

República Federativa do Brasil
Ministério do Desenvolvimento, Indústria
e do Comércio Exterior
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(21) BR 102014011862-4 A2



* B R 1 0 2 0 1 4 0 1 1 8 6 2 A

(22) Data do Depósito: 16/05/2014

(43) Data da Publicação: 26/01/2016

(RPI 2351)

(54) Título: MÉTODO E SISTEMA PARA AMORTECER AS OSCILAÇÕES DE SISTEMA DE POTÊNCIA

(51) Int. Cl.: G05B 13/02; H02J 3/24

(52) CPC: G05B 13/021; H02J 3/24

(30) Prioridade Unionista: 30/05/2013 US 13/905,415

(73) Titular(es): GENERAL ELECTRIC COMPANY

(72) Inventor(es): NILANJAN RAY CHAUDHURI

(74) Procurador(es): JULIANO RYOTA MURAKAMI

(57) Resumo: MÉTODO E SISTEMA PARA AMORTECER AS OSCILAÇÕES DE SISTEMA DE POTÊNCIA - [001] Trata-se de um sistema (30) para amortecer a oscilação de sistema de potência que inclui um controlador de dispositivo de amortecimento (100) para gerar um sinal de controle de amortecimento para compensar uma pluralidade de modos de oscilação nas oscilações de sistemas de potência e um dispositivo de amortecimento (102) para gerar um sinal de amortecimento com base em um sinal de controle de amortecimento. O controlador de dispositivo de amortecimento (100) inclui uma pluralidade de trajetórias de circuito fechado externo, sendo que cada qual inclui um controlador adaptativo (108) configurado para determinar um modo de oscilação individual a partir de pelo menos um sinal de medição do sistema de potência. Cada controlador adaptativo é configurado adicionalmente para gerar um sinal de controle adaptativo para posicionar pelo menos um polo de circuito aberto de uma trajetória de circuito interno referente ao modo de oscilação individual para uma localização de circuito fechado.

“MÉTODO E SISTEMA PARA AMORTECER AS OSCILAÇÕES DE SISTEMA DE POTÊNCIA”

ANTECEDENTES

[0001] As realizações da presente invenção referem-se geralmente a um fluxo de potência em um sistema de potência. Mais especificamente, as realizações se referem ao amortecimento de oscilações de sistema de potência.

[0002] O sistema de potência é uma rede complexa que comprehende numerosos geradores, linhas de transmissão, uma variedade de cargas e transformadores. Com o aumento da demanda de potência no sistema de potência, algumas linhas de transmissão são mais tensionadas do que foi planejado quando as mesmas foram construídas. Visto que as condições de tensão podem levar um sistema a condições instáveis, a estabilidade de sistema de potência se tornou uma questão importante. Em termos simples, a estabilidade de sistema de potência é definida como a capacidade de o sistema de potência retornar a um estado normal após um distúrbio. O distúrbio pode ser uma falha, uma perda de um gerador ou até um aumento súbito no carregamento de potência, o que resulta em oscilações de potência no sistema de potência.

[0003] A estabilidade para pequenos sinais é uma questão de estabilidade de sistema de potência referente a oscilações de baixa frequência entre rotores de gerador. Essa foi a principal razão de muitas interrupções de fornecimento de potência ao redor do mundo, incluindo a interrupção de Conselho de Coordenação de Eletricidade Ocidental (WECC) de 1996. Quando o sistema de potência está excessivamente carregado, exibe frequentemente oscilações de modos múltiplos devido aos rotores de máquina, que se comportam como corpos rígidos, oscilam um em relação ao outro com o uso das linhas de transmissão elétrica entre os mesmos para trocarem energia.

Essas oscilações geralmente se dispõem em uma fixa de frequência entre 0,1 a 3 Hz. As oscilações nessa faixa de frequência são geralmente analisadas em dois modos de oscilação principais: 1) um modo local na amplitude de 1 a 3 Hz, isto é, um gerador ou um grupo de geradores em uma usina que balançam contra o resto do sistema; e 2) um modo interárea na amplitude de 0,1 a 1 Hz, isto é, as máquinas em um grupo oscilam contra as máquinas em outro grupo.

[0004] Para estabilizar o sistema de potência, medidas de amortecimento para amortecer as oscilações de potência são utilizadas. Os estabilizadores de sistema de potência (PSSs) são os dispositivos de controle de amortecimento em sistemas de potência mais comuns. Além dos PSSs, o amortecimento de oscilação de potência (POD) pode ser alcançado de modo eficaz através de controle suplementar de Sistemas de Transmissão de CA Flexíveis (FACTs) instalados em corredores de transmissão-chave. Tradicionalmente, a teoria de controle clássica foi adotada como projeto de tais controladores que exigem um modelo preciso do sistema em uma condição de operação particular (nominal). Porém, a falta de disponibilidade de informações precisas e atualizadas sobre cada um e todos os componentes dinâmicos de um sistema interconectado grande e sua natureza em constante mudança frequentemente coloca um desafio fundamental em tais abordagens com base em tal modelo. Controladores adaptativos indiretos, que contam unicamente com medições de sistema, são úteis para estabilizadores de sistema de potência (PSS) e também para os dispositivos FACTs. Esses controladores são atualizados em linha com base no modelo estimado do sistema e, assim, podem se adaptar às mudanças em condições de operação. Porém, as presentes arquiteturas de controladores adaptativos indiretos utilizam uma estrutura de entrada múltipla e saída múltipla (MIMO). Isso leva a um controlador multivariável, que é muito complicado em sua natureza.

[0005] Por esses e outros motivos, há uma necessidade de um

controlador adaptativo indireto aprimorado para o amortecimento de oscilação de potência.

BREVE DESCRIÇÃO

[0006] Em concordância com uma realização da presente técnica, um sistema para amortecer as oscilações de sistema de potência é fornecido. O sistema inclui um controlador de dispositivo de amortecimento para gerar um sinal de controle de amortecimento para compensar uma pluralidade de modos de oscilação nas oscilações de sistema de potência. O controlador de dispositivo de amortecimento inclui uma pluralidade de trajetórias de circuito fechado externas, cada uma a incluir um controlador adaptativo configurado para determinar um modo de oscilação individual a partir de pelo menos um sinal de medição do sistema de potência. Cada controlador adaptativo é configurado adicionalmente para gerar um sinal de controle adaptativo para mudar pelo menos um polo de circuito aberto de uma trajetória de circuito interna referente ao modo de oscilação individual para uma localização de circuito fechado. O sistema inclui adicionalmente um dispositivo de amortecimento para gerar um sinal de amortecimento com base no sinal de controle de amortecimento.

