



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

(21) PI 0716949-3 A2



(22) Data de Depósito: 12/09/2007
(43) Data da Publicação: 29/10/2013
(RPI 2234)

(51) Int.Cl.:
H02K 41/02
H02K 3/04
H02K 21/24
H02K 9/00
H02K 55/00

(54) Título: MÁQUINA ELETROMAGNÉTICA

(57) Resumo:

(30) Prioridade Unionista: 13/09/2006 GB 0617989.9

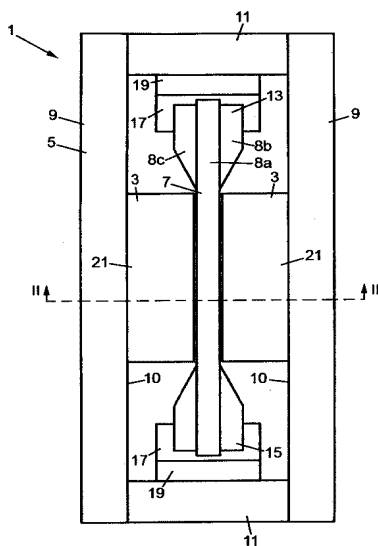
(73) Titular(es): Wireless Motor Developments Limited

(72) Inventor(es): Phillip Raymond Michael Denne

(74) Procurador(es): Momsen, Leonardos & Cia.

(86) Pedido Internacional: PCT GB2007003482 de
12/09/2007

(87) Publicação Internacional: WO 2008/032080 de
20/03/2008



“MÁQUINA ELETROMAGNÉTICA”

A presente invenção refere-se a máquinas eletromagnéticas como motores lineares e motores rotativos.

5 Máquinas eletromagnéticas convencionais são projetadas para produzir uma força pela interação mútua de padrões de campo magnético produzido tanto pela armadura como pelo estator, pelo menos um dos padrões de campo magnético sendo variado eletricamente, e estas máquinas sendo referidas, aqui, como máquinas "intermagnéticas".

10 Em máquinas "intermagnéticas" convencionais a parte elétrica da máquina consiste de bobinas de fio que são enroladas em entalhes de uma estrutura de ferro. A estrutura de ferro mantém as bobinas em posição e provê a resistência mecânica necessária para transferir as forças eletromagnéticas sobre os fios para o corpo da máquina - e também serve como um caminho de baixa relutância para o fluxo magnético.

15 Máquinas “intermagnéticas” são construídas de modo que a área envolvida por um condutor enlaçado (ou por um feixe equivalente de condutores) seja casada àquela das peças de polo magnético, ou seja, uma fração grosseira das mesmas (isto é, a área envolta por um número inteiro, pequeno, de condutores enlaçados é casada com a área de peças de polo magnético). Além disso, em máquinas "intermagnéticas", a área frontal da
20 bobina é relativamente pequena e a bobina envolve freqüentemente um volume de material magnético de alta permeabilidade, cuja função é reduzir a distância do vão de ar do circuito magnético e prover um suporte rígido sobre o qual a bobina é enrolada. Para fazer as bobinas circundarem o ferro, as
25 bobinas de uma máquina "intermagnética" são colocadas geralmente em entalhes cortados no ferro - as próprias bobinas não estando no vão de ar, e a distância do vão de ar sendo pequena.

É conhecida a construção de motores elétricos lineares de forma cilíndrica nos quais a transmissão é uma haste ou tubo, ou de forma

planar, nos quais a armadura se move sobre a superfície do estator ou em um canal entre dois estatores similares. É conhecida, também, a construção destas máquinas com uma armadura não conectada externamente, mas que é usada como um pistão para compressão, expansão controlada (o motor sendo
5 acionado inversamente e atuando como um gerador) ou como uma massa inercial, as forças de reação sendo acopladas à carga através do estator.

Em uma ou outra topologia, a parte magnética consiste geralmente de um conjunto de ímãs permanentes que produz um campo magnético espacialmente periódico, transversal à lugar geométrico do
10 movimento relativo. A parte elétrica de um motor linear consiste de pelo menos um arranjo de bobinas, ou condutores elétricos, cruzando o mencionado campo magnético espacialmente periódico em uma direção ortogonal, tanto à lugar geométrico do movimento, como ao campo magnético.

15 A estrutura de ferro mantendo as bobinas em posição resulta nos condutores elétricos serem efetivamente imersos no ferro. Um resultado importante da utilização desta topologia é que a densidade de fluxo efetiva experimentada pelo fio é limitada pela geometria prática dos entalhes na estrutura de ferro e pela permeabilidade do ferro, de modo que o fio se
20 comporta como se cruzasse um campo magnético cuja densidade de fluxo de trabalho fosse, geralmente, da ordem de 0,6Tesla.

É desejável operar uma máquina eletromagnética com uma alta densidade de fluxo na região das bobinas de modo a reduzir a corrente necessária para qualquer força de transmissão, ou torque, dados. Isso é devido
25 à força P (em Newtons) produzida por uma máquina eletromagnética ser o produto vetorial da resistência do campo magnético B (em Tesla) do comprimento do caminho da corrente elétrica L (em metros) e a resistência desta corrente I (em Ampères). Além disso, uma vez que a perda de calor resistivo (chamada normalmente "perda de cobre") aumenta com o quadrado

da corrente, é especialmente desejável usar uma alta densidade de fluxo de trabalho nas máquinas em que seja necessário produzir transmissão de alto empuxo, para minimizar a perda de cobre.

Neste pedido, descrevemos meios pelos quais a densidade de
 5 fluxo magnético na qual os condutores estão imersos pode ser aumentada para aproximadamente 1,5Tesla, que é o ponto em que começa a ser limitada pela saturação de materiais magnéticos prontamente disponíveis, como aço doce. Pelo uso de materiais magnéticos especiais, a resistência de campo pode ser aumentada ainda mais.

10 A resistência de campo magnético maior tem a desvantagem de produzir forças internas maiores dentro da máquina, devido à força F (Newtons) entre duas superfícies magnéticas planas tendo uma área A (m^2) e ligadas pelo fluxo magnético tendo uma densidade B (Tesla), aumentar com o quadrado da densidade de fluxo ligando aquelas superfícies e sendo dada
 15 aproximadamente por

$$F = 400.000 B^2 A$$

Quer dizer, o campo produz "uma pressão magnética" efetiva forçando mutuamente as duas superfícies, cujo valor em Bar é igual a $4B^2$.

Por exemplo, se uma densidade de fluxo de 1,5Tesla emerge
 20 de uma peça de pólo com 5mm de largura e 100mm de comprimento, a peça de polo é atraída, constantemente, para uma placa de retorno de fluxo adjacente por uma força de 450 Newtons. Uma armadura típica, com 50 destas peças de pólo, produzirá uma grande força magnetostática de 22.500Newtons. Se a eficiência elétrica da máquina for aperfeiçoada pelo uso
 25 de materiais magnéticos especiais e a densidade de fluxo for aumentada para 2 Tesla, a força magnetostática produzida por uma armadura do mesmo tamanho aumentará para 40.000 Newtons.

Muitos motores lineares convencionais são projetados de modo a consistir de uma armadura com um estator sobre apenas um lado, a

armadura sendo mantida afastada do estator por um sistema de suporte. Qualquer aumento proposto na densidade de fluxo entre as duas peças é desencorajada devido a toda a força magnetostática ter que ser resistida pelos suportes da armadura.

5 A topologia de um motor linear industrial é freqüentemente modificada de modo que a armadura elétrica se desloque ao longo do eixo de um canal de lados paralelos revestido com ímãs, de modo que experimente forças de atração aproximadamente iguais para os lados opostos do canal do estator. Não obstante, deverá ser compreendido que qualquer desequilíbrio
10 entre estas forças opostas terá que ser resistido pelos suportes que centralizam a posição da armadura. Quando a densidade de fluxo é aumentada, o valor destas forças opostas aumenta rapidamente e o efeito de qualquer desequilíbrio também é maior. Desse modo, os suportes da armadura de um motor linear convencional devem ser feitos mais robustos, se a densidade de
15 fluxo tiver que ser aumentada.

 As características, mesmo dos melhores materiais magnéticos disponíveis, são tais que a densidade ótima de fluxo de trabalho, na superfície de um ímã permanente (a condição de BH máximo), é apenas uma fração de 1 Tesla. Desse modo, se a densidade de fluxo no vão entre a armadura e o
20 estator tiver que ser aumentada para mais de 1 Tesla, é necessário usar peças de pólo que concentrem o fluxo, a partir da superfície do ímã, em uma área muito menor. A densidade de fluxo é, então, multiplicada pela relação de área, provendo que o material de peça de pólo não sature magneticamente.

 Em alguns dos pedidos anteriores do atual solicitante em
25 relação às máquinas cilíndricas, os ímãs são discos lisos planos, magnetizados entre superfícies paralelas. Nestes projetos, uma peça de pólo de ferro de forma similar é ajustada sobre cada lado do ímã, de modo que as peças de pólo sejam o "pão" de um sanduíche circular com o ímã no meio, que são referidas, em conjunto, como "uma unidade de força magnética". A função

das peças de pólo é concentrar o fluxo a partir das faces planas do ímã e desviá-lo radialmente de modo que ele emergja a partir da periferia cilíndrica das peças de pólo.

5 Nas máquinas descritas neste pedido, os ímãs e as peças de pólo são placas planas e o fluxo é arranjado para emergir (em concentração aumentada) a partir de dois lados planares opostos. Em máquinas trifásicas, as peças de pólo e os ímãs têm a mesma espessura - e esta dimensão também é o espaçamento entre as bobinas ao longo do eixo de movimento. Assim, se for necessário diminuir a espessura axial da peça de pólo de modo a concentrar
10 ainda mais o fluxo, a espessura do ímã, e as dimensões dos condutores elétricos, também devem diminuir. Por isso, uma máquina tendo uma alta densidade de fluxo tem mais pólos magnéticos (de polaridade alternada) por unidade de comprimento de sua linha de movimento. Para qualquer velocidade de deslocamento dada da armadura em relação ao estator, a
15 freqüência de alterações do fluxo aumenta com a densidade de fluxo do projeto.

O ferro associado com os condutores elétricos é comumente chamado "ferro de suporte" e a amplitude e a direção do fluxo magnético no ferro, alternam quando a armadura se move em relação ao estator. Esta
20 alternância de direção de campo faz com que a energia seja dissipada no ferro - e a "perda de ferro" aumenta com o quadrado da densidade de fluxo.

Por todas as razões acima, máquinas elétricas de alta densidade de fluxo de trabalho não estão geralmente disponíveis e são restritas a aplicações especializadas para as quais as correspondentes
25 desvantagens podem ser aceitas.

A US 4.319.152 descreve o uso de laminações de metal padronizadas no lugar das bobinas enroladas em máquinas elétricas rotativas. Entretanto, o uso de condutores laminares é descrito apenas como sendo usado para a energização de eletroímãs e como uma substituição simples e

direta para o fio que poderia ter sido usado para a mesma função. Deve também ser notado que a Figura 3 da US 4.319.152 mostra duas formas de um ferro entalhado, ou núcleo de ferrita, dentro do qual se pretende que as laminações de metal sejam colocadas - não há nenhuma intenção de que o ferro de suporte deva ser eliminado, nem de que os condutores laminares devam ser autosuportados.

A GB-A-1.420.391 descreve a construção de um sistema de bobina para produzir campos magnéticos para a levitação de veículos especializados sobre trilhos. Pelo uso de pelo menos outro conjunto de bobinas, os campos magnéticos podem ser comutados de modo a produzir uma força diferencial provocando movimento, para frente, dos veículos sobre trilhos.

A JP-A-62.189.931 descreve numerosos métodos de construção de um componente elétrico de um motor rotativo usando um condutor de fita.

È conhecido o uso de uma pilha de ímãs permanentes de discos planos, circulares, e de peças de pólo, para construir um campo magnético alternado axialmente tendo uma alta densidade de fluxo radial. Entretanto, estas estruturas cilíndricas da técnica anterior são fortemente limitadas em relação à força axial máxima que são capazes de produzir continuamente devido à:

1. O empuxo do pistão magnético é proporcional ao seu volume, ou massa - diretamente ao seu comprimento e ao quadrado de seu diâmetro.
2. Há, em qualquer aplicação, um limite prático para o comprimento do pistão de um atuador cilíndrico e é, conseqüentemente, necessário aumentar o diâmetro do disco se for necessário um empuxo maior em um espaço limitado. Mas há, também, um limite para o diâmetro máximo de um disco de ímã de peça única, que é determinado pelas dificuldades

práticas de sua fabricação como um componente sinterizado.

3. Há um limite similar ao volume de um ímã de peça única que é determinado pela energia necessária para sua energização por um campo magnético pulsado.

5 4. Quando o tamanho da unidade de um ímã permanente poderoso é aumentado, ele se torna mais perigoso de manusear durante o processo de construção do motor.

5. Se for essencial usar um ímã de disco de grande diâmetro, não há nenhuma alternativa além da montagem do disco circular grande a partir de muitos ímãs segmentados menores, que devem primeiro ser magnetizados e a seguir reunidos (contra forte repulsão mútua) antes de ser ligados a uma peça de pólo de ferro. Este processo de montagem é, tanto
10 difícil, como perigoso.

6. A remanência magnética é diminuída ao longo da linha de
15 cada junção entre os segmentos (um efeito chamado "de franja"), de modo que, a partir de um ímã montado, está disponível uma quantidade de fluxo magnético, menor do que aquela a partir de um componente equivalente de peça única

7. Em um atuador linear cilíndrico de construção
20 convencional, todas as bobinas que formam os enrolamentos de fase devem ser construídas individualmente, montadas como uma pilha e conectadas mutuamente com o faseamento correto, a seguir, ligadas umas às outras, a um revestimento interno que forma a superfície de suporte para o pistão e finalmente ao revestimento externo espesso que forma o ferro de suporte da
25 máquina. Este processo de fabricação exige muita mão de obra, sua qualidade é difícil de controlar, e é caro.

Não obstante, há uma demanda para atuadores lineares cilíndricos maiores e mais poderosos do que aqueles que podem ser construídos de acordo com a técnica anterior. Por essa razão desenvolvemos

uma faixa de máquinas elétricas de alta potência que são eficientes, de custo relativamente baixo e de fabricação segura. Os novos motores são montados a partir de numerosas máquinas elementares, cujos princípios da construção e de funcionamento estão descritos abaixo.

5 É um objetivo desta invenção prover um meio de construir uma máquina elétrica na qual os condutores elétricos sejam colocados em um campo magnético de alta densidade de fluxo, minimizando, desse modo, a "perda de cobre".

10 É um objetivo adicional desta invenção reduzir a quantidade de ferro de suporte dos condutores elétricos de modo que a "perda de ferro" seja reduzida.

 É um objetivo adicional desta invenção reduzir a atração magnética entre a armadura e o estator, reduzindo, desse modo, o desgaste do suporte e tornando o conjunto mais seguro e mais barato.

15 É um objetivo adicional desta invenção minimizar a massa de uma armadura elétrica móvel de modo a aumentar a largura de faixa operacional da máquina.

20 É um objetivo adicional desta invenção incorporar o elemento básico do motor linear aqui descrito em máquinas eletromagnéticas tendo uma faixa de topologias.

 É um objetivo adicional desta invenção mostrar meios, pelos quais, muitos destes elementos de motor podem ser combinados para formar uma faixa de máquinas elétricas de alta potência, compactas, tanto lineares, como rotativas.

25 De acordo com um primeiro aspecto da invenção é provida uma máquina eletromagnética compreendendo: uma parte magnética compreendendo uma primeira porção e uma segunda porção, disposta em relação espaçada à primeira porção, a parte magnética sendo arranjada para prover uma pluralidade de campos magnéticos através de um vão entre a

primeira porção e a segunda porção; e uma parte elétrica disposta no vão, entre a primeira e segunda porções da parte magnética, e arranjada para se mover em relação à parte magnética, a parte elétrica consistindo de um conjunto de condutores isolados eletricamente, onde, quando o conjunto de condutores é disposto em um campo magnético produzido pela parte magnética e, quando a corrente flui no conjunto de condutores, uma força eletromagnética é induzida para provocar a movimentação da parte magnética em relação à parte elétrica e onde o conjunto de condutores preenche substancialmente o vão entre a primeira e segunda porções da parte magnética, através do qual, o mencionado campo magnético, passa.

A parte elétrica pode compreender adicionalmente conjuntos de condutores eletricamente isolados arranjados ao longo de um lugar geométrico de movimento relativo das partes magnéticas e elétricas, onde conjuntos de condutores preenchem substancialmente o vão entre as primeiras e segundas porções da parte magnética, através do qual os mencionados campos magnéticos, passam.

Apesar das máquinas eletromagnéticas da técnica anterior ser do tipo "intermagnético", esta invenção refere-se a máquinas eletromagnéticas tendo partes elétricas e magnéticas distintas. Nestas máquinas, a força motora não é "intermagnética", mas resulta da ação dos campos magnéticos produzidos pela parte magnética ao movimentar cargas elétricas em condutores da parte elétrica. Além disso, será compreendido que quando acionado como um gerador, o movimento relativo das partes faz com que a corrente flua nos condutores.

Apesar de máquinas "intermagnéticas" serem construídas de modo que a área fechada por um condutor enlaçado (ou um feixe equivalente de condutores) seja casada com aquelas das peças de pólo magnético, ou seja, uma fração grosseira das mesmas, ao contrário, em máquinas eletromagnéticas constituindo modos de realização desta invenção, as

dimensões da área dos condutores elétricos (ou do feixe de condutores elementares), elas mesmas, se casam com aquelas das peças de pólo magnético, ou são uma fração grosseira das mesmas.

Apesar de, nas máquinas "intermagnéticas", a área frontal da bobina ser relativamente pequena, ao contrário, em máquinas eletromagnéticas constituindo modos de realização desta invenção, os condutores elétricos têm uma grande área frontal e são colocados diretamente no vão de ar entre as peças de pólo magnético, ou no vão de ar entre as peças de pólo magnético e o material magnético de alta permeabilidade, ou "ferro de suporte". Não é necessário que os condutores de uma máquina eletromagnética, constituindo um modo de realização desta invenção, formem laços ou bobinas completas.

O *modus operandi* das máquinas "intermagnéticas" difere do *modus operandi* das máquinas eletromagnéticas da presente invenção, devido às máquinas que são projetadas para operar por interação mútua de campos magnéticos poderem ser fisicamente distintas daquelas que são projetadas para operar eletromagneticamente.

As máquinas que personificam esta invenção não exigem bobinas de fio na parte elétrica e, portanto, estas máquinas podem ser referidas como motores "sem fio". Em vez disso, correntes elétricas fluem em condutores elétricos bidimensionais, que não são imersos em um condutor de fluxo de ferro, mas posicionados em um campo magnético de alta densidade de fluxo. As máquinas elétricas aqui descritas se beneficiam da eficiência aperfeiçoada e são capazes de produzir grandes forças e de operar a níveis de alta potência.

Os condutores podem ser caminhos de condução transversais se estendendo perpendiculares a ambos, o mencionado campo magnético e a direção do movimento relativo das partes elétricas e magnéticas.

Os caminhos de condução transversais podem formar uma

parte de um ou mais condutores elétricos laminares tendo uma forma de "S" repetida, o, ou cada condutor elétrico laminar, compreendendo adicionalmente caminhos de condução axiais se estendendo na direção do movimento relativo das partes elétricas e magnéticas, onde extremidades de
5 caminhos de condução transversais adjacentes são conectadas por um caminho de condução axial.

O condutor elétrico laminar pode ser feito de folha, tira, fita ou lâmina metálica isolada, padronizada.

Uma pluralidade de condutores elétricos laminares pode se
10 interdigitar para formar uma palheta de condutor elétrico.

Condutores elétricos laminares podem ser conectados em uma pluralidade de fases através das quais correntes elétricas separadas são arranjadas para passar, os sinais e amplitudes relativos das correntes sendo controlados de modo a determinar o valor e o sinal da força eletromagnética
15 produzida pela máquina.

Preferivelmente, condutores isolados eletricamente não são formados como bobinas. A parte elétrica disposta nos campo magnéticos pode ser feita de um material não-magnético.

O condutor elétrico laminar pode ser conectado em três fases.
20 A palheta de condutor elétrico pode ser uma estrutura mecânica planar, ou uma estrutura mecânica curva, incluindo uma estrutura mecânica circular.

