



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

(11) PI 0409774-2 B1



(22) Data do Depósito: 26/04/2004

(45) Data de Concessão: 18/07/2017

(54) Título: ATUADOR ELETROMAGNÉTICO, COMBINAÇÃO DE VÁLVULA E ATUADOR E MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA

(51) Int.Cl.: F01L 9/04; F01L 1/30; F01L 13/00

(30) Prioridade Unionista: 17/12/2003 GB 03 29201.8, 26/04/2003 GB 03 09512.2

(73) Titular(es): CAMCON AUTO LIMITED

(72) Inventor(es): WLADYSLAW WYGNANSKI; GRAHAM PAUL FORD

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "ATUADOR ELETROMAGNÉTICO, COMBINAÇÃO DE VÁLVULA E ATUADOR E MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA".

Campo da Invenção

[001] Esta invenção se refere a atuadores magnéticos, especialmente dispositivos eletromagneticamente disparados. A invenção é de uso específico em um dispositivo para abrir e fechar uma válvula de admissão e escape.

Antecedentes da Invenção

[002] Válvulas de gatilho são usadas para controlar o fluxo de fluidos e assim consideradas como oferecendo um método robusto de controlar e vedar fluidos que são agressivos, por exemplo, quando os fluidos apresentam altas temperaturas e pressões. Em particular, válvulas de gatilho, geralmente operadas por cames giratórios que operam para superar molas que atuam de maneira a fechar as válvulas, são empregadas para controlar o fluxo de ar ou misturas de ar e combustível para as câmaras de combustão de motor de combustão interna, e a saída dos produtos de combustão das câmaras de combustão de motor de combustão interna.

[003] Por meio da seleção cuidadosa do perfil de came, é possível fazer pequenas mudanças à maneira na qual o fechamento de válvula se aproxima do assento de válvula e à maneira e à taxa nas quais o fechamento se move entre as posições fechada e aberta, e vice-versa, muito separadamente dos instantes nos quais a válvula está realmente aberta ou fechada. Este padrão de movimento do fechamento será denominado de perfil de movimento da válvula.

[004] Quando os cames forem girados pelo motor, é geralmente impossível alterar o perfil de movimento da válvula entre a velocidade ou o carregamento do motor e outro. Entretanto, há muito foi reconhecido que uma maior eficiência poderá ser alcançada, se um diferente

perfil de movimento de válvula for empregado em diferentes velocidades ou carregamentos. Mas, quando cames mecanicamente acionados estiverem relacionados com perfis de came fixos, estes terão que ser selecionados para conferir o perfil de movimento de válvula de melhor ajuste sobre a faixa esperada de velocidades e carregamentos do motor.

[005] É prática comum a de definir o perfil de came para assegurar que a velocidade de pouso do fechamento de válvula seja uma pequena fração da velocidade máxima da válvula, a fim de reduzir o esforço de impacto sobre o assento de válvula no fechamento, enquanto proporciona um movimento de alta velocidade do fechamento ou da abertura da válvula e em outras partes de seu percurso.

[006] Quando do funcionamento de um motor em alta velocidade, há necessidade de operar as válvulas de gatilho com altos níveis de aceleração e desaceleração, sendo, em geral, considerado que as forças geradas pelas hastes de calcar, pelos cames ou pelas molas são um fator limitativo na velocidade na qual um motor pode funcionar.

[007] Em uma tentativa de melhor controlar a abertura e o fechamento das válvulas de admissão e escape de um motor de combustão interna e, em particular, para variar o perfil de movimento de válvula em diferentes velocidades de operação, já foi proposto substituir os cames por atuadores a solenóide eletromagnéticos acionados pela corrente elétrica de um sistema de controle de motor controlado por computador. Mas, até agora, os resultados estiveram abaixo do satisfatório. Desse modo, quando usados para abrir e fechar tais válvulas em altas velocidades, os atuadores a solenóide foram considerados como produzindo altas velocidades de pouso e os sistemas de controle não podem regular a energia cinética das válvulas, à medida que as velocidades de operação aumentam. Adicionalmente, a atuação a solenóide eletromagnética não atinge velocidades de operação

de válvula exigidas das válvulas de admissão e escape das câmaras de combustão contendo os pistões de um motor de combustão interna destinados a funcionar em altas velocidades.

[008] Um meio de funcionamento rotativo para o controle de elevação de uma válvula de inversão de gás na cabeça de cilindro de um motor de combustão interna é revelado em WO03/016683. Um motor elétrico aciona um came de controle que controla uma válvula de inversão de gás. Tanto na posição fechada como na posição aberta da válvula de inversão de gás, o came de controle está posicionado por meio de primeiro e segundo batentes rotativos separados.

[009] Uma válvula de admissão variável está descrita em US 5,331,931. Um came é controlado por um motor de passo que pode ser girado para uma de duas posições.

[0010] É um objetivo da presente invenção o de prover um atuador magnético melhor adequado para controlar a abertura e o fechamento das válvulas de admissão e escape de um motor de combustão interna.

Sumário da Invenção

[0011] De acordo com um aspecto da presente invenção, é provido um atuador eletromagnético, no qual um rotor é girável em um estator que é magnetizável em fazendo com que uma corrente elétrica fluia através de pelo menos um enrolamento associado com o estator, o rotor sendo girável entre as posições de repouso definidas por uma combinação de forças de mola e/ou magnéticas que atuam sobre o rotor, onde um meio de mola armazena energia durante parte do movimento do rotor e supre energia cinética para acelerar o rotor durante o movimento subsequente do mesmo, de uma posição de repouso para outra, onde um torque magnético será exercido sobre o rotor, quando uma corrente fluir em pelo menos um enrolamento, o que é suficiente para superar a força magnética que detém o rotor nessa posição

de repouso, para fazer com que o rotor gire em uma direção a partir de uma posição de repouso para outra posição de repouso, o rotor sendo conectado a um membro de impulso por uma articulação mecânica através da qual o movimento rotacional do rotor é convertido em movimento substancialmente linear, a articulação apresentando um ganho mecânico que varia em uma maneira predeterminada durante a rotação do rotor.

[0012] De acordo com outros aspectos da presente invenção, é provido um atuador, conforme mencionado acima, no qual o rotor apresenta apenas duas posições de repouso estáveis, cada uma das quais sendo definida por forças magnéticas e/ou forças de mola que atuam sobre o rotor, onde um primeiro meio de mola armazena energia durante o movimento do rotor na direção de uma posição de repouso e supre energia cinética para acelerar o rotor afastado da posição de repouso para sua outra posição de repouso, e um segundo meio de mola armazena energia, à medida que o rotor gira na direção de sua outra posição de repouso para prover energia cinética para prover uma força de aceleração no rotor, à medida que ele se move longe da dita outra posição de repouso em um sentido contrário na direção de sua primeira posição de repouso.

[0013] Esta variação de ganho mecânico será denominada de perfil de ganho mecânico do atuador. Tipicamente, o perfil será não-linear. Em uma disposição, o ganho mecânico se altera pseudo-senoidalmente com o movimento angular do rotor, mas é modificado de tal modo que próximo de uma posição de repouso, o movimento angular do rotor não resulte em nenhum movimento substancialmente linear do membro de impulso.

[0014] O uso de um acionamento de ganho mecânico variável entre o rotor e o membro de impulso permite uma relação não-linear entre o movimento do rotor e o movimento do membro de impulso.

[0015] Tipicamente, o estator apresenta um número par de pólos, e o rotor inclui ou comprehende meios de ímã permanente e apresenta um número par de nodos que são alternadamente magnetizados Norte e Sul em torno do rotor pelo meio de ímã permanente.

[0016] Preferivelmente, a força magnética que atua para reter o rotor em qualquer de suas posições de repouso devido à energia magnética sozinha coincide com as posições de repouso formadas pelo meio de mola.

[0017] Preferivelmente, as posições de repouso correspondem às posições nas quais os nodos e os pólos são alinhados.

[0018] Em torno de cada um dos pólos do estator, há um enrolamento elétrico que, quando energizado por uma corrente elétrica, produzirá uma força magnetomotriz no rotor. Os enrolamentos são energizados em sucessão com pulsos de corrente, sincronizados para se corresponderem à posição rotacional do rotor e ao torque exigido.

[0019] Preferivelmente, o estator apresenta oito pólos espaçados entre si e eletromagneticamente polarizáveis, e o rotor apresenta quatro nodos espaçados entre si permanentemente magnetizados. Preferivelmente, os pólos e os nodos são igualmente espaçados entre si.

[0020] Quando empregada para abrir e fechar uma válvula de admissão ou de escape de um motor de combustão interna, a posição de repouso que corresponde à posição fechada da válvula será denominada de posição de repouso principal. O perfil de ganho mecânico é disposto para produzir um ganho mecânico elevado na posição rotacional na qual a válvula começa a se abrir. Depois da abertura inicial da válvula, o perfil é tal que o ganho mecânico é reduzido e então aumentado novamente até que a válvula esteja totalmente aberta. O ganho mecânico novamente diminui para outro mínimo, e se eleva, à medida que o rotor é girado para sua posição de repouso principal original e a válvula se aproxima de sua posição fechada original, através da qual o

rotor continua a girar sem movimento adicional da válvula até que o rotor esteja novamente em sua posição de repouso principal.

[0021] Com o uso de um acionamento que apresenta um ganho mecânico variado, é possível reduzir a velocidade de pouso no fechamento a um nível baixo, reduzindo o desgaste na válvula e no assento de válvula, como também o ruído.

[0022] Com o uso de um acionamento que apresenta um ganho mecânico variado, também é possível maximizar a força que atua sobre a válvula que é exigida para superar as forças de pressão do gás que atuam sobre o fechamento devido à pressão de gás residual dentro da câmara de combustão depois que um tempo de ignição do motor seja completado e a câmara descarregada esteja pronta para receber a próxima carga de combustível e ar.

[0023] Se o perfil de ganho mecânico do acionamento permitir que ocorra um certo movimento rotacional do rotor a partir de sua posição de repouso principal sem qualquer movimento linear resultante da válvula, a conexão ao fechamento da válvula poderá ser considerada como possuindo um certo movimento perdido que permite que o rotor inicialmente gire com pouca resistência para se movimentar através de um pequeno ângulo, antes que seja aplicada força ao membro de impulso que atua sobre a válvula.

[0024] O movimento perdido entre o acionamento e o membro de impulso, ou este e o fechamento de válvula, será assumido durante o movimento inicial.

[0025] Durante as duas revoluções de eixo de manivela que formam o ciclo de operação de um motor de quatro tempos, qualquer das válvulas ficará geralmente aberta entre 200 a 290 graus de uma rotação de eixo de manivela, e permanecerá fechada pelo resto do ciclo, de modo que a válvula assuma uma completa seqüência aberta e fechada uma vez a cada 720 graus da rotação do eixo de manivela.

[0026] Com o emprego de uma articulação com ganho mecânico variado e um período de movimento de pausa ou perdido durante o qual a válvula permanece fechada enquanto o rotor está ainda livre para se mover, o rotor se moverá sobre um período mais longo de tempo do que aquele para o qual a válvula é aberta. Para um determinado torque de acionamento elétrico de atuador eletromagnético e inércia rotacional, isto permite que a válvula se abra e se feche em um tempo mais curto e, portanto, permite que o motor funcione mais rápido por um determinado ângulo de eixo de manivela de abertura de válvula.

[0027] Em um atuador construído de acordo com um dito aspecto, uma única mola armazenará energia mecânica, quando o rotor estiver em sua posição principal, quando a válvula estiver fechada. A mola pode compreender um braço de mola em cantiléver resiliente, a extremidade livre do qual é pressionada sobre a circunferência externa de um excêntrico que gira com o rotor, e com isso defletirá o braço e armazenar energia no mesmo. A posição angular do excêntrico com relação ao rotor é tal que, à medida que a válvula se abre, a energia é liberada da mola, ajudando o rotor a acelerar para abrir a válvula, e, à medida que a válvula se fecha, o excêntrico novamente deflete o braço de mola, de modo que a energia seja novamente armazenada no mesmo, o que faz com que o rotor seja desacelerado na direção da posição de repouso principal.

[0028] A válvula estará totalmente aberta, quando a mola estiver em sua posição mais relaxada ou menos defletida. Esta posição é denominada de posição de repouso secundária.

[0029] O torque gerado pela ondulação da energia magnética armazenada do meio de ímã permanente produz, à medida que o rotor gira, um torque de relutância magnético assim denominado. Se este torque de relutância magnético for substancial, poderá haver diversas

posições de repouso secundárias para o rotor e, portanto, para a válvula.

[0030] Quando a válvula for uma das válvulas de um motor de combustão interna e cada válvula for operada por um atuador, conforme acima mencionado, as válvulas poderão ser giradas através de diferentes extensões angulares para se adequarem às diferentes condições de operação do motor com a injeção de correntes de conservação no(s) enrolamento(s).

[0031] A operação do meio de mola permite a reciclagem da energia e permite que o atuador opere em alta velocidade com menos admissão de energia elétrica, do que se um atuador a solenóide convencional fosse empregado com a mesma inércia e velocidade.

[0032] O movimento do fechamento da válvula (de gatilho), quando o motor estiver operando em alta velocidade, poderá ser equiparado ao movimento oscilatório interrupto e o meio de mola provido pela invenção absorvendo energia originária do movimento oscilatório do fechamento e originária do movimento de rotor oscilatório.

[0033] Em um motor de combustão interna de quatro tempos, as forças do gás sobre o fechamento de válvula durante a abertura de uma válvula podem variar, à medida que a carga no motor varia. Isto afeta a quantidade de trabalho mecânico que tem que ser feito inicialmente para liberar a válvula de sua posição fechada, embora uma vez que a válvula tenha sido aberta, a pressão do gás rapidamente será rompida, tendo que ser feito pouco trabalho adicional para continuar a mover o fechamento para fora do assento.

[0034] Preferivelmente, um sistema de controle é provido para suprir pulsos de energia elétrica ao(s) enrolamento(s), o(s) qual(ais) opera(m) para fornecer a energia elétrica instantânea exigida em cada pulso de corrente para controlar a fase (isto é, sincronizar) e/ou a duração de cada pulso em resposta à carga variável do motor, de modo

a gerar torque magnético suficiente em cada instante durante a abertura e fechamento de válvula para superar as forças que atuam sobre o fechamento da válvula nesse momento no ciclo, e que pode variar com a carga, o ângulo de manivela e de ciclo para ciclo.

