



IP
Assinado
Digitalmente

REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
MINISTÉRIO DA ECONOMIA
INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL

CARTA PATENTE Nº PI 1008430-4

O INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL concede a presente PATENTE DE INVENÇÃO, que outorga ao seu titular a propriedade da invenção caracterizada neste título, em todo o território nacional, garantindo os direitos dela decorrentes, previstos na legislação em vigor.

(21) Número do Depósito: PI 1008430-4

(22) Data do Depósito: 12/02/2010

(43) Data da Publicação Nacional: 01/03/2016

(51) Classificação Internacional: H02K 21/24; H02K 1/28; H02K 1/18.

(30) Prioridade Unionista: GB 09 02393.8 de 13/02/2009.

(54) Título: MÁQUINA ELÉTRICA MODULAR E VEÍCULO COMPREENDENDO UMA MÁQUINA ELÉTRICA

(73) Titular: OXFORD UNIVERSITY INNOVATION LIMITED, Pessoa Jurídica. Endereço: Buxton Court, 3 West Way, Botley, Oxford OX2 0JB, REINO UNIDO(GB), Britânica

(72) Inventor: NICHOLAS CARPENTER; SIMON DOWSON; TIM WOOLMER; CHEE YEOW LEONG; WILLIAM TREHARNE; MALCOLM MCCULLOCH.

(87) Publicação PCT: WO 2010/092402 de 19/08/2010

Prazo de Validade: 20 (vinte) anos contados a partir de 12/02/2010, observadas as condições legais

Expedida em: 29/10/2019

Assinado digitalmente por:
Liane Elizabeth Caldeira Lage
Diretora de Patentes, Programas de Computador e Topografias de Circuitos Integrados

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para **"MÁQUINA ELÉTRICA MODULAR E VEÍCULO COMPREENDENDO UMA MÁQUINA ELÉTRICA "**.

[001] A presente invenção refere-se a uma máquina elétrica de magneto permanente compreendendo um estator e um rotor articulados para rotação no estator. O estator é provido com espiras enroladas e o rotor é provido com magnetos permanentes para cooperarem com as espiras através de uma caixa de ar entre o rotor e estator. A máquina pode ser ou um motor ou um gerador e é, em muitas modalidades, uma máquina de fluxo axial. Em particular ela refere-se a uma máquina de armadura sem forquilha e segmentada (daqui por diante referida como máquina Y).

Antecedentes

[002] Woolmer e McCulloch [1] descrevem a topologia de uma máquina Y, discutindo suas vantagens de ferro reduzido no estator capacitando um aperfeiçoamento na densidade de torque. Ela compreende uma série de espiras enroladas ao redor de barras espaçadas circunferencialmente ao redor do estator, idealmente axialmente dispostas, (isto é, paralelas ao eixo de rotação do rotor). O rotor tem dois estágios compreendendo discos providos com magnetos permanentes que fazem qualquer extremidade de cada espira do estator. A trajetória magnética em qualquer estágio de operação é:

[003] através de uma primeira espira em um primeiro magneto em um primeiro estágio do rotor;

[004] através de um contraferro do rotor a um adjacente segundo magneto no primeiro estágio;

[005] através de uma segunda espira do estator adjacente à primeira espira;

[006] em um primeiro magneto no segundo estágio do rotor alinhado com o segundo magneto no primeiro estágio;

[007] através do contraferro do segundo estágio a um segundo magneto no segundo estágio e alinhado com o primeiro magneto no primeiro estágio; e

[008] completando o circuito através da primeira espira.

[009] Uma dificuldade com máquinas elétricas geralmente é proporcionar resfriamento adequado. Este é um problema particular com uma máquina Y tendo uma alta densidade de torque que calor significativo é gerado nas espiras a altos torques e é frequentemente um fator limitante nos torques que podem ser empregados, pelo menos por períodos prolongados de tempo.