[0007] Em concordância com outra realização da presente técnica, um método para amortecer as oscilações de sistema de potência em uma rede de sistema de potência é fornecido. O método inclui a obtenção de uma pluralidade de sinais de medição do sistema de potência a partir de uma pluralidade de localizações de sistema de potência e ao gerar um sinal de controle de amortecimento para compensar uma pluralidade de modos de oscilação nas oscilações de sistema de potência. No método, gerar o sinal de controle de amortecimento inclui extrair um modo de oscilação individual a partir de cada um dos sinais de medição do sistema de potência que geram uma pluralidade de sinais de controle adaptativos para posicionar polos de

círculo aberto referentes aos modos de oscilação individuais para uma localização de circuito fechado. O método inclui adicionalmente inserir um sinal de amortecimento na rede de sistema de potência com base no sinal de controle.

FIGURAS

[0008] Esses e outros atributos, aspectos e vantagens da presente invenção se tornarão mais bem entendidos quando a descrição detalhada seguinte for lida com referência às figuras anexas nos quais caracteres semelhantes representam partes semelhantes no decorrer das Figuras, em que:

A Figura 1 é uma representação gráfica de oscilações de potência exemplares em um sistema de potência;

A Figura 2 é um diagrama esquemático de um sistema de potência que ilustra um sistema para amortecer as oscilações de sistema de potência em concordância com uma realização da presente técnica;

A Figura 3 é um diagrama de blocos de um controlador adaptativo indireto para amortecimento de oscilação de potência (IACPOD);

A Figura 4 é um diagrama de blocos de um controlador de amortecimento para amortecer as oscilações de sistema de potência em concordância com uma realização da presente técnica; e

A Figura 5 é um fluxograma que ilustra um método para amortecer oscilações de sistema de potência em concordância com uma realização da presente técnica.

DESCRIÇÃO DETALHADA

[0009] Conforme usado no presente documento, o termo "controlador" se refere a software, hardware, firmware ou qualquer combinação dos mesmos, ou qualquer sistema, processo ou funcionalidade que realize ou facilite os processos descritos no presente documento.

[0010] Ao introduzir elementos de realizações variadas da presente invenção, os artigos “um”, “um (1)”, “o(a)” e “dito(a)” visam significar que há um ou mais dos elementos. Os termos “compreender”, “incluir” e “ter” visam ser inclusivos e significam que pode haver elementos adicionais além dos elementos listados.

[0011] A Figura 1 mostra um plano gráfico 10 de oscilações de potência exemplares em um sistema de potência. Um eixo geométrico horizontal 14 representa o tempo em segundos enquanto um eixo geométrico vertical 12 representa o fluxo de potência em uma linha de transmissão “por unidade” (pu). Uma curva 18 mostra oscilações de potência no fluxo de potência da linha de transmissão sem um controlador de amortecimento. Apesar de as oscilações de potência serem mostradas aqui, deve ser notado que as oscilações podem estar presentes em qualquer outro sinal tal como uma voltagem, uma corrente, ou até uma velocidade de rotor de gerador. Uma demanda de potência na linha de transmissão é alterada a partir de 2 pu para em cerca de 3 pu em 10 segundos. Nessa transição, oscilações de potência na curva 18 se iniciam e as mesmas aumentam vagarosamente em amplitude. Se essas oscilações não forem amortecidas, a rede de potência respectiva pode se tornar instável e pode resultar em uma interrupção no fornecimento de potência.

[0012] Uma curva 16 mostra oscilações de potência no fluxo de potência da linha de transmissão com um dispositivo de amortecimento tal como um AVR ou um dispositivo FACTS. Conforme pode ser visto, quando um controlador de amortecimento é usado juntamente com o dispositivo de amortecimento, as oscilações de potência se atenuam rapidamente e o fluxo de potência se estabelece para encontrar a nova demanda em cerca de 16 segundos. Um pico em cerca de 10 segundos é o resultado dos parâmetros do controlador de amortecimento e depende de um valor de ganho do controlador

de amortecimento. Também com base nos princípios da série Fourier, pode ser visto que a curva 18 pode ser dividida em modos de oscilação múltiplos ou componentes sinusoidais de frequências diferentes. Os sinais sinusoidais têm uma propriedade que, se dois sinais que estiverem 180 graus defasados forem adicionados, a amplitude do sinal resultante se torna zero. Em teoria de controle o sinal sinusoidal pode ser representado em termos de um valor próprio λ o qual pode ser dado conforme:

$$\lambda = \sigma \pm j\omega_d \quad (1)$$

[0013] em que σ pode ser denominado como uma razão de amortecimento e ω_d pode ser denominado como frequência natural de amortecimento a qual descreve o quanto as oscilações no sistema decaem após um distúrbio. Porém, determinar os valores exatos de σ e ω_d pode não ser viável. Assim, em uma realização, um sistema de circuito fechado é empregado, o qual determina fatores aproximados σ e ω_d assim como reduz um sinal de oscilação ou um modo de oscilação.

[0014] A Figura 2 mostra um sistema de potência 30 que ilustra um sistema para amortecer oscilações em concordância com uma realização da presente invenção. O sistema de potência 30 inclui os geradores 32, as linhas de transmissão 34 e a carga 36. O sistema de potência 30 inclui adicionalmente dispositivos de amortecimento tais como o AVR 38 ou dispositivo FACTs 40. O AVR 38 pode amortecer oscilações de sistema de potência controlando a excitação do gerador 32 e, assim, ao controlar o fluxo de potência a partir do gerador com base em uma entrada a partir de um controlador de amortecimento 42. Em outras realizações, cada um dos geradores 32 tem um regulador de voltagem automático (AVR) controlado pelo controlador de amortecimento 42. Similarmente, o dispositivo FACTs 40 pode amortecer oscilações de sistema de potência ou inserir ou absorver potência ativa ou reativa apropriada a partir do sistema de potência 30 com base em

uma entrada a partir do controlador de amortecimento 42. Adicionalmente, dispositivos de amortecimento podem ser usados para outros propósitos além de amortecer as oscilações. Por exemplo, o AVR pode ser usado para controlar uma voltagem de saída do gerador, mas quando um estabilizador de sistema de potência (PSS) for usado servirá também a função do dispositivo de amortecimento.

