



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

(21) BR 102018009110-7 A2



(22) Data do Depósito: 04/05/2018

(43) Data da Publicação Nacional: 06/08/2019

(54) **Título:** RELÉ DE FASE AJUSTÁVEL, SISTEMA DE CONTROLE CONTENDO O MESMO E MÉTODO DE AJUSTE DE FASE DE RELÉ

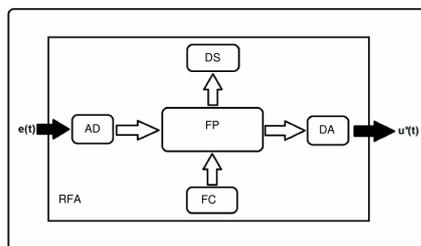
(51) **Int. Cl.:** G01R 31/00.

(52) **CPC:** G01R 31/00.

(71) **Depositante(es):** UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL.

(72) **Inventor(es):** ALEXANDRE SANFELICE BAZANELLA; CHARLES LORENZINI; LUÍS FERNANDO ALVES PEREIRA; MARCELO GÖTZ.

(57) **Resumo:** RELÉ DE FASE AJUSTÁVEL, SISTEMA DE CONTROLE CONTENDO O MESMO E MÉTODO DE AJUSTE DE FASE DE RELÉ. A presente invenção descreve um relé de fase ajustável (RFA) que pode atuar na carga de interesse com um retardo de tempo variável entre o sinal de comando e a ação de atuação na carga. Tal retardo no tempo entre o sinal de comando e a ação de atuação depende da fase previamente definida por um usuário, que é constante para uma ampla faixa de frequências, também definidas pelo usuário deste dispositivo, e das frequências que compõem o sinal de comando do Relé de Fase Ajustável (RFA). Especificamente, a presente invenção compreende conversores, ferramenta de processamento (FP), display (DS) e ferramenta de configuração (FC). A presente invenção se situa nos campos de sistemas de controle, sistemas de controle automáticos em diferentes classes de processos industriais.



## **Relatório Descritivo de Patente de Invenção**

### **RELÉ DE FASE AJUSTÁVEL, SISTEMA DE CONTROLE CONTENDO O MESMO E MÉTODO DE AJUSTE DE FASE DE RELÉ**

#### **Campo da Invenção**

**[0001]** A presente invenção descreve um relé de fase ajustável (RFA) que pode atuar na carga de interesse com um retardo de tempo variável entre o sinal de comando e a ação de atuação na carga. A presente invenção se situa nos campos de sistemas de controle, sistemas de controle automáticos em diferentes classes de processos industriais.

#### **Antecedentes da Invenção**

**[0002]** Na sua concepção original, o relé é um interruptor eletromecânico composto por um indutor, conhecido como bobina do relé, que compõe a parte elétrica deste dispositivo, e uma chave de duas posições do tipo liga/desliga de natureza mecânica. Ao circular uma corrente elétrica pela bobina do relé é gerada instantaneamente, uma força de natureza eletromagnética responsável pela movimentação física da chave mecânica, alterando sua posição de desligado para ligado ou de ligado para desligado.

**[0003]** A evolução dos relés eletromecânicos deu origem aos relés estáticos que utilizam dispositivos eletrônicos, tais como amplificadores operacionais, transistores, diodos, resistores e capacitores em sua concepção, dispostos de forma a reproduzir o funcionamento dos relés eletromecânicos utilizando apenas componentes eletrônicos resultando em relés mais silenciosos, mais flexíveis, mais sensíveis e menores se comparados aos relés eletromecânicos originais, agregando ainda nos relés estáticos as características de multifuncionalidade.

**[0004]** Na geração mais recente de relés encontram-se os relés numéricos ou microprocessados, incorporando aos relés tradicionais a capacidade de atuar de forma programada, tratando os sinais de entrada do

relé na maneira desejada e necessária para cada aplicação, viabilizando a utilização destes dispositivos nas áreas de medição, comunicação, proteção, automação e controle de sistemas de diferentes naturezas.

**[0005]** Na busca pelo estado da técnica em literaturas científica e patentária, foram encontrados os seguintes documentos que tratam sobre o tema:

**[0006]** Um exemplo de relé numérico é descrito na patente BR 102014021544-1 A2, denominada RELÉ DE SOBRECORRENTE E DISJUNTOR DE INVÓLUCRO MOLDADO COM O MESMO, é utilizado um relé de sobrecorrente que inclui uma unidade de controle instalada dentro do corpo de invólucro e que tem uma placa de circuitos eletrônicos. Ademais, compreende uma pluralidade de botões de regulação dispostos afastados entre si na placa de circuitos eletrônicos, que tem uma unidade de indicação exposta para o exterior para indicar um valor de referência de corrente e um tempo de operação de disparo marcado na tampa de invólucro, configurados para poderem girar. De maneira que, o documento não apresenta meios de alterar o tempo de resposta de um relé, a partir de modificação na fase de um sinal de saída do relé.

