



**Assinado
Digitalmente**

REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
MINISTÉRIO DA ECONOMIA
INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL

CARTA PATENTE Nº PI 0800251-7

O INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL concede a presente PATENTE DE INVENÇÃO, que outorga ao seu titular a propriedade da invenção caracterizada neste título, em todo o território nacional, garantindo os direitos dela decorrentes, previstos na legislação em vigor.

(21) Número do Depósito: PI 0800251-7

(22) Data do Depósito: 22/02/2008

(43) Data da Publicação Nacional: 06/10/2009

(51) Classificação Internacional: F04B 49/02.

(54) Título: SISTEMA E MÉTODO DE CONTROLE DE COMPRESSOR LINEAR

(73) Titular: EMBRACO INDÚSTRIA DE COMPRESSORES E SOLUÇÕES EM REFRIGERAÇÃO LTDA..
Endereço: Rua Rui Barbosa, 1020, Distrito Industrial, Joinville, SC, BRASIL(BR), 89219-100

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

Prazo de Validade: 10 (dez) anos contados a partir de 23/02/2021, observadas as condições legais

Expedida em: 23/02/2021

Assinado digitalmente por:

Liane Elizabeth Caldeira Lage

Diretora de Patentes, Programas de Computador e Topografias de Circuitos Integrados

15 de Novembro
REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
de 1889

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "**SISTEMA E MÉTODO DE CONTROLE DE COMPRESSOR LINEAR**".

[0001] A presente invenção refere-se a um sistema e um método de controle de compressor linear, que são capazes de realizar a calibragem do compressor quando necessário, ao longo do período de sua operação, para que este opere na sua capacidade máxima, em que o pistão alcança uma amplitude máxima de deslocamento, se aproximando ao máximo do cabeçote de cilindro, porém sem colidir com o mesmo. O sistema e o método de acordo com a invenção são ainda destinados a realizar o controle da operação do compressor linear ao longo de todo o seu período de funcionamento, também buscando a maximização do seu desempenho e a redução ou otimização do seu consumo de energia. Compressores lineares deste tipo são geralmente aplicados a refrigeradores, condicionadores de ar, ou eventualmente a bombas de fluidos.

DESCRIÇÃO DO ESTADO DA TÉCNICA

[0002] Atualmente, é comum o uso de compressores lineares, dotados de motor linear, 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.

[0003] O compressor linear é normalmente constituído por um pistão que se desloca no interior de um cilindro. 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 mesmo e descarregando-o pela válvula de descarga para uma zona de alta pressão.

[0004] O compressor linear deve ser capaz de identificar a posição e controlar o deslocamento do pistão dentro do cilindro, para evitar que o pistão colida com o cabeçote do cilindro, o que causa um forte ruído acústico e barulho desagradável, assim como desgaste do equipamento, reduzindo sua durabilidade.

[0005] Ao mesmo tempo, para otimizar a eficiência e o desempenho do compressor linear e minimizar seu consumo de energia, 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. 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. Se o desempenho do compressor não for otimizado, será muitas vezes necessário superdimensionar o projeto do compressor para as condições em que ele deve operar, aumentando o custo do equipamento em si, assim como o consumo de energia do mesmo.

[0006] Já são conhecidos do estado da técnica alguns sistemas de controle de deslocamento e reconhecimento de posição do pistão dentro do cilindro, particularmente aplicados a motores e/ou compressores lineares, e que realizam ao mesmo tempo a calibragem da amplitude de deslocamento do pistão.

[0007] Podemos resumir o estado da técnica atual em dois grupos de sistema. O primeiro deles se refere ao controle de compressores sem sensor. Neste método de controle, não existe um sensor real (físico) instalado no compressor. O controle lê outras variáveis do sistema como: corrente e/ou tensão do compressor, temperatura do evaporador, frequência de operação, e estima o curso do pistão.

[0008] O segundo grupo de sistemas refere-se ao controle com sensor. Neste caso, existe um sensor medindo o deslocamento e/ou distância entre a parte fixa, por exemplo o cabeçote do cilindro, ou algum outro ponto e o pistão, ou qualquer ponto de parte móvel, ou ainda, somente a distância limite para uma operação segura. Neste método, pode ser necessária uma calibragem durante a fase de produção do compressor ou durante o seu funcionamento.

[0009] O pedido de patente internacional WO0148379 descreve um método de controle de compressor que tem por objetivo controlar o curso do pistão de um compressor linear, permitindo que o pistão avance até o final de seu curso mecânico mesmo em condições extremas de carga, sem permitir que haja colisão do pistão ao sistema de válvulas. Uma tensão média é aplicada a um motor linear, controlando o movimento do pistão. Um primeiro tempo de movimento do pistão é medido e comparado com um tempo de movimento previsto. A tensão aplicada ao motor é alterada, se o primeiro tempo de movimento for diferente do tempo de movimento previsto, o tempo de movimento previsto sendo tal que o movimento do pistão atinja um ponto máximo (M) sendo substancialmente próximo ao final de curso do pistão.

[0010] O documento de patente WO2005006537 descreve um método de controle de movimento de um motor elétrico, o qual alimentado por uma tensão total proporcional a uma tensão de rede. O método compreendendo etapas de proceder com uma primeira medida de nível da tensão de rede em um primeiro momento de medição; proceder com uma segunda medida de nível da tensão de rede em um segundo momento de medição; calcular o valor da derivada dos valores de tensão medidos em função dos primeiro e segundo momentos de medição, para obter um valor de uma tensão de rede proporcional; e alterar o valor da tensão total alimentada ao motor, de maneira

proporcional ao valor da tensão de rede proporcional.

[0011] O documento de patente WO2005071265 visa uma operação de um compressor linear em ressonância, de modo que este tenha a maior eficiência possível ao longo de sua operação. O compressor linear compreende um pistão acionado por um motor linear, o pistão tendo uma amplitude de deslocamento controlada a partir de uma tensão elétrica controlada que tem uma frequência de tensão aplicada ao motor linear e ajustada por uma unidade de processamento. A amplitude de deslocamento do pistão é dinamicamente controlada em função de uma demanda variável do sistema de refrigeração. A unidade de processamento ajusta a amplitude de deslocamento do pistão para que o compressor linear dinamicamente se mantenha em ressonância no decorrer das variações de demanda do sistema de refrigeração.

[0012] O documento de patente WO2005054676 refere-se a um sistema de controle de uma bomba de fluidos dotado de meios para calibrar o respectivo funcionamento por ocasião de seu primeiro uso ou em casos de problemas ocasionados por distúrbios elétricos ou mecânicos. A bomba de fluidos é provida de um conjunto sensor de posição do pistão e um controlador eletrônico associado ao conjunto sensor, o controlador eletrônico irá monitorar o deslocamento do pistão dentro do respectivo cilindro, através da detecção de um sinal de impacto. O sinal de impacto é transmitido pelo conjunto sensor, quando da ocorrência de uma colisão do pistão com o final de curso. O controlador eletrônico sucessivamente incrementando o curso de deslocamento do pistão a partir de um sinal de disparo até a ocorrência da colisão para armazenar um valor máximo de deslocamento do pistão.

[0013] O documento de patente WO03044365 refere-se a um compressor a gás de pistão livre compreendendo um cilindro, um pistão alternativo dentro do cilindro, e um motor elétrico linear alternativo acoplado de forma derivável ao pistão tendo pelo menos um

enrolamento de excitação. Uma medida do tempo de movimento alternativo do pistão é obtida, qualquer mudança no tempo de movimento alternativo é detectada, e a entrada de tensão no dito enrolamento de excitação é ajustada em resposta a qualquer mudança detectada no tempo de movimento alternativo.

[0014] O documento de patente WO0079671 revela um motor linear que possui um estator mais curto, sendo que os ímãs do alojamento são controlados para se movimentar alternativamente em um deslocamento máximo maior do que o normal, usando o mínimo de sensores. O motor linear é acionado na sua frequência de ressonância. Uma determinação da corrente máxima é feita com base na relação entre a frequência de ressonância e a pressão/temperatura de evaporação do vapor que entra no compressor. A corrente é então limitada para controlar o deslocamento máximo do pistão e evitar danos.

[0015] Como pode ser observado, nenhum dos documentos acima propõe o controle e a calibragem do deslocamento do pistão dentro do cilindro combinando uma técnica de controle de compressores sem sensor e uma técnica de controle com sensor.

OBJETIVOS DA INVENÇÃO

[0016] Um primeiro objetivo da invenção é controlar o curso do pistão de um compressor linear, permitindo que o pistão avance até o final de seu curso mecânico, sem que haja colisão do pistão ao topo do cilindro, e otimizando a capacidade do compressor.

[0017] Um outro objetivo da invenção é implementar um sistema de calibragem automático durante o funcionamento normal do compressor que dispense o procedimento de calibragem durante o processo de produção ou montagem, e seja capaz de operar o pistão com a menor distância possível do fim de curso do compressor.

[0018] É também tarefa da invenção viabilizar o uso de sensores menos precisos ou com derivas de ganho e offset, sem prejudicar o

desempenho do sistema em termos de eficiência e capacidade máxima.

[0019] A invenção tem também o objetivo de permitir que o ganho e o offset do sinal do sensor sejam corrigidos em função da condição de funcionamento do sensor.

[0020] Uma outra tarefa da invenção é de implementar uma solução simples para alcançar os objetivos acima, que possa ser aplicada para produção em escala industrial.

BREVE DESCRIÇÃO DA INVENÇÃO

[0021] Os objetivos da invenção são alcançados por meio de um sistema de controle de compressor linear compreendendo um motor linear que aciona o movimento alternativo de um pistão no interior de um cilindro, o referido sistema compreendendo ainda um circuito de detecção de posição que gera um sinal de deslocamento indicativo da amplitude de deslocamento do pistão; um circuito de detecção de impacto que gera um sinal de impacto indicativo de ocorrência de impacto do pistão com um cabeçote do cilindro; um circuito de controle que aplica um sinal de acionamento variável sobre o motor linear, o circuito de controle recebe o sinal de deslocamento e o sinal de impacto, e calcula a partir destes sinais e do sinal de acionamento, pelo menos um parâmetro de limite de prevenção de impacto para o sinal de deslocamento, o circuito de controle varia o sinal de acionamento do motor, compara o sinal de deslocamento resultante da variação do sinal de acionamento com o parâmetro de limite de prevenção de impacto, e ajusta o sinal de acionamento do motor em função do resultado da comparação.

[0022] O parâmetro de limite de prevenção de impacto para o sinal de deslocamento do pistão determina um limite para a amplitude de deslocamento máxima do pistão sem que haja impacto entre o pistão e o cabeçote do cilindro.

[0023] O circuito de controle do sistema de acordo com a invenção

compreende preferivelmente um processador de dados que processa o sinal de deslocamento, o sinal de impacto e o sinal de acionamento, e calcula o parâmetro de limite de prevenção de impacto, e um comparador que compara o parâmetro de limite de prevenção de impacto com o sinal de deslocamento e emite um sinal indicando se o sinal de deslocamento está dentro de uma área de operação de segurança anti-impacto. O circuito de controle recebe sinais indicativos das condições de operação do compressor e calculam o novo sinal de acionamento do motor também em função destes sinais de condições de operação do compressor.

[0024] O sistema de controle de acordo com a invenção é preferivelmente aplicado a um sistema de refrigeração, em que o circuito de controle recebe sinais indicativos das condições de operação do sistema de refrigeração e calculam o novo sinal de acionamento do motor também em função destes sinais do sistema de refrigeração.

[0025] O parâmetro de limite de prevenção de impacto é proporcional à variação do sinal de deslocamento no momento do impacto, e é preferivelmente calculado pela equação

$$SLOPE_{min} = K1 \times Período + K2 \times Potência - Offset_max$$

em que:

SLOPE_{min} é o valor da variação do sinal de deslocamento no momento do impacto;

K1 e K2 são respectivamente constantes de compensação de período e potência do sinal de acionamento;

Período e Potência são os valores do período e da potência do sinal de acionamento no momento do impacto; e

Offset_{max} é o parâmetro de limite de prevenção de impacto.

[0026] O parâmetro de limite de prevenção de impacto Offset pode ser também calculado somando-se ao valor de Offset_{max} uma

componente Δ Safety que é uma constante correspondente à distância de segurança entre a amplitude máxima de deslocamento do pistão e o cabeçote do cilindro.

[0027] O circuito de detecção de posição e o circuito de detecção de impacto do pistão podem ser integrados em um mesmo circuito de sensor.

[0028] O circuito de controle pode compreender uma memória onde são armazenados pelo menos alguns parâmetros dos sinais de deslocamento e de impacto e do sinal de acionamento, e os valores dos parâmetros calculados pelo circuito de controle. Este circuito de controle preferivelmente aumenta o sinal de acionamento do motor se o resultado da comparação mostrar que o sinal de deslocamento está dentro de uma área de operação de segurança anti-impacto, e diminui o sinal de acionamento do motor se o resultado da comparação mostrar que o sinal de deslocamento está fora de uma área de operação de segurança anti-impacto.

