passo do motor, em que a segunda multiplicidade de micropassos é menor do que a primeira multiplicidade de micropassos;

sendo o método caracterizado por:

aplicar energia ao motor (10) passo a passo de um modo crescente não linear para acelerar o motor até uma velocidade de motor pré-seleccionada;

manter a velocidade pré-seleccionada durante um primeiro período de tempo predeterminado; e

remover energia do motor passo a passo de um modo não linear para desacelerar o motor (10) passo a passo, desde a velocidade pré-seleccionada até à posição de manutenção depois do primeiro período de tempo predeterminado, em que o controlador (20) de motor não fornece qualquer sinal de

accionamento ao motor depois do motor parar na posição de manutenção durante um segundo período de tempo predeterminado;

em que a frequência de passo é seleccionada de modo a que a alteração de polaridade seja realizada num período de passo de motor, por meio da qual se obtenha um deslocamento de campo uniforme do motor.

10. Método de acordo com a reivindicação 9, em que ambos os passos para controlar o deslocamento do motor (10) passo a passo incluem a manutenção de um período constante para os micropassos.

11. Método de acordo com a reivindicação 9 ou reivindicação 10, em que o motor (10) passo a passo tem, pelo menos, duas fases e um íman permanente que definem uma posição de manutenção na qual está em posição de repouso, sendo o método ainda caracterizado por:

aplicar uma corrente de enrolamento de crescimento exponencial de um modo exponencialmente crescente para acelerar o motor (10) passo a passo até uma velocidade de motor pré-seleccionada;

manter a velocidade pré-seleccionada durante um primeiro período de tempo predeterminado; e

diminuir exponencialmente a corrente de enrolamento para desacelerar o motor (10) passo a passo desde a velocidade pré-seleccionada até à posição de manutenção depois do primeiro período de tempo predeterminado, em que

o motor (10) pára na posição de manutenção durante um segundo período de tempo predeterminado.

12. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações 9 a 11 caracterizado ainda por:

desacelerar o motor (10) passo a passo numa série de passos de desaceleração do motor, sendo um primeiro dos referidos passos de desaceleração do motor dividido num primeiro número de micropassos de desaceleração, e um segundo dos referidos passos de desaceleração do motor dividido num segundo número de micropassos de desaceleração;

em que o primeiro número de micropassos de desaceleração é inferior ao segundo número de micropassos de desaceleração.

13. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações 9 a 12 anteriores, caracterizado ainda por:

accionar um mecanismo (34) de bomba com o motor (10) passo a passo para administrar fluido medicinal a um doente.

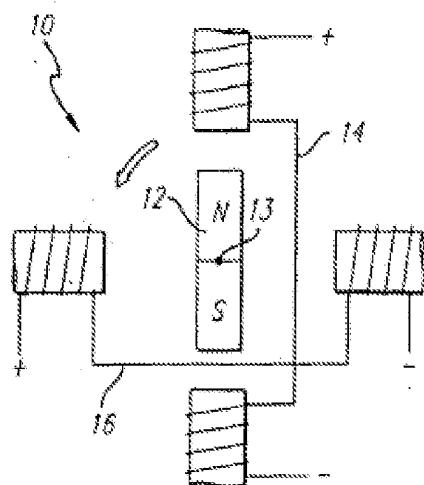
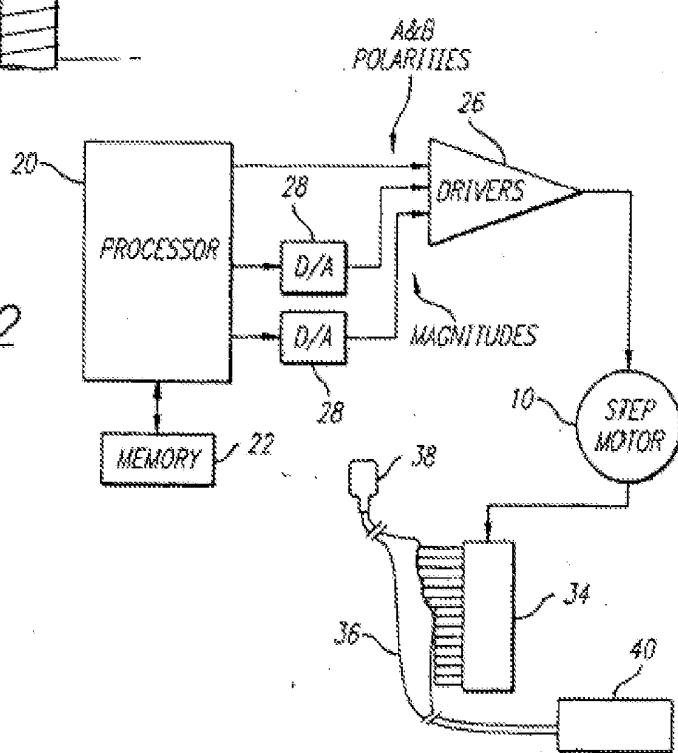