**[0007]** Outro exemplo de relé numérico, com aplicação completamente distinta daquela descrita no parágrafo anterior é apresentado na patente BR 1 O 2013 015558-6 A2, denominada DISPOSITIVO DE AMOSTRAGEM DE GÁS PARA UM RELÉ BUCHHOLZ, RESPECTIVO RELÉ BUCHHOLZ E MÉTODO DE OPERAÇÃO DO DITO DISPOSITIVO DE AMOSTRAGEM, em que é proposto um dispositivo de amostragem de gás para um relé Buchholz, sendo que um relé Buchholz compreende tal dispositivo de amostragem e um método de operação do dito dispositivo de amostragem que compreende - um corpo, que tem um canal de passagem equipado com uma abertura de entrada adequada para ser colocada em comunicação com o interior de um relé Buchholz, e uma abertura de saída adequada para ser colocada em comunicação com um recipiente de amostragem uma válvula conectada ao dito

corpo e que intercepta o dito canal, operável para abrir e fechar o dito canal - um dispositivo de acionamento, que é eletromecânico, mecanicamente conectado à válvula a fim de operar a mesma – um dispositivo de controle, que é eletrônico, eletronicamente conectado ao dispositivo de acionamento, a fim de controlá-lo, sendo que o dispositivo de controle é operável para operar a válvula a fim de realizar a amostragem de gás no relé Buchholz. De maneira que, o documento não apresenta meios de alterar o tempo de resposta de um relé, a partir de modificação na fase de um sinal de saída do relé.

**[0008]** Relés também tem sua utilização largamente difundida em aplicações relacionadas à síntese de parâmetros de controladores para diferentes tipos de sistemas dinâmicos. A patente internacional TW200634457, intitulada PI/PID TUNING WITH OPTIMAL TRADE-OFF BETWEEN PERFORMANCE FOR SET-POINT TRACKING AND DISTURBANCE REJECTION propõe um experimento com relé que visa identificar modelos simples em termos de processos de primeira ordem com atraso de transporte, utilizando-os para síntese de parâmetros de controladores Proporcional-Integral – PI ou Proporcional-Integral-Derivativo – PID. A síntese dos parâmetros destes controladores é realizada através de Redes Neurais Artificiais e o objetivo final é a obtenção de um bom desempenho do sistema operando em malha fechada, em nível de rastreamento de sinais de referência e de rejeição de perturbações. De maneira que, o documento não apresenta meios de alterar o tempo de resposta de um relé, a partir de modificação na fase de um sinal de saída do relé.

**[0009]** Assim, do que se depreende da literatura pesquisada, não foram encontrados documentos antecipando ou sugerindo os ensinamentos da presente invenção, de forma que a solução aqui proposta possui novidade e atividade inventiva frente ao estado da técnica.

### **Sumário da Invenção**

**[0010]** Dessa forma, a presente invenção tem por objetivo resolver os

problemas constantes no estado da técnica a partir de um relé que pode ser configurado e ter certos parâmetros visualizados por um usuário, a fim de ser comutado com certo atraso, ou variação na fase, em relação ao sinal de comando do usuário. Ademais, o dito relé proporciona uma determinação de uma faixa de frequência para que o atraso determinado fique constante dentro desta.

**[0011]** Em um primeiro objeto, a presente invenção apresenta um relé de fase ajustável (RFA) compreendendo:

- a. ferramenta de processamento (FP);
- b. display (DS);
- c. ferramenta de configuração (FC);
- d. conversor analógico-digital (AD);
- e. conversor digital-analógico (DA);

em que,

- o conversor analógico-digital (AD) é conectado à ferramenta de processamento (FP) e compreende meio de recebimento de variável de entrada ( $e(t)$ );
- a ferramenta de processamento (FP) é conectada ao display (DS), à ferramenta de configuração (FC) e ao conversor digital-analógico (DA); em que a ferramenta de processamento (FP) compreende configuração determinada pela ferramenta de configuração (FC), meio de envio de informação para o display (DS) e meio de saída para o conversor digital-analógico (DA); e
- o conversor digital-analógico (DA) compreende meio de encaminhamento de variável de saída ( $u^*(t)$ ).

**[0012]** Em um segundo objeto, a presente invenção apresenta um método de ajuste de fase de relé compreendido por ser implementado no relé de fase ajustável (RFA) e por compreender as seguintes etapas:

- a. leitura e conversão de uma variável de entrada ( $e(t)$ ) por um conversor analógico-digital (AD) gerando uma variável de entrada ( $e(t)$ ) digital;

- b. análise da variável de entrada ( $e(t)$ ) digital pela ferramenta de processamento (FP) baseada em informações recebidas pela ferramenta de configuração (FC) compreendendo:
  - i. recebimento da variável de entrada ( $e(t)$ ) digital por um relé (RL);
  - ii. geração de um sinal auxiliar interno no relé (RL), com base na variável ( $e(t)$ ) digital;
  - iii. multiplicação do sinal auxiliar interno por uma constante multiplicativa ( $d$ );
  - iv. soma de uma constante aditiva ( $b$ ) ao sinal auxiliar interno;
  - v. estabelecimento de uma fase constante, em uma faixa de frequência, para o sinal auxiliar interno;
- c. conversão e escrita da dita variável analisada por um conversor digital-analógico (DA);

em que,

- a ferramenta de configuração (FC) é configurável por um usuário.

**[0013]** Em um terceiro objeto, a presente invenção apresenta um sistema de controle compreendendo o relé de fase ajustável (RFA).

**[0014]** Ainda, o conceito inventivo comum a todos os contextos de proteção reivindicados é o de um relé que possa inserir/modificar um valor de fase em um determinado sinal, e que esta fase esteja constante para uma faixa de frequência. Sendo que, um usuário pode configurar tanto o valor da fase, quanto o valor da faixa de frequência.