[0029] Os objetivos da invenção podem ainda ser alcançados por meio de um método de controle de um compressor linear dotado de um pistão acionado por um motor linear e se deslocando dentro de um cilindro, um circuito de detecção de posição que emite um sinal indicativo do deslocamento do pistão dentro do cilindro, e um circuito de detecção de impacto do pistão com o cabeçote de cilindro, sendo que o método compreende as seguintes etapas:

(a) realizar uma rotina de calibragem do compressor linear que compreende:

- detectar um impacto do pistão com o cabeçote de cilindro;
- medir o sinal de acionamento no momento do impacto entre o pistão e o cabeçote de cilindro;
- medir o sinal de deslocamento (SD) no momento do impacto entre o pistão e o cabeçote de cilindro;

- calcular um parâmetro de limite de prevenção de impacto em função das medições do sinal de acionamento e do sinal de deslocamento (SD) quando do impacto do pistão com o cabeçote de cilindro;

- (b) realizar uma rotina de controle do compressor linear que compreende as etapas de:

- medir o sinal de acionamento e o sinal de deslocamento (SD);

- calcular um valor de limite que um parâmetro de controle do sinal de deslocamento (SD) pode assumir sem impacto entre o pistão e o cabeçote de cilindro, em função do sinal de acionamento medido e do parâmetro de limite de prevenção de impacto calculado na rotina de calibragem, e determinar uma área de operação de segurança anti-impacto para o parâmetro de controle do sinal de deslocamento (SD);

- comparar o valor medido do parâmetro de controle do sinal de deslocamento (SD) com o valor de limite calculado do parâmetro de controle do sinal de deslocamento (SD);

- caso o valor medido do parâmetro de controle do sinal de deslocamento (SD) esteja dentro da área de operação de segurança anti-impacto, variar o sinal de acionamento para aumentar a eficiência do compressor linear;

- caso o valor medido do parâmetro de controle do sinal de deslocamento (SD) esteja fora da área de operação de segurança anti-impacto, variar o sinal de acionamento para diminuir a eficiência do compressor linear,

- detectar se houve um impacto do pistão com o cabeçote de cilindro, e caso tenha havido impacto, executar a rotina de calibragem para recalcular a variável de calibragem anti-impacto, e caso não tenha havido impacto, executar a rotina de controle.

[0030] O parâmetro de controle do sinal de deslocamento calculado

no método da presente invenção é o valor da variação ou da derivada do sinal de deslocamento (SD). Este parâmetro de limite é calculado pela equação

$$SLOPE_{min} = K1 \times Período + K2 \times Potência - Offset_{max}$$

em que:

SLOPE_{min} é o valor da variação ou derivada do sinal de deslocamento (SD) no momento do impacto;

K1 e K2 são respectivamente constantes de compensação de período e potência do sinal de acionamento;

Período e Potência são os valores do período e da potência do sinal de acionamento no momento do impacto; e

Offset_{max} é o parâmetro de limite de prevenção de impacto.

[0031] O parâmetro de limite de prevenção de impacto Offset pode ser também calculado somando-se ao valor de Offset_{max} uma componente $\Delta Safety$ que é uma constante correspondente à distância de segurança entre a amplitude máxima de deslocamento do pistão e o cabeçote do cilindro. Além disso, o parâmetro de limite de prevenção de impacto Offset pode ser calculado realizando-se a média aritmética de pelo menos três valores de Offset calculados em três momentos diferentes.

[0032] No método de controle de acordo com a invenção, a etapa de calcular um valor de limite que um parâmetro de controle do sinal de deslocamento (SD) pode assumir sem impacto entre o pistão e o cabeçote de cilindro compreende calcular a derivada SLOPE_{lim} do sinal de deslocamento (SD) pela equação

$$SLOPE_{lim} = K1 \times Período + K2 \times Potência - Offset$$

e a etapa de comparar o valor medido do parâmetro de controle do sinal de deslocamento (SD) com o valor de limite calculado do parâmetro de controle do sinal de deslocamento (SD) compreende comparar o valor

medido Slope_medido da derivada do sinal de deslocamento (SD) com o valor calculado de SLOPE_lim; e a etapa de variar o sinal de acionamento para aumentar a eficiência do compressor linear compreende aumentar a tensão do sinal de acionamento; e a etapa de variar o sinal de acionamento para diminuir a eficiência do compressor linear compreende diminuir a tensão do sinal de acionamento.

[0033] O método da invenção pode compreender ainda uma etapa de adquirir sinais indicativos das condições de operação do compressor, os quais são considerados na etapa de variar o sinal de acionamento e uma etapa de armazenar pelo menos alguns dentre os valores dos sinais gerados pelo circuito de controle, os valores dos sinais alimentados ao circuito de controle e os valores dos parâmetros calculados pelo circuito de controle. Além disso, no método da presente invenção, a variação do sinal de deslocamento (SD) é medida em um intervalo de tempo em que a amplitude do sinal de deslocamento (SD) varia entre um valor de referência predeterminado e zero.

[0034] Os objetivos da invenção são ainda alcançados por um sistema de controle de compressor linear, que compreende meios para controlar a operação do compressor linear em função de um sinal de deslocamento (SD) de um pistão dentro de um cilindro do compressor, e de um sinal de impacto (SI) do pistão com um cabeçote do cilindro, os meios para controlar a operação do compressor linear calculam a partir dos sinais de deslocamento (SD) e de impacto (SI) pelo menos um parâmetro de limite de prevenção de impacto para o sinal de deslocamento (SD), o qual é proporcional à variação do sinal de deslocamento (SD) no momento do impacto, definindo uma área de operação de segurança anti-impacto do compressor linear em função deste parâmetro.

[0035] Alternativamente, os meios para controlar a operação do compressor linear comparam o sinal de deslocamento (SD) gerado em

resposta a um sinal de acionamento com o parâmetro de limite de prevenção de impacto, e ajustam o sinal de acionamento do motor em função do resultado da comparação. O parâmetro de controle do sinal de deslocamento (SD) é preferivelmente o valor da variação ou da derivada do sinal de deslocamento (SD).

[0036] Finalmente, os objetivos da invenção são ainda alcançados por um método de controle de compressor linear, o qual controla a operação do compressor linear em função de um sinal de deslocamento (SD) de um pistão dentro de um cilindro do compressor, e de um sinal de impacto (SI) do pistão com um cabeçote do cilindro dentro de um cilindro, sendo que durante o controle da operação do compressor linear, o método compreende uma etapa de calcular, a partir dos sinais de deslocamento (SD) e de impacto (SI), pelo menos um parâmetro de limite de prevenção de impacto para o sinal de deslocamento (SD), o qual é proporcional à variação do sinal de deslocamento (SD) no momento do impacto, e definir uma área de operação de segurança anti-impacto em função deste parâmetro.

[0037] O método pode compreender uma etapa de comparar o sinal de deslocamento (SD) gerado em resposta ao sinal de acionamento com o parâmetro de limite de prevenção de impacto, e ajustar o sinal de acionamento do motor em função do resultado da comparação. O parâmetro de controle do sinal de deslocamento (SD) pode ser o valor da variação ou da derivada do sinal de deslocamento (SD).

DESCRIÇÃO RESUMIDA DOS DESENHOS

[0038] A presente invenção será, a seguir, mais detalhadamente descrita com base em um exemplo de execução representado nos desenhos. As figuras mostram:

[0039] Figura 1 - é uma vista em seção transversal de um compressor ao qual é aplicado o sistema de controle de compressor linear de acordo com a presente invenção;

[0040] Figura 2A - é um diagrama em blocos de uma parte do circuito de controle utilizado para implementar o método e o sistema de acordo com a presente invenção, que recebe sinais de deslocamento e impacto do pistão;

[0041] Figura 2B - é um diagrama em blocos de uma segunda modalidade da parte do circuito de controle utilizado para implementar o método e o sistema de acordo com a presente invenção, que recebe sinais de deslocamento e impacto do pistão;

[0042] Figura 3 - é uma representação mais detalhada da modalidade do circuito de controle utilizado para implementar o método e o sistema de acordo com a invenção ilustrada na figura 2B.

[0043] Figura 4 - um diagrama em blocos de uma modalidade preferida do circuito de controle do sistema da presente invenção;

[0044] Figura 5 - é uma representação comparativa do comportamento do sinal de determinação impacto DI e do sinal determinação de posição do pistão DP;

[0045] Figura 6 - é uma representação comparativa do sinal de deslocamento do pistão SD, para duas amplitudes de deslocamento distintas do pistão;

[0046] Figura 7 - é uma representação do comportamento do sinal de deslocamento gerado pelo circuito de detecção de posição do pistão, do sinal de corrente do compressor, e do sinal de comparador;

[0047] Figura 8 - é um fluxograma de uma parte do método de controle de compressor linear da presente invenção mostrando o encadeamento da rotina de calibragem com a rotina de controle de operação do pistão;

[0048] Figura 9 - é um fluxograma da rotina de controle de operação do pistão do método da presente invenção;

[0049] Figura 10A - é um fluxograma de uma primeira modalidade da rotina de calibragem do método da presente invenção;

[0050] Figura 10B – é um fluxograma de uma segunda modalidade da rotina de calibragem do método da presente invenção;

[0051] Figura 11 – é um gráfico mostrando os valores da inclinação do sinal de deslocamento no limite de impacto em várias condições de operação do compressor;

[0052] Figura 12 – é um gráfico mostrando a variação da potência do sinal de acionamento no momento do impacto, para diferentes condições de temperatura do condensador e do evaporador;

[0053] Figura 13 – é um gráfico ilustrando a variação da frequência do sinal de acionamento no momento do impacto, em função de diferentes condições de temperatura do condensador e do evaporador;

[0054] Figura 14 – é um gráfico ilustrando a relação entre o deslocamento máximo realizado pelo pistão e a inclinação do sinal de deslocamento, em diferentes condições de temperatura do evaporador.

[0055] Figura 15 – é um gráfico ilustrando a correlação entre o período do sinal de acionamento e o sinal de deslocamento SD, no limite do impacto do pistão com o cilindro do compressor.

DESCRIÇÃO DETALHADA DAS FIGURAS

[0056] O sistema de controle de compressor linear 10 de acordo com a invenção é aplicado a um compressor dotado de um pistão 1 que se desloca alternativamente dentro de um cilindro 2, aproximando-se e afastando-se do cabeçote de cilindro, sendo que o movimento do pistão é acionado por um motor linear. Um exemplo de compressor linear ao qual é aplicado o sistema de controle da presente invenção é ilustrado na figura 1.

[0057] O pistão é acoplado a pelo menos um ímã 5, de modo que o deslocamento do pistão provoca um deslocamento correspondente do ímã e vice-versa.

[0058] O acionamento do conjunto de pistão e cilindro é composto por pelo menos uma bobina 6 de um motor linear, a qual é alimentada

eletricamente, e produz um campo magnético. A bobina de motor deve ficar disposta de tal forma que o campo magnético gerado por ela atue sobre o ímã 5 do pistão 1, fazendo com que este se desloque em resposta à variação deste campo magnético.

[0059] Assim, quando a bobina de motor é alimentada eletricamente, ela gera um fluxo magnético que pode ser variável e controlado, em função da sua tensão de alimentação. A variação do campo magnético gerado pela bobina de motor em decorrência da tensão aplicada a ela induz o ímã 5 a se deslocar de forma recíproca, fazendo o pistão se deslocar na mesma proporção. A amplitude de operação do pistão corresponde à amplitude total do deslocamento, também chamado de curso do pistão 1 dentro do cilindro 2.

[0060] Para extrair a máxima capacidade de bombeamento do conjunto de pistão e cilindro, é necessário que o pistão se desloque com uma amplitude tal que se aproxime o máximo possível do cabeçote do cilindro que é dotado de uma placa de válvulas 3a, 3b, mas sem que haja colisão do pistão com o cabeçote do cilindro. Para que isto seja possível, a amplitude de operação do pistão deve ser conhecida e controlada com precisão. Quanto maior o erro estimado desta amplitude de deslocamento do pistão, maior deverá ser a distância de segurança entre o pistão e a placa de válvulas, para evitar a colisão, reduzindo assim o curso do pistão e conseqüentemente seu desempenho. Esta colisão não é desejável, por causar forte ruído, e pelo fato de poder danificar o equipamento.

[0061] Por isso, um circuito de detecção de posição de pistão do sistema de controle de acordo com a invenção realiza o reconhecimento da posição do pistão 1, a fim de possibilitar que o conjunto opere com a maior amplitude de operação possível, otimizando a capacidade de bombeamento do pistão 1 e do cilindro 2. Além disso, como será demonstrado posteriormente, é vantajoso que o sistema conheça a

amplitude de deslocamento do pistão, para controlar se o compressor está operando na condição de carga demandada pelo sistema de refrigeração em cada período de tempo.

[0062] Em uma forma preferida da invenção aplicada ao compressor 10 da figura 1, o circuito de detecção de posição do pistão compreende um sensor indutivo 8 disposto em um ponto do percurso de deslocamento do ímã 5 conectado ao pistão 1. Assim, o sensor indutivo 8 fica submetido às variações de campo magnético produzidas pelo ímã 5 resultantes de seu deslocamento, tanto em função da sua velocidade, quanto em função da sua posição. O circuito de detecção de posição do pistão emite um sinal de deslocamento SD, em resposta à variação de campo magnético observado, o qual possui um formato tal que permite a identificação do momento em que o pistão alcançou sua amplitude máxima de operação, bem como qual a posição máxima alcançada.

[0063] Em uma forma preferida da invenção, o sensor indutivo 8 é preferivelmente concretizado na forma de uma simples bobina, aqui chamada de bobina de sensor, preferivelmente construída de forma estreita no sentido do deslocamento do ímã, e com formato alongado no sentido transversal ao deslocamento do ímã. Para que o sensor 8 detecte exatamente a posição de controle do pistão, ele deve preferivelmente ficar posicionado dentro do percurso de deslocamento do ímã, exatamente na posição atingida pela borda inferior do ímã 5, quando o pistão atinge a posição de controle (amplitude máxima de operação) mais próxima possível do cabeçote de cilindro, mas sem haver colisão.

[0064] O sinal de deslocamento SD do pistão gerado por um circuito de detecção ou um sensor de deslocamento assume uma forma de pulsos, como pode ser visto na figura 6, que ilustra a forma de onda do sinal de deslocamento para duas condições de operação diferentes do

compressor. O trecho do sinal SD entre os picos positivo e negativo é aproximadamente linear. É neste trecho linear que o sistema e o método de acordo com a invenção medem a derivada do sinal SD, para calcular a posição máxima de deslocamento do pistão.

