



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

(21) PI 0809741-0 A2



(22) Data de Depósito: 14/04/2008
(43) Data da Publicação: 30/09/2014
(RPI 2282)

(51) Int.Cl.:
G05G 21/00

(54) Título: "TRANSDUTOR DE MOVIMENTO,
SISTEMA DE TRANSDUTOR E SISTEMA DE
ABSORÇÃO DE ENERGIA"

(57) Resumo:

(30) Prioridade Unionista: 13/04/2007 US 60/923,233

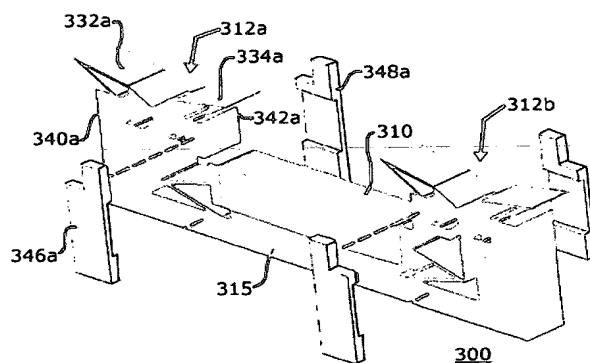
(73) Titular(es): Flexsys, Inc.

(72) Inventor(es): DRAGAN MARIC, GREGORY F. ERVIN,
JAMES D. ERVIN, JOEL A. HETRICK, SRIDHAR (NMN) KOTA

(74) Procurador(es): DAVID DO NASCIMENTO
ADVOGADOS ASSOCIADOS

(86) Pedido Internacional: PCT US2008004871 de
14/04/2008

(87) Publicação Internacional: WO 2008/127731 de
23/10/2008



TRANSDUTOR DE MOVIMENTO, SISTEMA DE TRANSDUTOR E
SISTEMA DE ABSORÇÃO DE ENERGIA

ANTECEDENTES DA INVENÇÃO

CAMPO DA INVENÇÃO

5 A presente invenção refere-se de maneira geral a mecanismos que recebem um deslocamento ou uma força aplicados por um acionador e que aplica em um deslocamento ou uma força modificados à carga, e mais particularmente, a uma estrutura que emprega elementos elasticamente deformáveis que são
10 acoplados uns aos outros geralmente sem o uso de acoplamentos em pivô e que aplicam à carga uma característica de força/deslocamento predeterminada.

DESCRIÇÃO DA TÉCNICA ANTERIOR

 É conhecida na técnica anterior uma estrutura
15 central que conta com a deformação elástica de seus elementos constituintes para transmitir forças e movimento de uma entrada a uma saída. Este tipo conhecido de estrutura é apresentado na patente norte-americana nº 6.557.436, cuja descrição é aqui incorporada a título de referência, e
20 refere-se ao campo dos sistemas microeletromecânicos (MEM). No arranjo conhecido, uma estrutura é formada sem acoplamentos em pivô por processos de microusinagem da superfície para uso em combinação com um acionador MEM (tal como um acionador comb eletrostático, um acionador
25 eletrostático de placa capacitiva) ou um acionador térmico para modificar um deslocamento ou uma força fornecidos pelo acionador MEM.

 A Figura 1 ilustra uma estrutura de amplificação de deslocamento base da técnica anterior, geralmente designada
30 como estrutura 10. Conforme mostrado, a estrutura conhecida 10 é configurada para ter uma forma geralmente triangular que é definida por três pernas e que é suportada por uma base 12, piso ou substrato. A primeira perna da forma triangular

conhecida é definida por uma travessa 14 que tem uma extremidade fixa ou presa 16 e uma extremidade móvel 18. A travessa 14 é aqui referida como "travessa estática 14" e o termo "estática" é utilizado como resultado de a extremidade 5 16 ser presa. No entanto, a travessa 14 não é "estática" no sentido tradicional do termo porque inclui uma extremidade móvel 18 e adicionalmente porque a travessa 14 é flexível.

A segunda perna da forma triangular da estrutura base é definida por uma travessa que daqui por diante será 10 referida como "travessa dinâmica 20". A travessa dinâmica 20 inclui uma primeira extremidade ou de entrada 22 e uma segunda extremidade ou de saída 24. Esta travessa 20 é aqui referida como "uma travessa dinâmica" porque a sua extremidade de entrada 22 é acoplada a um acionador 26, que 15 pode ser de qualquer variedade de fonte de força motriz, incluindo, a título de ilustração e não de limitação, acionadores piezelétricos, acionadores térmicos, acionadores SMA, acionadores eletrostáticos de placa capacitiva, acionadores 'comb' eletrostáticos, acionadores pneumáticos, 20 acionadores hidráulicos ou sistemas acionadores mecânicos.

A extremidade de saída 24 da travessa dinâmica 20 é conectada à extremidade móvel 18 da travessa estática 14 em uma conexão sem pivô ou sem junção, isto é, excluindo a utilização de dobradiças, junções de flexão, articulações 25 vivas e pivôs para a conexão entre a travessa estática 14 e a travessa dinâmica 20. Preferivelmente, as travessas estáticas e dinâmicas 14 e 20 da estrutura 10 são formadas conjuntamente em uma construção única.

De acordo com a descrição deste arranjo conhecido 30 na patente norte-americana n° 6.557.436, a terceira perna da forma triangular da estrutura base é uma perna imaginária definida pela base 12 e que se estende entre a extremidade fixa 16 da travessa estática 14 e a extremidade de entrada 22

da travessa dinâmica 20.

Quando o acionador 26 confere um deslocamento de entrada X à extremidade de entrada 22 da travessa dinâmica 20, as travessas 20 e 14 irão flexionar em consequência da
5 extremidade fixa ou presa 16 da travessa estática 14 e das características de elasticidade das próprias travessas 14 e 20. Em consequência da construção preceituada, o deslocamento de saída Y, medido como movimento de saída 28, será maior do que o deslocamento de entrada X. Adicionalmente, quando o
10 deslocamento de entrada X está geralmente na direção do ápice formado pela conexão da travessa estática 14 com a travessa dinâmica 20, a direção do deslocamento de saída Y será geralmente transversal ou perpendicular à direção do ápice. A posição deslocada ou flexionada da estrutura 10 é geralmente
15 ilustrada com a aparência da Figura 1.

Também é sabido na técnica anterior que, quando da junção de duas ou mais estruturas base 10, o deslocamento de saída Y da última das estruturas 10 na série pode ser projetado para se obter uma razão de amplitude desejada
20 (Y/X). Três estruturas 10 são ilustradas no dispositivo da técnica anterior 11 mostrado na Figura 2. (Geralmente por toda essa descrição do dispositivo da técnica anterior, o termo "estrutura 10" é utilizado para identificar uma forma triangular, ao passo que o termo "dispositivo 11" é utilizado
25 para designar uma série de estruturas 10. Os termos, no entanto, geralmente podem ser trocados durante toda esta descrição e nas reivindicações (onde for apropriado). Deve ser observado que, ao formar um dispositivo de uma série de estruturas 10, a extremidade de entrada 22 de cada travessa
30 dinâmica sucessiva 20 é conectada à saída 28 da estrutura imediatamente precedente, e a saída é definida onde as travessas estática e dinâmica 14 e 20 são unidas ou fundidas uma na outra. Para a finalidade de clareza, a saída da

estrutura 10 ou do dispositivo 11 geralmente é designada como 28 na Figura 1. Notadamente na Figura 2, a configuração conhecida resulta na direção do deslocamento de saída Y que fica geralmente em uma direção oposta àquela ilustrada na

5 Figura 1.

Ao comparar as forças transmitidas pela estrutura 10 e pelo dispositivo 11, deve ser observado que, quando impelida tal como descrito acima, a força de entrada fornecida pelo acionador 26 é alterada e na extremidade de

10 saída 28 da estrutura a força de saída é diminuída em relação à força de entrada. Para uma estrutura 10 ou dispositivo 11 ideal, a força de saída multiplicada pelo deslocamento de saída deve ser igual à força de entrada multiplicada pelo deslocamento de entrada. No entanto, algumas perdas irão

15 ocorrer durante a transmissão através da estrutura 10 ou do dispositivo 11. As estruturas 10 e os dispositivos 11 atuais foram feitos e a força de saída multiplicada pelo deslocamento de saída nos mesmos é geralmente igual a aproximadamente 70%-90% da força de entrada multiplicada pelo

20 deslocamento de entrada.

Pode ser visto a partir do acima exposto que uma série de estruturas 10 desenhadas e arrançadas com a interconexão de suas respectivas travessas 14 e 20 podem conferir uma vantagem geométrica predeterminada e uma

25 vantagem mecânica predeterminada. A vantagem geométrica é aqui definida como a razão de um deslocamento de saída gerado pela estrutura 10 ou pelo dispositivo 11 em resposta a um determinado deslocamento de entrada. A vantagem mecânica é aqui definida como a razão de uma força de saída gerada pela

30 estrutura 10 ou pelo dispositivo por 11 em resposta à força de entrada.

A Figura 3 ilustra esquematicamente uma topologia da técnica anterior onde um dispositivo construído de modo

compacto 311 é formado sobre um acionador linear 26 para fornecer uma saída linear designada pela seta direcional 38. A topologia conhecida na Figura 3 ilustra como as estruturas conhecidas 10 podem ser arranjadas para formar um dispositivo 311 ao geralmente circundar o acionador linear 26. Com esta topologia, que é mostrada e consiste de seis estruturas 10, as saídas das estruturas individuais são transferidas no sentido horário em torno do dispositivo 311, ao localizar as travessas estáticas 14 no interior das travessas dinâmicas 20, até a última estrutura 10, a qual é mostrada como dotada de uma orientação invertida.

Na Figura 4, pode ser visto que o único deslocamento de entrada X pode ser aplicado a uma série de estruturas conhecidas 10 que formam um dispositivo 211, com a topologia da série de estruturas sendo configurada de maneira tal que o dispositivo 211 seja formado por duas metades espelhadas 34 e 34'. Tal configuração conhecida pode ser utilizada para fornecer o deslocamento de saída Y dos membros de saída 32 geralmente ao longo do eixo 30 do deslocamento de entrada X. Além disso, os membros de saída 32 de cada metade 34 e 34' são mostrados unidos por um membro transversal 36 para prover um único deslocamento e força de saída. O dispositivo 211 da Figura 7 é formado pelas estruturas 10, em que as quatro estruturas 10 são utilizadas para definir cada metade 34 e 34'. O dispositivo conhecido representado nesta figura é indicado para conferir uma vantagem geométrica 14:1.

Com o acima exposto em mente, um objetivo da presente invenção consiste na apresentação de um amplificador de movimento que possa ser fabricado facilmente.

Um outro objetivo da presente invenção consiste na apresentação de um amplificador de movimento que possa ser fabricado de imediato com uma variação mínima de espessura.

Adicionalmente um outro objetivo da presente

invenção consiste na apresentação de um amplificador de movimento que exiba uma complexidade reduzida em relação aos sistemas amplificadores de movimento conhecidos.

Um outro objetivo ainda da presente invenção
5 consiste na apresentação de um amplificador de movimento que obtenha um desempenho de baixa frequência melhorado.

Ainda um outro objetivo da presente invenção consiste na apresentação de um amplificador de movimento que obtenha uma amplificação mais alta em uma frequência natural
10 mais baixa de modo a obter um desempenho de baixa frequência melhorado.

Ainda um objetivo adicional da presente invenção consiste na apresentação de um amplificador de movimento que minimize os efeitos dos modos de baixa-ordem para assegurar
15 uma melhor consistência em suas características de resposta.

DESCRIÇÃO RESUMIDA DA INVENÇÃO

Os objetivos anteriores e outros ainda são atingidos pela presente invenção, a qual apresenta um transdutor de movimento que tem um membro base, e o membro
20 base tem um eixo longitudinal. Um primeiro arranjo de transdutor complacente é instalado no membro base, e o primeiro arranjo de transdutor complacente tem uma entrada para receber um primeiro deslocamento de entrada direcionado substancialmente paralelo ao eixo longitudinal do membro base
25 e uma saída para produzir uma primeira força de saída dirigida a um ângulo predeterminado com respeito ao eixo longitudinal do membro base. É apresentado adicionalmente um elemento acionador que tem uma primeira parte de saída acoplada à entrada do primeiro arranjo de transdutor
30 complacente para produzir o primeiro deslocamento de entrada.

Em uma realização da invenção, também é apresentado um segundo arranjo de transdutor complacente instalado no membro base. O segundo arranjo de transdutor complacente tem

uma entrada para receber um segundo deslocamento de entrada e uma saída para produzir uma força de saída dirigida a um outro ângulo predeterminado com respeito ao eixo longitudinal do membro base. O elemento acionador tem uma segunda parte de saída acoplada à entrada do segundo arranjo de transdutor complacente para produzir o segundo deslocamento de entrada.

Em algumas realizações, a primeira e a segunda força de saída são dirigidas para que fiquem paralelas uma à outra. Em outras realizações, no entanto, a primeira e a segunda força de saída são dirigidas a ângulos diferentes respectivos com respeito ao eixo longitudinal do membro base.