**[0015]** Estes e outros objetos da invenção serão imediatamente valorizados pelos versados na arte e pelas empresas com interesses no segmento, e serão descritos em detalhes suficientes para sua reprodução na descrição a seguir.

### **Breve Descrição das Figuras**

**[0016]** São apresentadas as seguintes figuras:

**[0017]** A figura 1 mostra um fluxograma do relé de fase ajustável (RFA).

**[0018]** A figura 2 mostra um fluxograma do relé de fase ajustável (RFA), porém apresentando maiores detalhes da ferramenta de processamento (FP).

**[0019]** A figura 3 mostra uma concretização de um sistema de controle com realimentação utilizando o relé de fase ajustável (RFA).

### **Descrição Detalhada da Invenção**

**[0020]** As descrições que se seguem são apresentadas a título de exemplo e não limitativas ao escopo da invenção e farão compreender de forma mais clara o objeto do presente pedido de patente.

**[0021]** Em um primeiro objeto, a presente invenção apresenta um relé de fase ajustável (RFA) compreendendo:

- a. ferramenta de processamento (FP);
- b. display (DS);
- c. ferramenta de configuração (FC);
- d. conversor analógico-digital (AD);
- e. conversor digital-analógico (DA);

em que,

- o conversor analógico-digital (AD) é conectado à ferramenta de processamento (FP) e compreende meio de recebimento de variável de entrada ( $e(t)$ );
- a ferramenta de processamento (FP) é conectada ao display (DS), à ferramenta de configuração (FC) e ao conversor digital-analógico (DA); em que a ferramenta de processamento (FP) compreende configuração determinada pela ferramenta de configuração (FC), meio de envio de informação para o display (DS) e meio de saída para o conversor digital-analógico (DA); e
- o conversor digital-analógico (DA) compreende meio de encaminhamento de variável de saída ( $u^*(t)$ ).

**[0022]** Em uma concretização, o conversor analógico-digital (AD) é o responsável por realizar a leitura e conversão da variável de entrada ( $e(t)$ ). Por

variável de entrada ( $e(t)$ ) entende-se qualquer sinal elétrico que está prestes a acionar o dito relé de fase ajustável (RFA). Em uma concretização, este sinal pode ser fornecido por algum usuário ou pode ser realizado automaticamente por um sistema.

**[0023]** Em uma concretização, a ferramenta de processamento (FP) tem como função receber a variável de entrada ( $e(t)$ ) digital, e acionar o dito relé de fase ajustável (RFA), com base em uma configuração proposta pela ferramenta de configuração (FC). Em uma concretização, a ferramenta de processamento (FP) é conectada a um display (DS), que é o responsável por disponibilizar a um usuário certos parâmetros que foram configurados ao relé de fase ajustável (RFA). Em uma concretização, o display (DS) pode também disponibilizar informações a respeito dos sinais presentes.

**[0024]** A ferramenta de configuração (FC) tem como função receber configurações do usuário, ou do próprio relé de fase ajustável (RFA), e encaminhar estas configurações à ferramenta de processamento (FP). Em uma concretização, a ferramenta de configuração (FC) juntamente com o display (DS) representam a interatividade de um usuário com o relé de fase ajustável (RFA). Em uma concretização, a ferramenta de configuração (FC) pode ser um teclado, para que um usuário insira parâmetros. Em uma concretização, o período de amostragem utilizado para a obtenção da função de transferência discreta do integrador de ordem fracionária pode ser determinado pelo usuário através da ferramenta de configuração (FC) e do display (DS) ou determinado automaticamente pelo próprio relé de fase ajustável (RFA).

**[0025]** Em uma concretização, a ferramenta de processamento (FP) compreende: relé (RL) e integrador de ordem fracionária (FOI). O relé (RL) compreende análise da variável de entrada ( $e(t)$ ) digital e meio de saída para uma variável intermediária ( $u(t)$ ). Em uma concretização, a análise se dá a partir do recebimento da variável de entrada ( $e(t)$ ) digital para sinal digital, e com o valor desta, o relé (RL) gera inicialmente um sinal auxiliar interno que pode assumir dois valores distintos. Em uma concretização, o sinal auxiliar

interno pode ser -1 ou 1, a depender do valor da variável de entrada ( $e(t)$ ) digital. Ademais, o relé (RL) compreende manipulação do sinal auxiliar interno, isto é, o relé (RL) compreende a multiplicação do sinal auxiliar interno por uma constante multiplicativa ( $d$ ) e realiza a soma de uma constante aditiva ( $b$ ) ao sinal auxiliar interno. Em uma concretização, ao efetuar as duas operações descritas é gerada a variável intermediária ( $u(t)$ ) pelo relé (RL), e esta é direcionada ao meio de saída para variável intermediária ( $u(t)$ ).