[0065] Com base na figura 6, pode-se notar que alguns parâmetros do sinal do sensor variam, em função do comprimento do percurso de deslocamento do pistão. Nesta figura 6, o sinal representado em linhas tracejadas corresponde a uma situação em que o pistão opera com um curso de deslocamento mais reduzido, alcançando uma distância mínima do cabeçote de cilindro de aproximadamente 0,8 mm, quando na posição máxima dentro do seu curso de deslocamento. O sinal representado em linhas cheias corresponde a uma operação do pistão com amplitude de operação maior, em que o pistão chega a uma distância mínima de 0,2 mm do cabeçote de cilindro, quando alcança a sua posição máxima dentro do seu curso de deslocamento.

[0066] Nota-se, portanto, que quanto maior é o curso de deslocamento do pistão, maior é a amplitude do sinal de deslocamento do pistão. Porém, a forma de onda do sinal é essencialmente a mesma para qualquer amplitude de operação do pistão, principalmente em termos de frequência. Os pontos de máximo e mínimo absolutos e relativos do sinal de deslocamento SD, assim como os pontos em que o sinal SD cruza o eixo horizontal, quando a tensão do sinal é igual a 0, ocorrem no mesmo instante de tempo para ambos os sinais de deslocamento nas duas condições distintas de operação.

[0067] Na modalidade preferida da presente invenção que utiliza o sensor indutivo 8 para medir a posição do pistão, a inclinação do sinal de deslocamento do pistão é o parâmetro por meio do qual a amplitude de deslocamento do pistão será calculada. Esta inclinação nada mais é do que a variação da amplitude do sinal em um intervalo de tempo, ou a derivada deste sinal neste intervalo. Para medir a derivada do sinal de

deslocamento SD, pode-se medir o seu valor de tensão para um tempo fixo, ou medir o tempo para uma tensão fixa, ou ainda realizar medições simultâneas de tensão e tempo e calcular a derivada. Em uma configuração alternativa da invenção, o sinal de deslocamento SD poderia ainda ser alimentado a um conversor AD e em vez de medir a derivada em um intervalo de tempo, mediria-se o sinal de deslocamento SD em n pontos de tempo, e em seguida, faria-se a média das medidas e calcularia-se a derivada.

[0068] Este parâmetro de variação ou inclinação do sinal de deslocamento SD também é utilizado pelo método e pelo sistema da presente invenção para verificar se o pistão está operando dentro da sua área de segurança, evitando colisões, e para calcular a distância de segurança entre o pistão e o cabeçote de cilindro, quando da operação do compressor em carga máxima, em que o curso de deslocamento do pistão deve ser o maior possível.

[0069] A derivada do sinal é medida no trecho linear, entre os picos positivo e negativo. Então quanto maior for a amplitude do deslocamento do pistão, maior será a derivada do sinal medido, pois mais rápida deve ser a variação do sinal SD para variar do ponto de máximo para amplitude igual a 0, dado que a frequência do sinal não muda em função da amplitude de operação do pistão. Daí pode-se concluir que a variação do sinal de deslocamento, ou sua derivada, ao longo de um intervalo de tempo também é proporcional à sua amplitude de operação, e indicativa da sua posição. Por exemplo, quando o sinal de deslocamento atinge seus pontos de máximo e mínimo, significa que o pistão atingiu respectivamente sua posição mais próxima possível e mais distante possível do cabeçote do cilindro, ou seja, os pontos de máxima amplitude do seu curso de deslocamento. Nestes pontos, a derivada do sinal de deslocamento é igual a 0.

[0070] O uso de um sensor indutivo 8 do tipo aqui descrito é

vantajoso, pois a sua forma alongada permite que se obtenha uma maior tensão do sinal de deslocamento SD gerado pela bobina de sensor sem interferir na resolução de posição do sensor.

[0071] Em vista disso, há uma maior variação do sinal gerado pelo sensor em função de um deslocamento bastante reduzido do pistão dentro do cilindro, o que aumenta a resolução do sensor e diminui a suscetibilidade do sistema a erros devido a ruídos. Esta configuração do sensor 8 também apresenta uma baixa impedância, o que proporciona um sinal isento de ruído elétrico, contribuindo ainda mais para uma boa precisão do sensor.

[0072] Porém, a presente invenção não está limitada ao uso deste sensor. Pode ser aplicado qualquer outro tipo de sensor que meça a posição do pistão dentro do cilindro.

[0073] O sistema de controle de acordo com a invenção dispõe ainda de um circuito de detecção de impacto do pistão com o cabeçote do cilindro, que gera um sinal de impacto SI indicativo de ocorrência ou não de impacto do pistão com o cabeçote do cilindro. Este sinal de impacto pode ser gerado de diversas maneiras distintas, sem sair do escopo de proteção da presente invenção. O sinal SI pode ser produzido tanto por meio de uma rotina sem sensor, por meio de processamento dos sinais elétricos gerados pelo compressor e seu motor, como a partir de um sinal de sensor.

[0074] Quando o circuito de detecção de impacto detectar um impacto do pistão com o cabeçote do cilindro, o sinal de impacto SI enviado por ele assume um formato tal indicativo de impacto. A detecção de impacto pode ser realizada pelo mesmo sensor que detecta o deslocamento do pistão, ou ainda por um sensor adicional aplicado ao conjunto de pistão e cilindro, destinado unicamente à detecção de impacto. Em uma outra modalidade da invenção, a detecção de impacto pode ser feita por meio da análise de sinais elétricos emitidos pelo

próprio compressor.

[0075] Em uma modalidade da invenção, o circuito de detecção de impacto e o circuito de detecção de posição são circuitos independentes, que geram sinais independentes. De um modo geral, alguns tipos de sensores utilizados para a realização da presente invenção, bem como os circuitos de processamento de sinais que processam os sinais de impacto SI e de deslocamento SD enviados pelo sensor já são conhecidos das técnicas anteriores aqui citadas. Porém as técnicas de processamento de sinais são distintas daquelas ensinadas nestes documentos do estado da técnica, principalmente em virtude do fato da presente invenção combinar uma técnica de controle de compressores sem sensor e uma técnica de controle de compressores com auxílio de sensor, o que não é proposto por nenhum dos documentos do estado da técnica citados.

[0076] Em uma forma de concretização preferida, tais circuitos e sistemas podem ser implementados com base na técnica descrita no documento WO 2005/71265, aqui incorporado por referência. Neste caso, tal como mostra a figura 2A, são enviados dois sinais distintos a um circuito de controle, sendo um sinal de deslocamento SD gerado pelo circuito com sensor, e um sinal de impacto SI gerado pelo circuito sem sensor. Estes dois sinais são tratados separadamente dentro do circuito de controle.

[0077] Em outra modalidade da invenção, os circuitos de detecção de impacto e de detecção de posição de pistão podem ser reunidos em um único circuito de sensor, o qual realiza as duas funções simultaneamente. Esta união dos dois circuitos de detecção de posição e de impacto pode ser efetuada por meio de um sensor piezoelétrico (PZT) disposto no cabeçote do pistão. Um sensor deste tipo pode ser visto, por exemplo, no documento WO 2004/104419, aqui incorporado por referência. Conforme descrito, este sensor que é um acelerômetro

que mede a aceleração do pistão durante seu deslocamento e gera um sinal de saída substancialmente senoidal de frequência essencialmente baixa. O sensor PZT é constituído por cristais, de modo que, quando há uma colisão entre o pistão e o cilindro, os cristais do sensor são comprimidos causando uma deformação do sinal de aceleração do pistão gerado pelo sensor, na forma de uma componente em frequência alta sobre um ponto de máximo do sinal.

[0078] Esta segunda modalidade da invenção é mostrada na figura 2B, em que apenas um sinal de sensor é enviado ao circuito de controle, contendo tanto as informações de deslocamento SD quanto de impacto SI. Este sinal é aplicado a dois circuitos de tratamento separados que processam o sinal e extraem separadamente as informações de posição e de impacto. A figura 3 ilustra mais detalhadamente o processamento separado do sinal do sensor PZT e será melhor descrita adiante.

[0079] O sinal de impacto SI é alimentado ao circuito de controle, o qual processa este sinal, por meio de um circuito de detecção de impacto, e gera um sinal diretamente de determinação de impacto DI. O sinal SD é enviado a um circuito de tratamento do sinal do sensor que processa este sinal e extrai as informações de posição e amplitude de operação do pistão em função da sua forma de onda, podendo gerar, por exemplo, um sinal de determinação de posição DP.

[0080] A figura 5 ilustra um exemplo dos sinais de determinação de posição DP e de determinação de impacto DI gerados após a interpretação e processamento dos sinais de deslocamento SD e de impacto SI no circuito de controle, que podem ser aplicados à presente invenção, e que estão descritos no documento WO 2005/71265. O sinal de determinação de impacto DI, neste caso, é gerado na forma binária. Quando nenhum impacto é detectado, o valor do sinal é igual a 0 volt. No momento em que um impacto ocorre, o sinal enviado pelo sensor torna-se, por exemplo, igual a 1 volt, formando uma onda quadrada.

Neste mesmo instante de tempo, o valor do sinal DP é proporcional ao deslocamento máximo do pistão.

[0081] Para o controle da operação do pistão, o circuito de controle do sistema de acordo com a invenção envia um sinal de controle a um inversor, que por sua vez aplica um sinal de acionamento sobre um motor linear. Este motor linear produz o movimento do pistão no compressor. O sinal de acionamento aplicado sobre o motor do compressor linear pode ser variado tanto em tensão ou potência, quanto em frequência ou período, em função das condições de funcionamento em que o compressor deve operar. A frequência e a potência do sinal de acionamento determinam o movimento oscilatório do pistão.

[0082] A figura 4 mostra um diagrama em blocos de uma modalidade preferida do circuito de controle. O circuito de controle está conectado à saída do circuito de detecção de posição e à saída do circuito de detecção de impacto, e recebe o sinal de detecção de impacto SI e o sinal de detecção de posição SD do pistão gerados pelos respectivos circuitos de detecção. O circuito de controle recebe ainda o sinal de acionamento do motor linear na forma de um sinal de tensão ST e um sinal de corrente SC.

[0083] O circuito de controle compreende meios de processamento de dados que processam o sinal de deslocamento SD do pistão e o sinal de impacto SI, ou sinais derivados destes, e geram um sinal de controle do inversor. Os meios de processamento de dados possuem um processador de dados, que pode ser, por exemplo, um microcontrolador, e são responsáveis pelas etapas de processamento de dados e pela geração do sinal de controle do inversor.

[0084] O circuito de controle é capaz de realizar uma rotina de calibragem do movimento e do curso máximo do pistão. Nesta rotina, o circuito de controle analisa os sinais de deslocamento SD e/ou de impacto SI juntamente com o sinal de acionamento do motor linear, e

calcula por meio de algumas equações matemáticas qual um máximo deslocamento possível que o pistão pode realizar (máxima amplitude de operação), sem que haja colisão com o cabeçote de cilindro, e usando uma margem de segurança contra colisão bastante reduzida.

[0085] Além disso, o processador do circuito de controle calcula os valores ou faixas de valores que pelo menos um parâmetro dos sinais de deslocamento SD e/ou de impacto SI deve assumir, quando o pistão estiver funcionando, para impedir que haja colisão com o cilindro, quando do seu funcionamento em amplitude de operação máxima, ou para garantir que o pistão está operando com amplitude de deslocamento adequada à carga solicitada pelo compressor.

[0086] O circuito de controle é ainda capaz de executar uma etapa de detecção de impacto, em que, em uma modalidade preferida da invenção, ele analisa o sinal de impacto SI gerado pelo circuito de detecção de impacto, e identifica se ocorreu um impacto do pistão com o cabeçote de cilindro.

[0087] O circuito de controle realiza ainda uma rotina de controle de operação do pistão, em que ele identifica a amplitude de deslocamento do pistão e reconhece se houve ou não impacto do pistão com o cabeçote, com base no formato ou no valor do sinal de deslocamento SD isoladamente, ou em combinação com os dados do sinal de acionamento do motor linear ou com os dados de um circuito de refrigeração ao qual o compressor é aplicado. O reconhecimento de ocorrência de impacto é realizado pela comparação dos dados do deslocamento do pistão medidos em um determinado momento com os valores calculados na rotina de calibragem para impedir que haja colisão com o cilindro.

[0088] Como pode ser visto na figura 3, a fim de realizar estas funções de controle e calibragem do pistão, o circuito de controle compreende pelo menos um comparador de sinal, destinado a comparar

o sinal de deslocamento SD com os valores que alguns parâmetros deste sinal devem assumir calculados na etapa de calibragem. O comparador recebe, portanto, o sinal de deslocamento SD em uma entrada, e o sinal REF com o valor de referência de pelo menos um parâmetro em outra entrada, e gera na saída um sinal indicativo de que o sinal de deslocamento está dentro ou fora da faixa de valores que pode assumir. O sinal de referência preferivelmente informa um valor de tensão de referência que será usado no cálculo da derivada do sinal de deslocamento SD. O sinal de saída do comparador é alimentado à entrada do processador, tal como mostrado no diagrama em blocos da figura 3.

[0089] A realização desta rotina de calibragem em associação com a rotina de detecção de impacto permite que sejam usados sensores de posição e impacto de baixa precisão, pois esta baixa precisão é compensada com o aumento de precisão provocado pelo uso combinado destas duas tecnologias de detecção de impacto com sensor e sem sensor.

[0090] O processador também recebe dados relativos às condições de operação do compressor em si e/ou do equipamento ao qual o compressor é aplicado. Aqui, consideraremos que o compressor é aplicado ao circuito de refrigeração de um refrigerador, para fins de compreensão do funcionamento deste sistema de controle de compressor juntamente com o equipamento ao qual o compressor está associado.