Nas realizações da invenção onde o primeiro arranjo de transdutor complacente é formado pela primeira e segunda estrutura triangular, é provido um membro base adicional que é deslocado em relação ao membro base para acoplar a primeira estrutura triangular do primeiro arranjo de transdutor complacente, mas que em algumas realizações da invenção é fixo com relação ao membro base. Cada uma dentre a primeira e a segunda estrutura triangular é provida com uma saída para a produção de um respectivo componente da primeira força de saída. Além disso, as saídas da primeira e da segunda estrutura triangular são, em algumas realizações, substancialmente paralelas umas à outra.

Em uma outra realização, é apresentado um primeiro arranjo de transdutor complacente adicional instalado no membro base em relação serial com o primeiro arranjo de transdutor complacente ao longo do eixo longitudinal do membro base. Além disso, um primeiro elemento acoplador acopla as entradas do primeiro arranjo de transdutor complacente adicional e do primeiro arranjo de transdutor complacente à primeira parte de saída do elemento acionador.

O elemento acionador pode ser um elemento piezelétrico, um acionador térmico, um motor elétrico, um

sistema hidráulico, etc.

De acordo com outro aspecto do aparelho da invenção, é apresentado um transdutor de movimento que tem um primeiro membro base, e o membro base tem um eixo longitudinal. Um segundo membro base em relação fixa com o primeiro membro base. Adicionalmente, é apresentado um primeiro arranjo de transdutor complacente que tem uma primeira estrutura de transdutor complacente instalada em relação fixa com o primeiro membro base. A primeira estrutura de transdutor complacente tem uma entrada para receber um primeiro deslocamento de entrada dirigido a um ângulo predeterminado em relação ao eixo longitudinal do primeiro membro base e uma saída para produzir uma primeira força de saída. É apresentada adicionalmente neste outro aspecto da invenção uma segunda estrutura de transdutor complacente instalada em relação fixa com o segundo membro base. A segunda estrutura de transdutor complacente tem uma entrada para receber a primeira força de saída da primeira estrutura de transdutor complacente e uma saída para produzir uma segunda força de saída.

Em uma realização deste aspecto do aparelho da invenção, a segunda força de saída é dirigida substancialmente em oposição ao primeiro deslocamento de entrada. Em outras realizações também é apresentado um segundo arranjo de transdutor complacente que tem respectivamente associada uma dentre uma primeira estrutura de transdutor complacente instalada em relação fixa ao primeiro membro base, e a primeira estrutura de transdutor complacente tem uma entrada para receber um primeiro deslocamento de entrada dirigido a um ângulo predeterminado em relação ao eixo longitudinal do primeiro membro base e uma saída para produzir uma primeira força de saída. Uma segunda estrutura de transdutor complacente é instalada em relação

fixa com o segundo membro base. A segunda estrutura de transdutor complacente tem uma entrada para receber a primeira força de saída da primeira estrutura de transdutor complacente e uma saída para produzir uma segunda força de saída. Adicionalmente, um acoplador acopla as entradas das primeiras estruturas de transdutor complacente do primeiro e do segundo arranjos de transdutor complacentes.

Em uma realização adicional, é provido ainda um elemento acionador que tem uma primeira parte de saída acoplada à entrada do primeiro arranjo de transdutor complacente para produzir o primeiro deslocamento de entrada, e uma parte de montagem para o acoplamento ao primeiro membro base.

De acordo com um aspecto adicional do aparelho da invenção, é apresentado um transdutor de movimento que tem um membro base que tem um eixo longitudinal. Um elemento de entrada é arranjado a um ângulo predeterminado em relação ao elemento base. Adicionalmente, o primeiro e o segundo arranjos de transdutor complacentes têm uma primeira estrutura de transdutor complacente respectivamente associada acoplada ao membro base. A primeira estrutura de transdutor complacente tem uma entrada para receber um primeiro deslocamento de entrada dirigido a um ângulo predeterminado em relação ao eixo longitudinal do primeiro membro base e uma saída para produzir uma primeira força de saída, e a entrada é acoplada ao elemento de entrada. Adicionalmente, é apresentada uma segunda estrutura de transdutor complacente que tem uma primeira entrada para receber a primeira força de saída da primeira estrutura de transdutor complacente respectivamente associada, uma segunda entrada para acoplar ao elemento de entrada, e uma saída para produzir uma segunda força de saída.

Em uma realização deste aspecto adicional da

invenção, é provido ainda um elemento acionador que tem uma primeira parte para acoplamento ao elemento de entrada e uma segunda parte para acoplamento em uma relação fixa ao membro base. Um acoplador de saída acopla as saídas das segundas

5 estruturas de transdutor complacentes umas às outras.

Contudo, em um outro aspecto do aparelho da invenção, é apresentado um sistema transdutor que tem uma estrutura de transdutor complacente que tem uma característica de resposta predeterminada. A estrutura de

10 transdutor complacente tem adicionalmente uma entrada para receber um sinal de entrada mecânico e uma saída para produzir um sinal de saída mecânico correspondente. O sinal de saída mecânico é responsivo ao sinal de entrada mecânico e à característica de resposta predeterminada da estrutura de

15 transdutor complacente. Um acionador tem uma entrada para receber um sinal de entrada elétrico, e uma saída de acionador para acoplar à entrada da estrutura de transdutor complacente. Além disso, um arranjo de acoplador de carga é provido para acoplar a saída da estrutura de transdutor

20 complacente a uma carga.

Há uma variedade de aplicações em que a invenção aqui descrita pode ser utilizada. Por exemplo, o arranjo de acoplador de carga é, em algumas realizações, configurado para acoplar uma superfície de controle de um aerofólio. Em

25 outras realizações, o arranjo de acoplador de carga é configurado para acoplar um sistema Active Boundary Layer Excitation (ABLE) para um avião. Além disso, o arranjo de acoplador de carga é configurado para acoplar um painel da carroçaria de um veículo ou para acoplar um pára-brisa de um

30 veículo.

Em uma realização altamente vantajosa, o elemento acionador é um elemento piezelétrico, e a característica de resposta predeterminada da estrutura de transdutor

complacente inclui uma frequência natural determinada pela relação:

$$\omega = 2\pi f = \sqrt{\frac{k_{piezo}}{GA^2m}}$$

Em outras realizações, o elemento acionador é um motor elétrico.

5 De acordo com um aspecto adicional do aparelho da invenção, é apresentado um sistema de absorção de energia que tem uma estrutura de transdutor complacente que é caracterizada com uma característica de resposta predeterminada. A estrutura de transdutor complacente tem
10 adicionalmente uma entrada para receber um sinal de entrada mecânico e uma saída para produzir um sinal de saída mecânico correspondente. O sinal de saída mecânico é responsivo ao sinal de entrada mecânico e à característica de resposta predeterminada da estrutura de transdutor complacente. Além
15 disso, é apresentado um arranjo de absorção de energia mecânica acoplado à saída da estrutura de transdutor complacente para receber o sinal de saída mecânico.

Em uma realização deste aspecto adicional do aparelho da invenção, é apresentado um arranjo de acoplador
20 de entrada para acoplar a entrada da estrutura de transdutor complacente a uma fonte da energia mecânica.

Em uma realização adicional, o arranjo de absorção de energia mecânica é configurado para converter o sinal de saída mecânico em um sinal de saída elétrico correspondente.

25 Também é apresentada em algumas realizações uma estrutura de transdutor complacente que tem uma característica de resposta predeterminada. A estrutura de transdutor complacente adicional tem uma entrada para receber um sinal de entrada mecânico e uma saída para produzir um

sinal de saída mecânico correspondente, e o sinal de saída mecânico é responsivo ao sinal de entrada mecânico e à característica de resposta predeterminada da estrutura de transdutor complacente. É apresentado um acionador que tem
5 uma entrada de acionador para receber um sinal elétrico de entrada, e uma saída de acionador para acoplar à entrada da estrutura de transdutor complacente. Além disso, um arranjo de realimentação fornece, em determinadas realizações, um sinal elétrico de correção à entrada do acionador, e o sinal
10 elétrico de correção é responsivo ao sinal de saída elétrico correspondente do arranjo de absorção de energia mecânica.

O arranjo de absorção de energia mecânica é, em algumas realizações, um atenuador para converter o sinal de saída mecânico em calor. Um material resiliente é, em algumas
15 realizações, instalado para se comunicar com elementos complacentes da estrutura de transdutor complacente para ~~facilitar a formulação da absorção de energia característica~~ do sistema.

De acordo com outro aspecto do aparelho da
20 invenção, é apresentado um arranjo de transdutor complacente que tem uma primeira estrutura de transdutor complacente que tem uma configuração triangular substancialmente planar com duas pernas unidas uma à outra em um ápice. O ápice é configurado para receber um sinal de entrada mecânico. É
25 apresentada adicionalmente, uma segunda estrutura de transdutor complacente que tem uma configuração em formato de U substancialmente planar que consiste em duas ramificações unidas uma à outra em uma curva de configuração em formato de U. A segunda estrutura de transdutor complacente é arranjada
30 para circundar a primeira estrutura de transdutor complacente na relação coplanar, em que as duas ramificações da segunda estrutura de transdutor complacente são acopladas em suas respectivas extremidades distais da curva para

respectivamente uma das duas pernas da primeira estrutura de transdutor complacente associada. O ápice da primeira estrutura de transdutor complacente é disposto entre as duas pernas da segunda estrutura de transdutor complacente.

5 Em uma realização deste aspecto do aparelho da invenção, é apresentado um arranjo de transdutor complacente adicional. O arranjo de transdutor complacente e a estrutura de transdutor complacente adicional são dispostos paralelos um ao outro, com o que o ápice do arranjo de transdutor
10 complacente é dirigido para o ápice do arranjo de transdutor complacente adicional. Além disso, um arranjo de acoplamento acopla o arranjo de transdutor complacente e o arranjo de transdutor complacente adicional um ao outro.

 Em uma realização adicional, o arranjo de
15 acoplamento consiste em um primeiro prendedor para acoplar a curva do arranjo de transdutor complacente ao ápice do arranjo de transdutor complacente adicional, e um segundo prendedor para acoplar a curva do arranjo de transdutor complacente adicional ao ápice do arranjo de transdutor
20 complacente. O primeiro e o segundo prendedores são arranjos em uma relação distal predeterminada um em relação ao outro, e uma razão da transmissão do arranjo de transdutor complacente acoplado e de um arranjo de transdutor complacente adicional é responsiva à relação distal
25 predeterminada entre o primeiro e o segundo prendedores.

 É apresentado um acionador, e o acionador tem uma primeira saída arranjada para se comunicar com o ápice do arranjo de transdutor complacente, e uma segunda saída arranjada para se comunicar com o ápice do arranjo de
30 transdutor complacente adicional. Em uma realização altamente vantajosa da invenção, o acionador é um acionador piezelétrico.

 Em termos gerais, um dispositivo de amplificação é

aquele que amplifica (aumenta) um deslocamento ou uma força obtidos de uma fonte de entrada. Preferivelmente, a direção, ou a fase, da saída pode ser determinada para ficar compreendida entre 0 e 360 graus. Na presente invenção, o dispositivo de amplificação é desenhado com uma topologia complacente, e um ou mais elementos complacentes funcionam conjuntamente para tornar o sistema operacional.

Como objetivos gerais, é desejado desenhar um amplificador que possa ser facilmente fabricado, enquanto obtém uma variação mínima da espessura e uma complexidade geral mínima.

Adicionalmente, é desejado obter um bom desempenho de baixa frequência. Isto é obtido, de acordo com a invenção, ao desenhar um arranjo de amplificação mais alto que tem uma frequência natural mais baixa, que resulta em um melhor desempenho de baixa frequência. A minimização do efeito dos modos de baixa-ordem irá propiciar uma consistência melhorada da resposta.

Na prática da invenção, o acionador que aciona o dispositivo de amplificação pode ser qualquer um dentre um acionador piezélectrico, um motor elétrico, um solenóide, um sistema de acionamento hidráulico ou qualquer outro acionador que puder conferir força ou deslocamento ao dispositivo de amplificação. Em algumas realizações da invenção, no entanto, um componente passivo é utilizado em vez de um componente ativo. Em tais realizações, o dispositivo de amplificação é utilizado para absorver energia.

Os dispositivos de amplificação dos tipos aqui descritos têm numerosas aplicações, incluindo, sem limitação, a produção de uma vibração de superfície para melhorar um fluxo sobre a superfície de um aerofólio; a produção de uma vibração de superfície para eliminar o gelo formado em uma asa; a produção de uma vibração de superfície para fins

acústicos. A energia acústica que é apropriadamente sincronizada pode ser utilizada para amortecer a vibração de uma superfície. Além disso, um dispositivo de amplificação, tal como previamente observado, pode ser carregado para absorver a energia vibratória e opera desse modo para isolar a vibração, absorver a energia, ou então funciona como um atenuador.

Quando aplicado para vibrar uma superfície, as características e os parâmetros de desenho que devem ser considerados no desenho de um dispositivo de amplificação incluem a determinação da força de saída, o deslocamento de saída e a frequência. A resposta de frequência do sistema geral irá requerer a determinação da firmeza do sistema e o controle da mesma. A análise, naturalmente, requer que essa consideração seja aplicada à força de entrada, ao deslocamento de entrada e à frequência do sinal de entrada mecânico. Além disso, o tamanho do pacote, os métodos de manufatura e o material são avaliados visando a minimização dos requisitos de energia e a eficiência.

