



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

(11) PI 0705049-6 B1



(22) Data do Depósito: 28/12/2007

(45) Data de Concessão: 26/02/2019

(54) Título: COMPRESSOR DE GÁS MOVIDO POR UM MOTOR LINEAR, TENDO UM DETECTOR DE IMPACTO ENTRE UM CILINDRO E UM PISTÃO, MÉTODO DE DETECÇÃO E SISTEMA DE CONTROLE

(51) Int.Cl.: F25B 31/00; F25B 1/00; F25B 3/00.

(73) Titular(es): EMBRACO INDÚSTRIA DE COMPRESSORES E SOLUÇÕES EM REFRIGERAÇÃO LTDA.

(72) Inventor(es): DIETMAR ERICH BERNHARD LILIE; NERIAN FERNANDO FERREIRA; PAULO SERGIO DAINEZ; MARCELO KNIES.

(57) Resumo: MÉTODO DE DETECÇÃO DE IMPACTO ENTRE UM CILINDRO E PISTÃO ACIONADO POR UM MOTOR LINEAR, DETECTOR DE IMPACTO ENTRE UM CILINDRO E PISTÃO ACIONADO POR UM MOTOR LINEAR, COMPRESSOR DE GÁS, SISTEMA DE CONTROLE PARA UM CONJUNTO DE CILINDRO E UM PISTÃO ACIONADO POR UM MOTOR LINEAR. A presente invenção refere-se a um método capaz de detectar a ocorrência de impacto ou colisão entre um cilindro (2) e pistão (1) acionado por um motor linear de um compressor de gás. Tal método compreende as etapas de: i) obtenção de um sinal de referência (Sr) associado a uma saída elétrica do motor linear antes do pistão atingir o ponto morto superior; ii) obtenção de um sinal de detecção (Sd) associado a referida saída elétrica do motor linear após o pistão atingir o ponto morto superior; iii) comparação entre o sinal de referência (Sr) e o sinal de detecção (Sd); e iv) registro da ocorrência do impacto quando o resultado da comparação da etapa iii indicar que o sinal de detecção (Sd) apresenta variação decorrente do impacto entre o cilindro (2) e o pistão (1), considerando uma tolerância pré-estabelecida. A presente invenção refere-se também a um dispositivo eletrônico detector capaz de executar a (...).

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para
**"COMPRESSOR DE GÁS MOVIDO POR UM MOTOR LINEAR,
TENDO UM DETECTOR DE IMPACTO ENTRE UM CILINDRO E UM
PISTÃO, MÉTODO DE DETECÇÃO E SISTEMA DE CONTROLE".**

[001] A presente invenção refere-se a um método capaz de detectar a ocorrência de impacto ou colisão entre um cilindro e pistão, acionado por um motor linear, em um compressor de gás.

[002] A presente invenção refere-se também a um dispositivo eletrônico capaz de detectar a ocorrência de impacto ou colisão entre um cilindro e pistão, acionado por um motor linear, em um compressor de gás.

[003] A presente invenção refere-se ainda a um compressor de gás que compreende o dispositivo acima mencionado.

[004] A presente invenção refere-se ainda a um sistema de controle para um conjunto de um cilindro e pistão, acionado por um motor linear, que compreende o dispositivo acima mencionado.

DESCRIÇÃO DO ESTADO DA TÉCNICA

[005] Atualmente, é comum o uso de conjuntos de pistão e cilindro acionados por motor linear. Este tipo de conjunto é vantajosamente aplicado, por exemplo, a compressores lineares em sistemas de refrigeração, tais como refrigeradores e aparelhos de ar condicionado. Os compressores lineares apresentam um baixo consumo de energia e, portanto, são bastante eficientes para a aplicação em questão.

[006] O compressor linear é normalmente constituído por um pistão que se desloca no interior de um cilindro. Normalmente, no cabeçote deste cilindro, estão posicionadas válvulas de sucção e de descarga de gás, as quais regulam a entrada de gás em baixa pressão e a saída de gás em alta pressão de dentro do cilindro. O movimento axial do pistão dentro do cilindro do compressor linear realiza a compressão do gás admitido pela válvula de sucção, aumentando a pressão do mes-

mo, e descarregando-o pela válvula de descarga para uma zona de alta pressão. Alternativamente, há configurações de compressores lineares em que a válvula de sucção está posicionada no pistão, ou ainda a placa de válvulas pode estar ausente, sendo que, neste caso, a válvula de descarga cobre todo o topo do cilindro.

[007] O compressor linear deve ser capaz de controlar o deslocamento do pistão dentro do cilindro, para evitar que o pistão colida com o cabeçote do cilindro, ou com outros componentes dispostos no outro extremo do percurso do pistão, o que causa um forte ruído e barulho desagradável, assim como desgaste do equipamento. Mesmo assim, para otimizar a eficiência e o desempenho do compressor linear e minimizar o consumo de energia do compressor, é desejável que o pistão realize o maior deslocamento possível dentro do cilindro, se aproximando o máximo possível do cabeçote do pistão, porém sem colidir com o mesmo.

[008] Normalmente, tal controle de deslocamento do pistão é feito através de sensores capazes de identificar a posição do pistão. Para que isto seja possível, a amplitude do deslocamento do cilindro quando o compressor está em operação deve ser conhecida com precisão, sendo que quanto maior o erro estimado desta amplitude, maior terá que ser a distância de segurança entre o ponto máximo de deslocamento do pistão e o cabeçote do cilindro, para evitar a colisão entre os mesmos. Esta distância de segurança proporciona uma perda de eficiência do compressor.

[009] Já são conhecidos do estado da técnica alguns mecanismos e sistemas que controlam o deslocamento axial do pistão dentro do cilindro de um compressor linear. Dentre eles, o documento JP 11336661 revela uma unidade de controle da posição do pistão, que usa sinais discretos de posição medidos por um sensor de posição e posteriormente os interpola para determinar a posição de avanço má-

ximo do pistão. Com esta solução, é possível atingir um grau elevado de precisão da amplitude de deslocamento do pistão. Todavia, a medição da amplitude de deslocamento do pistão não é feita no local de interesse que mede a distância entre o pistão e o cabeçote do cilindro. Por conta disso, o sistema desta invenção fica sujeito às tolerâncias da posição de montagem do sensor de posição.

[0010] O documento BR 0001404-4 descreve um sensor de posição particularmente aplicável à detecção da posição de um pistão de um compressor deslocável axialmente. O compressor compreende uma lâmina de válvula que fica posicionada entre um cabeçote e um corpo vazado onde o pistão se desloca. O sensor compreende uma sonda eletricamente conectada a um circuito de controle, a sonda sendo capaz de captar a passagem do pistão por um ponto do corpo vazado e sinalizar para o circuito de controle. Este sistema é, portanto, capaz de medir a distância entre o pistão e o cabeçote do cilindro, porém a arquitetura do circuito elétrico utilizado como transdutor de posição do cilindro gera um ruído elétrico indesejável, devido às falhas de contato elétrico, o que gera imprecisão na medição.