[0035] Em uma concretização preferida, o estator apresenta oito pólos, espaçados e eqüidistantes em torno do rotor, e o rotor apresenta quatro nodos igualmente espaçados entre si magnetizados por meio do meio de ímã permanente dentro do rotor, o rotor ficando geralmente alinhado entre um par de pólos de estator adjacentes, se a extensão circunferencial de cada pólo do estator for da ordem de metade de cada nó de rotor. A energia magnética mais baixa do sistema ocorrerá quando o fluxo magnético induzido pelo meio de ímã permanente, for capaz de fluir através do circuito magnético com uma resistência mínima.

[0036] O movimento inicial é efetuado por um pulso de corrente ao(s) enrolamento(s), a direção de fluxo sendo tal de modo a fazer com que os nodos do rotor sejam repelidos dos pólos em um lado dos nodos (o lado posterior) e simultaneamente atraídos pelos pólos no outro lado dos nodos (o lado dianteiro). Com a inversão da direção do fluxo de corrente, à medida que os nodos do rotor se movem bem além do ponto de alinhamento com os pólos de estator, o torque de acionamento continuará a ser exercido sobre o rotor, acelerando assim o rotor.

[0037] Para frear o movimento do rotor, o(s) enrolamento(s) pode(m) entrar em curto-círcuito, fazendo assim com que a(s) corrente(s) induzida(s) fluam nos enrolamentos em um sentido apropriado para o pulso inicial de corrente, invertendo assim a polaridade do pólo de estator e dissipando a energia cinética do sistema de rotor, articulação e válvula. Isto aparece como calor nos enrolamentos. Adicionalmente ou alternativamente, o sistema de controle pode gerar um fluxo de corren-

te similar (inverso), a fim de inverter a direção do torque para desacelerar e trazer o rotor para ficar em uma posição de repouso, tal como sua posição de repouso principal ou qualquer outra posição de repouso exigida para controlar o fluxo de líquido através da válvula.

[0038] Em um atuador construído de acordo com o segundo aspecto da invenção, o meio de mola armazenará a energia derivada do movimento da armadura, quando apenas pouca força for exigida para mover o fechamento da válvula, e, em geral, esta ficará disponível para ser liberada tão logo a armadura se move para fora de uma extremidade da posição de percurso.

[0039] Quando o rotor estiver em sua posição correspondente ao momento em que a válvula está fechada, a energia armazenada no meio de mola será resistida por forças geradas pelo fluxo de ímã permanente. Esta resistência é denominada de "torque de relutância", e se o ímã permanente for suficientemente potente, nenhum fluxo de corrente será exigido para manter o rotor nessa posição. As mesmas condições poderão ser aplicadas na outra extremidade do percurso do rotor, quando a válvula estiver completamente aberta, e, novamente, o torque de relutância irá operar e, novamente, dependendo da resistência do ímã permanente, nenhum fluxo de corrente será necessário para manter o rotor em sua posição de repouso.

[0040] Assim, a interação do fluxo de ímã permanente e da força de mola que cria o torque de relutância serve para manter o rotor em suas duas extremidades de posições de percurso, de modo que nenhuma potência elétrica possa ser exigida para manter o rotor em cada destas posições de repouso e que o rotor e o estator possam ser equiparados a um motor de passo apresentando apenas duas posições. Se o fluxo de ímã permanente for insuficiente, ele poderá ser reforçado por uma corrente fixa no enrolamento ou em cada enrolamento que é substituído pelos pulsos de corrente durante o movimento

do rotor.

[0041] Quando o estator apresentar quatro pólos, dispostos em dois pares opostos, o rotor será um ímã permanente, o rotor irá normalmente ficar parcialmente alinhado com um par de pólos, e o movimento inicial será efetuado por um pulso de corrente que faz com que o rotor seja repelido longe dos pólos parcialmente alinhados, e para ajudar no movimento rotacional, um pulso similar de corrente poderá ser aplicado a outro(s) enrolamento(s) para produzir uma força de atração entre eles e o rotor, de modo que o rotor seja repelido a partir de um par e simultaneamente atraído para o outro par de pólos. Com a inversão da direção, as correntes fluem nos enrolamentos, à medida que o rotor se move bem além do alinhamento com o dito outro par de pólos.

[0042] Em uma concretização de um aspecto da invenção no qual o rotor pode girar continuamente na mesma direção, caso desejado, o atuador compreende:

a) um estator de oito pólos circularmente dispostos e direcionados radialmente para dentro, cada pólo sendo enrolado com um condutor isolado para produzir um meio de eletromagneto em cada pólo,

b) um rotor que inclui dois pares de pólos de ímã permanentes diametralmente opostos, com o sentido magnético alternando norte - sul - norte - sul em torno do rotor, de modo que com a tração apropriada, o rotor seja girável em cada direção,

c) um elemento de mola que armazena a energia mecânica, à medida que o rotor gira em uma posição de repouso principal,

d) um pino, circundado por um elemento de roda tubular, que se estende lateralmente a partir do eixo de rotação do rotor e paralelo ao mesmo, mas deslocado do mesmo,

e) uma primeira alavanca montada pivotavelmente em torno

de um eixo paralelo ao eixo do rotor,

f) uma fenda arqueada na primeira alavanca dentro da qual a roda e o pino são recebidos, na qual a roda pode rolar ou deslizar com relação à fenda e também transmitir o movimento rotacional para a alavanca com o ganho mecânico variando com a posição angular do rotor, a extensão com relação à qual o movimento angular do pino e da roda produz o movimento angular na alavanca que é determinado pela forma da fenda,

g) a primeira alavanca apresentando uma junta de pino transversal para transmitir o impulso externamente do atuador,

h) uma luva que se estende a partir do rotor que está em contato com uma segunda alavanca,

i) a segunda alavanca sendo formada com uma superfície de contato arqueada, de modo a mover a mola através de um meio de mancal esférico deslizante, de tal maneira que o deslocamento da mola seja uma função da posição angular do rotor,

j) a superfície arqueada da segunda alavanca provendo uma posição de repouso principal, de tal modo que um pequeno deslocamento angular do rotor em cada lado da posição de repouso principal resulte ou em nenhum movimento da mola ou em um leve esforço adicional da mola, e que tais movimentos maiores da mola resultem no descarregamento progressivo da mola até que o rotor tenha substancialmente se movido a 180 graus a partir da posição de repouso principal, e

k) um alojamento dentro do qual são localizados o estator, os enrolamentos, a alavanca do rotor e a mola,

l) o alojamento provendo um meio de mancal para o rotor, a primeira alavanca e a segunda alavanca.

[0043] Preferivelmente, um sistema de controle de corrente é provido para suprir pulsos de corrente de magnitude controlada, direção e

sincronização para cada enrolamento.

[0044] O pino e a roda e a primeira conexão de fenda de alavanca podem, em parte, prover uma conexão de movimento perdido entre o rotor e a alavanca, pelo menos durante o início da rotação do rotor a partir de sua primeira posição de repouso e durante a última parte da rotação antes que ela retorne para a posição de repouso principal, depois de ter girado através de 180 graus primeiro em um sentido e depois na direção oposta através do mesmo montante, ou depois da rotação através de um círculo total de 360 graus.

[0045] O pino pode ser conectado ou formado integralmente com a extremidade externa de um braço de manivela que se estende a partir de um cubo adaptado para girar em torno do eixo do rotor, o cubo se estendendo e sendo giratoriamente sustentado dentro de um primeiro mancal na extremidade adjacente do alojamento. A outra extremidade do rotor pode se estender coaxialmente para formar uma roldana na forma de um mancal excentricamente localizado, a pista externa da qual é engatada pela segunda alavanca e sustenta a força de contato da mesma, à medida que a força de mola a pressiona para o contato com a mesma. Uma extensão axial do rotor além da roldana percorre em um segundo mancal similar ao primeiro mancal, ambos os mancais provendo suporte para o rotor, de modo que o rotor fique apenas limitado para se mover giratoriamente em resposta aos torques aplicados. O segundo mancal pode ser girado em outro alojamento.

[0046] Preferivelmente, a alavanca é pivotavelmente conectada a um elo rígido que é em si conectado a uma haste de um membro de fechamento de válvula de admissão e escape que controla ou o ingresso de gases combustíveis em uma câmara de combustão de um motor de combustão interna ou a saída de gases consumidos provenientes da mesma.

[0047] Preferivelmente, tal disposição é ajustada de modo que o

rotor venha a ficar em uma posição de repouso e a permanecer nessa posição sem a necessidade de fluxo de qualquer corrente através de um enrolamento de estator, quando a válvula estiver totalmente fechada.

[0048] A inércia do sistema compreendendo o rotor, as duas alavancas, a mola e a válvula é acionada pela força originária da mola principal. Este sistema de mola de inércia forma um sistema oscilatório com duas posições de repouso, uma quando o rotor estiver na posição de repouso principal, quando a válvula estiver fechada, e a outra aproximadamente a 180 graus longe da mesma, quando a válvula estiver aberta. A mola, que trabalha com a superfície arqueada da segunda alavanca, aplicará uma força de restauração quando o rotor se mover através de um pequeno ângulo longe da posição de repouso principal. Ângulos maiores de movimento fazem com que o rotor se move sob a influência da energia armazenada na mola para a posição de repouso secundária. A mola irá gerar forças de inércia significativas, à medida que o rotor é movido para cada lado desta posição de repouso secundária. Em ambas as posições do rotor, a força da mola atua sobre a inércia para produzir o movimento oscilatório. A energia da mola é selecionada para minimizar o tempo de oscilação e reduzir o torque de pico eletromagneticamente induzido para mover o rotor em um tempo exigido.

[0049] Em uma concretização do dito outro aspecto da invenção, o atuador compreende:

- a) um estator com quatro pólos circularmente dispostos e direcionados radialmente para dentro,
- b) um rotor que inclui um par de pólos de ímã permanente diametralmente opostos, e que é girável dentro dos quatro pólos de estator através de 180 graus de uma posição de repouso para outra nos dois extremos de seu percurso,

c) um primeiro elemento de mola que armazena energia mecânica, à medida que o rotor gira em cada dos dois extremos de seu percurso,

d) um pino que se estende lateralmente a partir do eixo de rotação do rotor e paralelo ao mesmo, mas deslocado do mesmo,

e) uma alavanca articulada ao pino e pivotavelmente montada para o movimento rotacional em torno de um eixo também paralelo ao eixo do rotor, para exercer o impulso externamente do atuador,

f) uma fenda arqueada na alavanca na qual é recebido o pino, na qual ele pode deslizar com relação à fenda e também transmitir o movimento rotacional da alavanca, a extensão com relação à qual o movimento angular do pino projeta o movimento angular da alavanca que é determinado pela forma da fenda,

g) um segundo elemento de mola que armazena a energia mecânica, à medida que a alavanca é girada para cada dos dois extremos de seu percurso,

h) pelo menos um enrolamento que irá criar pólos Norte e Sul alternados em torno dos quatro pólos do estator, quando uma corrente elétrica fluir no mesmo

i) um alojamento dentro do qual o estator, o(s) enrolamento(s), o rotor, a alavanca e as molas são localizados, as extremidades opostas do qual apresentando mancais para as partes giráveis, e onde

j) a forma da fenda é selecionada de modo que, em uma posição extrema do percurso do rotor, a rotação inicial do rotor a partir dessa posição na direção da outra resulte em um relativo movimento deslizante entre o pino e a fenda antes que a rotação continuada do rotor resulte em um maior acionamento rotacional que é transmitido através do pino para a alavanca, de modo que o ganho mecânico durante esse movimento de rotor inicial seja substancialmente maior do que o ganho mecânico sobre o restante do percurso do rotor.

[0050] Preferivelmente, um sistema de controle de corrente é provido para suprir pulsos de corrente de magnitude, e/ou direção e/ou fase (isto é, sincronização) controlada para o enrolamento ou cada enrolamento ou cada das bobinas.

[0051] A conexão de pino e fenda pode, em parte, prover uma conexão de movimento perdido entre o rotor e a alavanca, pelo menos durante o início da rotação do rotor.

[0052] O pino pode ser conectado ou integralmente formado com a extremidade externa de um braço de alavanca que se estende a partir de um cubo adaptado para girar em torno do eixo do rotor, o cubo se estendendo axialmente para suporte dentro de um mancal na extremidade adjacente do alojamento. A outra extremidade do rotor pode se estender coaxialmente para ser recebida em um mancal similar coaxial com o primeiro mancal, mas na face de extremidade oposta do alojamento, de modo que o rotor fique limitado, mas livre para girar em torno do eixo definido pelos dois mancais.

[0053] Preferivelmente, a alavanca é pivotavelmente conectada a um elo rígido que é conectado a uma haste de um membro de fechamento de válvula de admissão e escape que controla ou o ingresso de gases em uma câmara de combustão de um motor de combustão interna ou a saída de gases da mesma.

[0054] Preferivelmente, tal disposição é ajustada de modo que o rotor esteja em uma posição de repouso e irá permanecer estacionário na mesma sem a necessidade de que qualquer corrente flua através de um enrolamento, quando a válvula estiver completamente aberta ou completamente fechada. Isto é conseguido em se assegurando que o torque aplicado pelos dois elementos de mola ao rotor seja equilibrado pelo torque gerado pela atração magnética entre os pólos do rotor e os pólos do estator nas posições de repouso.

[0055] Tipicamente, cada enrolamento compreende duas bobinas

separadas, uma bobina para cada pólo de estator, e a abertura e o fechamento da válvula podendo, portanto, ser conseguidos por uma sequência de pulsos de corrente apropriados aplicados a cada bobina.

[0056] Preferivelmente, um pulso de corrente é aplicado a cada das quatro bobinas, de modo a completamente superar e criar um fluxo oposto ao fluxo de ímã permanente que prende a armadura em sua posição de repouso, de modo a fazer com que o rotor gire na direção de sua outra posição de repouso de acordo com o torque combinado da força devido às molas e que foi criado pelas forças eletromagnéticas que agora atuam sobre o rotor.

[0057] Em geral, as duas posições de repouso não ficarão alinhadas com cada par de pólos de estator, de modo que o movimento inicial do rotor esteja em uma direção que faz com que seus dois pólos se movam adicionalmente para fora de alinhamento com um par de pólos de estator na direção de uma posição na qual eles serão alinhados com o outro par de pólos de estator como um motor elétrico. Uma vez que o rotor tenha sido movido além da posição de alinhamento com este outro par de pólos, a inversão da corrente nas quatro bobinas irá criar um torque de motor no rotor que tende a continuar sua rotação no mesmo sentido, até que ele tenha girado para sua outra posição de repouso, através de aproximadamente 180 graus.