[0010] Outra dificuldade com máquinas elétricas geralmente é ondulação do torque causada por desgaste. Novamente, este é um problema particular com uma máquina Y, visto que as espiras distintas não se sobrepõem e, de fato, contam com separação magnética, não somente entre espiras adjacentes no estator, mas também entre magnetos adjacentes no rotor. Claramente, este problema é reduzido a alguma extensão pela provisão de números diferentes de magnetos permanentes no rotor versus espiras no estator, mas visto que magnetos são alinhados entre si conforme o "desbastamento" entre magnetos adjacentes que engatam com o "desbastamento" correspondente entre espiras adjacentes, existe uma ondulação de torque inevitável.

[0011] A conexão magnética entre as espiras e os magnetos permanentes depende de um forte campo magnético sendo desenvolvido através das espiras, ou pelos magnetos no caso de um gerador, ou pelas próprias espiras no caso de um motor, e a permeabilidade do circuito magnético deve ser tão baixa quanto possível para permitir a densidade de fluxo máxima através das espiras. Para esta proposta, um alto núcleo ou barra de permeabilidade é provido ao redor do qual as espiras são enroladas. Contudo, a barra é preferivelmente laminada ou, de outro modo, disposta para reduzir a incidência de correntes inativas na barra. Também, as barras são preferivelmente providas com

sapatas para difundir o fluxo na caixa de ar e reduzir a densidade de fluxo na mesma – a caixa de ar é de alta relutância e aumentando-se sua área reduz-se aquela relutância, que significa que menos material de magneto permanente pode ser usado. É, desejável reduzir a quantidade de tal material a um mínimo.

[0012] WO-A-2006/066740 revela uma máquina Y compreendendo um alojamento tendo uma luva cilíndrica montando espiras de estator internamente, a luva sendo vazada, pelo que meio de resfriamento é circulado. Contudo, as espiras são embutidas em um material termicamente condutivo para conduzir calor ao alojamento do estator. Um rotor é rotativamente articulado no alojamento. As barras do estator parecem ser laminadas, visto que elas estão em GB-A-2379093 que também revela uma máquina Y, como em WO-A-03/094327.

[0013] US-A-6720688 revela uma máquina Y em que o rotor age como uma bomba de ventoinha para circular fluido dentro de uma câmara definida por um alojamento do estator através do qual um eixo de rotor, suportado nos mancais no alojamento e conduzindo o rotor, se estende. O fluido resfria as espiras do estator. US-A-2005/0035676 revela outra máquina Y, particularmente adaptada para acionamento sem engrenagem de uma roda de veículo.

[0014] US-A-2007/0046124 revela uma máquina Y em que o rotor tem séries ordenadas circunferencialmente de segmentos alternantes de magnetos permanentes e peças de pólo ferromagnéticas.

Breve Sumário da Descrição

[0015] De acordo com a presente invenção, é provida uma máquina elétrica desprovida de eixo compreendendo um estator e um rotor montados para rotação sobre um eixo de rotor com relação ao estator, magnetos permanentes sendo conduzidos pelo rotor, uma descarga no rotor, o estator compreendendo espiras enroladas em barras do estator para interação com os magnetos do rotor, o rotor tendo dois estágios dispostos um em qualquer extremidade das barras do estator, com du-

as caixas de ar entre as extremidades das barras e os estágios do rotor, um alojamento anular retendo e montando o estator; um mancal entre o rotor e estator, o rotor sendo vazado ao redor de referido eixo de rotor, referida descarga compreendendo um flange conectável ao rotor para transmissão. O rotor não é, desse modo, de outro modo, suportado em ou no alojamento. Sendo sem eixo significa que qualquer componente a ser rotativamente acionado pela (ou proporciona acionamento rotativo a) máquina pode ser conectado ao flange. Este componente pode compreender um eixo, mas, preferivelmente, compreende um componente que pode ser disposto dentro dos limites do rotor para economizar espaço. Alternativamente, ele pode compreender um alojamento de junta universal ou alojamento de aranha para proporcionar acionamento angularmente variável a partir de um eixo. Ele pode compreender o flange de outra máquina para dobrar a energia de descarga disponível.

