



República Federativa do Brasil
Ministério da Economia
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) PI 0700697-7 B1



* B R P I 0 7 0 0 6 9 7 B 1 *

(22) Data do Depósito: 16/02/2007

(45) Data de Concessão: 02/07/2019

(54) Título: MANCAL HIDRODINÂMICO SEGMENTADO ATIVO COM SAPATAS MÓVEIS MAGNÉTICAS

(51) Int.Cl.: F16C 23/04; F16C 39/06.

(73) Titular(es): UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - USP.

(72) Inventor(es): RODRIGO NICOLETTI.

(57) Resumo: MANCAL HIDRODINÂMICO ATIVO COM SAPATAS MÓVEIS MAGNÉTICAS. A presente invenção combina a capacidade de carga de mancais hidrodinâmicos de sapatas móveis com a capacidade de atuação dos atuadores eletromagnéticos, de forma a se poder alterar ativamente as características dinâmicas de máquinas rotativas. Atuadores eletromagnéticos (3) são inseridos nas sapatas móveis do mancal hidrodinâmico, formando pares nas direções ortogonais ao rotor/eixo (9). Desta forma, tem-se um sistema de atuação compacto para sistemas rotativos. Sensores de proximidade (34a,34b) medem os deslocamentos do rotor/eixo (9) e seus sinais são processados em malha de realimentação (sistema de controle) e enviados para os atuadores eletromagnéticos (3) presentes nas sapatas do mancal hidrodinâmico. As forças eletromagnéticas dos atuadores atuam no rotor/eixo (9), controlando seus movimentos e alterando as características dinâmicas do sistema rotativo.

“MANCAL HIDRODINÂMICO SEGMENTADO ATIVO COM SAPATAS MÓVEIS MAGNÉTICAS”

OBJETIVO DA INVENÇÃO

[001] A presente invenção refere-se a um mancal hidrodinâmico de sapatas móveis com um sistema de controle ativo, por atuadores eletromagnéticos, para servir de sustentação e reduzir as vibrações de rotores e eixos em sistemas rotativos.

ESTADO DA TÉCNICA

[002] Máquinas rotativas de médio e grande porte, como turbogeradores, compressores, turbinas e bombas, são elementos de vital importância do processo de produção. Sendo assim, estas máquinas devem apresentar não só alto desempenho, mas também alta disponibilidade. Vários são os critérios para se definir o desempenho e a disponibilidade de uma máquina. Um destes critérios é a capacidade da máquina de se adequar a rápidas variações de demanda, ou seja, a flexibilidade que a máquina apresenta na sua faixa de operação.

[003] O mancal é um dos principais elementos que definem as características dinâmicas de uma máquina rotativa, por ser um elemento de interface entre a parte girante (rotor) e o restante da máquina (partes estáticas e solo). Desta forma, os mancais são projetados para que a máquina apresente características dinâmicas que a permitam operar em uma determinada faixa de operação. Entretanto, uma vez definidas, estas faixas de operação não podem ser alteradas caso se deseje o máximo rendimento da máquina.

[004] No caso de mancais hidrodinâmicos, os quais são comumente usados em máquinas rotativas, as suas características dinâmicas são bastante sensíveis às mudanças das condições de operação. Isto significa que em uma situação imprevista de mudança das condições de operação, de demanda, ou mesmo falha, as características dinâmicas da máquina podem se alterar, de forma que estas novas características podem não ser apropriadas para a condição de operação imposta à máquina. Em outras palavras, a máquina não tem flexibilidade na sua faixa de operação, comprometendo-se assim o seu desempenho e a sua disponibilidade.

[005] Uma maneira de se aumentar a flexibilidade de operação da máquina rotativa é o uso de mancais ativos. Mancais ativos permitem alterar as características dinâmicas do mancal e, conseqüentemente, da máquina de maneira que estas características sejam adequadas às condições de operação impostas. O controle e a atenuação das amplitudes de vibração do rotor, através dos mancais, permitem ampliar a faixa de operação da máquina, seja em condições de operação previstas, seja em condições imprevistas, como falhas. Assim, mancais ativos podem também ser usados

no caso de falha, para manter a máquina em funcionamento até que uma parada para manutenção possa ser programada (eliminação de paradas súbitas da produção e aumento da disponibilidade).