[0058] Um ponto será alcançado na rotação do rotor, quando cada torque de mola for reduzido a zero e não mais ajudar na rotação do rotor. A rotação continuada do rotor devido à inércia e ao torque de motor magnético começa agora a armazenar energia em cada mola, embora em um sentido oposto, fazendo com que o rotor diminua sua velocidade e eventualmente venha a ficar em sua outra posição de repouso. Esta energia ficará disponível no ciclo de retorno para ajudar a acelerar o rotor, à medida que ele começa a girar de volta para sua posição anterior.

[0059] Preferivelmente, a posição de torque zero ocorre para ambas as molas no mesmo ponto durante cada rotação do rotor.

[0060] Como com a primeira posição de repouso, quando o rotor estiver em sua segunda posição de repouso, o torque, do mesmo, criado pelo fluxo de ímã permanente será novamente equilibrado pelo torque exercido pela energia agora armazenada nas duas molas, embora operando em um sentido oposto. Por isso, como antes, se o ímã permanente puder prover toda a força de atração necessária, nenhuma corrente de conservação será obrigada a fluir nas bobinas.

[0061] A aplicação de um pulso apropriado de corrente nas bobinas para descontrolar este equilíbrio, para superar o fluxo de ímã "de conservação", e para exercer um torque magnético oposto sobre o rotor, será combinada com a energia armazenada nas molas para gerar um torque livre que irá girar o rotor fora da dita segunda posição de repouso na direção de sua primeira posição de repouso.

[0062] Novamente, os pulsos de corrente de magnitude e fase apropriadas, mas na direção oposta, são aplicados às bobinas, à medida que os pólos do rotor passam além da posição de alinhamento com os pólos de estator intermediários, a fim de aplicar um torque de acionamento (motor) eletromagnético adicional ao rotor. Como antes, a rotação do rotor de volta para sua primeira posição de repouso é resistida pelas molas, que durante a última parte do movimento de retorno do rotor, estão novamente armazenando em vez de liberar energia.

[0063] O movimento do rotor é transmitido a um fechamento de válvula (por exemplo, haste de válvula de admissão e escape) para mover esta válvula através do mecanismo de ganho mecânico variável. Este mecanismo é configurado para prover um movimento inicial do membro de impulso (isto é, ganho mecânico muito elevado) durante a rotação inicial significativa do rotor. Entretanto, uma vez que a válvula tenha liberado o assento, o ganho mecânico pode ser reduzido dra-

maticamente, uma vez que a resistência ao movimento do fechamento de válvula de admissão e escape caia significativamente desde que a válvula tenha sido desassentada e a pressão do gás reduzida. O torque de motor que atua sobre o rotor durante o restante de sua rotação para sua outra posição de repouso fica altamente disponível para ser armazenado nas molas para ajudar na rotação do rotor ao contrário, quando a válvula estiver fechada.

[0064] À medida que o rotor gira novamente para fechar a válvula, o ganho mecânico do mecanismo começa em um nível baixo e aumenta, à medida que o do rotor se aproxima de sua posição de repouso original, mas agora em um sentido oposto. O rotor e o fechamento da válvula têm, portanto, sua velocidade diminuída, resultando em uma baixa "velocidade de pouso" que assegura, apesar da energia inercial residual considerável no rotor, que a força de impacto seja simples, à medida que o fechamento da válvula é assentado, o ruído produzido no pouso é reduzido e menos danos são ocasionados ao fechamento ou ao assentamento.

[0065] O desenho do engate de pino e fenda indica que o fechamento de válvula ocorre antes da completa rotação do rotor para sua posição de repouso original. À medida que o rotor continua a girar na direção de sua posição de repouso original (com a válvula fechada), a mola do rotor continua a armazenar a energia cinética restante do rotor. Uma vez em repouso, o torque de relutância induzido pelo fluxo de ímã permanente que liga o rotor detém o rotor nessa posição de repouso, apesar da energia agora significativa armazenada em um torque opostamente direcionado exercido pela mola do rotor que tende a girá-lo para fora dessa posição. Deve também ser notado que, à medida que os pólos do rotor se movem para mais perto para ficarem totalmente alinhados com os pólos de estator, a relutância do circuito magnético aumentará dramaticamente a um máximo, quando eles es-

tiverem alinhados. Isto intensifica a força magnética que atua sobre o rotor.

[0066] Preferivelmente, o pino é circundado por um rolete cilíndrico, com um mancal de roletes interposto entre o pino e o rolete.

[0067] As duas molas servem para prover um sistema mecânico oscilatório de massa-mola que ajuda na redução do tempo de operação da válvula. A mola do rotor aplica torque ao rotor, de modo a aplicar um torque de restauração, à medida que o rotor se move para fora de sua posição de equilíbrio (repouso). A outra mola, que atua sobre a alavanca, aplica uma força de restauração à alavanca, à medida que esta se move para fora de sua posição de equilíbrio (repouso). As relativas resistências destas duas molas são selecionadas para minimizarem o tempo de oscilação e reduzir o torque magnético de pico que de outra maneira seria exigido do acionamento eletromagnético.

[0068] A invenção será agora descrita por meio de exemplo, com referência aos desenhos anexos, nos quais:

[0069] a figura 1 é uma vista isométrica do rotor, vista a partir da extremidade da manivela.

[0070] A figura 2 é uma vista explodida do rotor e de um alojamento, vista a partir da extremidade excêntrica.

[0071] A figura 3 é uma vista explodida do rotor, da alavanca, da válvula e do outro alojamento, vista a partir da extremidade de manivela.

[0072] A figura 4 é uma vista da extremidade excêntrica do atuador com o alojamento removido, revelando a segunda alavanca e a mola principal.

[0073] A figura 5 é uma vista em seção através do rotor em um plano perpendicular ao eixo do rotor, que mostra os pólos do estator e os nodos do rotor.

[0074] A figura 6 é uma vista igual à Figura 5, mas que se refere

aos enrolamentos.

- [0075] A figura 7 é uma vista em perspectiva do atuador montado.
- [0076] A figura 8 é uma vista de extremidade do atuador em uma escala ampliada.
- [0077] A figura 9 é uma vista em seção transversal através do atuador mostrado conectado a uma válvula de admissão e escape.
- [0078] A figura 10 é uma vista similar àquela da Figura 9, na qual os mancais adicionais são incluídos para enrijecerem o rotor para permitir velocidades mais altas de rotação.
- [0079] A figura 11 é um diagrama esquemático de bloco que mostra como os pulsos de corrente são gerados a partir de vários sensores e de um computador de controle de motor.
- [0080] A figura 12 é uma vista em seção vertical de um atuador biestável que concretiza a invenção acoplada a uma válvula de admissão e escape, vista ao longo do eixo de rotação do rotor, mas incluindo na vista uma seção através do fechamento de válvula de admissão e escape e do elo que a conecta a uma alavanca no atuador.
- [0081] A figura 13 é uma vista de extremidade diagramática do atuador da Figura 12 ao longo do eixo do rotor com uma extremidade de estator removida.
- [0082] A figura 14 é uma vista similar àquela da figura 13 que mostra o rotor próximo de uma posição de repouso.
- [0083] A figura 15 é uma vista similar à figura 13 que mostra o rotor que acabou de deixar a posição de repouso.
- [0084] A figura 16 mostra o rotor se aproximando exatamente da outra posição de repouso.
- [0085] A figura 17 mostra o rotor na outra posição de repouso.
- [0086] A figura 18 é outra seção transversal que mostra a mola espiral e a mola de barra de torção.
- [0087] Com referência à figura 1, os ímãs permanentes 10 e 12

são interpostos entre essas peças de pólo ferromagnético (tipicamente ferro mole) 14, 16 e 18 do rotor. Esse conjunto magnético é localizado entre dois tampões extremos não-magnéticos 20, 22.

[0088] Com referência à figura 2, o tampão extremo 20 do rotor localiza um munhão excêntrico 24 a partir do qual uma ponta do eixo se projeta através de um mancal 26 localizado em um alojamento 28. Em torno do munhão excêntrico 24 corre um pneumático cilíndrico oco 30 sustentado por um mancal 32.

[0089] Com referência à figura 3, o tampão extremo do rotor 22 apresenta um orifício afunilado 34 que permite que a extremidade afunilada de um pino de manivela 36 seja rigidamente presa ao mesmo. A região cilíndrica do pino de manivela cilíndrico 36 conduz um rolete 38 que é recebido em uma fenda arqueada na primeira alavanca 40. Além da alavanca 40, o pino de manivela 36 conduz na extremidade externa um braço de manivela que apresenta uma seção de ponta do eixo cilíndrica que é giratoriamente sustentada em um mancal 42 que é preso ao segundo alojamento 50. A alavanca 40 é presa a uma ponta do eixo que gira dentro dos dois mancais 54 e 56 e é limitada axialmente por dois anéis de impulso 58 e 62. A alavanca 40 é conectada à haste 70 de uma válvula de admissão e escape através de um elo rígido 72.

[0090] Quando fechada a cabeça de válvula de admissão e escape 150 se assenta contra o assento anular 152 e é aberta em sendo pressionada pelo atuador descendente longe do assento anular 152. As conexões de pivotamento entre o elo rígido 72 e a alavanca 40 e o elo rígido 72 e a haste de válvula de admissão e escape 70 acomodam qualquer movimento relativo rotacional das várias partes durante os movimentos de abertura e fechamento do atuador e da válvula.

[0091] Com referência à figura 4, a segunda alavanca 80 é pressionada para o pneumático cilíndrico 30 por um mancal deslizante na

forma de copo 82 e um pino de cabeça esférica 84. O pino 84 é localizado na mola principal 86 que é presa ao alojamento 50 por uma viga de fixação 88.

[0092] Com referência à figura 5, o rotor é giratoriamente localizado dentro de um estator geralmente indicado por 90. O estator apresenta oito pólos, 100, 102, 104, 106, 108, 110, 112, 114 que circundam as peças do pólo de rotor 14, 16 e 18. A peça de pólo de rotor central apresenta dois nodos magnéticos 120 e 122.

[0093] Com referência à figura 6, em volta de cada pólo no estator está um enrolamento 130, 132, 134, 136, 138, 140, 142, 144 através dos quais a corrente elétrica pode fluir para magnetizar os pólos virados para o rotor alternadamente como pólos norte e sul.

[0094] Os alojamentos 28, 50 são fixados ao motor através de fixações que podem permitir um certo movimento perdido para impedir quaisquer forças grandes que se desenvolverão quando a válvula estiver fechada. Este movimento é assumido durante a rotação inicial da alavanca 40.

[0095] Quando se considera a exigência para um atuador para abrir e fechar uma válvula de motor de combustão, o seguinte poderá ser considerado como sendo exigências fundamentais, a saber:

- curso longo
- ação rápida
- velocidade de pouso lenta
- grande abertura de válvula contra pressão substancial

[0096] Características desejáveis adicionais são:

- mecanismo de acionamento individual totalmente independente
 - sincronização programável em ambas as direções (taxa angular variável)
 - curso variável

[0097] Até agora, tais válvulas foram abertas com o uso de um eixo de cames, tendo sido empregadas molas para fechar as válvulas. Tais mecanismos sofrem das seguintes limitações:

- relação angular fixa
- curso fixo

[0098] Com o emprego de um atuador construído e operado de acordo com a invenção, que inclui armazenamento de energia em uma ou mais molas dentro do acionamento de atuador, empregando assim a reciclagem de energia assim denominada, as seguintes vantagens são obtidas, a saber:

- uma válvula acionadaativamente em ambas as direções (sistema de válvula desmodrômica, nenhuma mola de fechamento de válvula resistente convencional se faz necessária)
 - flexibilidade total em sincronização (ambas as direções)
 - certa flexibilidade no curso incluindo uma válvula mantida fechada por alguns ciclos do motor
 - rápido influxo de ar mesmo em baixa velocidade do motor para alcançar uma redução substancial de emissão indesejável de produtos de combustão
 - mecanismos de acionamento de válvula individuais (cada válvula apresenta um acionador totalmente independente, de modo que, caso desejado, nem todas as válvulas tenham que ser abertas durante cada ciclo do motor)
 - flexibilidade total do controle de motor permitindo que algumas e não todas as válvulas sejam ativadas em todos os cilindros ou em alguns cilindros
 - modos selecionáveis de operação do motor: quatro tempos ou dois tempos permitindo maximizar a potência de saída enquanto uma baixa emissão é mantida
 - a seleção do modo acima mencionado pode ser aplicada

a alguns ou a todos os cilindros, podendo, de fato, ser considerado um processo de transição gradual.

[0099] O atuador essencialmente comprehende uma forma de motor elétrico e pode ser equiparado a um motor de passo assim denominado equipado com um rotor polarizado magneticamente com um ímã ou ímãs permanentes e um estator circular de múltiplos pólos. Tipicamente, o estator apresenta pelo menos duas vezes tantos pólos que o rotor. No atuador biestável a ser descrito, o rotor apresenta dois pólos e o estator apresenta quatro pólos, enquanto no atuador que pode girar através de 360°, há quatro pólos no rotor e oito pólos no estator. O par de pólos de estator é magneticamente energizado por bobinas individuais que permitem a flexibilidade total no controle de energia. A corrente elétrica pode ser distribuída às bobinas para acionar o motor em cada direção. A energia pode ser removida em qualquer posição do rotor em vista do efeito de força eletromotriz invertida. Para simplificar o procedimento de acionamento, as bobinas são ligadas em pares. Uma ou mais molas proporcionam a reciclagem/armazenamento de energia.

[00100] No dispositivo biestável, o movimento do rotor é restrito a menos de 180° e o rotor descreve uma ação de oscilação assim denominada. Conforme será descrito posteriormente, esta disposição apresenta duas molas que atuam como mecanismos de armazenamento de energia e o rotor de dois pólos apresenta força de travamento suficiente para permanecer em duas posições estáveis: uma onde a válvula é fechada e a outra onde a válvula é aberta, neste dispositivo a energia externa sendo exigida para mudar de uma posição estável para a outra.

[00101] Nas concretizações mostradas nas figuras de 1 a 10, o movimento do rotor não é restrinido e o mecanismo da mola permite uma rotação total de 360°. Isto é vantajoso em velocidades elevadas

do motor, uma vez que não é necessário parar o rotor e inverter sua direção de movimento no momento da abertura da válvula de admissão e escape. A duração da condição de válvula aberta pode ser controlada com a diminuição ou o aumento da velocidade do rotor durante a parte relevante de sua rotação. Isto resulta em benefício substancial na conservação de velocidade e energia.