[0091] O processador do circuito de controle pode, neste caso, receber dados de um evaporador, de elementos de controle de pressão, do condensador, de sensores de temperatura ou quaisquer outros elementos integrantes do circuito de refrigeração do refrigerador. Os dados recebidos pelo processador compreendem, por exemplo, a corrente de entrada, potência, tensão de alimentação, fator de potência

e resistência ôhmica destes dispositivos do circuito de refrigeração, sinais de sensor indicativos de temperatura do ambiente refrigerados, entre outros. Por meio destes sinais, o circuito de controle determina as condições de carga e de operação em que o compressor deve funcionar. Estas informações são importantes, pelo fato que o sinal de sensor varia bastante em função das condições de carga e de operação do compressor (por exemplo, da temperatura do evaporador e do condensador), como pode ser observado nos gráficos das figuras 11 a 15. Assim, o sistema de controle de acordo com a invenção poderá interpretar o sinal do sensor em conformidade com as condições de operação do compressor, e controlar o compressor para que ele opere de maneira coerente com as condições exigidas pelo refrigerador, mas sem que haja colisão entre o pistão e o cabeçote do cilindro.

[0092] Na modalidade da invenção em que se faz uso de um sensor conforme discutido no WO 200571265, e esquema ilustrado na figura 3 que utiliza um sensor do tipo PZT, o qual envia em um mesmo sinal as informações de posição de pistão SD e de impacto do pistão SI, o sinal do sensor PZT deve ser primeiramente submetido a um tratamento, para que sejam extraídas separadamente as informações de posição e de impacto do pistão, gerando dois sinais distintos, cada um contendo apenas um tipo de informação.

[0093] Para a realização deste tratamento, podem ser utilizados dois filtros, aos quais o sinal do sensor PZT é alimentado. Preferivelmente, o sinal do sensor PZT é aplicado a um filtro passa-faixa, que filtra o sinal em uma faixa de freqüência, por exemplo, de 5 a 500 Hz. O sinal filtrado pelo filtro passa-faixa corresponde ao sinal de posicionamento do pistão. O sinal do sensor PZT é simultaneamente aplicado também a um filtro passa-altas que filtra o sinal em uma faixa de freqüência superior a 5 KHz. O sinal filtrado pelo filtro passa-altas corresponde ao sinal de impacto do pistão. O sinal de deslocamento SD

do pistão é então alimentado ao comparador, enquanto o sinal de impacto SI é alimentado diretamente ao processador.

[0094] Os dados relativos aos sinais de deslocamento SD e de impacto SI, tais como tensão, corrente e frequência, assim como os dados do equipamento ao qual o compressor é aplicado, por exemplo, o refrigerador, e que são adquiridos pelo processador, são armazenados pelo circuito de controle, preferivelmente em uma memória interna do circuito. Os dados de tensão e frequência de operação do motor são também armazenados nesta memória não ilustrada nas figuras.

[0095] A presente invenção refere-se ainda a um método de calibragem e controle de compressor linear, o qual pode ser utilizado em compressores aplicados a refrigeradores, condicionadores de ar, ou eventualmente a bombas de fluidos. O sistema de acordo com a invenção anteriormente descrito poderá ser usado de acordo com a metodologia que será descrita a seguir.

[0096] Este método é capaz de calibrar a operação do compressor linear, para que ele funcione em sua capacidade máxima, com o pistão se deslocando em uma maior amplitude de operação possível, sem que haja colisão com o cabeçote do cilindro. A calibragem pode ser realizada sempre que necessário, por exemplo, quando for detectada alguma falha de operação do equipamento ao qual o compressor é aplicado, ou ainda quando se identificar que o compressor está operando abaixo da sua capacidade máxima, ou que o pistão está colidindo com o cilindro, ou toda vez que o compressor ou o equipamento ao qual ele é aplicado for ligado. Também pode ser estabelecida uma calibragem periódica com o um tempo predefinido. Este tempo será dimensionado conforme as características do circuito de detecção de posição.

[0097] Este tipo de calibragem normalmente não é possível nos compressores do estado da técnica que, em geral, permitem uma

calibragem apenas quando da sua fabricação.

[0098] O método da invenção compreende uma primeira etapa de aplicar um sinal de acionamento a um motor linear, o qual aciona um pistão que se desloca alternativamente dentro de um cilindro, em um compressor. O sinal de acionamento do motor determina a velocidade e amplitude de operação do pistão do compressor, que devem ser variadas em função da carga de operação do compressor, e temperaturas do evaporador e do condensador. Os parâmetros de frequência ou período e amplitude do sinal de acionamento do motor linear são medidos e preferivelmente armazenados em uma memória.

[0099] Logo após essa inicialização, preferivelmente o método da invenção realiza uma rotina de calibragem do compressor. A rotina de calibragem do compressor é realizada principalmente a fim de detectar qual a amplitude de operação do pistão em que ocorre a colisão, para garantir que o compressor irá operar em condições sempre seguras, e evitar que ocorra a colisão, e decorrentes desgastes do equipamento e ruído acústico. Geralmente, esta rotina é realizada quando o compressor é ligado, mas pode ser também efetuada quando há uma alteração das condições de operação e carga do compressor, ou para corrigir instabilidades do sistema, entre outros. Esta rotina do método da presente invenção é ilustrada no fluxograma da figura 9.

[0100] Quando a rotina de calibragem é executada, por exemplo, ao se ligar o equipamento do compressor, o funcionamento do pistão é iniciado, com o pistão funcionando em sua amplitude de operação mínima. Então, são executadas uma etapa de medição da amplitude de deslocamento do pistão, e uma etapa de detecção de impacto do pistão com o cabeçote do cilindro.

[0101] A etapa de detecção de impacto pode ser realizada por um sensor de impacto que é aplicado ao conjunto de pistão e cilindro e que gera um sinal, quando há um impacto do pistão com o cabeçote de

cilindro. Quando este sensor detectar um impacto do pistão com o cabeçote do cilindro, o sinal de impacto SI enviado por ele assume um formato tal indicativo de impacto. Caso o sistema não esteja estabilizado, esta rotina de detecção de impacto pode ser realizada novamente.

[0102] De acordo com uma modalidade preferida da invenção, a etapa de medição da amplitude de operação do cilindro é realizada com o auxílio de um sensor indutivo 8 do tipo aqui descrito anteriormente, o qual emite o sinal de deslocamento SD do pistão, cuja derivada indica a amplitude de deslocamento do pistão. Portanto, nesta etapa de detecção de deslocamento do pistão da rotina de calibragem, é calculada a derivada do sinal de deslocamento SD no trecho linear deste sinal. Esta derivada é representada pela variável "Slope", a qual é armazenada em um dispositivo de memória.

[0103] Caso não tenha sido detectado impacto do pistão com o cabeçote de cilindro, a tensão do sinal de acionamento aplicado ao motor linear vai sendo progressivamente aumentada de valores pequenos, causando um aumento correspondente na amplitude de operação, ou curso de deslocamento do pistão. Para cada aumento de tensão do sinal de acionamento é realizada uma etapa de detecção de impacto e de medição da amplitude de operação do pistão.

[0104] A detecção de impacto e a medição da amplitude de operação do pistão podem ser realizadas, preferivelmente, uma vez a cada ciclo de operação do compressor. A tensão e a frequência do sinal de acionamento a cada ciclo podem ser devidamente armazenadas.

[0105] Enquanto não é detectado nenhum impacto entre o pistão e o cabeçote do cilindro, as etapas de medição da amplitude de deslocamento do pistão e detecção de impacto são realizadas sucessivamente, seguidas de um pequeno aumento da tensão do sinal de acionamento.

[0106] Quando ocorre a detecção de impacto do pistão com o compressor, então é realizada uma pequena redução da tensão do sinal de acionamento do motor. Este novo valor de tensão do sinal de acionamento pode ser registrado como novo valor máximo de tensão do sinal de acionamento, e o valor da amplitude de deslocamento alcançada pelo pistão é registrado como valor máximo de curso de deslocamento.

[0107] Além disso, o último valor medido da variável "Slope" correspondente à derivada do sinal SD quando houve o impacto é atribuído a uma variável "SLOPEmin", a qual identifica o valor da derivada do sinal SD quando há impacto. Conforme mencionado anteriormente, o deslocamento do pistão dentro do cilindro depende dos parâmetros de período e potência deste sinal de acionamento.

[0108] O período ou frequência e a potência do sinal de acionamento do motor linear no momento em que houve o impacto são também conhecidos. Estes valores são aplicados à equação I abaixo, a qual relaciona a inclinação do sinal de deslocamento SD com a frequência e o período do sinal de acionamento, e calcula um parâmetro denominado Offset_max:

$$SLOPE \text{ min} = K1 \times Período + K2 \times Potência - Offset_max \text{ (equação I)}$$

[0109] Conforme mencionado anteriormente, os valores de período e potência do sinal de acionamento do motor linear variam em função das condições de operação do compressor, tais como temperatura do evaporador e do condensador. Portanto, é necessário, nesta equação I, realizar um ajuste dos valores de período e potência para corrigir as distorções do sinal do sensor, que é feito multiplicando-se período e potência pelos respectivos coeficientes angulares K1 e K2, que são constantes experimentais obtidas em fase de projeto com testes de sensor. A variável "Offset" é um parâmetro de calibragem do sensor, o qual é proporcional à inclinação do sinal SD quando ocorre o impacto

do pistão com o cilindro, naquelas condições de potência e período do sinal de acionamento. Aplicando-se os valores conhecidos à equação I, obtém-se então o valor de Offset_max que será usado na rotina principal do compressor, para prevenção de impacto. O valor de Offset_max corresponde a um valor máximo que o parâmetro Offset pode assumir, sem que seja aplicada nenhuma distância de segurança para evitar colisão do pistão com o cilindro.

[0110] Em uma modalidade alternativa da invenção mostrada na figura 10, pode-se realizar esta rotina de calibragem pelo menos três vezes seguidas, a fim de se obter pelo menos três valores distintos de Offset calculados (Offset1, Offset2, Offset3) em função das demais variáveis medidas. Então calcula-se valor médio Offset_medio dos três valores de Offset medidos, e calcula-se a diferença entre o valor médio Offset_medio e cada um dos valores calculados entre Offset1, Offset2 e Offset3, obtendo-se assim os valores $\Delta 1$, $\Delta 2$, $\Delta 3$ correspondentes ao módulo de cada uma dessas diferenças. Os valores $\Delta 1$, $\Delta 2$ e $\Delta 3$ são comparados com um valor limite L. Se nenhum dos valores $\Delta 1$, $\Delta 2$, $\Delta 3$ for maior do que L, então a calibragem é concluída com sucesso. Caso algum dos valores $\Delta 1$, $\Delta 2$, $\Delta 3$ seja maiores do que L, então a calibragem do compressor é reiniciada, e novamente são calculados três valores de Offset_max distintos. O parâmetro L utilizado para a calibragem do valor de Offset_max é um valor determinado em fase de projeto para o método de acordo com a invenção.

[0111] Em uma modalidade da invenção, o valor de Offset_max calculado pelos métodos acima pode ser aplicado diretamente à rotina de controle de operação do pistão sem necessidade de calibragem adicional.

[0112] De acordo com uma outra modalidade da invenção, após definido o valor do Offset_max segundo qualquer uma das formas ilustradas nas figuras 9 e 10, é calculado um valor de Offset final, o qual

é calibrado com uma distância de segurança, para evitar que haja impacto com o cabeçote do cilindro. Este valor de Offset final será calculado pela fórmula II a seguir, à qual são aplicados os valores medidos de Slope_min, período e potência do sinal de acionamento utilizados no cálculo do Offset_max, e os parâmetros K1 e K2 já conhecidos:

$$\text{Offset} = K1 \times \text{Período} + K2 \times \text{Potência} - \text{Slope_min} - \Delta\text{safety} \text{ (equação II)}$$

[0113] A variável ΔSafety corresponde a uma distância de segurança também definida em laboratório, que deve ser diminuída da amplitude de operação do pistão, para se evitar que ocorra a colisão entre o pistão e o cabeçote do cilindro. Este valor final de Offset será utilizado para o controle da operação do pistão durante o funcionamento normal do compressor, com a finalidade de evitar impactos do pistão com o cabeçote do cilindro.

[0114] Depois de calculado o valor de compensação Offset calibrado com a distância de segurança, e o valor de inclinação Slope_min do sinal de deslocamento SD, a rotina de calibragem é desligada, e o compressor começa a operar normalmente, sendo controlado pelas etapas do método da presente invenção que realizam o controle do compressor, para que ele opere em segurança, sem a ocorrência de colisões, e/ou com a carga de funcionamento desejada, evitando desperdícios de energia. O método completo de acordo com a invenção incluindo a rotina de calibragem e a rotina de controle de operação do pistão é ilustrado na figura 8 combinada com a figura 9.

[0115] Após o desligamento da rotina de calibragem, é iniciada a rotina de controle de operação do pistão, também chamada de rotina de controle do Slope do sinal de deslocamento SD. Nesta rotina, os valores de Slope do sinal de deslocamento SD, e de potência e período do sinal de acionamento são medidos periodicamente, durante a operação do compressor, preferivelmente uma vez a cada ciclo do compressor, ou

ainda em intervalos maiores. Os valores de período e potência são aplicados à equação III abaixo, a qual é similar à equação I, porém já utiliza o valor de Offset calibrado com a distância de segurança Δ Safety.

$$SLOPE_lim = K1 \times Período + K2 \times Potência - Offset \text{ (Equação III)}$$

[0116] Com esta equação, é calculado o valor de limite do Slope, aqui chamado de SLOPE_lim, que será o limite inferior do valor que a inclinação, ou Slope do sinal SD pode assumir, garantindo-se que não haverá colisão naquelas condições de operação do compressor.