[006] Dentre os tipos de mancais existentes, os mancais hidrodinâmicos pertencem à classe dos mancais cujo acoplamento entre parte girante e estática se faz através de uma fina película de óleo. Estes mancais funcionam pelo equilíbrio entre as forças de carregamento, que são transferidas ao mancal pela parte girante, e as forças hidrodinâmicas, que surgem devido à formação de uma distribuição de pressões no filme de óleo. A grande utilização de mancais hidrodinâmicos segmentados em aplicações industriais se dá pelo fato destes mancais possuírem reconhecidamente excelentes características de estabilidade e de reserva de amortecimento para uma ampla gama de condições de operação. Somando-se a isto, tem-se a facilidade de montagem, desmontagem e troca de sapatas danificadas, principalmente em sistemas de grande porte, como turbinas Francis, utilizadas em usinas hidrelétricas. Porém, sistemas rotativos podem estar sujeitos às mais diversas formas de excitação, como recirculação do fluido de trabalho nas palhetas das turbinas, forças desestabilizantes dos selos, desbalanço do rotor, instabilidade do filme de óleo, forças magnéticas harmônicas oriundas do estator (hidrogerador), forças estocásticas devido a operações fora da faixa de projeto e golpes de aríete em hidrogeradores.

[007] Uma das propriedades de mancais hidrodinâmicos segmentados é o desacoplamento entre as duas direções ortogonais. Este desacoplamento permite que os movimentos vertical e horizontal do rotor, em um dado sistema de referência, sejam independentes, ou seja, não influenciam um ao outro, o que não ocorre com outros tipos de mancal hidrodinâmico. Tal fato tem como justificativa a capacidade de rotação das sapatas, que têm liberdade para se ajustar às mais diferentes condições de operação de carregamento do mancal. Por este fato, acreditava-se que mancais segmentados eram incondicionalmente estáveis. Porém, estudos sobre instabilidades e vibrações auto-excitadas sub-síncronas em mancais segmentados surgiram a partir do final da década de 1980, confrontando esta afirmação. Estas análises são praticamente unânimes ao se afirmar que há grande probabilidade de o sistema apresentar instabilidade quando se têm grandes folgas radiais e pequenos carregamentos estáticos sobre o rotor. Estas condições de operação do mancal são propícias ao aparecimento de instabilidades em consequência, principalmente, da queda do nível de amortecimento. Neste caso, sistemas rotativos verticais são particularmente mais suscetíveis a instabilidades devido ao fato do carregamento estático sobre os mancais ser reduzido.

[008] O fato dos sistemas rotativos poderem apresentar instabilidades em certas condições de operação, fez com que se pensasse em uma forma de garantir o aumento das reservas de amortecimento e, conseqüentemente, da faixa de estabilidade destes sistemas. Uma proposta para atingir este objetivo foi a utilização de sistemas e técnicas de controle nos mancais. As primeiras ideias de se controlarem ativamente vibrações em sistemas rotativos surgiram através do uso de mancais magnéticos. Devido ao seu funcionamento elétrico e à possibilidade de alteração on-line de suas características dinâmicas, os mancais magnéticos mostraram-se promissores para a tarefa de controle.

[009] Os mancais magnéticos possuem a vantagem de atuarem sem contato, em uma ampla faixa de frequência e são considerados sistemas limpos, já que não há a necessidade de se ter qualquer tipo de fluido (a não ser ar) na interface entre o rotor e o mancal. Entretanto, mancais magnéticos tornam-se proibitivamente caros quando aplicados em sistemas rotativos de grande porte. Nestes sistemas, as forças envolvidas são elevadas e o sistema magnético fica complexo e pouco compacto. Além disso, sistemas de proteção, como mancais auxiliares, devem ser inseridos na máquina para o caso de falha do sistema elétrico ou excesso de carga sobre o mancal magnético. Assim, mancais magnéticos (isoladamente) não são os mais indicados para a aplicação em máquinas de grande porte, sendo destinados basicamente a sistemas rotativos pequenos e a aplicações na indústria espacial.

[010] A ideia de se associar a capacidade de carga de mancais hidrodinâmicos com a capacidade de atuação de mancais magnéticos vem sendo investigada na literatura das mais variadas formas. A maioria das aplicações está relacionada a motores elétricos, cujos rotores são suportados por mancais hidrodinâmicos e impulsionados por mancais magnéticos (por exemplo, as patentes GB2296945, JP9042289, US2002089245). Apesar da compacidade destas aplicações, os mancais apresentam-se como elementos separados do sistema rotativo, onde o mancal hidrodinâmico e o mancal magnético são elementos distintos. Além disso, trata-se de soluções construtivas viáveis para aplicações de pequeno porte.