FIG. 1

FIG. 2



PHASE A CURRENT

PHASE B CURRENT

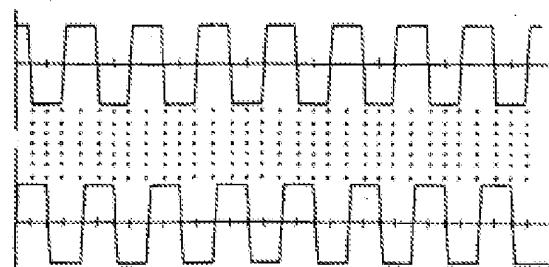


FIG. 4

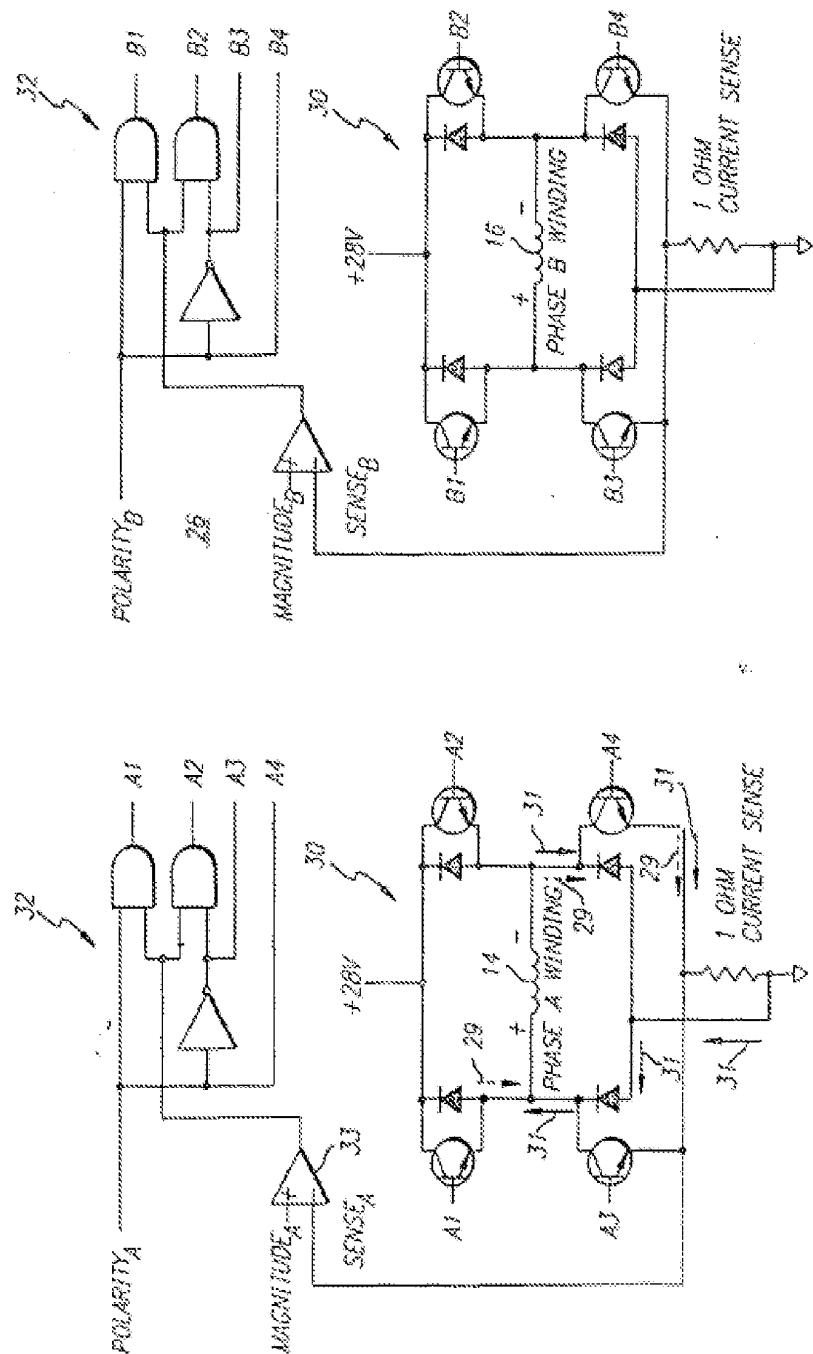
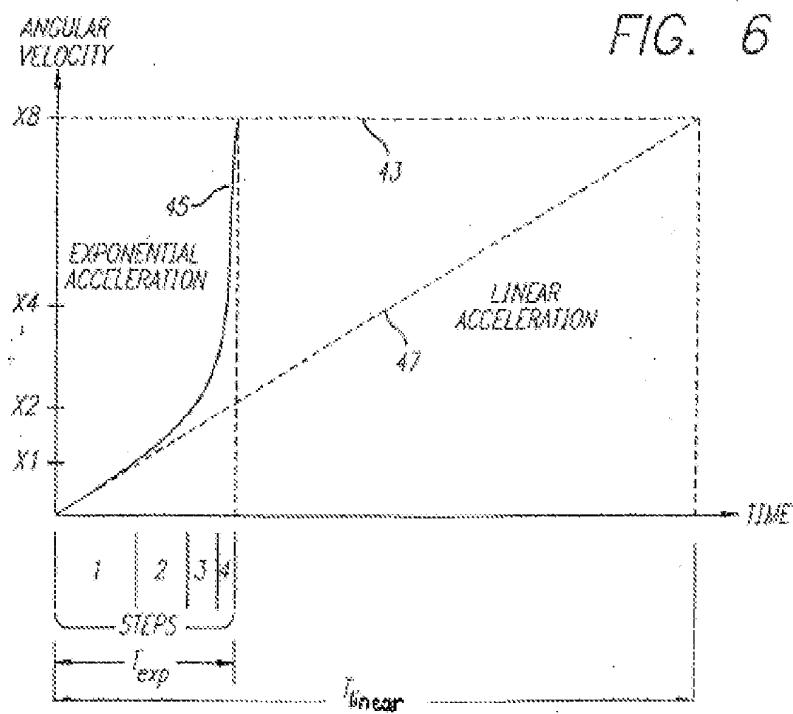
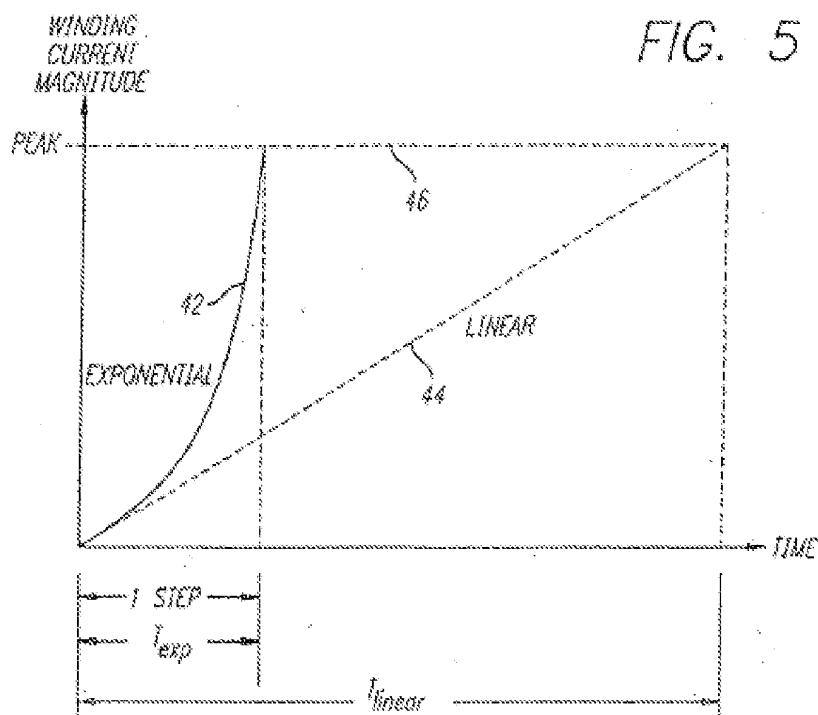