[0011] O documento BR 0203724-6 propõe uma outra forma de detecção da posição do pistão em um compressor linear, para evitar que ele venha a colidir com a placa de transferência de fluidos, por ocasião de variações nas condições de operação do compressor, ou mesmo variações na tensão de alimentação. A solução proposta neste documento mede a distância entre o pistão e a placa de fluido diretamente no topo do pistão, sendo, portanto, uma solução de alta precisão. Porém, esta arquitetura necessita de um espaço para a instalação do sensor na placa de válvulas e apresenta um custo mais elevado.

[0012] Os documentos do estado da técnica acima mencionados descrevem soluções baseadas na medição direta de posicionamento e deslocamento de pistão através de sensores específicos e, aparente-

mente, elas não são capazes de aliar boa precisão de controle e baixo custo. Além disso, tais soluções envolvem uma certa complexidade de implementação, dificultando o processo de produção, pois é exigida uma alta precisão de montagem. Adicionalmente, a utilização de um sensor de posição ou deslocamento exige a alocação de um espaço adicional do compressor, o que é indesejável, pois dificulta o desenvolvimento de um produto compacto que ocupe um espaço otimizado.

[0013] O documento US 5342176 propõe um método que prevê a amplitude de operação do pistão pelo monitoramento de variáveis do motor, tais como corrente e tensão aplicadas ao motor linear de ímã permanente, ou seja, o próprio motor linear é o transdutor de posição do pistão. Esta solução apresenta a vantagem de dispensar o uso de um transdutor adicional, tal como um sensor, dentro do compressor. Porém, o método proposto possui a grande desvantagem de apresentar uma precisão muito baixa, o que provoca uma perda considerável no desempenho do compressor, pois exige que a distância de segurança entre o pistão e o cabeçote de cilindro seja bastante grande, para evitar colisão.

OBJETIVOS DA INVENÇÃO

[0014] Um primeiro objetivo da presente invenção é consiste em prover uma metodologia para detectar um impacto entre um cilindro e pistão acionado por um motor linear que dispense a utilização de um sensor.

[0015] Um segundo objetivo da presente invenção é prover um detector de impacto entre um cilindro e pistão acionado por um motor linear, que apresente baixo custo e que dispense a utilização de um sensor.

[001] Um terceiro objetivo da invenção consiste em prover um compressor de gás capaz de realizar a detecção de impacto entre um cilindro e pistão acionado por um motor linear, que apresente baixo

custo e que dispense a utilização de um sensor.

[002] Um quarto objetivo da invenção consiste em prover um sistema de controle capaz de prevenir o impacto do pistão com o cilindro, que apresente boa precisão.

BREVE DESCRIÇÃO DA INVENÇÃO

[003] Os objetivos da presente invenção são alcançados por meio de O primeiro objetivo da presente invenção é alcançado através de um método de detecção de impacto entre um cilindro e um pistão acionado por um motor linear, compreendendo as etapas de:

i) obtenção de um sinal de referência associado a uma saída elétrica do motor linear antes do pistão atingir o ponto morto superior;

ii) obtenção de um sinal de detecção associado à referida saída elétrica do motor linear após pistão atingir o ponto morto superior;

iii) comparação entre o sinal de referência e o sinal de detecção (Sd); e

iv) registro da ocorrência do impacto quando o resultado da comparação da etapa iii indicar que o sinal de detecção apresenta uma variação decorrente do impacto entre o cilindro e o pistão considerando uma tolerância pré-estabelecida.

[004] O segundo objetivo da presente invenção é alcançado pela provisão de um detector de impacto entre um cilindro e um pistão acionado por um motor linear compreendendo pelo menos um circuito de condicionamento conectado eletricamente ao motor linear, sendo que o circuito de condicionamento compreende: pelo menos um filtro configurado para selecionar uma faixa de alta frequência de um sinal elétrico proveniente do motor; pelo menos um meio comparador conectado eletricamente ao filtro e capaz de comparar um sinal de referência proveniente do filtro a um sinal de detecção, sendo que o comparador é con-

figurado para obter o sinal de referência antes do pistão atingir o ponto morto superior, e obter o sinal de detecção após o pistão atingir o ponto morto superior; e pelo menos um meio de monitoração do sinal elétrico associado à saída do comparador, sendo que o meio de monitoração é configurado para detectar o impacto quando o comparador indicar que o sinal de detecção apresenta uma variação em relação ao sinal de referência, considerando uma tolerância pré-estabelecida.

[005] O terceiro objetivo da presente invenção é alcançado pela provisão de um compressor de gás compreendendo pelo menos um cilindro e um pistão acionado por um motor linear; e pelo menos um detector de impacto entre o cilindro e o pistão, o detector sendo conectado eletricamente ao motor e sendo de acordo com o acima mencionado.

[006] O quarto objetivo da presente invenção é alcançado pela provisão de um sistema de controle para um conjunto de cilindro e um pistão acionado por um motor linear, o sistema de controle compreendendo pelo menos um controlador conectado operativamente ao motor; e pelo menos um detector de impacto entre o cilindro e o pistão, o detector sendo conectado eletricamente ao controlador e sendo de acordo com o acima mencionado.

DESCRIÇÃO RESUMIDA DOS DESENHOS

[007] A presente invenção será, a seguir, mais detalhadamente descrita com base em um exemplo de execução representado nos desenhos. As figuras mostram:

Figura 1 – é uma vista em seção transversal de um compressor ao qual é aplicado o método de detecção de impacto entre um cilindro e pistão de acordo com a presente invenção;

Figura 2 – representa um gráfico que ilustra curvas do motor linear em uma situação em que não ocorre impacto entre o cilindro e o pistão;

Figura 3 – representa um gráfico que ilustra curvas do motor linear em uma primeira situação em que ocorre impacto entre o cilindro e o pistão;

Figura 4 – representa um gráfico que ilustra curvas do motor linear em uma segunda situação em que ocorre impacto entre o cilindro e o pistão;

Figura 5 – representa uma ampliação da área destacada no gráfico ilustrado na figura 4, mostrando a região que ilustra o impacto entre o cilindro e o pistão;

Figura 6 – representa um diagrama de blocos ilustrando os elementos de um detector de impacto entre o cilindro e o pistão, objeto da presente invenção; e

Figura 7 – Representa um diagrama de blocos ilustrando um sistema de controle de um conjunto de cilindro e pistão, objeto da presente invenção.

DESCRIÇÃO DETALHADA DAS FIGURAS

CONJUNTO PISTÃO E CILINDRO ACIONADO POR MOTOR LINEAR

[008] A figura 1 ilustra um compressor com motor linear ao qual pode ser aplicado o conjunto de pistão e cilindro acionado por motor linear dotado de um detector de impacto entre um cilindro 2 e pistão 1 de acordo com a presente invenção.

[009] O conjunto de pistão e cilindro, ilustrado em uma modalidade preferida, na figura 1, compreende um cilindro 2, o qual apresenta uma placa de válvulas na sua extremidade superior, também chamada de cabeçote de válvula. Esta placa de válvulas compreende uma válvula de sucção de ar 3a que admite ar em baixa pressão para o interior do cilindro 2, e uma válvula de descarga de ar 3b que descarrega ar em alta pressão para fora do cilindro 2, caso o conjunto de pistão e cilindro seja aplicado a um compressor de ar.