[011] Uma solução construtiva mais robusta é proposta na patente US5059845, onde um mancal de suporte (hidrodinâmico ou de rolamento) é sustentado por um mancal magnético. Apesar de esta solução construtiva apresentar ambos os mancais montados como um sistema único, trata-se basicamente de um mancal magnético de sustentação e atuação, onde a carcaça contendo o mancal de suporte serve apenas de dispositivo de segurança em caso falha do sistema elétrico. A capacidade de carga do mancal de suporte não é aproveitada pelo mancal magnético.

[012] As patentes US4827169 e US2001048257 apresentam uma solução construtiva onde a capacidade de carga do mancal hidrodinâmico é aproveitada e o mancal magnético é usado apenas como elemento de atuação para o controle dos movimentos do rotor ou eixo. Entretanto, estas patentes adotam o mancal hidrodinâmico cilíndrico como elemento de sustentação do rotor ou eixo, o qual apresenta reconhecidas limitações quanto à estabilidade dinâmica (fenômenos vibratórios sub-síncronos denominados de oil-whirl e oil-whip)

FUNDAMENTOS DA INVENÇÃO

[013] A presente invenção propõe uma solução construtiva nova, onde os atuadores eletromagnéticos são inseridos nas sapatas móveis de um mancal hidrodinâmico segmentado (sapatas móveis). Com isto, tem-se a associação da capacidade de carga do mancal hidrodinâmico segmentado, o qual apresenta características de estabilidade dinâmica superiores às do mancal hidrodinâmico cilíndrico, com a capacidade de atuação do mancal magnético para o controle das vibrações do rotor ou eixo de um sistema rotativo. Este controle das vibrações do rotor ou eixo é ativo, baseado em um sistema de medição dos movimentos do rotor ou eixo, processamento on-line dos sinais de medição, e realimentação dos sinais para os atuadores eletromagnéticos

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

[014] A figura 1 é uma vista em corte frontal mostrando os componentes do mancal hidrodinâmico com sapatas móveis do presente pedido; e

[015] A figura 2 é uma vista em corte lateral segundo o plano de corte A-A

DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO

[016] Conforme as figuras 1 e 2, o mancal hidrodinâmico ativo com sapatas móveis magnéticas ora proposto é composto de quatro segmentos móveis pivotados, chamados doravante sapatas, dois na direção horizontal (1a) e (1c) e dois na direção vertical (1b) e (1d). As sapatas são compostas por três peças, a saber, capa externa (2), atuadores eletromagnéticos (3) (eletroímã) e tampa da sapata (4), sendo que a capa externa (2) tem liberdade de rotação e é pivotada pelo pino (5). O atuador eletromagnético (eletroímã) (3) é encaixado na capa externa (2) e fixo através da tampa da sapata (4). A tampa da sapata (4) é fixada à capa externa (2) através de parafusos (6), e possui uma abertura central (7) através da qual o sensor de efeito Hall (8) é fixado por meio de um adesivo sobre a superfície do atuador eletromagnético (3).

[017] A superfície externa da tampa da sapata (4) serve de superfície deslizante para o rotor/eixo (9). Na interface entre o rotor/eixo (9) e a superfície externa da tampa da sapata (4) existe a folga radial do mancal (10) na qual se formará o filme de óleo hidrodinâmico, que é o principal mecanismo de sustentação do rotor/eixo (9). O

óleo necessário para a formação do filme de óleo hidrodinâmico na folga radial (10) é suprido sob pressão por um sistema de suprimento hidráulico (não mostrado) através dos dutos (11a), (11b), (11c) e (11d) usinados na carcaça (12), penetrando na câmara (13) onde as sapatas se encontram. Através das aberturas (14a) e (14b), o óleo preenche as câmaras (15a) e (15b), e é extraído do mancal a partir de dutos (16) usinados na carcaça lateral (17).