FIG. 3



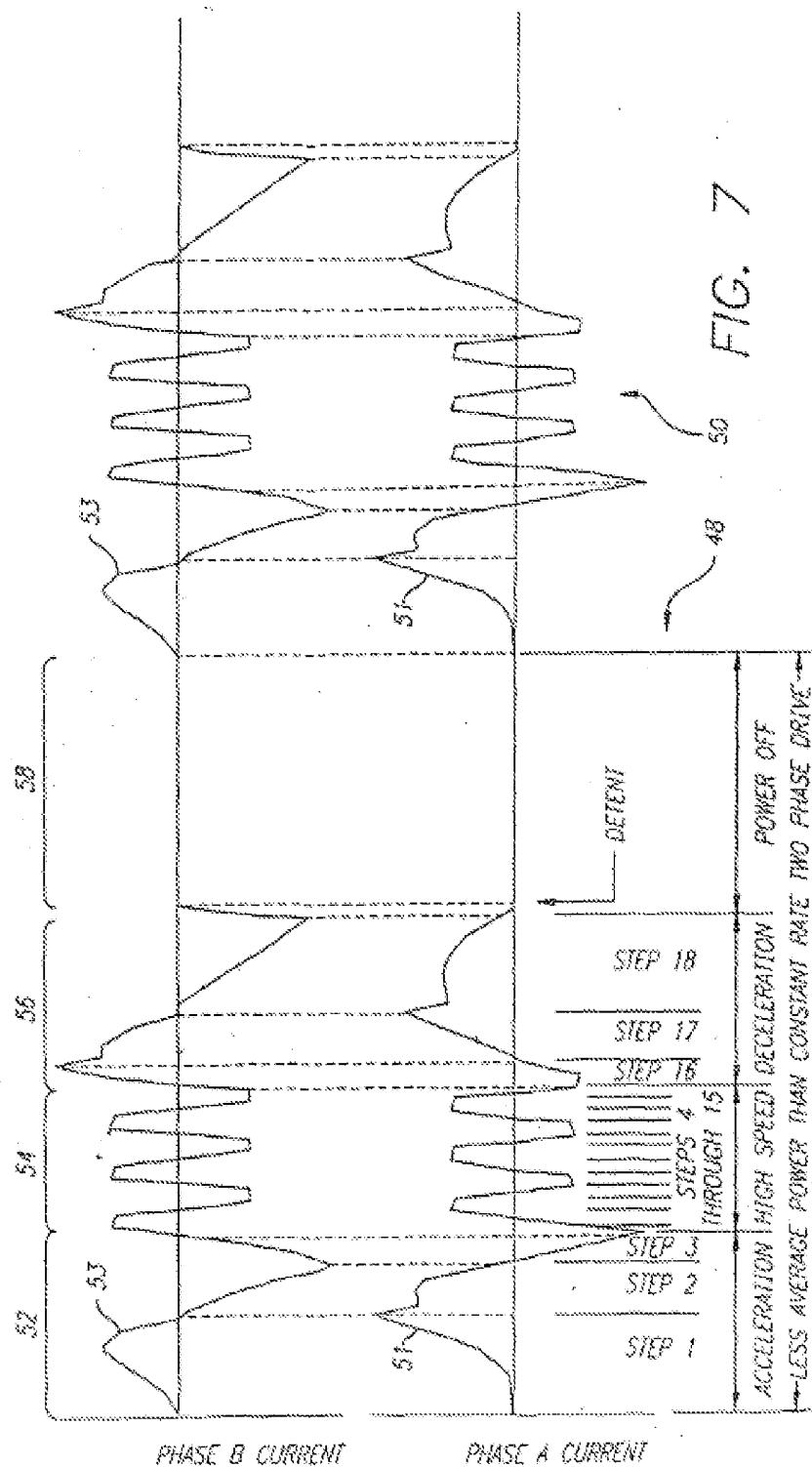
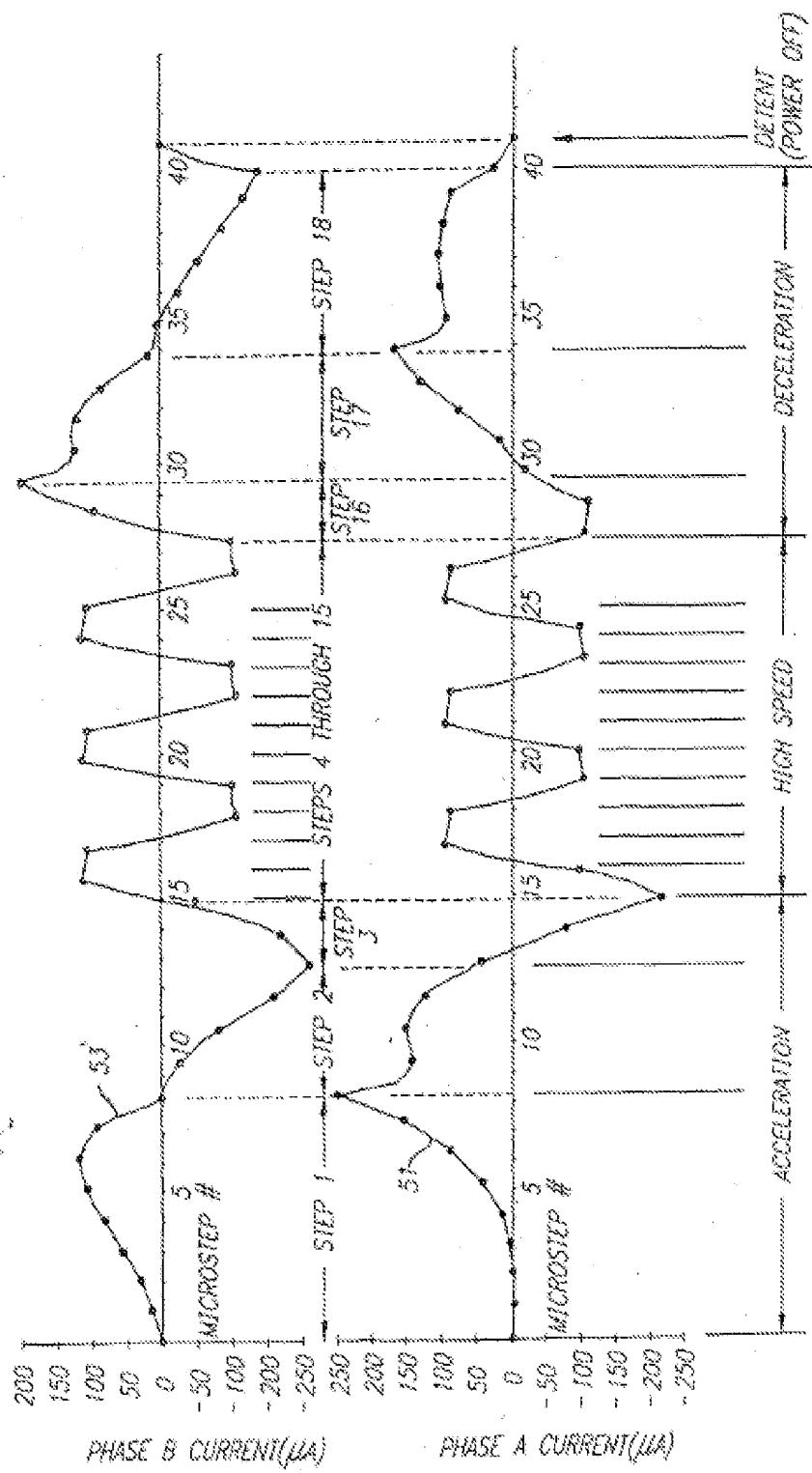