Os condutores podem não ter substrato e ter uma rigidez à flexão suficiente para ser autossuportados.

25 A polaridade dos campos magnéticos pode ser espacialmente periódica ao longo do lugar geométrico de movimento relativo das partes magnéticas e elétricas.

A primeira porção da parte magnética pode compreender um primeiro arranjo magnético compreendendo ímãs feitos de material

permanentemente magnetizado.

Os ímãs podem ser ímãs planares tendo pólos opostos sobre suas faces planares voltadas em direção ao movimento relativo das partes elétricas e magnéticas, o arranjo magnético compreendendo adicionalmente
5 peças de pólo moldadas, montadas sobre as faces planares dos ímãs, as peças de pólo sendo formadas para girar o fluxo magnético de modo que ele cruze o vão entre as primeira e segunda porções da parte magnética.

A segunda porção da parte magnética pode compreender uma placa de material magnético, como ferro.

10 A segunda porção da parte magnética pode compreender um segundo arranjo magnético similar ao primeiro arranjo magnético. Os ímãs e peças de pólo podem ser arranjos em cada arranjo magnético, de modo que as faces planares opostas de ímãs adjacentes, em cada arranjo magnético, tenham a mesma polaridade e de modo que estas faces planares alinhadas de
15 ímãs opostos, em arranjos diferentes, tenham polaridades opostas.

Os campos magnéticos espacialmente periódicos podem ser produzidos por meio de bobinas de fio ou por condutores laminares padronizados através dos quais correntes elétricas são levadas a fluir quando a máquina está em operação.

20 Os campos magnéticos espacialmente periódicos podem ser induzidos por variação temporal das correntes nos condutores da parte elétrica.

Os condutores elétricos laminares podem ter uma dimensão espacial regular que seja aproximadamente igual, mas menor do que um
25 sexto, do comprimento do período magnético, o que faz com que a corrente flua alternadamente, para frente e para trás, transversal à linha do vetor de força, com um período espacial igual à metade do período magnético, os caminhos de condução de cada fase sendo arranjos para se estender adjacentes àqueles das outras duas fases na região do campo magnético

espacialmente periódico e para recobri-las em outro lugar.

5 A peça elétrica pode ser montada em uma ou mais vigas de cobertura tendo resistência termal baixa, a, ou cada viga de cobertura, compreendendo meios para dissipar o calor gerado na parte elétrica. Os meios para dissipar o calor gerado na parte elétrica podem compreender um ou mais de um canal de refrigerante dentro das vigas de cobertura, através do qual, o fluido refrigerante pode fluir, um sumidouro térmico e um dissipador de calor.

10 A parte magnética pode formar uma armadura e a parte elétrica formar um estator, ou a parte magnética pode formar um estator e a parte elétrica pode formar uma armadura.

A armadura pode ser montada de modo a deslizar ou a pivotar sobre o estator por meio de um ou mais suportes.

O elemento portador de força da armadura pode emergir de, ou ser portado, pelo conjunto de suporte do estator.

15 Pelo menos uma extremidade da máquina pode ter uma abertura e portar um suporte cilíndrico através do qual é estendido um tubo, ou haste de empuxo, pelo qual a força sobre a armadura pode ser transmitida externamente.

20 A armadura pode ser externa ao estator, a armadura sendo acoplada à carga.

As correntes elétricas da parte elétrica podem interagir com uma pluralidade de peças magnéticas se deslocando pelo menos ao longo de um suporte, ou trilha, coincidente com, ou paralela o lugar geométrico de movimento relativo das peças elétricas e magnéticas.

25 A parte elétrica pode ser dividida em setores ao longo do lugar geométrico de movimento relativo das peças elétricas e magnéticas, cada um dos setores sendo energizado e controlado independentemente, de modo a prover controle independente de uma pluralidade de partes magnéticas compartilhando os setores da parte elétrica.

Pode não haver aleta ou haste estendida de modo a conectar a uma armadura interna, mas na qual a carga é conectada a um estator e, desse modo, receber toda ou parte das forças de reação correspondendo com as acelerações da armadura desconectada.

5 O lugar geométrico de movimento relativo das peças magnéticas e elétricas pode compreender uma ou ambas as seções retas e seções curvas e o lugar geométrico podem formar um caminho circular fechado.

10 A armadura pode se conectar mecanicamente a pelo menos um disco, ou roda, pelo qual o torque rotativo produzido pelas forças eletromagnéticas sobre a armadura pode ser conduzido para um eixo cujo eixo seja coincidente com o eixo central do toro formado pelo estator.

15 O lugar geométrico de movimento relativo das peças magnéticas e elétricas pode formar uma curva suave em três dimensões, como uma espiral.

O conjunto de armadura pode ser flexível ou articulado e seguir um lugar geométrico plana de movimento em três dimensões.

20 Pelo menos um dos condutores pode incluir ou suportar uma camada de material que, quando resfriada abaixo de sua temperatura crítica, se torne supercondutora.

Pelo menos um dos condutores pode ser fabricado do material ferromagnético.

25 De acordo com um segundo aspecto da invenção, é provida uma máquina eletromagnética compreendendo: primeiro e segundo arranjos magnéticos dispostos em relação espaçada e arranjos para prover uma pluralidade de campos magnéticos através de um vão entre os arranjos magnéticos; e uma palheta de condutor elétrico disposta no vão entre os arranjos magnéticos, a palheta de condutor elétrico compreendendo uma pluralidade de condutores de atuação autossuportados acondicionados bem

juntos, e uma pluralidade de condutores de conexão, cada condutor de atuação sendo conectado em uma de suas extremidades a uma extremidade de outro condutor de atuação por meio de um condutor de conexão; a palheta de condutor elétrico sendo arranjada de modo que quando a corrente flui nos condutores de atuação uma força eletromagnética é induzida para provocar a movimentação da palheta de condutor elétrico em relação aos arranjos magnéticos e onde os condutores de atuação são disposto na linha de visão entre os arranjos magnéticos e os condutores de conexão sãoos arranjados fora da linha de visão entre os arranjos magnéticos.

De acordo com um primeiro aspecto da invenção, é provida uma máquina eletromagnética rotativa compreendendo: uma palheta de condutor elétrico cilíndrica, a palheta de condutor elétrico compreendendo uma pluralidade de condutores de atuação substancialmente paralelos axialmente e uma pluralidade de condutores de conexão, cada condutor de atuação sendo conectado em uma de suas extremidades a uma extremidade de outro condutor de atuação por meio de um condutor de conexão, e uma pluralidade de arranjos magnéticos arranjados para prover uma pluralidade de campos magnéticos através dos condutores de atuação, de modo que, quando a corrente flui nos condutores de atuação, uma força eletromagnética é induzida para provocar movimentação radial das palhetas de condutor elétrico em relação aos arranjos magnéticos.

Os arranjos magnéticos podem compreender um arranjo magnético cilíndrico interno disposto no interior da palheta de condutor cilíndrica e um arranjo magnético cilíndrico externo disposto sobre a parte externa da palheta de condutor cilíndrica.

De acordo com um aspecto adicional da invenção é provida uma máquina eletromagnética rotativa compreendendo: uma palheta de condutor elétrico anular, a palheta de condutor elétrico compreendendo uma pluralidade de condutores de atuação substancialmente radiais e uma

pluralidade de condutores de conexão, cada condutor de atuação sendo conectado em uma de suas extremidades a uma extremidade de outro condutor de atuação por meio de um condutor de conexão; e uma pluralidade de arranjos magnéticos arranjos para prover uma pluralidade de campos magnéticos através dos condutores de atuação, de modo que, quando a corrente flui nos condutores de atuação, uma força eletromagnética é induzida para provocar a rotação da palheta de condutor elétrico em relação aos arranjos magnéticos.

De acordo com um aspecto adicional da invenção é provida uma máquina eletromagnética rotativa compreendendo: uma pluralidade de palhetas de condutor elétrico anulares tendo um eixo comum, cada palheta de condutor elétrico compreendendo uma pluralidade de condutores de atuação substancialmente radiais e uma pluralidade de condutores de conexão, cada condutor de atuação sendo conectado em uma de suas extremidades a uma extremidade de outro condutor de atuação por meio de um condutor de conexão; e uma pluralidade de arranjos magnéticos arranjos para prover uma pluralidade de campos magnéticos através dos condutores de atuação, de modo que, quando a corrente flui nos condutores de atuação, uma força eletromagnética é induzida para provocar a rotação das palhetas de condutor elétrico em relação ao arranjos magnéticos.

Pelo menos uma das palhetas de condutor elétrico anulares pode ter um arranjo magnético associado em comum com pelo menos uma de suas palhetas de condutor elétrico anulares, vizinha.

De acordo com um aspecto adicional da invenção é provida uma máquina eletromagnética linear compreendendo: uma pluralidade de palhetas de condutor elétrico, cada palheta de condutor elétrico compreendendo uma pluralidade de condutores de atuação e uma pluralidade de condutores de conexão, cada condutor de atuação sendo conectado em uma de suas extremidades a uma extremidade de outro condutor de atuação por

meio de um condutor de conexão, as palhetas de condutor sendo dispostas paralelas umas às outras; e uma pluralidade de arranjos magnéticos arranjados para prover uma pluralidade de campos magnéticos através dos condutores de atuação, de modo que, quando a corrente flui nos condutores de atuação, uma
5 força eletromagnética é induzida para provocar a movimentação das palhetas de condutor elétrico em relação aos arranjos magnéticos.

De acordo com um aspecto adicional da invenção é provida uma máquina eletromagnética linear compreendendo: uma pluralidade de palhetas de condutor elétrico, cada palheta de condutor elétrico
10 compreendendo uma pluralidade de condutores de atuação e uma pluralidade de condutores de conexão, cada condutor de atuação sendo conectado em uma de suas extremidades a uma extremidade de outro condutor de atuação por meio de um condutor de conexão, as palhetas de condutor sendo arranjadas radialmente ao redor de um eixo; e uma pluralidade de arranjos magnéticos
15 arranjados para prover uma pluralidade de campos magnéticos através de condutores de atuação, de modo que, quando a corrente flui nos condutores de atuação, uma força eletromagnética é induzidas para provocar a movimentação das palhetas de condutor elétrico em relação ao arranjos magnéticos.

20 Pelo menos uma das palhetas de condutor elétrico pode ter um arranjo magnético associado em comum com pelo menos uma de suas palhetas de condutor elétrico, vizinha.

Cada arranjo magnético pode ser compreendido de um número par de ímãs.

25 A máquina pode ser configurada dentro de um recipiente cilíndrico. Pelo menos uma extremidade do cilindro de contenção pode ter uma abertura e portar um suporte através do qual um tubo, ou haste de empuxo, emerge de modo a conduzir a força eletromagnética induzida para uma carga externa.

Um volume que inclua o cilindro de contenção pode ser hermeticamente vedado e a haste, ou tubo de empuxo emergente, pode ser arranjado para passar através de uma vedação deslizante, de modo que a armadura possa ter uma função tanto elétrica, como pneumática.

5 A haste, ou tubo de empuxo, pode formar o elemento ativo de uma mola de gás.

A, ou cada, palheta de condutor elétrico pode ser dividida em setores eletricamente isolados ao longo de um lugar geométrico de movimento da máquina.

10 Forças eletromagnéticas impulsivas sobre a armadura podem ser transmitidas à carga através de forças de reação iguais e opostas experimentadas pelo estator.

A movimentação da armadura pode ser arranjada para propeler ou ser propelida pelo fluido dentro do estator fechado, de modo a funcionar
15 como uma bomba, ou absorver energia de um fluido móvel.

De acordo com um aspecto adicional da invenção é provida uma máquina eletromagnética compreendendo: uma parte magnética compreendendo uma primeira porção e uma segunda porção disposta em relação espaçada à primeira porção, a parte magnética sendo arranjada para
20 prover uma pluralidade de campos magnéticos através de um vão entre a primeira porção e a segunda porção; e uma parte elétrica disposta no vão entre as primeiras e segundas porções da parte magnética e arranjada para se mover em relação à parte magnética, a parte elétrica consistindo de um conjunto de condutores autossuportados, eletricamente isolados, de modo que quando a
25 corrente flui no conjunto de condutores, a força eletromagnética resultante provoca movimento relativo entre as duas partes.

De acordo com um aspecto adicional da invenção é provida uma palheta de condutor elétrico para uma máquina eletromagnética tendo uma parte magnética para prover campos magnéticos à palheta de condutor

elétrico, de modo que, quando a corrente flui na palheta de condutor elétrico, uma força eletromagnética é induzida para provocar movimento da palheta de condutor elétrico em relação à parte magnética, a palheta de condutor elétrico compreendendo: uma pluralidade de condutores de atuação; e uma
5 pluralidade de condutores de conexão, cada condutor de atuação sendo conectado em uma de suas extremidades a uma extremidade de outro condutor de atuação por meio de um condutor de conexão, a força eletromagnética sendo induzida quando a corrente flui nos condutores de atuação, onde porções centrais dos condutores de atuação são acondicionadas
10 bem juntas e porções de extremidade de alguns dos condutores de atuação são dobrado na região dos condutores de conexão, de modo que os condutores de conexão sejam recobertos.

A invenção será adicionalmente descrita como exemplo com referência aos desenhos de acompanhamento nos quais:

15 a Figura 1 é um secção transversal esquemática de um atuador linear elementar que é uma máquina eletromagnética constituindo um primeiro modo de realização da invenção;

a Figura 2 é uma vista seccional esquemática da máquina eletromagnética da Figura 1 ao longo da linha II-II da Figura 1;

20 a Figura 3 é uma vista ampliada de parte da Figura 2;

a Figura 4A é uma vista esquemática, no plano, de um condutor elétrico laminar formando parte de uma palheta de condutor elétrico da máquina eletromagnética das Figuras 1 a 3;

25 a Figura 4B é uma representação simplificada mostrando como o condutor elétrico laminar da Figura 4A é formado;

a Figura 5 é uma representação esquemática de dois condutores elétricos laminares da Figura 4A;

a Figura 6 é uma representação esquemática de um condutor de fase formado ligando-se os dois condutores elétricos laminares da Figura

5;

a Figura 7 é uma vista esquemática, no plano, da palheta de condutor elétrico das Figuras 1 a 3;

5 a Figura 8 é uma vista terminal da palheta de condutor elétrico da Figura 7;

a Figura 9 é uma vista explodida da palheta de condutor elétrico da Figura 8;

a Figura 10 mostra de forma esquemática como a palheta de condutor elétrico é encaixada com precisão dentro das vigas de cobertura;

10 a Figura 11 mostra de forma esquemática um segundo modo de realização da invenção;

a Figura 12 mostra de forma esquemática um secção transversal através de uma máquina rotativa constituindo um modo de realização adicional da invenção;

15 a Figura 13 mostra um arranjo alternativo de uma máquina rotativa constituindo um modo de realização adicional da invenção;

a figura 14A é um secção transversal esquemática de uma máquina linear constituindo um modo de realização adicional da invenção;

20 a figura 14B é um secção transversal esquemática de uma máquina linear constituindo um modo de realização adicional da invenção;

a Figura 15 é um secção transversal esquemática de uma máquina rotativa constituindo um modo de realização adicional da invenção;

a Figura 16 mostra de forma esquemática uma máquina linear constituindo um modo de realização adicional da invenção;

25 a Figura 17 é uma ilustração de uma armadura, ou conjunto magnético, formando parte de uma máquina elétrica constituindo um modo de realização adicional da invenção;

a Figura 18 é uma vista em perspectiva, cortada parcialmente, de uma máquina elétrica constituindo um modo de realização adicional da

invenção;

a Figura 19 é uma representação esquemática de uma forma alternativa da máquina elementar das Figuras 1 a 10, constituindo um modo de realização adicional da invenção; e

5 a Figura 20 é uma vista em seção transversal através da linha XX XX, da Figura 19.

A Figura 1 é um secção transversal esquemática de um atuador linear elementar 1 que é uma máquina eletromagnética constituindo um primeiro modo de realização da invenção, a seção sendo tomada ao longo da
10 linha I-I da Figura 1.

O atuador 1 é compreendido de uma parte magnética compreendendo dois arranjos magnéticos opostos 3 formando respectivamente as primeiras e segundas porções da parte magnética. Os arranjos magnéticos 3 são montados em um alojamento 5 e uma parte elétrica
15 compreendendo uma palheta de condutor elétrico 7 é arranjada para se mover axialmente dentro do alojamento 5, entre os arranjos magnéticos 3, para dentro e para fora da página como mostrado na figura 1. Neste modo de realização os arranjos magnéticos 3 atuam como um estator e a palheta de condutor elétrico 7 atua como uma armadura, mas, em outros modos de
20 realização, os arranjos magnéticos 3 podem atuar como a armadura e a palheta de condutor elétrico 7 pode atuar como o estator. O alojamento 5 é feito de um material não magnético e é compreendido de um par das placas laterais 9 acopladas respectivamente em suas extremidades superiores e inferiores às placas de topo e de fundo 11 para formar uma armação
25 retangular, quando vista da extremidade, como mostrado na Figura 1.

A palheta de condutor elétrico 7 é uma palheta de condutor de palheta trifásico compreendendo três conjuntos 8a, 8b, 8c de condutores de fase; a estrutura da palheta de condutor elétrico 7 está descrita em mais detalhe, abaixo, com referência às Figuras 4 a 10. (cada conjunto de

condutores de fase 8a, 8b, 8c está mostrado nas Figuras 1 a 3, como um bloco único, para fins de clareza).

Cada arranjo magnético³ é montado sobre uma parede interna 10 de sua placa lateral associada 9, um arranjo magnético³ estando em relação espaçada ao outro arranjo magnético³, e a palheta de condutor elétrico 7 estando disposta no vão entre os arranjos magnéticos 3. Os arranjos magnéticos são dispostos pouco afastados da palheta de condutor elétrico 7 para minimizar o vão de ar entre estas partes, de modo a otimizar a transferência do fluxo magnético entre os arranjos magnéticos 3 e a palheta de condutor elétrico 7, como conhecido na técnica.

Cada uma das porções superiores 13 e inferiores 15, da palheta de condutor elétrico 7, é presa em uma viga de cobertura 17 se estendendo ao longo do comprimento da palheta de condutor elétrico 7 (para dentro e para fora da página da Figura 1). A viga de cobertura 17 é montado de modo a deslizar nas placas de topo e de fundo 11 por meio de suportes 19 que permitem que a palheta de condutor elétrico 7 se mova em relação à parte magnética do atuador linear elementar 1, ao longo do alojamento 5, sem tocar nos arranjos magnéticos 3.

As Figuras 2 e 3 são vistas seccionais esquemáticas do atuador linear elementar 1 da Figura 1, ao longo da linha II-II da Figura 1, a Figura 3 mostrando uma porção do atuador 1 em maior detalhe do que o mostrado na Figura 2. Os arranjos magnéticos 3 são compreendidos de uma pluralidade de "unidades de força magnética" 25, cada unidade de força magnética 25 compreendendo um ímã 21 ensanduichado entre um par de peças de pólo moldadas 23. Os ímãs 21 são ímãs planares tendo pólos opostos em suas faces planares 27 e as peças de pólo moldadas 23 sendo acopladas às faces planares 27 do ímã 21.

A espessura t_m (na direção axial, ao longo do comprimento da palheta de condutor elétrico 7) de cada ímã 21 é substancialmente a mesma

que a espessura t_{pp} de cada peça de pólo 23 que corresponde, também, à espessura dos conjuntos 8a, 8b, 8c de condutores de fase, como explicado abaixo com referência à largura w_{tcp} , dos caminhos de condução transversais. As peças de pólo moldadas 23 têm uma forma trapezoidal com ângulos retos, quando vistas de cima, com a face perpendicular 24a disposta distal à placa lateral 9 do alojamento 5 e, a face adjacente mais longa 24b sobre a face planar 27 de um ímã 21. Neste modo de realização, os ímãs 21 são feitos de material permanentemente magnetizado, mas eletroímãs podem ser usados em outros modos de realização.

Os ímãs 21 e as peças de pólo 23 são arranjados em cada arranjo magnético 3 de modo que faces planares opostas 27 de ímãs adjacentes 21 tenham a mesma polaridade, ou seja, o pólo norte (N) em uma face planar 27 de um ímã 21 está voltado para o pólo norte (N) em uma face planar 27 de um ímã adjacente 21. Os pares de arranjos magnéticos 3 são arranjados sobre placas laterais 9 do alojamento 5 sobre cada lado da palheta de condutor elétrico 7 de modo que faces planares alinhadas 27 de ímãs opostos 21 tenham polaridades opostas, ou seja, o pólo norte (N) em uma face planar 27 de um ímã 21 de um arranjo magnético 3 é alinhado com o pólo sul (s) sobre a face planar alinhada 27 de um ímã oposto 21 de outro arranjo magnético 3.