[0016] Em uma modalidade exemplar, existem pelo menos duas trajetórias de fluxo magnético significantes do motor: uma primeira passagem através de uma primeira barra do estator, através de uma primeira das caixas de ar, através de um primeiro magneto em um primeiro estágio do rotor em um contraferro do primeiro estágio, em um adjacente segundo magneto, através da primeira caixa de ar em uma segunda barra do estator adjacente à primeira, através da segunda caixa de ar, através de um terceiro magneto no segundo estágio do rotor em um contraferro do segundo estágio, em um adjacente quarto magneto, através da segunda caixa de ar e de volta na primeira barra do estator; e uma segunda trajetória passando através da primeira barra do estator, através da primeira caixa de ar e através do primeiro magneto no primeiro estágio e no contraferro do primeiro estágio, através do primeiro estágio no segundo estágio do rotor ao redor de referido mancal no contraferro do segundo estágio, no quarto magneto, através da segunda caixa de ar e de volta na primeira barra do estator.

[0017] Esta trajetória de fluxo é possível se o rotor é diretamente montado através de referido mancal dentro do estator, e em um diâmetro suficientemente grande que a segunda trajetória de fluxo é suficientemente curta de modo que a relutância do circuito magnético total para as espiras e magnetos é reduzida. A montagem do rotor, desse modo, também encurta o cantilever entre o mancal que localiza o rotor e os magnetos que acionam o rotor através de sua interação com as espiras do estator (ou são reagidos pelas espiras do estator no caso de um gerador).

[0018] Contudo, em outra modalidade:

[0019] as espiras do estator são espaçadas ao redor do eixo de rotor e referidos estágios do rotor se aproximam do eixo de rotor não mais próximos do que um primeiro raio do estator (R1) do estator; e

[0020] o mancal compreende elementos de rolamento que rolam em uma superfície do rotor que não é mais próxima ao eixo de rotor do que um segundo raio do rotor (r), cujo raio do rotor está entre 60% e 90% do raio do estator.

[0021] Com tal diâmetro grande do mancal do rotor, e um rotor vazado, várias vantagens aparecem, começando da capacidade do rotor ser relativamente fortalecido, pelo que as caixas de ar podem ser pequenas sem risco de contato. Alternativamente, a massa do rotor pode ser reduzida, conduzindo a eficiência e economia de custo.

[0022] Preferivelmente, a superfície do rotor na qual os elementos de rolamento rolam é uma superfície integral do flange do rotor. Referida superfície integral do flange do rotor é preferivelmente endurecida e pode ser frustocônica, referidos elementos de rolamento então sendo agulhas. O raio do rotor é, neste caso, a separação mínima das agulhas de referido eixo de rotor.

[0023] As espiras do estator podem ter uma extensão radial (C1) tal que o círculo menor que encerra as espiras do estator tem um raio de espira (R2) onde o raio do estator (R1) está entre 50% e 80% do

raio de espira (R2). As espiras podem ter uma extensão circunferencial (C2) que está entre 50% e 150% da extensão radial ($C1 = R2 - R1$).

[0024] Preferivelmente, a carga total entre a descarga e o alojamento anular é transmitida através do mancal entre o estator e rotor, pelo que nenhuma outra montagem do rotor ou sua descarga com relação ao alojamento do estator é provida. Isto tem a vantagem que a forma de descarga pode ser mudada de sistema para sistema sem distúrbio do arranjo fundamental do rotor, estator e alojamento do estator. Enquanto o termo "descarga" aqui usado é apropriado para um motor, onde a descarga é empregada para acionar uma carga, ele é inapropriado para um gerador, e deve neste contexto ser compreendido como uma admissão.