[0015] O controlador de amortecimento 42 recebe sinais de medição tais como sinais de potência ou voltagem em um ponto no qual o gerador 32 ou o dispositivo FACTs 40 é conectado à linha de transmissão 34. Deve-se verificar que, apesar de o controlador de amortecimento 42 ser mostrado como um controlador central, em outras realizações um controlador separado ou um controlador local pode ser usado para o AVR 38 e para o dispositivo FACTs 40. O controlador de amortecimento 42 extrai componentes de sinal de frequências diferentes do sinal de entrada e fornece sinais de controle apropriados ao AVR 38 e ao dispositivo FACTs 40 para cancelar os componentes de frequência extraídos. Em uma realização, o dispositivo FACTs 40 e o AVR 38 podem ter seus controladores individuais (não mostrados) projetados para um propósito diferente, tal como para a compensação de potência reativa ou compensação de voltagem e a saída do controlador de amortecimento 42 é adicionada aos sinais de referência daqueles controladores individuais. Assim, o controlador individual, em adição ao seu propósito principal, também age em comando a partir do controlador de amortecimento 42 para amortecer as oscilações do sinal de medição.

[0016] A Figura 3 mostra um diagrama de blocos de um controlador adaptativo indireto para amortecimento de oscilação de potência (IACPOD) 70. O IACPOD 70 é utilizado para gerar um sinal de controle $u(t)$ para um dispositivo de amortecimento 71 com base em um sinal de saída $y(t)$ de uma rede de potência 75. O IACPOD 70 pode ser empregado no

controlador 42 da Figura 1. O IACPOD 70 inclui um estimador em linha 72 e um módulo de projeto controlador 74 para determinar os parâmetros do controlador para um módulo controlador 76. O estimador em linha 72 estima informações dos modos de oscilação em um sistema de potência que compreende a rede de potência 75 e o dispositivo de amortecimento 71, com base em qual módulo de projeto controlador 74 que determina os parâmetros do controlador para o módulo controlador 76. Assim, os parâmetros do controlador não são atualizados diretamente, de preferência indiretamente por meio de estimativa da dinâmica do sistema. Isso resulta em um algoritmo adaptativo indireto do IACPOD 70.

[0017] O estimador em linha 72 inclui um modelo de sistema que estima uma saída de um sistema de potência que inclui os dispositivos FACTs com base em um sinal de entrada que pode ser um sinal de voltagem, um sinal de corrente, um sinal de potência ou um sinal de velocidade, por exemplo. Em uma realização, o modelo de sistema pode incluir um modelo de média móvel de autorregressão (ARMA). Em uma realização, um modelo de sistema de potência saída pode ser representado como:

$$y(t) = - \sum_{i=1}^{n_a} a_i y(t-i) + \sum_{i=1}^{n_b} b_i v(t-k-i) + e(t) \quad (2)$$

em que $y(t)$ e $y(t-i)$ são sinais de saída do modelo de sistema em um tempo de amostra t e $(t-i)$ respectivamente, $v(t-k-i)$ é um sinal de entrada para o modelo em tempo $(t-k-i)$, $e(t)$ é um ruído aleatório de média zero com uma distribuição Gaussiana, a_i e b_i são coeficientes autorregressivos (AR), e n_a e n_b são ordens de um numerador e denominador polinomial da função de transferência do modelo de sistema de potência respectivamente. O sinal de saída $y(t)$ inclui modos eletromecânicos variados de oscilação de sistema de potência. Deve ser notado que a equação do modelo de sistema acima está em domínio de tempo e em domínio de z, a equação pode ser representada como:

$$A(z)Y(z) = z^k B(z)V(z) + E(z) \quad (3)$$

em que, $A(z) = 1 + \sum_{i=1}^{n_a} a_i z^{-i}$ e $B(z) = \sum_{i=1}^{n_b} b_i z^{-i}$ que representam uma função de transferência do modelo de sistema de potência em domínio de z como $B(z)/A(z)$. Os modos de oscilação individuais ou polos relacionados a partir do modelo de sistema de potência podem, então, ser extraídos determinando-se as raízes da equação $A(z) = 0$. Deve-se verificar que o modelo de sistema de potência pode ser um modelo de ordem muito alta, isto é, o valor de n_a ou número de polos no modelo de sistema de potência pode ser muito alto. Porém, visto que o objetivo é determinar oscilações de pequenos sinais na faixa de cerca de 1 a cerca de 3 Hz, em uma realização, apenas modelos de sistema de potência de 3^a ordem (isto é, $n_a=3$) podem ser utilizados.

[0018] Em geral, em todas as amostras, é determinada uma saída prevista $\hat{y}(t)$ de modelo de sistema que se dá como:

$$\hat{y}(t) = X^T(t) \hat{\theta}(t-1) \quad (4)$$

em que $X(t)$ é um regressor que compreende amostras antigas de entrada e saída, isto é, $X(t) = [-y(t-1), \dots, -y(t-n_a), u(t-1), \dots, u(t-n_b)]^T$ e $\hat{\theta}(t-1)$ é um vetor de parâmetro em uma amostra anterior, isto é, em tempo $(t-1)$ que compreende coeficientes de ARMA ou parâmetros de sistema, isto é, $\hat{\theta} = [\hat{a}_0, \hat{a}_1, \dots, \hat{a}_{n_a}, \hat{b}_0, \hat{b}_1, \dots, \hat{b}_{n_b}]^T$ em qualquer tempo determinado, por exemplo, em $(t-1)$ no presente instante. O vetor parâmetro $\hat{\theta}$ é atualizado em todas as amostras e é determinado por:

$$\hat{\theta}(t) = \hat{\theta}(t-1) + K(t)\varepsilon(t) \quad (5)$$

em que $\varepsilon(t)$ é um erro de previsão dado como:

$$\varepsilon(t) = y(t) - \hat{y}(t) \quad (6)$$

e $K(t)$ é um vetor de ganho dado como:

$$K(t) = \frac{P(t-1)X(t)}{\lambda(t-1) + X^T(t)P(t-1)X(t)} \quad (7)$$

[0019] Na equação (7) acima, λ é um fator de esquecimento e P é

uma matriz de covariância e, no tempo de amostra igual a t, são dados como:

$$\lambda(t) = 1 - \frac{[1-x^T(t-1)K(t)]}{\Sigma_0} \quad (8)$$

$$P(t) = \frac{[I-K(t)x^T(t)]P(t-1)}{\lambda(t)} \quad (9)$$

[0020] Em uma realização, Σ_0 é uma constante com um valor igual a 0,8. Assim, em todas as amostras, o modelo de sistema gera a saída prevista $\hat{y}(t)$ com base em valores atualizados no regressor $X(t)$ e no vetor de parâmetro $\hat{\theta}(t)$ e, com base na saída prevista $\hat{y}(t)$, modos de oscilação interárea de interesse são detectados. Em uma realização, modos de oscilação interárea podem ter uma amplitude a partir de 0,1 Hz a 1,0 Hz e o modo de oscilação em modo local pode estar na faixa de 1,0 Hz a 3,0 Hz.

