



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

(11) BR 102013018837-9 B1



(22) Data do Depósito: 23/07/2013

(45) Data de Concessão: 10/08/2021

(54) Título: DISPOSITIVO ELETROMAGNÉTICO DISSIPADOR DE VIBRAÇÕES PARA SISTEMAS ROTATIVOS

(51) Int.Cl.: F16F 9/19; H02K 7/10.

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

(72) Inventor(es): RODRIGO NICOLETTI; MARCUS VINÍCIUS VITORATTI DE ARAUJO.

(57) Resumo: DISPOSITIVO ELETROMAGNÉTICO DISSIPADOR DE VIBRAÇÕES PARA SISTEMAS ROTATIVOS A presente invenção se insere no campo de dissipação de vibrações, ou seja, a um sistema passivo de conversão de energia cinética vibratória em energia potencial elétrica por meio de indução eletromagnética, de modo a reduzir vibrações de rotores e eixos em sistemas rotativos. Para isto, a presente invenção prevê um dispositivo que reduz as vibrações em sistemas rotativos por meio da indução eletromagnética causada pelo movimento relativo entre ao menos uma fonte de campo magnético (2) e um enrolamento (4), conectado a ao menos um circuito elétrico (5), sendo um deles fixo e outro móvel, fixado no eixo de transmissão de potência do elemento móvel rotativo (1). A fonte de campo magnético (2) é polarizada axialmente em relação ao enrolamento (4), sendo configurada de modo a criar um campo magnético em uma direção paralela à direção de rotação do eixo de transmissão de potência do elemento móvel rotativo (1). Esta redução de vibração se torna possível pelo fato da indução eletromagnética converter energia cinética em energia potencial elétrica, aproveitável para diversos propósitos, sem criar um campo magnético de interferência no eixo de transmissão de potência do sistema rotativo em que é aplicado.

DISPOSITIVO ELETROMAGNÉTICO DISSIPADOR DE VIBRAÇÕES PARA SISTEMAS ROTATIVOS

Campo da Invenção

A presente invenção se insere no campo de dissipação de vibrações, ou seja, a um sistema passivo de conversão de energia cinética vibratória em energia potencial elétrica por meio de indução eletromagnética, de modo a reduzir vibrações de rotores e eixos em sistemas rotativos.

Estado da Técnica

Máquinas rotativas podem ser encontradas nas mais diversas aplicações na indústria, possibilitando a automatização de cadeias produtivas e, assim, desempenhando um papel fundamental na produção. Por este motivo, é fundamental que estas máquinas operem em condições apropriadas para que apresentem o desempenho esperado de projeto.

Estas máquinas rotativas geralmente compreendem um motor e um eixo, em que o motor transmite potência para o eixo, que por sua vez transmite potência para outro elemento efetuar um trabalho específico.

Entretanto, estas máquinas rotativas podem apresentar vibrações laterais indesejadas, causadas por diversos fatores como, por exemplo, desbalanço residual, desalinhamento do eixo ou mesmo excitações externas. Nestas condições não favoráveis, a máquina pode vir a apresentar diversos problemas, inclusive possíveis danos estruturais, que podem acarretar em interrupções na produção.

Desta forma, atualmente é indispensável à utilização de um mecanismo de dissipação desta energia vibratória, de forma a diminuir os efeitos danosos que causam nas máquinas rotativas.

Uma forma de se dissipar a energia vibratória lateral do eixo é através da conversão desta energia em outra forma de energia, geralmente elétrica, conhecida como regeneração,

coleta ou colheita de energia (também conhecida como *energy harvesting*).

Os sistemas de colheita de energia atualmente existentes podem ser divididos em três técnicas principais, voltadas para geração de energia elétrica: piezelétrica, eletrostática e eletromagnética.

A técnica piezelétrica consiste na utilização de materiais piezelétricos, ou seja, materiais que possuem a característica de gerar corrente elétrica quando deformados.

Já a técnica eletrostática é realizada por meio de condutores separados por um dielétrico, de maneira similar a um capacitor, na qual o movimento entre as placas altera a energia armazenada, possibilitando a criação de mecanismos geradores de energia.

Por fim, a técnica eletromagnética é uma das técnicas mais antigas e bem conhecidas, sendo composta por uma fonte de campo magnético como, por exemplo, um ímã permanente, e um enrolamento, por exemplo, uma bobina. Quando há movimento relativo entre a fonte de campo magnético e o enrolamento, é criada uma variação do fluxo magnético pelo tempo, ocasionando assim uma tensão induzida e, conseqüentemente, produzindo corrente elétrica no enrolamento.

Recentemente, pesquisas na área procuram identificar a melhor construção de forma a atingir a maior eficiência na captação e conversão de energia, para as maiores faixas possíveis de frequências e amplitudes de vibração, como mostrado, por exemplo, no artigo "*Strategies for increasing the operating frequency range of vibration energy harvesters: a review*", de ZHU, D., TUDOR, M. J. e BEEBY, S. P, publicado na revista "*Measurement Science and Technology*", volume 21, de 2010. Estas pesquisas são direcionadas para sistemas microeletromecânicos (MEMs), destacando-se o uso destes MEMs como fonte de alimentação para microcontroladores e sistemas sem fio.

Diante do acima exposto, é possível verificar que são diversas as criações que utilizam colheita de energia. Por exemplo, o pedido de PCT de prioridade Norte-Americana WO 2009100022 descreve um aparato para converter energia de
5 ímãs que rolam livremente sobre pistas.

O pedido de patente Brasileiro PI 0900989-2 descreve o reaproveitamento de energia de solas de sapatos, enquanto os pedidos de patente Brasileiros PI 0901871-9, PI 1005538-0, PI 0900720-2 descrevem o reaproveitamento da energia
10 desperdiçada em amortecedores veiculares.