**[0026]** Em uma concretização, o meio de saída para variável intermediária ( $u(t)$ ) é conectado a um integrador de ordem fracionária (FOI). Em uma concretização, o integrador de ordem fracionária (FOI) compreende recebimento da variável intermediária ( $u(t)$ ) e compreende fornecimento de fase constante em uma faixa de frequência. Em uma concretização, o integrador de ordem fracionária (FOI) é conectado ao conversor digital-analógico (DA), e fornece a este conversor o sinal com a modificação na fase. Em uma concretização, o integrador de ordem fracionária (FOI) compreende uma função de transferência contínua, de grau relativo zero ou de grau relativo um, cuja ordem é definida a partir da faixa de frequência onde se deseja obter fase constante. Em uma concretização, a faixa de frequência é informada pelo usuário do relé de fase ajustável (RFA) pelo uso da ferramenta de configuração (FC), juntamente com o acesso ao display (DS). Em uma concretização, uma vez definida pelo usuário a faixa de frequência de interesse, os parâmetros da função de transferência que definem os polinômios do numerador e do denominador do integrador de ordem fracionária (FOI), bem como a determinação da função de transferência discreta do integrador de ordem fracionária (FOI), são obtidos através de um algoritmo numérico específico previamente já programado no dispositivo programável do relé de fase ajustável (RFA) proposto neste invento.

**[0027]** Em uma concretização, a ferramenta de configuração (FC) compreende o ajustamento e configuração dos seguintes parâmetros: constante multiplicativa ( $d$ ), constante aditiva ( $b$ ), frequência inicial, frequência

final e período de amostragem. Em uma concretização, as ditas constantes são aquelas utilizadas pelo relé (RL). Em uma concretização, a definição da frequência inicial e final tem como propósito determinar a faixa de frequência. Em uma concretização, o período de amostragem pode ser definido por um usuário ou pode ser definido de uma maneira automática. Em uma concretização, o período de amostragem é utilizado para leitura e escrita dos conversores analógico-digital (AD) e digital-analógico (DA) e para o algoritmo de integração numérica empregado para obtenção da função de transferência discreta do integrador de ordem fracionária (FOI).

**[0028]** Em um segundo objeto, a presente invenção apresenta um método de ajuste de fase de relé compreendido por ser implementado no relé de fase ajustável (RFA) e por compreender as seguintes etapas:

- a. leitura e conversão de uma variável de entrada  $e(t)$  por um conversor analógico-digital (AD) gerando uma variável de entrada  $e(t)$  digital;
- b. análise da variável de entrada  $e(t)$  digital pela ferramenta de processamento (FP) baseada em informações recebidas pela ferramenta de configuração (FC) compreendendo:
  - i. recebimento da variável de entrada  $e(t)$  digital por um relé (RL);
  - ii. geração de um sinal auxiliar interno no relé (RL), com base na variável  $e(t)$  digital;
  - iii. multiplicação do sinal auxiliar interno por uma constante multiplicativa  $(d)$ ;
  - iv. soma de uma constante aditiva  $(b)$  ao sinal auxiliar interno;
  - v. estabelecimento de uma fase constante, em uma faixa de frequência, para o sinal auxiliar interno;
- c. conversão e escrita da dita variável analisada por um conversor digital-analógico (DA);

em que,

- a ferramenta de configuração (FC) é configurável por um usuário.

**[0029]** Em uma concretização, a etapa de leitura e conversão de uma variável de entrada ( $e(t)$ ) por um conversor analógico-digital (AD) compreende o recebimento de um sinal de entrada ( $e(t)$ ) analógico e sua conversão à digital, tornando então a variável de entrada ( $e(t)$ ) uma variável digital. Em uma concretização, a próxima etapa compreende a análise da variável de entrada ( $e(t)$ ) digital pela ferramenta de processamento (FP), de modo que para esta etapa a ferramenta de processamento (FP), já foi previamente configurada por um usuário, recebendo definição de valores para os ditos parâmetros já discutidos de uma ferramenta de configuração (FC).

**[0030]** Em uma concretização, esta etapa de análise da variável de entrada ( $e(t)$ ) digital compreende as seguintes subetapas, que podem ser destrinchadas abaixo:

**[0031]** - recebimento da variável de entrada ( $e(t)$ ) digital: este recebimento é feito pelo relé (RL) que é compreendido pela ferramenta de processamento (FP) e é um dos responsáveis por realizar a análise. Em uma concretização, esta subetapa se refere ao simples encaminhamento da variável ( $e(t)$ ) digital para o relé (RL).

**[0032]** - geração de um sinal auxiliar interno no relé (RL): esta etapa é realizada com base no sinal recebido pela etapa anterior, ( $e(t)$ ) digital. Em uma concretização, o relé (RL) é capaz de entender certos parâmetros da variável de entrada ( $e(t)$ ) digital a fim de gerar o determinado sinal auxiliar interno. Esta etapa compreende subetapa de identificação da variável, a qual o relé (RL) analisa o valor da variável ( $e(t)$ ) digital. Nesta etapa para um valor maior ou igual a zero da variável de entrada ( $e(t)$ ) digital, é gerado um sinal auxiliar interno igual a 1; ao passo que, para um valor menor que zero da variável de entrada ( $e(t)$ ) digital, o relé (RL) gera um sinal auxiliar interno igual a -1.

**[0033]** - multiplicação do sinal auxiliar interno: esta etapa ainda é realizada pelo relé (RL). Em uma concretização, após determinados os valores de 1 ou -1, o sinal auxiliar interno é agora suscetível a ser multiplicado por uma

constante multiplicativa (d).