[00102] Durante as velocidades média e baixa do motor, ambos os tipos de movimento (rotação total, bem como oscilação) podem ser usados no caso do atuador mostrado nas figuras de 1 a 10, que confere um grau adicional de liberdade no controle do motor. Nesta configuração, a reciclagem de energia é alcançada com o uso de uma mola de lâmina potente (86 na figura 4). A mola atua em uma roda excêntrica que é conectada e que gira com o rotor, esta mola não impedindo a rotação total do rotor. A deflexão máxima da mola ocorre na posição superior "estacionária" do rotor. Dessa maneira, a energia cinética é convertida em energia potencial e armazenada na mola, à medida que o rotor chega a sua posição superior a partir de cada direção. Portanto, esta configuração é igualmente eficaz no modo de rotação total, bem como no modo oscilante.

[00103] A fim de dispensar uma força resistente o suficiente para abrir uma válvula de escape contra a pressão de cilindro substancial que existe na extremidade de um tempo de ignição, bem como para garantir uma velocidade de pouso suave, quando na válvula de admissão e escape, é usado um mecanismo de transmissão de acionamento de ganho mecânico variável. Há três fases durante um ciclo de abertura e três fases durante um ciclo de fechamento.

[00104] As fases do ciclo de abertura são:

1. Fase inicial de aceleração do rotor e de acúmulo de energia - na qual não ocorre nenhum movimento linear e não há qualquer impulso. Isto é conseguido com o uso de uma superfície de came

que apresenta pouca ou nenhuma mudança no raio de curvatura associado com esta parte do rotor.

2. Fase inicial de abertura, - movimento linear suave, acompanhado por uma força de pressionamento resistente. Isto é conseguido com o uso de uma mudança simples de curvatura. No atuador das figuras de 1 a 10, esta ação é sustentada pela mola de lâmina.

3. Fase de abertura rápida a totalmente aberta, ligada ao rápido movimento linear que exige apenas uma força de pressionamento simples e alcançada por uma mudança muito mais rápida de curvatura da superfície de came.

[00105] As fases do ciclo de fechamento são:

1. Fase de fechamento principal rápida ligada ao movimento linear rápido e a uma força de tração simples no fechamento da válvula, alcançada pela mudança muito precisa na curvatura de came. Durante esta fase, a reciclagem de energia cinética é iniciada.

2. Fase de pouso suave, de fechamento final, ligada à desaceleração do rotor produzindo um suave movimento linear alcançado pelas mudanças mais simples na curvatura da superfície de came, o rotor agora começando a ser empurrado contra a mola de lâmina.

3. Diminuição de velocidade final do rotor para sua posição de repouso final durante a qual novamente não há qualquer movimento vertical, e nenhuma força de tração, no fechamento da válvula. Isto é conseguido pela superfície de came de raio constante e esta fase permite que uma seqüência de fechamento de válvula isenta de saltos seja alcançada. Durante o processo de parada do rotor, pode ocorrer um certo grau de instabilidade, mas uma vez que nenhum movimento linear seja transmitido durante esta fase, nenhuma instabilidade é transmitida ao fechamento da válvula.

[00106] É importante conhecer a posição angular instantânea do rotor e, para esta finalidade, é provido um sensor de posição preciso.

Este sensor de posição é mostrado em 153 conectado a uma parte giratória do atuador na figura 7 e na figura 8. O sensor pode gerar um sinal de formato digital ou analógico. Uma técnica análoga é mostrada, onde um ímã permanente (154) é conectado às duas metades de um disco excêntrico (155a, 155b) preso ao eixo do rotor nas proximidades de um sensor de efeito Hall (156). Tal sensor apresenta uma leitura absoluta e precisa da posição angular do rotor.

Estratégia de acionamento

[00107] O atuador, mostrado nas figuras de 1 a 10, pode ser considerado como compreendendo um motor de passo com base em ímã permanente equipado com um sensor de posição angular preciso e, em combinação com um sistema de controle de motor, conforme mostrado na figura 11, pode ser usado para implementar uma variedade de estratégias de abertura e fechamento de válvula. Estas serão descritas por meio de exemplos, como segue:

1. Movimento de meio ciclo

- disparado pelo pulso de sincronização de abertura, o rotor começa a se movimentar, o sensor supre informação contínua acerca da posição atual do rotor para garantir a seqüência de correntes de acionamento de bobina mais efetivas, constituindo, portanto, um comutador eletrônico, e movimento inicial é auxiliado e sustentado pela energia armazenada na mola. O esforço combinado de torque eletromagnético e de força de mola pode abrir uma válvula de admissão e escape contra uma pressão de cilindro interna substancial.

- à medida que o rotor se aproxima da posição de 180° na qual a válvula está totalmente aberta, a corrente elétrica de acionamento é eliminada e um procedimento de frenagem elétrico é instigado ou com o encurtamento das bobinas ou com a inversão do fluxo de corrente, de modo que o motor elétrico seja momentaneamente convertido em um gerador elétrico.

[00108] O movimento é completado pela inversão da rotação do rotor, de modo que ele reverta para sua posição de partida.

2. Movimento de ciclo parcial

[00109] Aqui, o rotor é parado antes de alcançar a posição de 180° e depois invertido, a velocidade do rotor sendo ajustada para ocupar o intervalo total de tempo exigido para operar a válvula.

3. Movimento de ciclo completo com parada adicional

[00110] Aqui, o rotor completa um total de 360°, mas pára ou diminui sua velocidade no ponto de 180° e próximo deste, se for necessário, para manter a válvula aberta por um período mais longo do que seria o caso, se o rotor continuasse a girar em uma velocidade constante.

4. Movimento de ciclo completo sem parada adicional

[00111] Aqui, uma rotação completa de 360° é executada sem qualquer pausa.

Variações de construção

[00112] A configuração básica é mostrada na figura 9, onde todo o conjunto de rotação do rotor (157), da manivela (158), do disco sensor de posição da roda excêntrica (32) e do ímã (153) é sustentada por apenas dois mancais 26 e 42. O conjunto de rotação está sob tensão substancial causada por forças centrifugas geradas durante a rotação da roda excêntrica, pela força de mola variada que atua sobre a roda e quando da abertura de uma válvula contra a pressão de cilindro. Por estas razões, o conjunto de rotação tem que ser tão rígido quanto possível para resistir a essas forças. O aumento do diâmetro para aumentar a rigidez não é conveniente, uma vez que isto resulta em uma menor aceleração angular. Para reduzir a inércia angular, o rotor deve ter diâmetro pequeno. Para atender a ambas as condições (baixa inércia e resistência mecânica), são propostos quatro mancais, conforme mostrado em 160, 161, 162, 163 na figura 10.

[00113] O rotor e a extensão de acionamento de válvula são mostrados na figura 10 como sendo duas partes separadas, e o acionamento rotacional é transmitido através do acoplamento 164.

[00114] O atuador da invenção mostra um sistema de operação de válvula desmodrômica a ser empregada em um motor de combustão interna.

[00115] Em tal sistema, a válvula é ativamente acionada em ambas as direções (para abrir e para fechar) alcançando um tempo mínimo para abrir e fechar sem impor uma tensão indesejavelmente alta sobre uma mola de fechamento de válvula convencional. De fato, não há absolutamente qualquer necessidade de ser uma mola de fechamento de válvula resistente, podendo ser substituída por uma mola muito simples, a qual confere força suficiente para manter a válvula de admissão e escape já fechada em sua posição fechada estável. Deste modo, qualquer efeito de saltos potencial é grandemente reduzido. Esta mola "simples" é apenas mostrada em uma das figuras nos desenhos.

[00116] Na figura 11, são mostrados os seguintes itens.

[00117] R é um rotor mecanicamente acoplado com o sensor de posição PS

P é um microprocessador

PS é um sensor de posição que fornece os dados de posição - poderia se apresentar em um formato analógico ou digital

EM é uma unidade com base em computador de controle de motor

C mostra o suprimento dos dados de controle da unidade de controle de motor

D0 - D7 é o elo digital entre o microprocessador e os acionamentos

H1 - H4 são acionadores bidirecionais do tipo Ponte H

A1 e B1 são um par de bobinas de estator

A2 e B2 são um segundo par de bobinas de estator

A3 e B3 são um terceiro par de bobinas de estator, e

A4 e B4 são um quarto par de bobinas de estator

PS fornece ao microprocessador P a informação que representa a posição atual do rotor R. Poderia se apresentar em um formato digital ou em um formato analógico. O elo se destina sempre a prover uma posição absoluta e precisa constante do rotor.

[00118] A ação para abrir ou para fechar uma válvula começa nos comandos recebidos da unidade de controle do motor EM.

[00119] O microprocessador converte isto em um alvo e o compara com a posição atual. Com base em um acionamento específico, a estratégia é selecionada e executada com a colocação dos dados de acionamento apropriados nos acionadores de ponte bidirecionais H1 - H4. Os acionadores são unidades de comutação de resistência muito baixa e eles conferem uma conexão direta de tempo entre as bobinas e uma fonte de corrente elétrica representada por uma bateria B.

[00120] Um acionador tipicamente serve a um par de bobinas (conectadas em paralelo ou em série).

[00121] Há quatro modos de operação: de avanço rápido para frente, de rápido para trás, de frenagem, e de funcionamento livre.

[00122] O microprocessador constantemente monitora a posição atual versus o alvo, e desenvolve uma estratégia de acionamento apropriada. Desta forma, um processo de comutação inteligente desprovido de escova é implementado e o acionamento do atuador pode ser considerado como compreendendo um motor elétrico inteligente desprovido de escova.

[00123] Deve também ser notado que o atuador é submetido a uma carga constantemente variável causada pela inércia do rotor, pela força da mola, pela força da pressão, pela inércia da válvula e por uma ampla faixa de temperatura. Ele também está sob um alvo que muda

rapidamente. Dessa forma, com a velocidade e/ou carga do motor variável, etc., a válvula pode precisar ser parcialmente aberta ou totalmente aberta ou fechada. Portanto, comandos de partida - parada muito freqüentes estão em uso. Isto se dá porque é necessário empregar um microprocessador como uma disposição de formação de decisão programável inteligente.

[00124] As figuras 12-17 dos desenhos mostram um atuador de válvula de modo oscilante.

[00125] Nestas figuras, um ímã permanente 210 é interposto entre duas peças ferromagnéticas (tipicamente, de ferro mole) 212, 214. O ímã e pólos são localizados entre dois tampões extremos 220, 222 com calços não-magnéticos 216, 218 interpostos entre os elementos magnéticos e os tampões extremos. Juntos, as peças de pólo de ímã e os tampões extremos formam um rotor. O tampão extremo 220 inclui uma ponta do eixo 221 que é recebida em um mancal de roletes 224 ajustado em uma extremidade de alojamento 225 e retido por uma arruela 227 e por uma cavilha 229.

[00126] Uma mola espiral 226 é conectada em uma extremidade à ponta do eixo 221 e em sua outra extremidade à extremidade do alojamento 225.

[00127] O tampão extremo 222 apresenta um orifício afunilado 223 que permite que a extremidade afilada de um pino 228 seja rigidamente presa ao mesmo.

[00128] A região cilíndrica do pino 228 conduz um rolete 230 que é recebido em uma fenda ou ranhura arqueada em uma alavanca 234. Além da alavanca, o pino 228 é conduzido na extremidade externa de um braço de manivela apresentando uma seção de eixo cilíndrica que é giratoriamente sustentada em um mancal de roletes de agulha 232 que é preso na segunda extremidade do alojamento 250.

[00129] A alavanca 234 é presa a uma mola de barra de torção 236

e é diferentemente engatada pelo rolete 230. A mola 236 é giratoriamente localizada em uma extremidade em uma bucha 238 na extremidade do estator 250 e rigidamente presa em sua extremidade oposta na extremidade de estator 248. A rotação da alavanca 234 em torno do eixo da barra de torção 236 armazena energia na alavanca, à medida que ela é girada.

[00130] Conforme melhor visto na figura 13, o rotor é giratoriamente localizado dentro de um estator geralmente indicado por 266 formado pelas duas extremidades 248, 250, entre as quais se estendem quatro pólos 268, 270, 272, 274 que circundam os pólos do rotor 212, 214, embora com uma pequena abertura de ar entre eles. Em torno de cada pólo está uma bobina 276, 278, 280, 282, respectivamente, através da qual a corrente pode fluir para magnetizar os pólos virados para o rotor alternadamente como pólos Norte e Sul.

[00131] A alavanca 234 é conectada à haste 260 de uma válvula de admissão e escape através de um elo rígido 262. Quando fechada, a cabeça 263 da válvula é assentada contra o assento de válvula anular 264, e é aberta em sendo pressionada para baixo longe do assento anular 264. As conexões de pivotamento entre o elo 262 e a alavanca 234 e o elo e a haste 260 acomodam qualquer movimento relativo não-linear das várias partes durante os movimentos de abertura e fechamento do fechamento do atuador e da válvula. Elas podem também introduzir uma pequena quantidade de movimento perdido, caso desejado, que é assumido durante o movimento rotacional inicial da alavanca.

[00132] As figuras de 14 a 17 são vistas simplificadas do atuador mostrado na Figura 13, e mostram como o movimento do rotor está relacionado ao movimento do came-alavanca e da válvula de admissão e escape. Para conveniência, os mesmos numerais de referência têm que ser empregados através das figuras 13 a 17. Em particular, as

bobinas e os pólos do estator não são mostrados na Figura 14 e nas figuras seguintes.

[00133] A Figura 14 essencialmente corresponde à Figura 13, em que o rotor 215 é mostrado em sua posição mais para a direita, com o rolete 230 em sua posição mais alta.

[00134] Na Figura 15, o rotor é assumido como tendo girado para a esquerda através de alguns graus (tipicamente 10-15°). O raio de curvatura da alavanca 234 engatado pelo rolete 230 sobre essa rotação do rotor é essencialmente constante e é paralelo ao lugar exato do eixo do rolete 230. Por isso, durante esse movimento inicial, o movimento rotacional do rotor não é convertido em movimento linear do elo 262 ou da haste 260 da válvula de admissão e escape 263.

[00135] Este movimento perdido entre o rotor e o elo 262 permite que o rotor acelere em uma maneira desimpedida durante a primeira parte de sua rotação para a esquerda. Depois disso, a forma da superfície de came 235 e da lingüeta oposta 237 da alavanca 234 é tal que com a rotação para a esquerda continuada do rotor 215, o engate do rotor 230 com 235 e 237 faz com que a alavanca 230 pivote em torno do eixo definido pela mola de barra 236, torcendo esta no processo, e simultaneamente forçando o elo 262 em uma direção descendente. Isto, por sua vez, força a cabeça da válvula 263 também em uma direção descendente longe do assento de válvula 264, para abrir a válvula.

[00136] A Figura 16 mostra o rotor bem antes de ele alcançar sua completa posição para a esquerda (que é mostrada na Figura 17), e em ambas as Figuras 16 e 17, a cabeça da válvula 263 é mostrada deslocada do assento 264.