[0010] Em outras aplicações do conjunto de pistão e cilindro, as

válvulas de sucção e descarga 3a e 3b, que se comunicam com o interior do cilindro 2, podem operar com outros tipos de fluido. Por exemplo, caso o conjunto de pistão e cilindro seja aplicado a uma bomba, as válvulas 3a e 3b podem admitir e descarregar outro tipo de fluido, tal como água.

[0011] O conjunto de pistão e cilindro compreende ainda um pistão 1 que se desloca no interior do cilindro 2, constituindo com este um conjunto ressonante. O pistão 1 realiza, dentro do cilindro 2, um movimento alternativo linear, exercendo uma ação de compressão do gás admitido dentro do cilindro 2 pela válvula de sucção 3a, até o ponto em que este gás pode ser descarregado para o lado de alta pressão, através da válvula de descarga 3b.

[0012] O pistão 1 é acoplado a pelo menos um ímã 5, de modo que o deslocamento do pistão 1 provoca um deslocamento correspondente do ímã 5 e vice-versa. O ímã 5 é preferivelmente disposto ao redor da superfície externa do pistão 1, como pode ser visto na figura 1. Em formas alternativas da invenção, o ímã pode estar conectado de maneiras distintas ao pistão 1, por exemplo sendo fixado a uma haste que está ligada ao pistão 1.

[0013] O conjunto de pistão e cilindro é ainda dotado de uma estrutura de suporte 4 que pode servir de apoio para o pistão 1 e/ou de guia para o deslocamento do pistão 1 e/ou do ímã 5. Ao longo de pelo menos uma parte da estrutura de suporte 4, é formado um espaço de entreferro 12 onde o ímã se desloca.

[0014] Em uma modalidade preferida da invenção mostrada na figura 1, duas molas helicoidais 7a e 7b são montadas contra o pistão 1, em cada um de seus lados, sendo que tais molas encontram-se preferivelmente sempre comprimidas. O pistão 1, juntamente com as partes móveis do atuador e as molas helicoidais, formam o conjunto ressonante do compressor.

[0015] O atuador do conjunto de pistão e cilindro é composto por pelo menos uma bobina de motor 6 alimentada eletricamente, a fim de produzir um campo magnético. A bobina de motor 6 deve ficar disposta de tal forma que o campo magnético gerado por ela atue sobre o percurso de deslocamento do ímã 5 do pistão 1.

[0016] Assim, quando a bobina de motor é alimentada eletricamente, ela gera um fluxo magnético pelo menos ao longo de parte do espaço de entreferro 12, e que pode ser variável e controlado, em função da tensão de alimentação aplicada à bobina de motor 6. Consequentemente, a variação do campo magnético gerado pela bobina de motor 6 em decorrência da tensão aplicada a ela induz o ímã 5 a se deslocar reciprocamente ao longo do espaço de entreferro 12, fazendo o pistão 1 se afastar e se aproximar da placa de válvulas 3a e 3b do cilindro 2, comprimindo, assim, o gás admitido dentro do cilindro 2. A amplitude de operação do pistão 1 corresponde à amplitude total de deslocamento do pistão 1 dentro do cilindro 2.

[0017] A amplitude de operação do pistão 1 é regulada com o equilíbrio da potência gerada pelo atuador e a potência consumida pelo mecanismo na compressão do gás e demais perdas. Para extrair a máxima capacidade de bombeamento do conjunto de pistão e cilindro, é necessário operar a uma amplitude em que o pistão 1 se aproxime o máximo possível da placa de válvulas 3a, 3b, mas sem que haja impacto ou colisão. Este impacto não é desejável, pois causa um forte ruído, e, além disso, sucessivos impactos que ocorrem continuamente ao longo da utilização do equipamento podem danificar o mesmo.

MÉTODO DE DETECÇÃO DE IMPACTO ENTRE O CILINDRO E PISTÃO ACIONADO POR UM MOTOR LINEAR

[0018] A abordagem da presente invenção consiste em uma metodologia capaz de detectar pelo menos um impacto entre o pistão 1 e cilindro 2 para que um sistema de controle adequado seja capaz de

diminuir a incidência e até mesmo de evitar futuros impactos a partir das informações providas por esta metodologia.

[0019] O método de detecção de impacto entre o cilindro 2 e o pistão 1 acionado por um motor linear compreende uma primeira etapa i) de obtenção de um sinal de referência S_r , associado a uma saída elétrica do motor linear, durante um intervalo de tempo de referência Δt_r . Preferencialmente, a saída elétrica do motor linear é um sinal de tensão elétrica, porém, outras grandezas podem ser utilizadas como, por exemplo, corrente elétrica. Esta saída elétrica é tratada por um filtro que permite a passagem apenas de uma faixa de frequências altas. Para a presente invenção, a faixa de frequências altas compreende a frequência que pode ser apresentada pela resposta do impacto entre o cilindro e o pistão. Tal frequência é relativamente maior que a frequência de operação normal do compressor. Desta forma, o filtro é ajustado para separar a frequência de operação do compressor da frequência do sinal resultante quando do impacto entre o cilindro e o pistão. Desta forma, o sinal de referência S_r é um sinal filtrado da saída elétrica do motor linear. Nas figuras 2 a 5, o sinal elétrico filtrado está representado pela curva "B" e o sinal original está representado pela curva "A".

[0020] O intervalo de tempo de referência Δt_r corresponde a uma "janela de tempo" decorrido entre um primeiro instante t_1 e um segundo instante t_2 , onde o segundo instante t_2 ocorre após o primeiro instante t_1 ($t_2 > t_1$). O segundo instante t_2 corresponde ao instante em que o pistão 1 atinge o ponto morto superior ou o ponto máximo. Neste instante t_2 , o sinal de tensão elétrica atinge o valor zero, como pode ser observado nos gráficos das figuras 2 a 5 (ponto de cruzamento da curva de tensão na abscissa ou eixo de tempo). Assim, no caso da presente invenção, pode-se usar este cruzamento para saber o instante em que o pistão 1 atingiu seu ponto máximo quando o mesmo poderia colidir com o cilindro 2.

[0021] O primeiro instante t_1 pode ser determinado a partir do segundo instante t_2 , de tal forma que subtrai-se um valor de tempo do segundo instante t_2 , sendo tal valor correspondente ao valor do intervalo de tempo de referência Δt_r em módulo. Preferencialmente, o valor do intervalo de tempo de referência Δt_r é pré-estabelecido. Porém, outras formas de determinar este intervalo podem ser utilizadas, como por exemplo, técnicas inteligentes baseadas em sistemas de aprendizado.

[0022] Em uma situação ideal, não deveria ocorrer impacto entre o pistão 1 e o cilindro 2, ou seja, após o pistão 1 atingir o ponto morto superior no instante t_2 , ele não deveria colidir com o cilindro 2. Entretanto, esta situação nem sempre é possível, principalmente através de uma solução simples e de baixo custo, pois o conjunto motor-cilindro-pistão é comumente submetido a perturbações e ações externas que são difíceis de quantificar na fase de projeto. Desta maneira, muitas vezes, o impacto é inevitável e, sendo assim, a presente metodologia desta invenção provê uma solução para a detecção deste impacto para que um sistema de controle possa atuar de forma a prevenir/evitar futuros impactos ou pelo menos diminuir a incidência dos mesmos.