Os métodos de manufatura incluem, mas não ficam a eles limitados: extrusão, corte fino (estampagem), moldagem por injeção, fundição, corte a laser, corte a jato de água, EDM e usinagem geral. Nas realizações da invenção formadas de múltiplas partes, os componentes podem ser empilhados e soldados (amplificação variável na montagem).

A invenção é apropriada como um sistema Active Boundary Layer Excitation (ABLE), o arranjo da presente invenção é útil para melhorar a qualidade do fluxo para aerofólios de baixa velocidade. Para aviões menores e mais lentos, o número que precisa ser considerado é o "número de Reynolds" (Re), que é um número sem dimensão definido como:

$$Re = V \times \frac{l}{\nu}$$

onde:

V = velocidade relativa (m/s)

l = "comprimento" típico de um corpo sólido (M)

ν = viscosidade cinemática do ar (s/m²)

5 A viscosidade cinemática depende da densidade do ar, mas pode ser suposta como constante para um voo de avião abaixo de 12.000 pés, isto é, equivalente a 15×10^6 seg/m² (em metros).

O sistema ABLE diminui significativamente o arrasto
10 ao reduzir o tamanho da bolha de separação laminar. Mais especificamente, o arrasto é reduzido em aproximadamente 70% ao vibrar uma membrana na superfície superior da borda dianteira. A vibração de toda a superfície do aerofólio e não apenas de uma membrana na borda dianteira pode ter um efeito
15 similar. Uma pequena entrada de energia resulta em um grande benefício aerodinâmico. A título de ilustração, uma entrada de 70 mW no sistema ABLE pode resultar em 70% de melhoria aerodinâmica (isto é, arrasto reduzido, elevação aumentada, uniformidade de elevação melhorada em relação à faixa de
20 movimento do aerofólio, maior eficiência aerodinâmica, etc.). Sob esse aspecto, foi realizado um teste na Universidade de Illinois de Urbana-Champaign em um modelo de 12" de corda e vão de 36", aos números de Reynolds de 60.000, 100.000 e 200.000.

25 Do ponto de vista da manufatura dos sistemas complacentes da presente invenção, deve ser observado que o uso da extrusão como técnica de manufatura resulta em boas propriedades mecânicas e em um bom revestimento de superfície. Adicionalmente, o produto resultante não exibe
30 nenhuma oxidação e possui alta exatidão dimensional. Na

prática de algumas realizações da invenção, o alumínio 2024 é o alvo, com uma espessura mínima de aproximadamente 1 mm e um canto/friso mínimo de aproximadamente 0,4 mm.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

5 A compreensão da invenção é facilitada pela leitura da seguinte descrição detalhada conjuntamente com os desenhos anexos, nos quais:

a Figura 1 é uma ilustração esquemática de um elemento triangular da técnica anterior que forma a estrutura
10 base da presente invenção;

a Figura 2 é uma ilustração esquemática de uma pluralidade de estruturas da técnica anterior vistas na Figura 1 que está sendo utilizada conjuntamente com uma outra e é arranjada para formar um dispositivo de amplificação de
15 deslocamento;

a Figura 3 é uma ilustração esquemática de um dispositivo da técnica anterior incorporado com um acionador linear para fornecer uma saída linear amplificada;

a Figura 4 ilustra esquematicamente um dispositivo
20 da técnica anterior formado de uma série de estruturas conhecidas;

a Figura 5 é uma representação esquemática simplificada que mostra uma vista de planta de uma realização ilustrativa específica da invenção que tem um acionador
25 piezelétrico e saídas simétricas;

a Figura 6 é uma representação isométrica da realização da Figura 5;

a Figura 7 é uma representação esquemática simplificada que mostra uma vista de planta de uma realização
30 ilustrativa específica adicional da invenção que tem um acionador piezelétrico e saídas simétricas;

a Figura 8 é uma representação isométrica da realização da Figura 7;

a Figura 9 é uma representação isométrica de uma realização ilustrativa específica da invenção em que os elementos transdutores múltiplos compartilham um único acionador piezelétrico;

5 a Figura 10a é uma representação esquemática simplificada de um único elemento transdutor de saída que emprega um acionador piezelétrico, e a Figura 10b é uma representação isométrica da realização da Figura 10a;

10 a Figura 11 é uma representação isométrica de uma realização ilustrativa específica adicional da invenção em que múltiplos elementos transdutores compartilham de um único acionador piezelétrico;

15 a Figura 12 é uma representação esquemática simplificada de um elemento transdutor de saída duplo que emprega um acionador piezelétrico;

a Figura 13 é uma representação isométrica da realização da Figura 12, com as saídas ligadas em ponte;

20 a Figura 14 é uma representação esquemática simplificada da realização da Figura 12, mostrando determinados valores dimensionais;

a Figura 15 é uma representação isométrica de uma realização de saída dupla que emprega um único acionador piezelétrico;

25 a Figura 16 é uma representação isométrica da realização de saída dupla da Figura 16 que também mostra as saídas a serem ligadas em ponte;

a Figura 17 é uma representação isométrica parcialmente explodida da realização de saída dupla da Figura 16;

30 as Figuras 18(a), 18(b) e 18(c) são representações esquemáticas isométricas simplificadas de uma realização ilustrativa específica da invenção, mostrando as respectivas posições de um pivô eficaz para obter as respectivas razões

de operação;

as Figuras 19(a), 19(b) e 19(c) são representações esquemáticas simplificadas dos transdutores mostrados nas Figuras 18(a), 18(b) e 18(c), respectivamente, e mostram as
5 respectivas razões de transmissão;

a Figura 20 é uma representação esquemática simplificada de uma realização ilustrativa específica da invenção que tem múltiplas saídas e um acionador piezelétrico de entrada único com uma característica de anti-rotação;

10 a Figura 21 é uma representação em perspectiva de uma realização da invenção mostrada unida ao lado inferior de um aerofólio para fazer com que o movimento vibratório seja aplicado no lado inferior de um aerofólio;

a Figura 22 é uma representação gráfica de um
15 aerofólio (Eppler 387) que é útil para descrever a superfície ativa e uma região de bolha laminar;

a Figura 23 é uma representação gráfica que correlaciona, para fins ilustrativos, as características de operação benéficas do sistema Active Boundary Layer
20 Excitation (ABLE); e

a Figura 24 é uma tabela que correlaciona Alfa contra uma porcentagem de redução correspondente no coeficiente de atrito C_d .

DESCRIÇÃO DETALHADA DOS DESENHOS

25 A Figura 5 é uma representação esquemática simplificada que mostra uma vista de planta de uma realização ilustrativa específica de um arranjo de transdutor complacente 300 que tem um acionador piezelétrico 310 e as saídas simétricas 312a e 312b. A Figura 6 é uma representação
30 isométrica do arranjo de transdutor complacente 300 mostrado na Figura 5. Conforme mostrado nessas figuras, o arranjo de transdutor complacente 300 tem uma base 315 em que o acionador piezelétrico 310 é instalado. O acionador

piezelétrico é, nesta realização ilustrativa específica da invenção, montado longitudinalmente paralelo ao eixo longitudinal 320 da base 315.

5 Nesta realização ilustrativa específica da invenção, as saídas simétricas 312a e 312b do arranjo de transdutor complacente 300 são imagens espelhadas uma da outra, e por essa razão a estrutura de suporte somente da saída simétrica 312a será descrita em detalhes. Conforme visto na Figura 5, o acionador piezelétrico 310 é acoplado em
10 sua saída a uma estrutura de transdutor complacente 325a que é acoplada na segunda perna do mesmo à base 315. A estrutura de transdutor complacente 325a é acoplada em sua saída a um elemento complacente 327a que é acoplado a um nó 330a. O nó 330a constitui a junção das estruturas de transdutor
15 complacentes 332a e 334a. As estruturas de transdutor complacentes 332a e 334a têm saídas respectivas que se combinam para formar a saída simétrica 312a.

É digno de nota o fato que a saída simétrica 312a emprega três níveis de aterramento em cinco pontos de
20 aterramento (não designados especificamente). Conforme mostrado, a estrutura de transdutor complacente 325a é aterrada na base 315. Além disso, as estruturas de transdutor complacentes 332a e 334a são aterradas às bases elevadas 340a e 342a, e cada uma das bases elevadas, nesta realização
25 ilustrativa específica da invenção, tem dois níveis de aterramento (não especificamente designados).

Com referência à Figura 6, a base elevada 342a é suportada pelos suportes 346a e 348a. Os suportes 346a e 348a são acoplados por prendedores (não mostrados) à base 315 e à
30 base elevada 342a. A base elevada 340a é formada, tal como mostrado, por um suporte que é formado, nesta realização ilustrativa específica da invenção, integralmente com a base 315.

Do ponto de vista da direção da operação, pode ser visto na Figura 5 que o deslocamento externo do acionador piezelétrico 310 produz as saídas simétricas 312a e 312b que se movem para cima. Nesta figura, o deslocamento externo do
5 acionador piezelétrico é representado pela seta 350, e o deslocamento ascendente correspondente das saídas simétricas 312a e 312b é representado pelas setas 352. Enquanto o acionador piezelétrico 310 é forçado para fora, o elemento complacente 327b é arrastado para baixo. Naturalmente, quando
10 o acionador piezelétrico 310 se contrai (isto é, na direção oposta àquela representada pela seta 350), todas as direções mostradas pelas setas são invertidas.

Uma vantagem do arranjo de transdutor complacente 300 é que ele propicia um número adequado de pontos de
15 contato de saída para distribuir as cargas e a tensão. Além disso, esta realização da invenção pode ser manufaturada de imediato pelo processo de extrusão. Independentemente do acima exposto, este arranjo de transdutor complacente requer alguma montagem. A fabricação desta realização também é
20 praticável com o uso de fundição sob pressão, forjamento, etc. Ela pode ser fabricada de alumínio, aço, titânio, plásticos, compósitos, etc.

A Figura 7 é uma representação esquemática simplificada que mostra uma vista de planta de um arranjo de
25 transdutor complacente 400 que tem um acionador piezelétrico 410 e saídas simétricas 412a e 412b. A Figura 8 é uma representação isométrica do arranjo de transdutor complacente 400. Conforme mostrado nessas figuras, o arranjo de transdutor complacente 400 tem uma base 415 em que o
30 acionador piezelétrico 410 é instalado. O acionador piezelétrico é, nesta realização ilustrativa específica da invenção, montado paralelo longitudinalmente ao eixo longitudinal 420 da base 415.

Nesta realização ilustrativa específica da invenção, as saídas simétricas 412a e 412b do arranjo de transdutor complacente 400 são imagens espelhadas uma da outra e, portanto, a estrutura de suporte somente da saída simétrica 412a será descrita em detalhes. Tal como visto na Figura 7, o acionador piezelétrico 410 é acoplado em sua saída a uma estrutura de transdutor complacente 425a que é acoplada a uma segunda perna do mesmo à base 415. A estrutura de transdutor complacente 425 é acoplada em sua saída a um elemento complacente 427a que é acoplado a um nó 430a. O nó 430a constitui a junção com a estrutura de transdutor complacente 432a. A estrutura de transdutor complacente 432a tem uma saída que forma a saída simétrica 412a.

Do ponto de vista da direção da operação, pode ser visto na Figura 8 que o deslocamento externo do acionador piezelétrico 410 faz com que as saídas simétricas 412a e 412b se movam para cima. Nesta figura, o deslocamento externo do acionador piezelétrico é representado pelas setas 450, e o deslocamento ascendente correspondente das saídas simétricas 412a e 412b é representado pelas setas 452. Naturalmente, quando o acionador piezelétrico 410 se contrai (isto é, na direção oposta àquela representada pelas setas 450), todas as direções mostradas pelas setas são invertidas.

Uma vantagem do arranjo de transdutor complacente 400 é que ele propicia um número adequado de pontos de contato de saída para distribuir as cargas e a tensão. Além disso, esta realização da invenção pode ser manufaturada de imediato pelo processo de extrusão. Independentemente do acima exposto, este arranjo de transdutor complacente requer alguma montagem. A manufatura desta realização também é praticável com o uso da fundição sob pressão, forjamento, etc. Ele pode ser fabricado de alumínio, aço, titânio, plásticos, compósitos, etc.

A Figura 9 é uma representação isométrica parcialmente explodida de uma disposição linear 500 dos arranjos de transdutor complacentes 505, em que múltiplos arranjos de transdutor complacentes compartilham um único
5 acionador piezelétrico 510. Conforme mostrado nesta figura, as saídas dos arranjos de transdutor complacentes 505 são acopladas umas às outras pelos acopladores de saída 515.

As Figuras 10a e 10b ilustram os detalhes de um arranjo de transdutor complacente 550, em que a Figura 10a é
10 uma representação esquemática simplificada de um arranjo de transdutor complacente 550 que emprega um acionador piezelétrico 552, e a Figura 10b é um arranjo de transdutor complacente 550 de representação isométrica.