O efeito do destes arranjos de ímãs 21 e peças de pólo moldadas 23 sobre cada lado da palheta de condutor elétrico 7 é girar o fluxo magnético que emana perpendicularmente para fora das faces planares 27 dos ímãs (paralelo à lugar geométrico do movimento relativo) através de um ângulo reto e, as peças de pólo 23, concentrar o fluxo magnético para cruzar a palheta de condutor elétrico 7 e entrar na peça de pólo oposta 23 e ser girado, adicionalmente, através de um ângulo para entrar na face planar 27 do ímã oposto 21 do outro arranjo magnético 3, como mostrado pelas linhas de fluxo na figura 3.

Esta ligação de fluxo a partir de cada ímã 21 através das peças

de pólo 23 com aquela de um ímã oposto 21 produz um campo magnético entre pares opostos de peças de pólo 23, o campo magnético passando através do vão entre os arranjos magnéticos 3 perpendicularmente através da palheta de condutor elétrico 7. Como pode ser visto das linhas de fluxo na Figura 3, os campos magnéticos entre pares adjacentes de peças de pólo opostas 23, ou seja, um primeiro campo magnético entre uma peça de pólo 23 de um arranjo magnético 3 e a peça de pólo oposta 23 de outro arranjo magnético 3 e, um segundo campo magnético entre a peça de pólo contígua 23 do primeiro arranjo magnético 3 e a peça de pólo oposta 23 de outro arranjo magnético, estão na mesma direção. Entretanto, a direção do campo magnético entre pares opostos de peças de pólo 23 sobre o outro lado dos ímãs 21 está na direção oposta e estes campos magnéticos alternados continuam ao longo do comprimento axial da parte magnética. Este arranjo de ímãs 21 e peças de pólo 23 produz campos magnéticos periódicos axialmente fortes entre os arranjos magnéticos 3.

As peças de pólo 23 são feitas de ferro ou outro material convenientes de alta permeabilidade e será compreendido que moldando as peças de pólo 23 desta maneira desencoraja fortemente o vazamento de fluxo para fora, através das placas laterais 9.

Devido às grandes forças magnetostáticas entre as placas laterais 9, às quais os arranjos magnéticos 3 são fixados, as placas de topo e de fundo 11 precisam manter um espaçamento preciso entre as placas laterais 9. Uma vez que não há materiais magnéticos na palheta de condutor elétrico 7 não há forças magnetostáticas que atraiam o condutor elétrico 7 em direção a qualquer um dos arranjos magnéticos 3. Conseqüentemente os suportes 19 podem ser carregados ligeiramente.

A região 29, entre cada face inclinada 24c das peças de pólo 23 e a superfície interna 10 da placa lateral 9, é uma região de ar de permeabilidade baixa, dielétrico, ou de um metal não magnético, como o

alumínio.

A estrutura da palheta de condutor elétrico 7 será descrita, agora, com referência as Figuras 4 a 10.

A figura 4A é uma vista esquemática, no plano, de um condutor elétrico laminar 33 formando parte da palheta de condutor elétrico 7, das Figuras 1 a 3. O condutor elétrico laminar 33 é compreendido de uma pluralidade de caminhos de condução axiais 37 e uma pluralidade de caminhos de condução transversais paralelos 35, perpendiculares aos caminhos de condução axiais 37, onde caminhos de condução transversais adjacentes 35 são unidos em suas extremidades por caminhos de condução axiais 37 de modo que o condutor elétrico laminar 33 se enrole em um padrão na forma de "S" repetido. Os caminhos de condução axiais 37 se estendem na direção do movimento relativo da palheta de condutor elétrico 7 através dos arranjos magnéticos 3 e os caminhos de condução transversais 35 correm entre a porção superior 13 e porção inferior 15 da palheta de condutor elétrico 7, como mostrado na Figura 1.

A largura w_{tcp} , dos caminhos de condução transversais 35 é da ordem da espessura t_{pp} , das peças de pólo 23 (e a espessura t_m dos ímãs 21) de modo que a palheta de condutor elétrico 7 se mova através dos arranjos magnéticos no momento em que um caminho de condução transversal 35 esteja entre peças de pólo opostas 23, o campo magnético, passando entre peças de pólo opostas 23, passa através do condutor do caminho de condução transversal 35. Portanto, casando a largura w_{tcp} dos caminhos de condução transversais 35 com a espessura t_{pp} das peças de pólo 23 maximiza a eficiência do sistema magnético. A largura w_{tcp} , dos caminhos de condução transversais 35 é da ordem da metade da largura w_g do vão 39 entre caminhos de condução transversais adjacentes 35, de modo que três condutores elétricos laminares 33 possam ser intercalados com espaço mínimo entre caminhos de condução transversais adjacentes 35, como explicado abaixo.

O condutor elétrico laminar 33 é revestido com um isolador elétrico para impedir que a corrente passe de um condutor 33 para um condutor adjacente 33. A largura w_{acp} dos caminhos de condução axiais 37, que, no uso, atuam como condutores de conexão entre os caminhos de condução transversais 35 pode ser convenientemente maior do que a largura w_{tcp} dos caminhos de condução transversais 35, de modo a reduzir a resistência dos caminhos de condução axiais 37 e melhorar a eficiência da máquina. O condutor elétrico laminar 33 pode ser feito de folha, tira, fita ou lâmina metálica.

A figura 4B é uma representação simplificada mostrando como o condutor elétrico laminar 33, da Figura 4A, é formado. Aberturas, geralmente retangulares 41, são formadas em uma placa retangular 43 de um condutor, por exemplo, alumínio. Aberturas adjacentes 41 são deslocadas lateralmente umas das outras e aberturas alternadas 41 são alinhadas para formar duas colunas deslocadas de aberturas 41. Uma vez formadas as aberturas 41 na placa 43, por exemplo, por puncionamento, a placa 43 é cortada ao longo de linhas 45 através de extremidades das aberturas 41 para formar o padrão em forma de “S” repetido do condutor elétrico laminar 33, descrito acima. Se, as laminações forem feitas de alumínio, a isolamento elétrica de superfície necessária pode ser formada, convenientemente, por um processo de anodização dura.

Figura 5 é uma representação esquemática de dois condutores elétricos laminares idênticos 33, do tipo ilustrado na Figura 4A, um estando invertido em relação ao outro. Uma aba de conexão 45 é formada em uma extremidade de cada um dos condutores elétricos laminares 33. Os dois condutores elétricos laminares 33 da Figura 5 são dispostos com precisão, um sobre o outro, e mutuamente ligados para formar um condutor de fase 47, como mostrado na Figura 6, o condutor de fase formando parte da palheta de condutor elétrico 7, das figuras 1 a 3.

Os caminhos de condução transversais 49 na extremidade dos condutores elétricos laminares 33 distais da aba de conexão 45 são mutuamente soldados para formar uma conexão elétrica de alta qualidade. Será compreendido que agora há um caminho elétrico contínuo entre as duas abas de conexão 45, pelo qual a corrente pode ser levada a fluir ao longo de laminações conectadas em série, passando sempre na mesma direção através de cada par de caminhos de condução transversal alinhado 35. Será notado também que, apesar do condutor elétrico laminar 33 poder ser mecanicamente fraco, quando dois condutores elétricos laminares 33 são mutuamente ligados para formar um condutor de fase 47 e, quando uma pluralidade de condutores da fase 47 é mutuamente ligada para formar uma palheta de condutor elétrico 7, como descrito abaixo, a palheta de condutor elétrico 7 é uma estrutura rígida autossuportada. Será compreendido que a técnica de inverter camadas condutoras alternadas pode ser estendida para o uso de muitas camadas, de modo a conseguir qualquer especificação de desempenho desejada.

A Figura 7 é uma vista esquemática, no plano, da palheta de condutor elétrico 7, das Figuras 1 a 3. A palheta de condutor elétrico 7 é formada intercalando-se três conjuntos 8a, 8b, 8c de condutores de fase 47, como mostrado na Figura 6, cada conjunto 8a, 8b, 8c compreendendo condutores bifásicos 47. Cada conjunto 8a, 8b, 8c de condutores de fase 47 porta uma fase e será visto que os condutores de atuação produtores de empuxo dos caminhos de condução transversais 35, em campo magnéticos de alta densidade produzidos pelos ímãs 21 dos arranjos magnéticos 3, são interdigitados um com o outro, em uma região central, enquanto que os caminhos de condução axiais 37 da palheta de condutor elétrico 7 recobrem um ao outro, nas porções superiores 11 e inferiores 13 da palheta de condutor elétrico 7, quando o caminho da corrente está em uma direção axial. Os caminhos de condução axiais 37 dos condutores elétricos laminares 33 correspondem conseqüentemente com os enrolamentos terminais de um motor

convencional. Pode ser visto que os caminhos de condução transversais 37 que formam estes condutores de atuação são acondicionados bem juntos, com vãos de ar mínimos entre os condutores, maximizando, desse modo, a transferência de fluxo magnético para a palheta de condutor elétrico 7, quando

5 dispostos em um campo magnético produzido pelos arranjos magnéticos 3.

A Figura 8 é uma vista terminal da palheta de condutor elétrico 7 da Figura 7, na direção da seta VIII, mostrando conjuntos intercalados 8a, 8b, 8c de condutores de fase 47. O conjunto central 8a dos condutores de fase 47 da palheta de condutor elétrico 7 é substancialmente plano. Quando os

10 conjuntos 8a, 8b, 8c de condutores de fase 47 se recobrem nas porções superiores 13 e inferiores 15 da palheta de condutor elétrico 7, na região das palhetas de condução axiais 37, as porções de extremidade 49, do segundo 8b e do terceiro conjunto 8c dos condutores de fase 47, são dobradas para fora de modo que, quando em uma porção central dos caminhos de condução

15 transversais 35, são interdigitados e estão no mesmo plano (como mostrado na Figura 3), os caminhos de condução axiais 37, de cada condutor de fase 47, são dispostos um sobre o outro.

A Figura 9 é uma vista explodida da palheta de condutor elétrico 7, da Figura 8 mostrando conjuntos separados 8a, 8b, 8c de

20 condutores de fase 47 antes de serem intercalados e mutuamente ligados para formar uma estrutura mecânica forte, de dimensões definidas com precisão. Cada conjunto 8a, 8b, 8c de condutores de fase 47 da palheta de condutor elétrico 7 das Figuras 8 e 9, consiste de quatro condutores elétricos laminares 33, isto é, dois pares de condutores de fase 47. Será compreendido por um

25 perito na técnica que a invenção não está limitada a este número dos condutores elétricos laminares 33, mas um ou muitos condutores elétricos laminares 33 podem ser usados para formar uma palheta de condutor elétrico 7, dependendo da especificação desejada do projeto do motor. Usando-se uma pluralidade de condutores elétricos laminares ligados 33 aumenta-se a rigidez

à flexão do condutor de fase 47 e, conseqüentemente, a rigidez à flexão da palheta de condutor elétrico resultante 7.

A Figura 10 mostra de forma esquemática como as porções superiores 13 e inferiores 15 da palheta de condutor elétrico 7 são encaixadas com precisão nas vigas de cobertura 17. As vigas de cobertura 17 são os meios pelos quais as forças eletromagnéticas geradas na palheta 7 são transferidas para o corpo do motor, ou para uma carga. As vigas de cobertura 17 fornecem rigidez longitudinal extra à palheta de condutor elétrico 7 e são igualmente os meios pelos quais o calor gerado no corpo da palheta de condutor elétrico 7 é conduzido para longe das placas dos enrolamentos terminais. Canais de refrigerante 51 são providos nas vigas de cobertura 17 como um meio pelo qual o calor gerado na palheta de condutor elétrico 7 pode ser transportado a partir da palheta de condutor elétrico 7. Em um modo de realização alternativo a palheta de condutor elétrico 7 pode ser disposta em uma única viga de cobertura 17.

Em uso, corrente é suprida aos conjuntos individuais 8a, 8b, 8c do condutor de fase 47 do atuador linear elementar 1, sob o controle de uma unidade de acionamento eletrônica industrial padrão para um motor trifásico, sem escova. Quando a corrente flui através dos condutores elétricos laminares 33 e, em particular, através de condutores isolados eletricamente dos caminhos de condução transversais 35 que cruzam os campos magnéticos através do vão entre os arranjos magnéticos 33, uma força eletromagnética é induzida para provocar a movimentação da palheta de condutor elétrico 7 em relação aos arranjos magnéticos 3. Com a corrente passando, em particular, os caminhos de condução transversais 35 induzem a força eletromagnética, os caminhos de condução transversais 35 podendo ser considerados como condutores de atuação. O conjunto de condutores isolados eletricamente, acondicionados bem juntos, de um grupo de caminhos de condução transversais 35 em um campo magnético entre peças de pólo opostas 23,

preenche, substancialmente, o vão entre o primeiro e o segundo arranjos magnéticos 3 através dos qual, o campo magnético passa para prover um sistema de transferência magnética de eficiência ótima.

Será compreendido por um perito na técnica que existe um vão de ar entre a palheta de condutor 7 e os arranjos magnéticos 3 para permitir movimentação relativa entre a palheta de condutor 7 e o arranjos magnéticos 3 sem uma parte contatar a outra parte, e que condutores isolados eletricamente preenchem, substancialmente, o vão entre a palheta de condutor 7 e os arranjos magnéticos 3, na medida em que um vão de ar necessário esteja presente. Será compreendido também que o condutor elétrico preenchendo o vão refere-se ao volume do condutor incluindo sua isolamento elétrica, que é requerida para impedir vazamento de corrente entre condutores.

A posição da palheta de condutor elétrico 7 e sua relação com as unidades de força magnética individuais 25 do estator é medida por um transdutor de posição (não mostrado).

Neste modo de realização os arranjos magnéticos 3 foram descritos como atuando como o estator e a palheta de condutor elétrico 7 foi descrita como atuando como armadura. Entretanto um perito compreenderá que a palheta de condutor elétrico 7 pode ser fixa, atuando como um "estator", e que os arranjos magnéticos 3 e o alojamento associado 5 podem se mover, atuando como a "armadura".

Não há limitação inerente ao comprimento da palheta de condutor elétrico 7, que pode ser convenientemente dividida em seções eletricamente discretas, de modo que a energia seja suprida apenas àquela parte da palheta de condutor elétrico 7 adjacente às unidades de força magnética 25, a qualquer hora. A linha central da palheta de condutor elétrico 7 não precisa ser retilínea, mas a palheta de condutor elétrico 7 e o caminho formado entre unidades de força opostas 25 podem ser curvos de modo que o lugar geométrico do movimento relativo entre a armadura e o estator siga uma

curva suave que não faça com que a armadura colida com o estator, em qualquer momento. Especialmente exclusivo de uma máquina elementar como esta é que, submetida a uma folga apropriada entre ela própria e a armadura, a linha central da palheta do estator sem fio pode seguir um

5 caminho suave em três dimensões. Além disso, o plano do estator (e, portanto, da armadura) também pode ser arranjado para girar suavemente ao redor de seu próprio eixo enquanto prossegue. Será compreendido que, para aumentar a capacidade da armadura de seguir o caminho curvo do estator, a armadura pode, por exemplo, precisar incluir articulações ou incorporar materiais

10 flexíveis.

Explica-se abaixo de como a máquina elementar, descrita acima pode ser usada para construir as máquinas elétricas sem fio tendo uma variedade de topologias. Nos diagramas seguintes, como exemplo e sem limitação, escolhemos nos concentrar em uma configuração de ímã

15 permanente, trifásica, sem escova. Não obstante, pela aplicação dos mesmos princípios, também é possível projetar máquinas elétricas sem fio de outras configurações.

A Figura 11 mostra de forma esquemática um modo de realização adicional da invenção no qual uma pluralidade de atuadores

20 lineares elementares 1a, de forma similar ao atuador mostrado nas Figuras 1 a 10, pode ser usada em uma trilha, por exemplo, um laço de trilha envolvendo um centro de processamento de uma instalação de fabricação. Neste modo de realização, a armadura compreende unidades de força magnética 25 e um alojamento associado 5 que são arranjados para se mover ao longo de

25 estatores que compreendem as palhetas de condutor elétrico 7a-f. Cada armadura é controlada independente em setores de trilha/palhetas de condutor elétrico 7a-f, de modo que as armaduras possam se mover para frente e para trás ao longo do mesmo estator, dentro de limites que impeçam colisões. Neste arranjo, cada segmento de trilha 7a-f tem seu próprio acionador

eletrônico (não mostrado) e cada armadura 5, 25 têm seu próprio transdutor de posição (não mostrado) que se comunica com o acionador eletrônico apropriado à posição da armadura, naquele momento. Será compreendido que o mesmo princípio de controle pode ser aplicado, por exemplo, a várias pontes rolantes se movendo sobre o mesmo sistema de trilho, ou para diversos carros de elevador que se movem no mesmo eixo.

A Figura 12 mostra, de forma esquemática, um secção transversal através de uma máquina rotativa 61 formando um modo de realização adicional da invenção. A máquina rotativa de torque elevado 61 é formada arranjando-se um atuador elementar 1c do tipo mostrado nas Figuras 1 a 10 de modo que a palheta de condutor elétrico 7 siga um caminho circular e estendendo o comprimento dos arranjos magnéticos 3 compreendendo ímãs e peças de pólo associados, para dentro de unidades de força magnética de anel duplo 25, de modo a envolver a palheta de condutor elétrico cilíndrico 7 em suas circunferências internas e externas. Será compreendido que o estator pode ser a parte magnética e a armadura pode ser a parte elétrica, sem mudança deste princípio. Neste diagrama os números se referem às mesmas partes de motor que nas Figuras precedentes. A palheta de condutor elétrico 7 compreende conjuntos de condutores de fase 47 formados de uma forma cilíndrica com os condutores elétricos transversais 35 se estendendo substancialmente paralelos ao eixo da rotação relativa. A palheta de condutor elétrico cilíndrica 7 está montada na parte basal 65 do motor 61 enquanto os arranjos magnéticos 3 são também formados em um círculo e montados através de placas cilíndricas 63 na parte superior 67 do motor 61, que gira em relação à parte basal 65, por meio de suportes 19 e das unidades de vedação 69.

A Figura 13 mostra um arranjo alternativo de uma máquina rotativa 71 constituindo um modo de realização adicional da invenção compreendendo atuadores eletromagnéticos elementares 1d, do tipo mostrado

nas Figuras 1 a 10. Nesta configuração a palheta de condutor elétrico 7 tem uma forma anular e é montada a partir de condutores elétricos laminares anulares 33 onde os caminhos de condução transversais 35 são arranjados substancialmente radiais. Novamente, é possível a máquina existir de forma complementar, de modo que os arranjos magnéticos 3 formando a parte magnética sejam fixos e a palheta de condutor elétrico 7, formando a parte elétrica, gire. Neste diagrama a palheta de condutor elétrico 7 transfere sua força (torque) para um conjunto de eixo de armadura 73 enquanto os arranjos magnéticos 3 são montadas no alojamento 5.

A configuração descrita acima pode, a princípio, parecer similar àquela de um motor de circuito impresso, mas deveria se notado que os condutores elétricos laminares 33 da armadura:

1. não são impressos, mas sim totalmente autossuportados e sem qualquer substrato, beneficiando-se, com isso, de um peso reduzido e conseqüentemente inércia reduzida e custo reduzido;

2. são condutores que não estão configurados como bobinas, mas que têm áreas de superfície que se casam com aquelas das peças de pólo 23;

3. compreendem caminhos de condução transversais 35 que são interdigitados na região do campo magnético e os caminhos de condução axiais 37 são recobertos em outro lugar;

4. são projetados para portar correntes muito maiores do que os condutores dos motores de circuito impresso convencionais;

5. se movem em um fluxo magnético de densidade maior do que a empregada comumente para motores de circuito impresso; e

6. se assemelham aos condutores de um servo motor trifásico e não a uma máquina de CC.

Portanto, será compreendido, que a configuração mostrada na Figura 13 não é uma extensão óbvia, nem é derivada, de qualquer maneira, da

técnica anterior de um motor de circuito impresso.