[00137] Embora apenas mostrado na Figura 13, uma mola helicoidal 284 é mostrada aprisionada entre um batente 286 conectado à haste da válvula 260 e o assento 264. Esta mola é similar a cada uma das molas geralmente encontradas no topo de uma cabeça de cilindro

de um motor de combustão interna, cada uma das quais mantém fechada uma das válvulas.

[00138] Entretanto, uma vez que o atuador da presente invenção apresenta um acionamento positivo para a válvula em ambas as direções de abertura e fechamento, a mola 284 poderia, na teoria, ser dispensada. Contudo, a fim de assegurar o fechamento confiável da cabeça da válvula contra seu assento, uma mola de compressão que exige apenas uma força simples para comprimí-la, pode ser provida, conforme mostrado.

[00139] A inversão das correntes supridas para as bobinas de estator irá fazer com que o rotor gire no sentido horário e levante a cabeça da válvula 263 de volta para o contato com o assento 264, para fechar assim a válvula, o rotor retornando, então, para a posição mostrada na Figura 14.

[00140] A Figura 18 é uma vista em seção transversal na linha YY na Figura 12 e mostra a mola espiral 266 presa, em sua extremidade interna, ao tampão extremo 226 do rotor 215 pelo grampo 286, e, em sua extremidade externa, à extremidade de alojamento do estator 225, pelo grampo 288. Também, é visível a barra de torção 236 que supre o eixo de pivotamento para a alavanca 234 e serve também como a segunda mola.

[00141] Uma vista em perspectiva da alavanca 234 e de uma disposição de barra de torção modificada é mostrada na Figura 18A. As extremidades opostas da barra de torção 236 são recebidas nos mancais nas extremidades opostas 225, 250 do alojamento (vide a Figura 12). Um grampo 290 prende uma segunda barra de torção 292 à primeira barra de torção 236 e, em sua extremidade externa, é recebido um bloco de fixação 294. A alavanca 234 é girada pelo rotor (não mostrado na Figura 18A). Esta rotação é transmitida à extremidade esquerda da barra 236 pelas lâminas na barra 236 e por uma abertura

correspondentemente formada na alavanca 234.

[00142] O grampo 290 impede a barra 236 de girar no ponto onde o grampo 290 engata a barra 236, mas a barra 292 pode ser flexionada, conforme indicado pela seta 296, seu flexionamento 292 permitindo assim a rotação limitada continuada do braço de alavanca 234.

[00143] Quando o rotor for invertido, a energia armazenada em 292 e 236 ficará disponível para auxiliar na alavanca de rotação 234.

REIVINDICAÇÕES

1. Atuador eletromagnético, em que um rotor (157) que compreende meios de imã permanente (10, 12) é girável em um estator (90) que é magnetizável pelo fluxo de uma corrente elétrica através de pelo menos um enrolamento (130, 132, 134, 136, 138, 140, 142, 144) associado com o estator (90), em que:

o rotor (157) é girável entre as posições de repouso estáveis;

o rotor está conectado a uma ligação rígida por uma articulação mecânica através da qual o movimento de rotação do rotor é convertido em movimento substancialmente linear da ligação rígida, a articulação tendo um ganho mecânico que varia de uma maneira predeterminada durante a rotação do rotor;

meios de mola que são capazes de armazenar energia durante parte do movimento do rotor e proporcionar energia cinética para acelerar o rotor durante o movimento subsequente do mesmo para longe do repouso em uma primeira posição de repouso para outra posição de repouso;

um torque magnético é exercido no rotor quando uma corrente flui no dito pelo menos um enrolamento que é suficiente para superar a(s) força(s) que mantém o rotor na primeira posição de repouso, para fazer com que o rotor rode em uma direção a partir da primeiro repouso para outra posição de repouso;

caracterizado pelo fato de que:

mais de duas posições de repouso estáveis são definidas por forças de mola que atuam sobre o rotor e/ou forças magnéticas exercidas no rotor pelo estator e o rotor é controlável pela aplicação de pulsos de corrente elétrica para o pelo menos um enrolamento de estator para oscilar entre a primeira posição de repouso e outra de suas posições de repouso, ou para rodar a partir de sua primeira posição de

repouso para outra posição de repouso para regressar à primeira posição de repouso enquanto continua a rodar na mesma direção.

2. Atuador, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a energia armazenada em um meio de mola associado com uma posição de repouso do rotor (157), este é consequentemente desacelerado de modo que sua velocidade rotacional (e, por conseguinte, também a velocidade linear da ligação rígida e articulação) seja progressivamente reduzida, à medida que o rotor (157) se aproxima da posição de repouso.

3. Atuador, de acordo com a reivindicação 1 ou 2, caracterizado pelo fato de que o perfil de ganho mecânico é tal que próximo a uma posição de repouso o movimento angular do rotor (157) resulta em movimento substancialmente não-linear da ligação rígida.

4. Atuador, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, caracterizado pelo fato de que o estator (90) apresenta um número par de pólos, e o rotor (157) apresenta um número par de nodos (120, 122) que são magnetizados alternadamente em Norte e Sul em torno do rotor (157) pelo meio de ímã permanente (10, 12).

5. Atuador, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 4, caracterizado pelo fato de que a articulação mecânica compreende uma conexão de movimento perdido entre o rotor (157) e a ligação rígida que é assumida durante parte da rotação do rotor (157).

6. Atuador, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 5, caracterizado pelo fato de que o rotor (157) é impedido de girar através de mais de 180° a partir da primeira posição de repouso e o movimento do rotor (157) é oscilatório entre duas posições de repouso.

7. Atuador, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 5, caracterizado pelo fato de que o rotor (157) pode girar através de 360° a partir da primeira posição de repouso, e os pulsos de corren-

te elétrica são controlados em uso para fazer com que o rotor (157) pare ou diminua sua velocidade, à medida que ele gira através da posição de 180°.

8. Atuador, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 7, caracterizado pelo fato de que quando empregado para abrir e fechar uma válvula de admissão ou válvula de escape de um motor de combustão interna, em que a primeira posição de repouso corresponde à posição fechada da válvula, e o perfil de ganho mecânico é selecionado para produzir um alto ganho mecânico na posição de rotação do rotor na qual a válvula começa a ser aberta, e depois da abertura inicial da válvula, o perfil é tal que o ganho mecânico progressivamente reduz e depois progressivamente aumenta novamente até que a válvula esteja completamente aberta, e em que o ganho mecânico novamente diminui para um mínimo e aumenta novamente à medida que o rotor (157) gira na direção da primeira posição de repouso, seja em rotação inversa, seja com rotação continuada no mesmo sentido até que o rotor (157) se aproxime da primeira posição de repouso e a válvula esteja novamente em sua posição fechada original, além da qual a posição do rotor (157) continua a girar sem o movimento seja transmitido para a válvula devido à conexão de movimento perdido, até que o rotor (157) alcance sua primeira posição de repouso.

9. Atuador, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 8, caracterizado pelo fato de que, à medida que o rotor (157) gira, o meio magnético permanente (10, 12) também gira e produz um torque magnético de engrenamento à medida que os nodos do rotor (157) se alinham com os pólos do estator (90) de modo a definir a outra posição de repouso para o rotor (157).

10. Atuador, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 9, caracterizado pelo fato de que, para abrir e fechar uma válvula, em que a ligação rígida é conectável ao membro de fecha-

mento da válvula de modo a movê-lo positivamente em ambas direções de abertura e fechamento, evitando assim a necessidade de uma mola separada para manter a válvula fechada

11. Atuador, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 até 10, caracterizado pelo fato de que, em combinação com um sistema de controle para suprir pulsos de energia elétrica para o enrolamento ou cada enrolamento, para assim prover a energia elétrica instantânea exigida em cada pulso de corrente e/ou para controlar a fase e/ou a duração de cada pulso de corrente, em resposta à carga de motor variada, de modo a gerar torque magnético suficiente em cada momento durante a abertura e o fechamento da válvula para superar as forças que atuam sobre o fechamento da válvula em cada ponto no ciclo de operação do motor, e que pode variar com a carga, o ângulo de manivela e de ciclo para ciclo.

12. Atuador, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 11, caracterizado pelo fato de que o estator (90) apresenta oito pólos (100, 102, 104, 106, 108, 110, 112, 114) espaçados eletronicamente polarizáveis e o rotor (157) apresenta quatro nodos espaçados magnetizados permanentemente.

13. Atuador, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 11, caracterizado pelo fato de que o estator (90) apresenta quatro pólos, dispostos em dois pares opostos, e, em uso, o rotor (157) ficará normalmente alinhado parcialmente com um par de pólos, e um movimento inicial do rotor (157) é efetuado por um pulso de corrente através de pelo menos um enrolamento articulado ao estator (90) que faz com que o rotor (157) seja repelido dos pólos parcialmente alinhados.

14. Atuador, de acordo com a reivindicação 2, caracterizado pelo fato de que compreende:

a) um estator (90) com quatro pólos circularmente dispostos

e direcionados radialmente para dentro,

b) um rotor (157) que inclui um par de pólos de ímã permanente (20, 22) diametralmente opostos, e que é girável dentro dos quatro pólos de estator através de até 180 graus de uma primeira posição de repouso para outra nos dois extremos de seu percurso,

c) um primeiro elemento de mola que armazena energia mecânica à medida que o rotor (157) gira em cada um dos dois extremos de seu percurso,

d) um pino que se estende lateralmente e paralelo ao eixo de rotação do rotor, mas deslocado do mesmo,

e) uma alavanca articulada ao pino e pivotalmente montada para movimento rotacional em torno de um eixo também paralelo ao eixo do rotor, para exercer o impulso externamente do atuador,

f) uma fenda arqueada na alavanca na qual o pino é recebido, na qual ela pode deslizar com relação à fenda e também transmitir movimento rotacional para a alavanca, a extensão com relação à qual o movimento angular do pino produz um movimento angular da alavanca que é determinado pela forma da fenda,

g) um segundo elemento de mola que armazena energia mecânica, à medida que a alavanca é girada em cada dos dois extremos de seu percurso,

h) pelo menos um enrolamento que, quando do fluxo de uma corrente elétrica no mesmo, irá criar pólos alternados Norte e Sul em torno dos quatro pólos de estator,

i) um alojamento (28, 50) dentro do qual são localizados o estator (90), o(s) enrolamento(s), o rotor (157), a alavanca e as molas, as extremidades opostas do qual apresentam mancais para as partes giráveis,

em que:

j) a forma da fenda é selecionada de modo que em uma

posição extrema do percurso do rotor (157), da rotação ou do movimento inicial do rotor (157) a partir dessa posição na direção da outra resulte em um relativo movimento de deslizamento entre um pino e a fenda antes da rotação continuada do rotor (157) resultar em um maior acionamento rotacional que é transmitido através do pino para a alavanca, de modo que o ganho mecânico durante o movimento rotacional inicial do rotor (157) seja substancialmente maior que o ganho mecânico sobre o restante do percurso do rotor (157).

15. Atuador, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 14, caracterizado pelo fato de que o movimento do rotor (157) é freado curto-circuitando os enrolamentos, fazendo com que as correntes induzidas fluam nos enrolamentos em um sentido oposto à corrente inicial de pulso, de modo a inverter a polaridade de pólo do estator de reversão e dissipar a energia cinética do rotor (157) e qualquer articulação associada.

16. Atuador, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 14, caracterizado pelo fato de que o freio do rotor é obtido pela reversão do fluxo de corrente nos enrolamentos de modo a inverter a direção de torque para desacelerar o rotor (157).

17. Atuador, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que compreende:

a) um estator (90) com oito pólos circularmente dispostos e direcionados radialmente para dentro, cada pólo sendo enrolado com condutor isolado para produzir um meio eletromagnético em cada pólo;

b) um rotor (157) que inclui dois pares de pólos de imãs permanentes diametralmente opostos, com o sentido magnético alternando norte - sul - norte - sul em torno do rotor (157), de modo que com a polarização apropriada, o rotor seja rotativo através de 360°, ou primeiro em uma direção e depois de volta na direção oposta;

c) um elemento de mola que armazena a energia mecânica,

à medida que o rotor gira (157) para a primeira posição de repouso;

d) um pino, circundado por um elemento de roda tubular, que se estende lateralmente a partir do eixo de rotação do rotor e paralelo ao mesmo, mas deslocado do mesmo,

e) uma primeira alavanca montada pivotavelmente em torno de um eixo paralelo ao eixo do rotor,

f) uma fenda arqueada na primeira alavanca dentro da qual a roda e o pino são recebidos, na qual a roda pode rolar ou deslizar com relação à fenda e também transmitir o movimento rotacional para a alavanca com o ganho mecânico variando com a posição angular do rotor (157), a extensão com relação à qual o movimento angular do pino e da roda produz o movimento angular na alavanca que é determinado pela forma da fenda,

g) a primeira alavanca apresentando uma junta de pino transversal para transmitir o impulso externamente do atuador,

h) uma luva que se estende a partir do rotor (157) que está em contato com uma segunda alavanca,

i) a segunda alavanca sendo formada com uma superfície de contato arqueada, de modo a mover a mola através de um meio de mancal esférico deslizante, de maneira que o deslocamento da mola seja uma função da posição angular do rotor (157),

j) a superfície arqueada da segunda alavanca provendo para primeira posição de repouso, de modo que um pequeno deslocamento angular do rotor (157) em cada lado da primeira posição de repouso resulte ou em nenhum movimento da mola ou em um leve esforço adicional da mola, e que tais movimentos maiores da mola resultem no descarregamento progressivo da mola até que o rotor tenha substancialmente se movido a 180 graus a partir da posição de repouso principal, e

k) um alojamento (28, 50) dentro do qual são localizados o

estator (90), os enrolamentos, a alavanca do rotor e a mola,

I) o alojamento provendo um meio de mancal para o rotor (157), a primeira alavanca e a segunda alavanca.

18. Combinação de válvula e atuador caracterizada pelo fato de que:

o dito atuador é definido em qualquer uma das reivindicações 1 a 17, em que um elemento de fechamento de válvula é acionado positivamente em ambas as direções pelo atuador para abrir e fechar uma válvula.

19. Motor de combustão interna caracterizado pelo fato de que compreende pelo menos uma válvula de escape quando adaptada com um atuador conforme definido em qualquer uma das reivindicações 1 a 18, para abrir e fechar a válvula de escape.

20. Motor de combustão interna caracterizado pelo fato de que compreende uma pluralidade de válvulas de admissão e de escape quando adaptadas com uma correspondente pluralidade de atuadores, em que cada atuador conforme definido em qualquer uma das reivindicações 1 a 18, para abrir e fechar independentemente a válvula com a qual ela está associada.