[0023] Esta metodologia também pode ser utilizada para fins de calibração de sensores de posição utilizados para determinar a posição do pistão, tais como àqueles descritos no Estado da Técnica.

[0024] A segunda etapa ii) deste método consiste na obtenção de um sinal de detecção S_d associado a referida saída elétrica do motor linear durante um intervalo de tempo de detecção Δt_d decorrido entre o segundo instante t_2 e um terceiro instante t_3 , onde o terceiro instante t_3 ocorre após o segundo instante t_2 . Assim como na determinação do intervalo de tempo de referência Δt_r , o intervalo de tempo de detecção Δt_d também é preferencialmente, mas não obrigatoriamente, pré-estabelecido.

[0025] A etapa seguinte iii) do método da presente invenção consiste na comparação entre o sinal de referência S_r e o sinal de detecção S_d . Tal comparação pode ser realizada através de diversas técnicas como a identificação de sinais, análise espectral, dentre outras técnicas matemáticas. Preferencialmente, utiliza-se a técnica de detecção de máximo (pico) do sinal de detecção S_d , que será detalhada mais adiante.

[0026] A última e quarta etapa iv) consiste no registro da ocorrência do impacto quando o resultado da comparação da etapa iii indicar que o sinal de detecção S_d apresenta variação decorrente do impacto entre o cilindro 2 e o pistão 1. Esta indicação (decisão de ocorrência do impacto) é realizada considerando uma tolerância pré-estabelecida sobre uma variação admissível entre os sinais de referência S_r e de detecção S_d . Evidentemente, tal tolerância depende diretamente da técnica de comparação adotada para a etapa iii.

[0027] Apesar desta metodologia estar preferencialmente baseada na detecção de ocorrência de impacto entre o cilindro 2 e o pistão 1 no domínio do tempo, ela pode ser opcionalmente baseada em outros domínios de espaço amostral, como por exemplo, no domínio de fases.

TÉCNICA DE DETECÇÃO DE MÁXIMO

[0028] Como mencionado anteriormente, a técnica de detecção de máximo (pico) do sinal de detecção S_d é preferencialmente utilizada, pois é de simples implementação (desenvolvimento e produção), não exigindo uma plataforma de hardware complexa ou de alto custo.

[0029] Em tal técnica, na etapa iii é calculada a diferença em módulo entre um valor de pico V_p do sinal de referência V_r e um valor de referência V_r do sinal de referência S_r . Desta maneira, na etapa iv é registrada a ocorrência do impacto quando o resultado do cálculo da etapa iii for maior que um valor de tolerância δ resultado do cálculo da etapa iii for maior que um valor de tolerância pré-estabelecido, que por

sua vez, pode ser determinado experimentalmente ou calculado considerando os ruídos e distúrbios do sinal.

[0030] O valor de referência V_r do sinal de referência S_r é obtido na etapa i, ou seja, durante o intervalo de tempo de referência Δt_r . Tal valor de referência V_r do motor é, preferencialmente, obtido no primeiro instante t_1 ou no segundo instante t_2 . Entretanto, o valor de referência V_r , pode ser obtido em qualquer instante compreendido no intervalo de tempo de referência Δt_r , sendo que, o valor de tolerância δ varia conforme a variação do valor de referência V_r .

[0031] O valor de pico V_p do sinal de detecção S_d é obtido na etapa ii, ou seja, durante o intervalo de tempo de detecção Δt_d . Tal valor deve ser considerado em módulo, ou seja, o valor de pico V_p é determinado em relação ao eixo da abscissa do gráfico.

[0032] Na figura 2, pode-se observar que o valor de pico V_p é o valor da tensão no segundo instante t_2 , pois, durante o intervalo de tempo de detecção Δt_d , o valor de tensão no segundo instante t_2 corresponde ao maior valor (pico) do sinal de detecção S_d . Como o resultado da soma (em módulo) entre o valor de referência V_r , obtida no primeiro instante t_1 , e o valor de tolerância δ foi maior que o valor de pico V_p , pode-se concluir que não houve impacto entre o cilindro 2 e o pistão 1.

[0033] Na figura 3, pode-se observar que o valor de pico V_p ocorreu durante o intervalo de tempo de detecção Δt_d . Como o resultado da soma (em módulo) entre o valor de referência V_r , obtida no primeiro instante t_1 , e o valor de tolerância δ foi menor que o valor de pico V_p , pode-se concluir que houve impacto entre o cilindro 2 e o pistão 1. A figura 5 mostra uma situação similar, porém, o impacto ocorre no lado positivo do sinal elétrico de tensão.

[0034] Note que, nas figuras 2 a 5, o valor de pico só é evidente no sinal elétrico filtrado (curva "B").

[0035] Existem diversas maneiras de se implementar o método da

presente invenção, sendo que, uma das possíveis concretizações consiste em atribuir ao valor de referência V_r , o valor máximo do sinal de referência S_r (ocorrido durante o intervalo de tempo de referência Δt_r), sendo que o impacto é detectado quando o nível do sinal de detecção S_d (ocorrido durante o intervalo de tempo de detecção Δt_d) atingir o valor de referência V_r acrescido do valor de tolerância δ .

[0036] Alternativamente, pode-se determinar o valor de pico V_p , através das seguintes subetapas:

- a) amostragem de um número finito de valores de comparação V_c do sinal de referência S_r ;
- b) cálculo da diferença em módulo entre cada um dos valores de comparação V_c e o sinal de detecção S_d ;
- c) comparação entre todos os valores calculados na subetapa b;
- d) seleção do maior valor obtido na subetapa c; e
- e) atribuição do valor obtido na subetapa d como sendo o valor de pico V_p .

[0037] A determinação e obtenção do valor do sinal elétrico, correspondente ao instante em que ocorreu o impacto (valor de pico V_p), permite a calibração de sensores de posição associáveis a conjuntos de cilindro e pistão para alguns modelos de compressores. Conforme acima descrito, este valor do sinal elétrico é obtido na situação em que o pistão 1 atinge a máxima posição dentro do cilindro 2, ou seja, no ponto morto superior. Desta maneira, em um processo de calibração do sensor de posição, o valor de pico V_p pode ser utilizado como o valor em que o sensor de posição deve interpretar como sendo àquele correspondente à posição máxima que o pistão atinge dentro do cilindro.

[0038] Opcionalmente, podem ser utilizadas outras técnicas de calibração de sensores para medição da posição do pistão 1 no interior

do cilindro 2 através da aplicação do método da presente invenção. Analogamente, pode-se ainda utilizar este método para calibrar um dispositivo capaz de estimar a posição do pistão 1 no interior do cilindro 2, ao invés do sensor de posição propriamente dito.

DETECTOR DE IMPACTO ENTRE O CILINDRO E O PISTÃO

[0039] O método da presente invenção pode ser executado através de um dispositivo detector que compreende uma plataforma de hardware como uma placa eletrônica dotada de componentes e/ou microprocessadores capazes de executar as etapas desta metodologia. Assim, a metodologia pode ser implementada através de uma placa eletrônica integralmente composta por componentes eletrônicos analógicos e/ou digitais que formam um circuito eletrônico de forma a dispensar a utilização de um software (processado no microcontrolador ou microprocessador). Tal implementação não será detalhada aqui por ser de conhecimento comum para um técnico no assunto.

