



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

(11) (21) **PI 0604241-4 A**



(22) Data de Depósito: 09/10/2006
(43) Data de Publicação: 27/05/2008
(RPI 1951)

(51) *Int. Cl.:*
H02K 33/16 (2008.04)
H02K 41/02 (2008.04)
H02K 35/02 (2008.04)

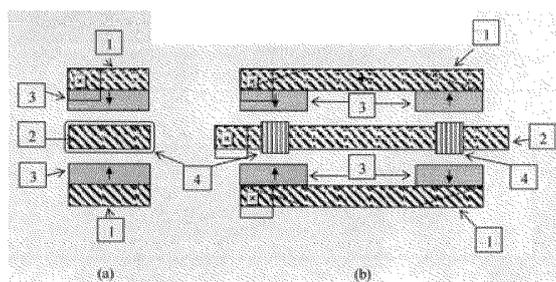
(54) Título: **DISPOSITIVO ATUADOR ELETROMECAÂNICO E PROCESSO**

(71) Depositante(s): Thyssenkrupp Elevadores S.A. (BR/RS),
Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS. (BR/RS)

(72) Inventor(es): Marília Amaral da Silveira, Vagner Rinaldi,
Fernando Boschini, Leoci Rudi Galle, João Paulo da Costa Brusque, Aly
Ferreira Flores Filho

(74) Procurador: Bernardo Atem Francischetti

(57) Resumo: DISPOSITIVO ATUADOR ELETROMECAÂNICO E PROCESSO A presente invenção descreve dispositivos atuadores eletromecânicos que atuam mediante transdução de sinal elétrico em sinal mecânico, através de interação eletromagnética que produz movimento linear, sendo também descrito o respectivo processo de atuação. Os dispositivos atuadores da presente invenção atuam linearmente de acordo com a interação entre fluxo magnético transverso antiparalelo e forças magnetomotrizes, produzindo movimento linear com força controlada e sendo particularmente úteis na produção de movimento linear de precisão, movimento oscilatório e como atenuadores na modulação de vibrações, sendo também úteis em sistemas de suspensão ativa. Dentre suas diversas aplicações práticas, destacam-se o uso também em sistemas de suspensão ativa de veículos, equipamentos e elevadores, bem como na produção de vibração em sistemas agitadores e vibradores, entre outros equipamentos.



Relatório Descritivo

DISPOSITIVO ATUADOR ELETROMECAÂNICO E PROCESSO

Campo da Invenção

5 A presente invenção é relacionada a dispositivos atuadores eletromecânicos que atuam mediante transdução de sinal elétrico em sinal mecânico através de interação eletromagnética, produzindo movimento linear direto, e o respectivo processo de atuação. Mais especificamente, os dispositivos atuadores da presente invenção atuam linearmente por meio de uso de fluxo magnético transversal antiparalelo que interage com forças magnetomotrizes em enrolamentos. Os dispositivos da presente invenção produzem movimento linear com força controlada, sendo particularmente úteis na produção de movimento linear de precisão, movimento oscilatório e como atenuadores de vibrações, sendo, portanto, úteis em sistemas de suspensão ativa. Dentre suas diversas aplicações práticas, destacam-se o uso também em sistemas de suspensão ativa de veículos, equipamentos e elevadores. São também úteis para produzir vibração em sistemas agitadores e vibradores, entre outros equipamentos.

Antecedentes da Invenção

20 Dispositivos eletromecânicos que produzem movimento linear são conhecidos e podem ser utilizados em diversas aplicações. Encontram uso também na produção de vibrações e na modulação das mesmas, quando o movimento de tais dispositivos se contrapõe ao movimento dos equipamentos/estruturas que se deseja estabilizar, situação esta em que tais dispositivos são também denominados de atenuadores.

Muitos atenuadores utilizados atualmente têm estrutura ranhurada ou de entreferro variável e com circuito magnético de armadura fechado. Essa característica contribui para elevar a sensibilidade em termos da relação força/corrente, mas prejudica a linearidade da resposta do dispositivo, além de permitir o aparecimento de forças de relutância (também conhecidas como "cogging forces"). Estas características prejudicam o controle de posição e de

força e a resposta do atuador. De modo geral, podem ainda ter suas características otimizadas pelo uso, por exemplo, de conjuntos de ímãs permanentes montados na forma de arranjos de Halbach; desta maneira, se pode obter um atuador com maior razão força/peso, a qual é interessante em aplicações nas quais peso e volume são parâmetros significativos.

O estado da técnica relacionado a este assunto compreende alguns documentos da literatura patentária, brevemente descritos a seguir.

A Patente Norte-Americana US 5,308,938, de titularidade de Otis Elevator Company e intitulada "Elevator Active Suspension Sytem", descreve um método e aparatos para reagir ativamente à ação de uma força perturbadora no cabo do elevador suspenso. Uma manifestação de força perturbadora, tal como uma aceleração, é detectada pelo sistema, que seleciona a magnitude e fase da força de reação do sistema. O sistema descrito inclui um atuador eletromagnético que atua no cabo do elevador em resposta ao sinal de um controlador, de forma a reagir positivamente ao sinal detectado. O controle pode ser analógico ou digital.

O Pedido Internacional de Patente WO 05007549, de titularidade de Otis Elevator Company e intitulado "Elevator Active Suspension Utilizing Repulsive Magnetic Force", descreve um elevador que inclui um carro seguidor associado aos trilhos guias e transmissores eletromagnéticos, os quais são espaçados de eletromagnetos no carro elevador. Os eletromagnetos no carro e carro seguidor criam uma força repulsiva tendendo ao centro do carro, entre o carro seguidor e eletromagneto associado com os trilhos guias.

Tais patentes descrevem apenas o método utilizado para fazer suspensão ativa, sem especificar detalhes dos atuadores eletromecânicos. Além disso, não citam outras aplicações dos atuadores, sendo os sistemas descritos específicos para elevadores.

A Patente Européia EP 1132647, de titularidade de Inventio AG e intitulada "Piezoceramic Vibration Attenuator for an Elevator", descreve um aparato para controlar ativamente a transmissão da energia de vibração em uma plataforma móvel, incluindo uma cabine de elevador conectado ao um condutor para transportar o mesmo. Também inclui um sensor de vibração tendo um material

piezoelétrico, conectado em série com o atenuador. O sensor de vibração é configurado para gerar um sinal elétrico em resposta à pressão sobre tal sensor.

A Patente Norte-Americana US 4,979,593, de titularidade de Mitsubishi Denki Kabushiki Kaisha e intitulado "Elevator controller", descreve um sistema de controle de elevadores compreendendo uma sala de máquina e um carro elevador. Descreve também um sistema de rádio que permite uma comunicação sem fio entre a sala de máquina e o carro elevador.

