



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

(21) **PI1000064-0 A2**

(22) Data de Depósito: 15/01/2010
(43) Data da Publicação: 29/03/2011
(RPI 2099)



(51) *Int.Cl.:*
B64C 25/50

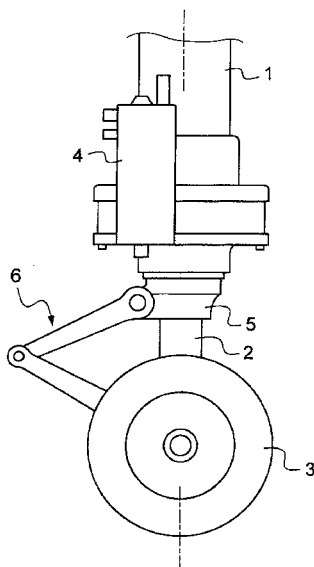
(54) Título: **MÉTODO DE GERIR CONTROLE DE DIRECIONAMENTO DE UMA PORÇÃO DIRIGÍVEL DE UM TREM DE ATERRAGEM DE AERONAVE**

(30) Prioridade Unionista: 16/01/2009 FR 09 00190

(73) Titular(es): Messier-Bugatti, Universite de Haute-Alsace

(72) Inventor(es): Gaétan Pouly, Jean-Philippe Lauffenburger, Michel Basset, Paul-Louis Levy

(57) Resumo: METODO DE GERIR CONTROLE DE DIRECIONAMENTO DE UMA PORÇÃO DIRIGÍVEL DE UM TREM DE ATERRAGEM DE AERONAVE A invenção refere-se a um método de gerir um controle de direcionamento de uma porção dirigível de um trem de aterragem de aeronave, o método implementando servo-controle para servo-controlar um atuador de direcionamento eletromecânico em um ponto de ajuste de posição angular, em que, de acordo com a invenção, o servo-controle implementa uma relação de controle de tipo Hco, com a informação de posição e velocidade necessária para implementar o servo-controle sendo fornecida por meio de uma barra coletora de campo de tipo determinístico a um computador que executa esta implementação.



“MÉTODO DE GERIR CONTROLE DE DIRECIONAMENTO DE UMA PORÇÃO DIRIGÍVEL DE UM TREM DE ATERRAGEM DE AERONAVE”

5 A invenção refere-se a um método de gerir o controle de direção de um trem de aterragem de aeronave.

ANTECEDENTES TECNOLÓGICOS DA INVENÇÃO

10 São conhecidos trens de aterragem de nariz de aeronave que incluem uma porção de base direcionável que suporta as rodas dos mesmos. A porção de base é orientada por um atuador de direção que inclui pelo menos um atuador de acionamento, por exemplo um atuador hidráulico ou um motor elétrico adaptado, para fazer com que a porção de base dirigível pivote em resposta a uma ordem de direcionamento fornecida pelo piloto ou por um computador da aeronave, a ordem especificamente representando uma posição angular.

15 Na circunstância particular de atuadores de direcionamento eletromecânicos, é conhecido controlar o motor do atuador de direcionamento por meio de servo-controle que tem dois circuitos de realimentação, especificamente um circuito externo que controla a posição e um circuito interno que controla a velocidade. Tal servo-controle é realizado de maneira convencional pelo uso de um controlador de ação proporcional, integral e derivada, (PID), o qual fornece um ponto de ajuste de corrente para o motor do atuador eletromecânico. Também de maneira convencional, o motor é associado com um controlador que servo-controla o motor na corrente de ponto de ajuste recebida do controlador de PID.

25 Como uma regra geral, sinais de posição e velocidade são fornecidos para o computador, o qual implementa o servo-controle de posição por meio de conexões por fios. Não obstante, consideração cada vez maior é dada ao uso de uma barra coletora de comunicação que se para baixo ao longo do trem de aterragem para a finalidade de conectar o computador (geralmente

contido na fuselagem da aeronave) aos vários atuadores e sensores dispostos sobre o trem de aterragem, para a finalidade de coletar e fornecer dados e ordens necessários para implementar o controle de direcionamento.