[0021] Deve ser notado que a identificação apropriada do modo de oscilação de interesse a partir da saída prevista $\hat{y}(t)$ depende da escolha de frequência de amostragem. O tempo de amostragem da frequência de amostragem pode variar de 20 ms a 100 ms. Em uma realização da presente técnica, um tempo de amostragem de 80 ms forneceu bons resultados.

[0022] Em referência novamente à Figura 3, uma vez que estimador online 72 determina os modos de oscilação interárea de interesse, o controlador 76 fornece um sinal de controle $u(t)$ apropriado para amortecer esses modos de oscilação interárea. Em uma realização, o controlador 76 pode incluir um controlador adaptativo e o módulo de projeto de controlador 74 utiliza um algoritmo de controle de posicionamento de polo para computar os coeficientes de controlador para o controlador 76. Em uma realização, um circuito de controle de retroalimentação tem a forma:

$$U(z)F(z) = -Y(z)G(z) \quad (10)$$

em que $G(z) = \sum_{i=0}^{n_g} g_i z^{-i}$ e $F(z) = 1 + \sum_{i=1}^{n_f} (1 + f_i z^{-i})$. Em uma realização, polinomiais de controle n_g e n_f são dados como $n_g=n_b-1$ e

$n_f = n_a - 1$, em que n_a e n_b são polinomiais de sistema, conforme descrito anteriormente e g_i e f_i são parâmetros de controle que precisam ser determinados. Em geral, o problema de projeto subjacente do controlador é posicionar polos de circuito aberto do sistema (isto é, equação 2) radialmente por um fator de posicionamento de polo σ em direção a um círculo de unidade em uma plotagem de polo zero para que a equação de características de circuito fechado assuma a forma:

$$A(z-1) F(z^{-1}) + B(z^{-1}) G(z^{-1}) = A(\alpha z^{-1}) \quad (11)$$

[0023] Os parâmetros do controlador são derivados pelo módulo de projeto de controlador 74 com base na equação de igualdade 10. Por exemplo, se D for uma matriz de parâmetro de controle g_i e f_i , isto é, $D = [f_1, f_2, \dots, f_{n_f}, g_0, g_1, \dots, g_{n_g}]^T$, então, D pode ser determinado solucionando-se a igualdade acima com base no valor do fator de posicionamento de polo α . O sinal de controle $u(t)$, o qual compensará o modo de oscilação interárea de interesse, pode ser, então, expresso como:

$$u(t) = \xi^T(t) \cdot D \quad (12)$$

em que $\xi^T(t) = [-u(t-1), \dots, -u(t-n_f), -y(t), \dots, -y(t-n_g)]^T$. Em uma realização, uma função de otimização com base em um princípio de um regulador de variância mínima (MV) é usada para determinar um valor otimizado de fator de posicionamento de polo α . Nesse método, uma saída de sistema na próxima amostra é prevista a partir da equação seguinte:

$$\hat{y}(t+1) = \xi^T(t) \cdot \beta + b_1 u(t, \alpha) + e(t+1) \quad (13)$$

em que $\beta = [-b_2, -b_3, \dots, b_{n_f}, a_1, a_2, \dots, a_{n_a}]^T$. Assim, o problema de otimização se torna

$$\min_{\alpha} J(t+1, \alpha) = \min_{\alpha} E [\hat{y}(t+1) - y_r(t+1)]^2 \quad (14).$$

sujeito a restrições $-\frac{1}{\lambda}(1 - \sigma) < \alpha < \frac{1}{\lambda}(1 - \sigma)$ e $u_{\min} < u(t, \alpha) <$

u_{\max} .

em que, conforme discutido acima, $\hat{y}(t+1)$ é a saída esperada e $y_r(t+1)$ é uma saída desejada no próximo instante de amostragem. $J(t+1, \alpha)$ é uma função de otimização, Λ é o valor absoluto da maior raiz de $A(z-1)$, σ é um fator de segurança responsável pela imprecisão dos parâmetros estimados e u_{\min} e u_{\max} são os limites máximo e mínimo do dispositivo de amortecimento respectivamente. As restrições são utilizadas para garantir a estabilidade do sistema de circuito fechado.

[0024] Assim, com base em valores de parâmetros de controle no vetor D determinados pelo bloco de projeto de controlador 74, o controlador 76 gera um sinal de controle que é fornecido para o dispositivo de amortecimento para gerar o sinal de amortecimento apropriado e, portanto, amortecer oscilações. Em uma realização, o bloco de projeto de controlador 74 amostra e empilha os dados de entrada/saída no vetor $\xi(t)$ em um intervalo de amostragem menor em comparação ao estimador online 72. Por exemplo, o tempo de amostragem para o bloco de projeto de controlador 74 e o controlador 76 é projetado para ser 20 ms, habilitando, desse modo, o controlador 76 para gerar entrada de controle com informações mais recentes sobre o sistema, enquanto o mesmo conjunto de parâmetros de modelo que foi identificado pelo estimador 72 é usado para gerar $u(t)$ até o próximo conjunto de parâmetros atualizados que estiver disponível em um intervalo de 80 ms.

[0025] A Figura 4 mostra um diagrama de blocos de um controlador de amortecimento 100 para amortecer as oscilações de sistema de potência de acordo com uma realização da presente técnica. O controlador de amortecimento 100 é utilizado com um dispositivo de amortecimento 102, o qual insere sinais de amortecimento em uma rede de potência 104 para amortecer oscilações de potência em rede de potência 104. O controlador de amortecimento 100 adicionalmente determina modos variados de oscilação de potência em rede de potência 104 e fornece um sinal de controle de

amortecimento ao dispositivo de amortecimento 102 para amortecer os modos de oscilação de potência.