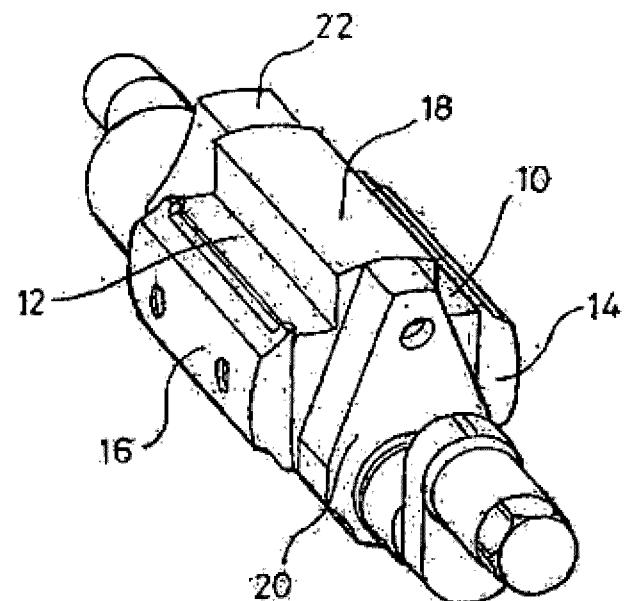


FIG 1

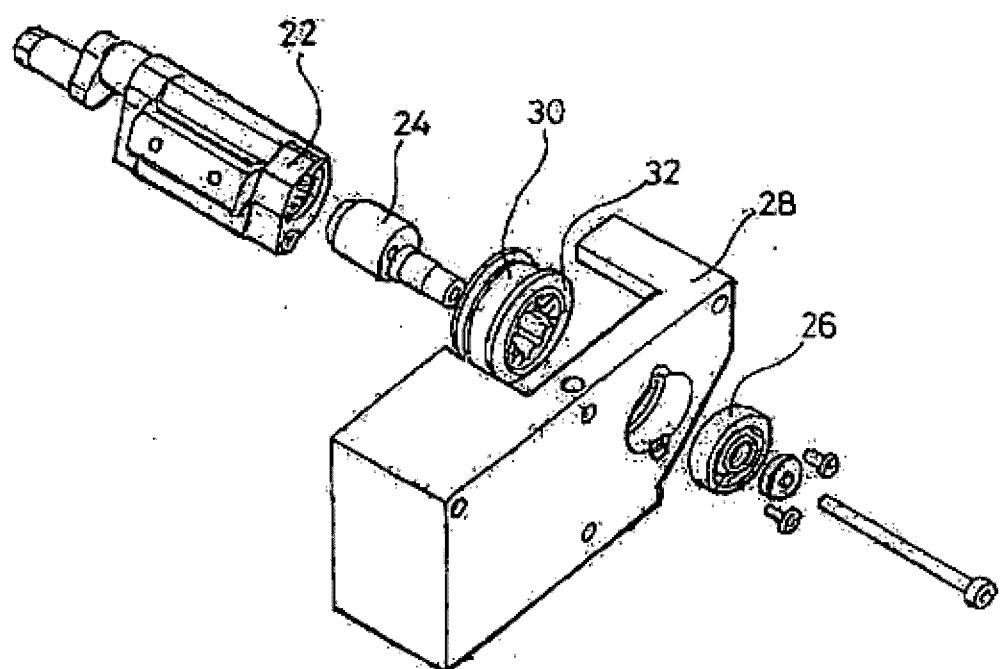


FIG 2

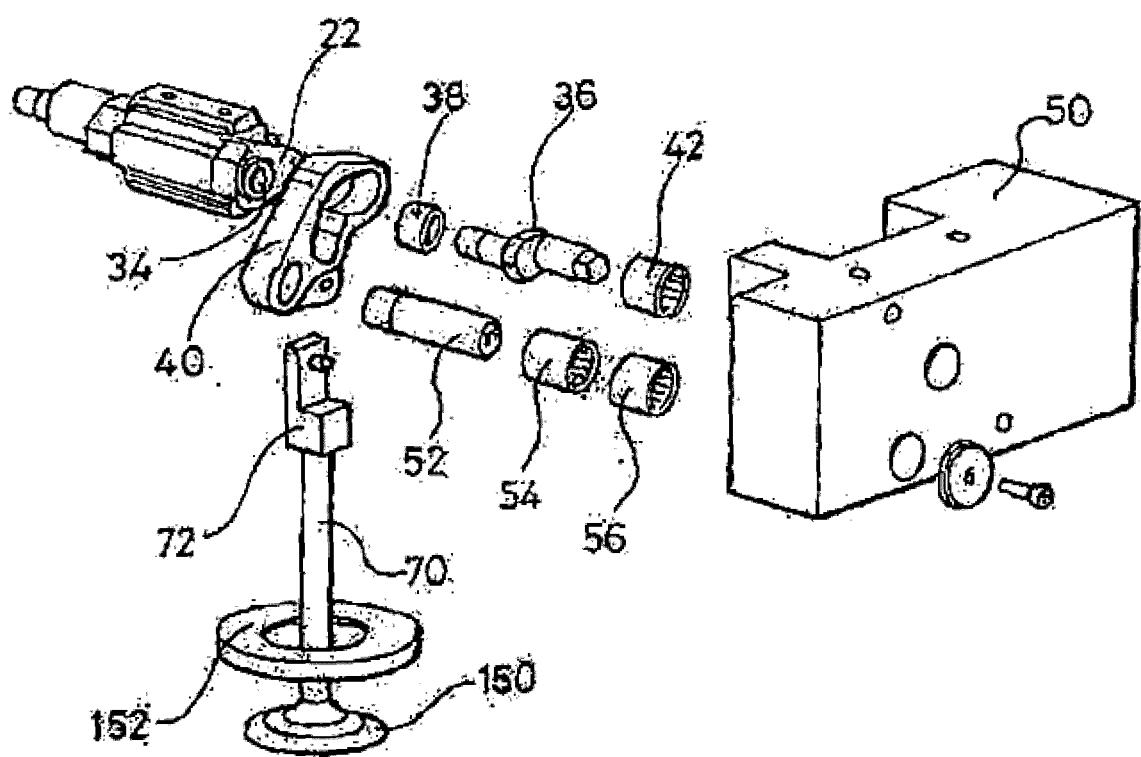


FIG 3

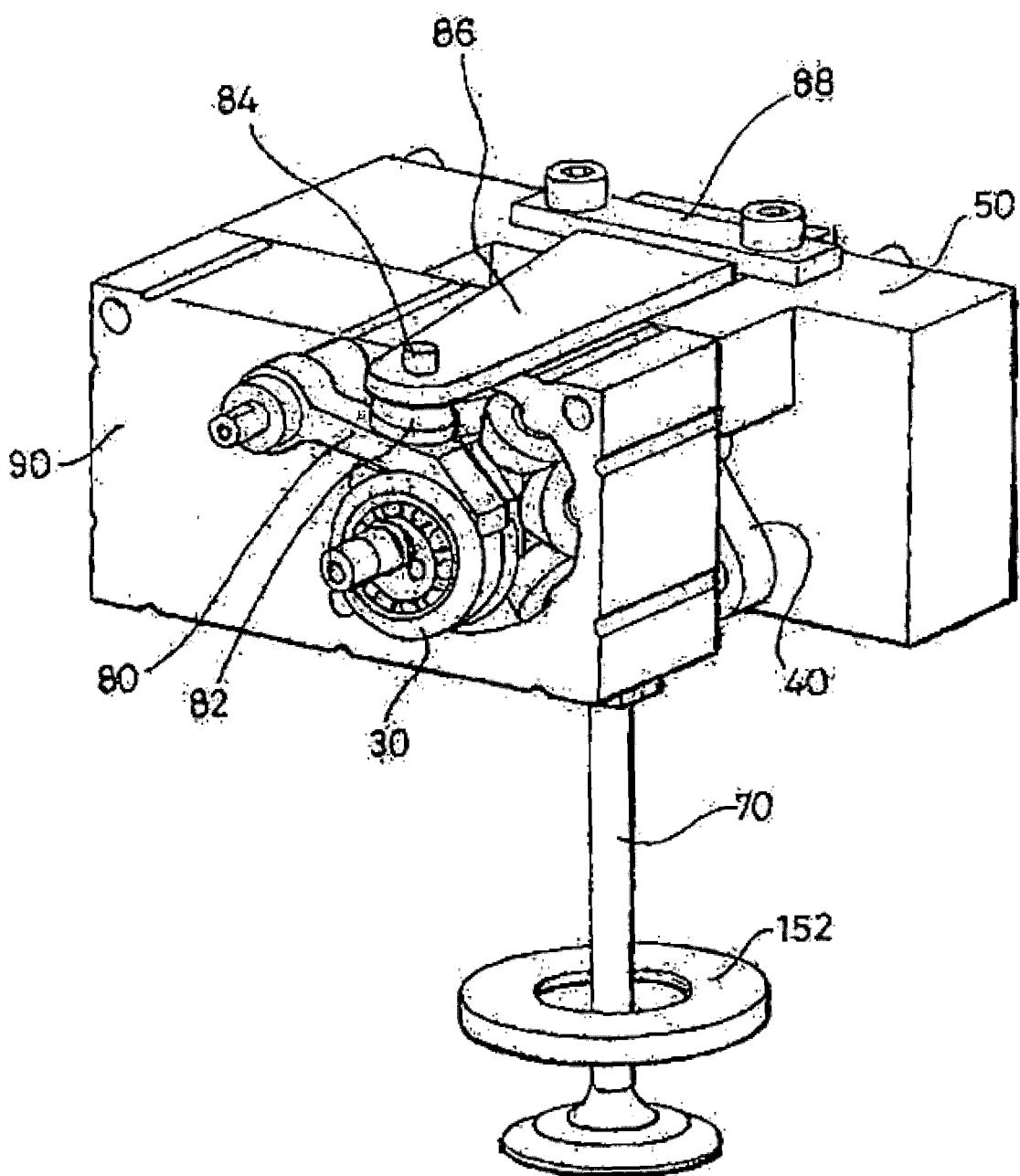
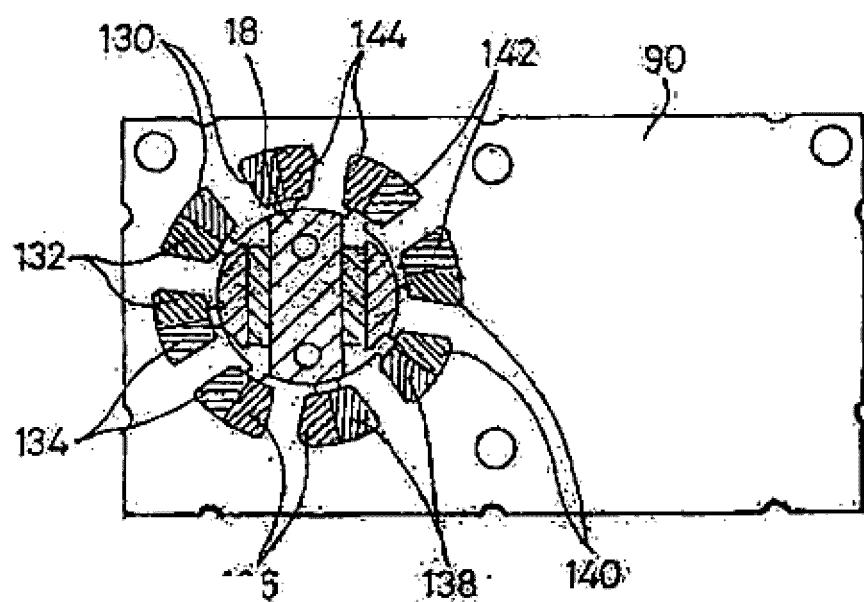
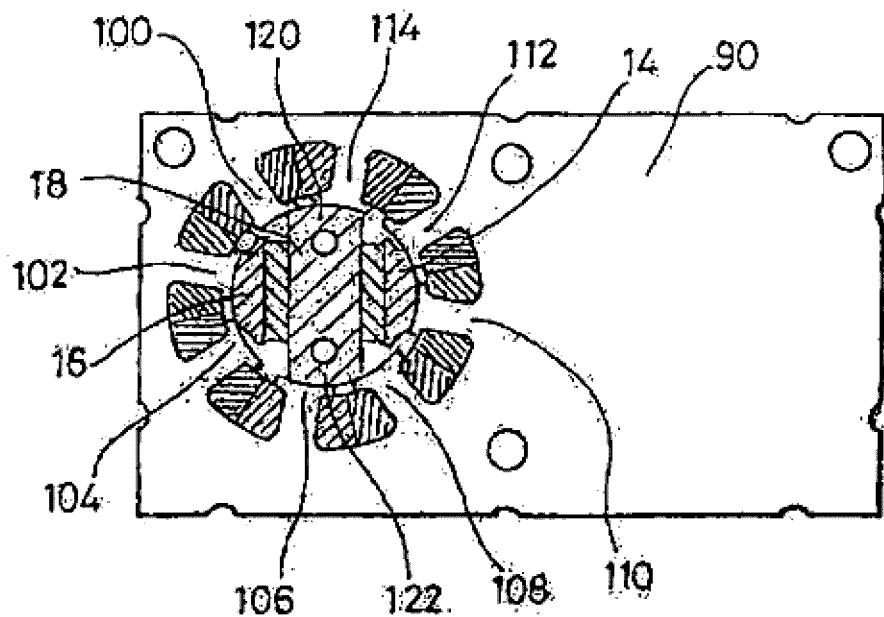
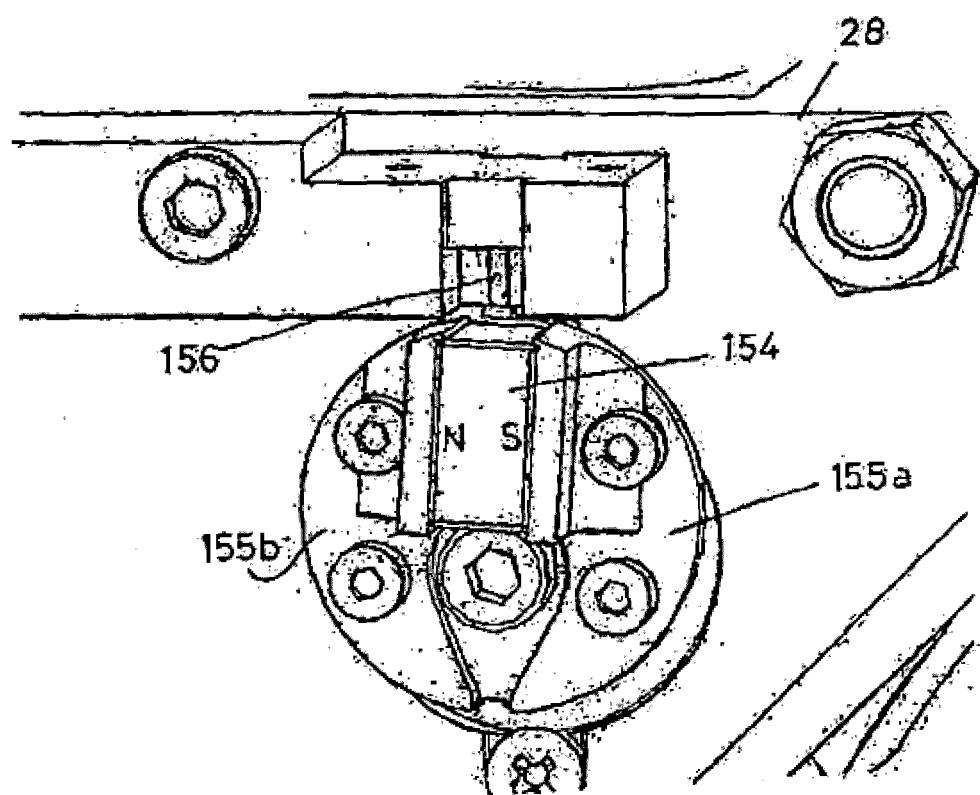
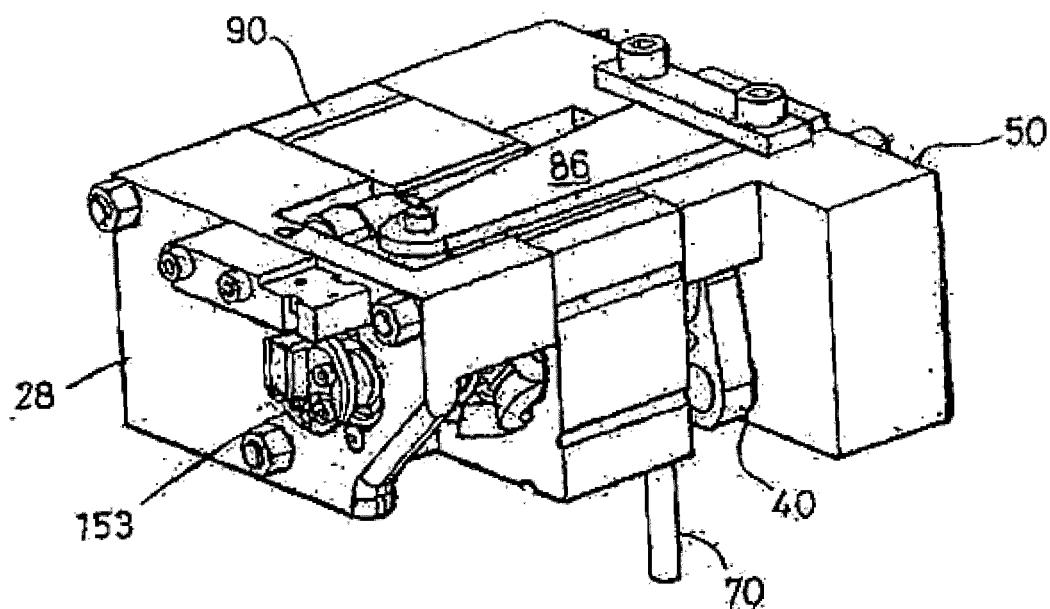