Em particular, é considerado fazer uso de barras coletoras de campo do tipo que tem acesso múltiplo dividido por tempo, por exemplo barras coletoras de protocolo disparado por tempo (TTP). Infelizmente, tais barras coletoras apresentam um intervalo de amostragem da ordem de poucos milissegundos, o qual leva a instabilidades quando elas são usadas em conjunção com controladores de PID para o controle de direcionamento. Parece que a instabilidade é associada com a lentidão da informação de velocidade.

Uma possibilidade intermediária seria mover o computador para mais próximo ao atuador de modo a permitir que um circuito de realimentação de velocidade interno seja implementado usando fios, de forma a evitar a lentidão de comunicação através da barra coletora determinística. Não obstante, esse computador estaria situado em uma zona que é exposta e que é sujeita a altos níveis de esforço (mal tempo, borrifos, vibração), o que iria requerer que uma grande medida de proteção fosse provida.

OBJETIVO DA INVENÇÃO

O objetivo da invenção é permitir o controle de direcionamento de um trem de aterragem tendo um atuador de direcionamento eletromecânico seja controlado estavelmente mesmo quando os sinais e as ordens são conduzidas através de uma barra coletora de comunicação que é relativamente lenta.

BREVE SUMÁRIO DA INVENÇÃO

Para atingir esse objetivo, é provido um método de gerir controle de direcionamento de uma porção dirigível de um trem de aterragem de aeronave, o método implementando servo-controle para servo-controlar um atuador de direcionamento eletromecânico em um ponto de ajuste de

posição angular, em que, de acordo com a invenção, o servo-controle implementa uma relação de controle de tipo H_{∞} , com a informação de posição e velocidade necessária para implementar o servo-controle sendo fornecida por meio de uma barra coletora de campo de tipo determinístico a um computador que executa esta implementação.

A invenção também provê servo-controle que inclui pré-filtragem do ponto de ajuste de posição angular para a finalidade de alisá-lo antes de ser comparado com a informação de posição.

A invenção também provê pré-filtragem que é realizada por meio de um interpolador discreto de uma função de transferência.

Os inventores verificaram que a implementação de uma tal relação de controle em conjunção com uma barra coletora determinística para fornecer informação de velocidade e posição origina servo-controle que é estável. Em adição, tal controle permite que o servo-controle seja implementado em um computador que é remoto ao atuador controlado, embora ainda tenha um circuito de realimentação de velocidade.

Assim, o atuador e seu controlador podem ser desenvolvidos independentemente ao computador e servo-controle associado.

BREVE DESCRIÇÃO DAS FIGURAS

A invenção pode ser mais bem entendida á luz da seguinte descrição de uma implementação particular da invenção dada com referência às figuras dos desenhos acompanhantes, nos quais:

- a figura 1 é uma vista esquemática de um trem de aterragem de nariz para uma aeronave, trem de aterragem este que é provido com um atuador de direcionamento eletromecânico;

- a figura 2 é um diagrama de blocos de controle de direcionamento implementando o servo-controle da arte anterior com base em controladores de PID;

- a figura 3 é um diagrama da resposta de tempo de um servo-

controle da figura 2 para uma degrau de velocidade, quando do uso de uma barra coletora determinística;

- a figura 4 é um diagrama de blocos do controle de direcionamento em uma implementação particular da invenção;

5 • a figura 5 é um diagrama da resposta de tempo de um servo-controle da figura 4 para a mesma degrau de velocidade, quando do uso de uma barra coletora determinística; e

- a figura 6 é um diagrama de blocos mostrando o princípio de ajuste do controlador H_{∞} usado no controle de servo-controle da figura 4.