O pedido Internacional Patente WO 9717531, de titularidade de Acts Limited e intitulado "A Noise Attenuator for an Induction System or an Exhaust System", descreve um atenuador de barulho para um sistema de indução ou sistema de exaustão compreendendo um invólucro tendo uma saída de gás, uma entrada de gás e uma passagem dentro do invólucro conectando a saída e a entrada desse gás e uma primeira passagem de fluxo gasoso.

A presente invenção proporciona diversas vantagens em relação a outros atuadores utilizados e conhecidos, contornando diversos problemas técnicos e econômicos da arte anterior. Entre outras vantagens, a presente invenção proporciona a obtenção de elevada força de tração virtualmente constante ao longo da excursão nominal do atuador, com mais baixas correntes e com menor peso do dispositivo. Devido ao tipo de circuito magnético de armadura aberto, sua constante de tempo elétrica é mais baixa, sendo, em consequência, mais rápida sua resposta. Além disso, aproveita melhor os enrolamentos de armadura na produção de força, ao mesmo tempo em que opera com menos perdas de energia. Tais características vantajosas da presente invenção beneficiam-se do acionamento em corrente contínua seja ela constante, chaveada ou pulsada e mesmo alternada, e da utilização de ímãs permanentes.

Conforme será demonstrado em mais detalhes a seguir, a presente invenção é útil em diversas situações, incluindo, mas não se limitando e nem sendo limitada a: excursão pequena; força de tração constante; resposta dinâmica rápida; baixas correntes e tensões; baixas perdas; pequena massa e volume; baixo custo relativo; produção de força associada a movimento linear de forma precisa ou não; e produção de movimento vibratório ou oscilante controlado. Os versados na

técnica reconhecerão o grande valor técnico e econômico dos ensinamentos da presente invenção, que contornam diversos problemas técnicos não superados pelos dispositivos congêneres conhecidos atualmente.

5 **Sumário da Invenção**

É um objeto da presente invenção descrever novos e melhorados dispositivos atuadores eletromecânicos que atuam mediante transdução de sinal elétrico em sinal mecânico através de interação eletromagnética, produzindo movimento linear direto.

10 Em um aspecto da invenção, sendo, portanto, um de seus objetos, são proporcionados dispositivos atuadores eletromecânicos que atuam linearmente a partir da interação entre fluxo magnético transverso antiparalelo com forças magnetomotrizes em enrolamentos. Em um outro aspecto da invenção, sendo, portanto, um de seus objetos, é proporcionado um processo para atuação linear
15 de dispositivos atuadores eletromecânicos, processo este baseado no fluxo magnético transverso antiparalelo e sua interação com forças magnetomotrizes.

Em outro aspecto da invenção, sendo, portanto, outro de seus objetos, são proporcionados dispositivos atuadores eletromecânicos de elevada força de tração constante ao longo de seu curso.

20 Em outro aspecto da invenção, sendo, portanto, outro de seus objetos, são proporcionados dispositivos atuadores eletromecânicos de elevada eficiência energética, com baixa corrente de operação e baixo peso.

Em outro aspecto da invenção, sendo, portanto, outro de seus objetos, são proporcionados dispositivos atuadores eletromecânicos de baixas constantes de
25 tempo elétrica e mecânica de forma a atuarem mais rapidamente.

Em um adicional aspecto da invenção, sendo, portanto, ainda mais outro de seus objetos, são proporcionados dispositivos atuadores eletromecânicos que produzem movimento linear com força controlada.

Em outro aspecto da invenção, sendo, portanto, outro de seus objetos, são
30 proporcionados dispositivos atuadores eletromecânicos que produzem movimento linear de precisão controlado.

Em outro aspecto da invenção, sendo, portanto, outro de seus objetos, são proporcionados dispositivos atuadores eletromecânicos que produzem movimento oscilatório controlado.

Em outro aspecto da invenção, sendo, portanto, outro de seus objetos, são
5 proporcionados dispositivos atuadores eletromecânicos úteis para a modulação de vibrações, sendo portanto úteis como atenuadores em sistemas de suspensão ativa.

Esses e outros objetos da invenção, como o uso em sistemas de suspensão ativa de veículos, equipamentos e elevadores, bem como na
10 produção de vibração em sistemas agitadores e vibradores, entre outros, serão melhor compreendidos e valorizados a partir da descrição detalhada a seguir a das respectivas reivindicações.

Breve Descrição das Figuras

15 **Figura 1** – Mostra a vista frontal (a) e vista lateral (b) de uma concretização do dispositivo Atuador Linear de Fluxo Magnético Transverso Antiparalelo da presente invenção.

Figura 2 – Mostra um exemplo de atuador TK Retangular.

Figura 3 – Mostra um exemplo de Atuador TK Tubular.

20 **Figura 4** – Mostra a vista frontal (a) e a vista lateral (b) de uma outra concretização do dispositivo Atuador Linear de Fluxo Magnético Transverso Antiparalelo, com arranjo de Halbach.

Figura 5 – Mostra um desenho 3D ilustrativo de uma concretização do modelo de dispositivo da presente invenção referente ao atuador TK Retangular.

25 **Figura 6** – Mostra uma vista lateral ilustrativa de uma concretização de modelo de dispositivo da presente invenção referente ao atuador TK Retangular.

Figura 7 – Mostra um desenho 3D de uma concretização do modelo de atuador TK Retangular, com a culatra e ímãs permanentes omitidos.

30 **Figura 8** – Mostra a vista lateral de uma concretização do modelo de atuador TK Retangular, com a culatra e ímãs permanentes omitidos.

Figura 9 – Mostra a vista frontal de uma concretização do modelo de atuador TK Retangular.

Figura 10 – Mostra a vista 3D de uma concretização do modelo de atuador TK Retangular com o mapa da densidade de fluxo magnético, em Tesla.

5 **Figura 11** – Mostra a vista superior de uma concretização do modelo de atuador TK Retangular com o mapa da densidade de fluxo magnético.

Figura 12 – Mostra o mapa da densidade de fluxo magnético conforme corte A-A' indicado na figura 11, em Tesla.

10 **Figura 13** – Mostra a malha correspondente do modelo de atuador TK Retangular, com a indicação dos componentes do atuador.

Figura 14 – Mostra o mapa em cores da densidade de fluxo magnético, em Tesla, conforme corte B-B' indicado na figura 11.

Figura 15 – Mostra o gráfico correspondente de B_y versus posição no entreferro.

Figura 16 – Mostra o gráfico correspondente de B_y versus posição no entreferro.

15 **Figura 17** – Mostra o gráfico da característica força versus posição do atuador.

Figura 18 – Mostra o gráfico das características da corrente versus tempo na bobina 1 do atuador.

Figura 19 – Mostra o gráfico das características da corrente versus tempo na bobina 2 do atuador.

