



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

(11) PI 0214656-8 B1



(22) Data do Depósito: 15/10/2002

(45) Data de Concessão: 10/11/2020

(54) Título: MÉTODO E SISTEMA PARA DETERMINAR A EXISTÊNCIA DE UMA INSTABILIDADE DENTRO DE UMA MALHA DE CONTROLE DE PROCESSO

(51) Int.Cl.: G05B 5/01.

(30) Prioridade Unionista: 05/12/2001 US 10/006955.

(73) Titular(es): FISHER CONTROLS INTERNATIONAL LLC.

(72) Inventor(es): KENNETH W. JUNK.

(86) Pedido PCT: PCT US2002032745 de 15/10/2002

(87) Publicação PCT: WO 2003/054640 de 03/07/2003

(85) Data do Início da Fase Nacional: 02/06/2004

(57) Resumo: "MÉTODOS PARA DETERMINAR A EXISTÊNCIA E A FONTE DE UMA INSTABILIDADE DENTRO DE UMA MALHA DE CONTROLE DE PROCESSO, E, SISTEMA PARA DETERMINAR A EXISTÊNCIA DE, OU UMA FONTE DE, UMA INSTABILIDADE DENTRO DE UMA MALHA DE CONTROLE DE PROCESSO". Um método e aparelho determinam a presença de, e fonte de instabilidades tal como ciclos limite, dentro de uma malha de controle de processo enquanto a malha de controle de processo opera em linha (on-line) dentro de um ambiente de processo. O método e aparelho que medem um ou mais sinais dentro de uma malha de controle de processo, quando a malha de controle de processo está conectada em linha dentro do ambiente de controle de processo, armazenam o sinal medido como dados de sinal, e então realizam uma ou mais análises estatísticas sobre os dados de sinal armazenados, para determinar se existem instabilidades e, caso positivo, se a fonte de uma instabilidade está dentro de uma malha servo ou fora de uma malha servo, e se é devida a atrito, forças externas, ou anomalias mecânicas.

“MÉTODO E SISTEMA PARA DETERMINAR A EXISTÊNCIA DE UMA INSTABILIDADE DENTRO DE UMA MALHA DE CONTROLE DE PROCESSO”

PEDIDOS RELACIONADOS

[0001] Esta é uma continuação parcial do Pedido de Patente U.S. de Número de Série 09/370.474, depositado em 9 de agosto de 1999, intitulado “Statistical Determination of Estimates of Process Control Loop Parameters” que é uma continuação parcial do Pedido de Patente U.S. de Número de Série 08/939.364, depositado em 29 de setembro de 1997, intitulado “Method and Apparatus for Nonobtrusive Obtaining On-Line Measurements of a Process Control Device Parameter” que é também um Pedido regular depositado com base no Pedido Provisório 60/098.464, depositado em 31 de agosto de 1998, intitulado “Statistical Determination of Estimates of Process Control Loop Parameters”.

CAMPO TÉCNICO

[0002] A presente invenção é relativa, de modo geral, a redes de controle de processo e, mais particularmente a um método e sistema para determinar causas de instabilidades, tais como ciclos limite dentro de uma malha de controle de processo enquanto, por exemplo, a malha de controle de processo está conectada online dentro de um ambiente de processo.

TÉCNICA FUNDAMENTAL

[0003] Processos de fabricação comercial em grande escala e de refinação utilizam tipicamente controladores de processo para controlar operação de um ou mais dispositivos de controle de processos, tais como válvulas, baseados em realimentação a partir de um ou mais sensores tais como escoamento, temperatura ou outros tipos de sensores. Cada conjunto de tal controlador, válvula e dispositivos sensores, forma o que é referido genericamente como uma malha de controle de processo. Além disto, cada válvula, ou outro dispositivo pode, por sua vez, incluir uma malha interna na qual, por exemplo, um posicionador de válvula controla um atuador de válvula para mover um elemento de controle, tal como um bujão de válvula em resposta a um sinal de controle, e obtém realimentação a partir de um sensor, tal como um sensor de posição para controlar movimento do bujão da

válvula. Esta malha interna é algumas vezes chamada uma malha servo. Em qualquer caso, o elemento de controle de um dispositivo de controle de processo pode se mover em resposta à mudança da pressão de fluido sobre um diafragma deslocado por mola, ou em resposta à rotação de um eixo, cada um dos quais pode ser provocado por uma mudança no sinal de comando. Em um mecanismo de válvula padrão, um sinal de comando com uma magnitude que varia na faixa de 4 a 20 mA (miliampères), faz com que um posicionador altere a quantidade de fluido, e assim a pressão do fluido dentro de uma câmara de pressão, na proporção da magnitude do sinal de comando. Mudar a pressão de fluido na câmara de pressão faz com que um diafragma se mova contra um deslocamento de mola que, por sua vez, provoca movimento de um bujão de válvula.

[0004] Dispositivos de controle de processo usualmente desenvolvem ou produzem um sinal de realimentação indicativo da resposta do dispositivo para o sinal de comando, e fornecem este sinal de realimentação, ou indicação de respostas, para o controlador de processo ou para o atuador de válvula, para utilização no controle do processo ou da válvula. Por exemplo, mecanismos válvula tipicamente produzem um sinal de realimentação indicativo da posição (isto é, percurso) de um bujão de válvula, da pressão dentro de uma câmara de fluido da válvula, ou do valor de alguns outros fenômenos relacionados com a posição real do bujão da válvula.

[0005] Embora um controlador de processo utilize genericamente estes sinais de realimentação, juntamente com outros sinais, como entradas para um algoritmo de controle centralizado, altamente sintonizado, que efetua controle global de um processo, foi descoberto que desempenho insuficiente de malha de controle pode ainda ser provocado por condições operacionais insuficientes dos dispositivos de controle individuais, conectados dentro da malha de controle que incluem, por exemplo, instabilidades dentro da malha de controle de processo. Um sistema experimenta uma “instabilidade” quando ele não pode alcançar um ponto de equilíbrio durante a operação. Pessoal da instalação muitas vezes se refere a estas instabilidades como “ciclagem”, “oscilação”, “vibração”, o que está em contraste com

operação normal, na qual o sistema alcança um ponto de equilíbrio ou se “alinha”.

[0006] Em diversos casos, problemas associados com um ou mais dos dispositivos individuais de controle de processo não pode ser sintonizados da malha de controle pelo controlador de processo e, como resultado, as malhas de controle que desempenham de maneira insatisfatória são colocadas em manual e são dessintonizadas até o ponto onde elas estejam efetivamente em manual. Em alguns casos o pessoal da instalação pode rastrear malhas individuais que estão ciclando, e irão dessintonizar o controlador associado ou colocar a malha em falha, em manual. Se o sistema se ajusta, eles sabem que é um problema de sintonia, não um problema de hardware. Em uma maneira similar, se o processo tem dinâmica rápida bem conhecida (tal como uma malha de escoamento), operadores irão correlacionar a saída do controlador com a variável de processo. Se a saída do controlador é uma onda triangular e a variável de processo é uma onda quadrada, eles irão concluir muitas vezes que a válvula de controle está “grudando”. Estes e outros procedimentos locais são utilizados por diversos operadores de instalação, porém incluem diversas limitações. Por exemplo, o primeiro procedimento requer que o operador coloque o sistema em manual, o que pode não ser permitido, especialmente em processos de operação contínua. O segundo procedimento é bom para identificar ciclos limite induzidos pela malha de controle de processo, porém não é capaz de rastrear instabilidades na malha servo. Além disto, correlação entre um sinal de comando e uma variável de processo não é sempre direta devido a complicações tais como a dinâmica de processo de integração, a dinâmica de processo não linear, a dinâmica de processo acoplado cruzado e perturbações de processo. Instabilidades na malha servo podem ser particularmente difíceis de discernir, uma vez que o pessoal da instalação não têm acesso às variáveis internas de estado de uma válvula de controle. Problemas adicionais surgem quando instabilidades são influenciadas pelo fluido de processo, como é o caso com gradientes negativos. Nestas situações, uma válvula pode oscilar quando em serviço, porém se torna bem comportada quando é tomada fora da linha.

[0007] Desempenho insuficiente de malha de controle pode, usualmente, ser

superado por monitoramento da condição operacional ou da “saúde” de cada um dos dispositivos de controle de processo conectados dentro da malha, ou no mínimo os dispositivos de controle de processo, os mais críticos, conectados dentro da malha, e reparando ou substituindo os dispositivos de controle de processo que desempenham de maneira insatisfatória. A saúde de um dispositivo de controle de processo pode ser determinada medindo um ou mais parâmetros associados com o dispositivo de controle de processo, e determinando se o um ou mais parâmetros está(ao) fora de uma faixa aceitável. Um dos problemas que pode ser monitorado é a detecção de instabilidades em uma malha de processo ou um dispositivo de controle. Tais instabilidades podem ser o resultado de, por exemplo, ciclos limite que fazem com que a malha oscile.

[0008] Em particular, o termo “ciclo limite” genericamente se refere a movimentos cíclicos indesejáveis de um elemento móvel dentro de um dispositivo de controle de processo, tal como uma válvula de haste deslizante. Existem diversas causas de ciclos limite que incluem, por exemplo, forças externas, atrito e anomalias mecânicas. Forças externas tais como pancadas ou correntes de jato, ou outras forças que colocam um gradiente negativo sobre, por exemplo, um bujão de válvula, pode provocar movimento do elemento, o qual é então compensado pelo mecanismo de controle, seja dentro ou fora da malha servo. Atrito, por exemplo, atrito aumentado provocado por carregamento lateral sobre o elemento móvel pode impedir movimento inicial do elemento, fazendo com isto que o mecanismo de controle aumente a pressão sobre o elemento móvel. Esta pressão aumentada provoca alongamento de curso e, com isto, inicia movimento cíclico do elemento. Anomalias mecânicas ou de dispositivo podem incluir interações entre a pneumática do atuador e aquelas de equipamento de apoio tal como reguladores de suprimento de ar, reforçadores de volume ou válvulas de liberação rápida, ou outras anomalias que envolvem o equipamento auxiliar. Em resumo, ciclos limite podem ser provocados por uma própria malha de controle de processo, por forças externas, acessórios de válvula, atrito, etc.

[0009] No passado não era fácil determinar a fonte ou causa de uma

instabilidade dentro de uma malha de controle de processo, sem ter uma revisão de um técnico e diagnóstico do sistema, o que poderia ser consumidor de tempo e caro. Em alguns casos, estas pessoas tinham que remover um dispositivo de controle de processo de uma malha de controle para um teste de bancada, para testar em bancada o dispositivo ou, alternativamente, as próprias malhas de controle eram dotadas de válvulas de contorno e dispositivos de controle de processo redundantes, para tornar possível contornar um dispositivo específico de controle de processo para testar, com isto, um dispositivo, enquanto o processo está operando. Alternativamente, operadores tinham que esperar até que um processo fosse parado, ou sofresse uma parada programada, para testar os dispositivos individuais de controle de processo dentro do processo, que poderiam ser a fonte de uma instabilidade. Cada uma destas opções é consumidora de tempo, cara e somente fornece determinação intermitente de instabilidades em um sistema. Ainda mais, nenhum destes métodos é particularmente adequado para determinar a fonte, ou causa, de uma instabilidade enquanto o processo está operando online, isto é, sem perturbar ou interromper o processo.

[0010] Houve algumas tentativas de coletar dados a partir de um dispositivo de controle de processo online e obter uma indicação de características de um dispositivo a partir disto. Por exemplo, a Patente U.S. No. 5.687.098 a Grumstrup e outros, divulga um sistema que coleta dados de dispositivo, e constrói e apresenta a característica de resposta do dispositivo. Da mesma forma, o Pedido de Número de Série 08/939.364 depositado em 29 de setembro de 1997, intitulado “Method of and Apparatus for Nonobtrusively Obtaining On-Line Measurements of a Process Control Device Parameter” sobre o qual este Pedido se apóia para finalidades de prioridade, divulga um sistema que coleta dados de dispositivo online e utiliza estes dados para calcular diretamente certos parâmetros de dispositivo, tal como banda morta, tempo morto e etc. A divulgação deste Pedido especificamente relacionado a um aparelho e método para obter medições online de parâmetros de dispositivo de controle de processo (isto é, a divulgação relacionada às Figuras 1-3) é aqui expressamente incorporado com isto para referência. Além disto, a divulgação do Pedido de Patente

U.S. de Número de Série 09/370,474, depositado em 9 de agosto de 1999, intitulado “Statistical Determination of Estimates of Process Control Loop Parameters” é também aqui, com isso, expressamente incorporado para referência. Contudo, nenhum dos métodos ou sistemas da técnica precedente conhecidos determina as causas de instabilidades dentro de um sistema de controle de processo, especialmente quando o sistema de controle de processo está operando online.