Ainda, outros pedidos descrevem a geração de energia elétrica através de vibração, como o pedido de patente Brasileiro PI 0900995-7 e a patente Norte-Americana US 7843090 B2. Entretanto, nenhuma das técnicas citadas é
15 aplicada a sistemas rotativos, e não visa dissipar vibrações, apenas gerar energia.

Não obstante, alguns documentos apresentam técnicas para dissipação de energia de sistemas rotativos, como, por exemplo, a patente Sul-Coreana KR 100978298 B1, que descreve
20 um gerador elétrico nas juntas da suspensão veicular, que transforma energia mecânica de rotação em energia elétrica através de indução eletromagnética. Esta conversão de energia atenua os movimentos de rotação da suspensão e resulta em energia elétrica disponível para o veículo.

Outro exemplo deste tipo de técnica é o pedido de patente Chinês CN 101929520 A, que descreve um motor hidráulico que aciona um gerador elétrico para a conversão
25 de energia e para a atenuação dos movimentos de um pistão hidráulico.

Apesar da aplicação similar em eixos de sistemas rotativos, os sistemas descritos visam à redução de vibrações rotacionais de um eixo que não transmite potência. Deste modo, toda a potência oriunda das vibrações rotacionais pode ser transformada em energia elétrica e,
30

caso não exista vibração, não há potência a ser convertida no eixo.

Por este motivo, a aplicação dos sistemas descritos na patente Sul-Coreana e no pedido de patente Chinês em um eixo transmitindo potência não seria funcional, pois transformaria potência útil de rotação em energia elétrica, diminuindo a eficiência da máquina, com o agravante das vibrações laterais não serem afetadas.

Deste modo, a presente invenção soluciona os problemas do estado da técnica ao ser aplicada a sistemas rotativos, em que as vibrações apresentadas são dissipadas ao mesmo tempo em que se consegue aproveitar a energia antes desperdiçada, sem acarretar em um torque resistivo no eixo de transmissão de potência durante a conversão de energia.

Além de simples dissipação vibratória, a energia elétrica resultante pode ser utilizada para diversos fins, incluindo, porém não se limitando a: sensoramento da própria vibração do sistema, alimentação de microcontroladores, sistemas de telemetria e circuitos de dissipação.

BREVE DESCRIÇÃO DA INVENÇÃO

A presente invenção refere-se a um dispositivo eletromagnético dissipador de vibrações para sistemas rotativos, que possui um elemento móvel rotativo. Este elemento rotativo compreende um eixo de transmissão de potência, que possui uma direção de rotação. O dispositivo eletromagnético dissipador de vibrações possui, ainda, ao menos uma fonte de campo magnético, fixada no eixo de transmissão de potência do elemento móvel rotativo, e ao menos um núcleo em que é enrolado um enrolamento conectado a ao menos um circuito elétrico. O núcleo, o enrolamento e o circuito elétrico são separados do elemento móvel rotativo. A fonte de campo magnético é polarizada axialmente em relação ao enrolamento, de modo a criar um

campo magnético em uma direção paralela à direção de rotação do eixo de transmissão de potência do elemento móvel rotativo.

5 A presente invenção descreve ainda um dispositivo eletromagnético dissipador de vibrações para sistemas rotativos, que possui um elemento móvel rotativo. O elemento rotativo compreende um eixo de transmissão de potência que possui uma direção de rotação. Ao menos um enrolamento é fixado no eixo de transmissão de potência do
10 elemento móvel rotativo, e tal enrolamento é conectado a ao menos um circuito elétrico. O dispositivo eletromagnético dissipador de vibrações possui, ainda, ao menos uma fonte de campo magnético, separada do elemento móvel rotativo. Esta fonte de campo magnético é polarizada axialmente em
15 relação ao enrolamento, de modo a criar um campo magnético em uma direção paralela à direção de rotação do eixo de transmissão de potência do elemento móvel rotativo.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

A figura 1a é uma vista em corte frontal mostrando os
20 componentes do dispositivo de acordo com uma configuração preferencial da presente invenção.

A figura 1b é uma vista superior detalhando os componentes do dispositivo de acordo com uma configuração preferencial da presente invenção.

25 A figura 2 é uma vista superior ilustrando a montagem dos componentes do dispositivo de acordo com uma segunda configuração da presente invenção.

A figura 3 é uma vista em corte frontal ilustrando a montagem dos componentes do dispositivo de acordo com uma
30 terceira configuração da presente invenção.

A figura 4 é uma vista em corte frontal mostrando a montagem dos componentes do dispositivo de acordo com uma quarta configuração da presente invenção.

A figura 5 é uma vista superior ilustrando a montagem dos componentes do dispositivo de acordo com uma quinta configuração da presente invenção.

5 A figura 6 é uma vista superior mostrando a montagem dos componentes do dispositivo de acordo com uma sexta configuração da presente invenção.

A figura 7 é uma vista superior ilustrando a montagem dos componentes do dispositivo de acordo com uma sétima configuração da presente invenção.

10 A figura 8 é uma vista superior mostrando a montagem dos componentes do dispositivo de acordo com uma oitava configuração da presente invenção.

A figura 9 é uma vista superior ilustrando as forças atuantes nos componentes do dispositivo de acordo com uma
15 configuração preferencial da presente invenção.

DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO

As figuras 1 a 9 ilustram um dispositivo de dissipação de vibrações de acordo com configurações construtivas da presente invenção.