[0040] Uma forma preferida do detector está ilustrada esquematicamente na figura 6.

[0041] Desta forma, esta plataforma de hardware é um circuito de condicionamento (tratamento) 200 que compreende pelo menos um filtro 201 configurado para selecionar uma faixa de alta frequência de um sinal elétrico proveniente do motor, bloqueando as médias e baixas frequências do sinal.

[0042] O circuito de condicionamento 200 compreende também pelo menos um meio comparador 202 conectado eletricamente ao filtro 201, sendo que o meio comparador 202 é configurado para comparar o sinal de referência S_r proveniente do filtro 201 ao sinal de detecção S_d , também proveniente do filtro 201.

[0043] O sinal de referência S_r é obtido durante o intervalo de tempo de referência Δt_r decorrido entre o primeiro instante t_1 e o segundo instante t_2 , onde o segundo instante t_2 , que ocorre após o primeiro ins-

tante t_1 , corresponde ao instante em que o pistão 1 atinge o ponto morto superior.

[0044] O sinal de detecção S_d é obtido durante o intervalo de tempo de detecção Δt_d decorrido entre o segundo instante t_2 e o terceiro instante t_3 , onde o terceiro instante t_3 ocorre após o segundo instante t_2 .

[0045] O circuito de condicionamento 200 compreende ainda pelo menos um meio de monitoração 203 do sinal elétrico, associado à saída do comparador 202, configurado para receber a informação da ocorrência do impacto. Opcionalmente, o meio de monitoração 203 e o comparador 202 podem estar compreendidos em um único componente ou dispositivo.

[0046] A detecção de impacto pelo meio de monitoração 203 ocorre quando o comparador 202 indicar que o sinal de detecção S_d apresenta uma variação em relação ao sinal de referência S_r , considerando uma tolerância pré-estabelecida.

[0047] Preferencialmente, o comparador 202 realiza a comparação através da subtração do valor de referência V_r do sinal de detecção S_d , onde o valor de referência V_r corresponde a um valor pré-estabelecido do sinal de referência S_r . A detecção de impacto pelo meio de monitoração 203 ocorre quando o nível do sinal de detecção S_d ultrapassar o valor de referência V_r acrescido de um valor de tolerância δ pré-estabelecido.

[0048] Desta maneira, o detector funciona de forma equivalente a um sensor, sendo a sua finalidade principal identificar se ocorreu o impacto do pistão 1 com o cilindro 2 no ponto máximo ou ponto morto superior.

[0049] O cilindro 2 e um pistão 1 acionado por um motor linear, conforme ilustrado na figura 1, e o circuito de condicionamento 200 conectado eletricamente ao motor forma um equipamento compressor de

gás 100 completo, também objeto da presente invenção.

SISTEMA DE CONTROLE

[0050] Ainda com relação à figura 1, o pistão 1 do conjunto de pistão e cilindro de acordo com a invenção é conectado ao ímã 5, o qual se move em um percurso de deslocamento que compreende um espaço de entreferro 12 formado entre a peça de suporte 4, e a bobina de motor 6 acoplada ao estator 10. Este movimento do ímã induz o movimento alternativo do pistão 1 dentro do cilindro 2, de maneira a comprimir o gás admitido dentro do cilindro 2 pela válvula de sucção 3a, e a descarregar o gás em alta pressão através da válvula de descarga 3b.

[0051] O compressor linear é montado no interior de uma carcaça 11. O espaço formado entre o compressor e a carcaça constitui uma câmara de baixa pressão 13, onde está contido o gás à baixa pressão. A válvula de sucção 3a do cilindro 2 se comunica com a câmara de baixa pressão 13 e admite ar dentro do cilindro 2. A válvula de descarga 3b do cilindro 2 descarrega o ar em alta pressão, o qual foi comprimido dentro do cilindro 2 pelo movimento de compressão do pistão 1, para uma região de alta pressão hermeticamente isolada da câmara de baixa pressão.

[0052] A amplitude de deslocamento do pistão 1 dentro do cilindro 2 pode ser controlada por um sistema de controle adequado.

[0053] Neste sentido, o detector de impacto pode estar compreendido por um sistema de controle, funcionando analogamente a um sensor, conforme ilustrado no diagrama de blocos da figura 7. Tal sistema controla um conjunto de cilindro 2 e um pistão 1 acionado por um motor linear, conforme já descrito acima. O sistema compreende pelo menos um controlador conectado operativamente ao motor, sendo que o detector de impacto está conectado eletricamente a tal controlador.

[0054] Diversas técnicas de controle conhecidas podem ser adota-

das, tais como o controle PID, sempre objetivando a prevenção e/ou redução da incidência de impactos entre o pistão 1 e o cilindro 2.

[0055] Preferencialmente, a variável de controle é a tensão do motor, entretanto, outras grandezas podem ser utilizadas para o controle da posição do pistão 1, desde que adequadas a esta aplicação.

[0056] Este sistema de controle apresenta uma boa precisão, pois, indiretamente baseia-se em um sistema de aprendizado de acordo com o comportamento individual do compressor, sendo que as informações obtidas da colisão ocorrida são armazenadas e utilizadas para prevenção/redução de colisões futuras.

[0057] Consequentemente, o equipamento de compressão de acordo com a invenção é capaz de operar de maneira a otimizar sua capacidade de compressão, pois pode dispor de uma distância de segurança anticolisão bastante reduzida, e consequentemente otimizando também o consumo de energia do equipamento.

[0058] Desta maneira, como pode ser entendido claramente da descrição precedente, a presente invenção é capaz de evitar a necessidade de medição da amplitude de deslocamento do pistão 1 dentro do cilindro 2 apresentando alta precisão.

[0059] Além disso, o equipamento para a detecção da amplitude do deslocamento do pistão 1 dentro do cilindro 2 é bastante simples, pois consiste essencialmente em uma placa eletrônica posicionada em qualquer local apropriado, e o sinal gerado por esta placa, ou uma variação específica sofrida por este sinal, é suficiente para indicar que o pistão 1 colidiu com o cilindro 2. Assim, o equipamento dispensa o uso de sensores, reduzindo os custos.

[0060] Tendo sido descritos exemplos de concretizações preferidos, deve ser entendido que o escopo da presente invenção abrange outras possíveis variações, sendo limitado tão somente pelo teor das reivindicações apenas, onde são incluídos os possíveis equivalentes.

REIVINDICAÇÕES

1. Método de detecção de impacto entre um cilindro (2) e um pistão (1) acionado por um motor linear, compreendendo as etapas de:

i) obtenção de um sinal de referência (S_r) associado a uma saída elétrica do motor linear;

ii) obtenção de um sinal de detecção (S_d) associado à referida saída elétrica do motor linear;

iii) comparação entre o sinal de referência (S_r) e o sinal de detecção (S_d); e

iv) registro da ocorrência do impacto quando o resultado da comparação da etapa "iii" indicar que o sinal de detecção (S_d) apresenta uma variação decorrente do impacto entre o cilindro (2) e o pistão (1) considerando uma tolerância pré-estabelecida

o método de detecção de impacto entre um cilindro (2) e um pistão (1) sendo caracterizado pelo fato de que o sinal de referência (S_r) é obtido durante um intervalo de tempo de referência (Δt_r) decorrido entre um primeiro instante (t_1) e um segundo instante (t_2), em que o segundo instante (t_2) ocorre após o primeiro instante (t_1) e o segundo instante (t_2) corresponde ao instante em que o pistão (1) atinge o ponto morto superior; e

o sinal de detecção (S_d) é obtido durante um intervalo de tempo de detecção (Δt_d) decorrido entre o segundo instante (t_2) e um terceiro instante (t_3), em que o terceiro instante (t_3) ocorre após o segundo instante (t_2).