SUMÁRIO

[0011] Um método e um sistema detectam ou determinam a causa ou fonte de instabilidades dentro de um sistema de controle de processo ou um dispositivo de controle de processo, enquanto a malha de controle de processo está conectada online dentro de um ambiente de processo. O método e sistema tomam certas medições de entradas ou de saídas de uma malha de controle de processo ou dispositivo de controle de processo, tal como uma válvula durante a ocorrência de uma instabilidade, e utilizam os dados coletados para determinar a existência ou a fonte da instabilidade. Este sistema possibilita a um operador de processo monitorar, de maneira não intrusiva, um ou mais dispositivos ou malhas de controle de processo dentro de um processo, de uma maneira contínua, para determinar as causas ou fontes de instabilidade, sem ter que remover os dispositivos de controle de processo da malha de controle, sem ter que contornar os dispositivos de controle de processo na malha de controle, sem ter que superpor sinais de testes à malha de controle, e sem ter que interromper o processo ou interferir com o processo de outras formas.

[0012] Em uma configuração, o método e sistema para determinar uma fonte de uma instabilidade dentro de uma malha de controle de processo determina se a instabilidade é causada dentro de uma malha servo ou fora de uma malha servo de uma malha de controle de processo. Ainda mais, o sistema e método podem determinar se uma instabilidade dentro, por exemplo, de uma malha servo é provocada por forças externas, atrito ou anomalias mecânicas. O sistema e método podem realizar a determinação examinando se pressão relevante e sinais de percurso estão correlacionados de maneira positiva ou de maneira negativa,

determinando se uma medição de pressão de atuador conduz ou atrasa uma medição de percurso de válvula, etc.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

[0013] A Figura 1 é um diagrama de blocos de uma malha de controle de processo que inclui um dispositivo que determina a presença de, e fontes de instabilidades dentro de uma malha ou dispositivo de controle de processo;

[0014] As Figuras 2A e 2B são gráficos de um sinal de percurso, um sinal de comando e um sinal de pressão de atuador versus tempo, para um sistema que passa por instabilidades;

[0015] As Figuras 3A e 3B são gráficos de um sinal de percurso, um sinal de comando e um sinal de pressão de atuador versus tempo, que indica uma instabilidade induzida por atrito;

[0016] As Figuras 4A-4B são gráficos que ilustram um sinal de percurso, um sinal de comando e um sinal de pressão líquida de atuador versus tempo, que indica uma instabilidade provocada por um gradiente negativo em uma válvula de controle com a ação de mola fechada em falha; e

[0017] As Figuras 5A e 5B são gráficos que ilustram um sinal de percurso, um sinal de comando e um sinal de pressão líquida de atuador versus tempo, que indica uma instabilidade provocada por ganho excessivo no controlador de processo.

DESCRIÇÃO DETALHADA

[0018] Fazendo referência à Figura 1, uma malha de controle de processo 10 de entrada única e saída única está ilustrada, incluindo um controlador de processo 12 que envia, por exemplo, um sinal de comando de 4 a 20 mA (miliamperes) a um dispositivo de controle de processo 13. O dispositivo de controle de processo 13, que pode incluir um posicionador digital 14 e uma válvula de controle com um atuador de válvula 15, está ilustrado, incluindo um servo-controlador 16 que envia uma saída servo-controladora para um transdutor de corrente para pressão (I/P) 17. O transdutor I/P 17 envia um primeiro estágio de sinal de pressão para um segundo estágio pneumático 18 que pode ser, por exemplo, uma válvula carretel ou um relé pneumático. O segundo estágio pneumático 18, por sua vez, controla de maneira

pneumática o atuador de válvula e a válvula 15 com um sinal de pressão (ar pressurizado, por exemplo). A operação da válvula 15 controla a articulação de um elemento de válvula móvel tal como uma haste de válvula colocada nela (não mostrado) que, por sua vez, controla uma variável de processo dentro de um processo 20. Como é padrão, um transmissor 22 mede a variável de processo do processo 20 e transmite uma indicação da variável de processo medida para uma junção de soma 24 associada com o controlador 12. A junção de soma 24 compara o valor medido da variável de processo, convertido em uma percentagem normalizada, com um ponto de ajuste, para produzir um sinal de erro indicativo da diferença entre eles. A junção de soma 24 fornece então o sinal de erro calculado para o controlador de processo 12. O ponto de ajuste, que pode ser gerado por um usuário, um operador, ou um outro controlador, é tipicamente normalizado para estar entre 0 e 100 %, e indica o valor desejado da variável de processo. O controlador de processo 12 utiliza o sinal de erro para gerar o sinal de comando, de acordo com qualquer técnica desejada, e distribui o sinal de comando para o dispositivo 14, onde ele é adicionado em uma junção de soma 26 com um sinal produzido por um sensor de posição 27, indicativo da posição real ou presente da haste de válvula. A junção de soma 26 produz um sinal de erro que é distribuído para o servo-controlador 16, para com isto efetuar controle da variável de processo.

[0019] Embora o dispositivo de controle de processo 13 esteja ilustrado como incluindo um posicionador 14 que tem uma unidade I/P integrada 17, o dispositivo de controle de processo 13 pode incluir qualquer outro tipo de mecanismos ou elementos de válvula ao invés de, ou em adição a, aqueles ilustrados na Figura 1, inclusive, por exemplo, um dispositivo que tem um posicionador independente e unidade I/P. Além disto, deveria ser entendido que o dispositivo de controle de processo 13 pode ser qualquer outro tipo de dispositivo (além de um dispositivo do tipo válvula) que controla uma variável de processo em qualquer outra maneira desejada ou conhecida. O dispositivo de controle de processo 13 pode ser, por exemplo, um registro, etc.

[0020] Uma unidade de avaliação 30, que pode detectar a presença de, e

determinar a fonte de instabilidades na malha de processo 10 ou, em diversos casos no próprio dispositivo de controle de processo 13, é acoplada ao dispositivo de controle de processo 13 ou a qualquer outra parte da malha de controle de processo 10, utilizando sensores conhecidos. A unidade de avaliação 30, que pode incluir um computador tal como um microcomputador que tem uma memória 31 e um processador 32 nele, coleta dados que pertencem a um ou mais dos sinais dentro da malha de controle de processo 10 e determina, a partir dos dados coletados, a presença de instabilidades e uma avaliação da fonte de instabilidades dentro do sistema de controle de processo 10, ou dispositivo 13, utilizando por exemplo um ou mais programas de computador ou algoritmos 33A, 33B, 33C, armazenados na memória 31 e adaptados para serem executados no processador 32.

[0021] Como ilustrado na Figura 1, a unidade de avaliação 30 pode detectar o um ou mais dos sinais de comando distribuídos para a junção de soma 26 utilizando um sensor de corrente 34, a saída de pressão a partir da unidade I/P 17 utilizando um sensor de pressão 35, a saída do sinal de comando do atuador por meio do segundo estágio pneumático 18 utilizando um ou mais sensores de pressão 36, e a posição da válvula na saída da válvula 15 utilizando o sensor de posição 27. Ainda mais, o percurso da haste pode ser determinado ou medido por meio de um sensor de percurso de haste 37, que utiliza a saída do sensor de posição 27. Uma unidade de saída servo 38 pode monitorar a saída do servo controlador 16 e fornecer esta medição para a unidade de avaliação 30. A unidade de saída servo 38 pode fazer uma medição física da corrente que vai para a unidade I/P 17 ou pode enviar a saída digital a partir do algoritmo de controle dentro do controlador servo 16. Ainda mais, um sensor de deslocamento de segundo estágio 39 que pode ser, por exemplo, um dispositivo de efeito Hall, é utilizado para medir o deslocamento de uma válvula carretel ou relé dentro do segundo estágio pneumático 18. Naturalmente as saídas dos sensores ou outros dispositivos 34-39 são fornecidas para a unidade de avaliação 30. Embora não ilustrado na Figura 1, a saída do sensor de deslocamento 39 pode ser utilizada por meio do servo- controlador 16 para, por exemplo, amortecer a resposta dinâmica do dispositivo posicionador/válvula 13. Se desejado,

os sensores de pressão 36 podem incluir ou fornecer medições de pressão de suprimento e duas pressões de saída genericamente fornecidas por posicionadores que suportam atuadores de pistão.

[0022] A unidade de avaliação 30 pode também, ou em alternativa, detectar o sinal de ponto de ajuste, o sinal de erro na saída da junção de soma 24, o sinal de erro na saída da junção de soma 26, a variável de processo, a saída do transmissor 22 ou quaisquer outros sinais ou fenômenos que provocam ou indicam movimento ou operação do dispositivo de controle de processo 13 ou estão de outra forma associados com a malha de controle de processo 10. Também deveria ser observado que outros tipos de dispositivos de controle de processo podem ter outros sinais ou fenômenos associados com eles, que podem ser utilizados pela unidade de avaliação 30.

[0023] Como será evidente, a unidade de avaliação 30 pode ler uma indicação do sinal de comando do controlador, a saída do posicionador servo, o sinal de pressão a partir da unidade I/P 17, os sinais de pressão do atuador, o deslocamento do segundo estágio pneumático 18, a posição de válvula já fornecida pelo sensor de posição 27, o percurso da haste etc. Naturalmente, os sensores utilizados pela unidade de avaliação 30 podem ser quaisquer sensores conhecidos, e podem ser sensores analógicos ou digitais. Por exemplo, o sensor de posição 27 pode ser qualquer dispositivo de medição de movimento ou de posição desejado, que inclui, por exemplo, um potenciômetro, um transformador diferencial variável linear (LVDT), um transformador diferencial variável rotativo (RVDT), um sensor de movimento de efeito Hall, um sensor de movimento magneto-resistivo, um sensor de movimento capacitor variável etc. Será entendido que se os sensores são sensores analógicos, a unidade de avaliação 30 pode incluir um ou mais conversores analógico para digital que amostram o sinal analógico e armazenam o sinal amostrado na memória 31 associada com a unidade de avaliação 30. Contudo, se os sensores são sensores digitais, eles podem suprir sinais digitais diretamente para a unidade de avaliação 30, a qual pode, então, armazenar aqueles sinais na memória 31 em qualquer maneira desejada. Além disto, se dois ou mais sinais estão sendo coletados, a

unidade de avaliação 30 pode armazenar estes sinais em uma porção de acesso randômico da memória 31 como componentes de pontos de dados associados com qualquer momento particular. Por exemplo, cada ponto de dados no momento T_1 , T_2 ,..... T_3 pode ter um componente de sinal de comando de entrada, um componente de sinal de pressão, um componente de sinal de percurso do atuador, e etc. Naturalmente estes pontos de dados ou seus componentes podem ser armazenados na memória 31 ou em qualquer outra memória, em qualquer maneira desejada ou conhecida.

[0024] Embora a unidade de avaliação 30 tenha sido indicada como sendo separada do dispositivo de controle de processo 13 tal como, por exemplo, ser localizada em um dispositivo hospedeiro, esta unidade pode, ao invés disso, ser interna ao dispositivo de controle de processo 13, ou pode ser localizada em qualquer outro dispositivo de controle de processo, a saber, dispositivo de campo em uma rede de controle de processo que inclui dispositivos manuais portáteis. Se o dispositivo de controle de processo 13 é um dispositivo baseado em microprocessador, a unidade de avaliação 30 pode partilhar o mesmo processador de memória como aqueles já dentro do dispositivo de controle de processo 13. Alternativamente, a unidade de avaliação 30 pode ter seu próprio processador de memória. Assim, é considerado que a análise da fonte de instabilidades pode ser realizada no dispositivo no qual as medições são feitas (tal como em qualquer dispositivo de campo), com os resultados sendo enviados para um mostrador usuário ou para um dispositivo hospedeiro para utilização ou, alternativamente, as medições de sinal podem ser feitas por meio de um dispositivo (tal como um dispositivo de campo ou unidade portátil) com tais medições sendo então enviadas para uma localização remota (tal como um dispositivo hospedeiro) onde a análise de instabilidade é realizada.