20 Como pode ser visto nas figuras, uma primeira concretização do dispositivo eletromagnético dissipador de vibrações em sistemas rotativos proposto compreende um elemento móvel rotativo (1), também denominado rotor ou eixo, ao menos uma fonte de campo magnético (2) como, por
25 exemplo, um ou mais ímãs permanentes, ao menos um enrolamento (4) como, por exemplo, uma ou mais bobinas. Adicionalmente, o dispositivo compreende ao menos um núcleo (3) e ao menos um circuito elétrico (5).

De acordo com a configuração preferencial da presente
30 invenção, como pode ser visto nas figuras 1a e 1b, a fonte de campo magnético (2) é fixada em um sentido longitudinal no elemento móvel rotativa (1). No núcleo (3), é enrolado o enrolamento (4) estacionário, e o núcleo (3) e o enrolamento (4) são posicionados paralelamente ao elemento móvel

rotativo (1), separados por uma distância não relevante, de modo que o campo magnético criado pela fonte de campo magnético (2) esteja em uma direção axial ao elemento móvel rotativo (1). Ou seja, a fonte de campo magnético (2) é polarizada longitudinalmente em relação ao enrolamento (4) e o núcleo (3). Ainda, o enrolamento (4) é ligado a um circuito elétrico (5).

Assim, o elemento móvel rotativo (1) se movimenta (gira), ao receber energia mecânica de uma fonte de energia como, por exemplo, um motor. Durante esta movimentação, devido a forças externas, erro de alinhamento, entre outros, o elemento móvel rotativo (1) vibra, em uma direção paralela ao eixo de movimentação da mesma, ou seja, o elemento móvel rotativo (1) apresenta vibrações laterais indesejadas.

Estas vibrações laterais movimentam a fonte de campo magnético (2), que cria um campo magnético variante no tempo no enrolamento (4) e, conseqüentemente, cria uma corrente elétrica no enrolamento (4). Esta corrente elétrica criada no enrolamento (4) cria um campo magnético de resistência na fonte de campo magnético (2), contrário ao campo criado pela fonte de campo magnético (2), que cria uma força contrária às vibrações.

O circuito elétrico (5), por sua vez, é configurado para receber a corrente elétrica criada no enrolamento (4). Neste sentido, o circuito elétrico (5) pode compreender, por exemplo, um elemento de retificação, composto por diodos e capacitores, e um sensor, alimentado pelo elemento de retificação. Outro exemplo que pode ser citado é um circuito elétrico dissipativo, de forma a dissipar a energia elétrica convertida, como, por exemplo, um circuito que dissipa tal energia em calor gerado por uma resistência. Obviamente, os exemplos de circuitos elétricos (5) aqui descritos não são limitantes.

Desse modo, as vibrações laterais são dissipadas pelo campo criado pelo enrolamento (4), e a corrente elétrica criada por esse campo pode ser aproveitada pelo circuito elétrico (5), para uma infinita gama de possibilidades.

5 Ainda, são previstas na presente invenção diversas alternativas construtivas. A figura 2 ilustra uma segunda configuração construtiva da presente invenção, em que o elemento móvel rotativo (1) compreende duas ou mais fonte de campo magnético (2', 2'', 2''') (ímãs permanentes), fixados
10 em um eixo do elemento móvel rotativo (1), em que o dispositivo de dissipação de vibrações compreende ainda o enrolamento (4) estacionário, com seu respectivo núcleo (3), ligado ao circuito elétrico (5).

De um modo distinto, a figura 3 mostra uma terceira
15 configuração construtiva da presente invenção, em que o elemento móvel rotativo (1) compreende a fonte de campo magnético (2), fixada em um eixo do elemento móvel rotativo (1), e dois ou mais enrolamentos (4', 4'', 4''') estacionários, com seus respectivos núcleos (3', 3'', 3'''),
20 a uma distância do elemento móvel rotativo (1). Os enrolamentos (4', 4'', 4''') são conectados a diferentes circuitos elétricos (5', 5'', 5''') independentes.

A figura 4 ilustra uma quarta configuração construtiva da presente invenção, em que o elemento móvel rotativo (1)
25 compreende a fonte de campo magnético (2), fixada em um eixo do elemento móvel rotativo (1), e dois ou mais enrolamentos (4', 4'', 4''') estacionários, com seus respectivos núcleos (3', 3'', 3'''), a uma distancia do elemento móvel rotativo (1). Os enrolamentos (4', 4'', 4''') são ligados em série a
30 um único circuito elétrico (5).

De forma distinta, a figura 5 mostra uma quinta configuração construtiva da presente invenção, em que o elemento móvel rotativo (1) compreende duas ou mais fontes de campo magnético (2', 2'', 2''') e dois ou mais

enrolamentos (4) estacionários, com seus respectivos núcleos (3), ligados a circuitos elétricos (5) independentes.

A figura 6 ilustra uma sexta configuração construtiva da presente invenção, em que o elemento móvel rotativo (1) compreende duas ou mais fontes de campo magnético (2', 2'', 2''') e dois ou mais enrolamentos (4) estacionários, com seus respectivos núcleos (3), ligados em série a um único circuito elétrico (5).

De forma inversa às configurações anteriores, a figura 7 mostra uma sétima configuração construtiva da presente invenção, em que o elemento móvel rotativo (1) compreende um enrolamento (4) enrolado em seu eixo, ligado a um circuito elétrico (5), e uma fonte de campo magnético (2) circundante estacionária é posicionada distante do elemento móvel rotativo (1).

Por fim, a figura 8 ilustra uma oitava configuração construtiva da presente invenção, em que o elemento móvel rotativo (1) compreende um enrolamento (4) enrolado em seu eixo, ligado a um circuito elétrico (5), e duas ou mais fontes de campo magnético (2', 2'', 2''') circundantes estacionárias são posicionadas distantes do elemento móvel rotativo (1).