[0025] Preferivelmente, as barras são axialmente alinhadas com o eixo de rotação do rotor, o mancal estando entre dois planos radiais que intersectam referidas caixas de ar. Preferivelmente, referidas interseções são radiais.

[0026] Preferivelmente, o mancal está entre dois planos radiais que intersectam as espiras, barras ou sapatas do estator.

[0027] Preferivelmente, as barras e espiras nestas são encerradas por um alojamento do estator que se estende entre as caixas de ar e definem uma câmara incorporando meio de resfriamento para resfriar as espiras.

[0028] Referido alojamento do estator pode compreender duas placas anulares e duas paredes cilíndricas, as placas anulares incluindo recessos para localizar as barras dentro da câmara. Preferivelmente, o material do alojamento do estator é não magnético e não condutivo. Contudo, no caso das placas anulares separadas e paredes cilíndricas, referidas paredes cilíndricas são preferivelmente alumínio e referidas placas anulares são materiais plásticos. Preferivelmente, referidas placas anulares são delgadas nas extremidades da barra para minimizar a folga entre as barras e os magnetos no rotor. Preferivelmen-

te, referidas paredes cilíndricas são uma parede interna e externa, referida parede externa tendo meios para montar a máquina e referida parede interna montando referido mancal.

[0029] Preferivelmente, os estágios do rotor cada um compreende uma placa anular, cujos aros externos montam referidos magnetos permanentes e cujos aros internos são conectados juntos encerrando referidos mancais. Os estágios do rotor são em forma de placa para aumentar sua rigidez em um plano radial (isto é, um plano perpendicular ao eixo de rotação do rotor e também, preferivelmente, perpendicular às barras do estator).

[0030] Preferivelmente, as barras e espiras nestas são encerradas por um alojamento do estator que se estende entre as caixas de ar e define uma câmara incorporando meio de resfriamento para resfriar as espiras. O alojamento do estator pode incluir orifícios para suprimento e drenagem de referido meio de resfriamento. Preferivelmente, o alojamento do estator compreende duas placas anulares e duas paredes cilíndricas, as placas anulares incluindo recessos para localizar as barras dentro da câmara.

[0031] O material do alojamento do estator pode ser não magnético e eletricamente não condutivo. De fato, ele pode ser isolante ao calor, em cujo caso o alojamento do estator preferivelmente isola os magnetos do calor gerado nas referidas espiras.

[0032] Contudo, o alojamento do estator é preferivelmente Delgado nas extremidades da barra para minimizar a folga entre as barras e os magnetos no rotor.

[0033] Referidas paredes cilíndricas podem ser de alumínio e referidas placas anulares são de materiais plásticos. Elas podem ser uma parede interna e externa, referida parede externa compreendendo referido alojamento anular e tendo meios para montar a máquina e referida parede interna montando referido mancal.

[0034] Preferivelmente, referido alojamento do estator inclui orifí-

cios para suprimento e drenagem de referido meio de resfriamento. O fluido de resfriamento pode ser bombeado através da máquina através de uma admissão perto do fundo da máquina, e para fora de uma descarga perto do topo. Contudo, a admissão e descarga podem também serem adjacentes entre si. O fluido pode escoar ao redor dos raios externo e interno das espiras, algum fluido também escoando entre as espiras. Preferivelmente, o fluido de resfriamento escoar para trás e para frente entre o raio externo e interno em ocasiões plurais por razão de blocos dispostos entre as espiras e os alojamentos do estator, pelo que o fluido é forçado entre as espiras. Ele pode existir entre duas e oito transições do fluxo de fluido entre as espiras. O fluxo de resfriamento pode alternativamente ser dividido, com algum escoando ao redor do diâmetro interno das espiras a partir da admissão, e o restante escoando no diâmetro externo na direção oposta, algum fluido escoando também entre as espiras. Trajetórias de fluxo diferentes podem, naturalmente, serem dispostas.