20

Descrição Detalhada da Invenção

Os presentes inventores desenvolveram novos e melhorados dispositivos atuadores eletromecânicos que atuam mediante transdução de sinal elétrico em sinal mecânico produzindo movimento linear, visando contornar as dificuldades e limitações dos dispositivos conhecidos até então para uso em sistemas de suspensão ativa de veículos, equipamentos e elevadores, bem como na produção de vibração em sistemas agitadores e vibradores.

A solução proposta para contornar os problemas técnicos mencionados acima, de forma a disponibilizar uma alternativa de baixo custo e elevado desempenho, é o uso de um processo para atuação linear de dispositivos atuadores eletromecânicos, processo este baseado na interação entre fluxo

30

magnético transverso antiparalelo e forças magnetomotrizes. Os dispositivos atuadores eletromecânicos da presente invenção atuam linearmente com fluxo magnético transverso antiparalelo. Os atuadores da presente invenção são baseados na interação entre o fluxo magnético, aqui chamado de fluxo de excitação, produzido por ímãs permanentes ou por eletroímãs, e a força magnetomotriz em condutores de seus enrolamentos de armadura, de tal forma que a força eletromagnética resultante ocorra na direção axial de movimento do atenuador. Tal força é definida com base na Lei de Lorentz e na Força de Laplace, e de acordo com a equação abaixo:

$$\vec{F} = \int_{V_i} (\vec{J} \times \vec{B}) dV$$

onde: \vec{F} é o vetor força eletromagnética que atua sobre os enrolamentos; \vec{J} é o vetor densidade de corrente elétrica nos seus enrolamentos; \vec{B} é vetor densidade de fluxo magnético; V é o volume; e V_i é o volume de integração aplicável.

As especificações iniciais de um atuador projetado para ser usado em um sistema de suspensão ativa indicam uma força de pelo menos 90 N, corrente em torno de 2 A e curso de 22 mm ou ± 11 mm. Para atender estas especificações mínimas, os presentes inventores desenvolveram atuadores lineares de fluxo magnético transverso antiparalelo, também denominados de “atuadores TK” que também podem ser usados como atenuadores. Os presentes inventores desenvolveram atuadores retangulares, como os mostrados nas figuras 1 e 2, e tubulares, como mostrado na figura 3. Usando-se qualquer dos atuadores descritos acima pode-se obter força de 90 N e maior para uma corrente de armadura mínima de 2 A e com o curso total especificado de 22 mm. Testes realizados pelos inventores indicam que o atuador linear de fluxo magnético transverso antiparalelo pode apresentar sensibilidade de, no mínimo, 45 N/A e uma constante de tempo elétrica menor que 60 ms para o atuador com enrolamentos de armadura móveis. Para fins da presente invenção, define-se “sensibilidade” como a relação entre a força produzida pelo atuador e a corrente requerida para gerar tal força. Estes resultados são obtidos a partir de um modelo

numérico do atuador baseado em elementos finitos. Tanto o desempenho estático em termos de força e de distribuição de fluxo magnético, quanto o desempenho dinâmico foram obtidos para as versões retangular e tubular. O atuador TK retangular descrito na presente invenção apresenta menor custo em relação ao atuador tubular, na medida que não utiliza entreferro curvo ou de ímãs permanentes de face polar curva. No entanto, o atuador tubular, dada a sua topologia, pode apresentar uma maior sensibilidade que o retangular.

No que diz respeito à configuração da armadura, são providos na presente invenção dois tipos de atuadores: o atuador de enrolamentos de armadura móveis e o atuador de enrolamentos de armadura fixos, entre os quais não há diferença significativa em termos de sensibilidade. Entretanto, na primeira configuração se consegue uma melhor resposta dinâmica do atuador do que na segunda configuração. Isso pode ser explicado pelo fato de que o enrolamento móvel e seu carretel tendem a ser mais leves que o conjunto de excitação, composto por ímãs permanentes ou enrolamentos de excitação, peças polares e culatras. Adicionalmente, as suas culatras feitas de material ferromagnético macio podem ser substituídas por ímãs permanentes na configuração de um arranjo de Halbach.

Os dispositivos da presente invenção apresentam ainda outras vantagens. Operam em correntes relativamente baixas e podem utilizar material magnético maciço, material magnético laminado e material compósito compactado magnética e eletricamente isotrópico em seu núcleo de armadura. Conseqüentemente, pode-se considerar que a operação dos dispositivos da presente invenção dentro de condições nominais não acarreta aumento significativo de temperatura, não sendo prejudicado, portanto, seu desempenho durante a operação. Por usar tensão de alimentação relativamente baixa, seu isolamento não produzirá volume considerável, além de diminuir o risco de choques elétricos ou formação de arcos elétricos. Dentre outros fatores aqui descritos, os dispositivos da presente invenção foram desenvolvidos para atender, de forma linear, uma sobre-força de, no mínimo, três vezes a força

nominal, apresentando dessa forma uma vantagem adicional sobre os atenuadores já existentes.

Os dispositivos da presente invenção apresentam características construtivas que garantem excelente desempenho de operação. Para melhor compreensão das vantagens da presente invenção, serão descritos a seguir 5 casos em que o atuador da presente invenção são usados como atenuador.

Exemplo 1 – características de um atuador preferencial da invenção

O dispositivo do presente exemplo não possui ranhuras. O enrolamento da 10 armadura móvel foi desenvolvido para atender a determinadas especificações de força, corrente e resposta dinâmica. O circuito magnético possui quatro ímãs permanentes de alto produto energético, previstos para operar em temperaturas de até 60°C. O enrolamento da armadura é composto por duas bobinas enroladas em torno de um núcleo de material ferromagnético macio. 15 Nominalmente, produz 90 N de força de tração para uma corrente de armadura de 2 A dentro de uma excursão nominal de ± 11 mm. Para melhor definir as características construtivas do atenuador de uma concretização preferencial da invenção, possibilitando sua reprodução pelos técnicos no assunto, são feitas referências às figuras 1 e 4, indicando os elementos de atuadores retangulares:

- 20 • Culatra (1): constituída de aço 1010 ou similar na forma retangular, com possível chanfro na direção paralela à direção axial em cada uma de suas extremidades. Suas dimensões são: largura de 110 mm; comprimento axial de 155 mm; a maior espessura é de 17 mm, e a menor espessura correspondeu a 3 mm e o comprimento axial de cada chanfro é de 40 mm;
- 25 • Núcleo da Armadura (2): constituído de aço 1010 ou similar e apresenta formato retangular com vazado axial cilíndrico opcional. As suas dimensões são: largura de 110 mm; espessura de 35 mm; e comprimento axial de 155 mm, com furo central cilíndrico de 15 mm de diâmetro;
- Ímãs Permanentes (3): constituídos de NdFeB como de marca MCE grade 30 N5064 ou similar, de formato retangular, com $B_r = 13.160$ G (1,316 T), $H_c =$

12.714 Oe (1.011,75 kA/m). A permeabilidade relativa é de 1,035. O comprimento axial é de 110 mm e a largura de 52 mm. A espessura, no sentido da magnetização, é de 10 mm. A distância entre cada dois pares de ímãs permanentes de mesma culatra é de 51 mm, e o número de ímãs permanentes é quatro. Os dados técnicos dos ímãs permanentes deste exemplo podem ser vistos nas tabelas 1 e 2 a seguir.