FIG. 8



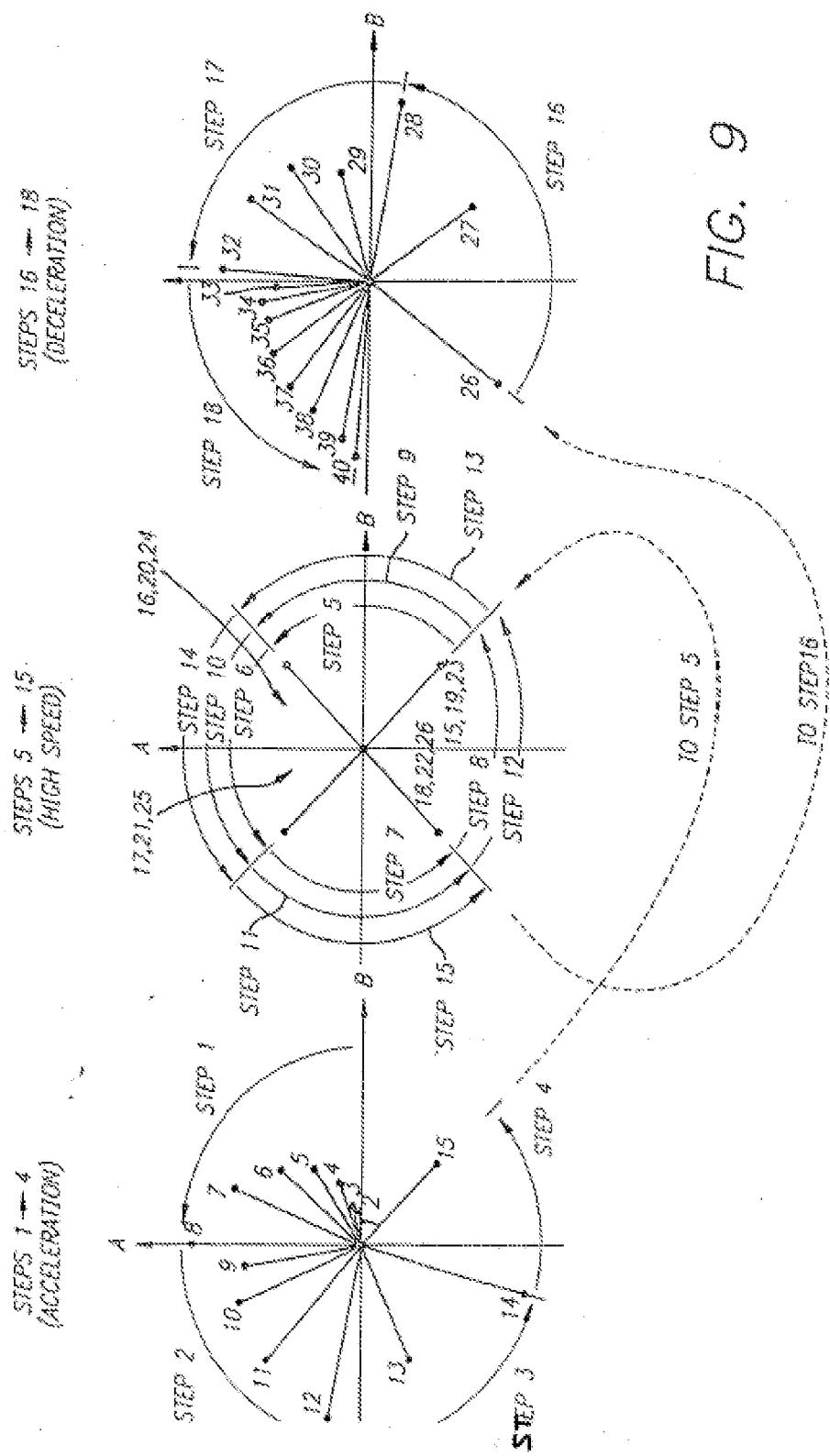


FIG. 10