2. Método de detecção de impacto entre um cilindro (2) e um pistão (1) acionado por um motor linear, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o sinal de referência (S_r) do passo i e o sinal de detecção (S_d) do passo ii são sinais filtrados a partir da saída elétrica do motor, em que os referidos sinais contém com-

ponentes de alta frequência da saída elétrica do motor.

3. Método de detecção de impacto entre um cilindro (2) e um pistão (1) acionado por um motor linear, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que

- na etapa i, é obtido um valor de referência (V_r) do sinal de referência (S_r);

- na etapa ii, é obtido um valor de pico (V_p) do sinal de detecção (S_d);

- na etapa iii, é calculada a diferença entre o valor de pico (V_p) e o valor de referência (V_r); e

- na etapa iv, uma ocorrência de impacto é registrada a ocorrência do impacto quando o resultado do cálculo da etapa iii for maior que um valor de tolerância δ pré-estabelecido.

4. Método de detecção de impacto entre um cilindro (2) e um pistão (1) acionado por um motor linear, de acordo com a reivindicação 1 ou 2, caracterizado pelo fato de que o tempo de referência (Δt_r) decorrido entre o primeiro instante (t_1) e o segundo instante (t_2) é pré-estabelecido.

5. Método de detecção de impacto entre um cilindro (2) e um pistão (1) acionado por um motor linear, de acordo com a reivindicação 1 ou 2, caracterizado pelo fato de que o tempo de detecção (Δt_d) decorrido entre o segundo instante (t_2) e o terceiro instante (t_3) é pré-estabelecido.

6. Método de detecção de impacto entre um cilindro (2) e um pistão (1) acionado por um motor linear, de acordo com a reivindicação 2, caracterizado pelo fato de que na etapa i, o valor de referência (V_r) do motor é obtido no primeiro instante (t_1) ou no segundo instante (t_2).

7. Método de detecção de impacto entre um cilindro (2) e um pistão (1) acionado por um motor linear, de acordo com a reivindicação

cação 2, caracterizado pelo fato de que na etapa i, o valor de referência (V_r) do motor corresponde ao valor máximo do sinal de referência (S_r).

8. Método de detecção de impacto entre um cilindro (2) e um pistão (1) acionado por um motor linear, de acordo com a reivindicação 2, caracterizado pelo fato de que a etapa ii compreende as seguintes subetapas:

 iia) amostragem de um número finito de valores de comparação (V_c) do sinal de referência (S_r);

 iib) cálculo da diferença em módulo entre cada um dos valores de comparação (V_c) e o sinal de detecção (S_d);

 iic) comparação entre todos os valores calculados na subetapa iib);

 iid) seleção do maior valor obtido na subetapa iic; e

 iie) atribuição do valor obtido na subetapa iid como sendo o valor de pico (V_p).

9. Método de detecção de impacto entre um cilindro (2) e um pistão (1) acionado por um motor linear, de acordo com a reivindicação 1 ou 2, caracterizado pelo fato de que na etapa ii, o valor de pico (V_p) o corrido no instante da detecção é utilizado na calibração de sensores de posição do pistão (1) no interior do cilindro (2), sendo que o valor de pico (V_p) corresponde à posição máxima em que o pistão (1) atinge no interior do cilindro (2).

10. Detector de impacto entre um cilindro (2) e um pistão (1) acionado por um motor linear compreendendo pelo menos um circuito de condicionamento (200) conectado eletricamente ao motor linear, em que o circuito de condicionamento (200) compreende ao menos:

- um filtro (201) configurado para selecionar uma faixa de alta frequência de um sinal elétrico proveniente do motor;
- um meio comparador (202) conectado eletricamente ao fil-

tro (201), o meio comparador (202) sendo capaz de comparar um sinal de referência (Sr) proveniente do filtro (201) a um sinal de detecção (Sd), sendo que o meio comparador (202) é configurado para:

- obter o sinal de referência (Sr); e
- obter o sinal de detecção (Sd);
- um meio de monitoração (203) do sinal elétrico associado

à saída do comparador,

sendo que o meio de monitoração (203) é configurado para detectar o impacto quando o meio comparador (202) indicar que o sinal de detecção (Sd) apresenta uma variação em relação ao sinal de referência (Sr), considerando uma tolerância pré-estabelecida,

o detector de impacto sendo caracterizado pelo fato de que o sinal de referência (Sr) é obtido durante um intervalo de tempo de referência (Δt_r) decorrido entre um primeiro instante (t_1) e um segundo instante (t_2), em que o segundo instante (t_2) ocorre após o primeiro instante (t_1) e o segundo instante (t_2) corresponde ao instante em que o pistão (1) atinge o ponto morto superior; e

o sinal de detecção (Sd) é obtido durante um intervalo de tempo de detecção (Δt_d) decorrido entre o segundo instante (t_2) e um terceiro instante (t_3), em que o terceiro instante (t_3) ocorre após o segundo instante (t_2).

11. Detector de impacto entre um cilindro (2) e um pistão (1) acionado por um motor linear, de acordo com a reivindicação 10, caracterizado pelo fato de que o meio comparador (202) é configurado para subtrair um valor de referência (Vr) do sinal de detecção (Sd), onde o valor de referência (Vr) corresponde a um valor obtido do sinal de referência (Sr), sendo que o meio de monitoração (203) é configurado para detectar o impacto quando o nível do sinal de detecção (Sd) ultrapassar o valor de referência (Vr) acrescido de um valor de tolerância (δ) pré-estabelecido.

12. Compressor de gás (100) compreendendo pelo menos um cilindro (2) e um pistão (1) acionado por um motor linear, o compressor de gás (100) sendo caracterizado pelo fato de compreender pelo menos um detector de impacto entre o cilindro (2) e o pistão (1), o detector sendo conectado eletricamente ao motor, sendo o detector tal como definido nas reivindicações 10 e 11.

13. Sistema de controle para um conjunto de cilindro (2) e pistão (1) acionado por um motor linear, o sistema de controle compreendendo pelo menos um controlador conectado operativamente ao motor, o sistema de controle sendo caracterizado pelo fato de que compreende ainda pelo menos um detector de impacto entre o cilindro (2) e o pistão (1), o detector sendo conectado eletricamente ao controlador, estando o detector eletricamente ligado ao controlador, o detector sendo como definido nas reivindicações 10 e 11.