Tabela 1: Valores das propriedades magnéticas do ímã permanente.

Propriedades Magnéticas		
	Nom.	Min.
Br (Gauss)	14,200	13,900
Hc (Oersted)	13,600	13,200
Hh (Oersted)	12,000	9,000
Hci (Oersted)	15,000	14,000
BHmax (MGOe)	50,0	47,0
Coef.Temp do Br (%/°C)	-0,11	N/A
Permeabilidade Relativa	1,05	N/A
Temperatura Curie(°C)	310	N/A
Temperatura máxima de operação (° C)	100	N/A

10

Tabela 2 : Valores das propriedades físicas do ímã permanente.

Propriedades Físicas	
Densidade (lbs/in ³)	0,27
Coeficiente Linear de expansão 1 <M>(10 ⁻⁷ /C° aprox.)	- 5
Coeficiente Linear de Expansão // (10 ⁻⁷ /C° aprox.)	65
Força Compressiva(psi x 10 ³)	160
Módulo Young (psi x 10 ⁶)	23
Dureza Vicker (HV)	600
Nome Comercial	N50
Resistência Elétrica (mΩ.cm)	144
Aparência Típica	Gray

- Bobinas (4): constituídas de cobre esmaltado, com seguintes dimensões: espessura de 4,0 mm (montada); largura média de 127 mm; altura média de 44 mm; e comprimento axial de 30 mm. Neste exemplo são utilizadas duas bobinas com distância axial fixa entre elas de 73 mm. As bobinas são montadas em um carretel, no caso de alumínio, que lhes dá suporte mecânico e lhes permite mover, junto com este, solidariamente, através de um sistema de sustentação mecânico (guias). O número de espiras de cada bobina é 185, e o comprimento médio de fio de uma bobina é igual a 342 mm. A resistência elétrica de cada bobina é de 2,14 Ohms aproximadamente, a corrente em cada bobina é de 2,0 A, a densidade de corrente é de 3,85 A/mm². A bitola do condutor é de 20 AWG ou equivalente (conforme especificações do modelo EBM 180 Metalterm, da empresa Metalcorte, usado neste exemplo). No dispositivo deste exemplo foi utilizado um entreferro com o comprimento igual a 7,5 mm.

A tabela 3 a seguir apresenta dados de volumes e pesos estimados de cada parte do atenuador retangular do presente exemplo.

Tabela 3 – Volumes e pesos estimados das partes do dispositivo da invenção.

Atenuador Retangular LMEAETK90N Versão 22122005						
Parte	Material	Densidade [g/mm ³]	Volume Unitário [mm ³]	Massa Unitária [kg]	Quant.	Massa Total [kg]
Barra da Armadura	Aço 1010	0,00760	568827,03	4,32	1	4,32
Culatra	Aço 1010	0,00760	228250	1,73	2	3,47
Ímã Permanente NS	NdFeB MCE N5064	0,00747	57200	0,43	2	0,85
Ímã Permanente SN	NdFeB MCE N5064	0,00747	57200	0,43	2	0,85
Carretel	Alumínio 1060 Alloy	0,00270	69384	0,19	1	0,19
Parte	Material	[g/mm]	Comp. Total [mm]	Massa Unitária [kg]	Quant.	Massa Total [kg]
Bobina	Cobre	0,00465	62530,00	0,29	2	0,58
Massa Total do Atuador [kg]: 10,27						

De todos os materiais e partes, os mais relevantes são os ímãs permanentes. No desenvolvimento do atenuador da presente invenção os seguintes fatores são considerados importantes, porém não necessariamente essenciais: os ímãs permanentes devem ser escolhidos com, no mínimo, as mesmas características nominais do N5064 apresentadas na tabela 1. Além disso, o fornecedor desses ímãs permanentes deve preferencialmente fornecer as curvas de desmagnetização reais do produto e essas curvas devem ser avaliadas previamente à montagem, fazendo o recálculo do atenuador.

- Outros fatores que também devem ser levados em consideração: os ímãs permanentes previstos são preferencialmente sinterizados e anisotrópicos, mas outros tipos podem ser usados. As peças que forem utilizadas na construção do dispositivo devem ter, preferencialmente, as características do ímã permanente usado como referência. As peças de ímãs permanentes são preferencialmente níqueladas e devem ser inspecionadas, testadas e aprovadas antes de serem utilizadas na montagem. Os ímãs permanentes podem não ser colados em suas culatras na etapa de prototipagem e testes. Uma vez montados na estrutura do atenuador, devem ser mantidos no lugar por algum sistema rígido e não magnético. O fio sugerido no exemplo acima pode ser substituído por outro equivalente, sendo que neste caso as bobinas resultantes devem ser inspecionadas e testadas antes da montagem do atenuador. O carretel das bobinas pode ser de alumínio ou de outro material não magnético compatível com especificações. Seja qual for a escolha do material, o dispositivo deve ser construído de tal forma a minimizar as correntes parasitas, se nele induzidas quando o atenuador estiver em operação.

25

Exemplo 2 – testes e resultados

O atenuador do exemplo anterior foi submetido a diversos testes, cujos resultados são apresentados nas figuras 15-19. Foram realizados três diferentes tipos de avaliação: 1) avaliação estática, com as bobinas posicionadas sob os ímãs permanentes de tal forma que suas extremidades ficam equidistantes das extremidades dos ímãs permanentes. Testes nesta condição permitem verificar a

30

distribuição de fluxo magnético no atenuador, bem como avaliar a força estática produzida; 2) avaliação estática para verificar a força produzida pelo atenuador em diferentes posições do carretel de bobinas em relação aos ímãs permanentes. Testes nesta condição permitem verificar o efeito de diferentes posições ao longo do deslocamento axial previsto; tendo sido avaliadas sete posições diferentes; 3) avaliação de transitório para avaliar o comportamento das correntes nas bobinas.

Para a avaliação estática as bobinas foram posicionadas sob os ímãs de tal forma que suas extremidades ficaram equidistantes das extremidades dos ímãs permanentes. A corrente em cada bobina foi de 2,0 A. O valor de força, obtido através do tensor de Maxwell foi de 92,5N. O valor máximo de densidade de fluxo magnético na região das bobinas é de 0,658 T. O mapeamento de fluxo magnético no atenuador pode ser visualizado nas figuras 10-12 e 14.