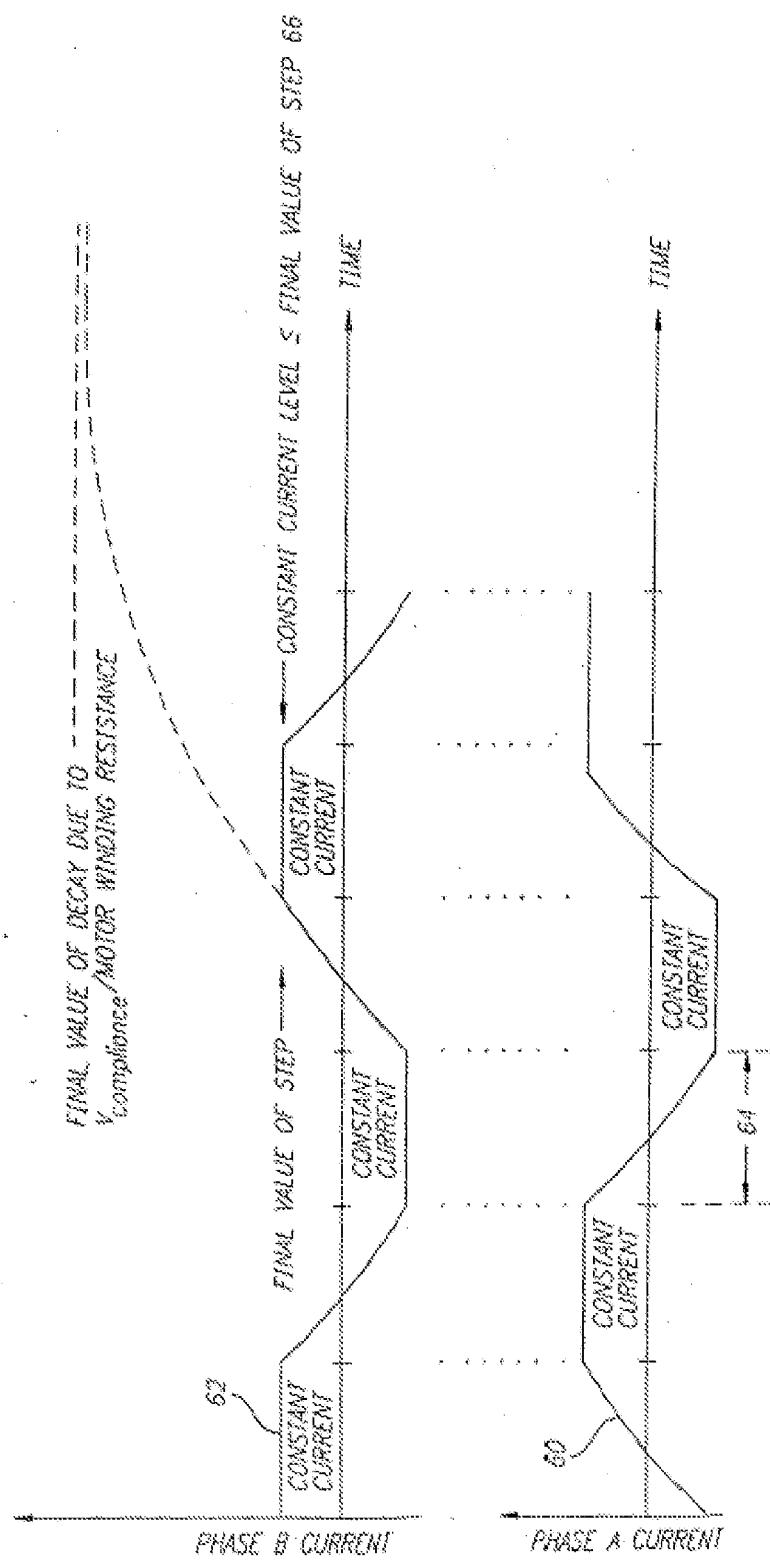


FIG. 11A

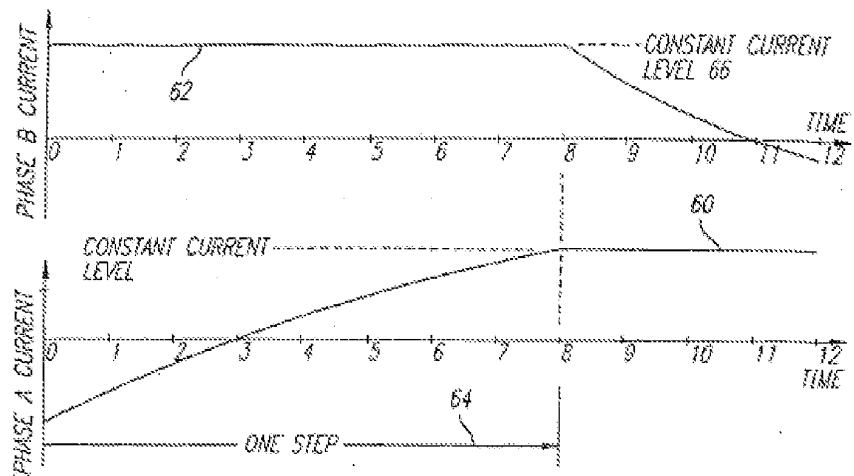