A distinção se tornará mais clara uma vez que se considerem, agora, as vantagens especiais do motor eletromagnético sem fio, elementar, quando há necessidade de uma força eletromagnética (empuxo ou torque)
5 excepcionalmente grande.

O empuxo de qualquer máquina eletromagnética constituindo um modo de realização da invenção pode ser aumentado usando-se palhetas de condutor elétrico maiores 7 e ímãs planares maiores 21. Entretanto, o aumento do tamanho encontra, logo, a mesma limitação do tamanho do ímã
10 que foi mencionada previamente em relação aos atuadores lineares cilíndricos anteriores. É extremamente difícil fabricar e magnetizar um ímã de boro-ferro-neodímio tendo uma área maior do que, aproximadamente, $0,015\text{m}^2$ (digamos, 150mm por 100mm).

Entretanto, devido ao atuador linear sem fio elementar,
15 constituindo um modo de realização da invenção, do tipo mostrado nas Figuras 1 a 10, ter secção transversal estreita, é possível empilhar, bem juntos, numerosos elementos de motor, mutuamente, em um espaço pequeno. Há uma vantagem adicional ao se fazer isto, como será explicado abaixo.

A figura 14A é um secção transversal esquemática de
20 numerosos elementos do motor eletromagnético elementar le, cada um sendo similar, na estrutura, àqueles mostrados nas figuras 1 a 10, mas empilhados, agora, paralelos uns aos outros e mutuamente bem juntos, para formar um motor linear 83. Será compreendido que é possível conectar mutuamente as
25 palhetas de condutor elétrico 7, mecânica e eletricamente, e acioná-las a partir da mesma unidade eletrônica. Será compreendido também, que as armaduras também podem ser acopladas de modo que o empuxo produzido por qualquer uma máquina elementar le seja multiplicado pelo número de máquinas que estão atuando em conjunto.

A figura 14B mostra como é possível simplificar a estrutura da

concatenação da figura 14A e conseguir um motor linear 78 tendo um pacote fechado mais conveniente e econômico. Deveria ser notado que as unidades de força magnética 25 são feitas comuns às palhetas de condutor elétrico 7, sobre cada um de seus lados. Assim, embora haja forças magnetostáticas fortes entre unidades de força magnética adjacentes 25, neste arranjo, estas forças são geralmente iguais e opostas. Por essa razão, o arcabouço mostrado na Figura 14A pode ser eliminado e as unidades de força magnética 25 podem ser mantidas apenas por suportes robustos 75. Todas as palhetas de condutor elétrico 7 são encaixadas, com precisão, em um armação comum 77 que é ajustada com os suportes 19, de modo que possa se mover em relação à estrutura das unidades de força magnética 25. Se tornará possível, também, deixar as palhetas de condutor elétrico 7 livres de partes magnéticas sem perigo das forças magnetostáticas fecharem os entalhes através dos quais as palhetas 7, passam. Apenas as extremidades das placas laterais 9 experimentam forças magnetostáticas desequilibradas e devem, conseqüentemente, ser de construção robusta.

A Figura 15 é um secção transversal esquemática de um motor rotativo 79 de torque muito alto, constituindo um modo de realização adicional da invenção, no qual, o princípio de concatenação de elementos do motor sem fio descrito acima, é aplicado ao motor rotativo 71, da Figura 13. Diversos motores do tipo mostrado na Figura 13 são combinados para acionar o mesmo eixo 81 e a estrutura intermediária é simplificada da mesma maneira que para os motores lineares elementares da Figura 14.

Neste exemplo as palhetas de condutor elétrico 7 tomam a forma dos discos perfurados que são interdigitados e ligados para formar uma estrutura autossuportada, da maneira descrita previamente para laminações retilíneas. As palhetas de condutor elétrico anulares são embutidas e encaixadas em um eixo central 81 que corre nos suportes 19. Os arranjos magnéticos 3 também são na forma de anéis que são fixados ao alojamento 5

por anéis de localização 57.

Será compreendido que, nesta ilustração, embora apenas quatro elementos empilhados do motor rotativo 1f sejam mostrados, não há nenhuma limitação inerente ao número de elementos rotativos 1 f que pode ser empregado para produzir uma máquina rotativa de torque muito alto.

Será compreendido, também, que o motor ilustrado na Figura 15 é uma máquina de condutor móvel, tendo a vantagem de inércia de rotor baixa e de um torque de rotor alto. Não obstante, em algumas aplicações pode ser vantajoso construir uma máquina equivalente na qual o sistema elétrico seja o estator e o sistema magnético o rotor.

As forças magnetostáticas entre as unidades de força magnética 25 são equilibradas na região central e forças magnetostáticas desequilibradas, significativas, existem apenas entre as placas laterais 9 e os anéis de localização adjacentes 57.

A Figura 16 mostra de forma esquemática um motor linear 87 constituindo um modo de realização adicional da invenção. No caso deste motor linear 87, as forças de extremidade referidas no parágrafo precedente podem ser eliminadas completamente e as forças magnetostáticas são equilibradas através de todo o sistema. Isto é conseguido fechando-se a pilha das máquinas eletromagnéticas elementares 1g sobre si mesmo para formar um arranjo circular, ou poligonal. A máquina tem um número par de máquinas eletromagnéticas elementares 1g dispostas na mesma, de modo que as polaridades de faces opostas dos ímãs sejam opostas. Por meio disso, é possível produzir um atuador linear compacto e altamente eficiente 87, tendo um empuxo maior, mais do que uma ordem de grandeza, do que o empuxo de qualquer elemento individual do motor.

Como exemplo, a Figura 16 mostra um arranjo circular de 32 elementos no qual os elementos são de uma forma similar aos descritos com referência às Figuras 1 a 10. As palhetas de condutor elétrico 7 são fixadas ao

alojamento externo 5 e alternam com as unidades de força magnética 25 que são fixadas no tubo de empuxo da armadura 89. Correntes, fluindo nos caminhos de condução transversais dispostos radialmente 35 das palhetas de condutor elétrico 7, fazem com que os arranjos de ímãs 3 (e assim. o tubo de empuxo) experimentem uma força eletromagnética para dentro, ou para fora, do plano da Figura.

A Figura 17 é uma ilustração de uma armadura, ou conjunto magnético 91, formando parte de uma máquina elétrica constituindo um modo de realização adicional da invenção. Será compreendido que palhetas de condutor elétrico 7 devem ser dispostas nos entalhes 93 ao redor da armadura e que as direções dos campos magnéticos são invertidas em entalhes alternados da armadura, de modo que todas as forças mecânicas sejam equilibradas.

Embora a armadura magnética seja grande, ela é montada a partir de ímãs e peças de pólo pequenos, que são instalados, um de cada vez, e dispostos em um círculo, cada um atraindo fortemente seus vizinhos, lateralmente, e (muito menos fortemente) repelindo, seus vizinhos, verticalmente. A armadura magnética é construída em um gabarito colocando-se unidades de força magnética lado a lado como uma série de telhas. Quando uma camada circular está completa, a camada seguinte é construída em cima dela, uma unidade de força magnética por vez. O projeto supera, assim, as principais limitações de aumento de escala dos atuadores eletromagnéticos cilíndricos convencionais e permite que uma armadura maciça e poderosa seja montada com segurança.

A Figura 18 é uma vista parcialmente cortada, em perspectiva, de uma máquina elétrica 95 constituindo um modo de realização adicional da invenção, no qual será visto que as palhetas de condutor elétrico 7 são encaixadas através das vigas de cobertura 17 no alojamento 5 e que passam através dos entalhes nos arranjos de ímãs periódicos 3.

Figura 19 é uma representação esquemática de uma forma alternativa da máquina elementar das figuras 1 a 10, na qual o arranjo magnético espacialmente periódico³ das unidades de força magnética emparelhadas 25 é substituído por um único arranjo espacialmente periódico 3a formando a primeira porção da parte magnética, voltado para uma placa 59 de material magnético no lado oposto do vão de ar, formando a segunda porção da parte magnética. O material magnético do qual a placa é feita, neste modo de realização, é ferro e outros materiais magnéticos podem ser usados. Será compreendido que o material magnético da segunda porção é induzido para formar um arranjo espacialmente periódico de pólos magnéticos de polaridade complementar, de modo que os condutores continuem a ser colocados em campos espacialmente periódicos, transversais. A construção é de forma mais simples, mas devido ao vão de ar ter apenas metade da largura dos ímãs de mesmo tamanho, o motor 97 é menos potente e a relação potência/peso é reduzida. Apesar disso, a construção poderia ser vantajosa para algumas aplicações. Um motor elementar do tipo mostrado na Figura 19 poderia ser usado para substituir o motor elementar das Figuras 1 a 10, em qualquer um dos sistemas de motores concatenados descritos acima, embora o desempenho venha a ser conseqüentemente reduzido.

A Figura 20 é uma vista em seção transversal através da linha XX-XX, da Figura 19, mostrando uma representação esquemática simplificada do projeto alternativo, sendo equivalente àquele da Figura 3, com a mesma nomenclatura para seus componentes. A placa de ferro 59 substitui um dos arranjos de ímãs axialmente periódicos, emparelhados 3 e cria pólos magnéticos induzidos de polaridade complementar.

Várias modificações serão aparentes àqueles peritos na técnica e é desejado incluir todas estas modificações que caiam dentro do escopo das reivindicações anexas.

Será compreendido que os princípios desta invenção podem

ser estendidos para incluir máquinas que usem configurações de ímãs diferentes para produzir campos magnéticos espacialmente periódicos através do vão entre as primeiras e segundas porções da parte magnética e que eletroímãs podem ser usados no lugar dos ímãs permanentes considerados
5 previamente.

Eles também podem ser estendidos para incluir máquinas de indução onde o arranjo de ímãs permanentes é substituído por um arranjo passivo de laminações condutoras padronizadas. Nestas máquinas de indução, um campo magnético que se desloca, é produzido por correntes alternadas
10 faseadas nos condutores energizados e correntes parasitas são arranjadas deliberadamente para fluir no arranjo do condutor passivo. A interação das correntes induzidas e das correntes alternadas controladas produz uma força axial. Embora a força axial resultante seja menor do que aquela produzida por uma máquina usando ímãs permanentes, ou usando campos produzidos por
15 eletroímãs, uma máquina de indução é de baixo custo, leve, e pode oferecer vantagem significativa em algumas circunstâncias.

Deverá ser, também, compreendido que os princípios desta invenção podem ser estendidos para incluir uma concatenação de máquinas lineares sem fio, de qualquer projeto alternativo, que tenham vetores de força
20 paralelos de maneira equivalente àqueles mostrados na Figura 14, de modo a aumentar a força por unidade de comprimento do atuador e para compartilhar membros estruturais comuns de modo a reduzir o custo e o peso.

Será compreendido adicionalmente que os princípios desta invenção podem ser estendidos para incluir palhetas de condutor de ferro, ou
25 aço. Nesse caso, haverá uma força magnetostática forte entre a armadura e o estator, e as perdas da máquina serão maiores do que aquelas para uma máquina com (por exemplo) condutores de alumínio. Não obstante, poderia haver um benefício significativo devido à relutância do vão de ar ser reduzida consideravelmente, de modo que menos material magnético seja necessário

para a construção dos arranjos magnéticos periódicos 26.

Os princípios da invenção podem ser estendidos adicionalmente para incluir um material condutor que consista, ou seja, revestido, com uma camada de material supercondutor, com a vantagem das
5 perdas resistivas poderem ser inteiramente eliminadas e que densidades de corrente muito mais altas possam ser usadas para produzir uma força grande em um espaço pequeno.

As máquinas eletromagnéticas constituindo os modos de realização da invenção, como descritos aqui, se beneficiam de uma ou mais
10 dentre as seguintes vantagens:

1. A massa da parte elétrica de qualquer máquina elétrica pode ser reduzida pela substituição do fio de cobre por condutores de alumínio laminar padronizados;

2. O custo de fabricação pode ser reduzido moldando-se a
15 secção transversal das laminações condutoras padronizadas e ligando-as em uma estrutura mecânica autossuportada, robusta;

3. A isolação dos condutores de alumínio por um processo de anodização é simples e provê um revestimento de isolamento robusto que suportará, se necessário, operação a alta temperatura;

20 4. A massa da máquina pode ser reduzida ainda mais, pela eliminação do ferro de suporte para os condutores elétricos, o que também elimina a "perda de ferro";

5. Devido ao conjunto condutor ser leve, robusto e dimensionalmente estável, ele pode, em algumas aplicações, ser usado como
25 uma armadura de inércia excepcionalmente baixa, aumentando, desse modo, a largura da faixa operacional em aplicações de controle;

6. Embora as resistências dos campos magnéticos sejam elevadas, não há atração magnetostática entre a armadura e o estator. Isto torna a máquina mais fácil e segura de montar e reduz forças de suporte e

desgaste de suporte;

7. A mesma técnica permite que o sistema elétrico seja fabricado e transportado em seções, de modo que um motor grande possa ser montado no local, sem dificuldade exagerada;

5 8. O sistema elétrico do motor é mais barato do que qualquer equivalente de fio de cobre e pode, às vezes, ser vantajosos para um motor linear de curso longo usar um estator elétrico;

 9. Um estator elétrico longo (talvez enrolado) pode então ser construído a partir de seções isoladas que são energizadas independentemente, de modo que diversas armaduras de ímã permanente possam ser movidas com precisão e independentemente sobre o mesmo estator;

10 10. Devido à máquina elementar ter forma planar, o lugar geométrico do movimento de uma máquina linear pode seguir qualquer caminho suave em três dimensões, enquanto gira sobre seu próprio eixo, se necessário;

 11. U motor rotativo de torque alto pode ser construído em uma topologia de disco, ou cilindro, usando-se uma palheta elétrica circular, se movendo entre, ou em relação a arranjos periódicos emparelhados de pólos magnéticos;

20 12. Numerosos motores elétricos lineares elementares podem ser concatenados para formar uma máquina maior, cujo processo de construção dos motores elementares pode ser simplificado para reduzir o tamanho, peso e custo e para equilibrar as forças magnetostáticas internas;

 13. Da mesma maneira numerosos motores rotativos elementares podem ser combinados para formar um motor rotativo de torque excepcional, cujo processo de estrutura interna também pode ser simplificado para reduzir o tamanho, peso e custo;

 14. Se a concatenação dos motores lineares elementares formar um círculo completo, os efeitos terminais são eliminados e as forças

magnetostáticas são equilibradas por toda a estrutura;

5 15. Usando-se a técnica acima mencionada, numerosos motores lineares elementares podem ser alojados dentro de um volume cilíndrico compacto, o empuxo de saída excepcionalmente grande sendo transportado através de uma haste, ou tubo;

16. A haste ou tubo de transmissão desta máquina pode ser vedada para atuar como o elemento de transmissão de um subsistema de mola de gás que suporte um peso morto enquanto o sistema eletromagnético provê as forças dinâmicas;

10 17. Uma máquina vedada deste tipo também pode funcionar como uma bomba de fluido ou como um mecanismo pelo qual energia fluida pode ser convertida eficientemente em energia elétrica, o motor sem fio sendo acionado invertido; e

15 18. A tecnologia é inteiramente escalonável e pode ser aplicada às máquinas eletromagnéticas que têm uma ampla gama de tamanhos e saídas de potência.

REIVINDICAÇÕES

1. Máquina eletromagnética, caracterizada pelo fato de compreender:

uma parte magnética compreendendo uma primeira porção e
5 uma segunda porção disposta em relação espaçada à primeira porção, a parte magnética sendo arranjada para prover uma pluralidade de campos magnéticos através de um vão entre a primeira porção e a segunda porção; e

uma parte elétrica disposta no vão entre as primeira e segunda porções da parte magnética e arranjada para se mover em relação à parte
10 magnética, a parte elétrica consistindo de um conjunto de condutores isolados eletricamente onde, quando o conjunto de condutores é disposto em um campo magnético produzido pela parte magnética e quando corrente flui no conjunto de condutores, uma força eletromagnética é induzida para provocar a movimentação da parte magnética em relação à parte elétrica e onde, o
15 conjunto de condutores preenche, substancialmente, o vão entre a primeira e segunda porções da parte magnética através do qual, o mencionado campo magnético, passa.

2. Máquina de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato da parte elétrica compreender, adicionalmente, conjuntos de
20 condutores isolados eletricamente arranjos ao longo de um lugar geométrico de movimento relativo das partes magnéticas e elétricas, os conjuntos de condutores preenchendo substancialmente o vão entre as primeira e segunda porções da parte magnética através do qual, os mencionados campos magnéticos, passam.

25 3. Máquina de acordo com a reivindicação 1 ou 2, caracterizada pelo fato dos condutores serem caminhos de condução transversais se estendendo perpendiculares, tanto ao mencionado campo magnético, quanto na direção do movimento relativo das partes elétricas e magnéticas.

4. Máquina de acordo com a reivindicação 3, caracterizada pelo fato dos caminhos de condução transversais formar parte de um ou mais condutor elétrico laminar tendo a forma de um “S” repetido, o, ou cada condutor elétrico laminar compreendendo adicionalmente caminhos de condução axiais se estendendo na direção do movimento relativo das peças elétricas e magnéticas, onde extremidades de caminhos de condução transversais adjacentes são conectadas por um caminho de condução axial.

5. Máquina de acordo com a reivindicação 4, caracterizada pelo fato do condutor elétrico laminar ser feito de folha, tira, fita ou lâmina metálica isolada, padronizada.

6. Máquina de acordo com a reivindicação 4 ou 5, quando dependente de acordo com a reivindicação 2, caracterizada pelo fato de uma pluralidade de condutores elétricos laminares ser interdigitada para formar uma palheta de condutor elétrico.

7. Máquina de acordo com a reivindicação 6, caracterizada pelo fato dos condutores elétricos laminares serem conectados a uma pluralidade de fases através das quais correntes elétricas separadas são arranjadas para passar, os sinais relativos e amplitudes das correntes sendo controlados de modo a determinar o valor e o sinal da força eletromagnética produzida pela máquina.

8. Máquina de acordo com a reivindicação 7, caracterizada pelo fato dos condutores elétricos estarem conectados em três fases.

9. Máquina de acordo com a reivindicação 6, 7 ou 8, caracterizada pelo fato da palheta de condutor elétrico ser uma estrutura mecânica planar.

10. Máquina de acordo com a reivindicação 6, 7 ou 8, caracterizada pelo fato da palheta de condutor elétrico ser uma estrutura mecânica curva.

11. Máquina de acordo com a reivindicação 10, caracterizada

pelo fato da palheta de condutor elétrico ser uma estrutura mecânica circular.

12. Máquina de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, caracterizada pelo fato dos condutores não terem substrato.

5 13. Máquina de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, caracterizada pelo fato dos condutores terem rigidez à flexão suficiente para ser autossuportados.

14. Máquina de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, caracterizada pelo fato dos condutores não serem formados como bobinas.

10 15. Máquina de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, caracterizada pelo fato da parte elétrica disposta nos campos magnéticos ser feita de um material não magnético.

15 16. Máquina de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, caracterizada pelo fato da polaridade dos campos magnéticos ser espacialmente periódica ao longo do lugar geométrico de movimento relativo das partes magnéticas e elétricas.

17. Máquina de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, caracterizada pelo fato da primeira porção da parte magnética compreender um primeiro arranjo magnético.

20 18. Máquina de acordo com a reivindicação 17, caracterizada pelo fato do primeiro arranjo magnético compreender ímãs feitos de material magnetizado permanentemente.

25 19. Máquina de acordo com a reivindicação 18, caracterizada pelo fato dos ímãs serem ímãs planares tendo pólos opostos em suas faces planares que se voltam em direção ao movimento relativo das partes elétricas e magnéticas, o arranjo magnético compreendendo adicionalmente peças de pólo moldadas montadas sobre as faces planares dos ímãs, as peças de pólo sendo formadas para girar o fluxo magnético de modo que ele cruze o vão entre as primeira e segunda porções da parte magnética.

20. Máquina de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, caracterizada pelo fato da segunda porção da parte magnética compreender uma placa de material magnético.

5 21. Máquina de acordo com a reivindicação 20, caracterizada pelo fato do material magnético ser ferro.

22. Máquina de acordo com qualquer uma das reivindicações 17 a 19, caracterizada pelo fato da segunda porção da parte magnética compreender um segundo arranjo magnético similar ao primeiro arranjo magnético.

10 23. Máquina de acordo com a reivindicação 22, caracterizada pelo fato dos ímãs e peças de pólo ser arranjos em cada arranjo magnético de modo que faces planares opostas de ímãs adjacentes, em cada arranjo magnético, tenham a mesma polaridade e de modo que faces planares alinhadas de ímãs opostas em arranjos diferentes tenham polaridades opostas.