De acordo com o acima exposto, e com base nas figuras do presente pedido, o princípio de funcionamento do dispositivo dissipador de vibrações pode ser descrito pelas Leis de Faraday e Lenz.

A Lei de Faraday afirma que, em um circuito fechado, a corrente elétrica induzida é proporcional à variação no tempo do fluxo magnético, na área envolvida de um circuito condutor (de maneira similar ao movimento vibratório de um ímã fixo em um eixo em relação a um enrolamento).

A Lei de Lenz, por sua vez, complementa a Lei de Faraday, enunciando que o sentido desta corrente é o oposto ao da variação do campo magnético que lhe deu origem.

Por ser baseada no princípio de conservação de energia, a Lei de Lenz também esclarece o aparecimento de forças contrárias ao movimento, as quais tornam possível a redução da vibração.

5 Assim, a figura 9, ilustra as forças atuantes no dispositivo de acordo com a configuração preferencial da presente invenção, em que o eixo de transmissão de potência do elemento móvel rotativo (1) gira em uma direção de rotação (6), criando vibrações laterais em uma direção de
10 vibração (7). A fonte de campo magnético (2), por sua vez, possui uma direção de campo magnético (8), que cria uma corrente elétrica no enrolamento (4) em uma direção de corrente elétrica (9).

Obviamente, cada força compreende uma força contrária
15 e, deste modo, a corrente elétrica no enrolamento (4) cria uma força magnética na mesma direção de campo magnético (8) (porém em sentido contrário), criando assim uma força na mesma direção da direção de vibração (7) das vibrações laterais (porém em sentido contrário), atenuando ou
20 eliminando totalmente tais vibrações em uma direção paralela à direção de rotação (6) do eixo de transmissão de potência, sem influenciar na potência transmitida.

Deste modo, é previsto genericamente duas configurações de acordo com a presente invenção.

25 A primeira prevê ao menos um elemento móvel rotativo (1), que compreende um eixo de transmissão de potência que possui uma direção de rotação, ao menos uma fonte de campo magnético (2), fixada no eixo de transmissão de potência do elemento móvel rotativo (1), em que a fonte de campo
30 magnético (2) é polarizada axialmente em relação a ao menos um enrolamento (4), enrolados em respectivos núcleos (3), separados do elemento móvel rotativo (1).

A segunda configuração genérica prevê ao menos um elemento móvel rotativo (1), que compreende um eixo de

transmissão de potência que possui uma direção de rotação, ao menos um enrolamento (4) enrolado no eixo de transmissão de potência do elemento móvel rotativo (1), e ao menos uma fonte de campo magnético (2) polarizada axialmente em relação ao enrolamento (4), separada do elemento móvel rotativo (1).

Em ambas as configurações, a fonte de campo magnético (2) é configurada de modo a criar um campo magnético resistivo na direção das vibrações do eixo de transmissão de potência, ou seja, em uma direção distinta da direção de rotação do eixo de transmissão de potência, atenuando tais vibrações sem acarretar em atenuações na potência do eixo de transmissão de potência.

Assim, o foco da presente invenção é sua aplicação em eixos transmitindo potência, que apresenta a vantagem de não acarretar em torque resistivo no sentido de rotação do eixo durante a conversão de energia vibratória em energia elétrica.

Para tanto, a configuração proposta pela presente invenção, ou seja, a orientação das bobinas em relação aos ímãs e orientação da polaridade dos ímãs, é fundamental para que tal dispositivo seja funcional para tal aplicação, de maneira oposta às soluções previamente apresentadas no estado da técnica.

Embora a invenção tenha sido amplamente descrita, é óbvio para aqueles versados na técnica que várias alterações e modificações podem ser feitas sem que as referidas alterações não estejam cobertas pelo escopo da invenção.

REIVINDICAÇÕES

1. Dispositivo eletromagnético dissipador de vibrações para sistemas rotativos, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o elemento rotativo compreende um elemento móvel rotativo (1), que compreende um eixo de transmissão de potência que possui uma direção de rotação, ao menos uma fonte de campo magnético (2) fixada no eixo de transmissão de potência do elemento móvel rotativo (1), ao menos um núcleo (3) em que é enrolado um enrolamento (4) conectado a ao menos um circuito elétrico (5), o núcleo (3), o enrolamento (4) e o circuito elétrico (5) sendo separados do elemento móvel rotativo (1), em que a fonte de campo magnético (2) é polarizada axialmente em relação ao enrolamento (4), sendo configurada de modo a criar um campo magnético em uma direção paralela à direção de rotação do eixo de transmissão de potência do elemento móvel rotativo (1).

2. Dispositivo eletromagnético dissipador de vibrações, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o campo magnético em uma direção paralela à direção de rotação do eixo de transmissão de potência do elemento móvel rotativo (1) cria uma corrente elétrica no enrolamento (4).

3. Dispositivo eletromagnético dissipador de vibrações, de acordo com a reivindicação 2, **CARACTERIZADO** pelo fato de que a corrente elétrica criada no enrolamento (4) é utilizada pelo circuito elétrico (5).

4. Dispositivo eletromagnético dissipador de vibrações, de acordo com qualquer uma das reivindicações de 1 a 3, **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende duas ou mais fontes de campo magnético (2).

5. Dispositivo eletromagnético dissipador de vibrações, de acordo com qualquer uma das reivindicações de

1 a 4, **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende dois ou mais enrolamentos (4) enrolados em respectivos núcleos (3).

6. Dispositivo eletromagnético dissipador de vibrações, de acordo com a reivindicação 5, **CARACTERIZADO** pelo fato de que cada enrolamento (4) é conectado a um circuito elétrico (5) distinto.