[0025] A unidade de avaliação 30 determina ou avalia a fonte de instabilidade, tal como ciclos limite, dentro da malha de controle de processo 10, do dispositivo de controle de processo 13 ou outro dispositivo ou porção da malha de controle de processo 10, utilizando a uma ou mais análises matemáticas ou estatísticas

baseadas em medições feitas preferivelmente enquanto o dispositivo de controle de processo 13, ou malha de controle de processo 10, está operando online dentro de um ambiente de processo. Em geral, para determinar a existência de, ou uma fonte de instabilidades, a unidade de avaliação 30 amostra um ou mais sinais dentro de, por exemplo, o dispositivo de controle de processo 13, e armazena os dados amostrados na memória. Se desejado, a unidade de avaliação 30 pode elaborar os dados para eliminar dados não necessários, discrepâncias, e etc., seja antes ou depois de armazenar os dados coletados na memória. Depois de coletar dados suficientes para ser capaz de determinar a existência de, ou fonte de uma instabilidade, tal como dados a partir de um ou mais ciclos limites completos, ou dados a partir de uma porção de um ciclo limite, a unidade de avaliação 30 utiliza uma ou mais rotinas de análise 33 que podem ser armazenadas na memória 31 associada com a unidade de avaliação 30 e implementada no processador 32 dentro da unidade de avaliação 30, para determinar a existência de ou fonte de instabilidade dentro da malha 10, dispositivo 13, etc. Embora a unidade de avaliação 30 possa utilizar quaisquer procedimentos ou rotinas de análise estatística desejadas, alguns exemplos de rotinas de análise para determinar a existência de, ou fonte de ciclos limites estão descritos abaixo, sendo entendido que estas rotinas podem ser implementadas utilizando qualquer programa ou algoritmo de computador escrito de maneira apropriada, armazenado dentro da, e implementado pela unidade de avaliação 30.

[0026] Além disto, depois de determinar a existência de, ou uma fonte potencial de uma instabilidade, a unidade de avaliação 30 pode apresentar uma indicação daquela instabilidade ou fonte em um dispositivo mostrador 40 que pode ser, por exemplo, uma tela CRT, uma impressora, um gerador de voz, um gerador de alarme de qualquer tipo, ou qualquer outro dispositivo de comunicação desejado, seja dentro do mesmo dispositivo que a unidade de avaliação 30, ou um outro dispositivo conectado em comunicação com a unidade de avaliação 30. Naturalmente, a unidade de avaliação 30 pode alertar o usuário quanto à existência de, ou fonte da instabilidade em qualquer outra maneira desejada. Se desejado, a unidade de

avaliação 30 pode fazer recomendações quanto à maneira na qual eliminar a instabilidade baseada na fonte detectada, pode sugerir diagnósticos ou ações adicionais a serem realizadas com tais produtos recomendações ou diagnóstico que são armazenados na memória 31 e acessados com base em, por exemplo, a fonte detectada da instabilidade.

[0027] Uma vez que a unidade de avaliação 30 pode tomar medidas dos dados requeridos enquanto o dispositivo de controle de processo 13 está operando online, a unidade de avaliação 30 não requer necessariamente que o dispositivo de controle de processo 13 passe por um curso completo ou sequência de curso de teste para detectar a presença de, ou fonte de uma instabilidade, e não requer necessariamente que o dispositivo de controle de processo 13 seja retirado offline ou fora do ambiente operacional normal. Além disto, uma vez que a unidade de avaliação 30 está conectada à malha de controle de processo 10 e mede os sinais necessários para fazer a avaliação de instabilidades durante operação normal da malha de controle de processo 10, a unidade de avaliação 30 pode detectar a presença de, ou a fonte de instabilidades continuamente, sem interferir com a operação do processo 20 ou com a malha de controle de processo 10.

[0028] Embora a unidade de avaliação 30 possa ser programada ou configurada para determinar a existência de, ou as fontes de instabilidades utilizando quaisquer análises desejadas, abordagens estatísticas particularmente úteis para algumas fontes de instabilidades estão descritas em detalhe aqui. Contudo, a presente invenção não está limitada à utilização de qualquer destas abordagens e, além disto, não está limitada à determinação de avaliações para apenas as fontes discutidas especificamente de instabilidade, sendo entendido que outras abordagens matemáticas podem ser utilizadas para determinar estas ou outras fontes de instabilidades.

[0029] A unidade de avaliação 30 pode realizar uma ou mais análises para detectar a presença de, ou fontes de instabilidades dentro de uma malha ou sistema de controle de processo a qualquer momento desejado. Assim, se desejado, a unidade de avaliação 30 pode ser disparada manualmente e por meio de um

operador quando, por exemplo, o operador observa uma instabilidade dentro de uma malha ou de um dispositivo. Alternativamente, ou em adição, a unidade de avaliação 30 pode ser disparado automaticamente. Por exemplo, a unidade de avaliação 30 pode utilizar software para detecção de instabilidade 33A que pode implementar uma transformada curta de Fourier em um ou mais dos sinais dentro do sistema, tal como a pressão do atuador, o percurso da válvula, e olhar para desvios no espectro daquele sinal. Energia em frequências inesperadas ou indesejadas pode sinalizar a presença de instabilidades. Naturalmente o software pode também, ou ao invés disto, utilizar qualquer de uma quantidade de algoritmos de reconhecimento de desenhos padrão conhecidos, podem examinar plotagens de Lissajous ou de fase plena de dados de séries temporais e etc., para detectar a presença de instabilidades tais como ciclos limite.

[0030] Por exemplo, a rotina de detecção de instabilidade 33A pode utilizar a relação Wiener-Khinchine para detectar a presença de instabilidades. Genericamente a relação Wiener-Khinchine estabelece que a área sob o espectro é proporcional à variância. Baseado neste princípio o software de detecção 33A pode identificar mudanças no espectro de um sinal calculando mudanças na variância do sinal. Ainda mais, o software de detecção 33A pode olhar para a relação das variâncias dos sinais tais como o sinal de comando e o sinal de percurso, isto é, pode implementar um teste-F. Se o sistema está operando de maneira adequada a relação de variância será aproximadamente um, uma vez que o ganho entre o sinal de comando e o sinal de percurso é aproximadamente igual a um. Contudo, caso se forme uma instabilidade de malha servo, por exemplo, a partir de atrito, gradientes negativos ou acessórios de válvula, a relação de variância se tornará muito grande. Em outras palavras, para uma instabilidade de malha servo a energia fora do sistema irá exceder a energia colocada no sistema.

[0031] Como um benefício adicionado, esta abordagem não irá disparar uma análise se a malha de processo externa estiver ciclando, o que ajuda na discriminação de estabilidade. Para acelerar a detecção, a relação de variâncias pode ser calculada de maneira recorrente utilizando “fatores de esquecimento”, de

modo que somente os dados mais recentes são utilizados. Contudo, uma vez que um ciclo limite é detectado por qualquer que seja o dispositivo, a relação de variâncias pode ser utilizada para rastrear se o problema está na malha de controle de processo externa ou na malha de controle servo interna. Se a relação de variâncias é muito maior que um, a fonte da instabilidade está mais provavelmente na malha servo. Os exemplos das Figuras 2, 3 e 4 delineiam este caso. Alternativamente, se a relação de variâncias é muito menor do que um, a fonte da instabilidade está mais provavelmente na malha de processo. O exemplo das Figuras 5A e 5B delineiam este caso.

[0032] Se desejado, os algoritmos de detecção ou discriminação de instabilidade podem operar continuamente e a detecção pode ser embandeirada se o algoritmo de detecção excede algum limiar. Por exemplo, se os ângulos de fase na malha servo se aproximam de -180° como discutido abaixo, o software de avaliação ou detecção poderia disparar um alarme ou notificar de outra forma um operador quanto a uma instabilidade e sua fonte.

[0033] Uma vez que uma instabilidade seja detectada, a fonte desta instabilidade pode ser determinada utilizando uma ou mais outras rotinas de software 33B, 33C, e etc. Uma abordagem para determinar uma avaliação de uma fonte de uma instabilidade é ter a unidade de avaliação 30 coletando dados que pertencem ao percurso ou posição do atuador (sensoreada por exemplo, por meio do sensor de posição 27 da Figura 1) e a pressão do atuador (sensoreada por exemplo, por meio dos sensores de pressão 35 ou 36 da Figura 1) para a válvula 15 durante um período de tempo particular. Tipicamente os dados coletados serão armazenados na memória como uma série de pontos de dados, na qual cada ponto de dados tem um componente de pressão do atuador, derivado da sinal de pressão medido do atuador e um componente de posição do atuador, derivado da posição medida do atuador ou do sinal de percurso. Naturalmente, será entendido que os componentes de pressão do atuador e posição do atuador de qualquer ponto de dados deveriam se relacionar ao mesmo momento. Assim, é preferível, ao utilizar dois ou mais sinais medidos amostrar aqueles sinais ao mesmo tempo, para produzir com isto dados

correlacionados no tempo. Desta maneira, a unidade de avaliação 30 coleta pontos de dados associados com um sinal de entrada da malha de controle ou uma porção da malha, e pontos de dados associados com um sinal de saída da malha de controle, ou porção da malha, e então utiliza estes pontos de dados em qualquer maneira para formar uma curva de entrada/saída associada com o sistema ou malha de controle. Naturalmente os pontos de dados associados com os sinais de entrada e saída podem ser armazenados separadamente ou juntamente, como desejado, porém deveriam, genericamente, ser associados com o mesmo ou aproximadamente o mesmo momento, de modo a formar componentes da curva de entrada/saída.

[0034] A seguir o software de avaliação de fonte de instabilidade e 33B ou 33C determina a fonte de uma instabilidade analisando os dados em qualquer de uma quantidade de maneiras que incluem, por exemplo, determinar se a instabilidade é provocada pelo próprio dispositivo ou fora do dispositivo, se a instabilidade é provocada por atrito ou por gradientes negativos sobre o bujão da válvula, ou por anomalias mecânicas.

[0035] Em uma configuração, a fonte de uma instabilidade é determinada a partir de dados coletados dentro da malha servo, isto é, qualquer coisa entre o sinal de comando e o sinal de percurso da válvula da Figura 1. Utilizando estes sinais isolados, a unidade de avaliação 30 pode rastrear a causa raiz de diversas instabilidades em um sistema particular. A vantagem primária desta técnica é que a análise pode ser realizada online sem um conhecimento “a priori” do processo, o que reduz significativamente os custos requeridos para comissionar e manter estes tipos de diagnósticos.

[0036] Em uma análise exemplo, o software de avaliação 33B ou 33C pode determinar se uma instabilidade detectada é provocada pela malha de controle de processo ou, se ao invés disto, é provocada por uma fonte dentro da malha servo, e assim uma fonte dentro do dispositivo 13. Em particular, quando uma malha de controle de processo entra em um ciclo limite, cada componente no sistema cicla na mesma frequência. Além disto, se o sistema está ciclando, a soma de ângulos de

fase entre os sucessivos componentes dinâmicos na malha será - 180° . Como resultado, se a soma dos ângulos de fase dentro de componentes sucessivos da malha servo da Figura 1 é maior do que - 180° , a saber - 90° , então a malha servo é estável e não é a fonte da instabilidade. Contudo, se a soma dos ângulos de fase dentro da malha servo 13 é igual a, ou aproximadamente igual a - 180° , então a fonte do ciclo limite está dentro da própria malha servo. A rotina de avaliação 33B pode determinar os ângulos de fase associados com os sucessivos componentes dinâmicos da malha servo 13, ou qualquer outra porção da malha de controle de processo 10, e adicionar juntos estes ângulos de fase. Se a soma dos ângulos de fase está em, ou próximo a - 180° , a causa do ciclo limite está dentro da malha servo ou outra porção da malha de controle de processo 10. Se a soma dos ângulos de fase é significativamente mais do que - 180° , então a malha servo ou outra seção da malha de controle de processo 10 não é a fonte do ciclo limite, embora possa contribuir de maneira significativa para os problemas da malha externa.