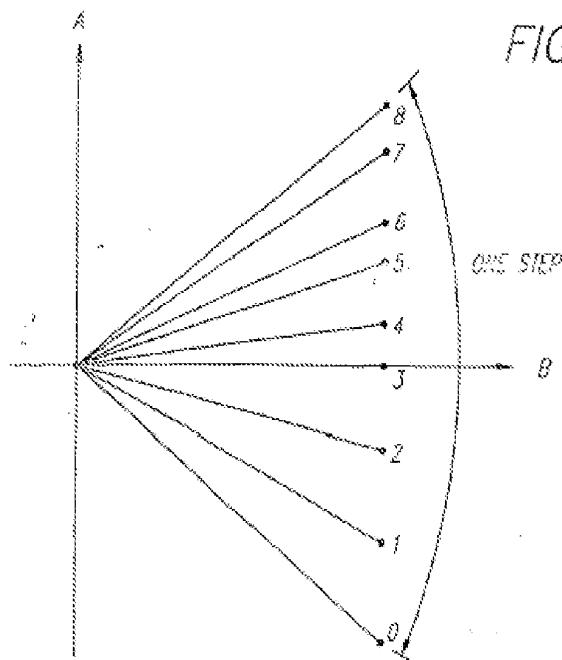
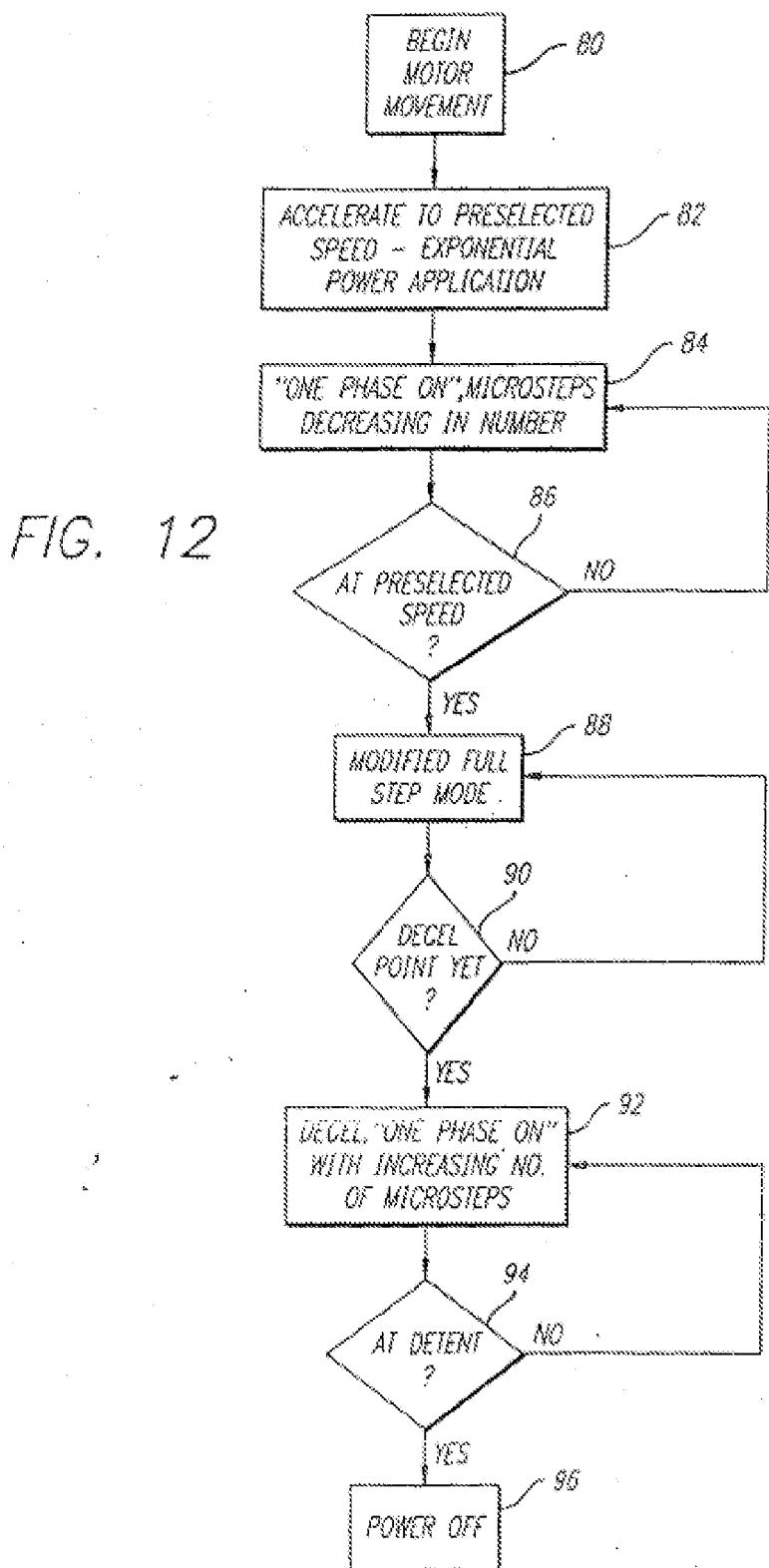