7. Dispositivo eletromagnético dissipador de vibrações, de acordo com a reivindicação 5, **CARACTERIZADO** pelo fato de que todos os enrolamento (4) são conectados a um único circuito elétrico (5).

8. Dispositivo eletromagnético dissipador de vibrações para sistemas rotativos, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o elemento rotativo compreende um elemento móvel rotativo (1), que compreende um eixo de transmissão de potência que possui uma direção de rotação, ao menos um enrolamento (4) enrolado no eixo de transmissão de potência do elemento móvel rotativo (1) e conectado a ao menos um circuito elétrico (5), ao menos uma fonte de campo magnético (2) separada do elemento móvel rotativo (1), em que a fonte de campo magnético (2) é polarizada axialmente em relação ao enrolamento (4), sendo configurada de modo a criar um campo magnético em uma direção paralela à direção de rotação do eixo de transmissão de potência do elemento móvel rotativo (1).

9. Dispositivo eletromagnético dissipador de vibrações, de acordo com a reivindicação 8, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o campo magnético em uma direção paralela à direção de rotação do eixo de transmissão de potência do elemento móvel rotativo (1) cria uma corrente elétrica no enrolamento (4).

10. Dispositivo eletromagnético dissipador de vibrações, de acordo com a reivindicação 9, **CARACTERIZADO** pelo fato de que a corrente elétrica criada no enrolamento (4) é utilizada pelo circuito elétrico (5).

11. Dispositivo eletromagnético dissipador de vibrações, de acordo com qualquer uma das reivindicações de 8 a 10, **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende duas ou mais fontes de campo magnético (2).

5 12. Dispositivo eletromagnético dissipador de vibrações, de acordo com qualquer uma das reivindicações de 8 a 11, **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende dois ou mais enrolamentos (4).

10 13. Dispositivo eletromagnético dissipador de vibrações, de acordo com a reivindicação 12, **CARACTERIZADO** pelo fato de que cada enrolamento (4) é conectado a um circuito elétrico (5) distinto.

15 14. Dispositivo eletromagnético dissipador de vibrações, de acordo com a reivindicação 12, **CARACTERIZADO** pelo fato de que todos os enrolamentos (4) são conectados a um único circuito elétrico (5).