[018] As carcaças laterais (17) e (18) são fixadas à carcaça (12) através de parafusos (19a) e (19b) embutidos nas carcaças laterais (17) e (18). Anéis de vedação (20a) e (20b) impedem que o fluido no interior da câmara (13) vaze para o exterior do mancal. As carcaças laterais (17) e (18) também servem de apoio para os pinos (5) (opcionalmente tais pinos poderiam estar localizados na carcaça (2)), os quais posicionam as sapatas no interior do mancal e permitem o movimento de rotação das mesmas. As aberturas (21a) e (21b) na carcaça lateral (17) ou opcionalmente na carcaça lateral (18) permitem que os fios (22a) e (22b) do atuador eletromagnético (3), bem como o fio do sensor Hall (8), sejam levados para a câmara (15b).

[019] A câmara (15a) é formada pela carcaça lateral (18) e tampa (23), sendo que a tampa (23) é fixada à carcaça (18) através de parafusos (24a). Um anel de vedação (25) impede que o fluido no interior da câmara (15a) vaze para o exterior do mancal. Um retentor (26a) impede que o fluido no interior da câmara (15a) vaze para o exterior do mancal através da abertura (27a). O bujão (28), aparafusado na tampa (23), serve para tampar o duto de drenagem do óleo do mancal. O duto de drenagem é utilizado caso seja necessário retirar todo o óleo do interior do mancal.

[020] A câmara (15b) é formada pela carcaça lateral (17) e tampa (29), sendo que a tampa (29) é fixada à carcaça (17) através de parafusos (24b). Um anel de vedação (30) impede que o fluido no interior da câmara (15b) vaze para o exterior do mancal. Um retentor (26b) impede que o fluido no interior da câmara (15b) vaze para o exterior do mancal através da abertura (27b). A vedação vazada (31a) e (31b), posicionada na tampa (29), permite que os fios (22a) e (22b) do atuador eletromagnético sejam retirados do interior do mancal sem que haja vazamento de óleo para o exterior do mancal. Um sensor de temperatura (32) é fixado na tampa (29) através de rosca, e permite medir a temperatura do óleo no interior do mancal.

[021] Os furos (33) na carcaça (12) permitem que o mancal seja fixado através de parafusos na estrutura da máquina.

[022] Por se tratar de um mancal ativo, o mancal hidrodinâmico com sapatas móveis magnéticas ora proposto possui um sistema de realimentação dos sinais dos atuadores eletromagnéticos (3). Sensores de proximidade posicionados na direção horizontal (34a) e vertical (34b) medem os deslocamentos do rotor/eixo (9). Os sinais

de medição dos deslocamentos do rotor/eixo são processados digitalmente, multiplicados pelos ganhos do sistema de controle (não mostrado), e realimentados em tensão ou corrente para os atuadores eletromagnéticos (3) nas direções horizontal e vertical, formando-se assim um sistema de controle por realimentação em circuito fechado. As forças eletromagnéticas dos atuadores (3) atuam no rotor/eixo (9), de forma a controlar os movimentos do rotor/eixo e, conseqüentemente, modificar as características dinâmicas do sistema rotativo (rotor/mancal).

REIVINDICAÇÕES

1. Mancal hidrodinâmico segmentado ativo com sapatas magnéticas móveis, **caracterizado por** compreender:

- corpo formado pela carcaça (12) e carcaças laterais (17,18) fixadas na carcaça (12) por parafusos (19a,19b), duas tampas (23,29) as quais estão unidas por parafusos (24a,24b) nas carcaças laterais (17,18) e vedações (20a,20b,25,30) formando três câmaras (15a,15b,13);

- sapatas móveis formadas pela capa externa (2) com atuador eletromagnético (3) montado no interior das referidas sapatas, sensor de efeito Hall (8) preso na extremidade do atuador eletromagnético e tampa da sapata (4), as mencionadas sapatas móveis encontram-se encerradas dentro do mencionado corpo presas pivotantemente pelos pinos (5) às carcaças laterais (17,18); e

- rotor/eixo (9) passando entre as mencionadas sapatas.

2. Mancal, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pela** carcaça (12) compreender dutos (11) para a entrada do óleo lubrificante pressurizado.

3. Mancal, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo** fato de as carcaças laterais (17,18) apresentarem furos (21a,21b) que permitem que os fios dos atuadores eletromagnéticos (3) e dos sensores de efeito Hall (8) sejam retirados da câmara central (13) e levados para a câmara lateral (15b).

4. Mancal de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo** fato de pelo menos uma das câmaras laterais (15a,15b) apresentar dutos (16) para o retorno do óleo lubrificante do interior do mancal para o reservatório do sistema de suprimento hidráulico.