[0037] Se desejado, a unidade de avaliação 30 pode determinar um atraso de fase introduzido por cada um de uma quantidade de elementos dentro de uma malha de controle de processo, tal como para cada um de uma quantidade de elemento sucessivos na malha servo 13 e então identificar o elemento que introduz a maior parte do atraso de fase na malha de controle de processo. Se desejado, a unidade de avaliação 30 pode ordenar os elementos de acordo com a quantidade de atraso de fase que cada elemento introduz na malha de controle de processo ou pode produzir uma carta de atraso de fase cumulativo que indica os atrasos de fase detectados para cada um dos elementos. Esta informação pode ser apresentada a um usuário por meio do dispositivo mostrador 40.

[0038] Um exemplo simples de um sistema, que tem uma instabilidade na malha servo de uma válvula de controle com a ação de mola aberta em falha, está delineado nas Figuras 2A e 2B que plotam o sinal de comando de entrada, percurso da válvula, e pressão líquida do atuador, contra tempo. Nas Figuras 2-5 os sinais na extremidade da, ou fora da malha servo ou dispositivo 13, estão ilustrados no gráfico superior enquanto os sinais completamente dentro da malha servo ou dispositivo 13

estão ilustrados no gráfico inferior. A partir das Figuras 2A e 2B é evidente que a malha de controle de processo, isto é, a malha exterior, está ativa como evidenciado pela oscilação no sinal de comando, e está tentando corrigir perturbações introduzidas pela válvula de controle 15. O ângulo de fase total entre o sinal de erro fora da junção de soma 26 (isto é, o sinal de comando menos o percurso da válvula) e o percurso da válvula é igual a cerca de -180° . Este fato indica que a instabilidade está localizada dentro da malha servo.

[0039] Alternativamente, a unidade de avaliação 30 poderia buscar a relação de variâncias entre dois sinais tais como a entrada de comando e o percurso de válvula ou a entrada de comando e a pressão do atuador. Como observado acima, se o sistema está operando de maneira adequada, a relação de variância será aproximadamente um, uma vez que o ganho entre o sinal de comando e o sinal de percurso é aproximadamente igual a um. Contudo, se uma instabilidade dentro da malha servo se forma, por exemplo, a partir de atrito, gradientes negativos ou acessórios de válvula, a relação de variância se tornará muito grande. Em outras palavras, para uma instabilidade de malha servo a energia para fora do sistema irá exceder a energia colocada no sistema. Quando a relação das variâncias é menor do que cerca de um, então a instabilidade está dentro da malha de processo. No exemplo das Figuras 2A e 2B, a variância do percurso da válvula excede a variância das entrada de comando, o que indica que a instabilidade está na malha servo, isto é, porque a variância do percurso de válvula é muito maior do que a variância do sinal de comando, a causa da instabilidade é determinado estar dentro da malha servo.

[0040] Existem diversos métodos conhecidos de determinar a fase e variâncias de cada um dos sinais, e estes métodos não serão discutidos em detalhe aqui. Além disto, embora as fases de cada um de uma quantidade de sinais sucessivos dentro, por exemplo, de uma malha servo, possam ser adicionadas juntas, as fases dos primeiro e último sinais na malha, tal como o sinal de erro a partir da junção de soma 26 e o sinal de realimentação a partir do sensor de posição 27, podem ser adicionadas para determinar se a soma é aproximadamente -180° . Naturalmente,

as fases de cada um dos sinais individuais na malha podem ser analisadas para ver que sinal está adicionando a maior parte da fase e pode, portanto, estar associado com o componente que está provocando a instabilidade.

[0041] Em um outro caso, o software de avaliação 33C pode determinar se uma instabilidade está sendo provocada por atrito, forças externas tais como gradientes negativos sobre o bujão da válvula. Falando genericamente, o software de avaliação 33C pode identificar atrito ou forças externas como a fonte de uma instabilidade examinando a correlação e/ou a relação condução/atraso entre sinais relevantes de pressão e percurso. Por exemplo, no caso de uma válvula de haste deslizante o software de avaliação 33C pode utilizar a pressão do atuador como detectada pelo sensor de pressão 36 e o percurso de válvula como detectada pelo sensor de posição 27. Utilizando os dados coletados a partir do sensor de pressão 36 e do sensor de posição 27 para a válvula 15 durante um período de tempo, o software de avaliação 33C determina se existe uma correlação negativa ou positiva entre as respostas de pressão e de percurso. No caso de uma correlação negativa, onde um aumento em percurso é acompanhado por uma diminuição em pressão, ou uma diminuição em percurso é acompanhada por um aumento em pressão, as instabilidades são devidas a forças externas. Esta correlação negativa resulta do fato que o servo controlador 16 está tentando compensar mudanças súbitas na posição da haste da válvula, tentando forçar a haste da válvula a se deslocar na direção oposta. Como pode ser visto nas Figuras 3A e 3B, a pressão líquida do atuador aumenta com uma diminuição no percurso da válvula. Em particular, nas Figuras 3A e 3B, uma instabilidade provocada por forças externas tais como pancadas ou correntes de jato dentro da válvula 15, ocorre entre os momentos 12 segundos e 15 segundos. No momento 12 segundos a haste da válvula se move na direção crescente como um resultado de pancadas. A pressão no atuador começa a diminuir quase que imediatamente. A pressão líquida no atuador continua a diminuir mesmo depois que o percurso da válvula tenha se nivelado para acionar a válvula de volta para sua posição original. Contudo, quando o valor do percurso diminui (em cerca de 13,5 segundos) para abaixo de seu ponto inicial, a pressão do atuador aumenta para

acionar a válvula de volta para seu ponto original. Assim, aqui, a incidência de um aumento no percurso de válvula está correlacionada com uma diminuição na pressão no atuador, e vice-versa, significando que forças externas estão provocando oscilação dentro da malha servo. Oscilações similares correlacionadas de maneira negativa ocorrem nas Figuras 3A e 3B aproximadamente em 22 segundos e 32 segundos.

[0042] No caso de uma correlação positiva, onde um aumento em pressão é acompanhado por um aumento em percurso ou uma diminuição em pressão é acompanhada por uma diminuição em percurso, o software de avaliação 33C determina que as instabilidades são induzidas por atrito, uma vez que o posicionador 15 está tentando mover a haste da válvula na direção crescente aumentando a pressão sobre haste de válvula ou está tentando mover a haste de válvula na direção decrescente para diminuir a pressão sobre a haste de válvula, até que ocorra movimento. As Figuras 4A e 4B ilustram estes fenômenos. Por exemplo, começando em cerca de 492 segundos, a pressão líquida no atuador aumenta quando o servo controlador 16 tenta corrigir o sinal de erro entre a referência (ponto de ajuste) e o percurso. Uma vez que a haste de válvula está travada dentro da banda de atrito, ela não se move. A aproximadamente 518 segundos a pressão líquida sobre a haste de válvula excede o limiar de atrito e a haste de válvula começa a se mover na direção crescente. Neste momento a pressão líquida no atuador diminui devido a trocas de volume dentro do atuador, que retardam a resposta de percurso. Contudo, mesmo embora a força líquida diminua e a velocidade da válvula se aproxime de zero, o percurso subitamente salta para um valor local máximo quando o atrito se rompe. O mesmo processo ocorre quando a pressão líquida diminui (a saber, entre 526 e 538 segundos), embora a resposta de percurso na direção decrescente durante este momento seja mais pronunciada. Assim, neste caso, o aumento na pressão do atuador resulta em um aumento no percurso da válvula e uma diminuição na pressão do atuador resulta em ou está associada com percurso de válvula decrescente. Assim, determinando se a pressão do atuador e percurso da válvula são correlacionadas de maneira positiva ou de

maneira negativa, o software de avaliação 33C pode determinar se a fonte de um ciclo limite é devido a forças externas ou atrito dentro da válvula. Naturalmente, será entendido que correlação positiva ocorre quando a pressão do atuador move em uma direção que poderia normalmente provocar movimento da haste da válvula na direção medida, enquanto correlação negativa ocorre quando a pressão do atuador move em uma direção que é oposta à direção que provocaria normalmente movimento da haste da válvula na direção medida. Assim, em certas configurações atuador/válvula, ou dependendo da maneira na qual o percurso decrescente da válvula é definido, pressão crescente do atuador e percurso decrescente da válvula podem ainda ser correlacionados de maneira positiva.

[0043] Uma maneira alternativa de distinguir entre instabilidades induzidas por atrito ou externamente, é examinando a relação condução/atraso entre a resposta de pressão e a resposta de percurso. Se a resposta de pressão atrasa a resposta de percurso, a instabilidade é devido a forças externas, uma vez que o servo controlador 16 está atuando em resposta a uma mudança em posição da válvula. Alternativamente, se a resposta de percurso atrasa a resposta de pressão, a instabilidade é induzida por atrito, uma vez que o servo controlador 16 está tentando forçar movimento da válvula. Como pode ser visto nas Figuras 4A e 4B, começando a aproximadamente 492 segundos, a pressão aumenta sem movimento correspondente da válvula 18 até o momento 518 segundos, quando a resposta de pressão é capaz de superar o atrito e mover a válvula 18. Os mesmos fenômenos ocorrem no momento 526 segundos, quando a pressão diminui sem qualquer mudança na posição da válvula, até o momento 538 segundos, quando a força de atrito é superada provocando percurso para baixo da haste da válvula. Neste caso, o sinal de comando para a válvula (não mostrado) foi mantido constante. Observar que o ângulo de fase entre a pressão líquida e o percurso da válvula é aproximadamente -180° , com o percurso atrasando a pressão líquida, o que significa que a instabilidade está na malha servo e o problema se situa entre o atuador e a haste de válvula.

[0044] Alternativamente, como indicado acima, as Figuras 3A e 3B mostram uma

plotagem em série temporal de uma válvula com um gradiente negativo. Neste traçado o sinal de comando para a válvula foi mantido aproximadamente constante. Uma vez que este não é um gradiente forte, a instabilidade não é periódica. Não obstante, o sistema é instável no sentido de Lyapunov (isto é, não há ponto de equilíbrio). Aqui os gradientes negativos podem ser discernidos observando o deslocamento de fase entre pressão e percurso. Para um gradiente negativo a haste de válvula irá se mover primeiro, e então o posicionador irá tentar corrigir a resposta. Colocado de maneira simples, a pressão do atuador atrasa atrás do percurso. Isto está em perfeito contraste com instabilidades induzidas por atrito, nas quais a pressão do atuador conduz o percurso.

[0045] Para determinar uma relação condução/atraso o software de avaliação 33C pode utilizar um ponto de partida, um ponto final, um ponto médio, ou alguma outra medição estatística de quando o sinal de pressão começa ou termina, e quando o sinal de percurso começa ou termina e, pode então, comparar estes dois pontos para determinar qual dos sinais de pressão e percurso conduz ou atrasa o outro. Naturalmente, se desejado, a rotina de avaliação 33C pode determinar a fonte de instabilidades medindo ou determinando uma ou ambas das correlações entre as medições de percurso e pressão, e a relação condução/atraso entre as medições de percurso e pressão.

[0046] Uma outra análise de estabilidade simples pode então ser realizada pelo software 33 para detectar a presença ou fonte de instabilidades busca a quantidade de inversões em um sinal ou as diferenças na quantidade de inversões em diferentes sinais tais como o percurso da válvula, os sinais de pressão do atuador, sinais de comando etc., durante um dado período de tempo. Para uma instabilidade de malha servo, o número de inversões no sinal de percurso irá exceder enormemente o número de inversões no sinal de comando (ver Figuras 2A e 2B). Para uma instabilidade de processo a quantidade de inversões em percurso será aproximadamente igual ao número de inversões no sinal de comando (ver Figuras 5A e 5B). Esta mesma análise pode ser aplicada a outros sinais para detectar a presença de uma instabilidade em um elemento entre os componentes associados

com aqueles sinais.