15 24. Máquina de acordo com a reivindicação 16, caracterizada pelo fato de campos magnéticos espacialmente periódicos serem produzidos por meio de bobinas de fio ou por condutores laminares padronizados através dos quais correntes elétricas são levadas a fluir quando a máquina está em operação.

20 25. Máquina de acordo com a reivindicação 16, caracterizada pelo fato dos campos magnéticos espacialmente periódicos serem induzidos pela variação temporal de correntes nos condutores da parte elétrica.

25 26. Máquina de acordo com a reivindicação 16, quando dependente de qualquer uma das reivindicações 4 a 11, caracterizada pelo fato dos condutores elétricos laminares terem uma dimensão espacial regular que seja aproximadamente igual, mas menos do que um sexto do comprimento do período magnético e que faça com que a corrente flua alternadamente para frente e para trás, transversal à linha do vetor de força com um período espacial igual à metade do período magnético, os caminhos de condução de

cada fase sendo arranjados para se estender adjacentes àqueles das outras duas fases na região do campo magnético espacialmente periódico para recobri-los em outro lugar.

5 27. Máquina de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, caracterizada pelo fato da parte elétrica ser montada em uma ou duas vigas de cobertura tendo resistência termal baixa, a, ou cada viga de cobertura compreendendo meios para dissipar o calor gerado na parte elétrica.

10 28. Máquina de acordo com a reivindicação 27, caracterizada pelo fato dos meios para dissipar o calor gerado na parte elétrica compreender um ou mais de um canal de refrigerante dentro das vigas de cobertura através do qual o fluido refrigerante pode fluir, um sumidouro térmico e um dissipador de calor.

15 29. Máquina de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, caracterizada pelo fato da parte magnética formar uma armadura e a parte elétrica formar um estator.

30. Máquina de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 28, caracterizada pelo fato da parte magnética formar um estator e a parte elétrica formar uma armadura.

20 31. Máquina de acordo com a reivindicação 29 ou 30, caracterizada pelo fato da armadura ser montada de modo a deslizar, ou pivotar, sobre o estator por meio de um ou mais conjunto de suporte.

32. Máquina de acordo com a reivindicação 31, caracterizada pelo fato do elemento portador de força da armadura emergir a partir, ou ser portado pelo conjunto de suporte do estator.

25 33. Máquina de acordo com qualquer uma das reivindicações 29 a 32, caracterizada pelo fato de pelo menos uma extremidade da máquina ter uma abertura e portar um suporte cilíndrico através dos quais é estendido um tubo, ou haste de empuxo, pelo qual a força, sobre a armadura, pode ser transmitida externamente.

34. Máquina de acordo com qualquer uma das reivindicações 29 a 33, caracterizada pelo fato da armadura ser externa ao estator, a armadura sendo acoplada à carga.

5 35. Máquina de acordo com qualquer uma das reivindicações 29 a 34, caracterizada pelo fato da armadura ser conectada mecanicamente a pelo menos um disco, ou roda, pelo qual o torque rotativo produzido pelas forças eletromagnéticas sobre a armadura pode ser transportado para um eixo, cujo eixo é coincidente com o eixo central do toro formado pelo estator.

10 36. Máquina de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, caracterizada pelo fato de correntes elétricas da parte elétrica interagir com uma pluralidade de partes magnéticas se deslocando ao longo de pelo menos um suporte, ou trilha, coincidente ou paralelo à lugar geométrico de movimento relativo das partes elétricas e magnéticas.

15 37. Máquina de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, caracterizada pelo fato da parte elétrica ser dividida em setores ao longo do lugar geométrico de movimento relativo das partes elétricas e magnéticas, cada um dos setores energizado independentemente e controlado para prover o controle independente de uma pluralidade de partes magnéticas compartilhando os setores da parte elétrica.

20 38. Máquina de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, caracterizada pelo fato de não haver nenhuma aleta, ou haste estendida, para conectar a uma armadura interna, mas na qual, a carga é conectada a um estator e, desse modo, receber o todo, ou parte das forças de reação correspondendo com as acelerações da armadura desligada

25 39. Máquina de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, caracterizada pelo fato do lugar geométrico de movimento relativo das partes magnéticas e elétricas compreender tanto seções retas como seções curvas.

40. Máquina de acordo com qualquer uma das reivindicações

precedentes, caracterizada pelo fato do lugar geométrico de movimento relativo das partes magnéticas e elétricas formar um caminho circular fechado.

5 41. Máquina de acordo com qualquer uma das reivindicações
precedentes, caracterizada pelo fato do lugar geométrico de movimento
relativo das partes magnéticas e elétricas formar uma curva suave em três
dimensões, como uma espiral.

 42. Máquina de acordo com qualquer uma das reivindicações
29 ou 30, caracterizada pelo fato do conjunto de armadura ser flexível ou
10 articulado e seguir um lugar geométrico de movimento suave, em três
dimensões.

 43. Máquina de acordo com qualquer uma das reivindicações
precedentes, caracterizada pelo fato de pelo menos um dos condutores incluir,
ou suportar, uma camada de material que, quando resfriado abaixo de sua
15 temperatura crítica, se torna supercondutor.

 44. Máquina de acordo com qualquer uma das reivindicações
precedentes, caracterizada pelo fato de pelo menos um dos condutores ser
fabricado de material ferromagnético.

 45. Máquina eletromagnética caracterizada pelo fato de
20 compreender:

 primeiro e segundo arranjos magnéticos dispostos em relação
espaçada e arranjos para prover uma pluralidade de campos magnéticos
através de um vão entre os arranjos magnéticos; e

 uma palheta de condutor elétrico disposta no vão entre os
25 arranjos magnéticos, a palheta de condutor elétrico compreendendo uma
pluralidade de condutores de atuação autossuportados acondicionados bem
juntos e uma pluralidade de condutores de conexão, cada condutor de atuação
estando conectado em uma de suas extremidades a uma extremidade de outro
condutor de atuação por meio de um condutor de conexão; a palheta de

condutor elétrico sendo arranjada de modo que, quando corrente flui nos condutores de atuação, uma força eletromagnética é induzida para provocar a movimentação da palheta de condutor elétrico em relação aos arranjos magnéticos e onde os condutores de atuação estão dispostos na linha de visão entre arranjos magnéticos e os condutores de conexão estão arranjos fora da linha de visão, entre os arranjos magnéticos.

46. Máquina eletromagnética rotativa, caracterizada pelo fato de compreender:

uma palheta de condutor elétrico cilíndrica, a palheta de condutor elétrico compreendendo uma pluralidade de condutores de atuação substancialmente axialmente paralelos e uma pluralidade de condutores de conexão, cada condutor de atuação sendo conectado em uma de suas extremidades a uma extremidade de outro condutor de atuação por meio de um condutor de conexão; e

uma pluralidade de arranjos magnéticos arranjos para prover uma pluralidade de campos magnéticos através dos condutores de atuação de modo que, quando corrente flui nos condutores de atuação, uma força eletromagnética é induzida para provocar movimentação radial das palhetas de condutor elétrico em relação aos arranjos magnéticos.

47. Máquina eletromagnética rotativa de acordo com a reivindicação 46, caracterizada pelo fato dos arranjos magnéticos compreenderem um arranjo magnético cilíndrico interno disposto no interior da palheta de condutor cilíndrico e um arranjo magnético cilíndrico externo disposto na parte externa da palheta de condutor cilíndrico.

48. Máquina eletromagnética rotativa, caracterizada pelo fato de compreender:

uma palheta de condutor elétrico anular, a palheta de condutor elétrico compreendendo uma pluralidade de condutores de atuação substancialmente radiais e uma pluralidade de condutores de conexão, cada

condutor de atuação sendo conectado em uma de suas extremidades a uma extremidade de outro condutor de atuação por meio de um condutor de conexão; e

- 5 uma pluralidade de arranjos magnéticos arranjados para prover
- uma pluralidade de campos magnéticos através de condutores de atuação de modo que quando corrente flui nos condutores de atuação, uma força eletromagnética é induzida para provocar a rotação da palheta de condutor elétrico em relação aos arranjos magnéticos.

10 49. Máquina eletromagnética rotativa, caracterizada pelo fato de compreender:

- uma pluralidade de palhetas de condutor elétrico anulares tendo um eixo comum, cada palheta de condutor elétrico compreendendo uma pluralidade de condutores de atuação substancialmente radiais e uma pluralidade de condutores de conexão, cada condutor de atuação sendo
- 15 conectado em uma de suas extremidades a uma extremidade de outro condutor de atuação por meio de um condutor de conexão; e

- uma pluralidade de arranjos magnéticos arranjados para prover uma pluralidade de campos magnéticos através dos condutores de atuação de modo que, quando corrente flui nos condutores de atuação, uma força
- 20 eletromagnética é induzida para provocar a rotação das palhetas de condutor elétrico em relação aos arranjos magnéticos.

25 50. Máquina eletromagnética rotativa de acordo com a reivindicação 49, caracterizada pelo fato, de pelo menos uma das palhetas de condutor elétrico anulares ter um arranjo magnético associado em comum com pelo menos uma de suas palhetas de condutor elétrico anulares vizinhas.

 51. Máquina eletromagnética linear, caracterizada pelo fato de compreender:

- uma pluralidade de palhetas de condutor elétrico, cada palheta de condutor elétrico compreendendo uma pluralidade de condutores de

atuação e uma pluralidade de condutores de conexão, cada condutor de atuação sendo conectado em uma de suas extremidades a uma extremidade de outro condutor de atuação por meio de um condutor de conexão, as palhetas de condutor estando dispostas paralelas umas às outras; e

5 uma pluralidade de arranjos magnéticos arranjados para prover uma pluralidade de campos magnéticos através dos condutores de atuação de modo que, quando corrente flui nos condutores de atuação, uma força eletromagnética é induzida para provocar a movimentação das palhetas de condutor elétrico em relação aos arranjos magnéticos.

10 52. Máquina eletromagnética linear, caracterizada pelo fato de compreender:

 uma pluralidade de palhetas de condutor elétrico, cada palheta de condutor elétrico compreendendo uma pluralidade de condutores de atuação e uma pluralidade de condutores de conexão, cada condutor de
15 atuação sendo conectado em uma de suas extremidades a uma extremidade de outro condutor de atuação por meio de um condutor de conexão, as palhetas de condutor sendo arranjadas radialmente ao redor de um eixo; e

 uma pluralidade de arranjos magnéticos arranjados para prover uma pluralidade de campos magnéticos através dos condutores de atuação de
20 modo que, quando corrente flui nos condutores de atuação, uma força eletromagnética é induzida para provocar movimentação das palhetas de condutor elétrico em relação aos arranjos magnéticos.

 53. Máquina eletromagnética linear de acordo com a reivindicação 51 ou 52, caracterizada pelo fato de pelo menos uma das
25 palhetas de condutor elétrico ter um arranjo magnético associado em comum com pelo menos uma de suas palhetas de condutor elétrico, vizinhas.

 54. Máquina eletromagnética de acordo com a reivindicação 53, quando dependente de acordo com a reivindicação 52, caracterizada pelo fato de cada arranjo magnético ser compreendido de um número par de ímãs.

55. Máquina eletromagnética linear de acordo com a reivindicação 52, caracterizada pelo fato da máquina ser configurada dentro de um recipiente cilíndrico.

5 56. Máquina eletromagnética linear de acordo com a reivindicação 55, caracterizada pelo fato de pelo menos uma extremidade do cilindro de contenção ter uma abertura e portar um suporte através do qual um tubo, ou uma haste de empuxo, emerge de modo a transportar a força eletromagnética induzida para uma carga externa.

10 57. Máquina eletromagnética linear de acordo com a reivindicação 55 ou 56, caracterizada pelo fato de um volume que inclui o cilindro de contenção ser hermeticamente vedado e a haste, ou tubo de empuxo emergente, ser arranjado para passar através de um vedação deslizante, de modo que a armadura possa ter tanto uma função elétrica quanto uma função pneumática.

15 58. Máquina eletromagnética linear de acordo com a reivindicação 56 ou 57, caracterizada pelo fato da haste, ou tubo de empuxo, formar o elemento ativo de uma mola de gás.

20 59. Máquina eletromagnética linear de acordo com qualquer uma das reivindicações 51 a 58, caracterizada pelo fato de cada palheta de condutor elétrico ser dividida em setores eletricamente isolados ao longo de um lugar geométrico de movimento da máquina.

25 60. Máquina de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, quando dependente das reivindicações 29 e 30, caracterizada pelo fato de forças eletromagnéticas impulsivas, sobre a armadura, ser transmitidas à carga através de forças de reação iguais e opostas experimentadas pelo estator.

61. Máquina de acordo com a reivindicação 60, caracterizada pelo fato da movimentação da armadura ser arranjada para propelir, ou ser propelida, por fluido dentro do estator fechado, de modo a funcionar como

uma bomba, ou absorver energia a partir de um fluido móvel.

62. Máquina eletromagnética, caracterizada pelo fato de compreender:

uma parte magnética compreendendo uma primeira porção e uma segunda porção disposta em relação espaçada à primeira porção, a parte magnética sendo arranjada para prover uma pluralidade de campos magnéticos através de um vão entre a primeira porção e a segunda porção; e

uma parte elétrica disposta no vão entre as primeira e segunda porções da parte magnética e arranjada para se mover em relação à parte magnética, a parte elétrica consistindo de um conjunto de condutores de suporte autossuportados, eletricamente isolados, de modo que quando a corrente flui no conjunto de condutores, a força eletromagnética resultante provoque o movimento relativo entre as duas partes.

63. Palheta de condutor elétrico para uma máquina eletromagnética tendo uma parte magnética para prover campos magnéticos à palheta de condutor elétrico, de modo que, quando corrente flui na palheta de condutor elétrico, uma força eletromagnética é induzida para provocar a movimentação da palheta de condutor elétrico em relação à parte magnética, a palheta de condutor elétrico caracterizada pelo fato de compreender:

uma pluralidade de condutores de atuação; e
uma pluralidade de condutores de conexão, cada condutor de atuação conectado em uma de suas extremidades a uma extremidade de outro condutor de atuação por meio de um condutor de conexão, a força eletromagnética sendo induzida quando a corrente flui nos condutores de atuação,

onde, porções centrais dos condutores de atuação são acondicionadas bem juntas e porções de extremidade de alguns dos condutores de atuação são dobradas na região dos condutores de conexão de modo que os condutores de conexão sejam recobertos.