1/4

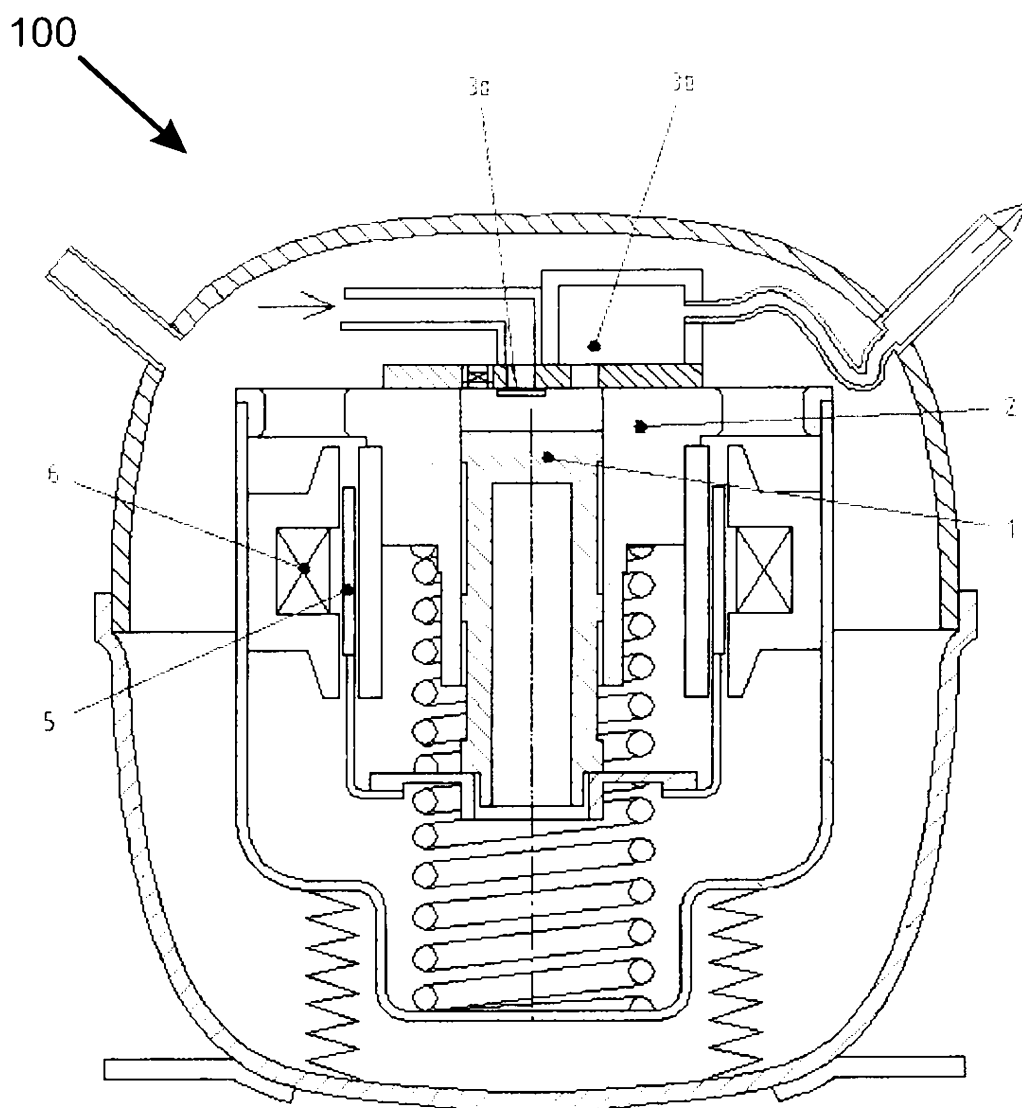


Fig. 1

2/4

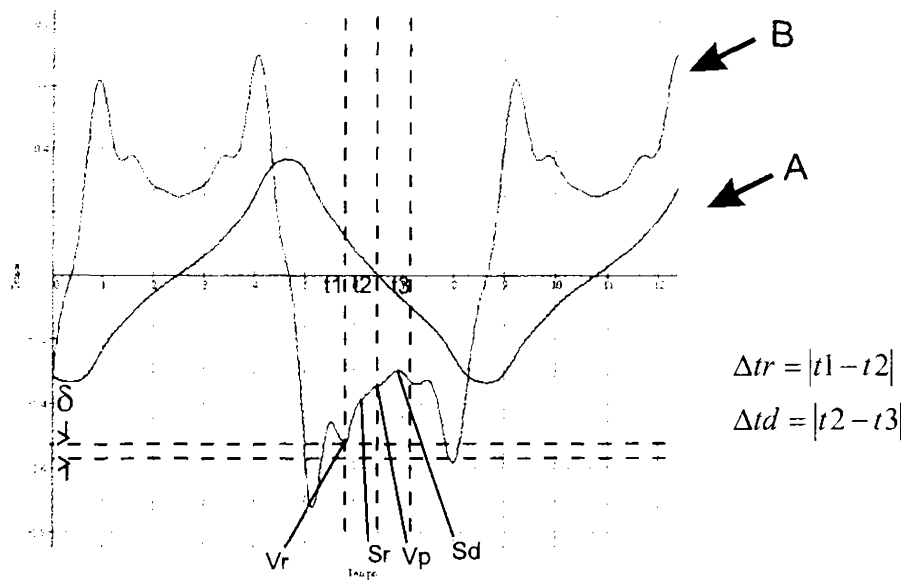


Fig. 2

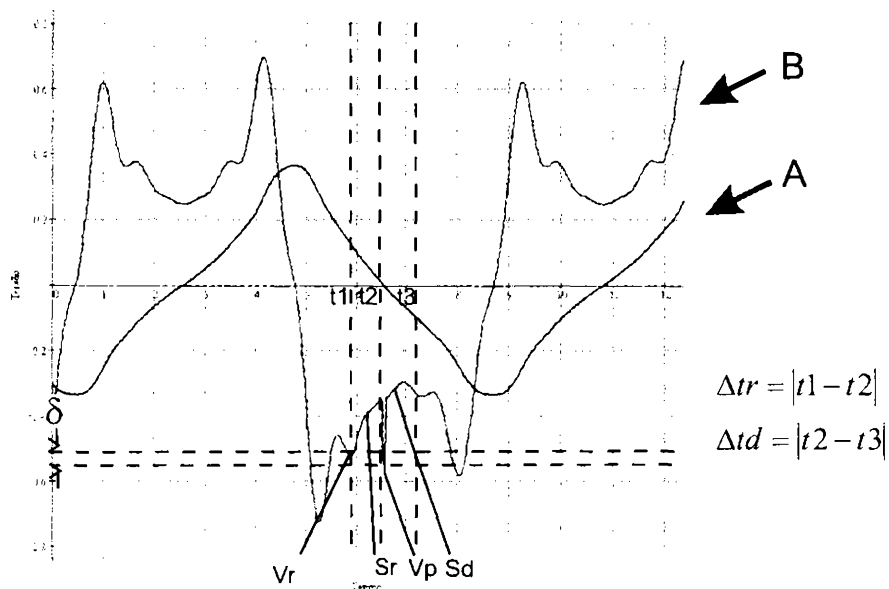


Fig. 3

3/4