Foram feitas sete diferentes avaliações para verificar a força produzida pelo atenuador em diferentes posições da bobina em relação aos ímãs permanentes. Em cada uma delas, as bobinas foram posicionadas com deslocamentos axiais diferentes em relação aos ímãs permanentes. O objetivo deste conjunto de avaliações foi obter a característica da força em função do deslocamento axial das bobinas em relação aos ímãs permanentes. A figura 17 apresenta a característica força versus posição correspondente. O valor máximo de força obtido foi igual a 92,5 N (posição central das bobinas em relação aos ímãs permanentes), e o valor mínimo igual a 86 N dentro da excursão nominal de ± 11 mm.

Outra avaliação realizada se refere à análise transitória, a qual teve por objetivo avaliar a constante de tempo elétrica do atuador. Ela foi conduzida supondo os tempos inicial zero e final 2,0 segundos. O intervalo de tempo entre uma análise e outra foi de 10 ms. As figuras 18 e 19 apresentam a característica corrente versus tempo do atuador, com as duas bobinas excitadas por corrente. As avaliações foram conduzidas com as bobinas posicionadas de maneira centralizada em relação ao comprimento axial dos ímãs permanentes. A figura 18 mostra o transitório de corrente na bobina 1 e a figura 19 mostra o transitório da corrente na bobina 2. Quando se atinge 100 ms, o valor de corrente está em 1,96

A, na bobina 1, e em -2,0 A na bobina 2. Em 50 ms, o valor da corrente é igual a 1,25 A, na bobina 1, e a -2,74 A, na bobina 2.

Os versados na arte identificarão prontamente, a partir da presente descrição, diversos usos para a invenção como: o uso em sistemas de suspensão ativa de veículos; equipamentos e elevadores; bem como na 5 produção de vibração em sistemas agitadores e vibradores, entre diversas outras aplicações. Os exemplos acima servem apenas para ilustrar, porém não para limitar, as formas de realização da presente invenção, cujo escopo é definido reivindicações anexas.

Reivindicações

1. Dispositivo atuador eletromecânico compreendendo culatra (1), núcleo de armadura (2), ímãs permanentes (3), bobinas (4) caracterizado pelo fato de que o fluxo magnético é transversal e antiparalelo.

2. Dispositivo, conforme a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a sensibilidade é de no mínimo 45 N/A.

3. Dispositivo, conforme a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a estrutura é retangular.

4. Dispositivo, conforme a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a estrutura é tubular.

5. Dispositivo, conforme qualquer reivindicação anterior, caracterizado pelo fato de que o circuito magnético compreende um circuito magnético com ímãs permanentes (3) orientados de forma transversa e antiparalela.

6. Dispositivo, conforme qualquer reivindicação anterior, caracterizado pelo fato de que o enrolamento da armadura compreende pelo menos duas bobinas (4) enroladas em torno de um núcleo (2) constituído de material ferromagnético macio.

7. Dispositivo, conforme reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o núcleo da armadura (2) é de seção transversa retangular e opcionalmente vazado.

8. Dispositivo, conforme reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o núcleo da armadura (2) é de seção transversa circular e opcionalmente vazado.

9. Processo para a atuação linear sobre equipamentos/estruturas caracterizado por compreender a atuação eletromecânica através da interação entre fluxo magnético transversal antiparalelo e forças magnetomotrizes de um dispositivo compreendendo culatra (1), núcleo de armadura (2), ímãs permanentes (3) e bobinas (4).

10. Processo, conforme reivindicação 9, caracterizado pelo fato de compreender a atuação eletromecânica através da interação entre fluxo magnético transversal antiparalelo e forças magnetomotrizes do dispositivo das reivindicações 1-10.