[0026] O controlador de amortecimento 100 recebe uma pluralidade de sinais de retroalimentação $y_1(t)$, $y_2(t), \dots, y_m(t)$ e inclui uma pluralidade de controladores adaptativos ou IACPODs 108 para cada um dentre essa pluralidade de sinais de retroalimentação. A pluralidade de sinais de retroalimentação pode ser de sinais locais de medição de sistema de potência, sinais remotos de medição de sistema de potência ou combinações dos mesmos. Cada um dos IACPODs 108 tem uma estrutura similar àquela do IACPOD 70 da Figura 3. Porém, o IACPOD 70 (Figura 3) utiliza uma entrada de retroalimentação única a partir da rede de potência 75 para determinar todos os modos de oscilação na rede de potência e gera um único sinal de controle que tenta compensar todos aqueles modos de oscilação. Ao contrário, cada um dos IACPODs 108 na Figura 4 forma uma trajetória de circuito fechado externo e determina um modo de oscilação individual a partir de um sinal de retroalimentação apropriado. Em uma realização, a seleção de sinal de retroalimentação é feita com base na dominância dos modos de oscilação presentes no sinal de retroalimentação. Em uma realização, um método de magnitude-ângulo residual pode ser usado offline para selecionar o sinal de retroalimentação apropriado. O IACPOD 108 fornece adicionalmente um sinal de controle adaptativo para compensar o modo de oscilação específico ao posicionar um polo de circuito aberto de sua trajetória de circuito interno referente ao modo de oscilação individual para uma localização de circuito fechado. Em outras palavras, o controlador de amortecimento 100 da Figura 4 inclui múltiplos IACPODs de entrada única e saída única (multi-SISO). O número de IADPODs 108 que é usado no controlador de amortecimento 108 depende do número de modos de oscilação que precisa ser compensado.

[0027] No controlador de amortecimento 100, cada IACPOD 108

determina primeiramente e, então, posiciona um polo de circuito aberto do sistema de potência que compreende a rede de potência 104 e o dispositivo de amortecimento 102 a uma localização de circuito fechado desejada. Em uma realização, um modelo de sistema de terceira ordem é usado em cada IACPOD 108, o qual fornece um sinal de controle de amortecimento com base em pelo menos um sinal de retroalimentação $y(t)$ a partir da rede de potência 104 e pelo menos um sinal de controle $u_m(t)$ a partir do controlador de amortecimento 100 sobreposto com um ruído branco gaussiano 107 para produzir um sinal de controle u ($m-1$) e alcançar uma razão de amortecimento desejada de cada vez. Todos os circuitos externos com o IACPOD 108 identificam um sistema de circuito aberto com um polo amortecido de modo insatisfatório já posicionado pelo IACPOD anterior. Em outras palavras, todos os laços externos adicionais com um IACPOD 108 identificam e posicionam outro modo amortecido de maneira insatisfatória, e assim, modos múltiplos são amortecidos juntos pelo controlador de amortecimento 100. Em uma realização, os sinais de controle de amortecimento $u_1(t)$, $u_2(t)$, ..., $u_m(t)$ gerados pelos IACPODs 108 são atrasados no tempo por uma amostra de tempo em relação uns aos outros para fornecer uma ação de controle individual caso ações simultâneas de controle para amortecer oscilações não sejam desejadas. Em uma realização, uma pluralidade de blocos de atraso 110 é utilizada para atrasar os sinais de controle de amortecimento. Em uma realização, um atraso de tempo envolvido para atrasar os sinais de controle de amortecimento é igual ao intervalo de amostragem do controlador. Finalmente, o sinal de controle de amortecimento $u(t)$ que é fornecido ao dispositivo de amortecimento 102 é uma adição de todas as ações de controle atrasadas $u_1(t)$, $u_2(t)$, ..., $u_m(t)$ e ruídos brancos gaussianos 107.

[0028] A Figura 5 mostra um método 200 para amortecer as oscilações de sistema de potência de acordo com uma realização da presente

técnica. O método 200 inclui obter uma pluralidade de sinais de medição do sistema de potência a partir de uma pluralidade de localizações de sistemas de potência na etapa 202. A pluralidade de sinais de medição do sistema de potência podem ser locais ou remotos ou combinações dos mesmos. Na etapa 204, o método 200 inclui gerar um sinal de controle de amortecimento para compensar uma pluralidade de modos de oscilação nas oscilações de sistema de potência. Além disso, gerar o sinal de controle de amortecimento compreende extrair um modo de oscilação individual a partir de cada um dos sinais de medição do sistema de potência para uma pluralidade de modos de oscilação nas oscilações de sistema de potência e gerar uma pluralidade de sinais de controle adaptativos para posicionar polos de circuito aberto referentes aos modos de oscilação individuais para uma localização de circuito fechado. Finalmente, na etapa 206, método 200 inclui inserir um sinal de amortecimento na rede de sistema de potência com base no sinal de controle de amortecimento.

[0029] Embora apenas certos recursos da invenção tenham sido ilustrados e descritos no presente documento, muitas modificações e alterações vão ocorrer àqueles versados na técnica. Portanto, deve-se compreender que as reivindicações anexas são destinadas a abranger todas as tais modificações e alterações que estejam dentro do verdadeiro espírito da invenção.

REIVINDICAÇÕES

1. SISTEMA (30) PARA AMORTECER AS OSCILAÇÕES DE SISTEMA DE POTÊNCIA, caracterizado pelo fato de que compreende:

um controlador de dispositivo de amortecimento (100) para gerar um sinal de controle de amortecimento para compensar uma pluralidade de modos de oscilação nas oscilações de sistema de potência, sendo que o controlador de dispositivo de amortecimento (100) compreende:

uma pluralidade de trajetórias de circuito fechado externo, sendo que cada uma inclui um controlador adaptativo (108) configurado para determinar um modo de oscilação individual a partir de pelo menos um sinal de medição do sistema de potência;

em que cada controlador adaptativo (108) é configurado adicionalmente para gerar um sinal de controle adaptativo para posicionar pelo menos um polo de circuito aberto de uma trajetória de circuito interno referente ao modo de oscilação individual para uma localização de circuito fechado; e

um dispositivo de amortecimento (102) para gerar um sinal de amortecimento com base no sinal de controle de amortecimento.

2. SISTEMA, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o sinal de controle de amortecimento é gerado por uma soma de sinais de controle adaptativos, em que cada sinal de controle adaptativo adicional é atrasado por um tempo de amostra em relação ao sinal de controle adaptativo anterior que antecede a soma.