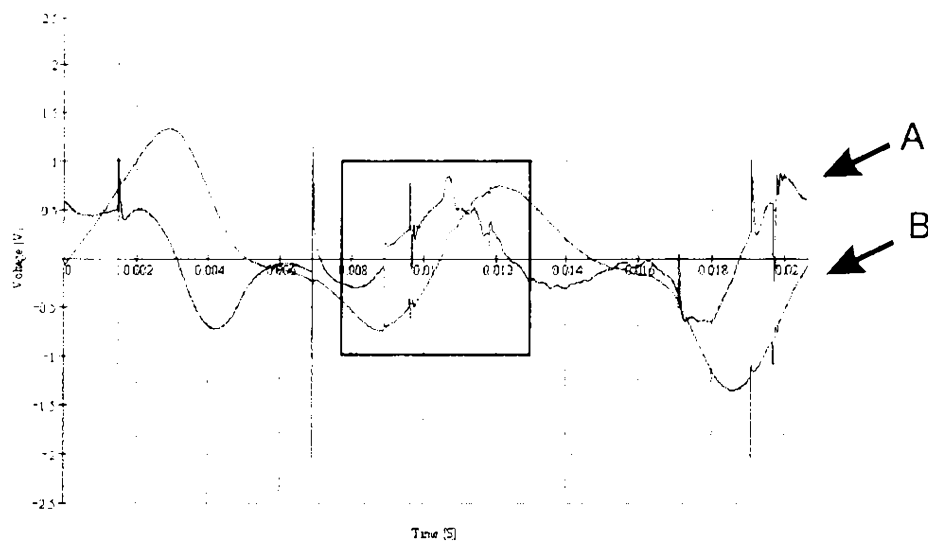


Fig. 4

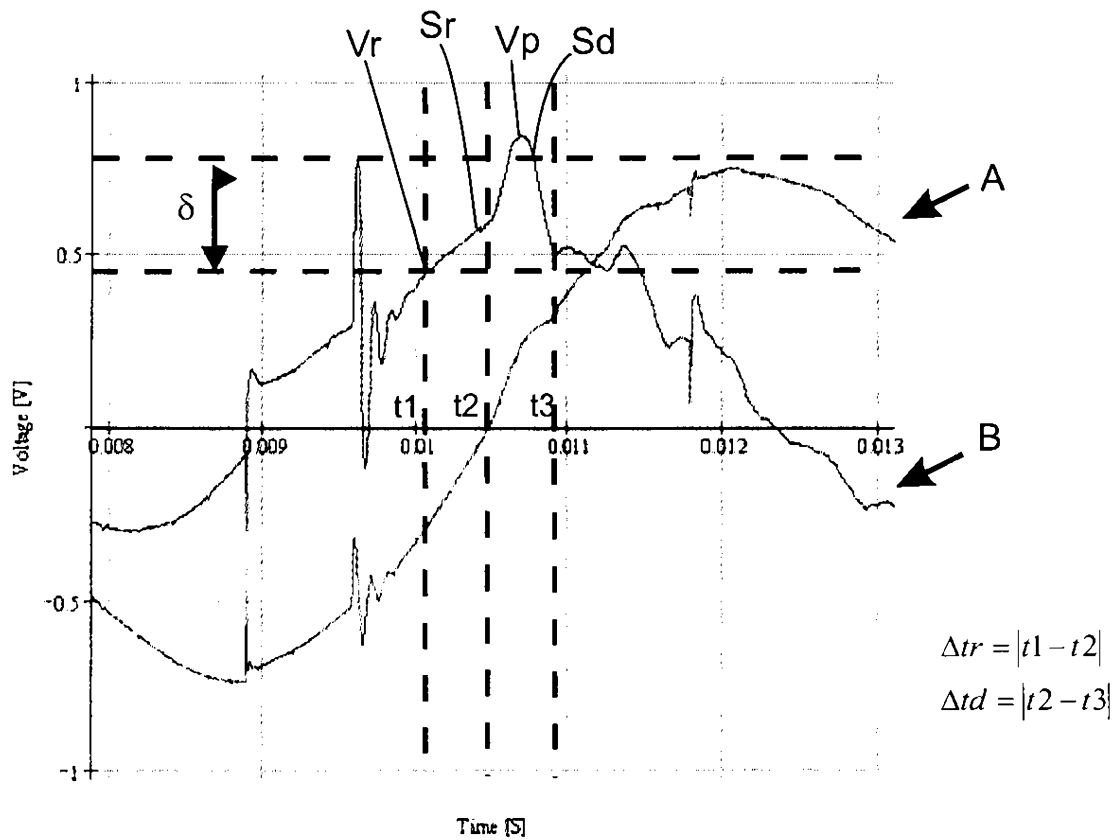


Fig. 5

4/4

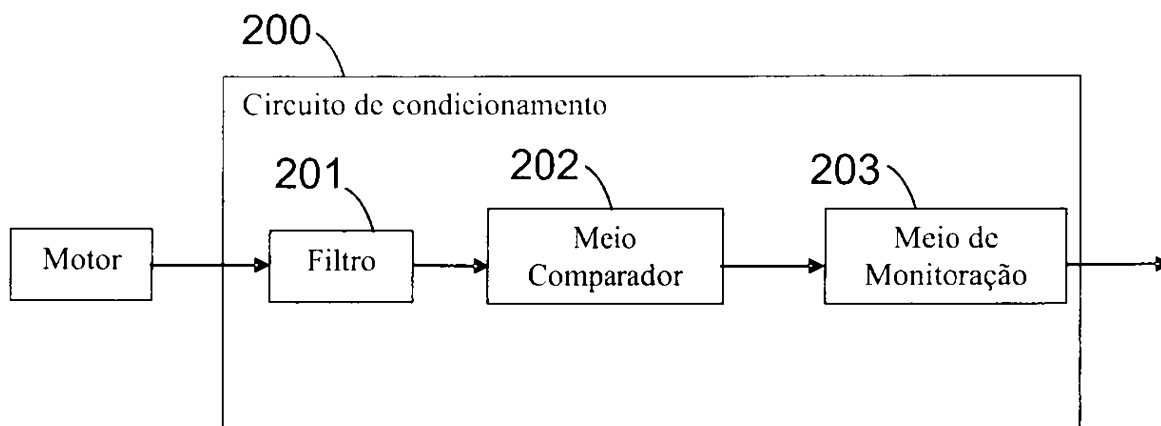


Fig. 6

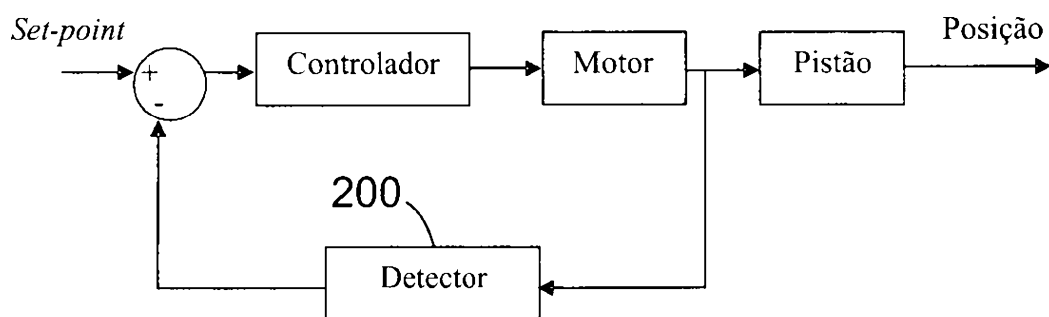


Fig. 7