[0047] As Figuras 5A e 5B ilustram ainda um outro exemplo no qual a unidade de avaliação 30 pode utilizar as técnicas acima para determinar a fonte de uma instabilidade como estando fora da malha servo. Nas Figuras 5A e 5B a instabilidade é provocada por ganho excessivo, isto é, ganho excessivo dentro do controlador de processo 12 da Figura 1, quando utilizado em conjunto com uma válvula que tem uma ação de mola fechada em falha. Aqui a relação das variâncias do sinal de comando para o percurso de válvula é menor do que um, indicando que a fonte do problema está fora da malha servo. Da mesma maneira, a soma dos ângulos de fase dentro da malha servo é aproximada mente - 90 ° indicando novamente que a fonte da instabilidade está fora da malha servo.

[0048] Embora a unidade de avaliação 30 tenha sido descrita aqui como detectando e determinando uma avaliação ou causa potencial de instabilidades dentro de um dispositivo de controle de processo, tal como um dispositivo válvula, será entendido que outras análises podem ser utilizadas para determinar avaliações para estas instabilidades, ou outras instabilidades para outros dispositivos de controle de processo, malhas de controle de processo e etc., com base em dados medidos online dentro de um processo ou de uma malha de controle de processo.

[0049] Da mesma maneira, será entendido que a unidade de avaliação 30 pode ser implementada como qualquer dispositivo lógico em hardware desejado ligado por fio ou dispositivo de processamento controlado por software tal como um microprocessador, que é capaz de detectar e armazenar um ou mais sinais, e realizar uma análise estatística ou matemática sobre tais sinais. Preferivelmente a análise estatística é realizada por programação (de qualquer tipo desejado) armazenada dentro de uma memória legível por computador da unidade de avaliação 30. Contudo, as etapas de análise descritas aqui ou utilizadas de outra forma, podem ser implementadas em software, hardware, firmware ou qualquer combinação deles, de qualquer maneira desejada.

[0050] Embora a presente invenção tenha sido descrita com referência a exemplos específicos, os quais tem a intenção de serem apenas ilustrativos e não

serem limitativos da invenção, será evidente para aqueles de talento ordinário na técnica, que mudanças, adições ou cancelamentos podem ser feitos às configurações divulgadas, sem se afastarem do espírito e escopo da invenção.

REIVINDICAÇÕES

1. Método para determinar a existência de uma instabilidade dentro de uma malha de controle de processo usando um dispositivo de controle de processo (13), compreendendo as etapas de:

medir dois ou mais sinais dentro da malha de controle de processo quando a malha de controle de processo e o dispositivo de controle de processo (13) estão conectados online e continuamente em serviço sob condições operacionais normais dentro de um ambiente de controle de processo; caracterizado por:

armazenar os dois ou mais sinais medidos como dados de sinal correlacionados em tempo, em que a malha de controle de processo inclui uma malha interna, em que um primeiro de dois ou mais sinais medidos é um sinal da malha de controle de processo, e em que um segundo de dois ou mais sinais medidos é um sinal da malha de controle interna; e

realizar uma análise sobre os dados de sinal correlacionados em tempo armazenados para determinar a existência da instabilidade dentro da malha de controle de processo, em que a fonte da instabilidade é determinada para ser ou uma instabilidade da malha de controle interna com base no segundo de dois ou mais sinais medidos, ou uma instabilidade da malha de controle de processo com base no primeiro de dois ou mais sinais medidos.

2. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de a etapa de medir incluir a etapa de medir dois sinais e a etapa de realizar uma análise incluir as etapas de detectar uma quantidade de inversões em cada um dos dois sinais durante um período de tempo particular e determinar uma diferença na quantidade de inversões nos dois sinais durante o período de tempo particular.

3. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de a etapa de realizar uma análise incluir a etapa de realizar uma transformada de Fourier sobre o um ou mais sinais e detectar mudanças no espectro do um ou mais sinais para determinar a existência de uma instabilidade.

4. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de a etapa de realizar uma análise incluir a etapa de utilizar a relação de Wiener-

Khinchine para determinar a existência de uma instabilidade.

5. Método de acordo com a reivindicação 4, caracterizado pelo fato de a etapa de utilizar a relação de Wiener-Khinchine incluir a etapa de identificar mudanças no espectro de um ou mais sinais, calculando mudanças na variância de um ou mais sinais.

6. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de a etapa de medir incluir a etapa de medir dois sinais e no qual a etapa de realizar uma análise incluir a etapa de determinar a variância de dois sinais, calcular a relação da variância dos dois sinais e comparar a relação com um valor pré-ajustado para determinar a existência de uma instabilidade.

7. Método de acordo com a reivindicação 6, caracterizado pelo fato de a etapa de medir incluir as etapas de medir um sinal de comando e um sinal de percurso.

8. Método de acordo com a reivindicação 6, caracterizado pelo fato de a etapa de calcular incluir a etapa de calcular a relação das variâncias dos dois sinais de maneira recorrente.

9. Método de acordo com a reivindicação 8, caracterizado pelo fato de a etapa de calcular a relação da variância dos dois sinais de maneira recorrente incluir a etapa de utilizar fatores de esquecimento.

10. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado adicionalmente por compreender:

realizar uma análise sobre os dados de sinal armazenados para determinar uma fonte da instabilidade dentro da malha de controle de processo.

11. Método de acordo com a reivindicação 10, caracterizado pelo fato de a etapa de medir incluir as etapas de medir um primeiro sinal e um segundo sinal dentro da malha de controle de processo quando a malha de controle de processo está conectada online dentro do ambiente de controle de processo e no qual a etapa de realizar uma análise incluir as etapas de identificar uma relação de condução/atraso entre o primeiro e o segundo sinais e determinar a fonte de instabilidade baseado na relação condução/atraso determinada.

12. Método de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo fato de a etapa de medir, medir um sinal de pressão como o primeiro sinal e um sinal de percurso como o segundo sinal, e no qual a etapa de determinar inclui a etapa de identificar a fonte da instabilidade como atrito quando o sinal de pressão conduz o sinal de percurso.

13. Método de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo fato de a etapa de medir, medir um sinal de pressão como o primeiro sinal e um sinal de percurso como o segundo sinal e no qual a etapa de determinar inclui a etapa de identificar a fonte da instabilidade como uma força externa quando o sinal de pressão atrasa o sinal de percurso.

14. Método de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo fato de a etapa de medir, medir um sinal de pressão como o primeiro sinal e um sinal de percurso como o segundo sinal, e no qual a etapa de determinar inclui a etapa de identificar a fonte da instabilidade como uma força externa quando o sinal de pressão é correlacionado de maneira negativa com o sinal de percurso.

15. Método de acordo com a reivindicação 10, caracterizado pelo fato de a etapa de medir incluir a etapa de medir um primeiro sinal e um segundo sinal dentro da malha de controle de processo quando a malha de controle de processo está conectada online dentro do ambiente de controle de processo e no qual a etapa de realizar uma análise inclui as etapas de determinar uma correlação positiva ou negativa entre os primeiro e segundo sinais e determinar a fonte da instabilidade baseado na correlação determinada.

16. Método de acordo com a reivindicação 15, caracterizado pelo fato de a etapa de medir, medir um sinal de pressão como o primeiro sinal e um sinal de percurso como o segundo sinal e no qual a etapa de determinar inclui a etapa de identificar a fonte da instabilidade como atrito quando o sinal de pressão é correlacionado de maneira positiva com o sinal de percurso.

17. Método de acordo com a reivindicação 10, caracterizado pelo fato de a etapa de realizar uma análise incluir as etapas de determinar um atraso de fase introduzido por cada um de uma quantidade de elementos dentro de uma malha de

controle de processo e identificar o elemento que introduz a maior parte do atraso de fase na malha de controle de processo.

18. Método de acordo com a reivindicação 10, caracterizado pelo fato de a etapa de realizar uma análise incluir as etapas de determinar um atraso de fase introduzido por cada um de uma quantidade de elementos dentro de uma malha de controle de processo e ordenar os elementos de acordo com a quantidade de atraso de fase que cada elemento introduz na malha de controle de processo.

19. Método de acordo com a reivindicação 10, caracterizado pelo fato de a etapa de realizar uma análise incluir as etapas de determinar um atraso de fase introduzido por cada um de uma quantidade de elementos dentro de uma malha de controle de processo e fornecer uma carta de atraso de fase cumulativa que indica os atrasos de fase detectados.

20. Método de acordo com a reivindicação 10, caracterizado pelo fato de a etapa de medir incluir a etapa de medir dois ou mais sinais e a etapa de realizar uma análise incluir as etapas de adicionar as fases dos dois ou mais sinais juntas para produzir um sinal de fase adicionado e comparar o sinal de fase adicionado a um limiar.

21. Método de acordo com a reivindicação 20, caracterizado pelo fato de a etapa de realizar uma análise incluir a etapa de determinar que a fonte da instabilidade está entre os dois sinais quando o sinal de fase adicionado é aproximadamente igual a - 180 graus.

22. Método de acordo com a reivindicação 10, caracterizado pelo fato de a etapa de medir incluir a etapa de medir dois sinais e a etapa de realizar uma análise incluir as etapas de detectar a quantidade de inversões em cada um dos dois sinais durante um período de tempo particular e determinar a diferença na quantidade de inversões em dois sinais durante o período de tempo particular.

23. Sistema a ser utilizado em um ambiente de controle de processo para determinar uma existência de uma instabilidade dentro de uma malha de controle de processo usando um dispositivo de controle de processo (13) quando a malha de controle de processo e o dispositivo de controle de processo (13) estão conectados

online dentro de um ambiente de processo, o sistema compreendendo:

uma memória (31) legível por computador;

uma primeira rotina armazenada na memória legível por computador e adaptada para ser executada em um processador (32) para coletar e armazenar dados indicativos de dois ou mais sinais correlacionados em tempo associados com a malha de controle de processo enquanto operando online e continuamente em serviço sob condições operacionais normais dentro do ambiente de controle de processo, em que a malha de controle de processo inclui uma malha interna, em que um primeiro de dois ou mais sinais medidos é um sinal da malha de controle de processo, e em que um segundo de dois ou mais sinais medidos é um sinal da malha de controle interna; e caracterizado por:

uma segunda rotina armazenada na memória legível por computador (31) e adaptada para ser executada em um processador (32) para realizar uma análise estatística sobre os dados armazenados, para determinar a existência da instabilidade dentro da malha de controle de processo, em que a fonte da instabilidade é determinada para ser ou uma instabilidade da malha de controle interna com base no segundo de dois ou mais sinais medidos, ou uma instabilidade da malha de controle de processo com base no primeiro de dois ou mais sinais medidos.

24. Sistema de acordo com a reivindicação 23, caracterizado pelo fato de a segunda rotina ser adaptada para utilizar os dados indicativos de um ou mais sinais para determinar um atraso de fase introduzido por cada um de uma quantidade de elementos em uma malha de controle de processo e identificar o elemento que introduz a maior parte do atraso de fase na malha de controle de processo.

25. Sistema de acordo com a reivindicação 23, caracterizado pelo fato de a segunda rotina ser adaptada para utilizar os dados indicativos de um ou mais sinais para determinar um atraso de fase introduzido por cada um de uma quantidade de elementos dentro de uma malha de controle de processo e para ordenar os elementos de acordo com a quantidade de atraso de fase que cada

elemento introduz na malha de controle de processo.

26. Sistema de acordo com a reivindicação 23, caracterizado pelo fato de a segunda rotina ser adaptada para utilizar os dados indicativos de um ou mais sinais para determinar um atraso de fase introduzido por cada um de uma quantidade de elementos dentro de uma malha de controle de processo e para fornecer uma carta de atraso de fase cumulativo que indica os atrasos de fase detectados.

27. Sistema de acordo com a reivindicação 23, caracterizado pelo fato de a primeira rotina ser adaptada para coletar e armazenar dados indicativos dos primeiro e segundo sinais e no qual a segunda rotina é adaptada para identificar uma relação de condução/atraso entre os primeiro e segundo sinais e determinar a fonte da instabilidade baseado na relação condução/atraso determinada.