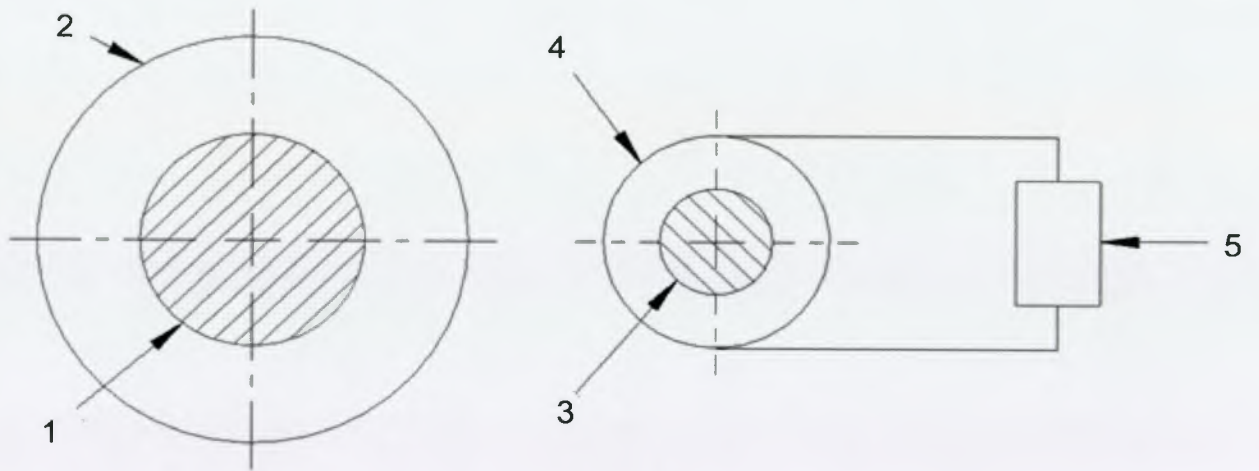


Fig. 1a

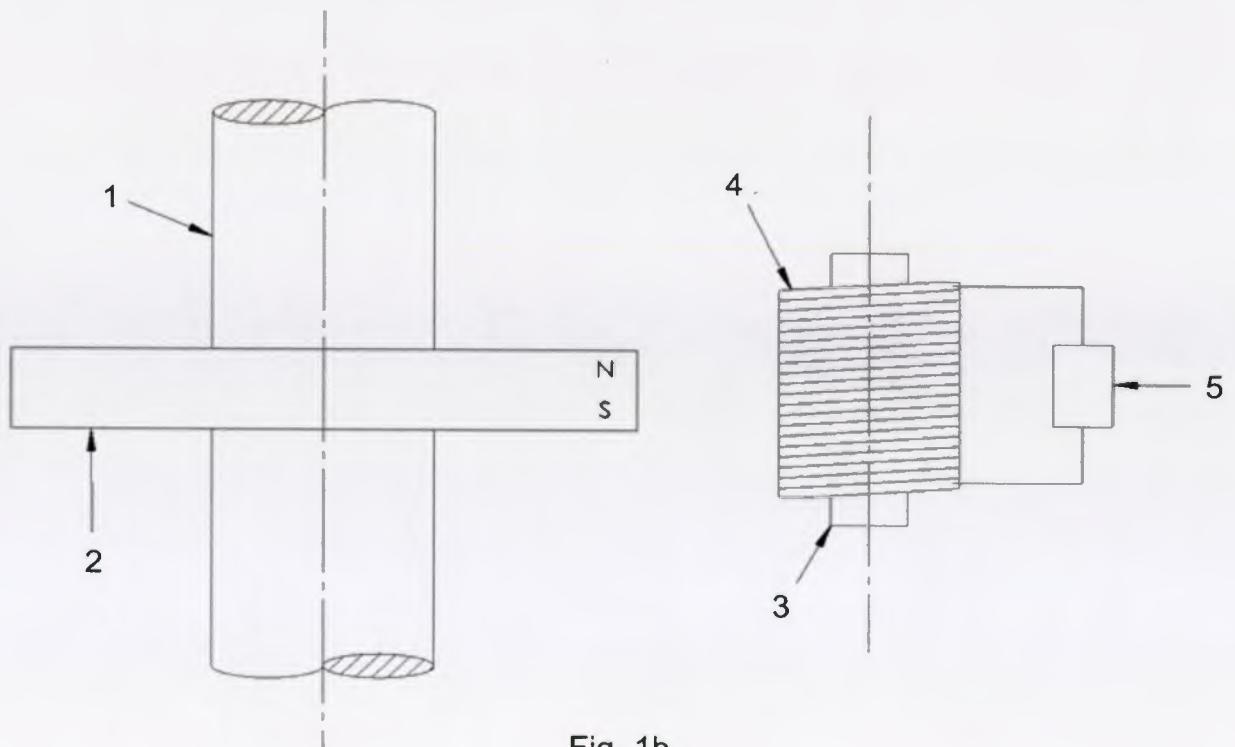