10 Com referência à figura 1, e de maneira conhecida, o trem de aterragem 1 é provido com uma porção de base 2 que é dirigível e porta rodas 3. Um atuador de direcionamento eletromecânico 4 serve para pivotar um tubo-pivô 5 que é conectado à porção de base dirigível 2 por um mecanismo articulado de tesoura 6. Assim, quando o atuador eletromecânico 4 faz com
15 que o tubo-pivô pivote, isto origina um pivotamento correspondente da porção de base 2, e assim das rodas 3, permitindo desta maneira que a aeronave seja direcionada.

Ainda de maneira conhecida, o atuador eletromecânico inclui um motor que é geralmente controlado como mostrado na figura 2. Um ponto
20 de ajuste de posição angular $\bar{\theta}$ é enviado a um comparador 10 que também recebe um sinal representativo da posição angular θ da porção de base dirigível, e que provém de um sensor de rotação 11. O comparador 10 gera um sinal de erro de posição ε_{θ} que é fornecido a um primeiro controlador de PID 12. Este gera um ponto de ajuste de rotação ω para o motor elétrico
25 equipado no atuador eletromecânico 4. A velocidade do ponto de ajuste de rotação ω é fornecida a um comparador 13 que também recebe um sinal representativo da velocidade de rotação do motor, vindo de um sensor de velocidade de rotação 14 instado sobre o motor do atuador. O comparador 13 gera um sinal de erro de velocidade ε_{ω} que é fornecido a um segundo

controlador de PID 15. Este controlador gera um ponto de ajuste de corrente $\bar{i}$ que é fornecido a um controle 16 que controla o motor de forma que a corrente fluindo através do motor é igual ao ponto de ajuste de corrente $\bar{i}$.

Em implementações conhecidas, os sinais de posição e velocidade e também o ponto de ajuste de corrente $\bar{i}$ são transmitidos via conexões por fios entre o computador que implementa o controle de PID, representado simbolicamente na figura pelo retângulo de linhas tracejadas, e no que concerne aos membros, tais como os sensores de velocidade e posição ou o controlador de motor.

Substituindo aquelas conexões por fios por uma barra coletora de campo do tipo determinístico, apresenta-se um certo número de problemas. Nas aplicações de aviação pretendidas, é provável que o intervalo de amostragem de uma tal rede será da ordem de 5 milissegundos. Infelizmente, simulações implementadas com um tal intervalo de amostragem revelam instabilidade, que parece ser essencialmente devida ao intervalo no qual o sinal de velocidade é amostrado, intervalo este que é demasiadamente longo.

A figura 3 mostra como um sistema de direcionamento que é servo-controlado pelo servo-controle mostrado na figura 2 responde a uma alteração de degrau de velocidade. O servo-controle é ajustado usando o método de Ziegler-Nichols convencional. Pode ser visto que não somente a resposta parte do padrão especificado (curvas de linha contínua), mas em adição apresenta vibrações que podem danificar a estrutura do trem de aterragem.

Uma primeira modificação considerada pelos inventores foi evitar a passagem do sinal de velocidade via a barra coletora de campo, e, em lugar disso, prover uma conexão por fio específica entre o computador e o sensor de velocidade de rotação. Esta modificação pareceria solucionar o problema encontrado, mas ela naturalmente complica a arquitetura do controle de direcionamento por requerer uma conexão por fios a ser instalada

em paralelo com a barra coletora de campo.

Uma segunda modificação considerada pelos inventores foi dividir o servo-controle de modo a alojar o circuito de velocidade diretamente no controlador do motor. Assim, o circuito de velocidade se tornaria um
 5 circuito que é oculto a partir do computador, vez que o sinal de velocidade não é fornecido ao mesmo pela barra coletora de campo. O computador então proveria um ponto de ajuste de velocidade ao controlador de motor, que iria propriamente precisar naturalmente ser muito mais complexo. Em adição, o controlador de motor, que é geralmente alojado tão próximo quanto possível
 10 ao motor, precisaria então incluir os componentes eletrônicos que são necessários para implementar o circuito de velocidade. Portanto, esta configuração não é também satisfatória.