FIG 4





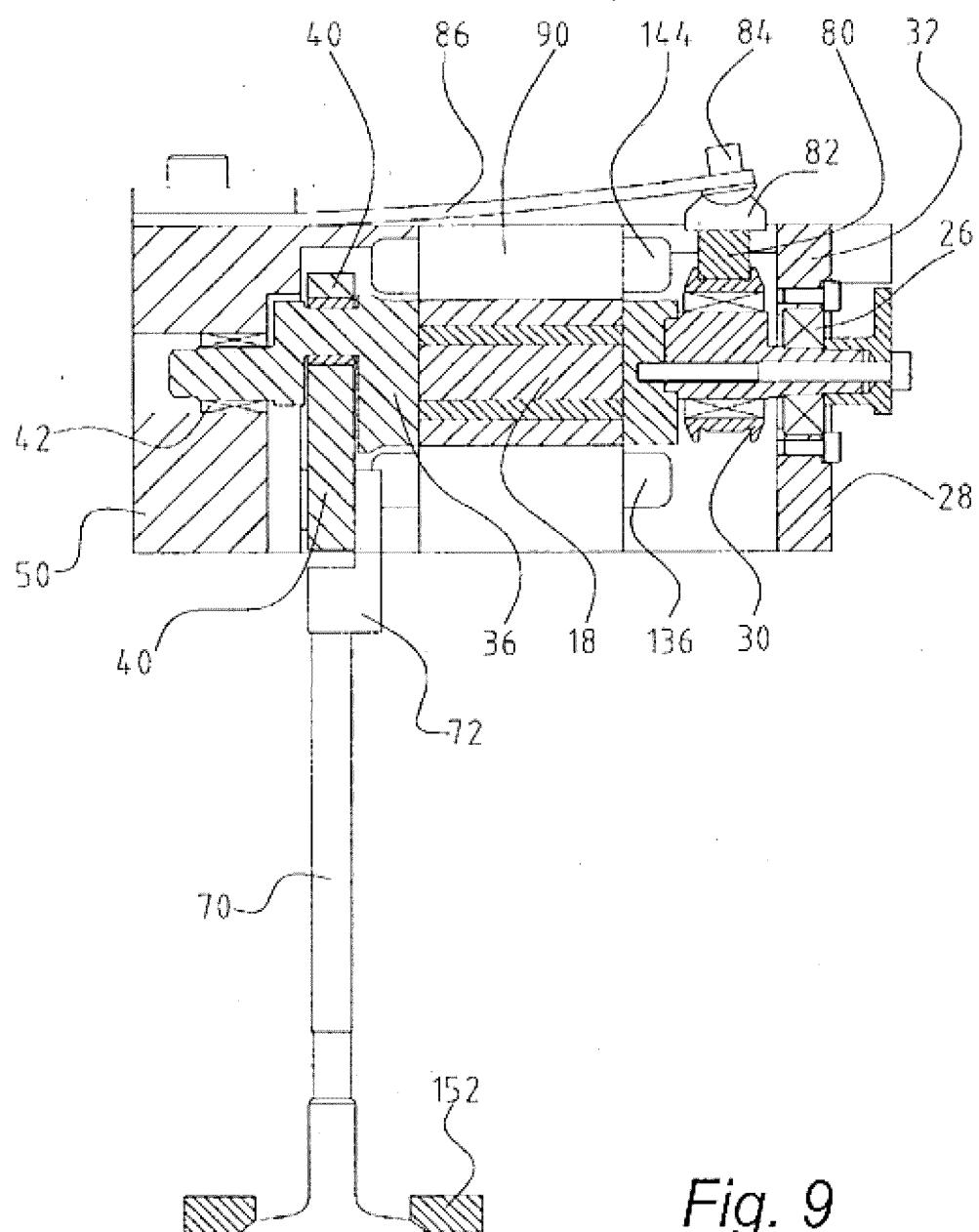


Fig. 9

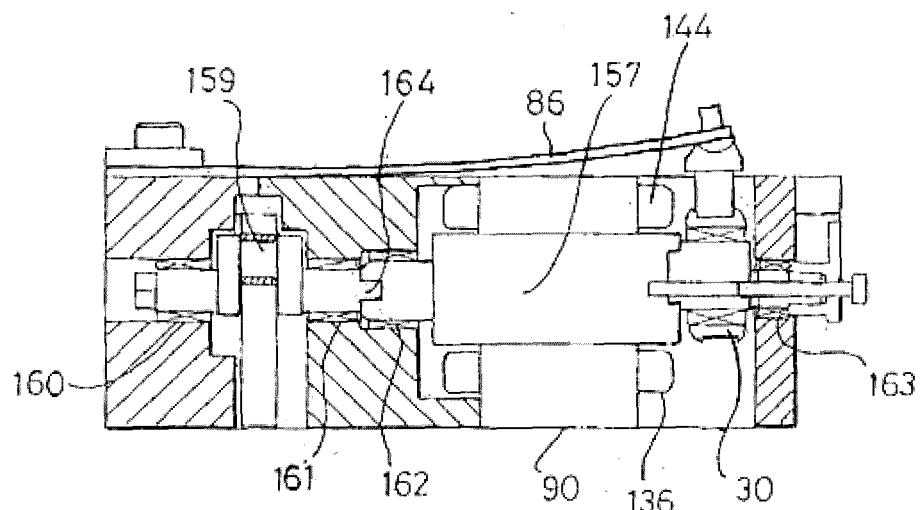


Fig. 10

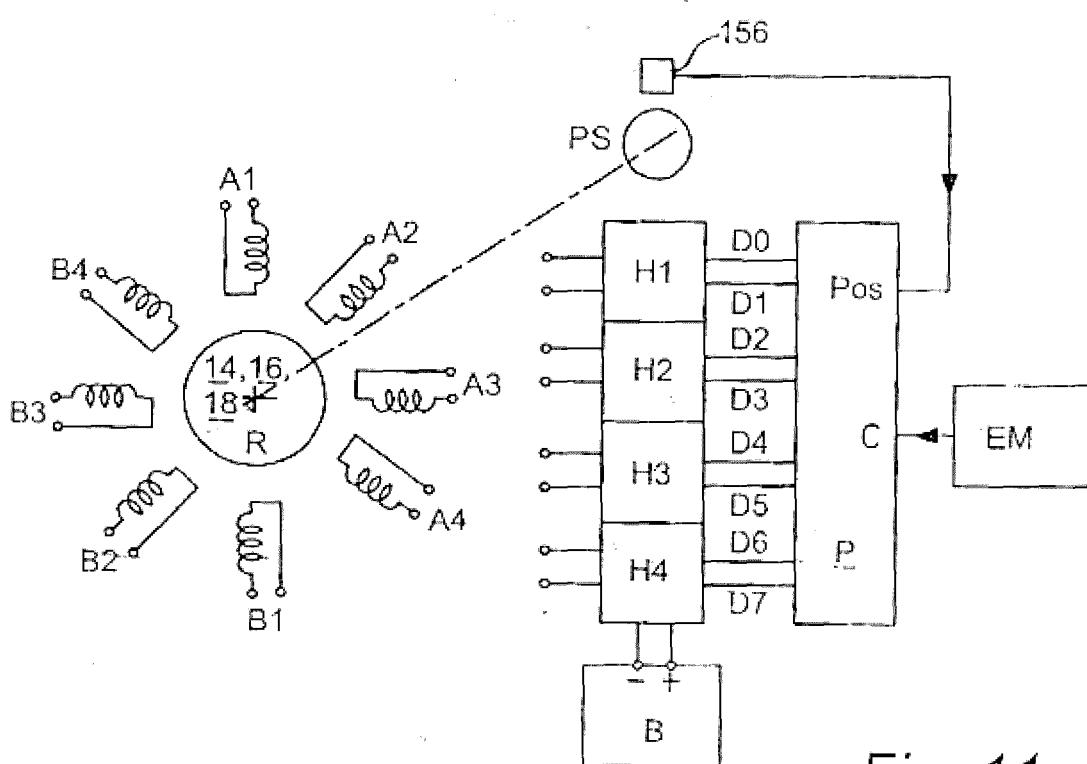


Fig. 11

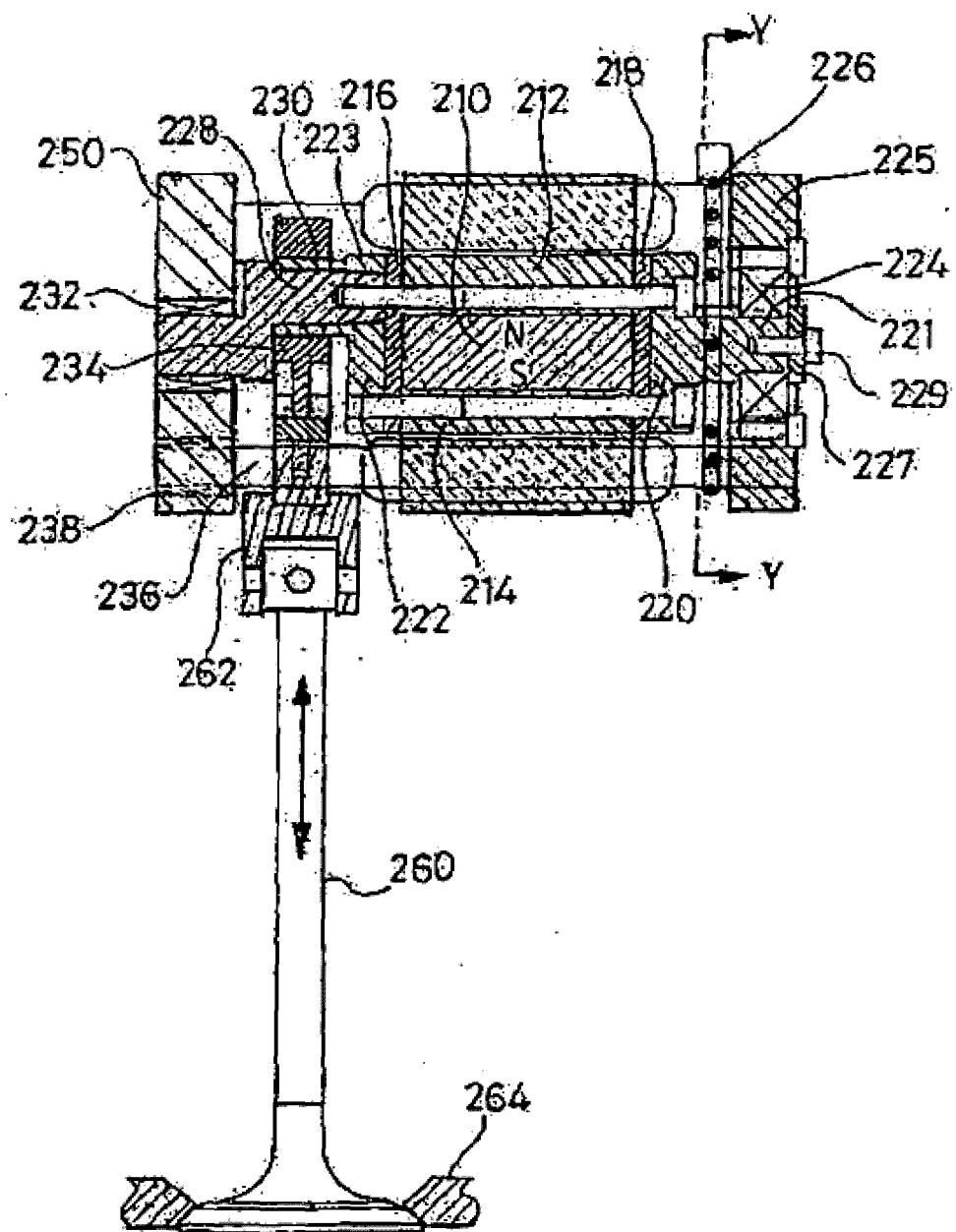


FIG 12