**[0034]** - soma ao sinal auxiliar interno multiplicado: ocorrendo após a multiplicação, esta etapa utiliza uma constante aditiva (b) para ser somada. Vale ressaltar que ambas as constantes (d) e (b) foram determinadas previamente por um usuário utilizando da ferramenta de configuração (FC). Deste modo, o sinal auxiliar interno torna-se uma variável intermediária ( $u(t)$ )

**[0035]** - estabelecimento de uma fase constante: esta etapa ocorre com a inserção do valor de fase previamente selecionado pelo usuário ao sinal auxiliar interno após ter sido submetido à soma. Esta inserção é feita com o integrador de ordem fracionária (FOI). Destacar-se também que esta fase fica constante para a faixa de frequência determinada pelo usuário. Na saída do integrador de ordem fracionária (FOI). A variável com a inserção de fase é a variável de saída do relé de fase ajustável (RFA) e para que seja devidamente utilizada, esta é encaminhada a um conversor digital analógico (DA), gerando o variável de saída ( $u^*(t)$ ).

**[0036]** Em um terceiro objeto, a presente invenção apresenta um sistema de controle compreendendo o relé de fase ajustável (RFA).

**[0037]** Em uma concretização, o relé de fase ajustável (RFA) compreende a função de controlador do sistema de controle, recebendo o erro da realimentação. Em uma concretização, o processo (PR) tem a função de uma planta em um sistema de controle. Em uma concretização, a depender da fase que proposta ao relé de fase ajustável (RFA), a saída do sistema ( $y(t)$ ) pode compreender característica oscilatória, com amplitude e frequência constantes. Em uma concretização, o relé de fase ajustável (RFA) pode ser utilizado como um acusador de informação de amplitude e frequência, e com estas informações um controlador específico pode ser projetado para substituir o relé de fase ajustável (RFA) dentro do sistema.

### **Exemplo 1. Realização Preferencial**

**[0038]** Os exemplos aqui mostrados têm o intuito somente de

exemplificar uma das inúmeras maneiras de se realizar a invenção, contudo sem limitar, o escopo da mesma.

**[0039]** Em respeito aos componentes já definidos da presente invenção, como exemplos concretizações sobre estes são apresentadas. O relé de fase ajustável (RFA), dispositivo proposto neste invento, pertence à classe dos relés numéricos, sendo que a dita ferramenta de processamento (FP) pode ser concretizada em um microcontrolador ou em uma matriz de portas programáveis denominada FPGA, do inglês *Field Programmable Gate Array*, ou por qualquer outro dispositivo eletrônico programável; a ferramenta de configuração (FC) pode ser concretizada em um teclado numérico; e o display pode ser concretizado em uma interface com display alfanumérico para comunicação com o usuário, conforme apresentado na Figura 1.

**[0040]** A variável de entrada ( $e(t)$ ) do relé de fase ajustável (RFA), é lida por meio de um conversor analógico-digital (AD) e seu valor é analisado por um programa instalado no dispositivo eletrônico programável que compõe o relé de fase ajustável (RFA). Se o valor da variável de entrada ( $e(t)$ ) for igual ou superior a zero, um sinal auxiliar interno ao programa, aqui definido por  $\text{sign}(e(t))$  assume o valor 1. Se o valor da variável de entrada  $e(t)$  for inferior à zero, o sinal auxiliar interno ao programa definido por  $\text{sign}(e(t))$  assume o valor -1. Este sinal auxiliar interno ao programa, definido por  $\text{sign}(e(t))$ , é multiplicado por um valor de constante multiplicativa ( $d$ ) e o resultado desta multiplicação acrescido de outro valor de constante aditiva ( $b$ ), sendo os valores de “ $d$ ” e “ $b$ ” definidos pelo usuário do relé de fase ajustável (RFA). Este conjunto de operações da origem a uma variável intermediária ( $u(t)$ ).

**[0041]** A variável intermediária ( $u(t)$ ) é utilizada como variável de entrada de um integrador de ordem fracionária (FOI), representado na Figura 2, que é o bloco responsável por estabelecer uma fase constante em uma faixa arbitrária de frequências, também definida pelo usuário do dispositivo proposto neste invento. A variável de saída deste integrador de ordem fracionária é a variável de saída do relé de fase ajustável (RFA) e é disponibilizada para uso na forma

de um sinal elétrico através de um conversor digital-analógico (DA), conforme representado na Figura 2 pela variável de saída ( $u^*(t)$ ).

**[0042]** O integrador de ordem fracionária (FOI) utilizado no algoritmo do relé de fase ajustável (RFA) proposto neste invento é implementado através de uma função de transferência contínua, de grau relativo zero ou de grau relativo um, cuja ordem é definida através dos valores inicial e final do intervalo de frequência onde se deseja obter fase constante, valores estes que devem ser informados pelo usuário do dispositivo na interface com o usuário.

**[0043]** O programa interno ao dispositivo eletrônico que compõe o relé de fase ajustável (RFA) também é responsável pela determinação do conjunto de parâmetros da função de transferência contínua do integrador de ordem fracionária que já faz a conversão para a função de transferência discreta através de um algoritmo de integração numérica. O período de amostragem utilizado para a obtenção da função de transferência discreta do integrador de ordem fracionária (FOI) pode ser determinado pelo usuário através da ferramenta de configuração (FC), como por exemplo, com o uso de um teclado, e com o display (DS) sendo uma interface com o usuário ou determinado automaticamente pelo próprio dispositivo.