[0117] Em seguida, compara-se o valor medido da inclinação, aqui chamado de Slope_medido com o valor de limite SLOPE_lim calculado. Caso Slope_medido seja maior do que SLOPE_lim, então o compressor ainda está operando na sua margem de segurança contra impacto, ou com uma amplitude de operação abaixo da amplitude necessária, para que o compressor opere com a carga solicitada. Então, pode-se aumentar ligeiramente a potência ou a tensão do sinal de acionamento do motor linear. Em decorrência deste aumento de potência do sinal de acionamento, verifica-se novamente se ouve impacto entre o pistão e o cilindro por meio de uma etapa de detecção de impacto realizada do mesmo modo descrito para a etapa de detecção de impacto realizada durante a rotina de calibragem.

[0118] Estas etapas de aumento de potência e detecção de impacto são realizadas sucessivamente, até que ocorra uma detecção de impacto. Quando um impacto é detectado, então a rotina de calibragem é realizada novamente, para que seja calculado um novo valor de Offset calibrado.

[0119] Em uma modalidade alternativa da invenção não ilustrada, durante a rotina de controle de operação do pistão, quando não é detectado nenhum impacto do pistão com o cilindro na etapa de detecção de impacto, pode ser realizada uma etapa de verificação se o tempo em que o sistema está operando com o valor medido da

inclinação Slope_medido sendo superior ao limite calculado SLOPE_lim é maior do que um período determinado, por exemplo, uma hora. Em caso negativo, continua sendo rodada a mesma rotina de controle de operação do pistão.

[0120] Por outro lado, caso este tempo de operação seja superior a 1 hora, então é executada novamente a rotina de calibragem, para o cálculo de um novo valor de Offset calibrado.

[0121] Voltando-se ao controle do compressor, caso o valor medido da inclinação Slope_medido do sinal de deslocamento SD seja menor ou igual ao limite calculado SLOPE_lim, então o compressor está operando com uma amplitude de operação maior do que a amplitude considerada segura, e corre risco de colisão com o cabeçote de cilindro. Então, pode-se diminuir ligeiramente a potência ou a tensão do sinal de acionamento do motor linear, para que o compressor volte a operar na faixa de operação segura. Após isso, o método de acordo com a invenção cai novamente na etapa de verificar se houve impacto entre o pistão e o cilindro em decorrência desta modificação da potência do sinal de acionamento. Caso haja impacto, retorna-se para a rotina de calibragem. Caso não haja impacto, volta-se para a etapa de medição da potência e período do sinal de acionamento, e inclinação do sinal de deslocamento SD, para cálculo do valor de SLOPE_lim, e continua-se a realizar as etapas sucessivas da rotina de controle do compressor.

[0122] Realizando-se a rotina de controle do compressor em associação com a rotina de calibragem, reduz-se bastante a frequência de colisões do pistão com o cabeçote do cilindro. Porém, ao mesmo tempo, o pistão é controlado para chegar a uma posição bem próxima do cabeçote de cilindro, maximizando a sua amplitude de operação, assim como o desempenho do compressor. Como o aumento e a redução na tensão do sinal de acionamento do motor linear são em quantidades bastante reduzidas, isto permite uma calibragem precisa

do compressor, com uma distância de segurança entre o pistão e o cilindro bastante reduzida, quando da operação em sua capacidade máxima.

[0123] A figura 7 mostra o comportamento do sinal de deslocamento SD gerado pelo circuito de detecção de posição do pistão, juntamente com o sinal de corrente do compressor I_c , e com o sinal de comparador SC indicativo de que o pistão atingiu sua posição máxima no curso de deslocamento. Este último sinal SC é gerado na saída do comparador que compara o Slope_medido do sinal de deslocamento SD com o limite calculado SLOPE_lim.

[0124] Nota-se que o sinal do comparador SC forma um pulso quadrado cujo comprimento é igual ao intervalo de tempo em que o sinal de deslocamento SD é maior que V_{ref} , ou seja, quando o pistão está próximo da sua posição máxima de curso de deslocamento. O sinal do comparador SC possui uma forma de onda quadrada, com pulsos indicativos dos momentos em que o pistão atingiu sua posição máxima no curso de deslocamento. Observando-se o comportamento do sinal de corrente do compressor I_c , nota-se ainda que, nos momentos em que o sinal de deslocamento SD assume seus valores máximos e mínimos, $I_c = 0$.

[0125] Os gráficos mostrados nas figuras 11 a 15 mostram como o valor do slope do sinal de deslocamento SD, assim como a frequência e a potência do sinal de acionamento variam em função das condições de operação do compressor.

[0126] A figura 11 mostra os valores do slope do sinal de deslocamento SD no limite de impacto (equivalente à variável Slope_medido na rotina de calibragem) em várias condições de operação do compressor. O eixo das ordenadas mostra a temperatura do condensador, e cada uma das linhas ilustradas no gráfico mostra os valores de Slope_medido para uma determinada temperatura do

evaporador.

[0127] O gráfico da figura 12 mostra como varia a potência do sinal de acionamento no momento do impacto, para diferentes condições de temperatura do condensador e do evaporador. Já o gráfico da figura 13 correlaciona a frequência do sinal de acionamento no momento do impacto, com as diferentes condições de temperatura do condensador e do evaporador. Os gráficos 11 a 13 demonstram que os parâmetros de frequência e potência do sinal de acionamento, bem como o valor do slope do sinal de deslocamento variam bastante em função das condições de operação do compressor, e por isso devem ser levados em consideração, quando do cálculo do valor de Offset, que é o parâmetro criado correlacionando todas estas variáveis para prevenir o impacto do pistão 1 com o cabeçote do cilindro.

[0128] A figura 14 mostra um gráfico que correlaciona o deslocamento máximo realizado pelo pistão com o valor medido do Slope correspondente do sinal de deslocamento SD, em diferentes condições de temperatura do evaporador. O eixo das ordenadas começa a ser mostrado em um valor negativo, pois o valor 0 neste gráfico corresponde à posição da placa de válvula. Por este gráfico, pode-se notar que, para qualquer condição de temperatura do evaporador, o valor do slope do sinal SD diminui, à medida que a amplitude de deslocamento do pistão aumenta, ou seja, quanto mais o pistão se aproxima da placa de válvula.

[0129] O gráfico da figura 15 mostra a correlação somente entre o período do sinal de acionamento e o sinal de deslocamento SD, ou seja, sem realizar uma compensação de potência do sinal de acionamento. Este gráfico ilustra uma linha correspondente ao valor de SLOPE_lim teórico, e os valores do Slope_medido no momento do impacto para três condições de temperatura do evaporador diferentes. Os resultados deste gráfico mostram que se for utilizada somente a compensação do

período, o compressor vai operar muito longe do limite teórico SLOPE_lim, pois os valores de Slope_medido estão bastante distantes da reta correspondente a SLOPE_lim, principalmente nos casos das temperaturas -18° e -25° C do evaporador. O ideal é que o compressor opere o mais próximo possível do limite, pois, caso contrário, seria necessário superdimensionar o compressor para operar na mesma capacidade. Quando o compressor opera perto do limite, isto significa que está funcionando em modo otimizado, extraindo a máxima capacidade do compressor.

[0130] A área acima da reta do limite teórico SLOPE_lim corresponde a uma área de operação segura, ou seja, quando os valores de Slope_medido estiverem dentro desta região, existe uma segurança de que não haverá impacto. Pode ocorrer ainda, em alguns casos, de o sistema operar com Slope_medido fora da área de operação segura, e ainda assim não haver impacto, pois a ocorrência de impacto depende de outros parâmetros. Então, utilizando-se somente a compensação de período, garante-se uma área de operação segura, mas em algumas condições haverá um superdimensionamento do compressor, e em outras condições, estará muito próximo do limite de segurança contra impacto. Em uma situação ideal em que o compressor estaria sendo utilizado da maneira mais otimizada possível, todas as curvas de Slope_medido ficariam uma sobre a outra e sobre a curva do limite teórico SLOPE_lim. Isso é possível se for adicionado mais um termo de compensação, que é a potência.

[0131] Com base na descrição da invenção aqui apresentada, torna-se evidente que a combinação das técnicas de calibragem e controle de deslocamento do pistão com sensor e sem sensor proporciona um desempenho mais preciso e eficiente para o compressor do que aqueles mostrados do estado da técnica. Esta associação permite ainda, em alguns casos preferidos, o uso de um

sensor menos preciso, mais simples e barato, que não precisa realizar a medição direta e de forma física da distância entre o pistão e o cabeçote do cilindro, mas que realiza esta medição de forma indireta, por meio de indução eletromagnética. Isto também reduz a possibilidade de danos ao próprio sensor, pois ele não fica exposto a colisões entre o pistão e o cabeçote do cilindro. Mesmo assim, caso a precisão de medição do sensor seja inferior em relação àqueles que medem a distância de forma direta, este pior desempenho é compensado com a associação à técnica de calibragem e controle sem sensor e baseada nos outros sinais elétricos do compressor.

[0132] O sistema e o método da presente invenção poderiam ainda ser utilizados para controlar um conjunto de pistão e cilindro a fim de evitar o impacto do pistão com alguma peça disposta na extremidade oposta ao cabeçote do cilindro. Neste caso, o circuito de detecção de impacto deveria ser configurado para detectar o final do curso e o impacto do pistão do lado oposto ao cabeçote do cilindro. As demais características do sistema poderiam ser mantidas e apenas adaptadas a esta pequena modificação de disposição do circuito de detecção de impacto e do circuito de detecção de posição. Em uma outra modalidade alternativa, o sistema e o método da presente invenção poderiam ser configurados para evitar impacto em ambas as extremidades do curso de deslocamento do pistão simultaneamente. Esta tarefa poderia ser realizada por meio de dois circuitos de detecção de impacto e de circuito de detecção de posição distintos, cada par de circuitos destinado a monitorar uma extremidade do curso do pistão, ou ainda por meio de um único circuito de detecção de impacto e um único circuito de detecção de posição capazes de detectar o impacto medir a posição de deslocamento do pistão em ambas as extremidades simultaneamente.

[0133] Tendo sido descrito um exemplo de concretização preferido, deve ser entendido que o escopo da presente invenção abrange outras

possíveis variações, sendo limitado tão somente pelo teor das reivindicações apensas, aí incluídos os possíveis equivalentes.

REIVINDICAÇÕES

1. Sistema de controle de compressor linear compreendendo:

um motor linear que aciona o movimento alternativo de um pistão (1) no interior de um cilindro (2),

um circuito de detecção de posição que gera um sinal de deslocamento (SD) indicativo da amplitude de deslocamento do pistão, um circuito de detecção de impacto que gera um sinal de impacto (SI) indicativo de ocorrência de impacto do pistão (1) com um cabeçote do cilindro,

um circuito de controle que aplica um sinal de acionamento variável sobre o motor linear,

o sistema sendo **caracterizado pelo fato** de que o circuito de controle recebe o sinal de deslocamento (SD) e o sinal de impacto (SI), e calcula a partir destes sinais e do sinal de acionamento, pelo menos um parâmetro de limite de prevenção de impacto para o sinal de deslocamento (SD), o qual é proporcional ao valor da variação ou da derivada do sinal de deslocamento (SD) no momento do impacto, definindo uma área de operação de segurança anti-impacto em função deste parâmetro, em que o parâmetro de limite de prevenção de impacto é calculado pela equação

$$\text{SLOPE}_{\text{min}} = K1 \times \text{Período} + K2 \times \text{Potência} - \text{Offset}_{\text{max}}$$
 em que:

$\text{SLOPE}_{\text{min}}$ é o valor da variação do sinal de deslocamento (SD) no momento do impacto,

K1 e K2 são respectivamente constantes de compensação de

período e potência do sinal de acionamento,

Período e Potência são os valores do período e da potência do sinal de acionamento no momento do impacto, e

Offset_max é o parâmetro de limite de prevenção de impacto,

o circuito de controle compara o sinal de deslocamento (SD) gerado em resposta ao sinal de acionamento com o parâmetro de limite de prevenção de impacto, e ajusta o sinal de acionamento do motor em função do resultado da comparação.

2. Sistema de controle, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato** de que o parâmetro de limite de prevenção de impacto para o sinal de deslocamento (SD) do pistão determina um limite para a amplitude de deslocamento máxima do pistão sem que haja impacto entre o pistão e o cabeçote do cilindro.

3. Sistema de controle, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 2, **caracterizado pelo fato** de que o circuito de controle recebe sinais indicativos das condições de operação do compressor e calcula o novo sinal de acionamento do motor também em função destes sinais de condições de operação do compressor.

4. Sistema de controle, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, **caracterizado por** ser aplicado a um sistema de refrigeração, em que o circuito de controle recebe sinais indicativos das condições de operação do sistema de refrigeração e calculam o novo sinal de acionamento do motor também em função destes sinais do sistema de refrigeração.

5. Sistema de controle, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 4, **caracterizado pelo fato** de que o parâmetro de limite de prevenção de impacto Offset é calculado somando-se ao valor de Offset_max uma componente Δ Safety que é uma constante correspondente à distância de segurança entre a amplitude máxima de deslocamento do pistão e o cabeçote do cilindro.

6. Sistema de controle, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 5, **caracterizado pelo fato** de que o parâmetro de limite de prevenção de impacto é calculado realizando-se a média aritmética de pelo menos três valores do parâmetro de limite de prevenção de impacto calculados em três momentos diferentes.

7. Sistema de controle, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 6, **caracterizado pelo fato** de que o circuito de controle compreende uma memória onde são armazenados pelo menos alguns parâmetros dos sinais de deslocamento (SD) e de impacto (SI) e do sinal de acionamento, e os valores dos parâmetros calculados pelo circuito de controle.