28. Sistema de acordo com a reivindicação 27, caracterizado pelo fato de o primeiro sinal ser um sinal de pressão e o segundo sinal ser um sinal de percurso e no qual a segunda rotina é adaptada para identificar a fonte da instabilidade como atrito quando o sinal de pressão conduz o sinal de percurso.

29. Sistema de acordo com a reivindicação 27, caracterizado pelo fato de o primeiro sinal ser um sinal de pressão e o segundo sinal ser um sinal de percurso e no qual a segunda rotina é adaptada para identificar a fonte da instabilidade como uma força externa quando o sinal de pressão atrasa o sinal de percurso.

30. Sistema de acordo com a reivindicação 23, caracterizado pelo fato de a primeira rotina ser adaptada para coletar e armazenar dados indicativos de primeiro e segundo sinais e no qual a segunda rotina é adaptada para identificar uma correlação positiva ou negativa entre o primeiro e o segundo sinais e determinar a fonte da instabilidade baseado na correlação determinada.

31. Sistema de acordo com a reivindicação 30, caracterizado pelo fato de o primeiro sinal ser um sinal de pressão e o segundo sinal ser um sinal de percurso e no qual a segunda rotina é adaptada para identificar a fonte da instabilidade como atrito quando o sinal de pressão é correlacionado de maneira positiva ao sinal de percurso.

32. Sistema de acordo com a reivindicação 30, caracterizado pelo fato de o primeiro sinal ser um sinal de pressão e o segundo sinal ser um sinal de percurso e no qual a segunda rotina é adaptada para identificar a fonte da instabilidade como uma força externa quando o sinal de pressão é correlacionado de maneira negativa ao sinal de percurso.

33. Sistema de acordo com a reivindicação 23, caracterizado pelo fato de a primeira rotina ser adaptada para coletar e armazenar dados indicativos de primeiro e segundo sinais e no qual a segunda rotina é adaptada para adicionar as fases dos primeiro e segundo sinais juntas para produzir um sinal de fase adicionado e comparar o sinal de fase adicionado a um limiar para identificar a fonte da instabilidade.

34. Sistema de acordo com a reivindicação 33, caracterizado pelo fato de a segunda rotina ser adaptada para determinar que a fonte da instabilidade está em um componente entre os primeiro e segundo sinais quando o sinal de fase adicionado é aproximadamente igual a - 180 graus.

35. Sistema de acordo com a reivindicação 23, caracterizado pelo fato de a primeira rotina ser adaptada para coletar e armazenar dados que pertencem a dois sinais e no qual a segunda rotina é adaptada para detectar a quantidade de inversões em cada um dos dois sinais durante um período de tempo particular e para determinar a diferença na quantidade de inversões nos dois sinais durante o período de tempo particular.

36. Sistema de acordo com a reivindicação 23, caracterizado pelo fato de a segunda rotina ser adaptada para realizar uma transformada de Fourier sobre o um ou mais sinais e para detectar mudanças no espectro do um ou mais sinais para identificar a existência de uma instabilidade.

37. Sistema de acordo com a reivindicação 23, caracterizado pelo fato de a segunda rotina ser adaptada para utilizar a relação Wiener-Khinchine para determinar existência de uma instabilidade.

38. Sistema de acordo com a reivindicação 37, caracterizado pelo fato de a segunda rotina identificar mudanças no espectro do um ou mais sinais calculando

mudanças na variância do um ou mais sinais.

39. Sistema de acordo com a reivindicação 23, caracterizado pelo fato de a primeira rotina ser adaptada para coletar e armazenar dados que pertencem a dois sinais e no qual a segunda rotina é adaptada para determinar a variância dos dois sinais, calcular a relação das variâncias dos dois sinais e comparar a relação com um valor pré-ajustado para determinar a existência de uma instabilidade.

40. Sistema de acordo com a reivindicação 39, caracterizado pelo fato de a segunda rotina ser adaptada para calcular a relação das variâncias dos dois sinais de maneira recorrente.

41. Sistema de acordo com a reivindicação 39, caracterizado pelo fato de a segunda rotina ser adaptada para calcular a relação das variâncias de maneira recorrente utilizando fatores de esquecimento.

42. Sistema de acordo com a reivindicação 23, caracterizado adicionalmente pelo fato de compreender:

um sensor que mede um primeiro sinal dentro da malha de controle de processo quando a malha de controle de processo está conectada online dentro do ambiente de processo; e em que

o processador (32) é adicionalmente adaptado para realizar uma análise nos dados armazenados para determinar uma fonte da instabilidade.

43. Sistema de acordo com a reivindicação 42, caracterizado pelo fato de ainda incluir um segundo sensor que mede o segundo sinal dentro de uma malha de controle de processo quando a malha de controle de processo está conectada online dentro do ambiente de processo, e no qual a memória armazena o segundo sinal medido como dados de sinal secundários e o processador (32) é adaptado para realizar a análise nos dados de sinal armazenados e nos dados de sinal secundários armazenados para determinar a fonte da instabilidade.

44. Sistema de acordo com a reivindicação 43, caracterizado pelo fato de o primeiro sensor ser o sensor de pressão (35) que produz um sinal de pressão como o primeiro sinal e o segundo sensor ser o sensor de percurso que produz um sinal de percurso como o segundo sinal e no qual o processador (32) é adaptado

para identificar a fonte da instabilidade como atrito quando o sinal de pressão conduz o sinal de percurso.

45. Sistema de acordo com a reivindicação 43, caracterizado pelo fato de o primeiro sensor ser o sensor de pressão (35) que produz o sinal de pressão como o primeiro sinal e o segundo sensor ser o sensor de percurso que produz um sinal de percurso como o segundo sinal, e no qual o processador (32) é adaptado para identificar a fonte da instabilidade como uma força externa quando o sinal de pressão atrasa o sinal de percurso.

46. Sistema de acordo com a reivindicação 43, caracterizado pelo fato de o processador (32) ser adaptado para identificar uma relação condução/atraso entre o primeiro sinal e o segundo sinal e para determinar a fonte da instabilidade baseado na relação determinada condução/atraso.

47. Sistema de acordo com a reivindicação 43, caracterizado pelo fato de o processador (32) ser adaptado para utilizar no mínimo o primeiro e segundo sinais para determinar um atraso de fase introduzido por cada um de uma quantidade de elementos em uma malha de controle de processo e para identificar o elemento que introduz a maior parte do atraso de fase para a malha de controle de processo.

48. Sistema de acordo com a reivindicação 43, caracterizado pelo fato de o processador (32) ser adaptado para utilizar no mínimo o primeiro e segundo sinais para determinar um atraso de fase introduzido por cada um de uma quantidade de elementos em uma malha de controle de processo e para ordenar os elementos de acordo com a quantidade de atraso de fase que cada elemento introduz para a malha de controle de processo.

49. Sistema de acordo com a reivindicação 43, caracterizado pelo fato de o processador (32) ser adaptado para utilizar no mínimo o primeiro e segundo sinais para determinar um atraso de fase introduzido por cada um de uma quantidade de elementos em uma malha de controle de processo e para fornecer uma carta de atraso de fase cumulativo que indica os atrasos de fase detectados.

50. Sistema de acordo com a reivindicação 43, caracterizado pelo fato de o processador (32) ser adaptado para identificar uma correlação positiva ou uma

correlação negativa entre o primeiro sinal e o segundo sinal e para determinar a fonte da instabilidade baseado na correlação determinada.

51. Sistema de acordo com a reivindicação 50, caracterizado pelo fato de o primeiro sensor ser um sensor de pressão (35) que produz um sinal de pressão como o primeiro sinal e o segundo sensor ser um sensor de percurso que produz um sinal de percurso como o segundo sinal, e no qual o processador (32) é adaptado para identificar a fonte da instabilidade como atrito quando o sinal de pressão é correlacionado de maneira positiva ao sinal de percurso.

52. Sistema de acordo com a reivindicação 50, caracterizado pelo fato de o primeiro sensor ser um sensor de pressão (35) que produz um sinal de pressão como o primeiro sinal e o segundo sensor ser um sensor de percurso que produz um sinal de percurso como o segundo sinal e no qual o processador (32) é adaptado para identificar a fonte da instabilidade como uma força externa quando o sinal de pressão é correlacionado de maneira negativa ao sinal de percurso.

53. Sistema de acordo com a reivindicação 43, caracterizado pelo fato de o processador (32) ser adaptado para adicionar as fases dos primeiro e segundo sinais juntas para produzir um sinal de fase adicionado e para comparar o sinal de fase adicionado a um limiar, para identificar a fonte da instabilidade.

54. Sistema de acordo com a reivindicação 53, caracterizado pelo fato de o processador (32) ser adaptado para determinar que a fonte da instabilidade está em um componente entre os primeiro e segundo sinais quando o sinal de fase adicionado é aproximadamente igual a - 180 graus.

55. Sistema de acordo com a reivindicação 43, caracterizado pelo fato de o processador (32) ser adaptado para detectar a quantidade de inversões em cada um dos dois sinais durante um período de tempo particular e determinar a diferença no número de inversões nos dois sinais durante o período de tempo particular.