**[0044]** O relé de fase ajustável (RFA) proposto neste invento possui uma interface com o usuário onde é realizada a determinação dos parâmetros de ajuste do relé de fase ajustável (RFA), que são os valores das constantes “d” e “b”, das frequências inicial e final do integrador de ordem fracionária e do período de amostragem utilizado para leitura e escrita dos conversores (AD) e (DA) e para o algoritmo de integração numérica empregado para obtenção da função de transferência discreta do integrador de ordem fracionária.

**[0045]** Na sua concepção original, o relé de fase ajustável (RFA) tem como aplicação a obtenção de pontos específicos da resposta em frequência de sistemas dinâmicos, representados na Figura 3 pelo bloco denominado de “processo” (PR). Na Figura 3 tem-se a representação típica de um sistema de controle operando em malha-fechada, com o relé de fase ajustável (RFA)

fazendo parte deste sistema. Dependendo do valor definido para a fase do relé de fase ajustável (RFA), a variável de saída do processo (PR) definida na Figura 3 como saída do sistema ( $y(t)$ ) apresenta característica oscilatória, com amplitude e frequência constantes. As informações de amplitude e frequência podem ser utilizadas para determinação dos valores de parâmetros de diferentes tipos de controladores, que substituem na Figura 3 o bloco representado pelo relé de fase ajustável (RFA), e fazem com que a variável de saída do sistema ( $y(t)$ ) comporte-se da maneira desejada pelo responsável relacionado à operação do processo.

**[0046]** Os versados na arte valorizarão os conhecimentos aqui apresentados e poderão reproduzir a invenção nas modalidades apresentadas e em outras variantes, abrangidas no escopo das reivindicações anexas.

### Reivindicações

1. Relé de fase ajustável **caracterizado** pelo fato de compreender
  - a. ferramenta de processamento (FP);
  - b. display (DS);
  - c. ferramenta de configuração (FC);
  - d. conversor analógico-digital (AD);
  - e. conversor digital-analógico (DA);

em que,

- o conversor analógico-digital (AD) é conectado à ferramenta de processamento (FP) e compreende meio de recebimento de variável de entrada ( $e(t)$ );
- a ferramenta de processamento (FP) é conectada ao display (DS), à ferramenta de configuração (FC) e ao conversor digital-analógico (DA); em que a ferramenta de processamento (FP) compreende configuração determinada pela ferramenta de configuração (FC), meio de envio de informação para o display (DS) e meio de saída para o conversor digital-analógico (DA); e
- o conversor digital-analógico (DA) compreende meio de encaminhamento de variável de saída ( $u^*(t)$ ).

2. Relé de fase ajustável, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato da ferramenta de processamento (FP) compreender:

- a. relé (RL); e
- b. integrador de ordem fracionária (FOI);

em que,

- o relé (RL) compreende análise de variável de entrada ( $e(t)$ ) digital e meio de saída para variável intermediária ( $u(t)$ ); e
- o integrador de ordem fracionária (FOI) compreende recebimento da variável intermediária ( $u(t)$ ) e fornecimento de fase constante em uma faixa de frequência.

3. Relé de fase ajustável, de acordo com qualquer uma das reivindicações

1 a 2, **caracterizado** pelo fato da faixa de frequência ser determinada a partir da ferramenta de configuração (FC).

4. Relé de fase ajustável, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, **caracterizado** pelo fato da ferramenta de configuração (FC) compreender configuração de ao menos um dos seguintes parâmetros:

- a. constante multiplicativa (d);
- b. constante aditiva (b);
- c. frequência inicial;
- d. frequência final; e
- e. período de amostragem;

em que,

- a constante multiplicativa (d) compreende meio de multiplicar um sinal auxiliar interno do subsistema relé (RL) pela dita constante multiplicativa (d);
- a constante aditiva (b) compreende meio de somar ao sinal auxiliar interno do subsistema relé (RL) a dita constante aditiva (b).

5. Método de ajuste de fase de relé **caracterizado** por ser implementado no relé de fase ajustável (RFA) conforme definido nas reivindicações 1 a 4, e por compreender as seguintes etapas:

- a. leitura e conversão de uma variável de entrada (e(t)) por um conversor analógico-digital (AD) gerando uma variável de entrada (e(t)) digital;
- b. análise da variável de entrada (e(t)) digital pela ferramenta de processamento (FP) baseada em informações recebidas pela ferramenta de configuração (FC) compreendendo:
  - i. recebimento da variável de entrada (e(t)) digital por um relé (RL);
  - ii. geração de um sinal auxiliar interno no relé (RL), com base na variável (e(t)) digital;
  - iii. multiplicação do sinal auxiliar interno por uma constante multiplicativa (d);

- iv. soma de uma constante aditiva (b) ao sinal auxiliar interno;
- v. estabelecimento de uma fase constante, em uma faixa de frequência, para o sinal auxiliar interno;
- c. conversão e escrita da dita variável analisada por um conversor digital-analógico (DA);

em que,

- a ferramenta de configuração (FC) é configurável por um usuário.

6. Método de ajuste de fase de relé, de acordo com a reivindicação 5 **caracterizado** pela etapa de geração de um sinal auxiliar interno no relé (RL) compreender leitura de valor da variável (e(t)) digital compreendendo uma entre as possíveis subetapas:

- a. identificação da variável (e(t)) digital compreendendo valor maior ou igual a zero; e
  - i. geração de sinal auxiliar interno com valor 1; ou
- b. identificação da variável (e(t)) digital compreendendo valor menor que zero; e
  - i. geração de sinal auxiliar interno com valor -1.