Os elementos da estrutura discutidos anteriormente
15 são designados do mesmo modo nesta figura. Tal como mostrado, o acionador piezelétrico 552 é disposto substancialmente ortogonal ao eixo longitudinal 560 da base 562.

Na operação, quando o acionador piezelétrico 552 é forçado para cima para a entrada 563 na direção da seta 566,
20 a saída 570, que é provida com um acoplador de saída 572, é forçada para baixo, tal como representado pela seta 575.

A Figura 11 é uma representação isométrica de uma realização ilustrativa específica adicional da invenção, em que múltiplos arranjos de transdutor complacentes 550
25 compartilham um único acionador piezelétrico 552. As entradas 563 de múltiplos arranjos de transdutor complacentes 550 são acopladas umas às outras por um arranjo acoplador 577.

Uma vantagem desta realização da invenção é que um acionador piezelétrico relativamente pequeno pode ser
30 utilizado, e o deslocamento piezo completo é provido. Adicionalmente, o acionador piezelétrico não flutua, e o arranjo de transdutor complacente pode ser extrudado de imediato, e as limitações são que alguma montagem é

necessária, e o arranjo requer uma altura total que é tipicamente superior a 20 mm.

A Figura 12 é uma representação esquemática simplificada de um elemento de transdutor de saída duplo 600 que emprega um acionador piezelétrico 610. A Figura 13 é uma representação isométrica do elemento de transdutor de saída duplo 600 mostrado na Figura 12, com as saídas ligadas em ponte por um acoplador de saída 630, e a Figura 14 é uma representação esquemática simplificada de um elemento de transdutor de saída duplo 600 que mostra determinados valores dimensionais. Os elementos da estrutura são designados do mesmo modo nessas figuras.

Em relação à Figura 12, o elemento de transdutor de saída duplo 600 tem uma entrada 614 que se comunica com o acionador piezelétrico 610. O acionador piezelétrico é mostrado para ser disposto ortogonal ao eixo (não especificamente designado) da base (não especificamente designada). Em cada lado do acionador piezelétrico 610 é disposta uma das estruturas de transdutor complacentes triangulares 620a e 620b. As saídas do elemento de transdutor de saída duplo 600 são designadas como 625a e 625b, e cada uma delas é provida com um respectivo acoplador dentre os acopladores de saída 627a e 627b. A amplificação geral é realizada pela combinação do deslocamento direto de entrada 614 pelo acionador piezelétrico 610 e a amplificação é produzida pela operação das estruturas de transdutor complacentes 620a e 620b.

A Figura 14 mostra determinadas dimensões do elemento de transdutor de saída duplo 600. Especificamente, esta realização ilustrativa específica da invenção tem 82,00 mm de comprimento por 28,00 mm de altura.

Uma vantagem do elemento de transdutor de saída duplo 600 é que um piezo relativamente pequeno é utilizado e

o deslocamento de piezo completo é provido. Adicionalmente, o acionador piezelétrico não flutua. Poucos membros são necessários em cada unidade de célula, e a manufatura pode ser obtida pelo processo de extrusão. Nenhuma montagem
5 significativa é necessária. Este arranjo, no entanto, fornece apenas dois pontos de suporte para a carga, mas pode ser adequado para a maior parte das aplicações.

A Figura 15 é uma representação isométrica de um arranjo de transdutor complacente de saída duplo 700 que
10 emprega um único acionador piezelétrico 710. A Figura 16 é uma representação isométrica do arranjo de transdutor complacente de saída duplo 700, mostrando também saídas ligadas em ponte pelos acopladores de saída 720 e 722. A Figura 17 é uma representação isométrica parcialmente
15 explodida do arranjo de transdutor complacente de saída duplo 700.

Tal como mostrado nessas figuras, o arranjo de transdutor complacente de saída duplo 700 tem um arranjo de transdutor complacente 725 que tem uma primeira estrutura de
20 transdutor complacente 730 que tem uma configuração triangular substancialmente planar com duas pernas 732 unidas uma à outra em um ápice 733. O ápice é configurado para receber um sinal de entrada mecânico do acionador piezelétrico 710. É mostrada adicionalmente uma segunda
25 estrutura de transdutor complacente 740 que tem uma configuração em forma de U substancialmente planar com duas ramificações 742 unidas uma à outra em uma curva 743 da configuração em forma de U. A segunda estrutura de transdutor complacente 740 é arranjada para circundar a primeira
30 estrutura de transdutor complacente 730 em relação coplanar, em que as duas ramificações 742 da segunda estrutura de transdutor complacente 740 são acopladas em suas respectivas extremidades distais da curva 743 a uma das pernas

respectivamente associadas 732 da primeira estrutura de transdutor complacente 730. O ápice da primeira estrutura de transdutor complacente 730 é disposto entre as ramificações da segunda estrutura de transdutor complacente 740.

5 As figuras mostram adicionalmente que há dois arranjos de transdutor complacente, especificamente o arranjo de transdutor complacente 725 e um arranjo de transdutor complacente adicional 745. Os elementos da estrutura do arranjo de transdutor complacente adicional 745 são
10 designados em correspondência com aqueles do arranjo de transdutor complacente 725. O arranjo de transdutor complacente 725 e um arranjo de transdutor complacente adicional 745 são dispostos paralelos um ao outro, por meio do que o ápice 733 do arranjo de transdutor complacente 725 é
15 disposto para ser dirigido para o ápice 733 de um arranjo de transdutor complacente adicional 745.

 Prendedores 750 para acoplar a curva do arranjo de transdutor complacente ao ápice do arranjo de transdutor complacente adicional, e a curva do arranjo de transdutor
20 complacente adicional ao ápice do arranjo de transdutor complacente. O acionador 710, que pode ser um acionador piezelétrico, é arranjado para se comunicar com o ápice do arranjo de transdutor complacente, e com aquele do arranjo de transdutor complacente adicional.

25 As Figuras 18(a), 18(b) e 18(c) são representações esquemáticas isométricas simplificadas de um transdutor complacente 800, mostrando as respectivas posições das soldas 802 para modificar um ponto em pivô eficaz 804 e para desse modo obter as respectivas razões de operação. As Figuras
30 19(a), 19(b) e 19(c) são representações esquemáticas simplificadas dos transdutores mostrados nas Figuras 18(a), 18(b) e 18(c), respectivamente, e mostram as respectivas razões de transmissão e a alteração seqüencial do ponto em

pivô eficaz para a direita à medida que o espaçamento entre as soldas 802 é alterado. Mais especificamente, nesta realização ilustrativa específica da invenção, a configuração das Figuras 18(a)/19(a) provê uma razão de transmissão de 2,5:1; e a configuração das Figuras 18(b)/19(b) provê uma razão de transmissão de 4,0:1; e a configuração das Figuras 18(c)/19(c) provê uma razão de transmissão de 4,5:1.

Uma vantagem da realização das Figuras 18 e 19 é que o deslocamento piezo completo é obtido. Além disso, menos membros nas células de pontos unitários são necessários e os dispositivos podem ser fabricados utilizando o processo de extrusão. No entanto, alguma montagem é necessária, e somente dois pontos de suporte são providos, o que pode ser adequado para a maior parte das aplicações.

A Figura 20 é uma representação esquemática simplificada de um arranjo de transdutor complacente ilustrativo específico 825 que tem múltiplas saídas 854 e 856. Um único acionador piezelétrico de entrada 810 é empregado, e é provida adicionalmente uma característica anti-rotação 815 em cada saída. Um objetivo desta realização ilustrativa específica da invenção consiste em minimizar a rotação de uma superfície (não mostrada) influenciada pelo arranjo de transdutor complacente e desse modo reforçar o movimento paralelo. Adicionalmente, é desejada uma baixa rigidez extensional da característica anti-rotação para minimizar o retardo do movimento. Esses objetivos são atingidos ao empregar os mecanismos de ligação paralelos 817 como extremidades acionadoras.

A Figura 21 é uma representação em perspectiva de um arranjo de transdutor complacente 850, com um acionador piezelétrico 852, mostrado unido ao lado inferior de um aerofólio 855 para fazer com que o movimento vibratório seja aplicado ao lado inferior do aerofólio. A saída do arranjo de

transdutor complacente 850, nesta realização ilustrativa específica da invenção, é acoplada diretamente a um sistema Active Boundary Layer Excitation (ABLE) 860. Esse sistema é útil em aerofólios Re baixos (50.000 a 300.000) para reduzir o efeito da bolha laminar, tal como será ilustrado abaixo com respeito à Figura 22.

A Figura 22 é uma representação gráfica de um aerofólio 875 (Eppler 387) que é útil para ilustrar uma superfície ativa 880 e uma região de bolha laminar 882. Deve ser observado que a própria superfície de vibração não produz um fluxo laminar, uma vez que o fluxo laminar já está presente. Em vez disso, o dispositivo emite "ondas de energia" (não mostradas) que caem do aerofólio perto da camada limite (não mostrada), e quando as ondas de energia alcançam a região de bolha laminar 882 o fluxo de ar torna-se mais normal e a bolha laminar é reduzida, quando não eliminada. Pode ser possível que, ao submeter todo o aerofólio a uma vibração, seja obtido o mesmo resultado.

A Figura 23 é uma representação gráfica que correlaciona, para fins ilustrativos, as características de operação benéficas do sistema Active Boundary Layer Excitation (ABLE). O gráfico traça o CI (coeficiente de elevação) no eixo y , e o C_d (coeficiente de arrasto) no eixo x . Esses valores são não-dimensionais e são utilizados em equações para calcular a elevação do aerofólio e o arrasto, dependendo da velocidade do ar, da densidade do ar e do tamanho do aerofólio (área de superfície). Tal como mostrado nesta figura, o traçado gráfico 890 ilustra o coeficiente de arrasto C_d com o sistema ABLE em operação, e o traçado gráfico 892 ilustra o coeficiente de arrasto C_d sem o sistema ABLE. O teste que resultou neste gráfico foi realizado a $Re = 60.000$, e pode ser visto que a operação do sistema ABLE reduz claramente o C_d .

A Figura 24 é uma tabela que correlaciona Alfa (ângulo de ataque ou inclinação longitudinal da asa) contra uma redução da porcentagem correspondente no coeficiente de atrito Cd. As unidades de alfa estão em graus.

5 Nas realizações da invenção onde os acionadores piezelétricos são empregados, a seguinte análise ajuda a definir um desenho de sistema:

frequência natural

$$\downarrow \\ 2\pi f = \sqrt{\frac{k_{piezo}}{GA^2m}} \quad \left. \vphantom{\frac{k_{piezo}}{GA^2m}} \right\}$$

$$F = m\omega^2 d \\ \left. \begin{aligned} F_{piezo} &= \frac{F}{MA} \\ d_{piezo} &= \frac{d}{GA} \end{aligned} \right\}$$

$$\eta = \frac{F \times GA}{F_{piezo}}$$

o desenho do amplificador e o piezo escolhido
10 afetam a linearidade do sistema

o desenho do amplificador determina o piezo
necessário

(η tem um valor entre 0 e 1, onde 1 é ideal, e é
uma medida da energia de tensão armazenada no amplificador
15 versus a energia de tensão armazenada no piezo em condições
carregadas)

$$F_{piezo} = \frac{F \times GA}{\eta}$$

onde:

f é a frequência

k_{piezo} é a rigidez piezelétrica

GA é a vantagem geométrica

5 MA é a vantagem mecânica

m é a massa móvel (pode omitir a massa do acionador se a massa dirigida for significativamente maior do que a massa equivalente "móvel" do acionador)

10 $2\pi f$ (ou ω) é a frequência natural para um único grau de liberdade de sistema, ou uma aproximação da primeira frequência natural para um grau múltiplo de liberdade de sistema

d é o deslocamento livre do amplificador piezo

15 F_{piezo} é a força bloqueada do piezo na condição de voltagem de interesse

F é a força bloqueada do amplificador piezo

d_{piezo} é o deslocamento livre do piezo na condição de voltagem de interesse

d é o deslocamento livre do amplificador piezo

20 η é a eficiência estrutural (introduzida para eliminar o MA da nomenclatura)

Embora a invenção tenha sido descrita em termos de realizações e aplicações específicas, os elementos versados no estado da técnica podem, à luz deste preceito, gerar
25 realizações adicionais sem se desviar do âmbito ou partir do caráter da invenção aqui descrita e reivindicada. Por conseguinte, deve ser compreendido que o desenho e a descrição nesta apresentação são apresentados para facilitar

31/31

a compreensão da invenção, e não devem ser interpretados como limitadores do âmbito da mesma.

REIVINDICAÇÕES

1. TRANSDUTOR DE MOVIMENTO, caracterizado pelo fato de compreender:

um membro base, em que o dito membro base tem um
5 eixo geométrico longitudinal;

um primeiro arranjo de transdutor complacente instalado no dito membro base, em que o dito primeiro arranjo de transdutor complacente tem uma entrada para receber um primeiro deslocamento de entrada dirigido substancialmente
10 paralelo ao eixo geométrico longitudinal do dito membro base e uma saída para produzir uma primeira força de saída dirigida a um ângulo predeterminado com respeito ao eixo geométrico longitudinal do dito membro base; e

um elemento acionador que tem uma primeira parte de
15 saída acoplada à entrada do dito primeiro arranjo de transdutor complacente para produzir o primeiro deslocamento de entrada.