8. Sistema de controle, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 7, **caracterizado pelo fato** de que o circuito de controle aumenta o sinal de acionamento do motor se o resultado da comparação mostrar que o sinal de deslocamento (SD) está dentro da área de operação de segurança anti-impacto, e diminui o sinal de acionamento do motor se o resultado da comparação mostrar que o sinal de deslocamento (SD) está fora da área de operação de segurança anti-impacto.

9. Método de controle de um compressor linear dotado de um pistão (1) acionado por um motor linear e se deslocando dentro de um cilindro (2), um circuito de detecção de posição que emite um sinal (SD) indicativo do deslocamento do pistão dentro do cilindro, e um circuito de detecção de impacto do pistão com o cabeçote de cilindro que emite um sinal (SI) indicativo do impacto do pistão com o cabeçote de cilindro, o método compreendendo as etapas de:

(a) realizar uma rotina de calibragem do compressor linear que compreende:

- detectar um impacto do pistão (1) com o cabeçote de cilindro,
- medir o sinal de acionamento no momento do impacto entre o pistão e o cabeçote de cilindro,
- medir o sinal de deslocamento (SD) no momento do impacto entre o pistão e o cabeçote de cilindro,

caracterizado por compreender ainda as seguintes etapas:

- calcular um parâmetro de limite de prevenção de impacto em função das medições do sinal de acionamento e do sinal de deslocamento (SD) quando do impacto do pistão com o cabeçote de cilindro, sendo que o parâmetro de limite de prevenção de impacto é proporcional ao valor da variação ou da derivada do sinal de deslocamento (SD) no momento do impacto e o parâmetro de limite de prevenção de impacto é calculado pela equação

$SLOPE_{min} = K1 \times \text{Período} + K2 \times \text{Potência} - \text{Offset}_{max}$ em que:

SLOPE_{min} é o valor da variação ou derivada do sinal de deslocamento (SD) no momento do impacto,

K1 e K2 são respectivamente constantes de compensação de período e potência do sinal de acionamento,

Período e Potência são os valores do período e da potência do sinal de acionamento no momento do impacto, e

Offset_{max} é o parâmetro de limite de prevenção de impacto,

(b) realizar uma rotina de controle do compressor linear que compreende as etapas de:

- medir o sinal de acionamento e o sinal de deslocamento (SD),

- calcular um valor de limite que um parâmetro de controle do sinal de deslocamento (SD) pode assumir sem impacto entre o pistão e o cabeçote de cilindro, em função do sinal de acionamento medido e do parâmetro de limite de prevenção de impacto calculado na rotina de calibragem, e determinar uma área de operação de segurança anti-impacto para o parâmetro de controle do sinal de deslocamento (SD),

- comparar o valor medido do parâmetro de controle do sinal de deslocamento (SD) com o valor de limite calculado do parâmetro de controle do sinal de deslocamento (SD),

- caso o valor medido do parâmetro de controle do sinal de deslocamento (SD) esteja dentro da área de operação de segurança anti-impacto, variar o sinal de acionamento para aumentar a eficiência do compressor linear,

- caso o valor medido do parâmetro de controle do sinal

de deslocamento (SD) esteja fora da área de operação de segurança anti-impacto, variar o sinal de acionamento para diminuir a eficiência do compressor linear,

- detectar se houve um impacto do pistão com o cabeçote de cilindro pela análise do sinal de impacto (SI), e caso tenha havido impacto, executar a rotina de calibragem para recalcular a variável de calibragem anti-impacto, e caso não tenha havido impacto, executar a rotina de controle.

10. Método de controle, de acordo com a reivindicação 9, **caracterizado pelo fato** de que o parâmetro de limite de prevenção de impacto Offset é calculado somando-se ao valor de Offset_max uma componente $\Delta Safety$ que é uma constante correspondente à distância de segurança entre a amplitude máxima de deslocamento do pistão e o cabeçote do cilindro.

11. Método de controle, de acordo com a reivindicação 9 ou 10, **caracterizado pelo fato** de que:

- a etapa de calcular um valor de limite que um parâmetro de controle do sinal de deslocamento (SD) pode assumir sem impacto entre o pistão e o cabeçote de cilindro compreende calcular a derivada SLOPE_lim do sinal de deslocamento (SD) pela equação

$$SLOPE_lim = K1 \times Período + K2 \times Potência - Offset$$

(Equação III)

- a etapa de comparar o valor medido do parâmetro de controle do sinal de deslocamento (SD) com o valor de limite calculado do parâmetro de controle do sinal de deslocamento (SD) compreende comparar o valor medido SLOPE_medido da

derivada do sinal de deslocamento (SD) com o valor calculado de SLOPE_lim,

- a etapa de variar o sinal de acionamento para aumentar a eficiência do compressor linear compreende aumentar a tensão do sinal de acionamento, e

- a etapa de variar o sinal de acionamento para diminuir a eficiência do compressor linear compreende diminuir a tensão do sinal de acionamento.

12. Método de controle, de acordo com qualquer uma das reivindicações 9 a 11, **caracterizado pelo fato** de compreender ainda uma etapa de adquirir sinais indicativos das condições de operação do compressor, os quais são considerados na etapa de variar o sinal de acionamento.

13. Método de controle, de acordo com qualquer uma das reivindicações 9 a 12, **caracterizado pelo fato** de compreender uma etapa de armazenar pelo menos alguns dentre os valores dos sinais gerados pelo circuito de controle, os valores dos sinais alimentados ao circuito de controle e os valores dos parâmetros calculados pelo circuito de controle.

14. Método de controle, de acordo com uma das reivindicações 9 a 13, **caracterizado pelo fato** de que a variação do sinal de deslocamento (SD) é medida em um intervalo de tempo em que a amplitude do sinal de deslocamento (SD) varia entre um valor de referência predeterminado e zero.

15. Método de controle, de acordo com uma das reivindicações 9 a 15, **caracterizado pelo fato** de que o parâmetro de limite de prevenção de impacto é calculado

realizando-se a média aritmética de pelo menos três valores do parâmetro de limite de prevenção de impacto calculados em três momentos diferentes.

16. Método de controle de compressor linear, **caracterizado pelo fato** de controlar a operação do compressor linear em função de um sinal de deslocamento (SD) de um pistão (1) dentro de um cilindro (2) do compressor, e de um sinal de impacto (SI) do pistão (1) com um cabeçote do cilindro dentro de um cilindro (2), sendo que durante o controle da operação do compressor linear, o método compreende uma etapa de calcular, a partir dos sinais de deslocamento (SD) e de impacto (SI), pelo menos um parâmetro de limite de prevenção de impacto para o sinal de deslocamento (SD), o qual é proporcional ao valor da variação ou da derivada do sinal de deslocamento (SD) no momento do impacto, e definir uma área de operação de segurança antiimpacto em função deste parâmetro, em que o parâmetro de limite de prevenção de impacto é calculado pela equação

$$\text{SLOPE}_{\text{min}} = K1 \times \text{Período} + K2 \times \text{Potência} - \text{Offset}_{\text{max}}$$
 em que:

SLOPE_{min} é o valor da variação ou derivada do sinal de deslocamento (SD) no momento do impacto,

K1 e K2 são respectivamente constantes de compensação de período e potência do sinal de acionamento,

Período e Potência são os valores do período e da potência do sinal de acionamento no momento do impacto, e

Offset_{max} é o parâmetro de limite de prevenção de

impacto.

17. Método de controle de compressor linear de acordo com a reivindicação 16, **caracterizado pelo fato** de compreender uma etapa de comparar o sinal de deslocamento (SD) gerado em resposta ao sinal de acionamento com o parâmetro de limite de prevenção de impacto, e ajustar o sinal de acionamento do motor em função do resultado da comparação.

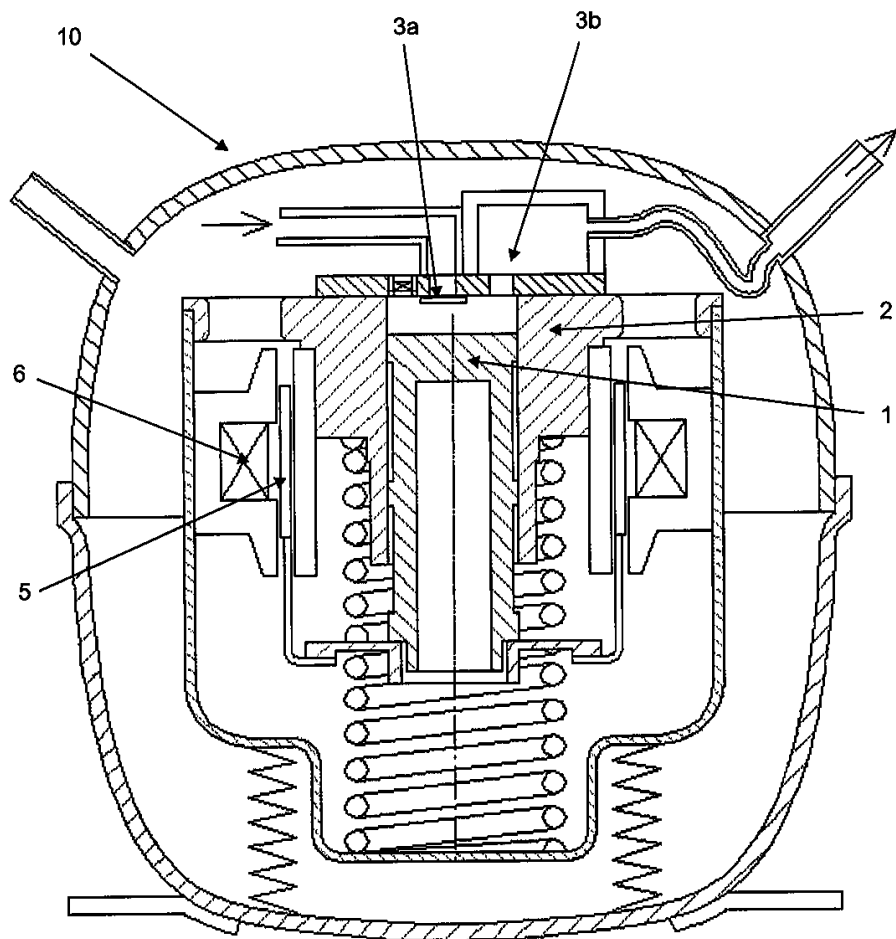
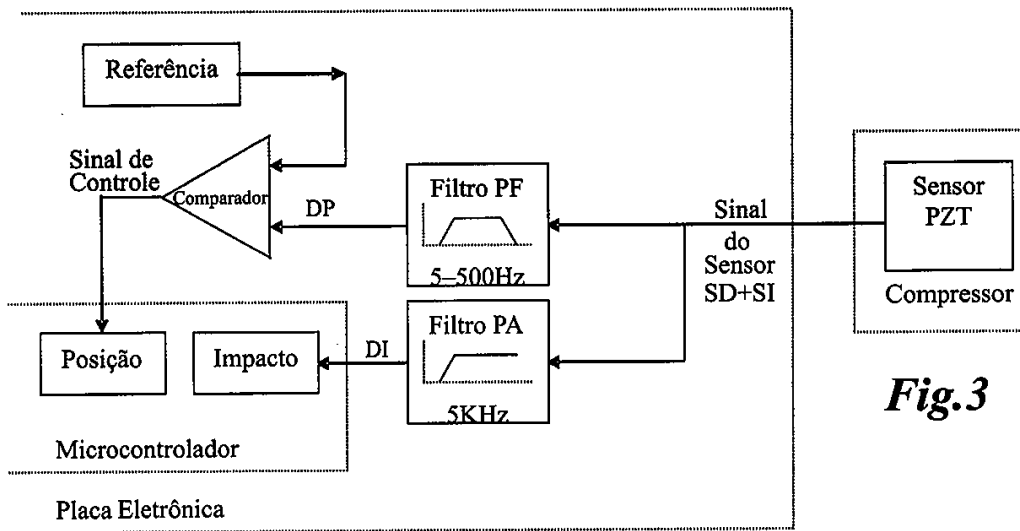
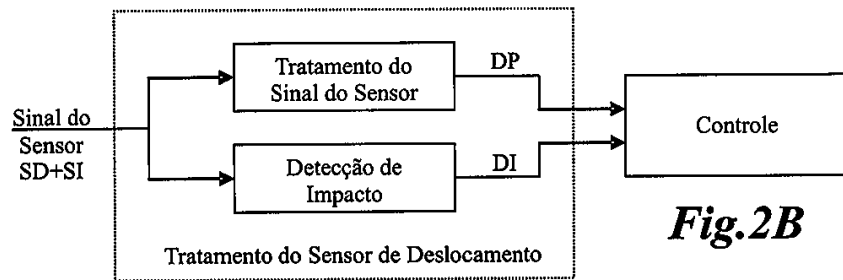
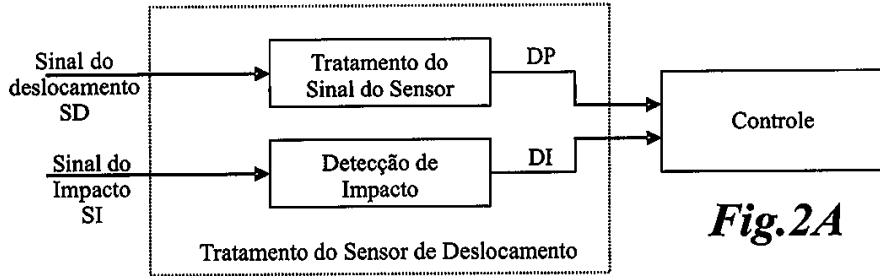