[0035] Preferivelmente, os estágios do rotor cada um compreende uma placa anular, cujos aros externos montam referidos magnetos permanentes e cujos aros internos são conectados juntos encerrando referido mancal. Cada referido aro interno pode compreender um flange cilíndrico com uma interface para interengatamento mútuo. Um espaçador pode ser provido entre os flanges cilíndricos para ajustar a pré-carga no mancal.

[0036] Os flanges cilíndricos podem incluir saliências dispostas paralelas ao referido eixo de rotor para receber prendedores para prender referidos estágios do rotor juntos.

[0037] A descarga da máquina pode compreender um disco e um cubo. O cubo pode incluir qualquer forma de acionamento conveniente tal como cubo de velocidade constante, ou meramente um eixo estriado. Para algumas aplicações uma taça trípode pode ser provida. Convenientemente, o disco é conectável por referidos prendedores às refe-

ridas saliências do rotor. Preferivelmente, o mancal compreende dois mancais, em um qualquer lado de um flange no estator, pelo que a localização axial dos estágios do rotor com relação ao estator é determinada.

[0038] Referidos alojamentos anulares podem ter interfaces axiais que capacitam pelo menos duas tais máquinas a serem conectadas juntas, compartilhando um eixo de rotor comum. Os rotores das máquinas conectadas podem ser interligados por prendedores que passam através das saliências de rotores adjacentes, um espaçador sendo disposto entre eles. Isto capacita que máquinas com maior capacidade de torque sejam providas.

[0039] As extremidades expostas da máquina são preferivelmente fechadas por tampas ajustadas no alojamento anular, pelo menos uma tendo uma abertura central através da qual referida descarga é adaptada para se estender.

[0040] Onde a máquina é um motor, preferivelmente pelo menos dois dos motores são conectados lado a lado, pelo menos dois dos quais têm rotores independentes, cada um provido com sua própria descarga. Neste caso, cada tampa é provida com referida abertura central através da qual as duas descargas se estendem. De fato, um aspecto da presente invenção proporciona um veículo compreendendo um motor definido acima, tendo um eixo de acionamento de cada descarga em rodas em diferentes lados do veículo. Neste caso, provido que os rotores são independentes, nenhum diferencial é requerido.

[0041] Em outra modalidade, é provida uma máquina elétrica compreendendo um rotor tendo magnetos permanentes e um estator tendo espiras enroladas nas barras do estator para interação com os magnetos através de uma caixa de ar definida entre eles, pelo que o rotor tem dois estágios dispostos um em qualquer extremidade das barras e no qual as barras têm uma sapata em cada extremidade de cada barra que articula fluxo magnético através das barras com referidos magne-

tos em cada estágio, e no qual sapatas adjacentes que faceiam o mesmo estágio do rotor têm uma folga de sapata de alta relutância entre elas, e magnetos adjacentes em cada estágio do rotor têm uma folga de magneto de alta relutância entre eles, no qual a sapata e folgas do magneto são anguladas com relação entre si tal que elas engatam progressivamente à medida que o rotor gira.

[0042] Preferivelmente, a sapata em um lado de cada espira que faceia um primeiro de referidos dois estágios é inclinada com relação à sapata no outro lado da respectiva espira que faceia o segundo de referidos dois estágios, e referidas folgas de sapata entre sapatas adjacentes em quaisquer extremidades das barras que as conduzem cruzam a folga do magneto em posições rotacionais diferentes do rotor com relação ao estator.

[0043] Desse modo, embora a espira em uma dada barra e o par de magneto nos estágios do rotor sejam alinhados, a espira em uma extremidade começa a engatar o primeiro magneto do par antes do outro magneto. Preferivelmente, a inclinação é tal que não existe alinhamento na direção do fluxo magnético das folgas de alta relutância em cada extremidade de cada barra.