A invenção busca propor outra solução como mostrada na figura 4, na qual todo do servo-controle é mantido em um computador
 15 separado. Este computador continua a fornecer um ponto de ajuste de corrente ao controlador de motor. Todavia, ele agora inclui um pré-filtro 20 que filtra o ponto de ajuste de posição $\bar{\theta}$. O pré-filtro serve para alisar o ponto de ajuste de posição, e preferivelmente implementa um interpolador discreto que tem a seguinte função de transferência:

$$F(z) = \frac{z^4 - 1}{4(z^4 - z^3)}$$

20 O ponto de ajuste de posição filtrado é fornecido a um comparador 21 que compara o ponto de ajuste de posição filtrado com o sinal de posição θ agora fornecido ao computador via a barra coletora de campo determinística 25, representada na figura por um retângulo em linha contínua. O comparador 21 gera um sinal de erro de posição ε_θ que é fornecido a um
 25 controlador robusto, preferivelmente do tipo de H_∞ .

Foi verificado que o problema de instabilidade pode ser eliminado por este tipo de controle, enquanto permite que uma barra coletora

de campo determinística seja usada, incluindo a velocidade do sinal de rotação ao computador. A título de exemplo, a figura 5 mostra a resposta à mesma alteração de degrau de velocidade que a mostrada na figura 3. Pode ser visto que a resposta é estável e está situada dentro do padrão especificado.

5 É conhecido que a sintetização de um controle de H_∞ requer que filtros de ponderação sejam definidos para a finalidade de especificação do filtro de referência que deve ser reproduzido, do erro aceitável, e da penalidade que é aceitável no sinal de controle. A determinação desses filtros de ponderação que permitem que o controle seja realizado é um problema
10 difícil e os filtros de ponderação são geralmente determinados por meio de um processo de tentativa e erro. Aqui, e de acordo com a invenção, os filtros de ponderação são definidos por meio de parâmetros que precisam ser otimizados, estes parâmetros sendo determinados usando um algoritmo de otimização que permite que o controle de H_∞ seja ajustado automaticamente.

15 Mais precisamente, e de acordo com o diagrama da figura 6, um modelo de referência 30 é inicialmente estabelecido para o trem de aterragem e seu controle de direcionamento. O modelo de referência 30 é estabelecido em associação com as especificações estabelecidas pelo fabricante da aeronave, e constituem uma resposta ideal àquela do trem de
20 aterragem e seu controle de direcionamento tornado necessário até o presente para uma alimentação típica. Naturalmente, o modelo de referência 30 deve satisfazer as especificações; a resposta do modelo de referência deve em particular estar situada dentro de um padrão de resposta tanto em amplitude quanto em fase, se um tal padrão for especificado. Por exemplo, uma resposta
25 do modelo de referência poderia ser a resposta mostrada na figura 5, que constitui a resposta a um degrau de velocidade de 10 graus por segundo.

Um modelo é também feito de um sistema de servo-controle
40 que é constituído por um modelo do trem de aterragem que tem o servo-controle da invenção aplicado ao mesmo de acordo com o diagrama da figura

4. O modelo do trem de aterragem é estabelecido pela modelação do comportamento do(s) pneumático(s), em particular como eles derrapam em grandes ângulos. Para esta finalidade, é vantajosamente levado em conta o comportamento da aeronave propriamente dita, e, em particular, da
5 derrapagem dos pneumáticos suportados por outros trens de aterragem, da inércia da aeronave.

Uma alimentação típica é fornecida ao sistema servo-controlado e sua resposta é comparada com a resposta do modelo de referência 30 por meio de um comparador 31 que fornece um erro ϵ . Este erro é então
10 sujeito a várias operações de processamento, tal como tomar seu valor absoluto e integrando o mesmo, antes de ser fornecido a um algoritmo de otimização 32.