3. SISTEMA, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o dispositivo de amortecimento inclui o regulador de tensão automático (AVR) ou um dispositivo de sistema de transmissão de corrente alternada flexível (FACTS).

4. SISTEMA, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o sinal de medição do sistema de potência compreende um

sinal de tensão, um sinal de corrente, um sinal de potência ou um sinal de velocidade.

5. SISTEMA, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o controlador adaptativo compreende um projeto de estimador online para determinar o modo de oscilação individual a partir do sinal de medição do sistema de potência.

6. SISTEMA, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o controlador adaptativo compreende um módulo de projeto de controlador para determinar os parâmetros do controlador.

7. SISTEMA, de acordo com a reivindicação 6, caracterizado pelo fato de que o módulo de projeto de controlador inclui um algoritmo de controle de posicionamento de polo para posicionar o polo de circuito aberto da trajetória de circuito interno por um fator de posicionamento de polo.

8. MÉTODO (200) PARA AMORTECER OSCILAÇÕES DE SISTEMA DE POTÊNCIA em uma rede de sistema de potência, sendo caracterizado pelo fato de que o método compreende:

obter (202) uma pluralidade de sinais de medição do sistema de potência a partir de uma pluralidade de localizações de sistemas de potência;

gerar (204) um sinal de controle de amortecimento para compensar uma pluralidade de modos de oscilação nas oscilações de sistema de potência, em que gerar o sinal de controle de amortecimento compreende:

extrair um modo de oscilação individual a partir de cada um dos sinais de medição do sistema de potência;

gerar uma pluralidade de sinais de controle adaptativos para posicionar polos de circuito aberto referentes aos modos de oscilação individuais para uma localização de circuito fechado; e

inserir (206) um sinal de amortecimento na rede de sistema de potência com base no sinal de controle.

9. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 8, caracterizado pelo fato de que gerar o sinal de controle de amortecimento compreende adicionar os sinais de controle adaptativos, em que cada sinal de controle adaptativo adicional é atrasado por um tempo de amostra em relação ao sinal de controle adaptativo anterior que antecede a adição.

10. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 8, caracterizado pelo fato de que gerar uma pluralidade de sinais de controle adaptativos compreende utilizar um algoritmo de controle de posicionamento de polo para posicionar os polos de circuito aberto referentes aos modos de oscilação por um fator de posicionamento de polo.