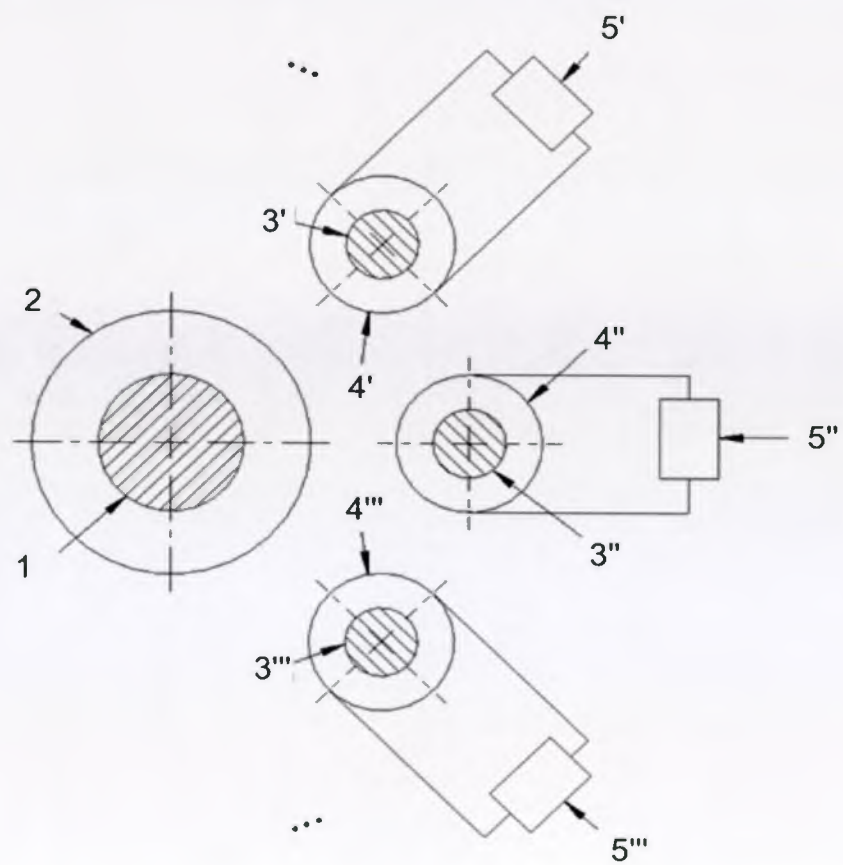
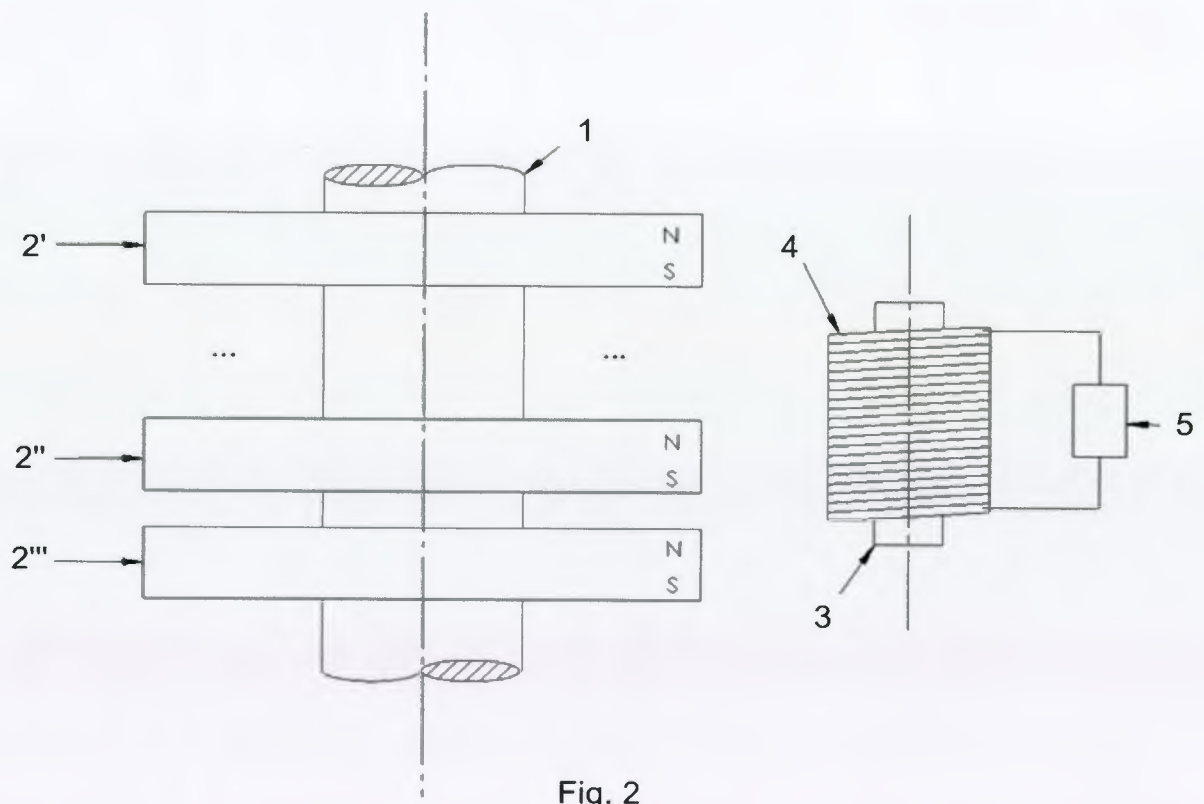