FIG. 11B





## LEGENDA DOS DESENHOS

FIG. 2

20 - Processador  
22 - Memória  
10 - Motor passo a passo  
26 - Elementos de excitação  
A&B... - Polaridades A & B  
Magnitudes - Magnitudes

FIG. 3

Polarity - Polaridade  
Magnitude - Magnitude  
Sense - Sentido  
Phase A/B winding - Enrolamento de fase A/B  
1 ohm current sense - Sentido de corrente 1 Ohm

FIG. 4

Corrente de fase B / Corrente de fase A

FIG. 5

Ordenadas - Magnitude da corrente de enrolamento  
Abscissas - Tempo  
Peak - Pico

42 - Exponencial

44 - Linear

1 Step - 1 passo

FIG. 6

Ordenadas - Velocidade angular

Abcissas - Tempo

45 - Aceleração exponencial

47 - Aceleração linear

Steps - Passos

FIG. 7

Phase B/A current - Corrente de fase B/A

Step - Passo

Detent - Manutenção

Steps 4 through... Passos 4 a 15

Acceleration - Aceleração

High speed - Alta velocidade

Deceleration - Desaceleração

Power off - Sem alimentação

Less average ... - Menos potência média do que com modo de accionamento bifásico com frequência constante

FIG. 8

Phase B/A current - Corrente de fase B/A

Step - Passo

Steps 4 through... Passos 4 a 15

Microstep - Micropasso

Steps 4 through... Passos 4 a 15

Detent - Manutenção

Acceleration - Aceleração

High speed - Alta velocidade

Deceleration - Desaceleração

Power off - Sem alimentação

FIG. 9

Steps - Passos

Acceleration - Aceleração

High speed - Alta velocidade

Deceleration - Desaceleração

To step - Para o passo ...

FIG. 10

Phase B/A current - Corrente de fase B/A

Constant current - Corrente constante

Final value of step - Valor final de passo

Final value of decay... - Valor final de declínio devido

$V_{gama}$ /resistência de enrolamento de motor

Constant current level... - Nível de corrente constante  $\leq$   
valor final de passo 66

Time - Tempo

FIG. 11A

Phase B/A current - Corrente de fase B/A

Constant current level - Nível de corrente constante

Time - Tempo

One step - Um passo

FIG. 11B

One step - Um passo

FIG. 12

80 - Início do movimento do motor

82 - Acelerar até à velocidade pré-selecionada - aplicação  
de potência exponencial

84 - "monofase", micropassos decrescentes em número

86 - Está à velocidade pré-selecionada?

No - Não, Yes - Sim

88 - Modo de passo inteiro modificado

90 - Atingiu-se o ponto de desaceleração?

92 - Desacelerar, "monofase" com número crescente de  
micropassos

94 - Na posição de manutenção?

96 - Sem alimentação