2. TRANSDUTOR DE MOVIMENTO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que também é
20 provido um segundo arranjo de transdutor complacente instalado no dito membro base, o dito segundo arranjo de transdutor complacente tem uma entrada para receber um segundo deslocamento de entrada e uma saída para produzir uma força de saída dirigida a um outro ângulo predeterminado com
25 respeito ao eixo geométrico longitudinal do dito membro base, e o dito elemento acionador tem uma segunda parte de saída acoplada à entrada do dito segundo arranjo de transdutor complacente para produzir o segundo deslocamento de entrada.

3. TRANSDUTOR DE MOVIMENTO, de acordo com a
30 reivindicação 2, caracterizado pelo fato de que a primeira e a segunda forças de saída são dirigidas uma paralela à outra.

4. TRANSDUTOR DE MOVIMENTO, de acordo com a reivindicação 2, caracterizado pelo fato de que a primeira e

a segunda forças de saída são dirigidas a respectivos ângulos diferentes com respeito ao eixo geométrico longitudinal do dito membro base.

5 5. TRANSDUTOR DE MOVIMENTO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o dito primeiro arranjo de transdutor complacente é formado por primeira e segunda estruturas triangulares, sendo provido outro membro base adicional deslocado do dito membro base para acoplar na dita primeira estrutura triangular do dito
10 primeiro arranjo de transdutor complacente.

 6. TRANSDUTOR DE MOVIMENTO, de acordo com a reivindicação 5, caracterizado pelo fato de que cada um dentre a primeira e a segunda estruturas triangulares é provida com uma saída para produzir um respectivo componente
15 da primeira força de saída.

 7. TRANSDUTOR DE MOVIMENTO, de acordo com a reivindicação 6, caracterizado pelo fato de que as saídas das ditas primeira e segunda estruturas triangulares são substancialmente paralelas uma à outra.

20 8. TRANSDUTOR DE MOVIMENTO, de acordo com a reivindicação 5, caracterizado pelo fato de que o dito membro base adicional é fixo com relação ao dito membro base.

 9. TRANSDUTOR DE MOVIMENTO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que é provido um
25 primeiro arranjo de transdutor complacente adicional instalado no dito membro base em uma relação serial com o dito primeiro arranjo de transdutor complacente ao longo do eixo geométrico longitudinal do dito membro base, e também é provido um primeiro elemento acoplador para acoplar as
30 entradas do dito primeiro arranjo de transdutor complacente adicional e o dito primeiro arranjo de transdutor complacente à primeira parte de saída do dito elemento acionador.

 10. TRANSDUTOR DE MOVIMENTO, de acordo com a

reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o dito elemento acionador é um elemento piezelétrico.

11. TRANSDUTOR DE MOVIMENTO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o dito
5 elemento acionador é um acionador térmico.

12. TRANSDUTOR DE MOVIMENTO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o dito elemento acionador é um motor elétrico.

13. TRANSDUTOR DE MOVIMENTO, de acordo com a
10 reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o dito elemento acionador é um sistema hidráulico.

14. TRANSDUTOR DE MOVIMENTO, caracterizado pelo fato de compreender:

um primeiro membro base, em que o dito primeiro
15 membro base tem um eixo geométrico longitudinal;

um segundo membro base arranjado em relação fixa com o dito primeiro membro base; e

um primeiro arranjo de transdutor complacente que tem:

20 uma primeira estrutura de transdutor complacente instalada em relação fixa com o dito primeiro membro base, em que a dita primeira estrutura de transdutor complacente tem uma entrada para receber um primeiro deslocamento de entrada dirigido a um ângulo predeterminado em relação ao eixo
25 geométrico longitudinal do dito primeiro membro base e uma saída para produzir uma primeira força de saída; e

uma segunda estrutura de transdutor complacente instalada em relação fixa com o dito segundo membro base, em que a dita segunda estrutura de transdutor complacente tem
30 uma entrada para receber a primeira força de saída da dita primeira estrutura de transdutor complacente e uma saída para produzir uma segunda força de saída.

15. TRANSDUTOR DE MOVIMENTO, de acordo com a

reivindicação 14, caracterizado pelo fato de que a segunda força de saída é dirigida substancialmente em oposição ao primeiro deslocamento de entrada.

16. TRANSDUTOR DE MOVIMENTO, de acordo com a
5 reivindicação 14, caracterizado pelo fato de que também é provido:

um segundo arranjo de transdutor complacente que tem:

uma primeira estrutura de transdutor complacente
10 instalada em relação fixa com o dito primeiro membro base, em que a dita primeira estrutura de transdutor complacente tem uma entrada para receber um primeiro deslocamento de entrada dirigido a um ângulo predeterminado em relação ao eixo geométrico longitudinal do dito primeiro membro base e uma
15 saída para produzir uma primeira força de saída; e

uma segunda estrutura de transdutor complacente instalada em relação fixa com o dito segundo membro base, em que a dita segunda estrutura de transdutor complacente tem uma entrada para receber a primeira força de saída da dita
20 primeira estrutura de transdutor complacente e uma saída para produzir uma segunda força de saída; e

um acoplador para acoplar as entradas das ditas primeiras estruturas de transdutor complacente dos ditos primeiro e segundo arranjos de transdutor complacente.

25 17. TRANSDUTOR DE MOVIMENTO, de acordo com a reivindicação 16, caracterizado pelo fato de que também é provido um elemento acionador que tem uma primeira parte de saída acoplada à entrada do dito primeiro arranjo de transdutor complacente para produzir o primeiro deslocamento
30 de entrada, e uma parte de montagem para acoplar o dito primeiro membro base.

18. TRANSDUTOR DE MOVIMENTO, caracterizado pelo fato de compreender:

um membro base que tem um eixo geométrico longitudinal;

um elemento de entrada arranjado a um ângulo predeterminado em relação ao dito elemento base; e

5 primeiro e segundo arranjos de transdutor complacente, cada um dos quais tem:

 um primeira estrutura de transdutor complacente respectivamente associada acoplada ao dito membro base, em que a dita primeira estrutura de transdutor complacente tem
10 uma entrada para receber um primeiro deslocamento de entrada dirigido a um ângulo predeterminado em relação ao eixo geométrico longitudinal do dito primeiro membro base e uma saída para produzir uma primeira força de saída, e a entrada é acoplada ao dito elemento de entrada; e

15 uma segunda estrutura de transdutor complacente que tem uma primeira entrada para receber a primeira força de saída da dita primeira estrutura de transdutor complacente respectivamente associada, uma segunda entrada para acoplar o dito elemento de entrada, e uma saída para produzir uma
20 segunda força de saída.

 19. TRANSDUTOR DE MOVIMENTO, de acordo com a reivindicação 18, caracterizado pelo fato de que é provido um elemento acionador adicional que tem uma primeira parte para acoplar o dito elemento de entrada e uma segunda parte para
25 acoplar em relação fixa com o dito membro base.

 20. SISTEMA DE TRANSDUTOR, conforme definido na reivindicação 18, caracterizado pelo fato de que é provido um acoplador de saída adicional para acoplar as saídas das ditas segundas estruturas de transdutor complacente uma à outra.

30 21. SISTEMA DE TRANSDUTOR, caracterizado pelo fato de compreender:

 uma estrutura de transdutor complacente que tem uma característica de resposta predeterminada, e a dita estrutura

de transdutor complacente também tem uma entrada para receber um sinal de entrada mecânico e uma saída para produzir um sinal de saída mecânico correspondente, em que o sinal de saída mecânico é responsivo ao sinal de entrada mecânico e à
5 característica de resposta predeterminada da dita estrutura de transdutor complacente;

um acionador que tem uma entrada para receber um sinal de entrada elétrico, e uma saída do acionador para acoplar na entrada da dita estrutura de transdutor
10 complacente; e

um arranjo de acoplador de carga para acoplar a saída da dita estrutura de transdutor complacente à carga.

22. SISTEMA DE TRANSDUTOR, de acordo com a reivindicação 21, caracterizado pelo fato de que o dito
15 arranjo acoplador de carga é configurado para acoplar uma superfície de controle de um aerofólio.

23. SISTEMA DE TRANSDUTOR, de acordo com a reivindicação 21, caracterizado pelo fato de que o dito arranjo acoplador de carga é configurado para acoplar um
20 Sistema de Excitação de Camada Limite Ativo (ABLE).

24. SISTEMA DE TRANSDUTOR, de acordo com a reivindicação 21, caracterizado pelo fato de que o dito arranjo acoplador de carga é configurado para acoplar um
painel da carroçaria de um veículo.

25. SISTEMA DE TRANSDUTOR, de acordo com a reivindicação 21, caracterizado pelo fato de que o dito arranjo acoplador de carga é configurado para acoplar um
pára-brisa de um veículo.

26. SISTEMA DE TRANSDUTOR, de acordo com a reivindicação 21, caracterizado pelo fato de que o dito
30 elemento acionador é um elemento piezelétrico, e a característica de resposta predeterminada da dita estrutura de transdutor complacente inclui uma frequência natural

determinada pela relação:

$$\omega = 2\pi f = \frac{\sqrt{k_{\text{piezo}}}}{GA^2m}$$

27. SISTEMA DE TRANSDUTOR, de acordo com a
5 reivindicação 21, caracterizado pelo fato de que o dito
elemento acionador é um motor elétrico.

28. SISTEMA DE TRANSDUTOR, de acordo com a
reivindicação 21, caracterizado pelo fato de que o dito
elemento acionador é um acionador térmico.

10 29. SISTEMA DE ABSORÇÃO DE ENERGIA, caracterizado
pelo fato de compreender:

uma estrutura de transdutor complacente que tem uma
característica de resposta predeterminada, e a dita estrutura
de transdutor complacente também tem uma entrada para receber
15 um sinal de entrada mecânico e uma saída para produzir um
sinal de saída mecânico correspondente, em que o sinal de
saída mecânico é responsivo ao sinal de entrada mecânico e à
característica de resposta predeterminada da dita estrutura
de transdutor complacente; e

20 um arranjo de absorção de energia mecânica acoplado
à saída da dita estrutura de transdutor complacente para
receber o sinal de saída mecânico.

30. SISTEMA DE ABSORÇÃO DE ENERGIA, de acordo com
a reivindicação 29, caracterizado pelo fato de que também é
25 provido um arranjo de acoplador de entrada para acoplar a
entrada da dita estrutura de transdutor complacente a uma
fonte de energia mecânica.

31. SISTEMA DE ABSORÇÃO DE ENERGIA, de acordo com
a reivindicação 29, caracterizado pelo fato de que o dito
30 arranjo de absorção de energia mecânica é configurado para
converter o sinal de saída mecânico em um sinal de saída
elétrico correspondente.

32. SISTEMA DE ABSORÇÃO DE ENERGIA, de acordo com

a reivindicação 31, caracterizado pelo fato de que também são providos:

uma estrutura de transdutor complacente que tem uma característica de resposta predeterminada, em que a dita
5 estrutura de transdutor complacente também tem uma entrada para receber um sinal de entrada mecânico e uma saída para produzir um sinal de saída mecânico correspondente, e o sinal de saída mecânico é responsivo ao sinal de entrada mecânico e à característica de resposta predeterminada da dita estrutura
10 de transdutor complacente;

um acionador que tem uma entrada do acionador para receber um sinal de entrada elétrico de entrada, e uma saída do acionador para acoplar na entrada da dita estrutura de transdutor complacente; e

15 um arranjo de realimentação para fornecer um sinal elétrico de correção à entrada do acionador, em que o dito sinal elétrico de correção é responsivo ao sinal de saída elétrico correspondente do dito arranjo de absorção de energia mecânica.

20 33. SISTEMA DE ABSORÇÃO DE ENERGIA, de acordo com a reivindicação 29, caracterizado pelo fato de que o dito arranjo de absorção de energia mecânica é um atenuador para converter o sinal de saída mecânico em calor.

25 34. SISTEMA DE ABSORÇÃO DE ENERGIA, de acordo com a reivindicação 29, caracterizado pelo fato de que também é provido um material atenuador resiliente instalado para se comunicar com os elementos complacentes da dita estrutura de transdutor complacente.

30 35. SISTEMA DE TRANSDUTOR, caracterizado pelo fato de compreender:

um arranjo de transdutor complacente que tem:

uma primeira estrutura de transdutor complacente que tem uma configuração triangular substancialmente planar

com duas pernas unidas uma à outra em um ápice, em que o ápice é configurado para receber um sinal de entrada mecânico; e

5 uma segunda estrutura de transdutor complacente que tem uma configuração em forma de U substancialmente planar com duas ramificações unidas uma à outra em uma dobra da configuração em forma de U,

10 em que a dita segunda estrutura de transdutor complacente é arranjada para circundar a dita primeira estrutura de transdutor complacente em uma relação coplanar em que as duas ramificações da dita segunda estrutura de transdutor complacente são acopladas em suas respectivas extremidades distais da dobra respectivamente às extremidades associadas das duas pernas da dita primeira estrutura de
15 transdutor complacente, e o ápice da dita primeira estrutura de transdutor complacente é disposto entre as duas pernas da dita segunda estrutura de transdutor complacente.