Fig.1



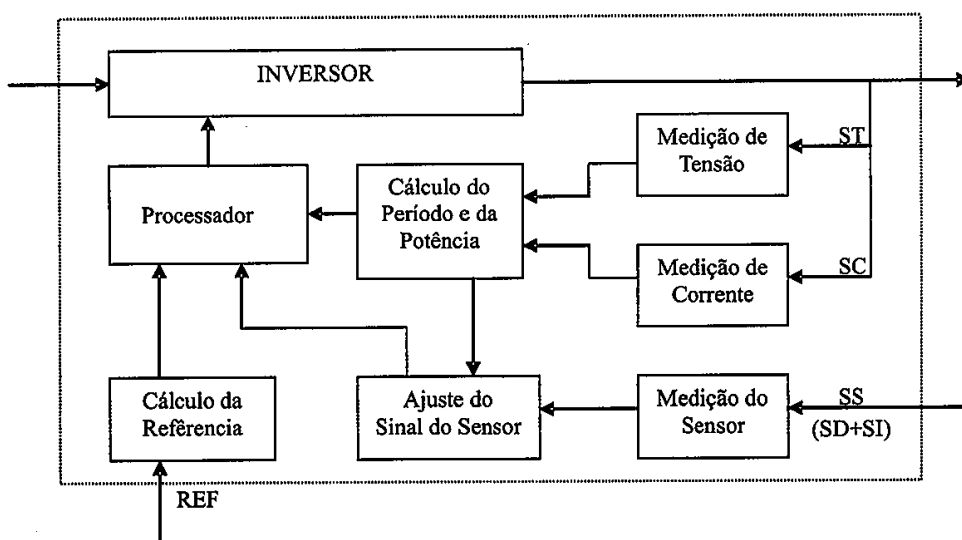
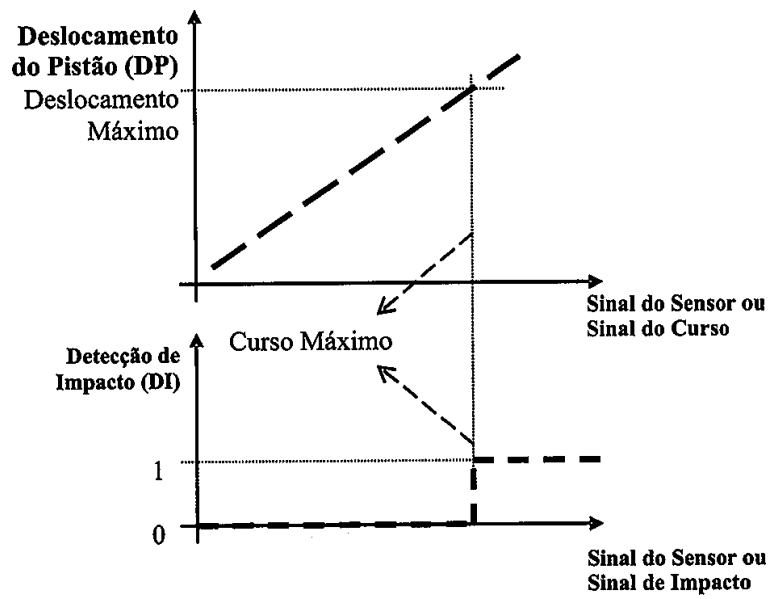


Fig.4

*Fig.5*

53

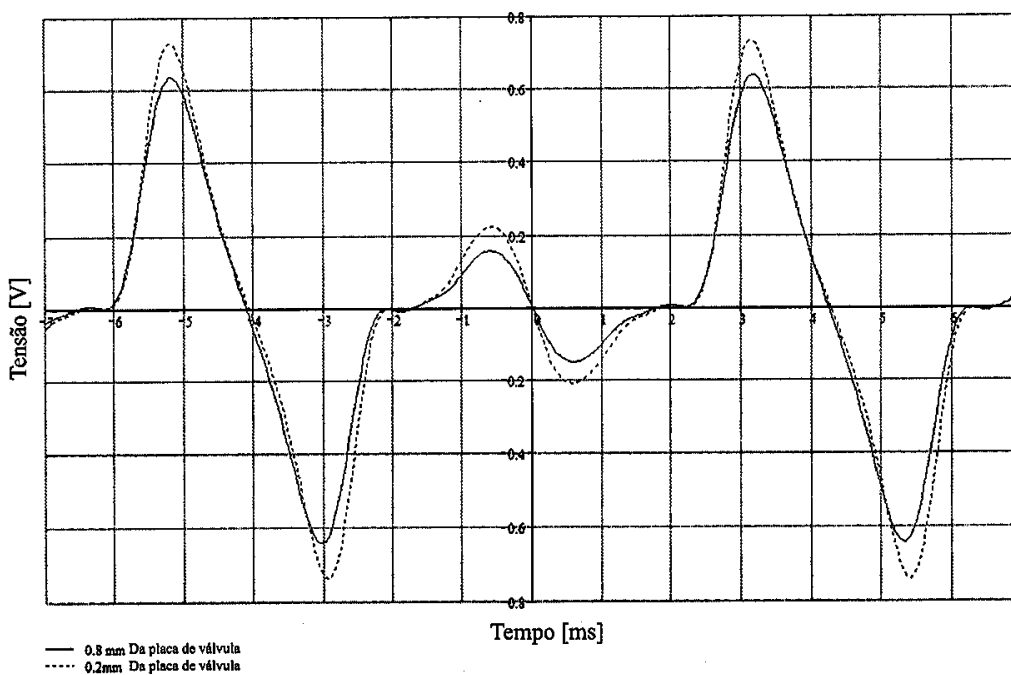


Fig.6

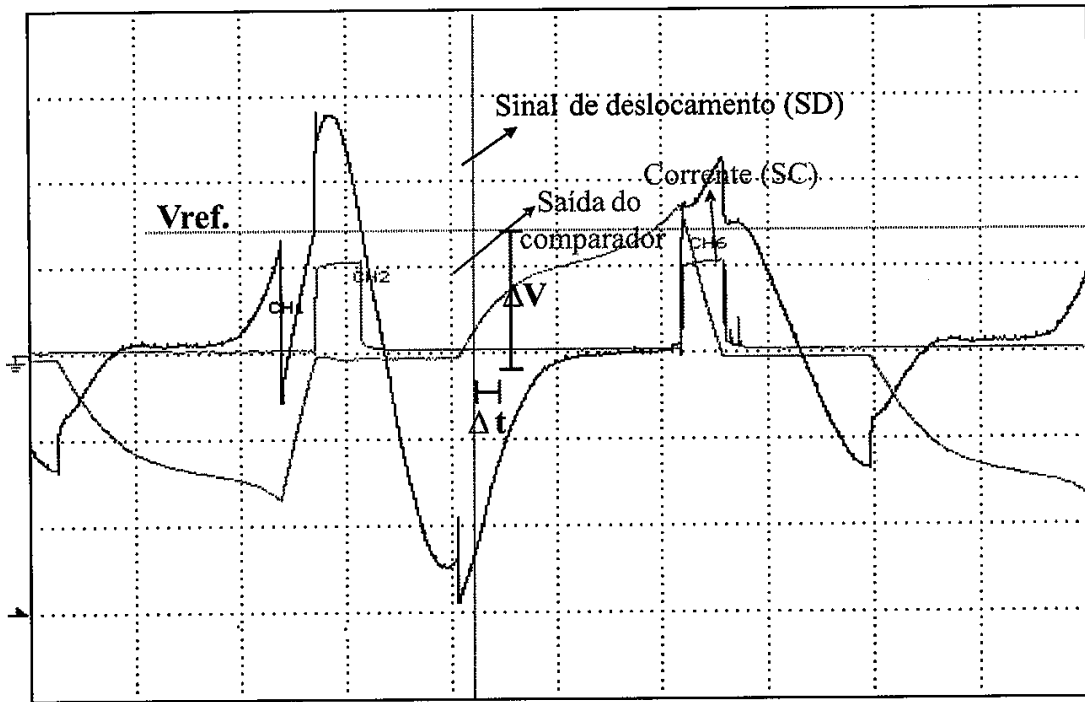


Fig.7

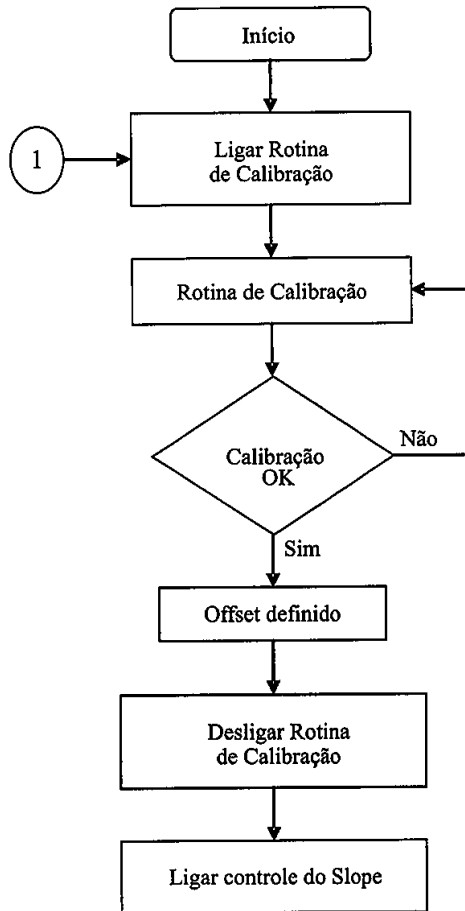
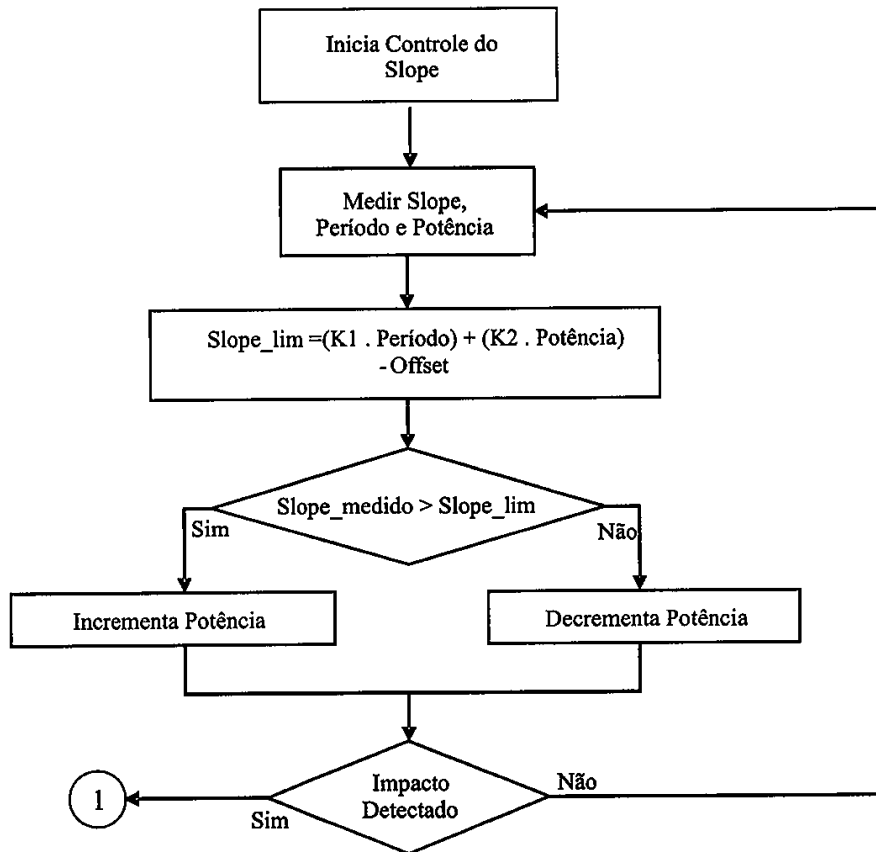