7. Sistema de controle **caracterizado** pelo fato de compreender o relé de fase ajustável (RFA) conforme definido nas reivindicações 1 a 4.

8. Sistema de controle, de acordo com a reivindicação 7 **caracterizado** pelo fato de compreender:

- a. somador;
- b. processo (PR); e
- c. realimentação;

em que,

- o processo (PR) compreende geração de uma saída do sistema (y(t)) e esta compreende característica oscilatória, com amplitude e frequência constantes;
- o relé de fase ajustável compreende meios de recebimento do erro, a partir da realimentação do dito sistema de controle.

## FIGURAS

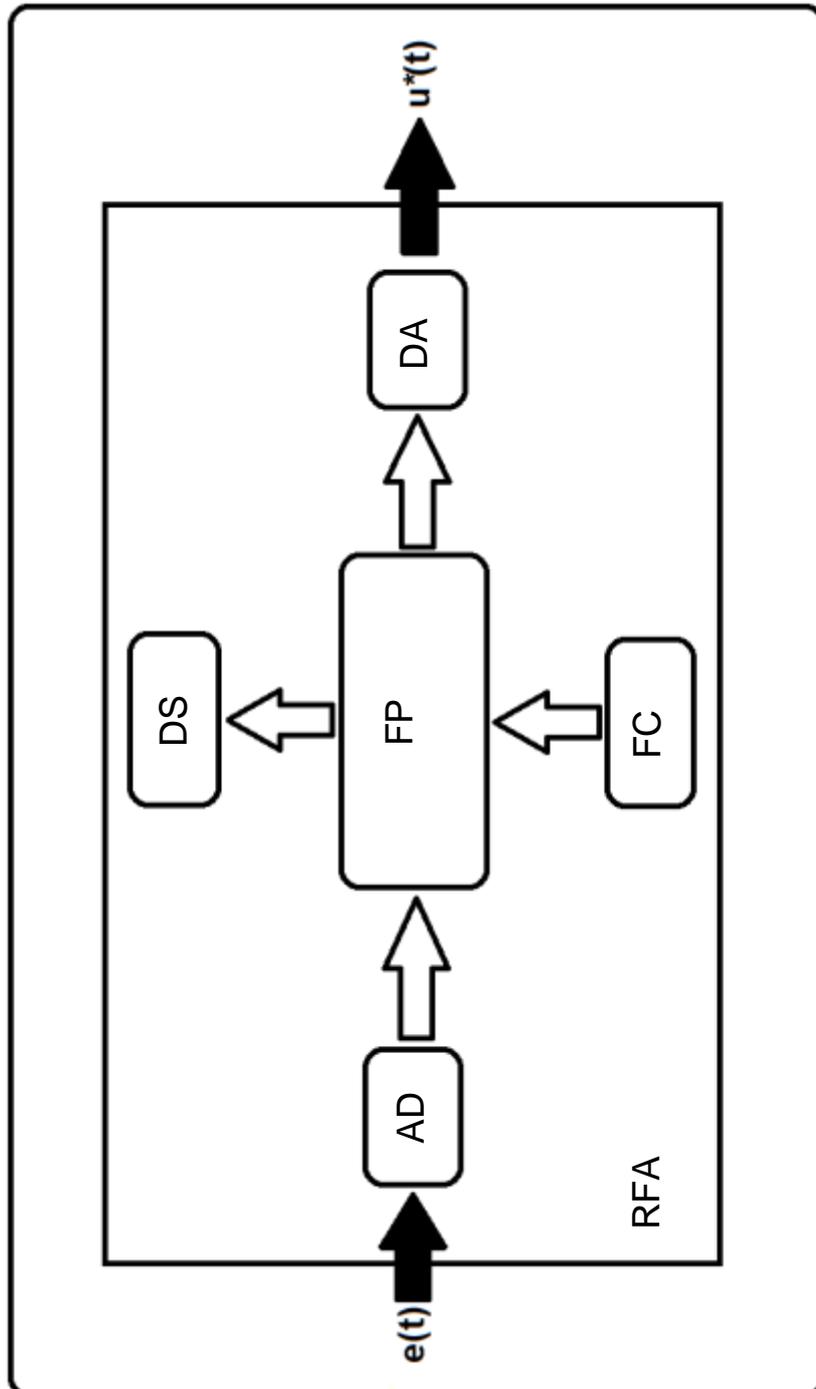


Figura 1

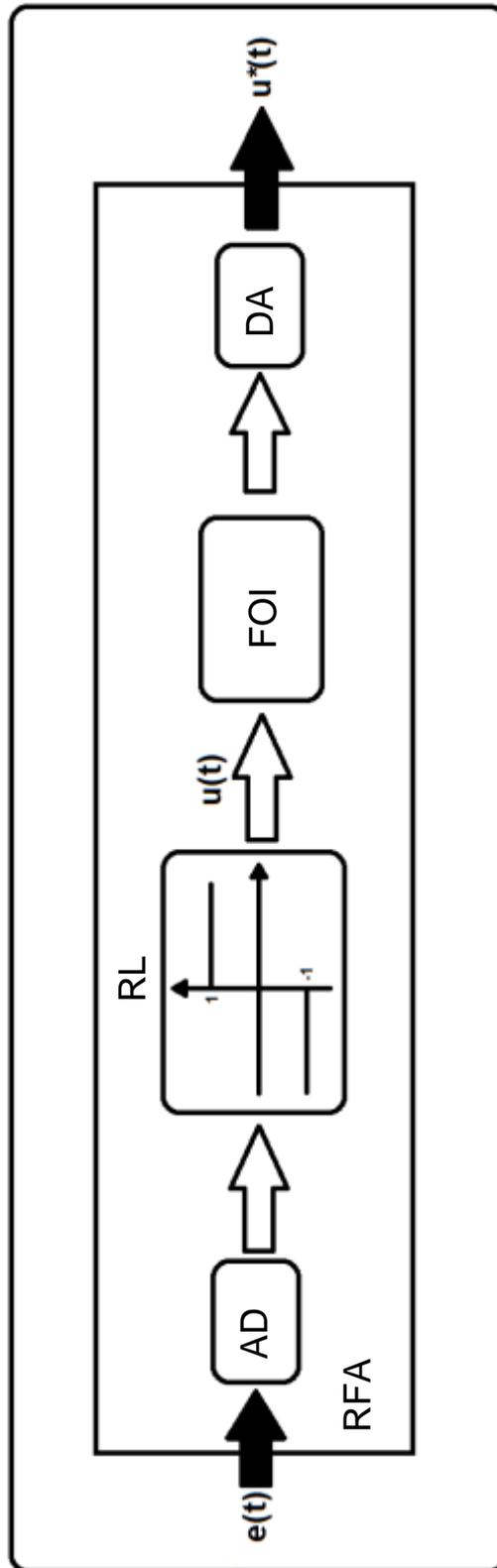


Figura 2

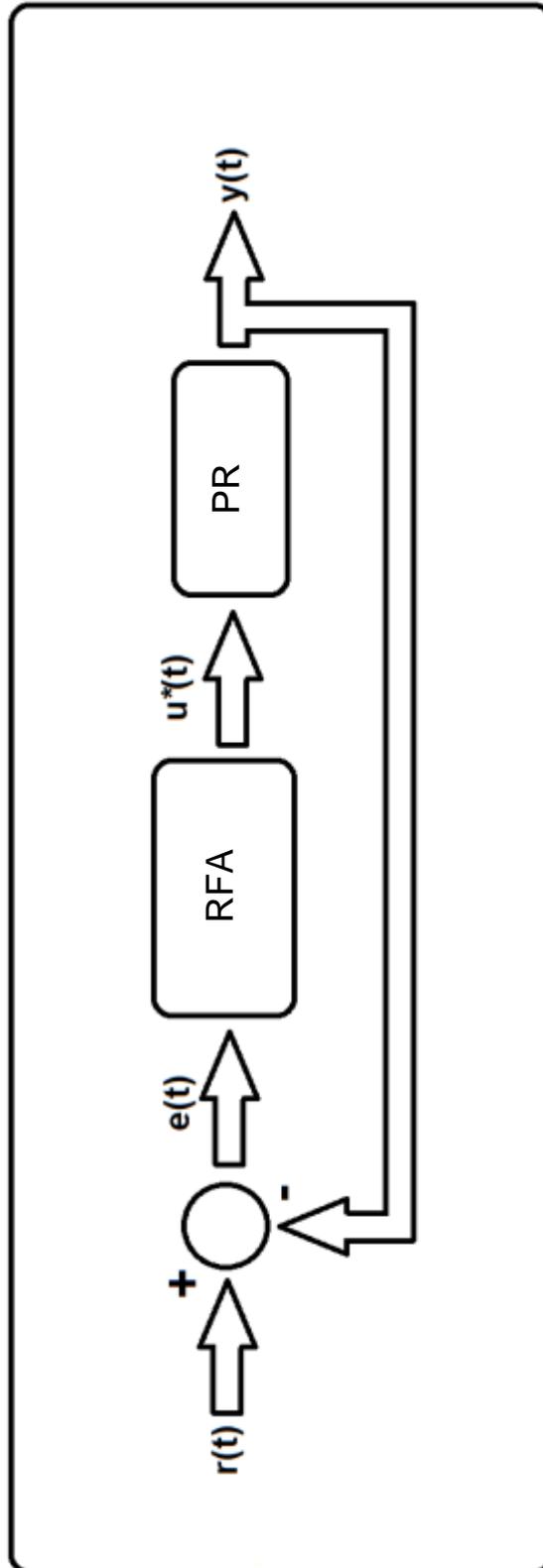


Figura 3

**Resumo****RELÉ DE FASE AJUSTÁVEL, SISTEMA DE CONTROLE CONTENDO O MESMO  
E MÉTODO DE AJUSTE DE FASE DE RELÉ**

A presente invenção descreve um relé de fase ajustável (RFA) que pode atuar na carga de interesse com um retardo de tempo variável entre o sinal de comando e a ação de atuação na carga. Tal retardo no tempo entre o sinal de comando e a ação de atuação depende da fase previamente definida por um usuário, que é constante para uma ampla faixa de frequências, também definidas pelo usuário deste dispositivo, e das frequências que compõem o sinal de comando do Relé de Fase Ajustável (RFA). Especificamente, a presente invenção compreende conversores, ferramenta de processamento (FP), display (DS) e ferramenta de configuração (FC). A presente invenção se situa nos campos de sistemas de controle, sistemas de controle automáticos em diferentes classes de processos industriais.