20 36. SISTEMA DE TRANSDUTOR, de acordo com a reivindicação 35, caracterizado pelo fato de que são providos:

25 um arranjo de transdutor complacente adicional, em que o dito arranjo de transdutor complacente e a dita estrutura de transdutor complacente adicional são dispostos paralelos entre si, com o que o ápice do dito arranjo de transdutor complacente é disposto para ser dirigido para o
30 ápice do dito arranjo de transdutor complacente adicional; e

 um arranjo de acoplamento para acoplar o dito arranjo de transdutor complacente e o dito arranjo de transdutor complacente adicional um ao outro.

30 37. SISTEMA DE TRANSDUTOR, de acordo com a reivindicação 36, caracterizado pelo fato de que o dito arranjo de acoplamento compreende:

 um primeiro prendedor para acoplar a dobra do dito

arranjo de transdutor complacente ao ápice do dito arranjo de transdutor complacente adicional; e

um segundo prendedor para acoplar a dobra do dito arranjo de transdutor complacente adicional ao ápice do dito arranjo de transdutor complacente.

38. SISTEMA DE TRANSDUTOR, de acordo com a reivindicação 37, caracterizado pelo fato de que os ditos primeiro e segundo prendedores são arranjados em uma relação distal predeterminada entre si, e uma relação de transmissão do arranjo de transdutor complacente acoplado e do arranjo de transdutor complacente adicional é responsiva à relação distal predeterminada entre os ditos primeiro e segundo prendedores.

39. SISTEMA DE TRANSDUTOR, de acordo com a reivindicação 36, caracterizado pelo fato de que também é provido um acionador que têm uma primeira saída arranjada para se comunicar com o ápice do dito arranjo de transdutor complacente, e uma segunda saída arranjada para se comunicar com o ápice do dito arranjo de transdutor complacente adicional.

40. SISTEMA DE TRANSDUTOR, de acordo com a reivindicação 39, caracterizado pelo fato de que o dito acionador compreende um acionador piezelétrico.

41. SISTEMA DE TRANSDUTOR, de acordo com a reivindicação 39, caracterizado pelo fato de que o dito acionador compreende um acionador térmico.

Fig. 1 (Técnica anterior)

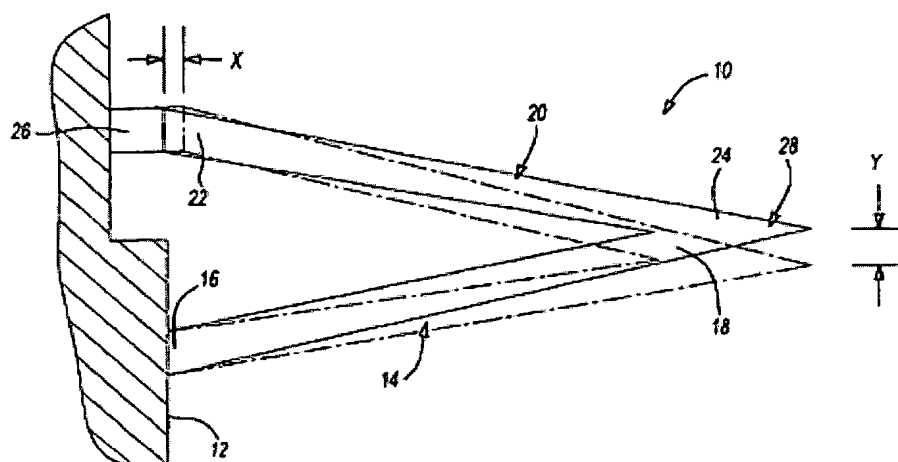


Fig. 2 (Técnica anterior)

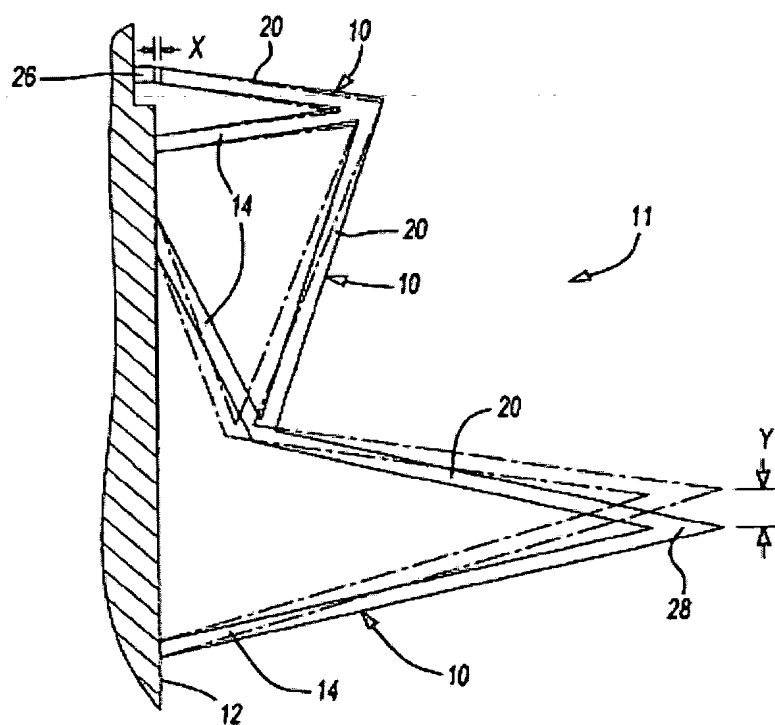


Fig. 3 (Técnica anterior)

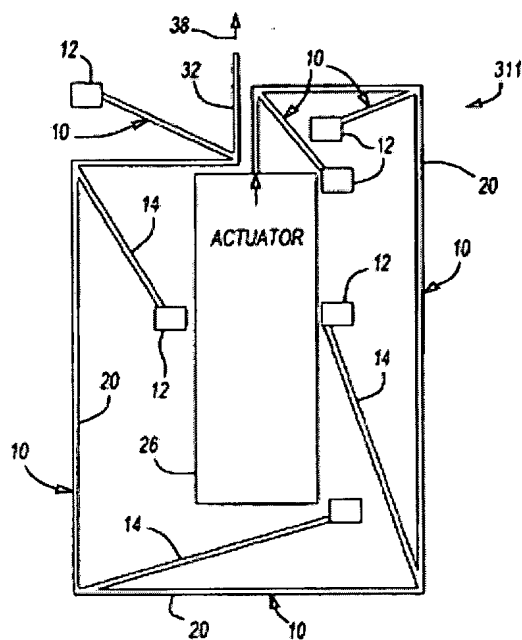


Fig. 4 (Técnica anterior)

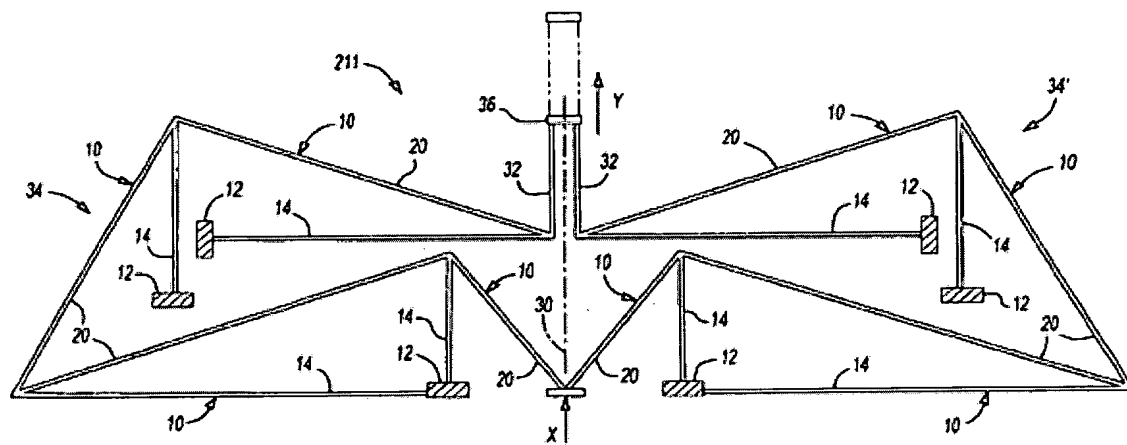


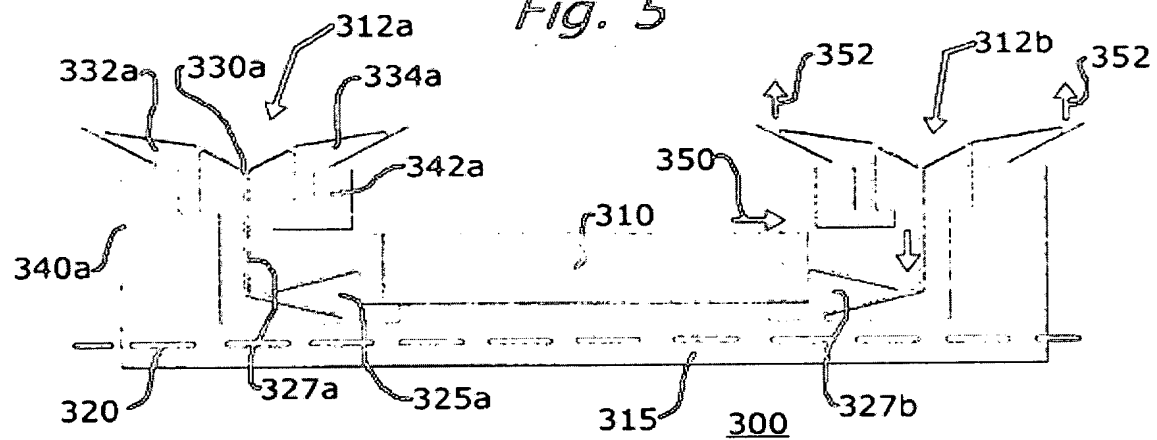
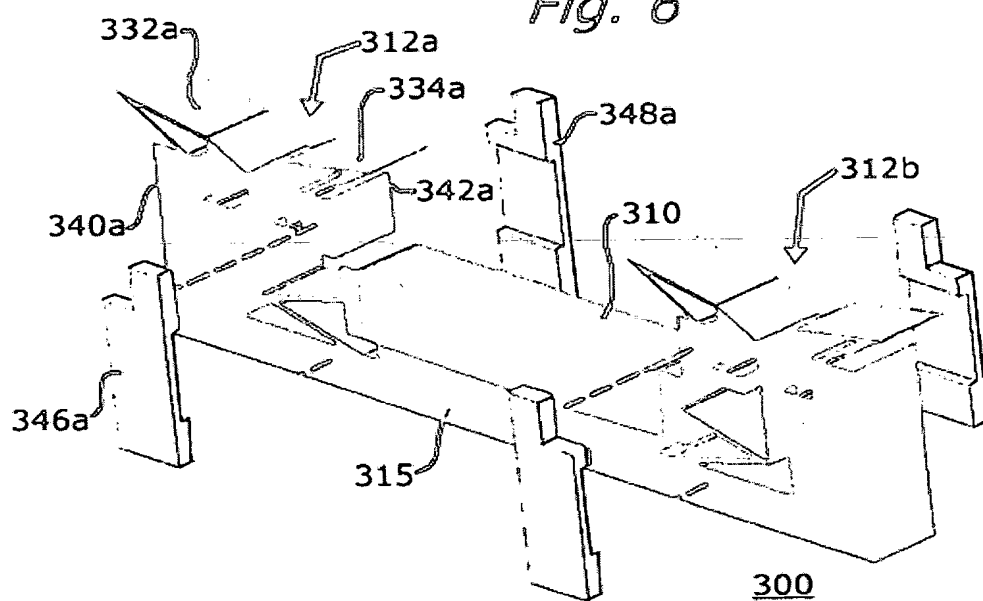
Fig. 5*Fig. 6*