O algoritmo de otimização 35 modifica progressivamente os parâmetros dos filtros de ponderação 33. Estes parâmetros são fornecidos a
15 um sintetizador de controle 34 que sintetiza o controle de H_∞ usando no sistema de servo-controle 40. O algoritmo de otimização 32 busca minimizar o sinal de erro ϵ de modo a fazer com que o sistema de servo-controle responda tão de perto quanto possível da mesma maneira que no modelo de referência 30. Preferivelmente, o algoritmo de otimização é um algoritmo do
20 tipo genético, uma vez que este parece sob essas circunstâncias fornecer bons resultados. Em particular, os inventores verificaram que um tal algoritmo torna possível encontrar parâmetros ótimos para os filtros de ponderação para uma extensa variedade de restrições.

A gestão do controle de direcionamento, de acordo com a
25 invenção, apresenta várias vantagens:

- é possível sintetizar o controle para o(s) padrão(es) especificado(s). os filtros de ponderação são ajustados automaticamente para levar em conta os padrões de resposta desejados;
- é possível manter todo do servo-controle de alto nível

(circuitos de velocidade e posição) em um computador separado, abrigado dentro da fuselagem de aeronave, deixando o controlador de motor realizar somente servo-controle de baixo nível (servo-controle da corrente para o ponto de ajuste de corrente quando fornecido pelo computador); e

- 5 • foi verificado que um controle de H_∞ de grau limitado (quinto grau) é suficiente para satisfazer as especificações normalmente estabelecidas pelos fabricantes de aeronave no que concerne ao desempenho de controle de direcionamento, enquanto que, não obstante, permanece compatível com o uso de uma barra coletora determinística.

10 A invenção não é limitada à forma de realização acima, mas, pelo contrário, cobre qualquer variante que cai dentro do âmbito definido pelas reivindicações.

15 Em particular, embora um método automático seja aqui descrito para ajustar o controle de H_∞ , é naturalmente possível que o controle de H_∞ seja ajustado de qualquer outra maneira.

REIVINDICAÇÕES

1. Método de gerir controle de direcionamento de uma porção dirigível de um trem de aterragem de aeronave, o método caracterizado pelo fato de que implementa servo-controle para servo-controlar um atuador de direcionamento eletromecânico em um ponto de ajuste de posição angular, em que, de acordo com a invenção, o servo-controle implementa uma relação de controle de tipo H_∞ , com a informação de posição e velocidade necessária para implementar o servo-controle sendo fornecida por meio de uma barra coletora de campo de tipo determinístico a um computador que executa esta implementação.

2. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o servo-controle inclui pré-filtragem do ponto de ajuste de posição angular buscando alisá-lo antes de ser comparado com a informação de posição.

3. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a pré-filtragem é realizada por meio de um interpolador discreto de uma função de transferência.

4. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o servo-controle é implementado em um computador localizado na aeronave, o computador fornecendo um ponto de ajuste de corrente que é conduzido para o atuador eletromecânico via a barra coletora de campo.

5. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a relação de controle H_∞ é sintetizada automaticamente por meio de um algoritmo de otimização que determina os parâmetros de filtros de ponderação da relação de controle em uma tal maneira que a resposta do controle de direcionamento como servo-controlada desta maneira obedece uma resposta de um modelo de referência (30).