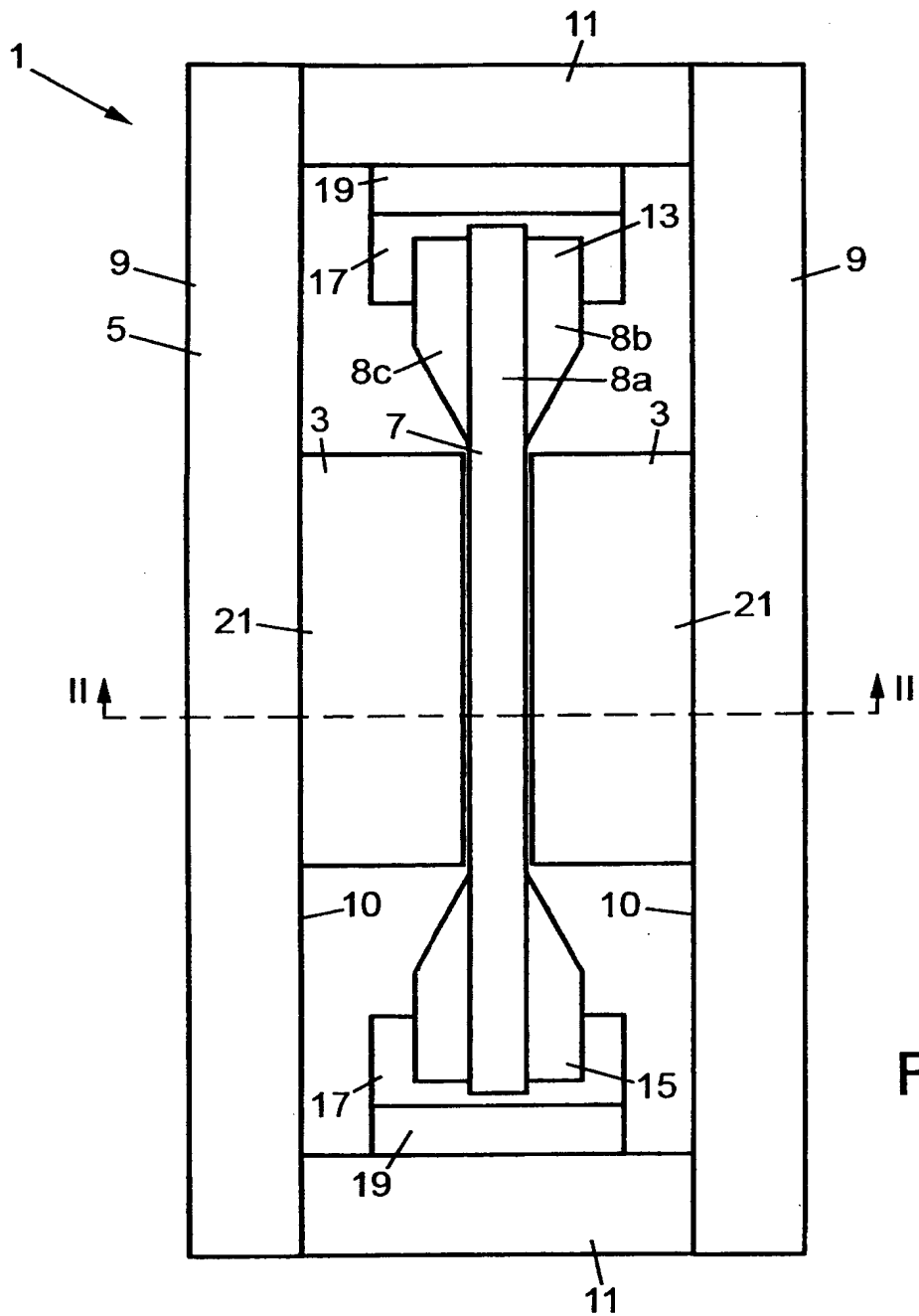


Fig. 1

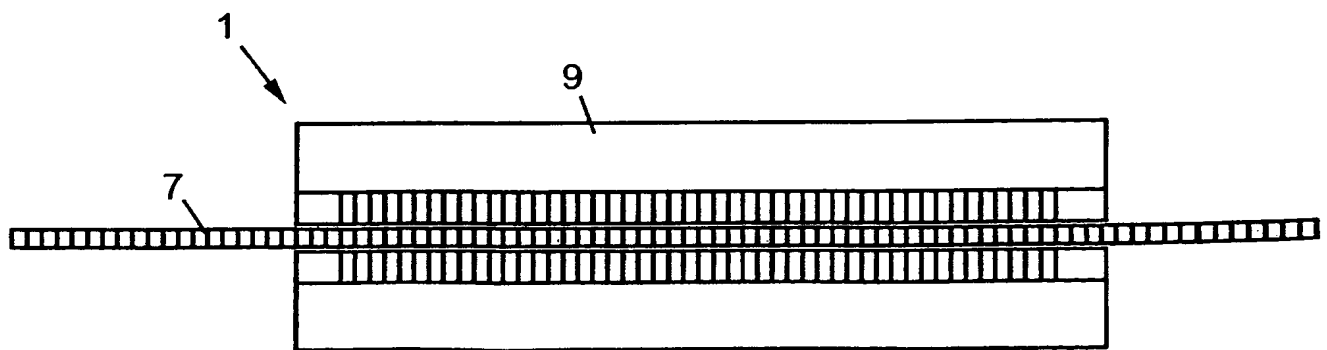


Fig. 2

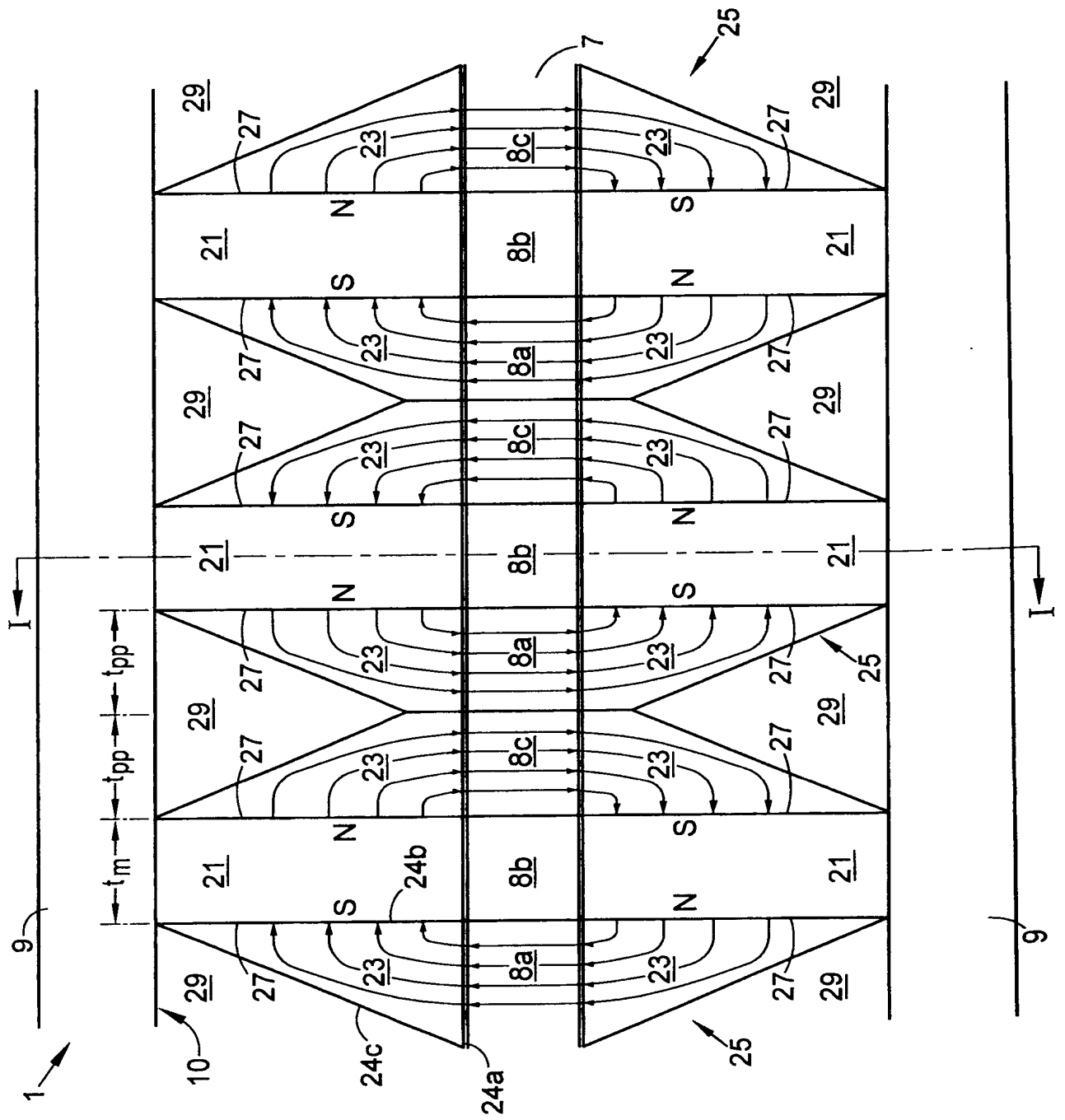


Fig. 3

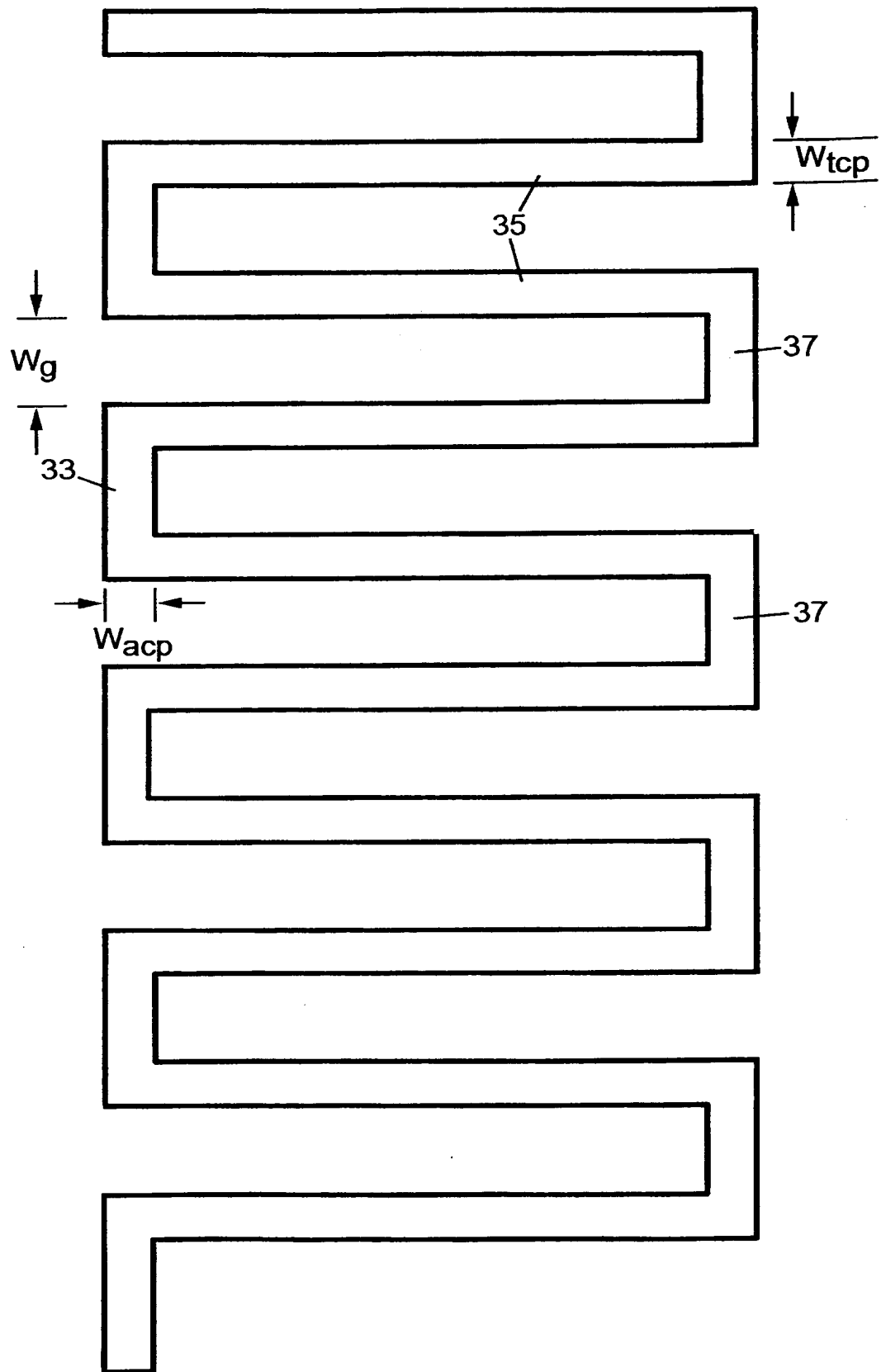


Fig. 4A

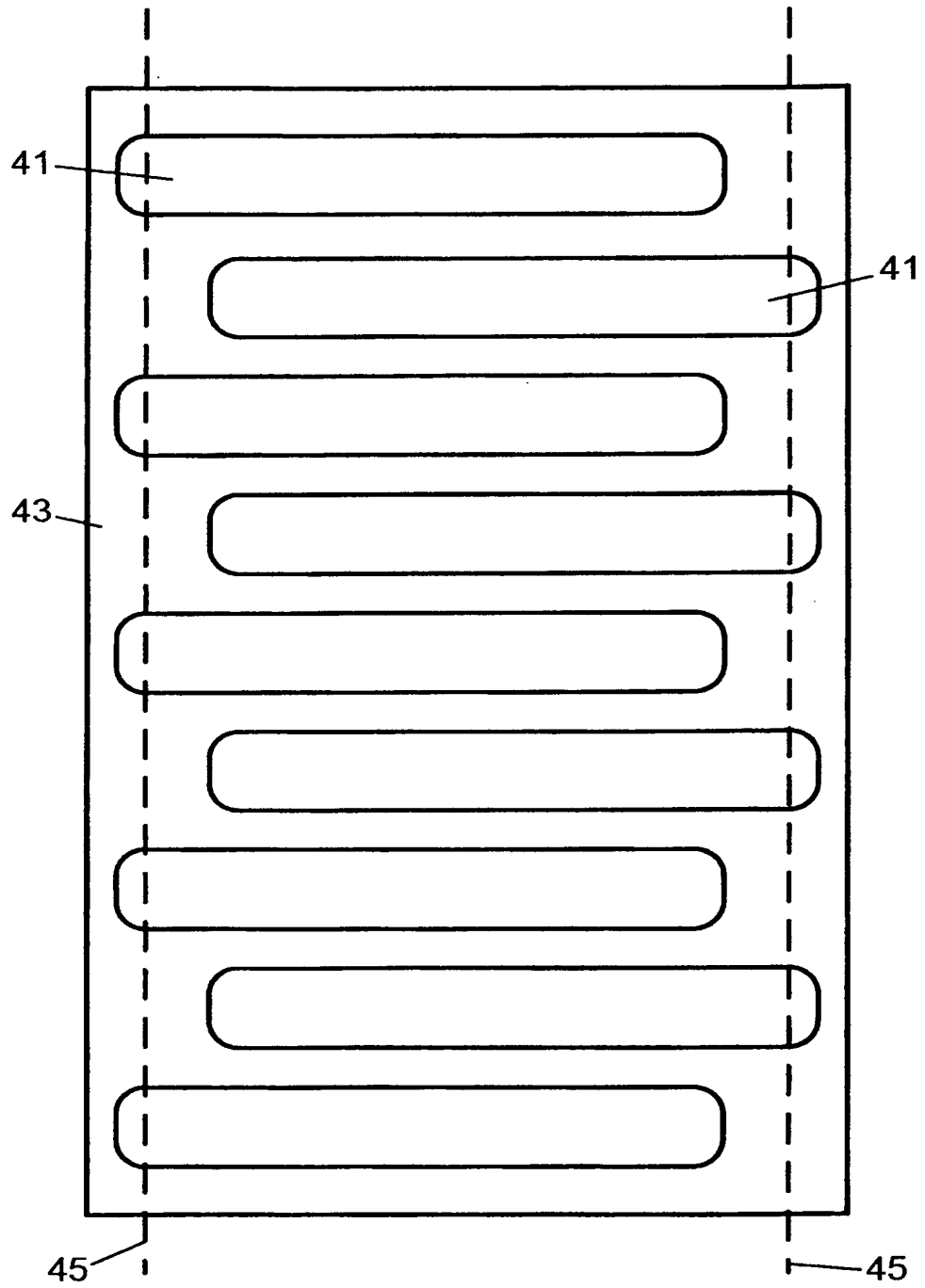


Fig. 4B

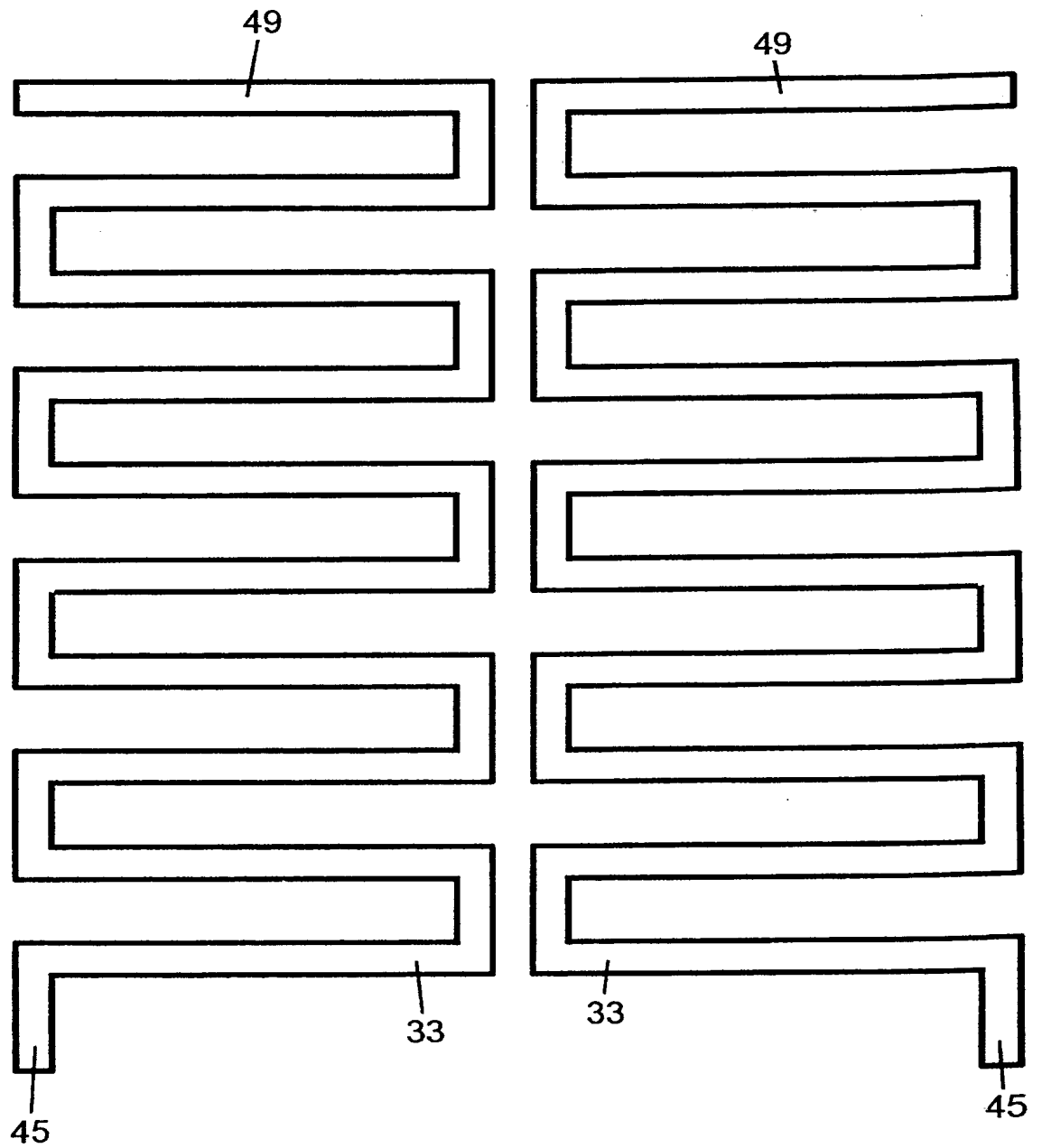


Fig. 5

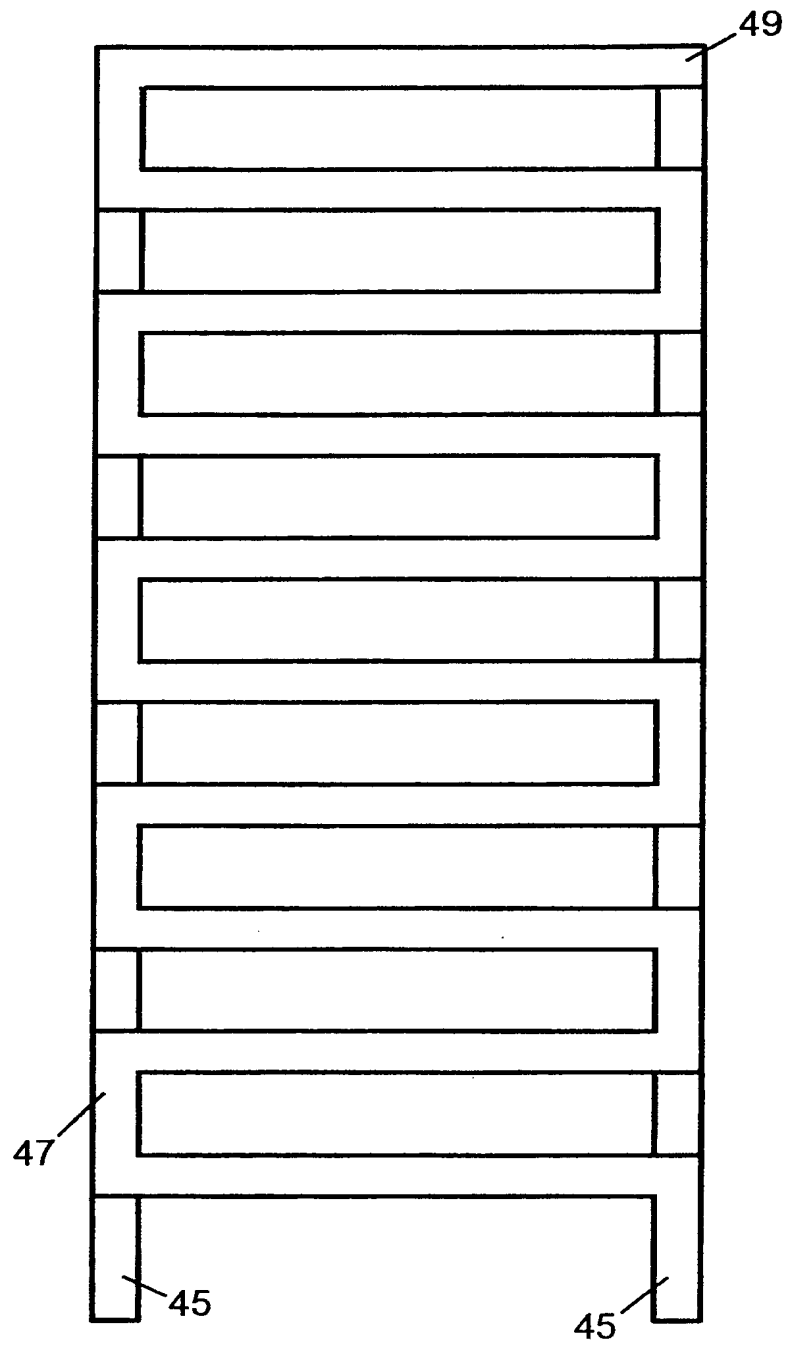


Fig. 6

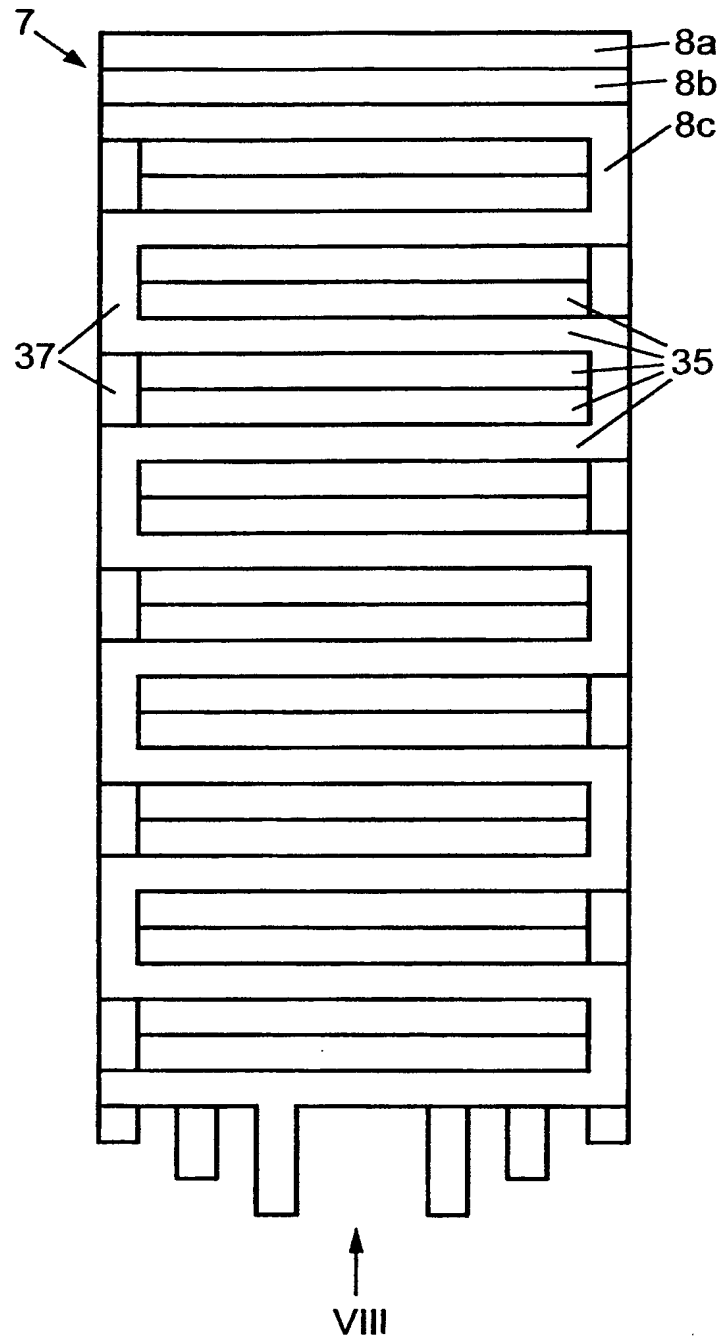


Fig. 7

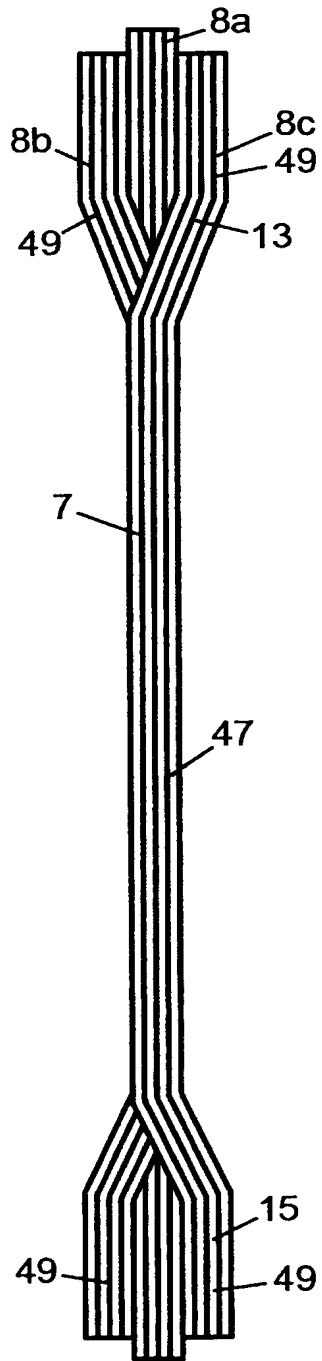


Fig. 8

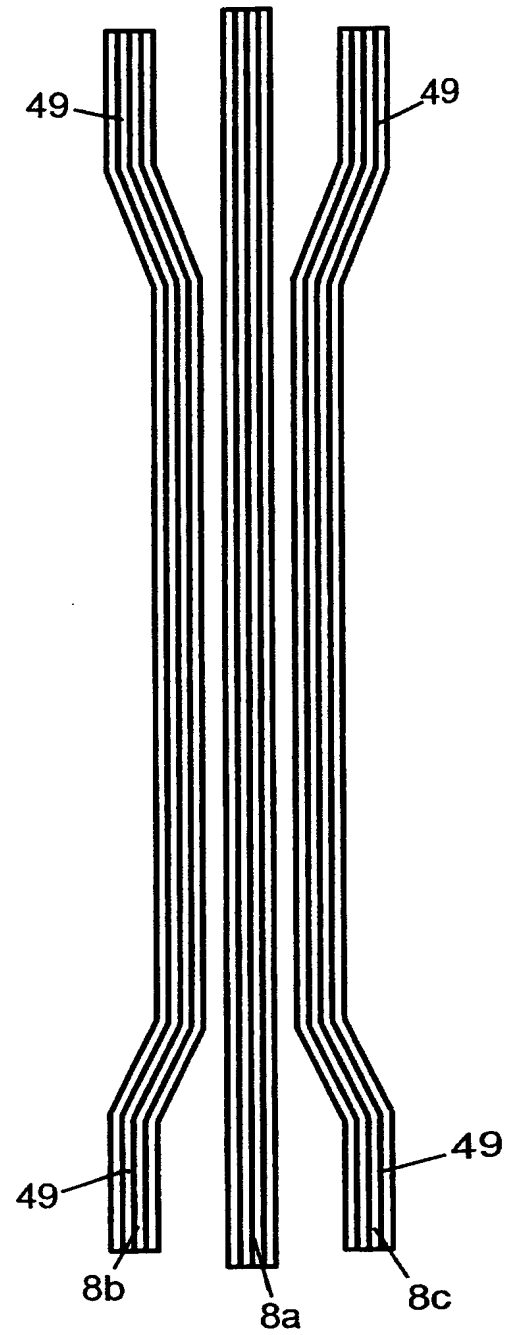


Fig. 9

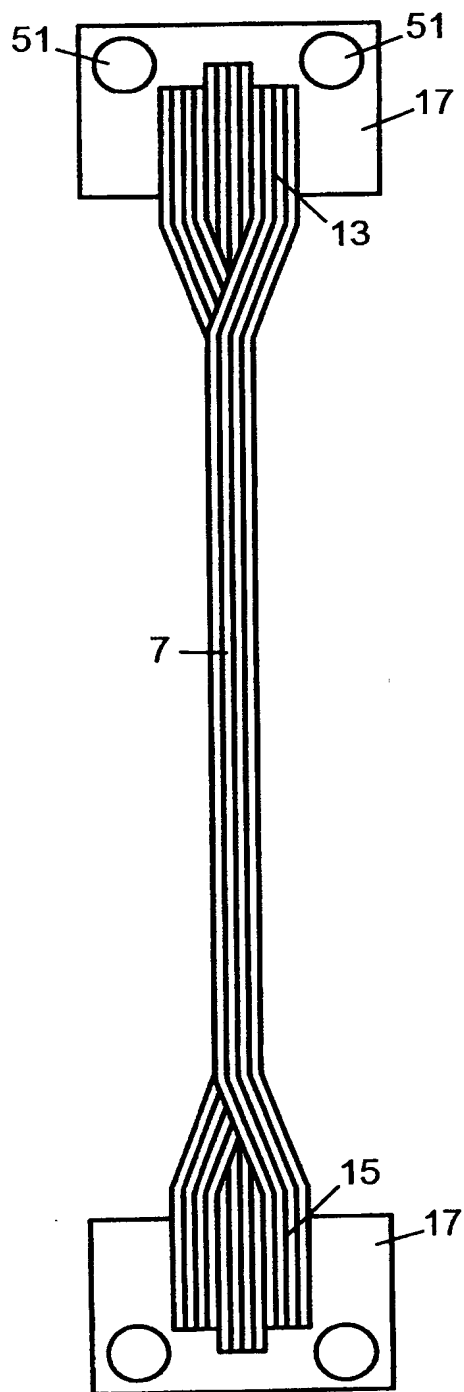


Fig. 10

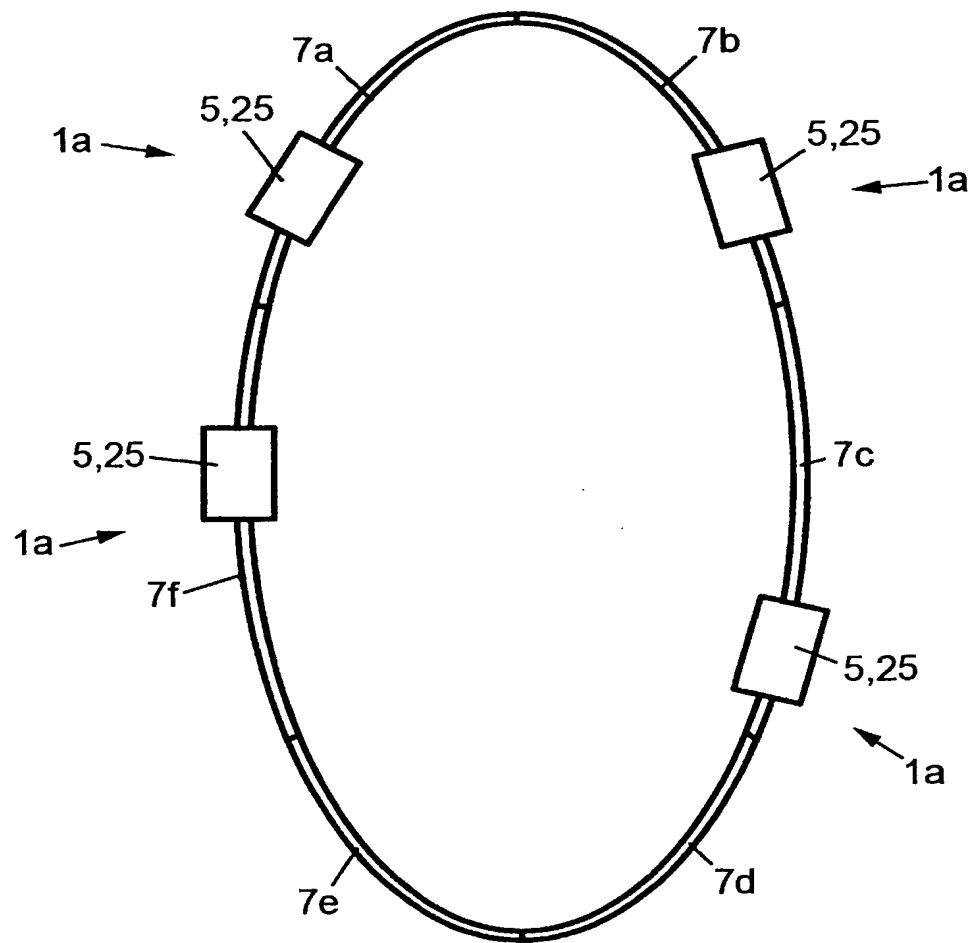


Fig. 11