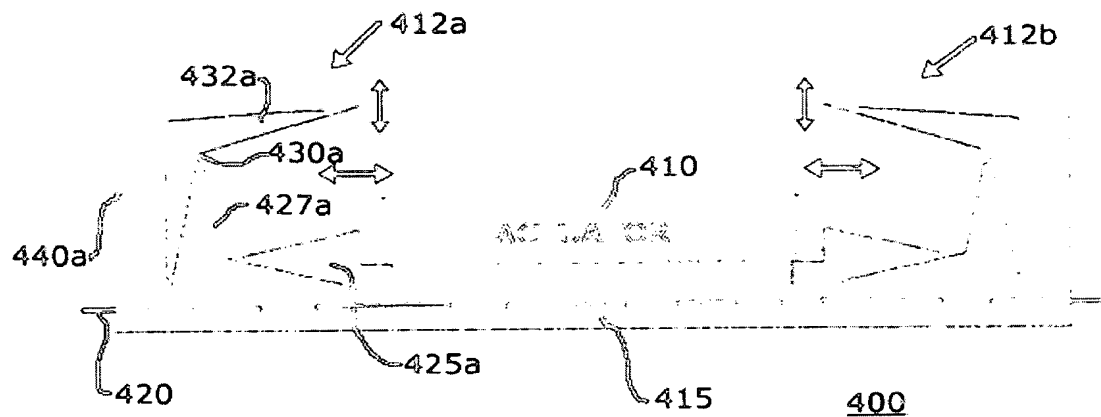
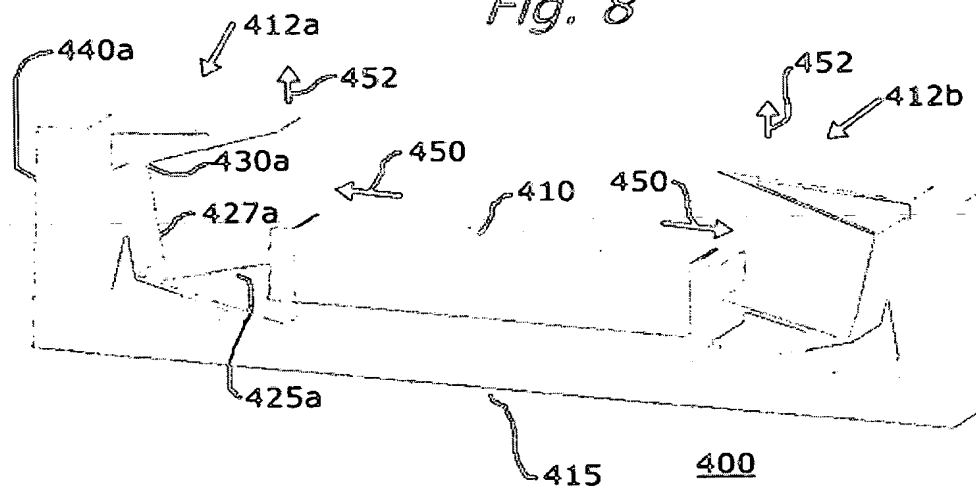
Fig. 7*Fig. 8*

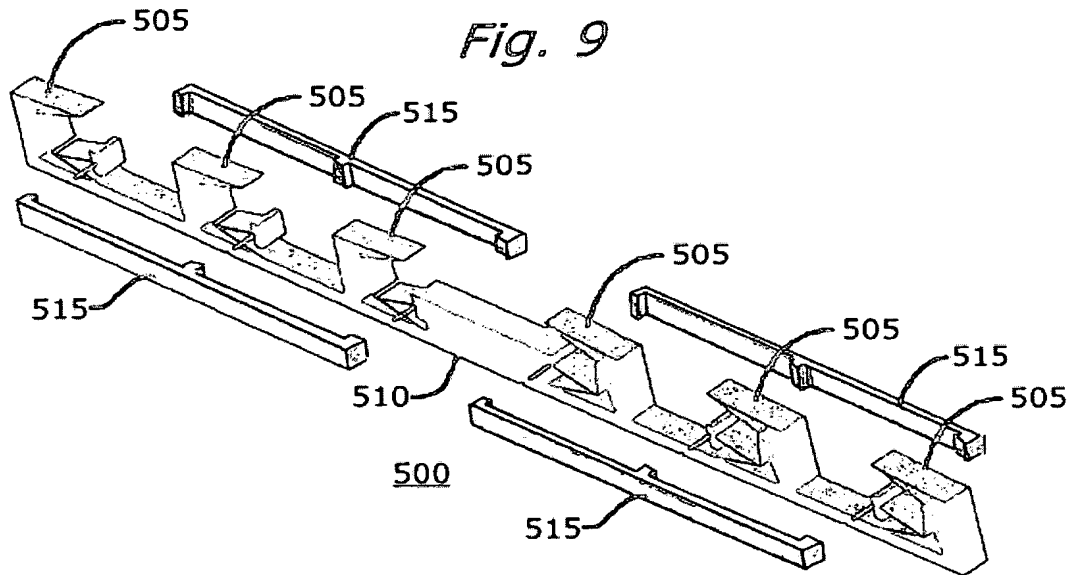
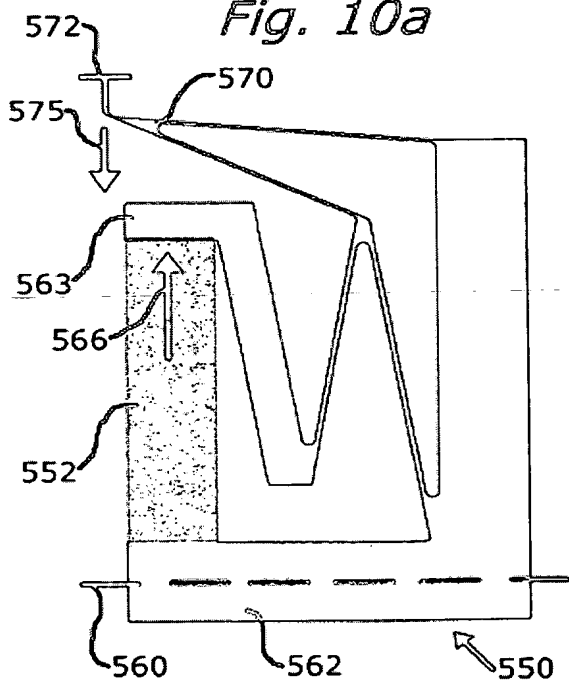
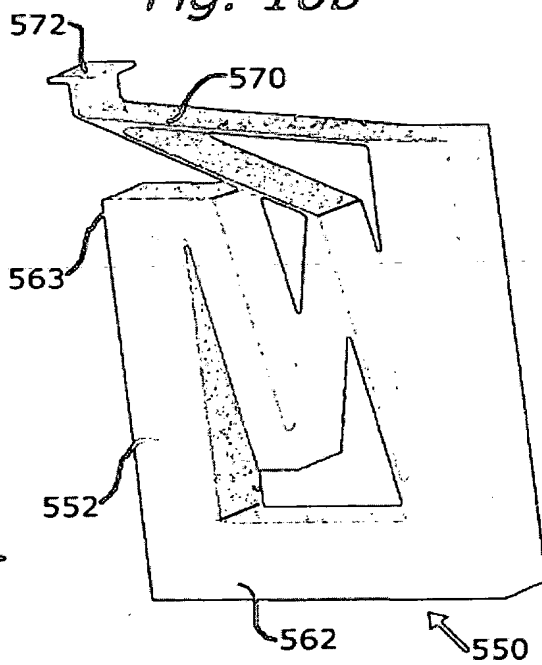
Fig. 9*Fig. 10a**Fig. 10b*

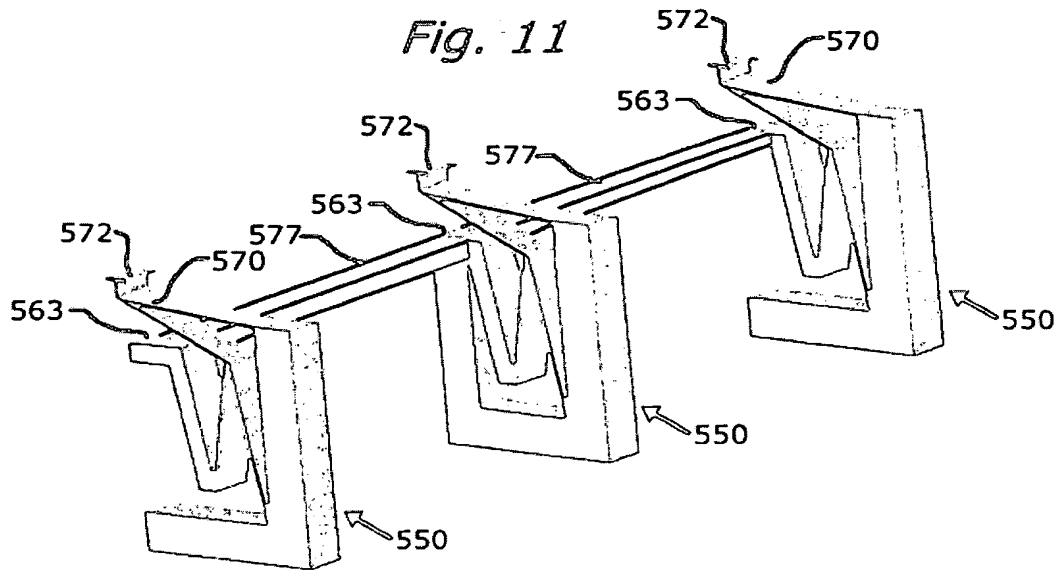
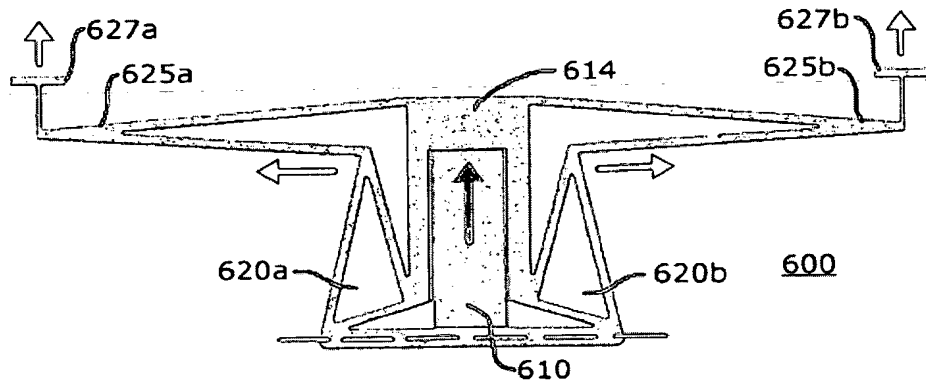
Fig. 11*Fig. 12*

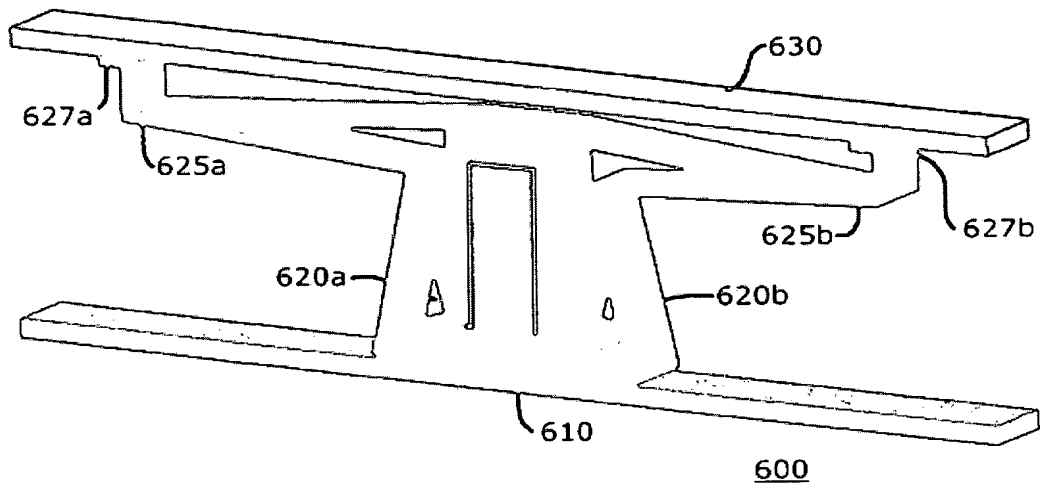
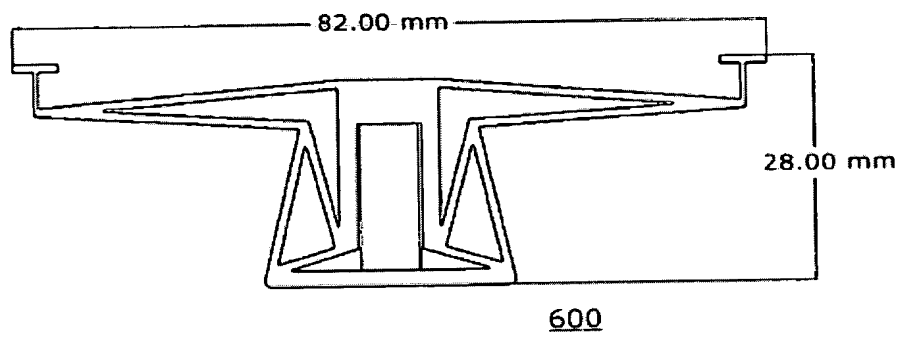
Fig. 13*Fig. 14*