[0044] Preferivelmente, quando vistas em uma direção axial com relação ao eixo de rotação do rotor, referidas sapatas são de quatro lados, com lados internos e externos sendo arcos ou tangentes de círculos centrados no referido eixo de rotação e referidos outros lados sendo uma borda de condução e borda de reboque da sapata, no qual referidas bordas de condução e de reboque são cordas de um de referidos círculos, cada raio daquele círculo que intersecta cada corda e aquele círculo que produz o mesmo ângulo com a respectiva corda.

[0045] Em ainda outra modalidade é provida uma máquina elétrica de fluxo axial compreendendo um rotor tendo magnetos permanentes espaçados circunferencialmente nos primeiro e segundo estágios do rotor e um estator dispostos entre referidos estágios e tendo espiras

enroladas em barras do estator do estator para interação magnética com os magnetos através de uma caixa de ar definida entre o rotor e estator, no qual as barras têm uma sapata em cada extremidade de cada barra que articula fluxo magnético através das barras com referido magnetos em cada estágio, e no qual o estator é uma moldagem de pelo menos dois componentes anulares, cada compreendendo um anel de sapatas conectadas e um incluindo algumas ou todas as barras ou partes das mesmas e a outra compreendendo quaisquer barras remanescentes ou partes delas, referidas espiras sendo dispostas nas barras antes dos componentes anulares serem conectados juntos para completar construção de referido estator.

[0046] Preferivelmente, os componentes anulares são idênticos. Preferivelmente, cada um compreende metade de cada barra e é provido com interfaces adaptadas para facilitar conexão.

[0047] Preferivelmente, referida interface compreende uma espiga e soquete, no qual a espiga em cada barra de um componente engata o soquete de uma barra de faceamento no outro componente.

[0048] Preferivelmente, folgas de alta relutância são providas entre cada sapata de cada componente, referida folga compreendendo um adelgaçamento da espessura do componente anular entre referidas barras.

[0049] Em uma ainda modalidade adicional, é provida uma máquina elétrica compreendendo um rotor tendo magnetos permanentes e um estator tendo espiras enroladas nas barras do estator para interação com os magnetos através de uma caixa de ar definida entre elas, no qual as barras têm sapatas que articulam fluxo magnético através das barras com referidos magnetos, e no qual as barras e sapatas são formadas separadamente entre si e pelo menos uma parte de cada é formada por moldagem de partículas de ferro macio de modo que as partículas têm uma curta dimensão que é disposta transversal a um plano de relutância, e as barras e sapatas são montadas de modo que

referido plano de relutância da barra é paralelo a um eixo longitudinal da barra e referido plano de relutância da sapata é transversal ao referido eixo longitudinal.

[0050] O alinhamento da curta dimensão das partículas transversais a referidos planos de relutância resulta em cada plano de relutância tendo uma relutância mínima. Preferivelmente, referidas partículas de pelo menos as barras têm uma dimensão longitudinal simples e referidas partículas são também alinhadas de modo que sua dimensão longitudinal é paralela a uma direção de relutância no referido plano de relutância, referida direção de relutância das barras sendo paralela a referido eixo longitudinal da barra. Se as partículas das sapatas têm uma dimensão longitudinal simples, preferivelmente referida direção de relutância é radial com relação à referido eixo longitudinal quando as barras e sapatas são montadas.

[0051] Referida moldagem de referidas partículas de ferro macio pode ser por prensagem de partículas de ferro macio redondas em uma direção transversal a referido plano de relutância, pelo que as partículas são achatadas para produzir referida curta dimensão. Alternativamente, referida moldagem pode ser de partículas já achatadas, ou de partículas alongadas. As partículas alongadas podem ser alinhadas antes da moldagem pelo uso de um campo magnético. A moldagem inclui formação.

[0052] Preferivelmente, o rotor tem dois estágios dispostos um em qualquer uma das extremidades das barras e sapatas são providas em cada extremidade de cada barra. Preferivelmente, a máquina elétrica é uma máquina de fluxo axial e as barras são dispostas paralelas ao eixo de rotação do rotor.