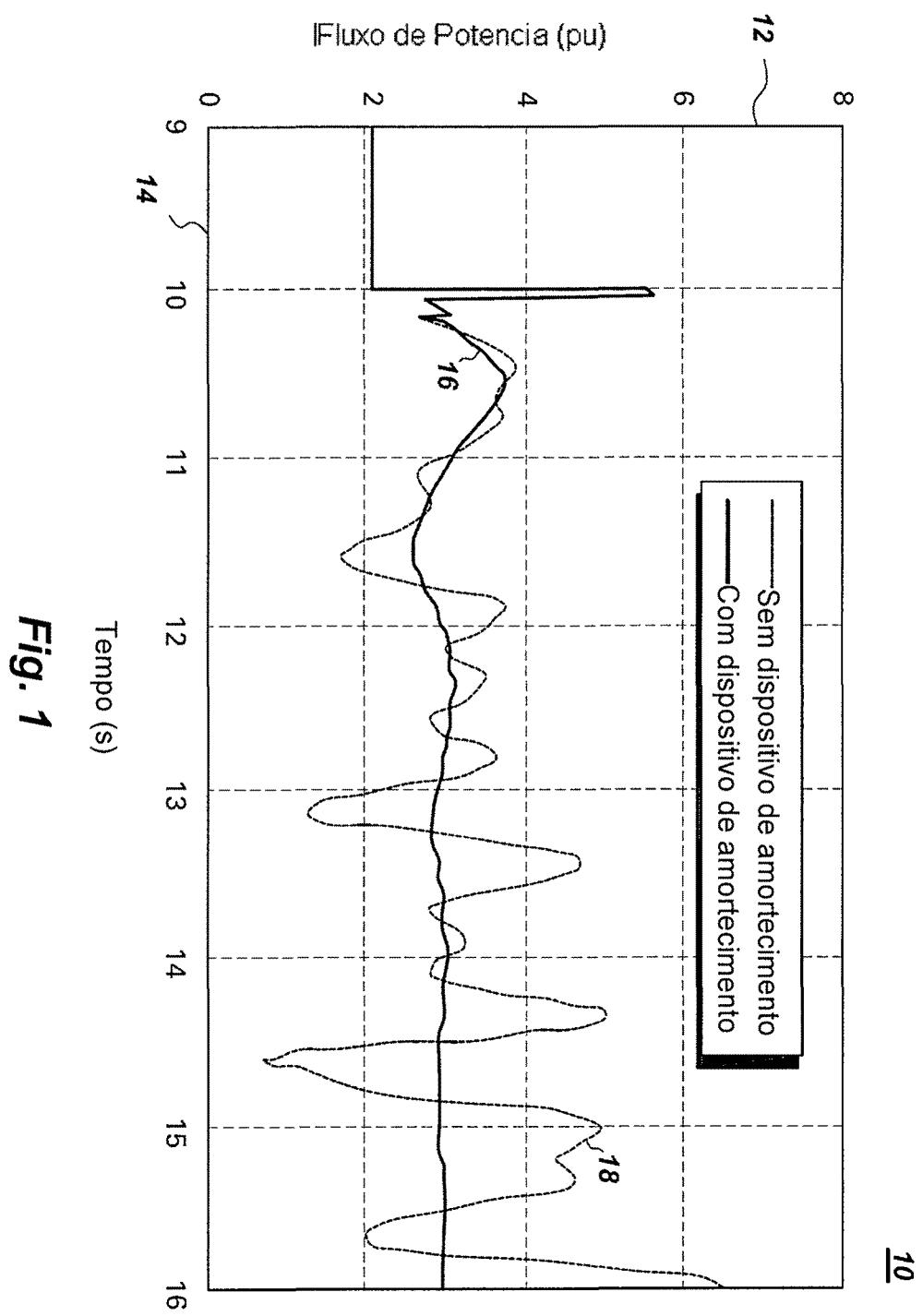


Fig. 1

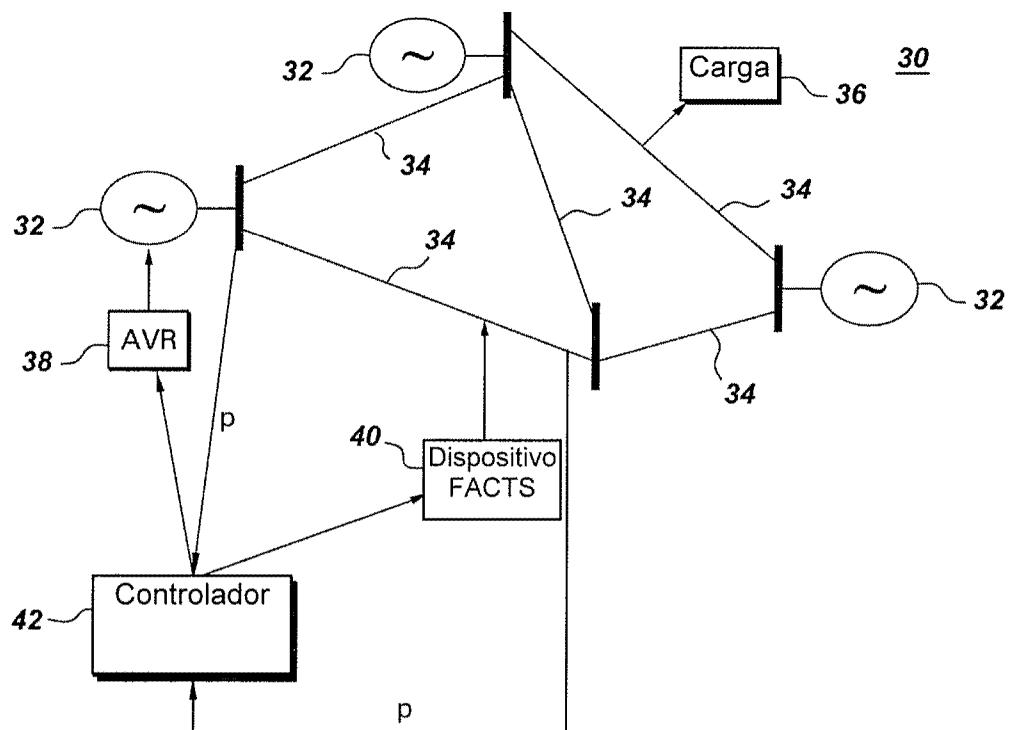
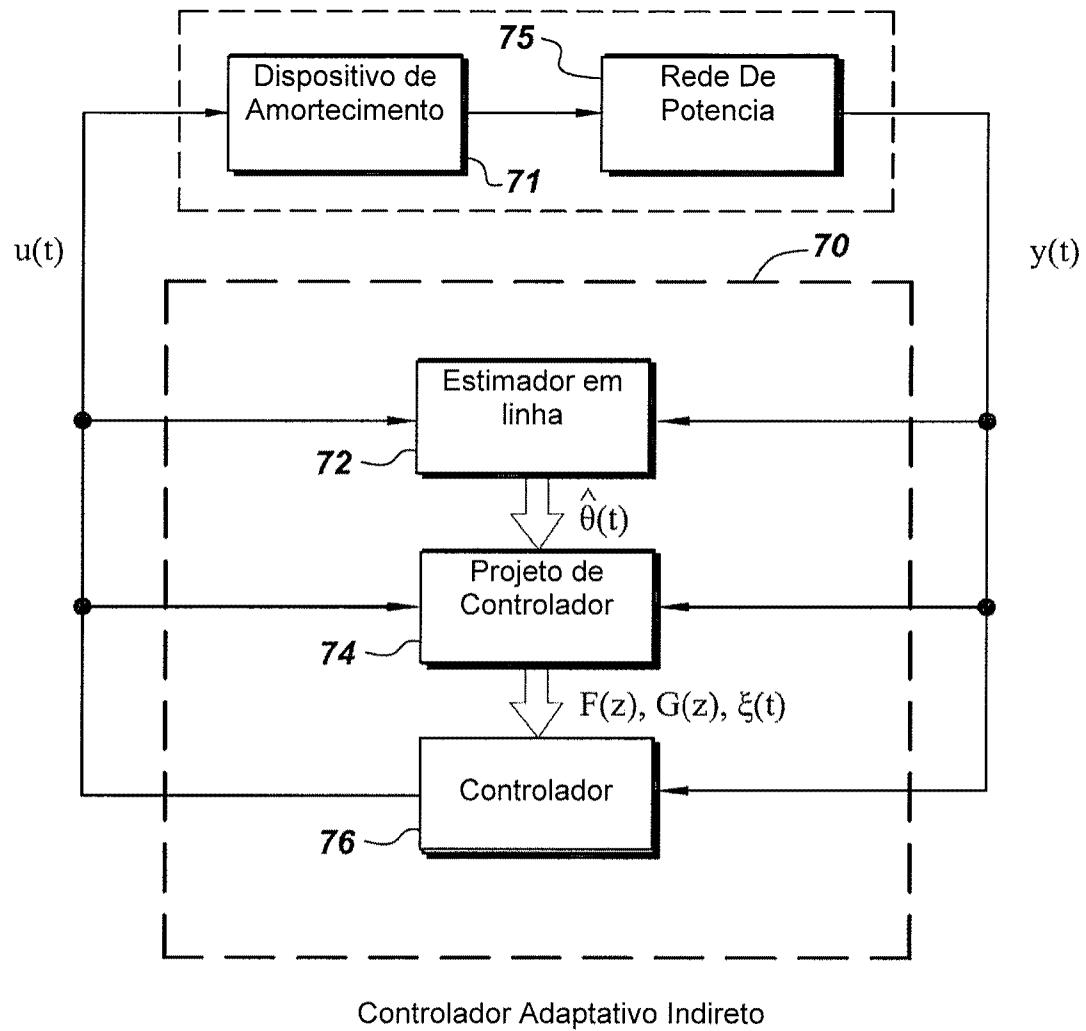