FIGURAS

Figura 1

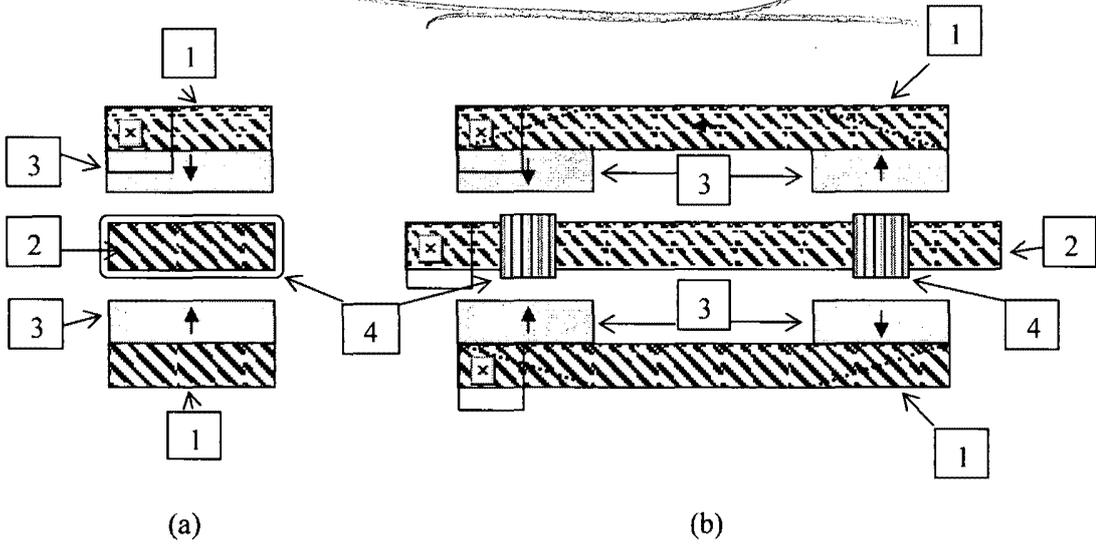


Figura 2

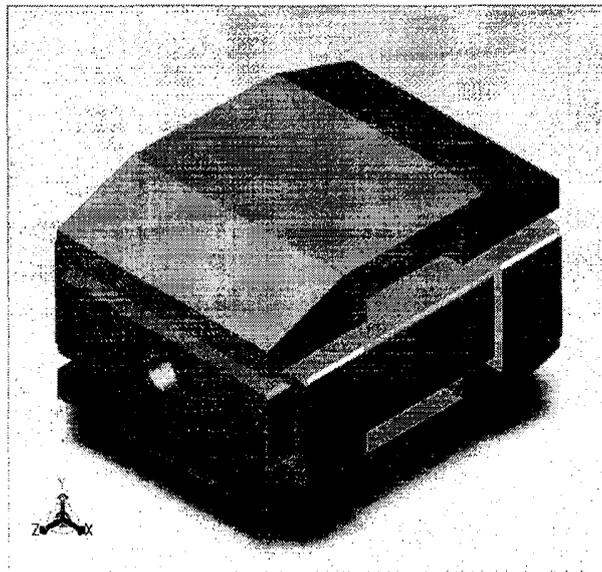


Figura 3

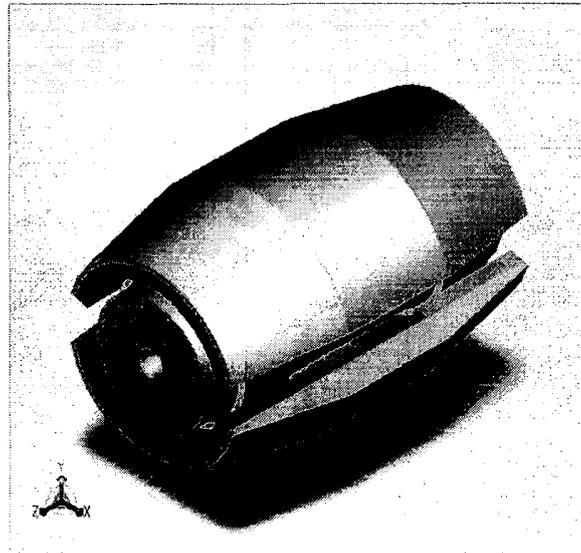


Figura 4

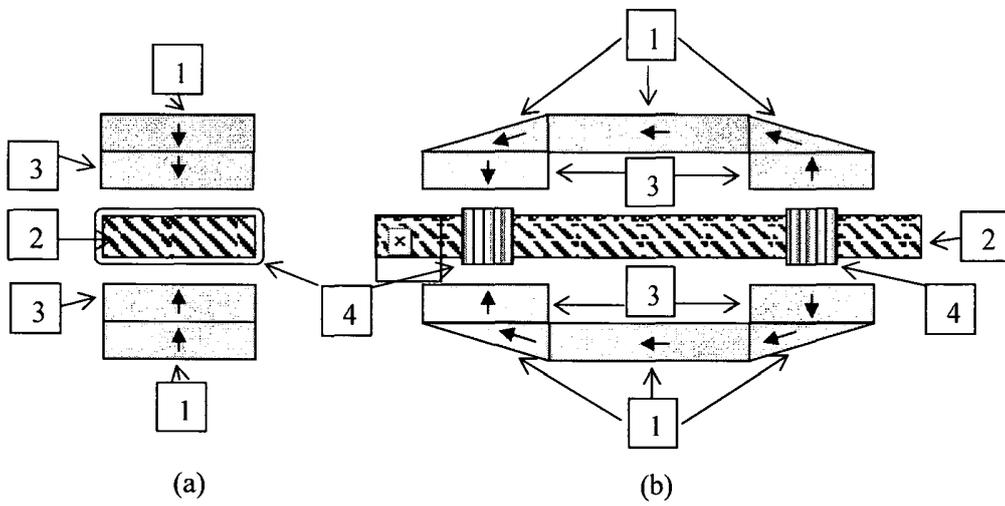


Figura 5

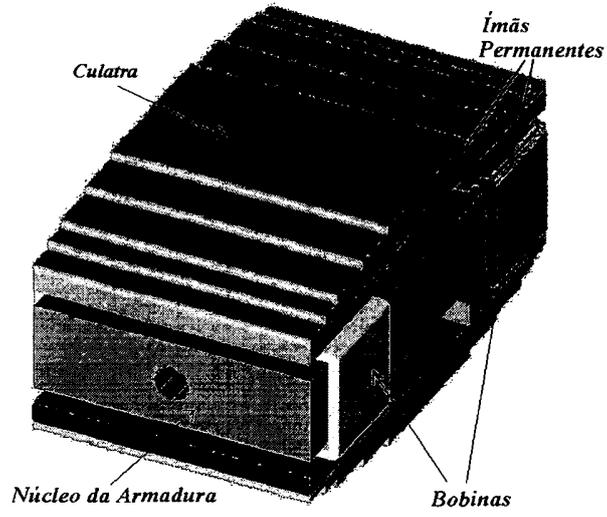


Figura 6

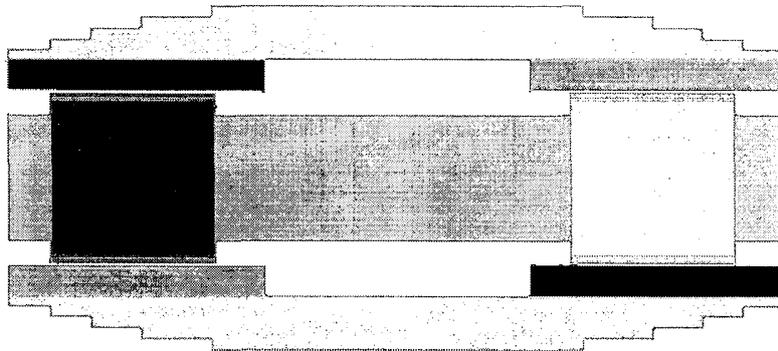


Figura 7

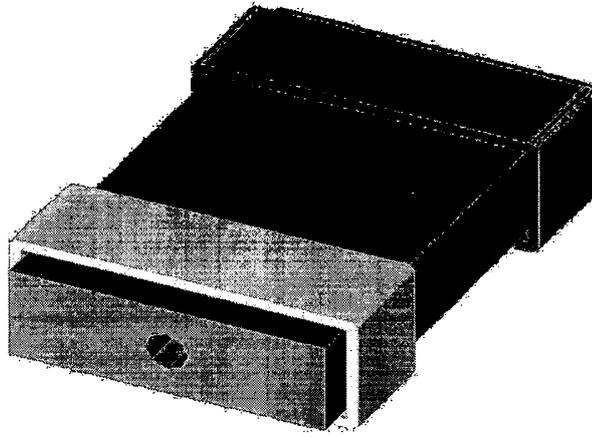


Figura 8

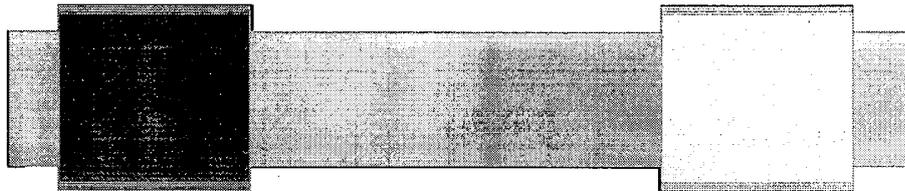


Figura 9

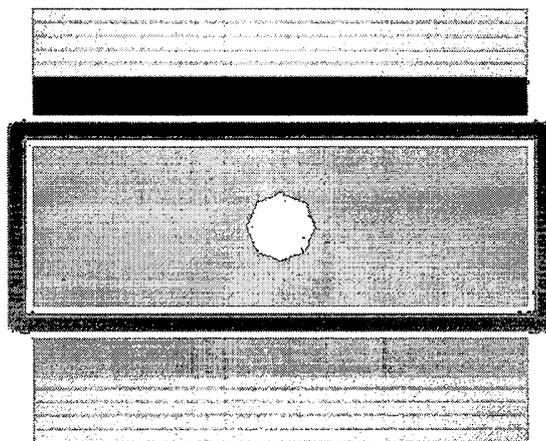


Figura 10

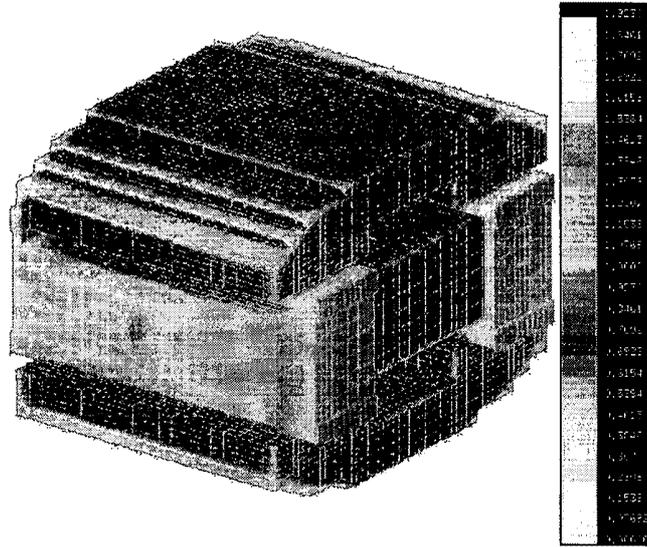


Figura 11

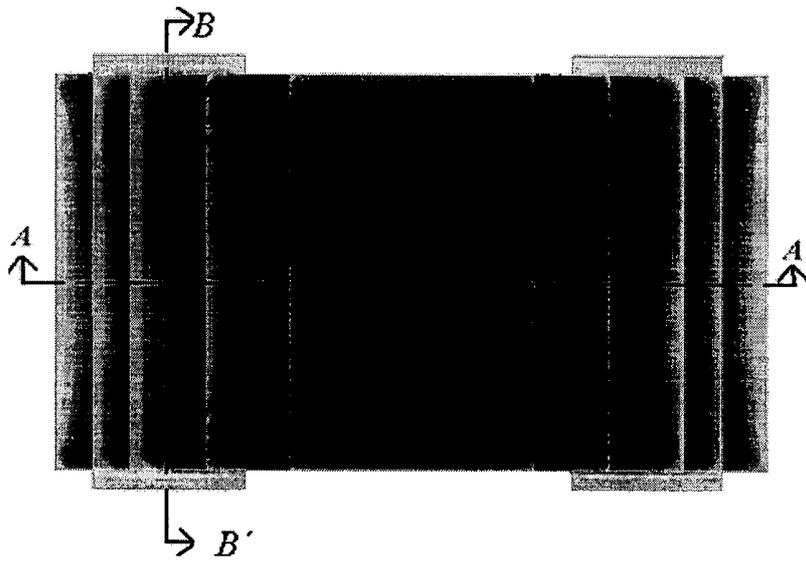


Figura 12

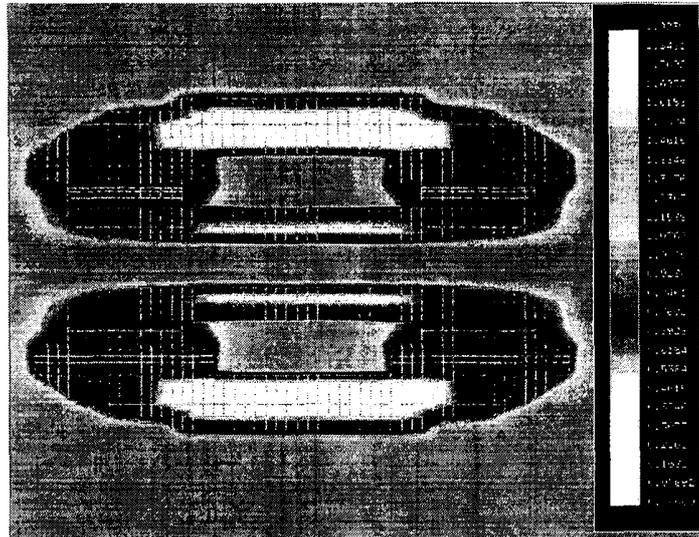


Figura 13