5. Mancal, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo** fato de pelo menos uma das tampas (23,29) apresentarem furos vedados (31a,31b) para a retirada dos fios dos atuadores eletromagnéticos (3) e do sensor de efeito Hall (8).

6. Mancal, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** pelo menos uma das tampas (23,29) compreender um bujão (28) de retirada do óleo lubrificante.

7. Mancal, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** pelo menos uma das tampas (23,29) compreender um sensor de temperatura (32) para a medição da temperatura do óleo lubrificante.

8. Mancal, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo** fato de compreender sensores de proximidade perpendiculares ao rotor/eixo (9).

79

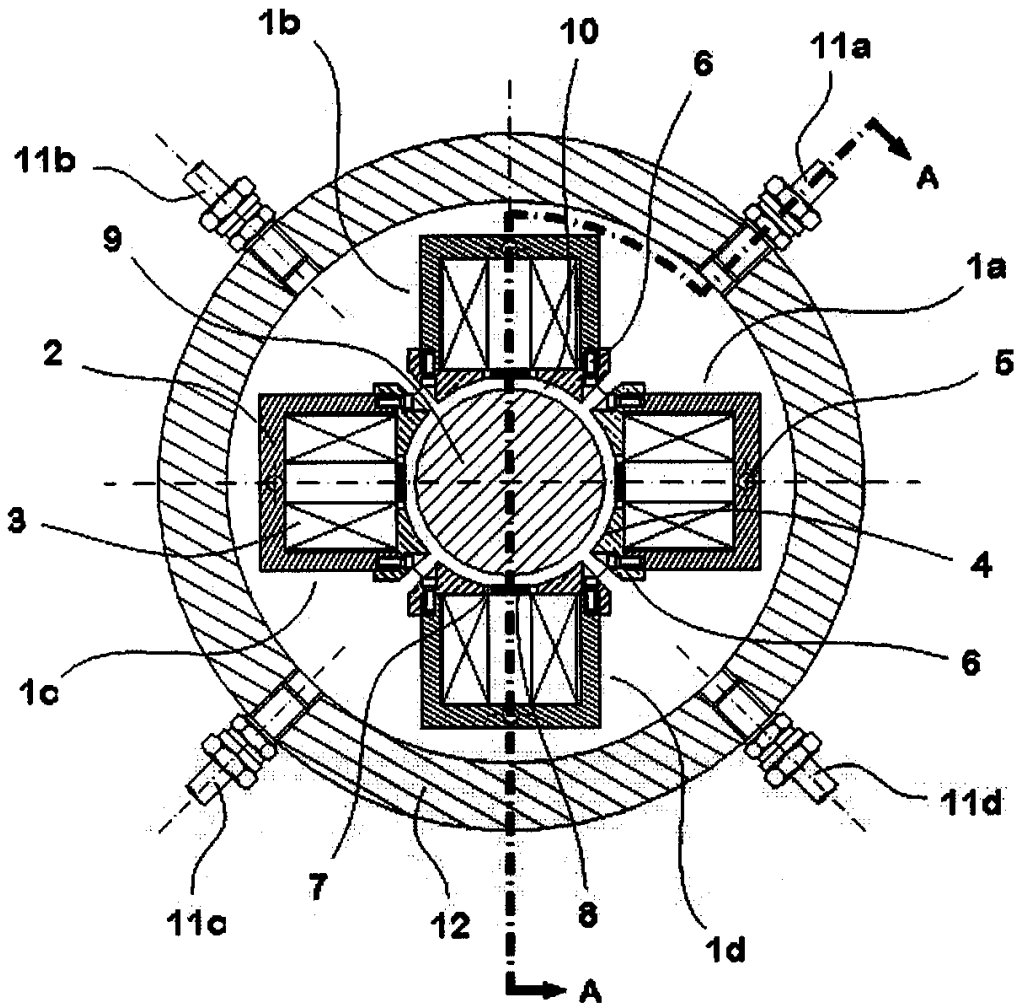


Fig. 1

Corte A-A

75

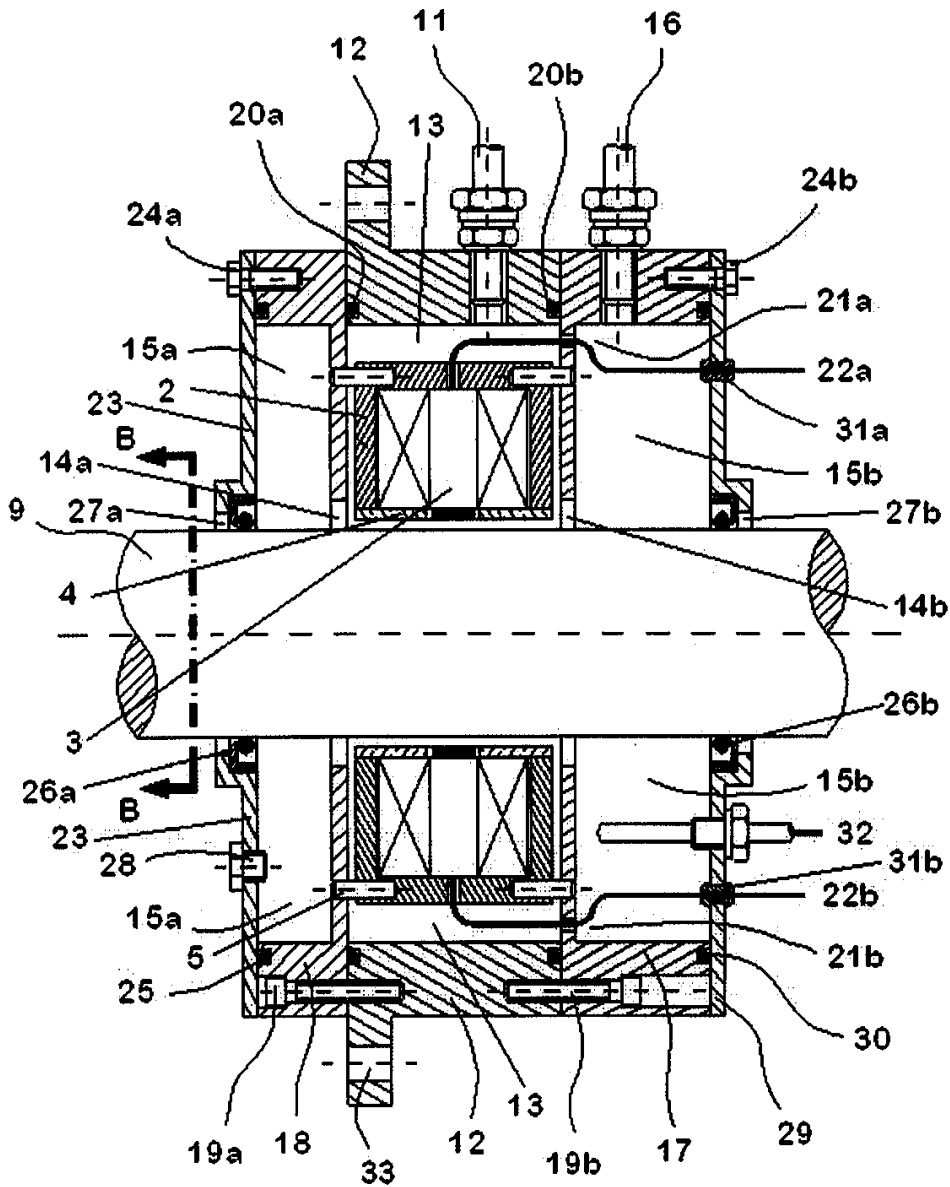


Fig. 2

76

Corte BB

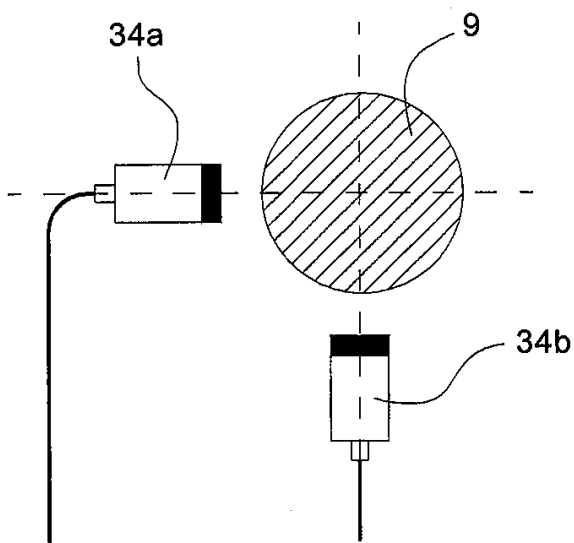


Fig. 3