Fig.1

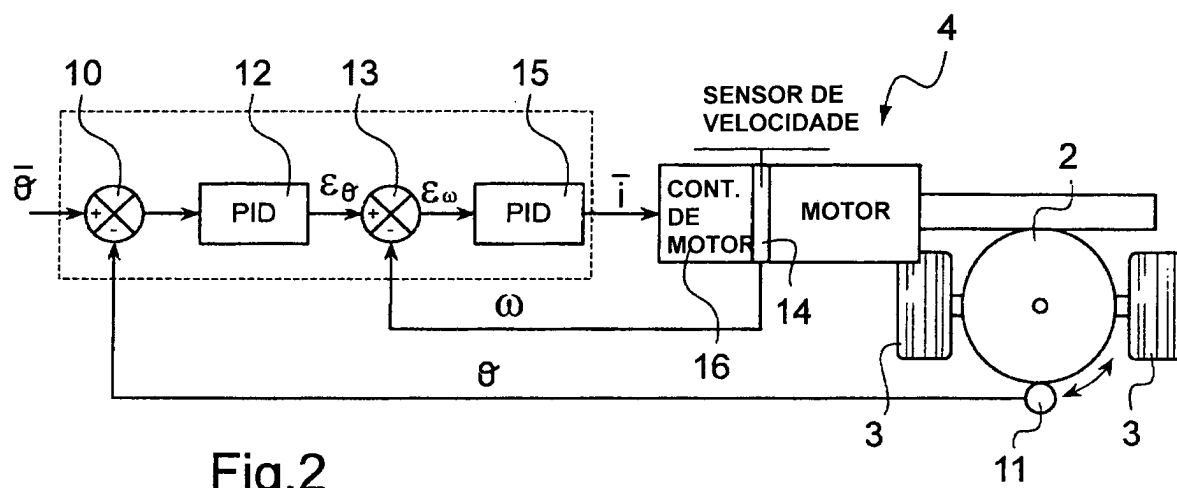
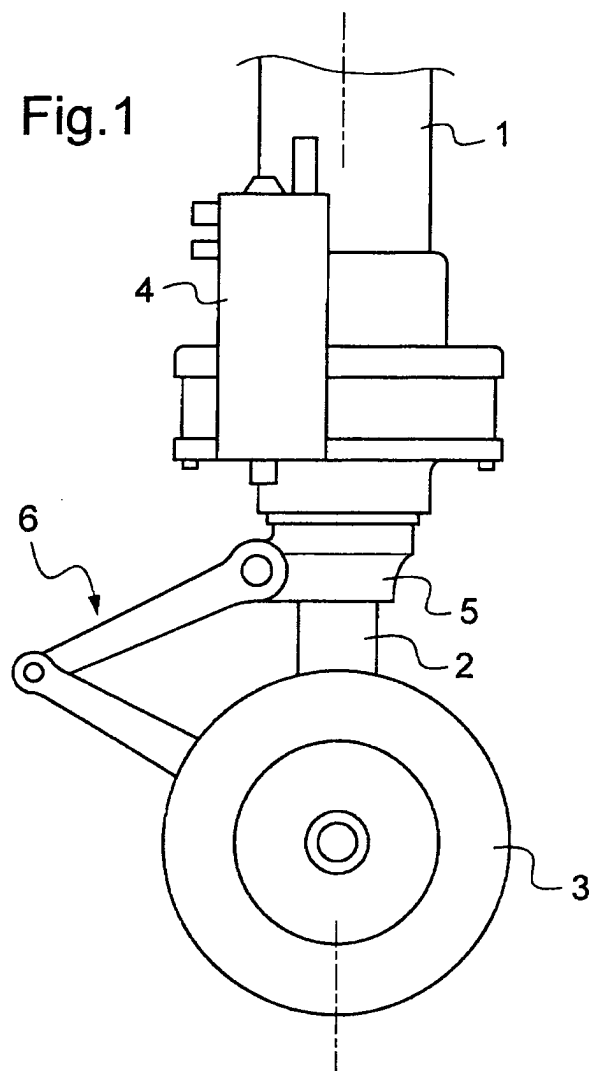