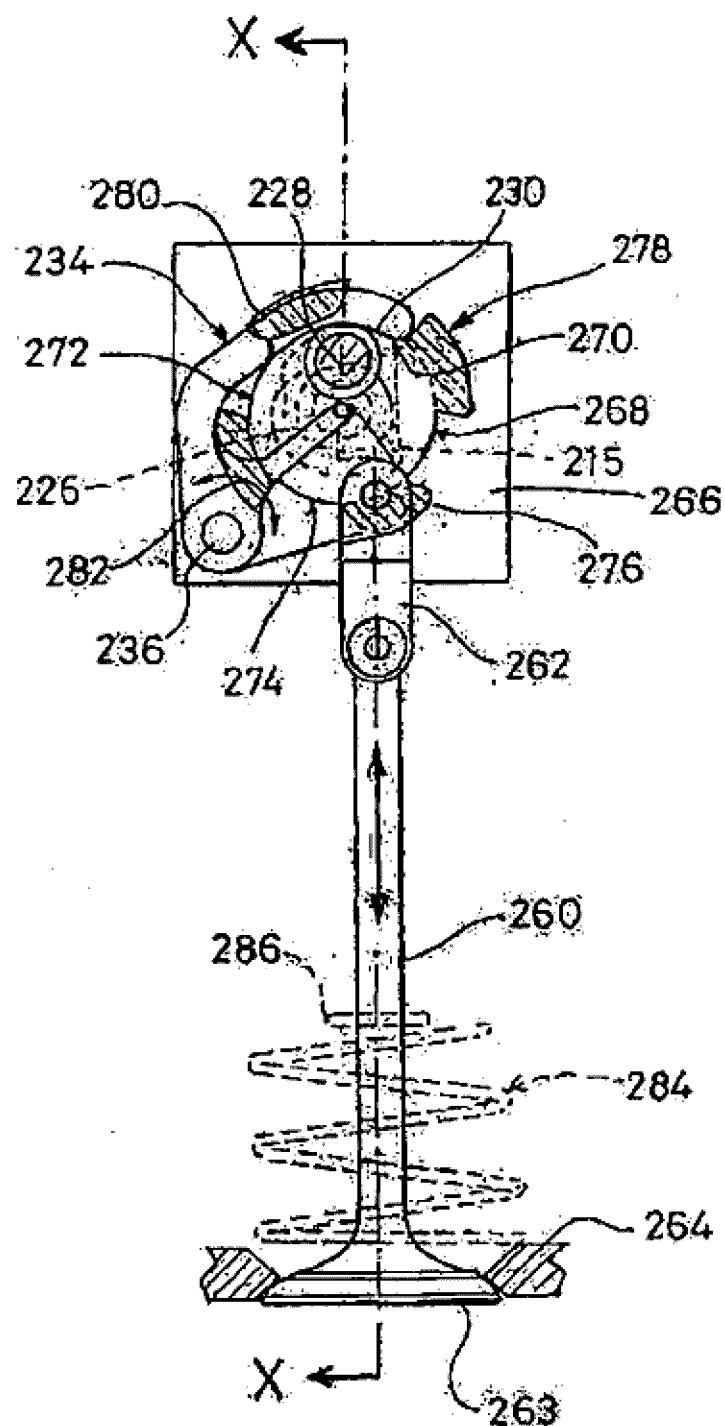
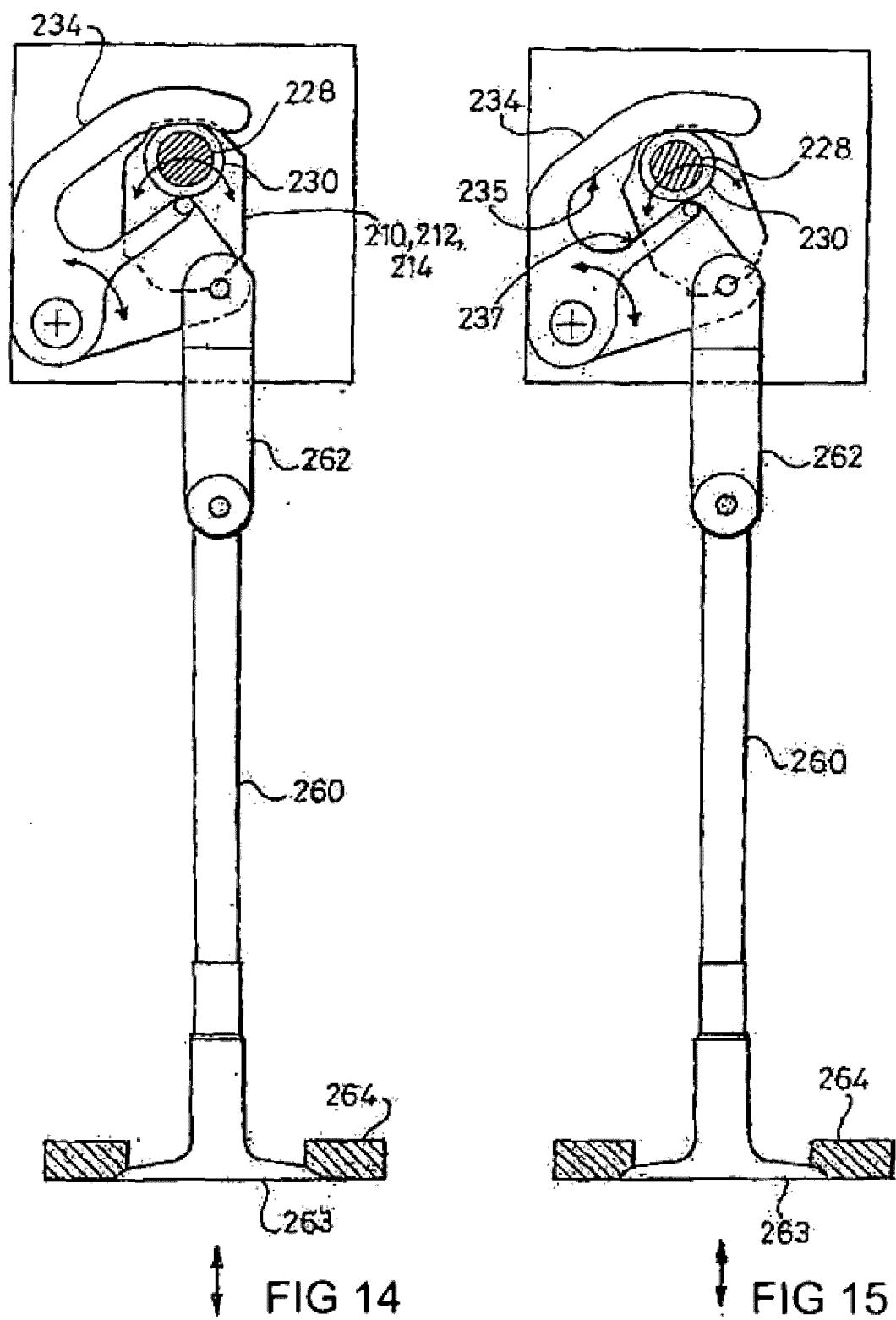
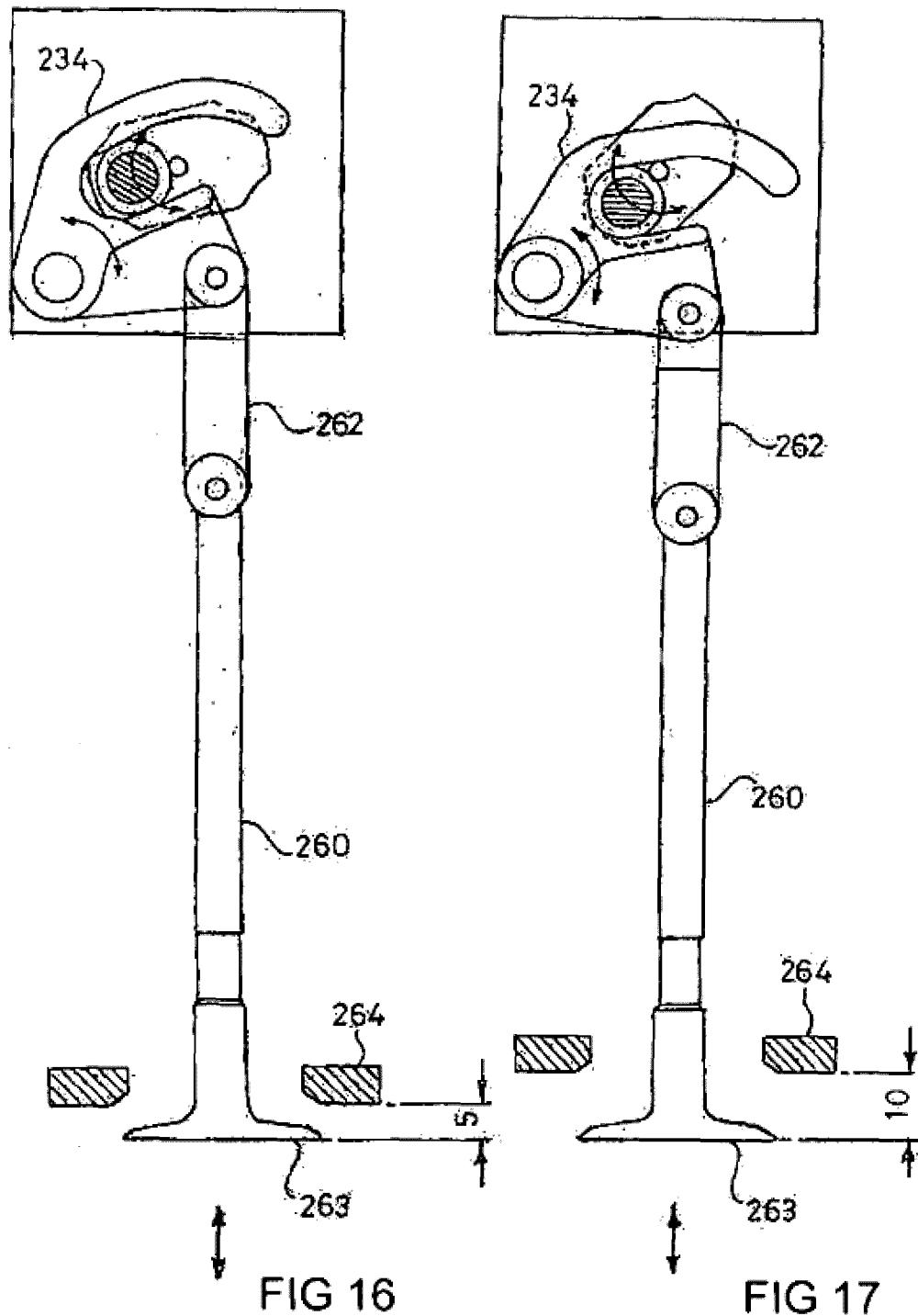


FIG 13





12/12

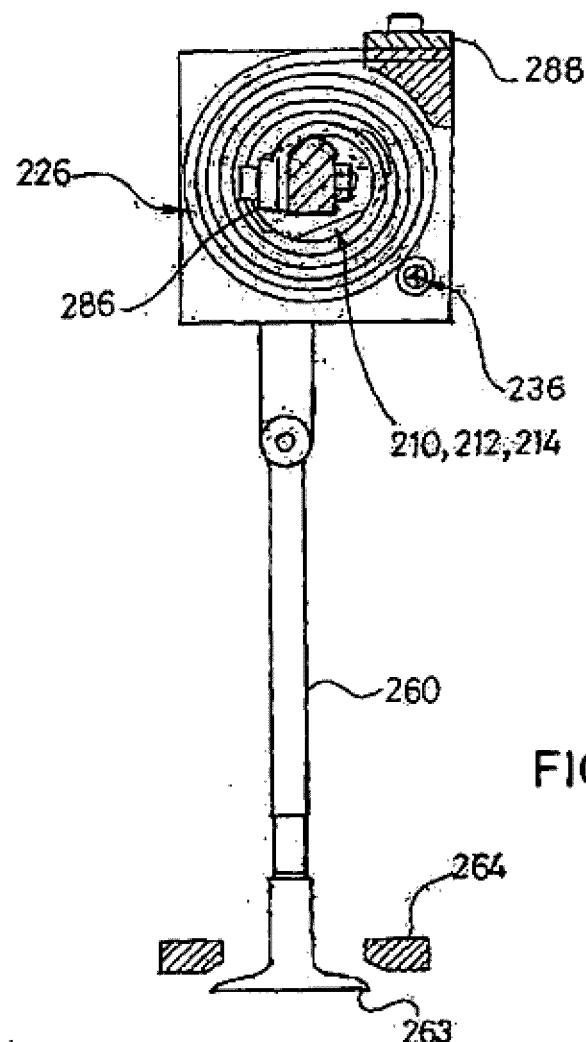


FIG 18

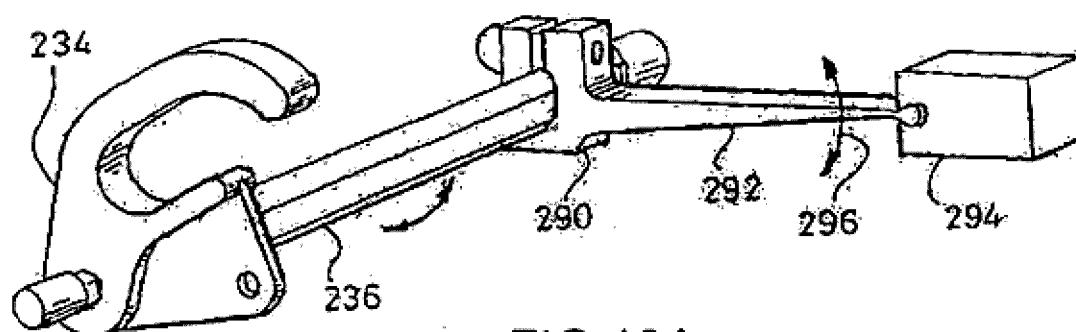


FIG 18A