Fig.8

**Fig.9**

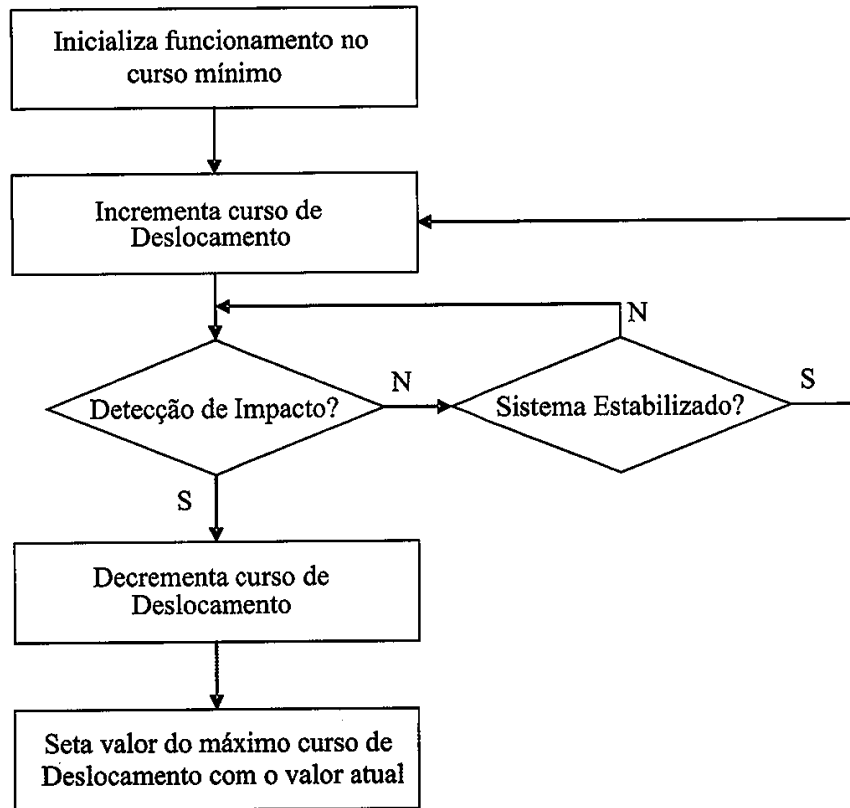


Fig.10A

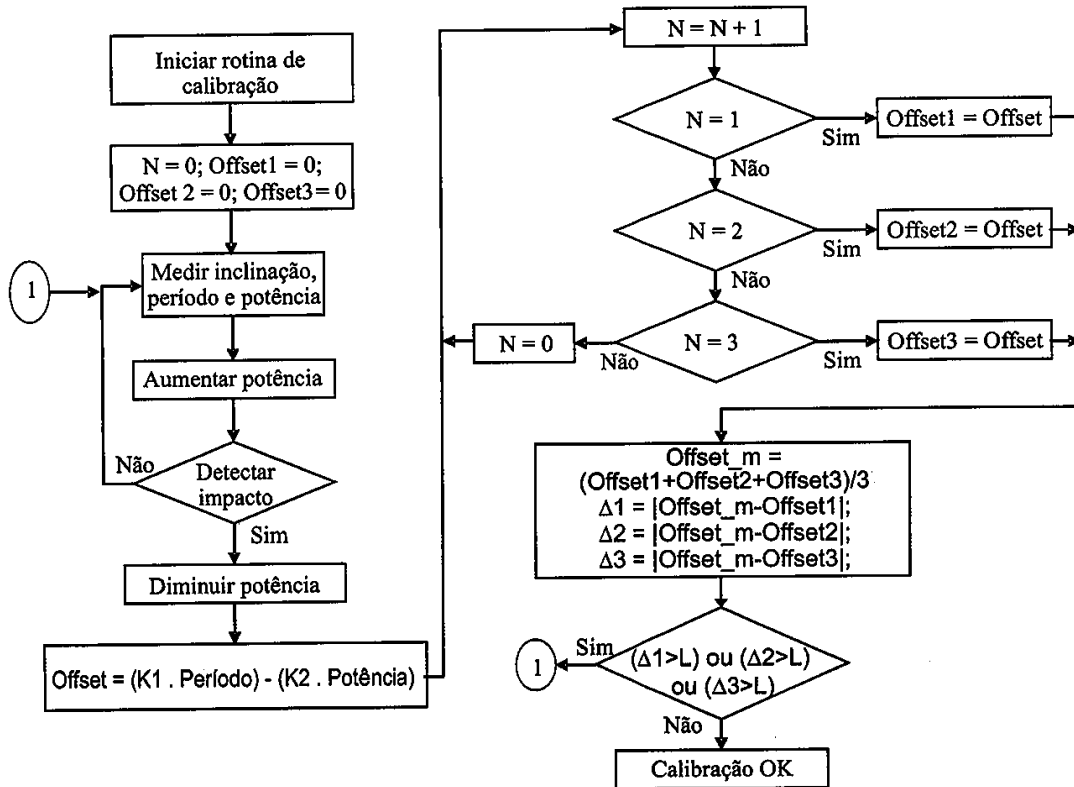


Fig.10B

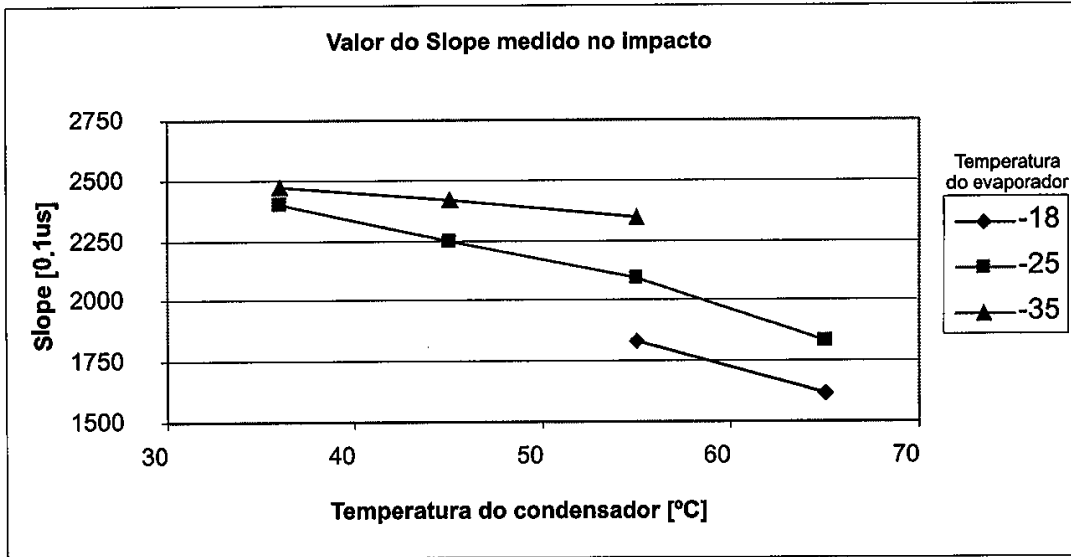


Fig.11

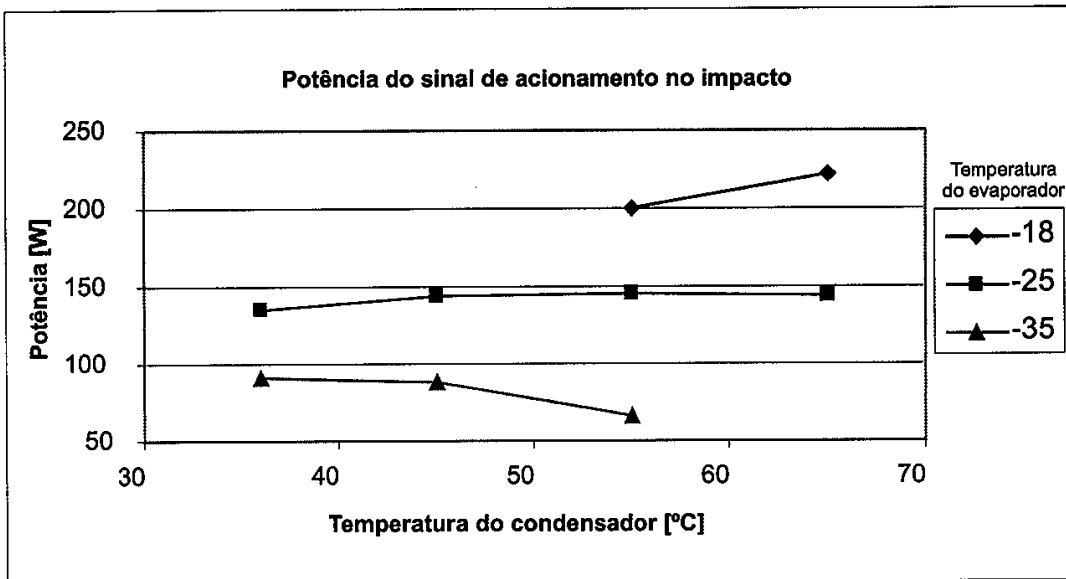


Fig.12

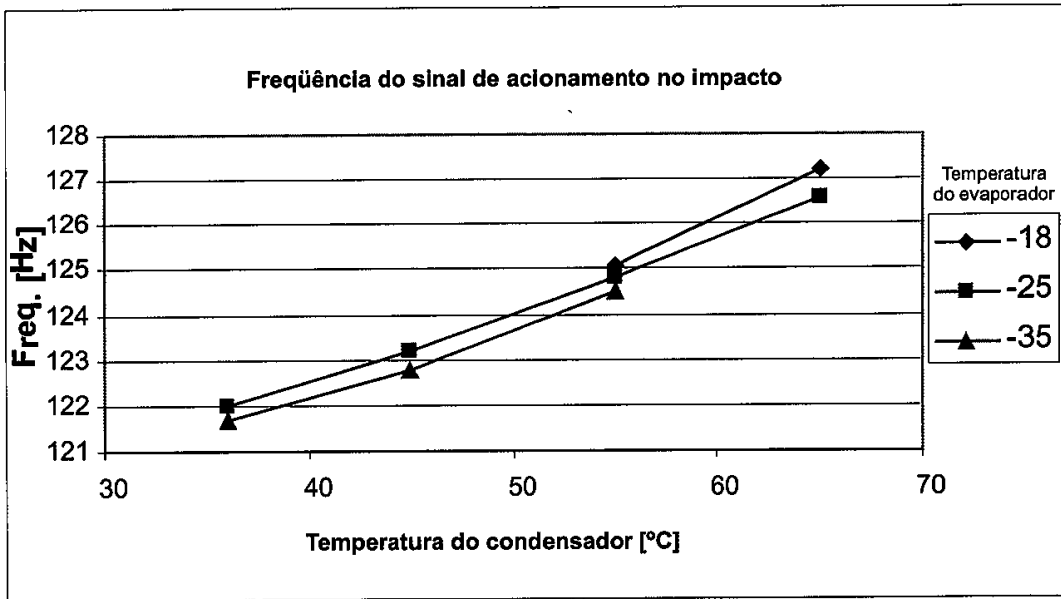


Fig.13

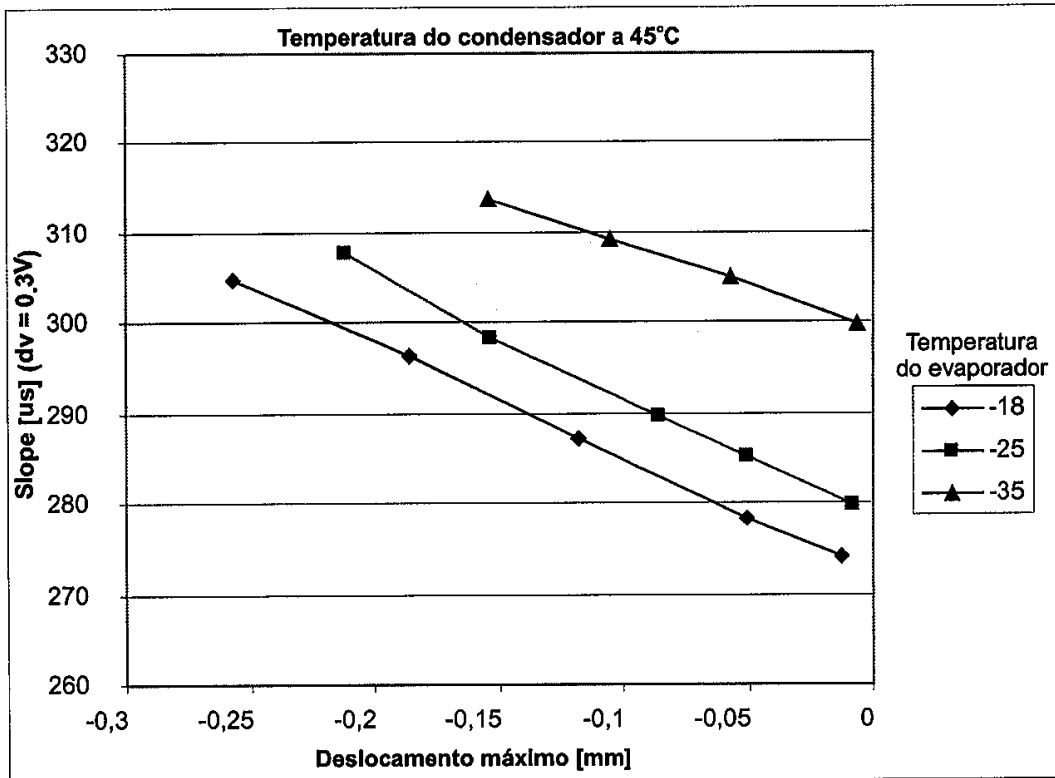
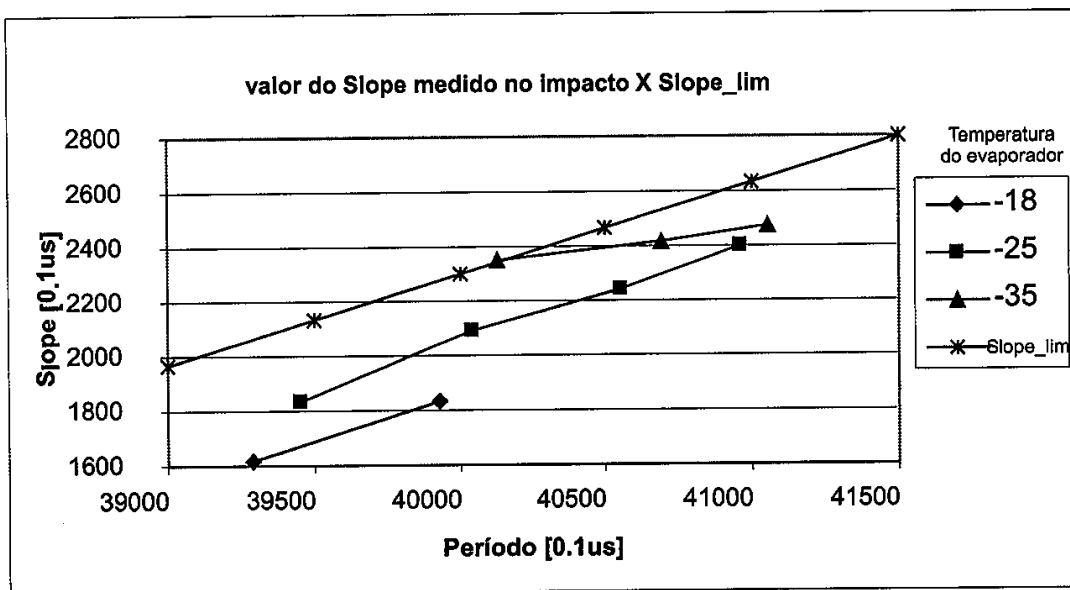


Fig.14

*Fig.15*