Fig.2

Fig.3

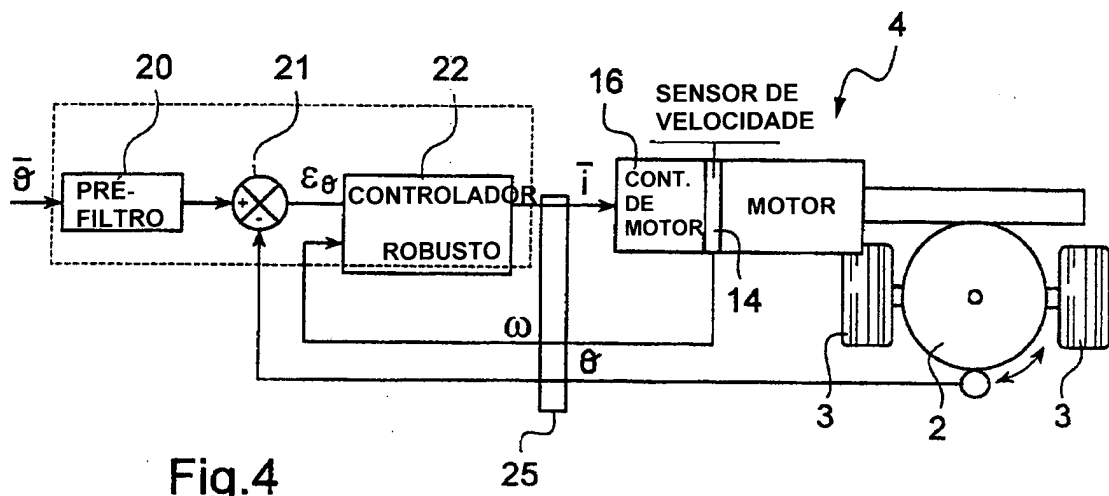
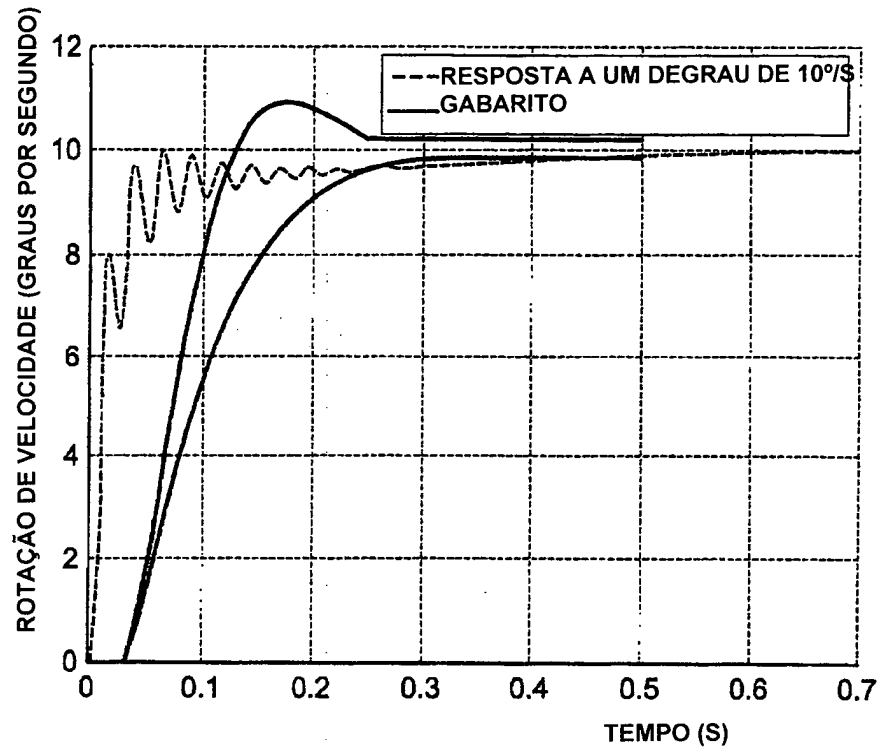
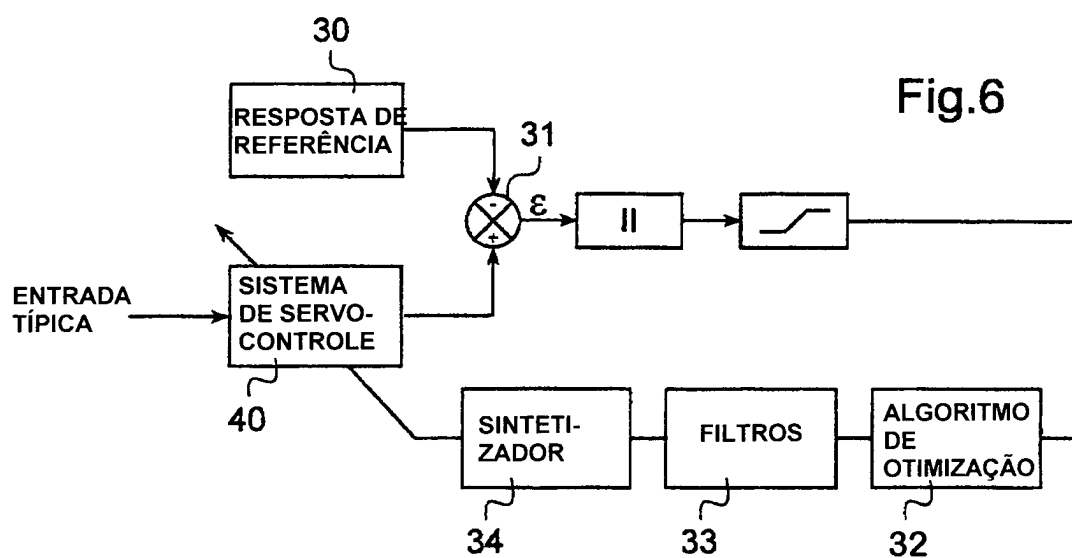
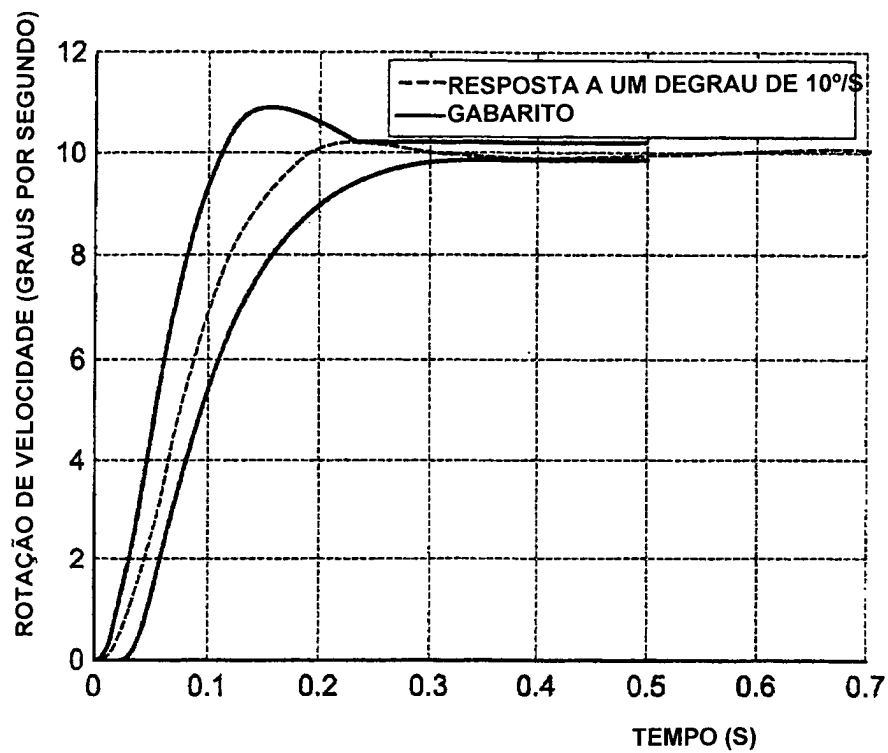


Fig.4

Fig.5



RESUMO

“MÉTODO DE GERIR CONTROLE DE DIRECIONAMENTO DE UMA PORÇÃO DIRIGÍVEL DE UM TREM DE ATERRAGEM DE AERONAVE”

- 5 A invenção refere-se a um método de gerir um controle de direcionamento de uma porção dirigível de um trem de aterragem de aeronave, o método implementando servo-controle para servo-controlar um atuador de direcionamento eletromecânico em um ponto de ajuste de posição angular, em que, de acordo com a invenção, o servo-controle implementa uma
- 10 relação de controle de tipo H_{∞} , com a informação de posição e velocidade necessária para implementar o servo-controle sendo fornecida por meio de uma barra coletora de campo de tipo determinístico a um computador que executa esta implementação.