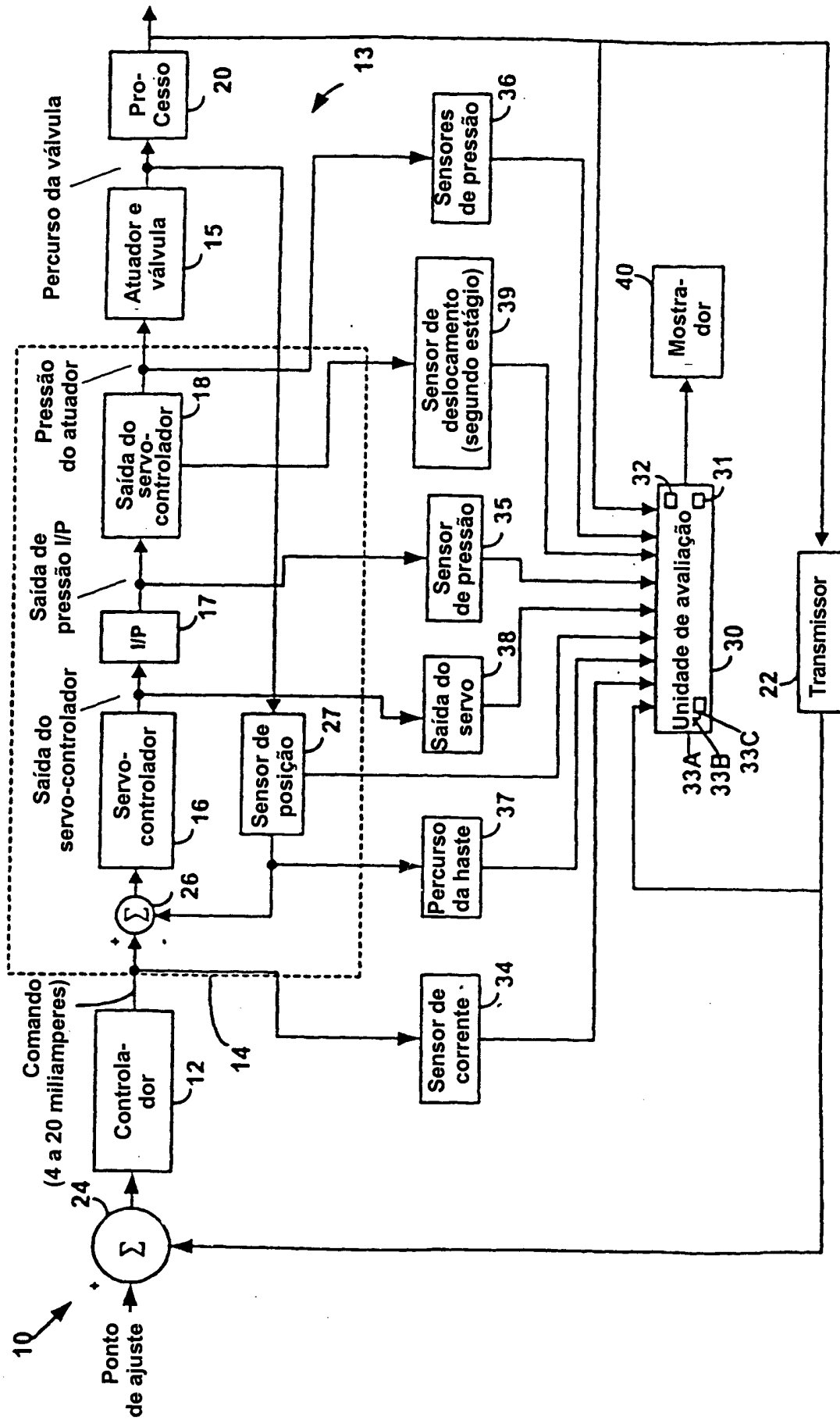


FIG. 2A

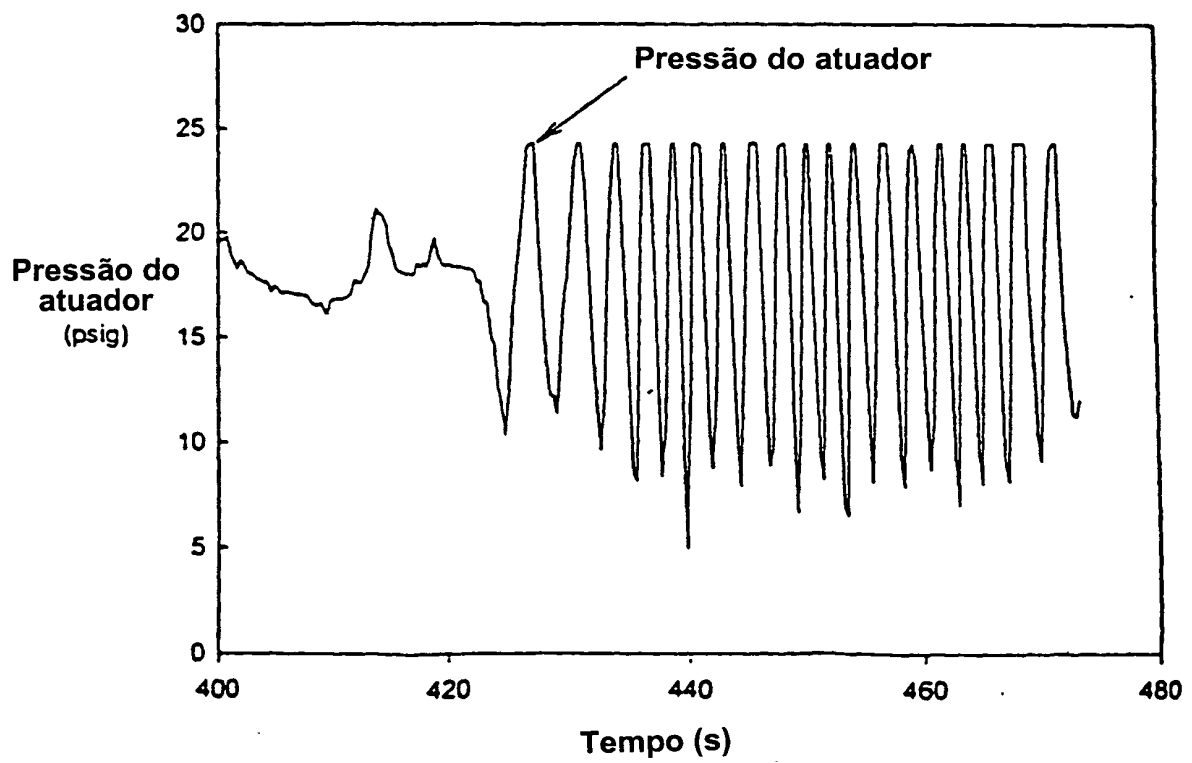
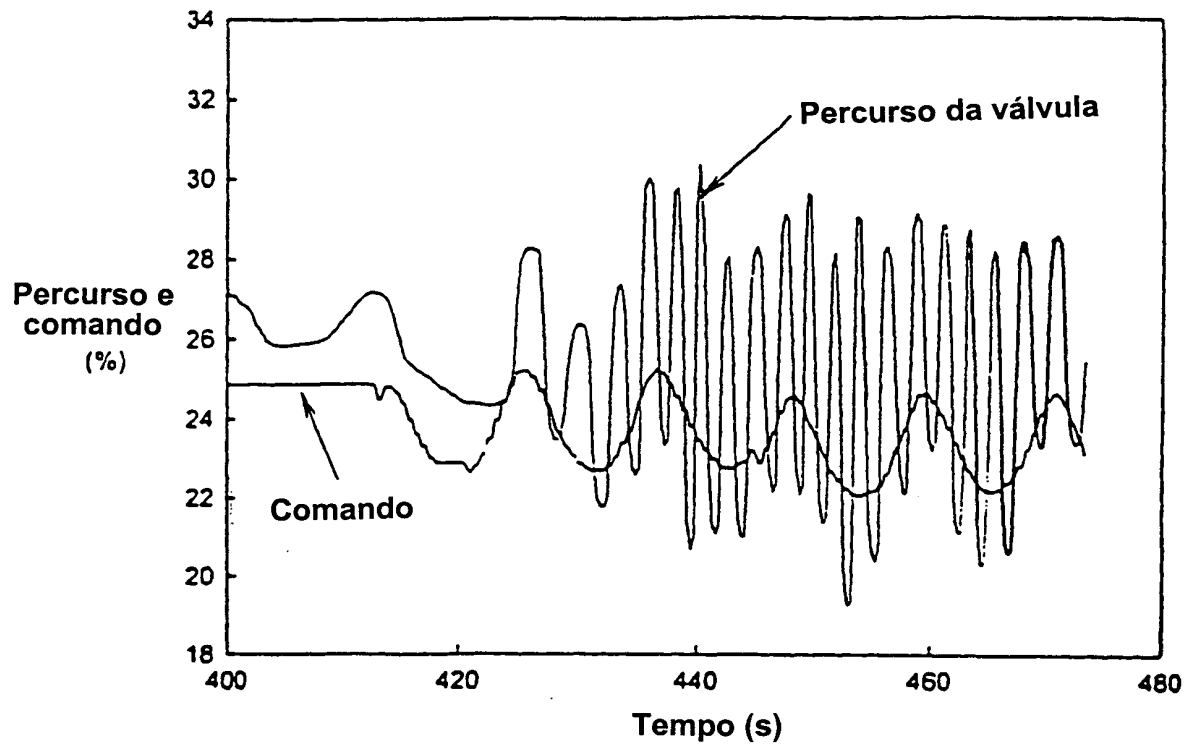


FIG. 2B

FIG. 3A

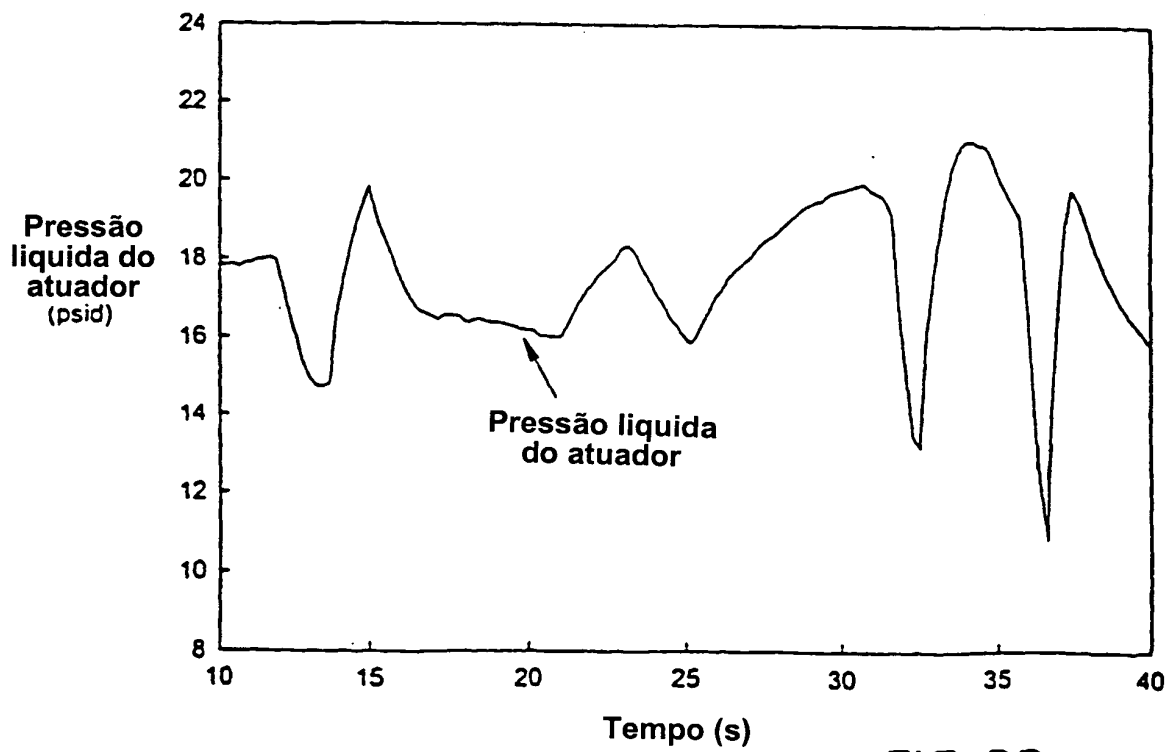
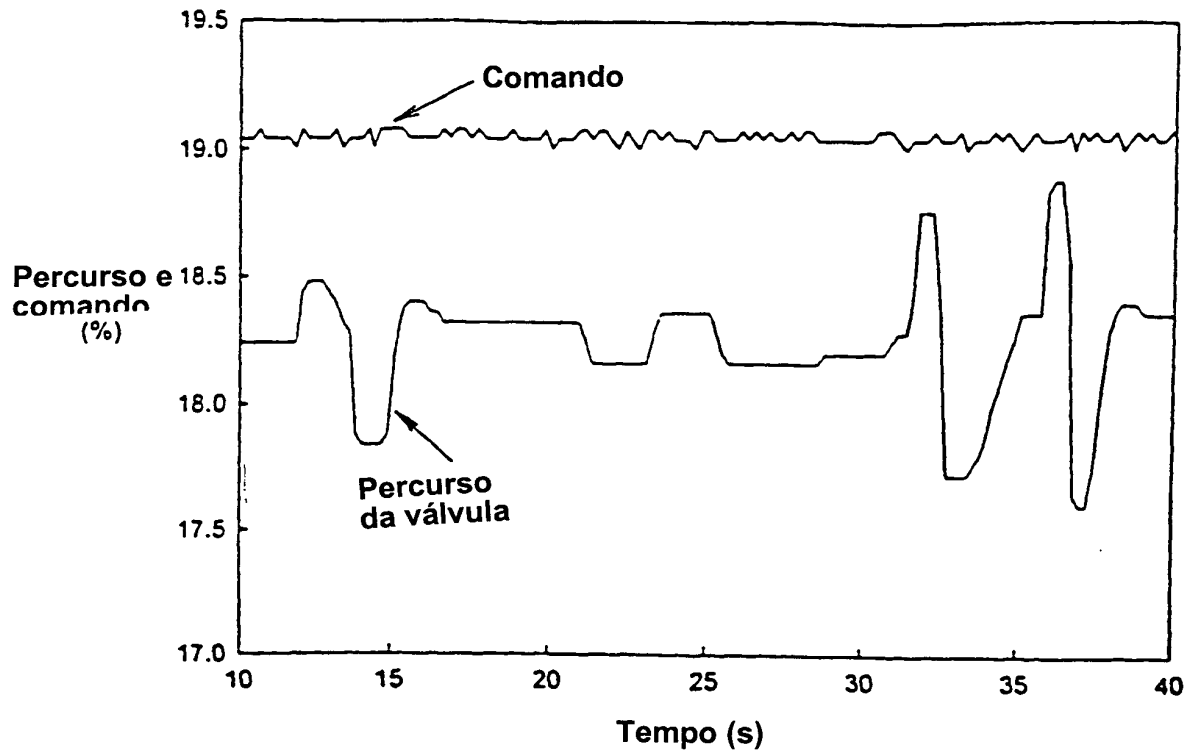