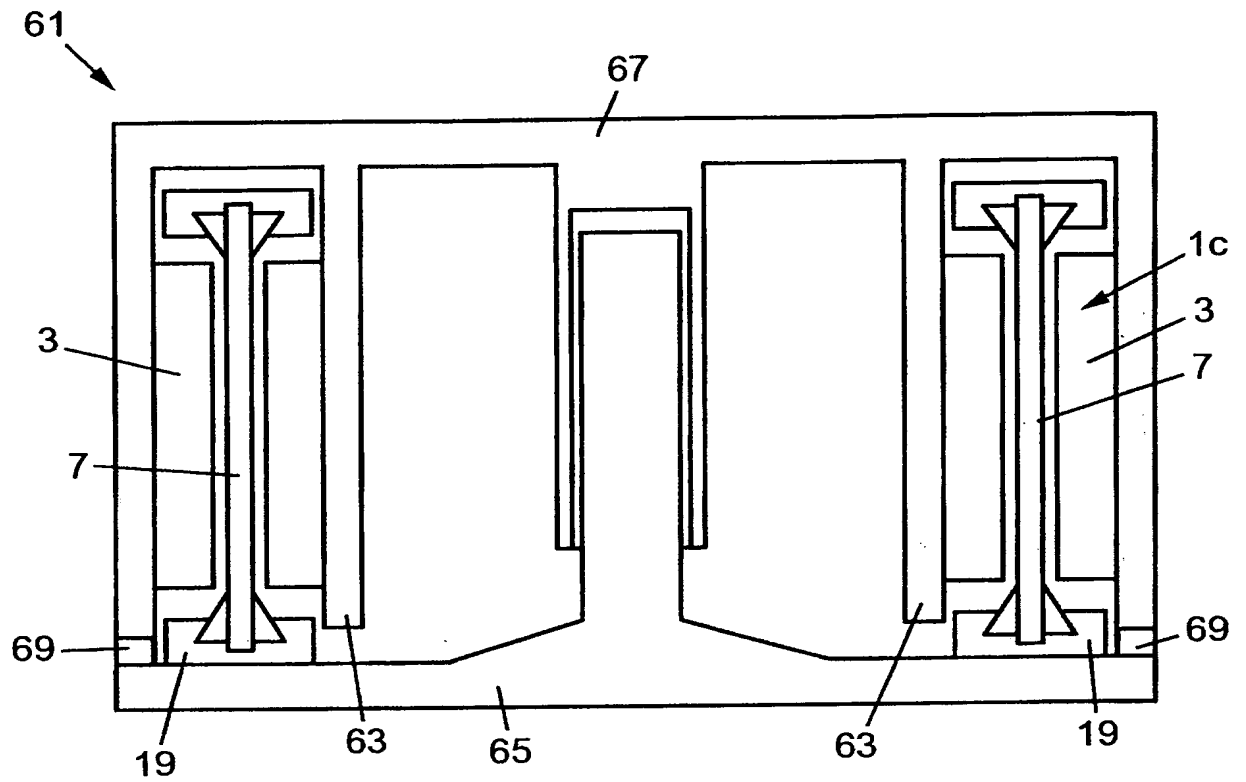


Fig. 12

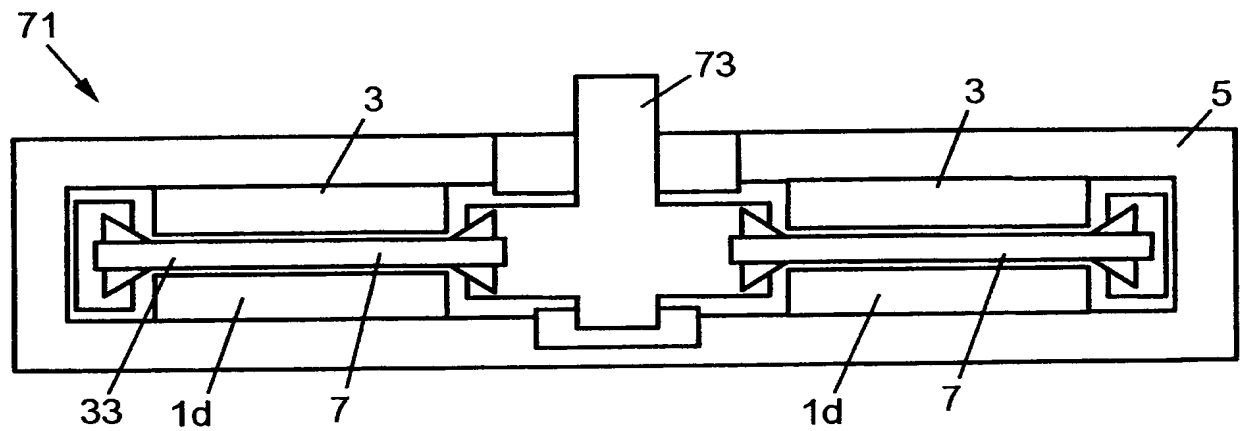


Fig. 13

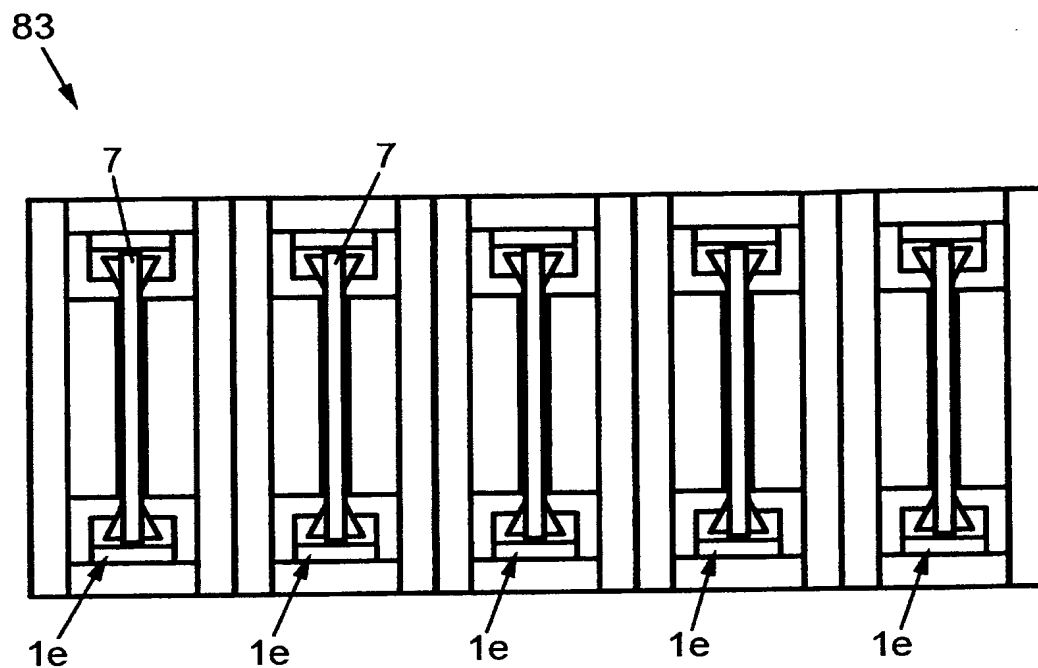


Fig. 14A

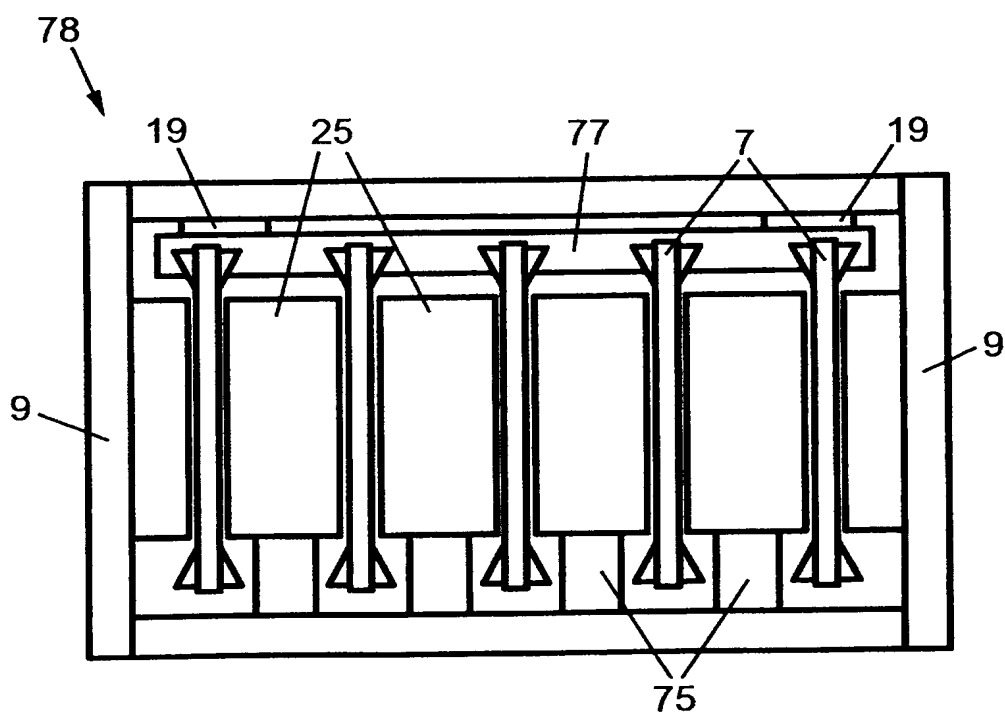


Fig. 14B

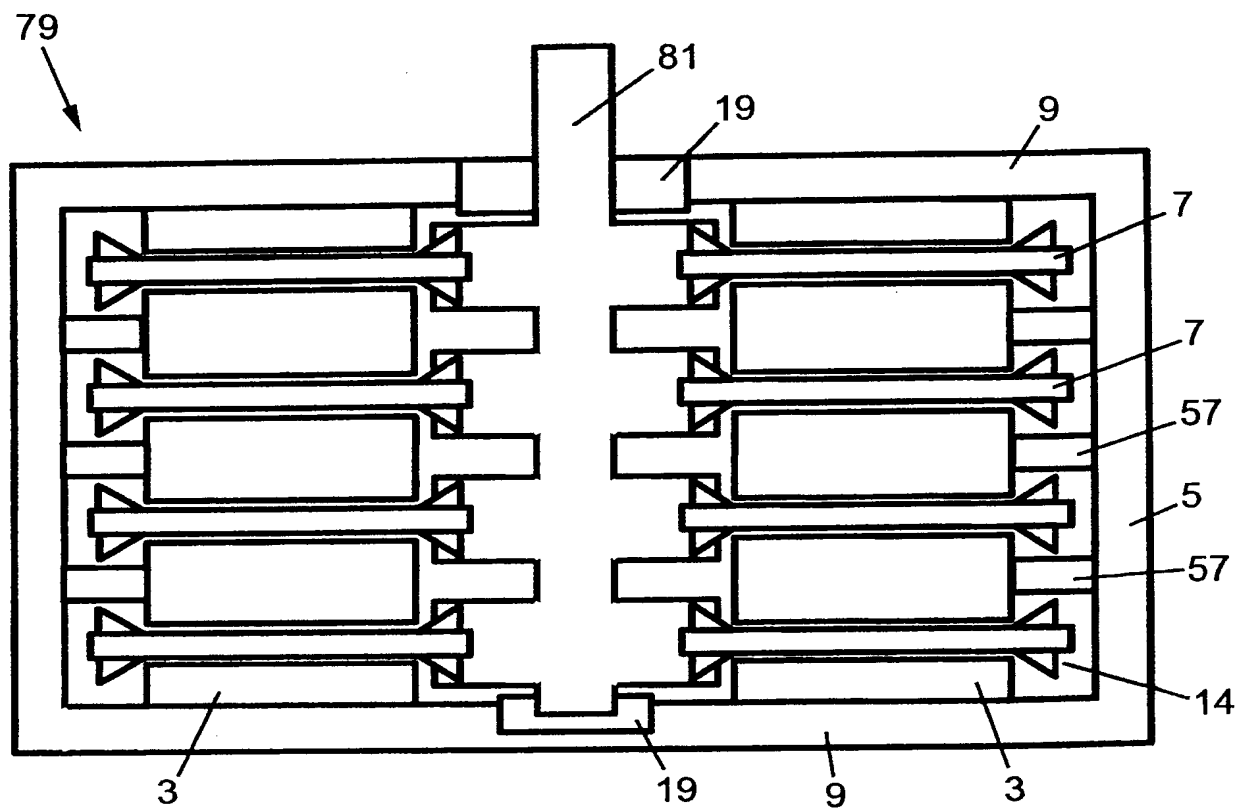


Fig. 15

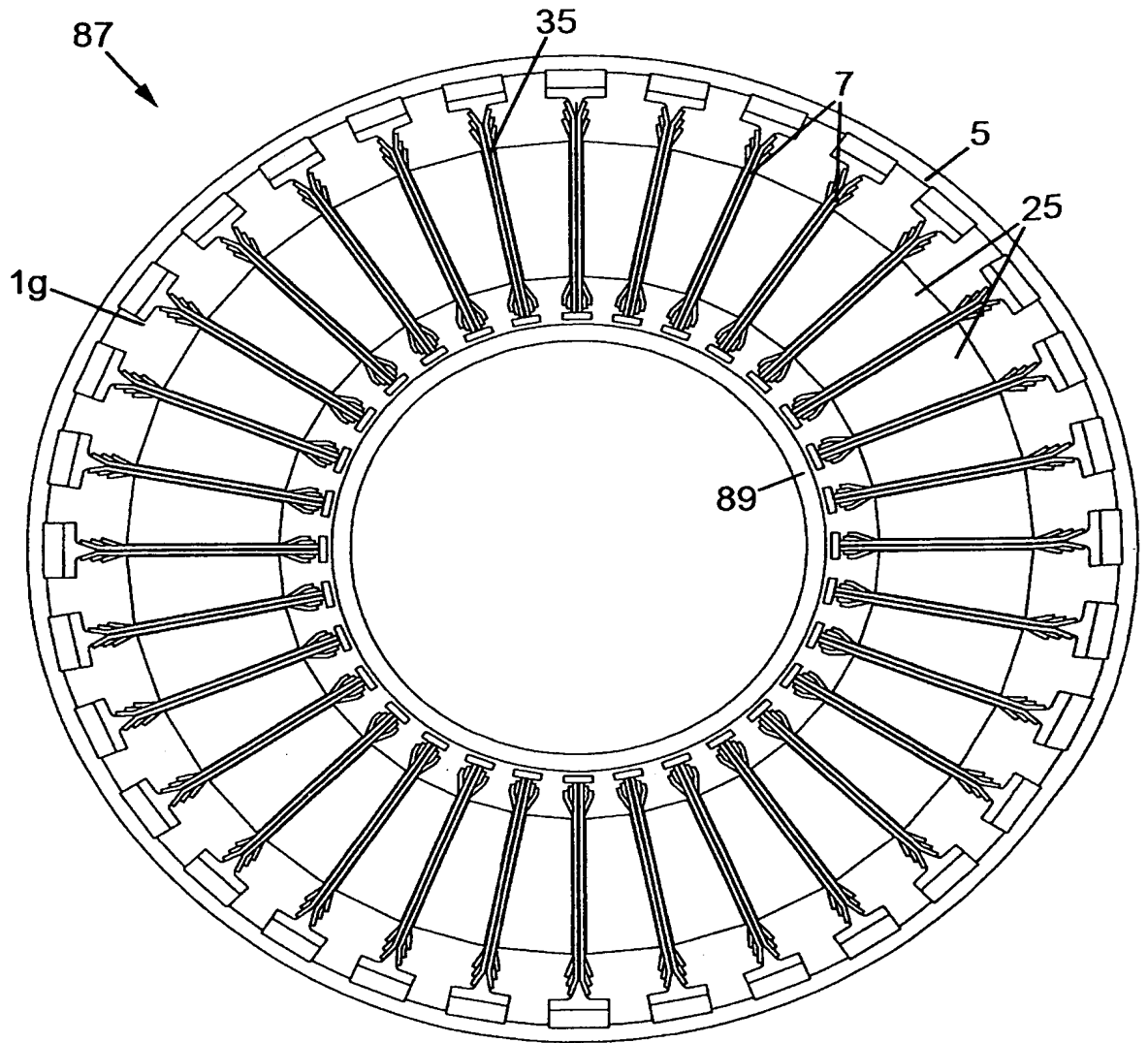


Fig. 16

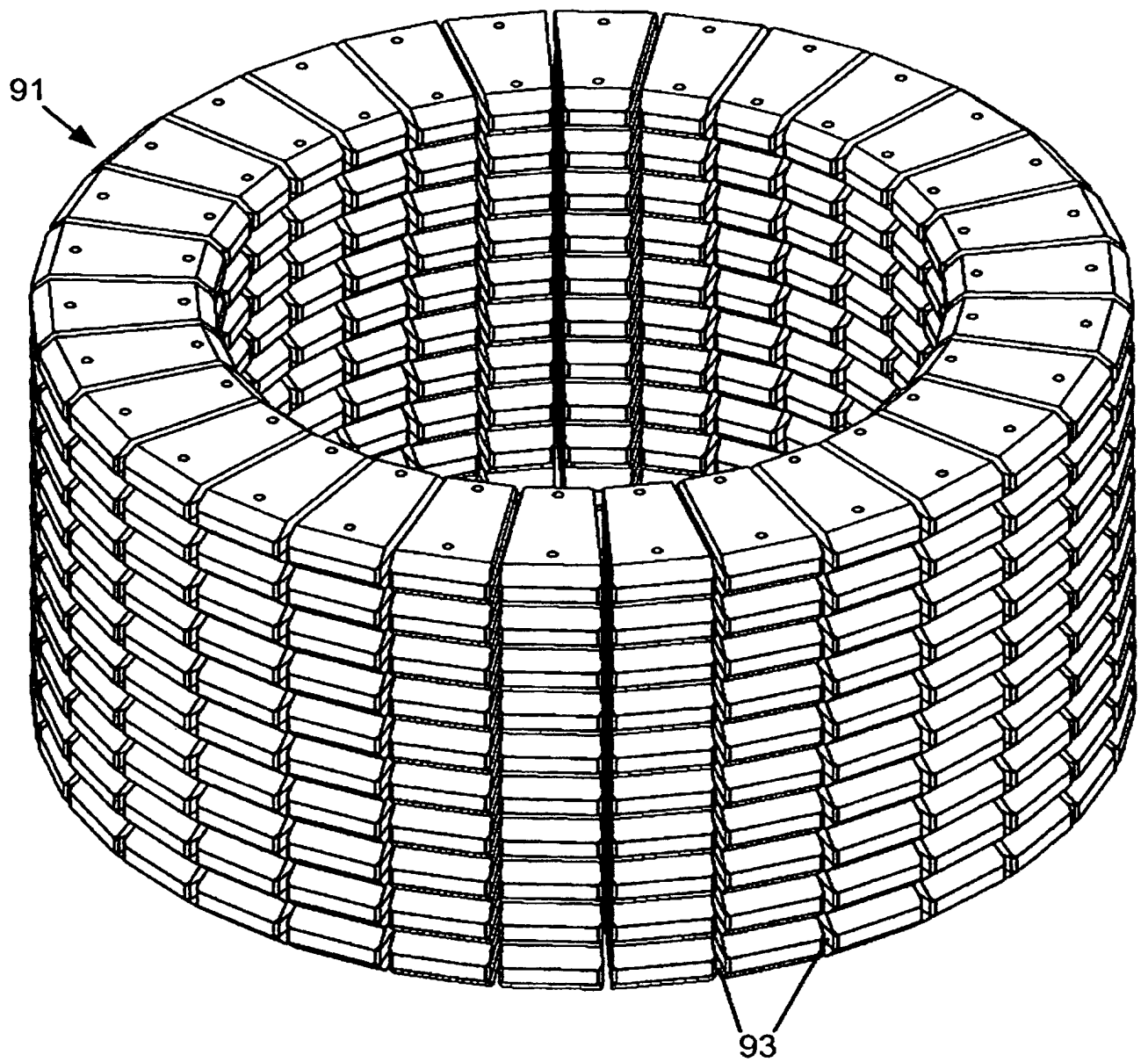
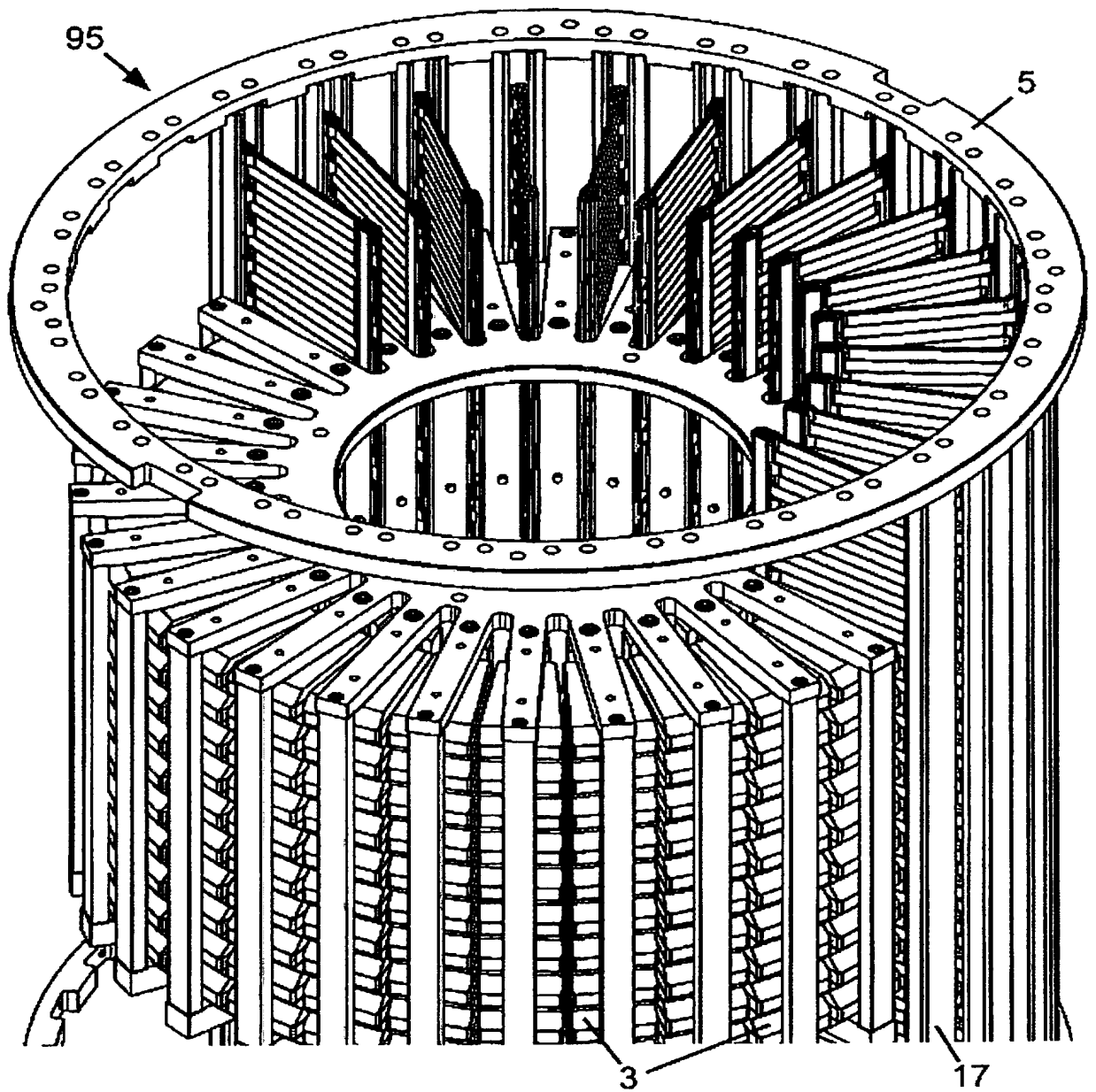


Fig.17



Fig,18

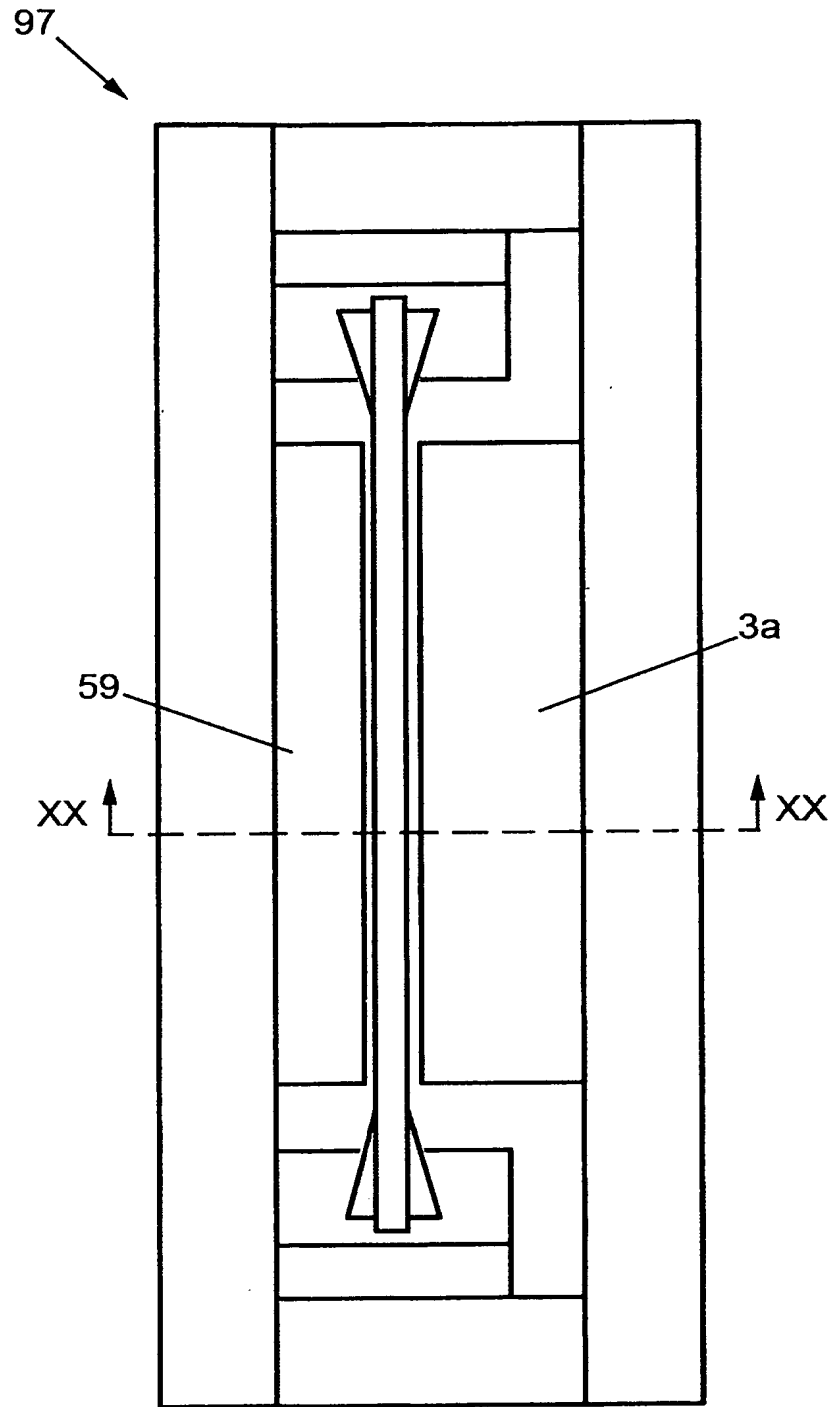


Fig. 19

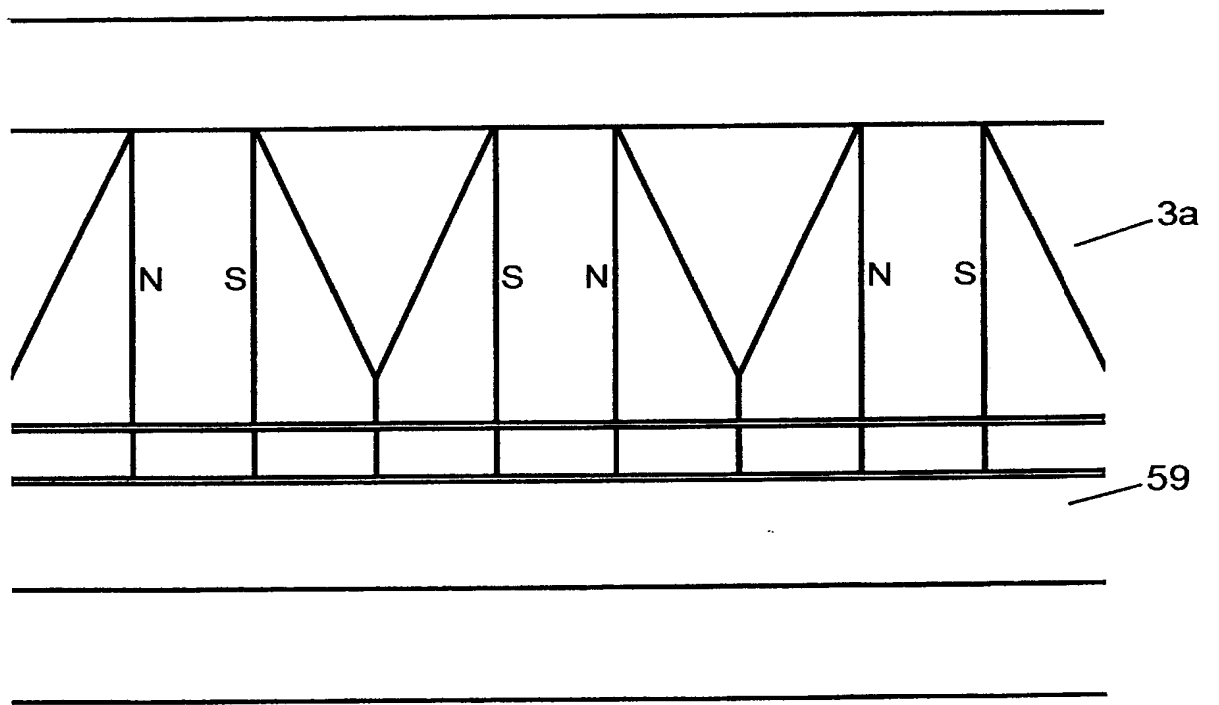


Fig. 20

RESUMO

“MÁQUINA ELETROMAGNÉTICA”

Uma máquina eletromagnética (1) compreende uma palheta de condutor elétrico (7) disposta entre dois arranjos magnéticos (3). A palheta de condutor elétrico (7) compreende uma pluralidade de condutores isolados eletricamente (35) onde, quando os condutores (35) são dispostos em campos magnéticos produzidos pelos arranjos magnéticos (3) e, quando corrente flui nos condutores (35), uma força eletromagnética é induzida para provocar a movimentação dos arranjos magnéticos (3) em relação à palheta de condutor elétrico (7) e onde o conjunto de condutores (35) preenche substancialmente o vão entre os arranjos magnéticos (3) através do qual os campos magnéticos passam.