Fig. 1b



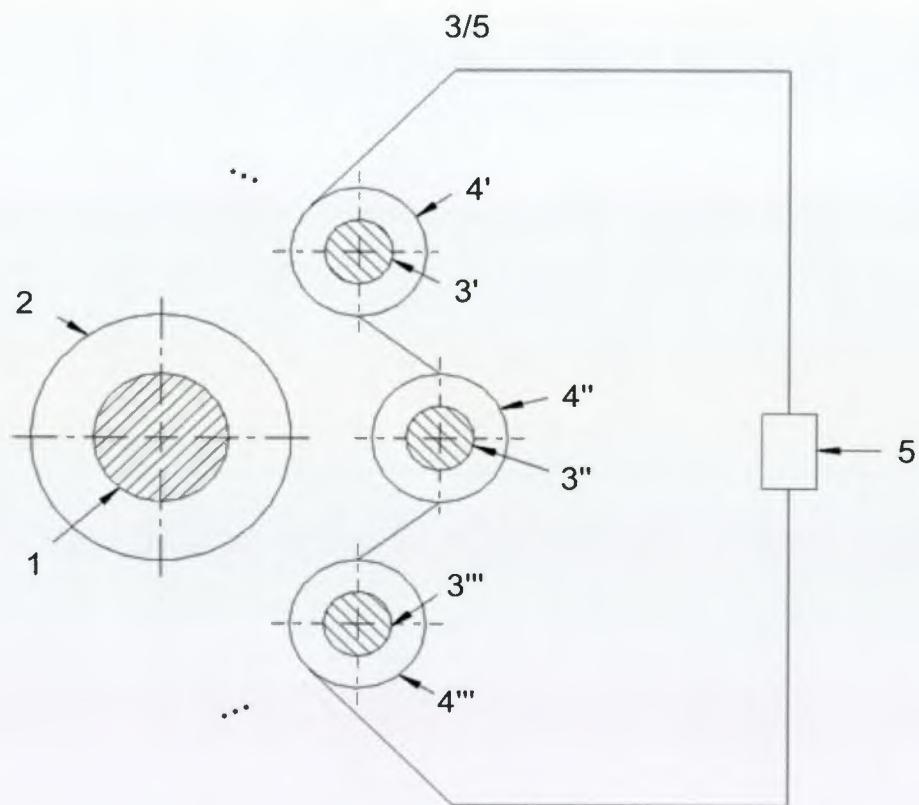


Fig. 4

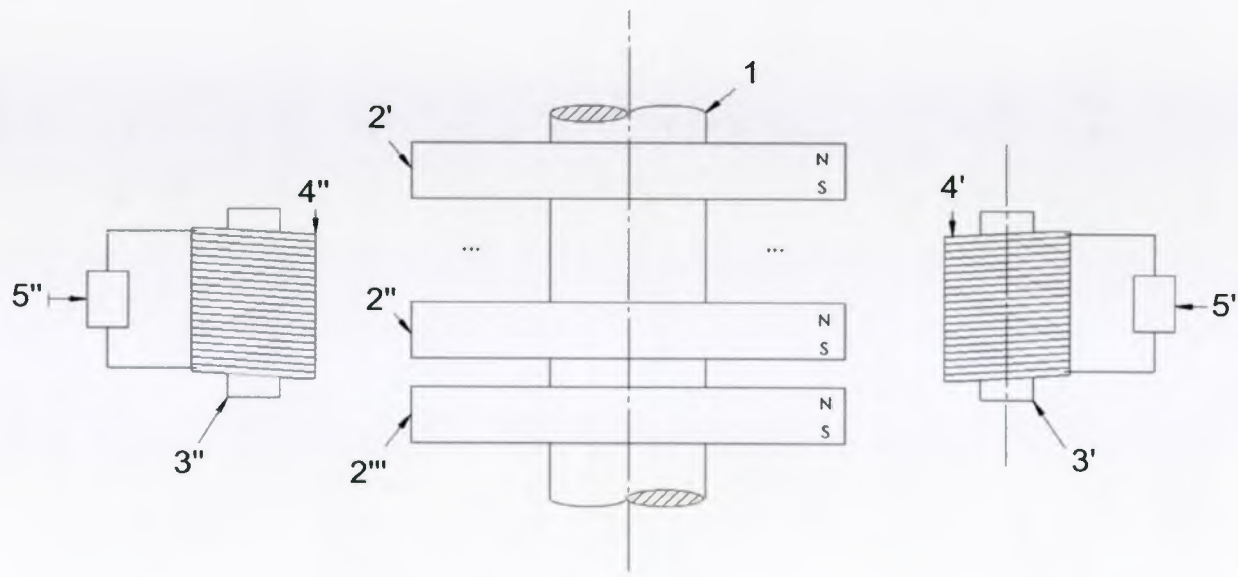


Fig. 5

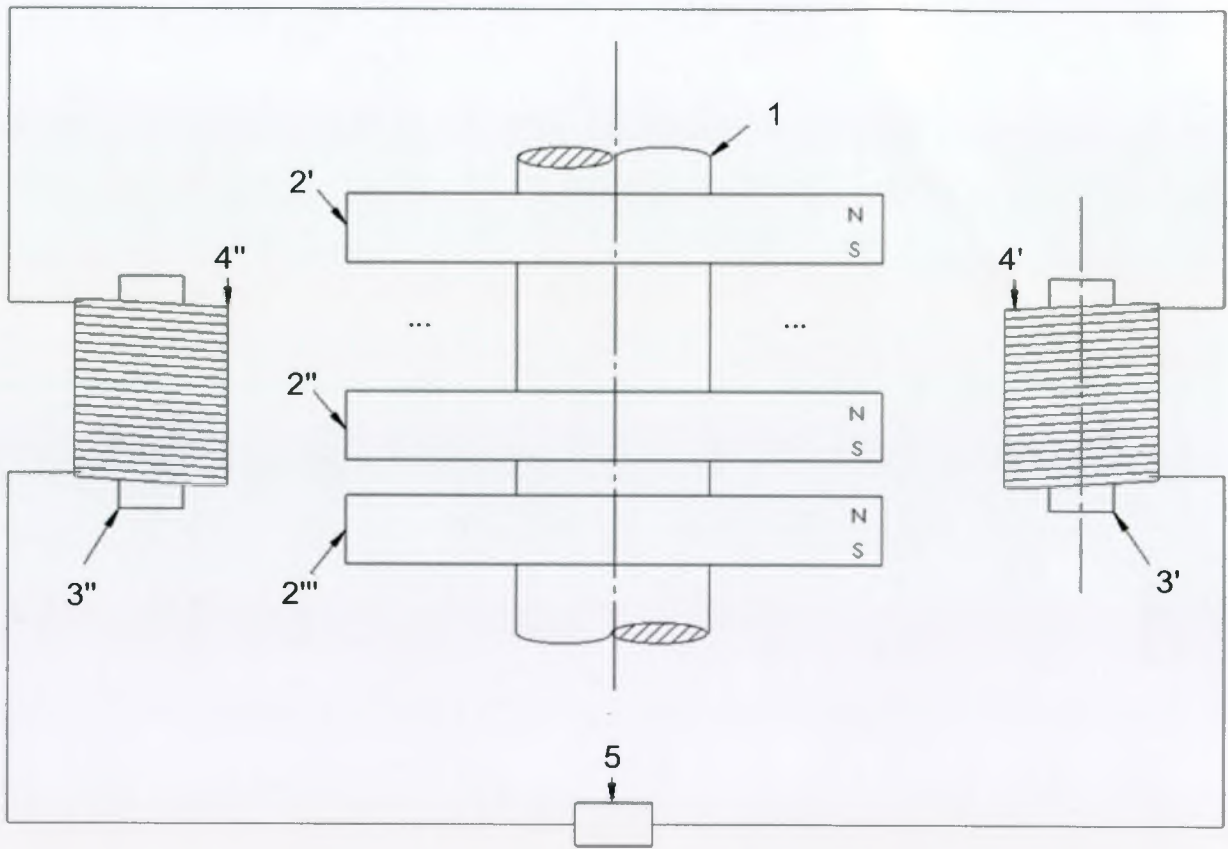


Fig. 6

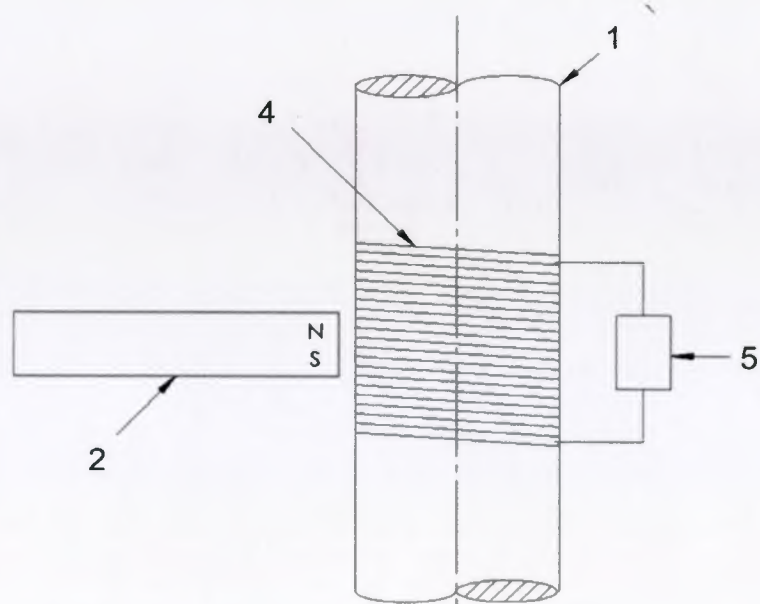


Fig. 7