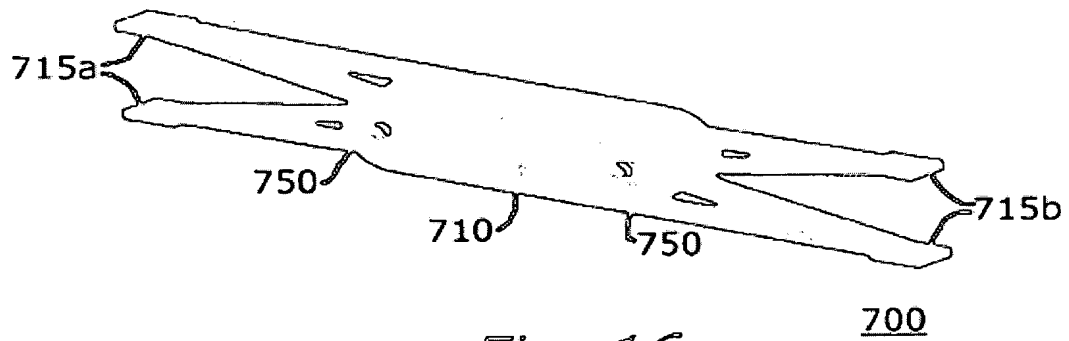
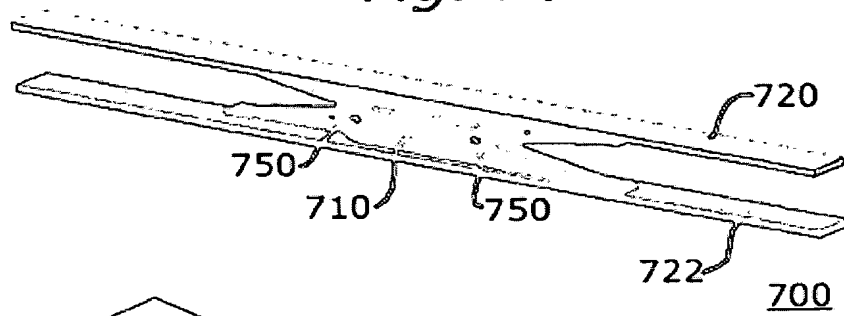
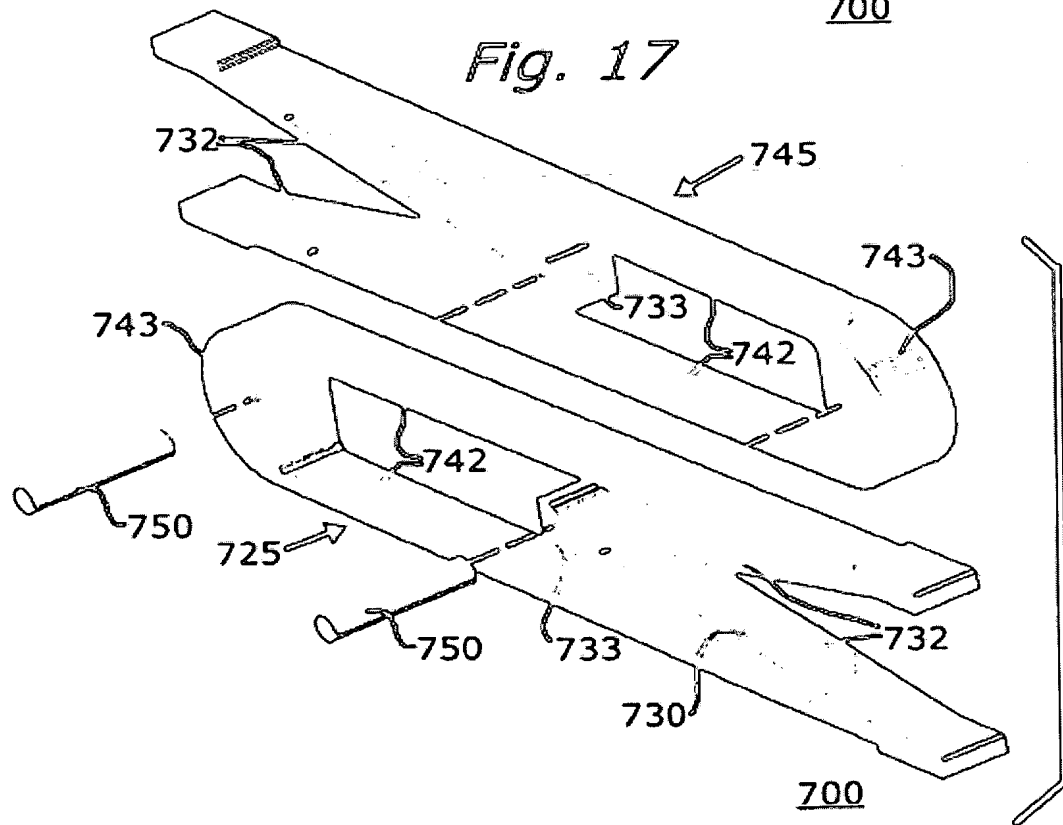
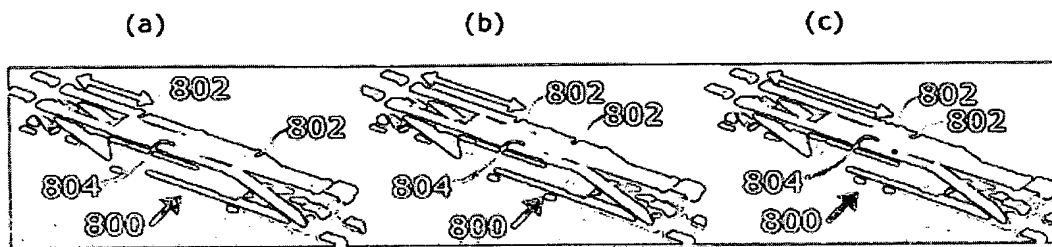
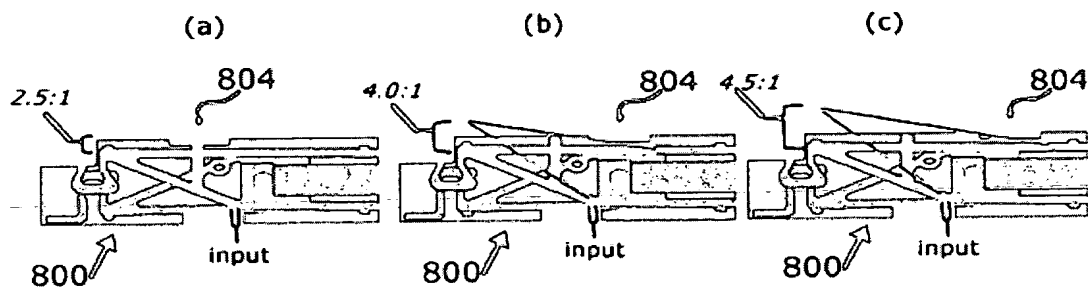
Fig. 15*Fig. 16**Fig. 17*

Fig. 18

Soldas mostradas em três posições para variar o "ponto em pivô" eficaz.

Fig. 19

A razão de transmissão aumenta à medida que o "pivô" é movido para a direita

Fig. 20

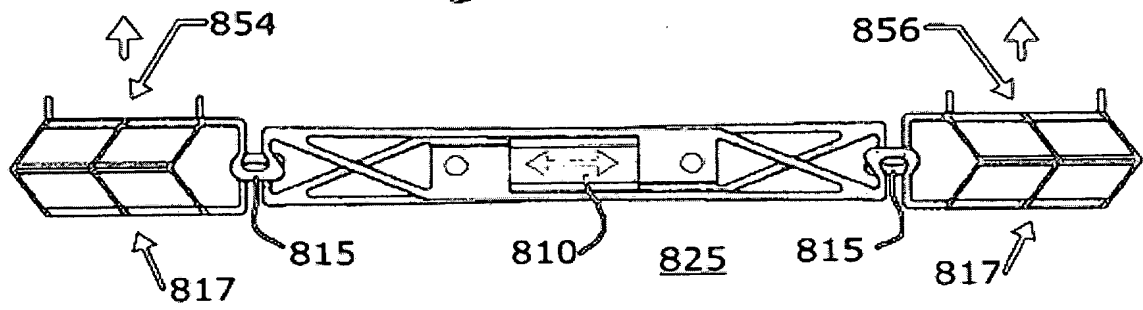


Fig. 21

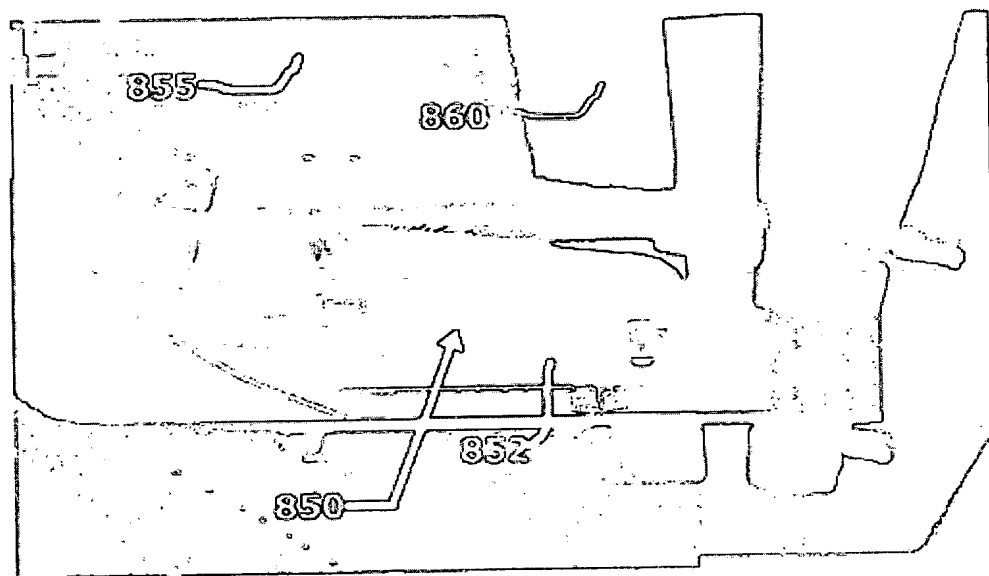


Fig. 22

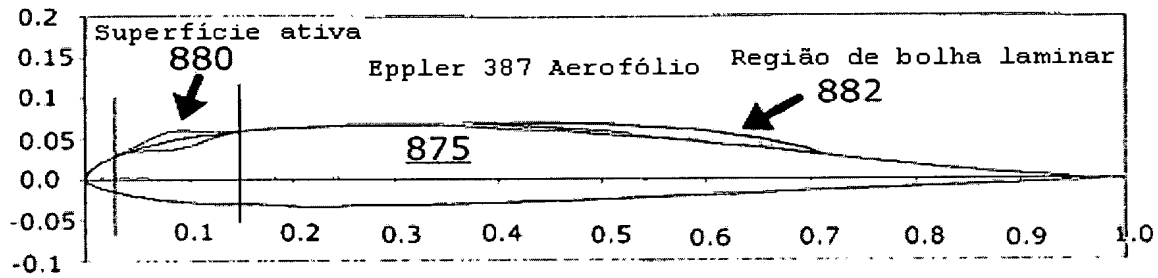


Fig. 23

Sistema Active Boundary Layer Excitation

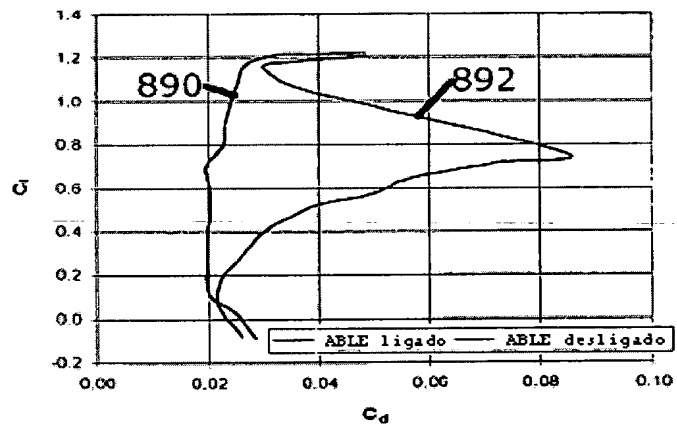
Teste realizado com $RE = 60k$

Fig. 24

Alpha (graus)	% Redução de C_d
-1	9
0	22
1	34
2	41
3	49
4	61
5	60
6	68
7	72
8	29
9	10
10	14

RESUMOTRANSDUTOR DE MOVIMENTO, SISTEMA DE TRANSDUTOR E
SISTEMA DE ABSORÇÃO DE ENERGIA

Um amplificador do deslocamento recebe um sinal de
5 deslocamento de acionamento de um acionador piezelétrico. O
sinal do deslocamento é amplificado por um ou mais estágios
de elementos complacentes, e uma força correspondente é
aplicada a uma carga. A resposta de frequência ampla é obtida
em resposta às características de resiliência dos elementos
10 complacentes que são formados a partir de qualquer um de
vários materiais, ilustrativamente o alumínio, aço, titânio,
plásticos, compósitos, etc., e são produzidos por qualquer
uma de várias técnicas de manufatura, ilustrativamente a
extrusão, fundição em matriz, forja, etc. Os elementos
15 complacentes podem ser configurados como uma pluralidade de
estágios de amplificadores de deslocamento mecânicos
complacentes. Em arranjos bilaterais, sinais de deslocamento
das extremidades distais da fonte motiva são aplicados a
arranjos simétricos, ou de imagem no espelho, de elementos
20 complacentes. A fonte motiva, que pode ser um acionador
piezelétrico, aplica o seu sinal de deslocamento em uma
extremidade da mesma a um ou mais elementos complacentes. A
outra extremidade do acionador piezelétrico pode ser ligada a
terra.