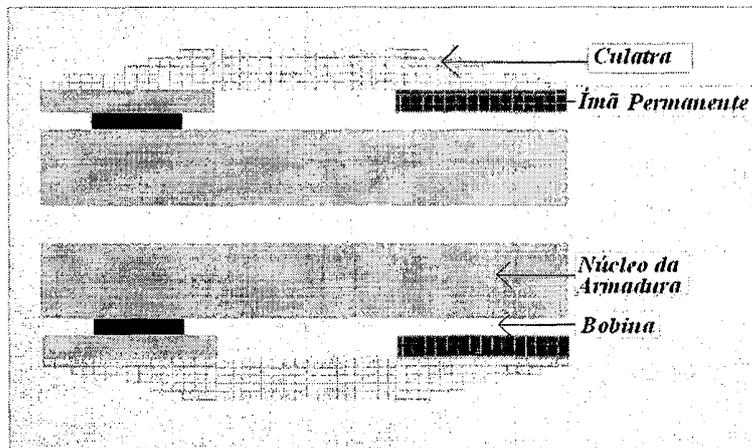


Figura 14

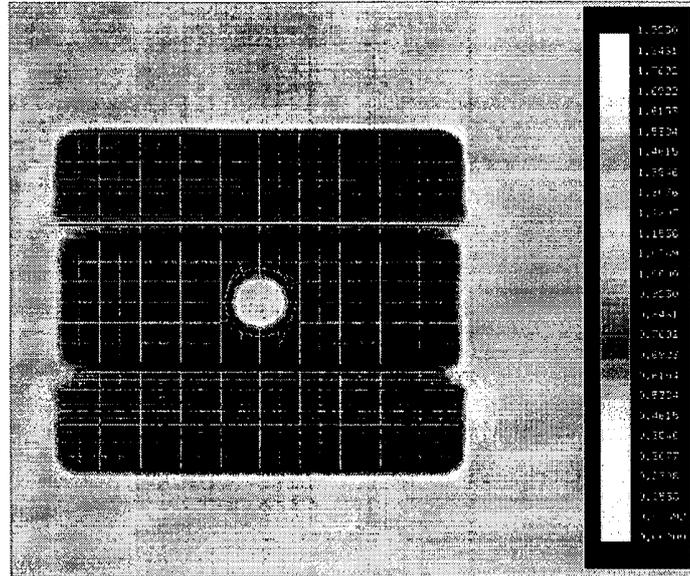


Figura 15

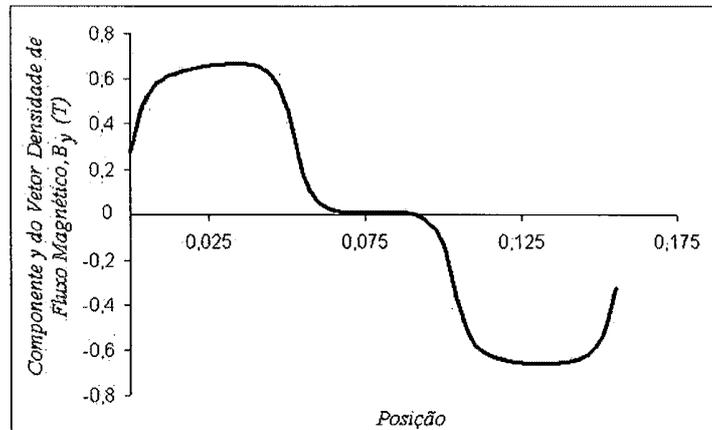


Figura 16

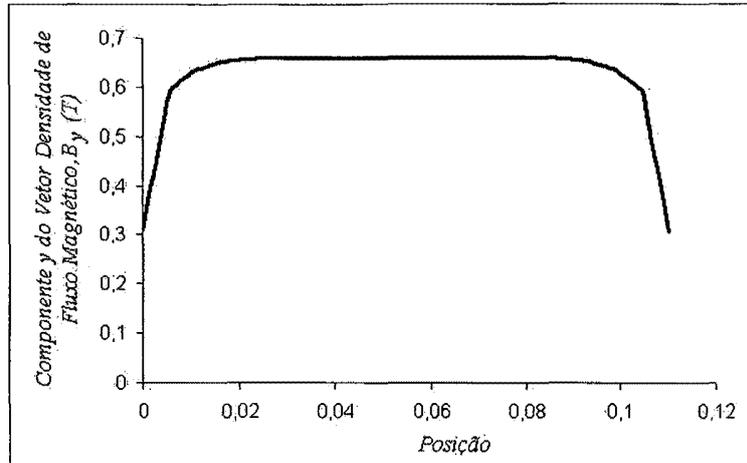


Figura 17

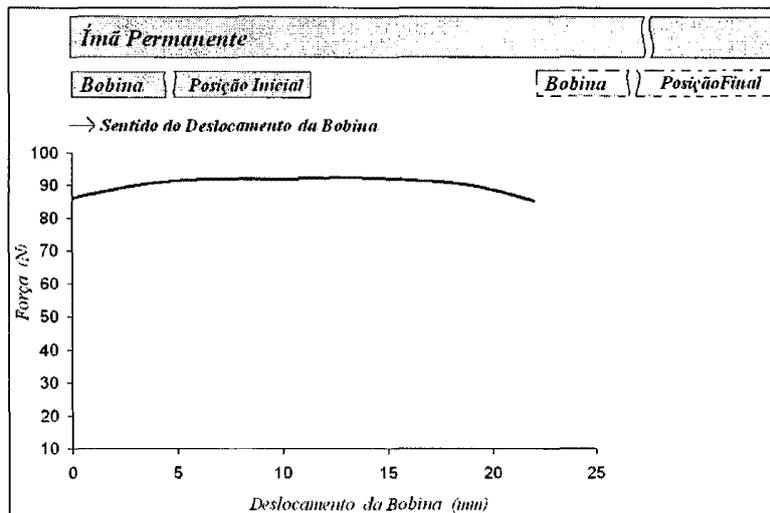


Figura 18

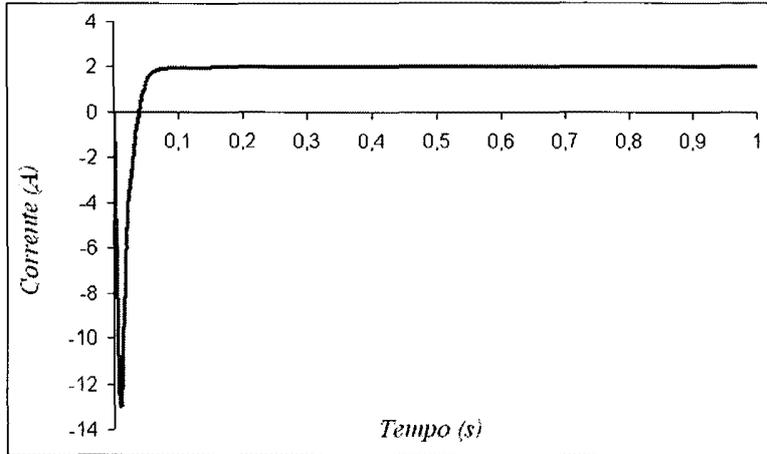
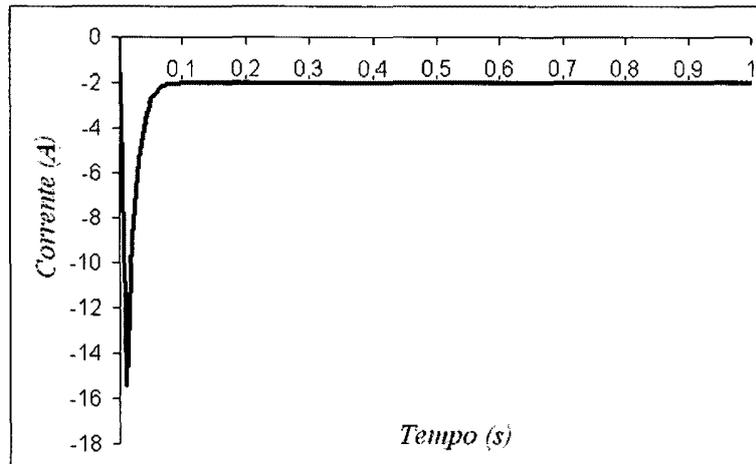


Figura 19



Resumo

DISPOSITIVO ATUADOR ELETROMECAÂNICO E PROCESSO

A presente invenção descreve dispositivos atuadores eletromecânicos
5 que atuam mediante transdução de sinal elétrico em sinal mecânico, através de
interação eletromagnética que produz movimento linear, sendo também
descrito o respectivo processo de atuação. Os dispositivos atuadores da
presente invenção atuam linearmente de acordo com a interação entre fluxo
magnético transverso antiparalelo e forças magnetomotrizes, produzindo
10 movimento linear com força controlada e sendo particularmente úteis na
produção de movimento linear de precisão, movimento oscilatório e como
atenuadores na modulação de vibrações, sendo também úteis em sistemas de
suspensão ativa. Dentre suas diversas aplicações práticas, destacam-se o uso
também em sistemas de suspensão ativa de veículos, equipamentos e
15 elevadores, bem como na produção de vibração em sistemas agitadores e
vibradores, entre outros equipamentos.