Fig. 2

**Fig. 3**

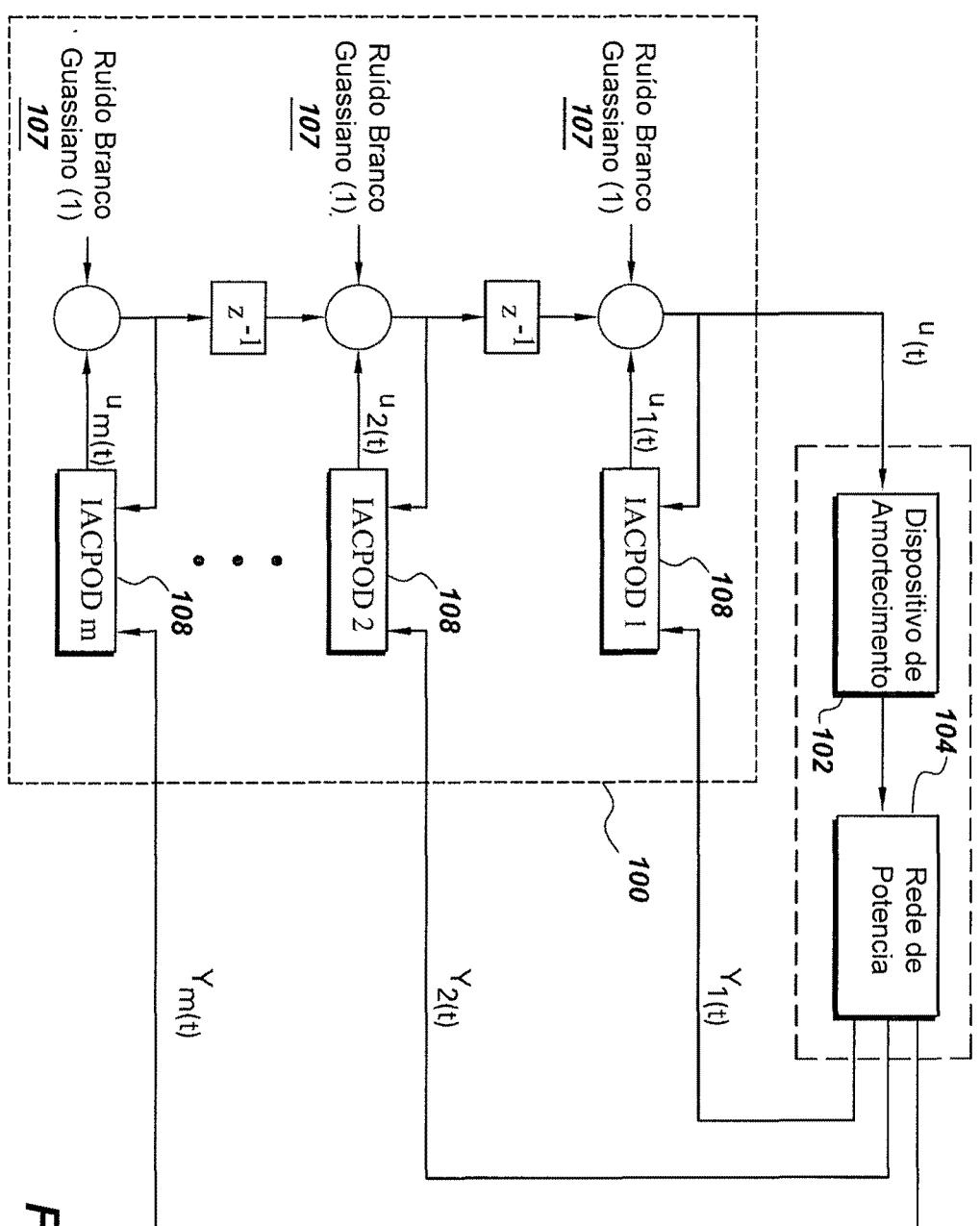


Fig. 4

200

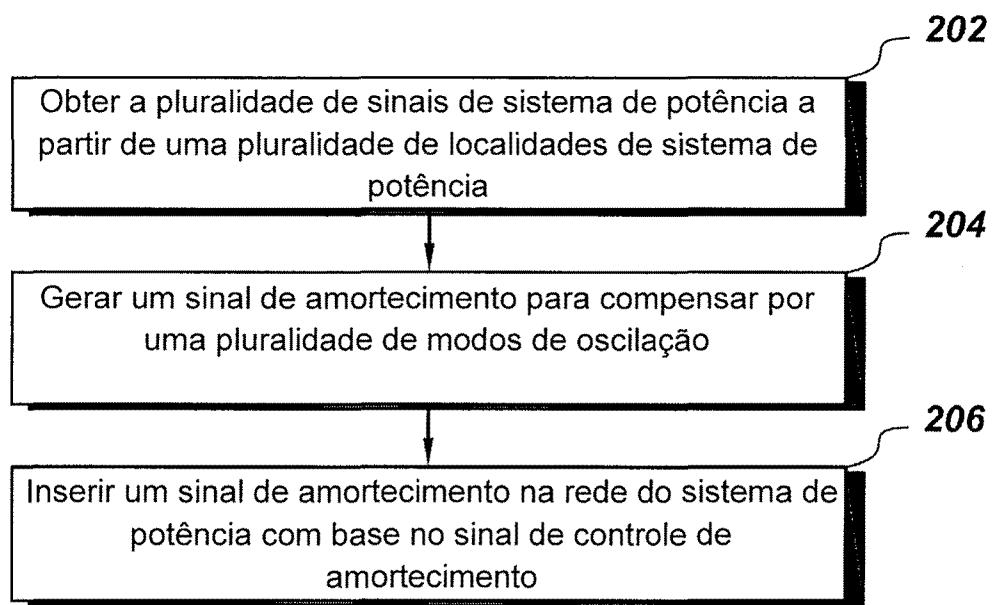


Fig. 5

RESUMO**“MÉTODO E SISTEMA PARA AMORTECER AS OSCILAÇÕES DE SISTEMA DE POTÊNCIA”**

[001] Trata-se de um sistema (30) para amortecer a oscilação de sistema de potência que inclui um controlador de dispositivo de amortecimento (100) para gerar um sinal de controle de amortecimento para compensar uma pluralidade de modos de oscilação nas oscilações de sistemas de potência e um dispositivo de amortecimento (102) para gerar um sinal de amortecimento com base em um sinal de controle de amortecimento. O controlador de dispositivo de amortecimento (100) inclui uma pluralidade de trajetórias de circuito fechado externo, sendo que cada qual inclui um controlador adaptativo (108) configurado para determinar um modo de oscilação individual a partir de pelo menos um sinal de medição do sistema de potência. Cada controlador adaptativo é configurado adicionalmente para gerar um sinal de controle adaptativo para posicionar pelo menos um polo de circuito aberto de uma trajetória de circuito interno referente ao modo de oscilação individual para uma localização de circuito fechado.