FIG. 3B

FIG. 4A

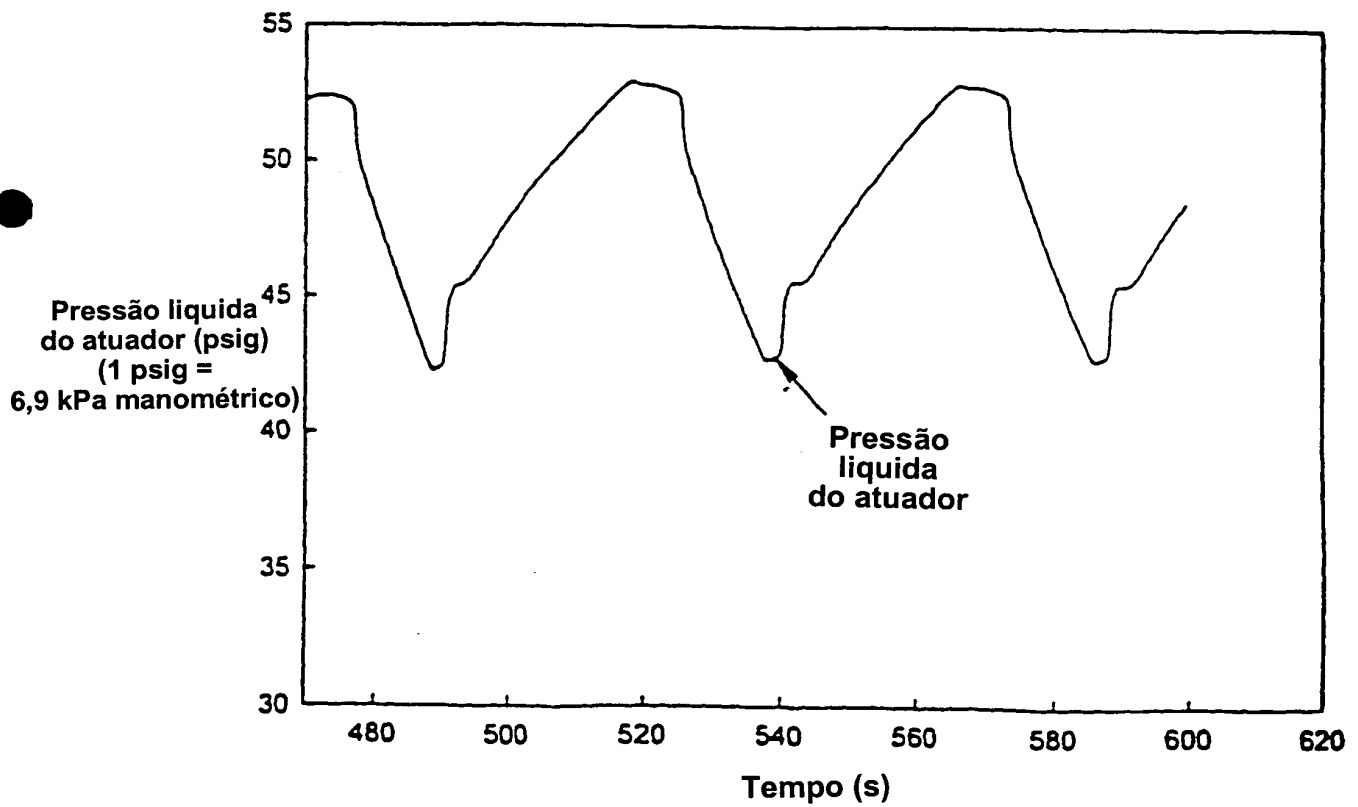
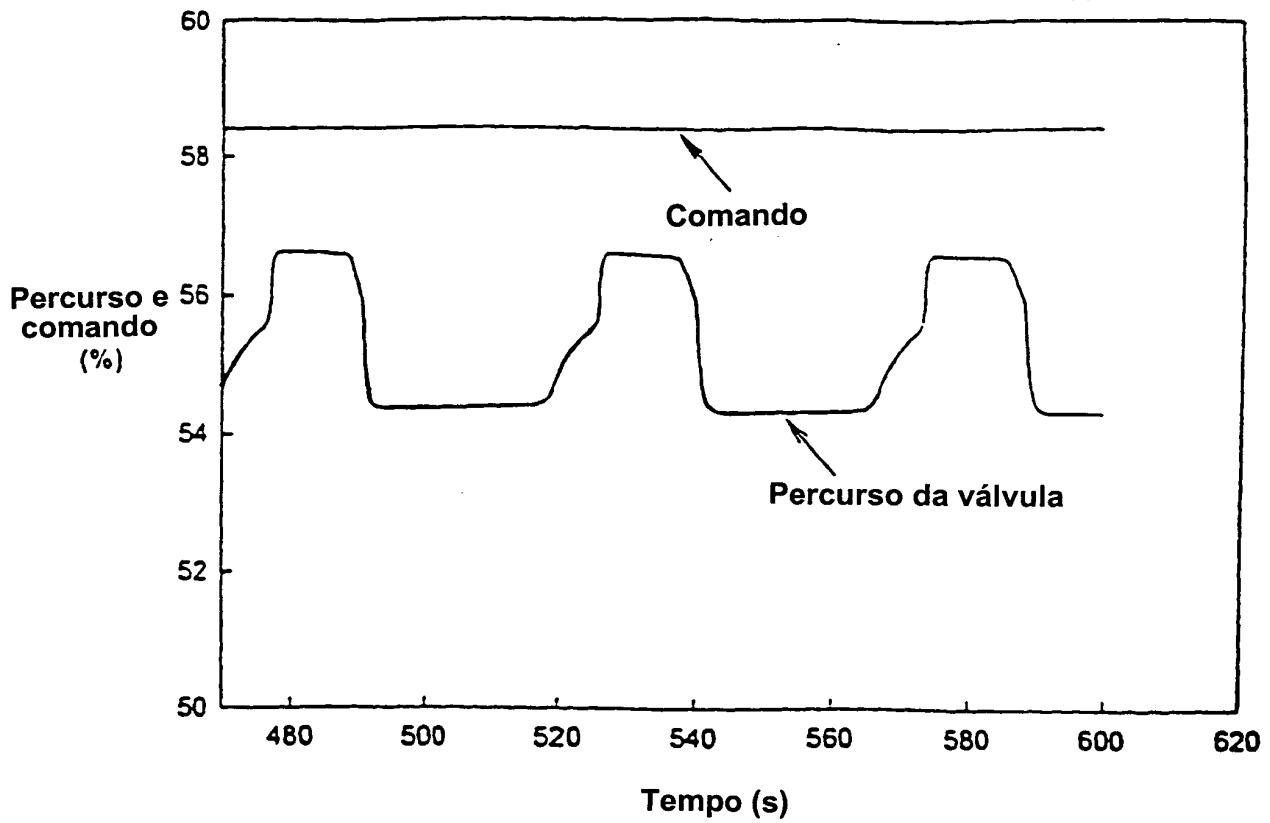
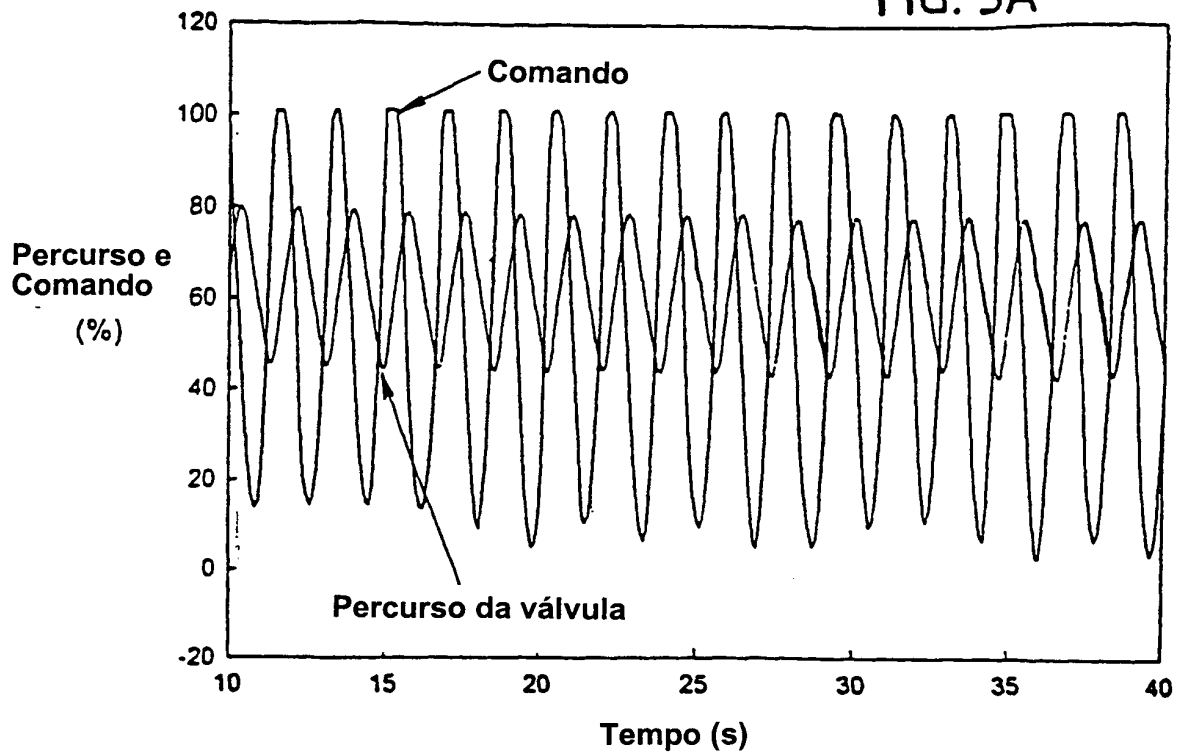


FIG. 4B

FIG. 5A



Pressão líquida
do atuador (psig)
(1 psig =
6,9 kPa manométrico)

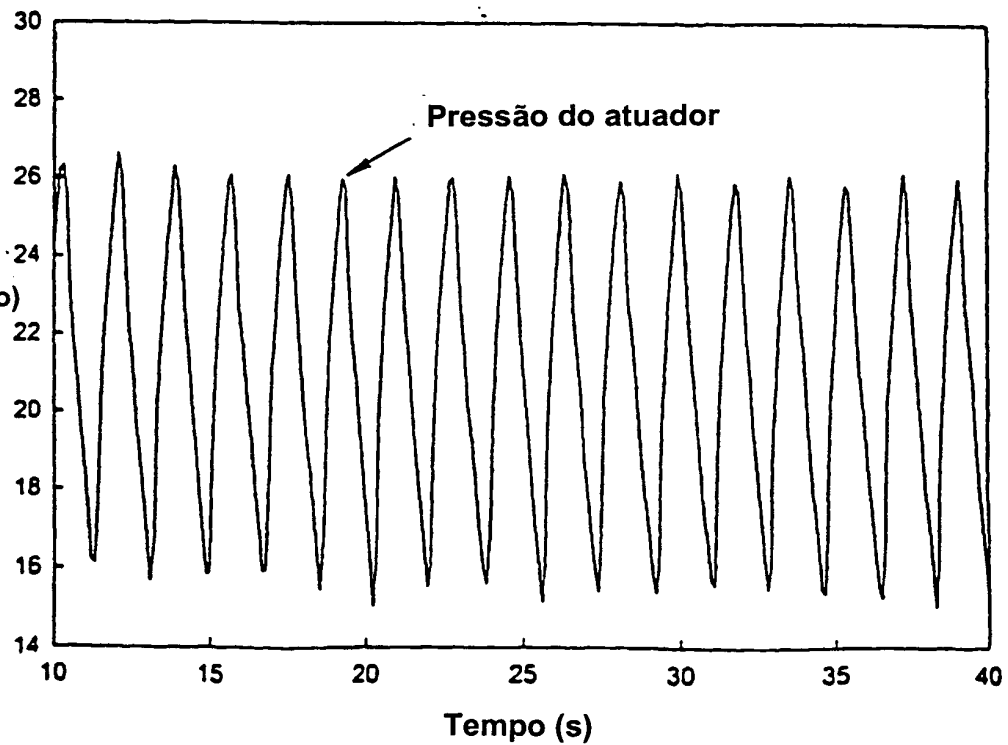


FIG. 5 B