[0053] As barras podem incluir uma folha laminada de material ferromagnético cujo eixo do rolo é disposto paralelo a referido eixo longitudinal. A própria folha é preferivelmente laminada na produção em uma direção paralela a ser rolo nas barras, pelo que os grãos do mate-

rial são orientados na direção eventual de fluxo, isto é, paralela a referido eixo longitudinal. Referido rolo pode ser disposto ao redor de um núcleo de partícula prensada em forma de ferro macio, pelo que a seção transversal da barra perpendicular a referido eixo longitudinal é substancialmente trapezoidal. Alternativamente, referido rolo pode ser o núcleo de um anular moldado de partículas de ferro macio prensadas, pelo que a seção transversal da barra perpendicular a referido eixo longitudinal é substancialmente trapezoidal.

[0054] De acordo com outros aspectos da presente invenção, são providas máquinas elétricas que incorporam algum ou todos os aspectos precedentes (onde eles não são mutuamente exclusivos), tais combinações sendo evidentes ao técnico no assunto. Onde a seguinte descrição de modalidades específicas pode incluir ou excluir aspectos diferentes acima mencionados, esta não é para ser compreendida como sendo significativa.

Breve Descrição dos Desenhos

[0055] As modalidades da invenção são adicionalmente descritas daqui por diante com referência aos desenhos acompanhantes, em que:

[0056] A Figura 1 é uma vista lateral esquemática de uma máquina de armadura sem forquilha e segmentada a qual a presente invenção principalmente (mas não exclusivamente) se relaciona;

[0057] A Figura 2 é uma vista em perspectiva dos arranjos da Figura 1;

[0058] A Figura 3 é uma vista em perspectiva explodida de um alojamento do estator e estator de uma máquina elétrica;

[0059] A Figura 4 é uma vista em perspectiva explodida de um estator de uma máquina elétrica;

[0060] As Figuras 5a, b e c são respectivamente vista terminal, um corte na linha B-B na Figura 5a, e uma vista em perspectiva de um estator de uma máquina elétrica;

[0061] As Figuras 6a, b c e d são respectivamente uma vista em perspectiva explodida de uma barra do estator e sapatas de uma modalidade de uma máquina elétrica, uma vista terminal de outra modalidade de barra, uma vista terminal de uma modalidade adicional de barra, ambos de uma modalidade de uma máquina elétrica, e uma vista em perspectiva de uma barra composta do estator e trajetórias de fluxo resultantes;

[0062] As Figuras 7, 8 e 9 são respectivamente uma vista em perspectiva em corte, uma parte e uma seção (ambas das últimas vistas sendo em plano cortado da Figura 7) de uma máquina elétrica de acordo com um aspecto da presente invenção;

[0063] As Figuras 10 e 11a são respectivamente uma seção e uma parte nas linhas 10-10 e 11-11 respectivamente na Figura 9;

[0064] A Figura 11b é uma ilustração esquemática correspondente à Figura 11a, mas com um arranjo de fluxo de refrigerante diferente; e

[0065] As Figuras 12 e 13 são respectivamente uma vista lateral e uma vista terminal na direção das Setas XII e XIII respectivamente na Figura 9.

Descrição Detalhada

[0066] Uma máquina de armadura sem forquilha e segmentada 10 é ilustrada esquematicamente na Figura 1. A máquina 10 compreende um estator 12 e dois rotores 14a,b. O estator 12 é uma coleção de barras separadas do estator 16 espaçadas circunferencialmente sobre um eixo de rotação 20 dos rotores 14a,b. Cada barra 16 tem seu próprio eixo 16a que é disposto paralelo ao eixo de rotação 20. Contudo, isto não é absolutamente essencial. Em uma máquina de fluxo axial, o eixo 16a é, de fato, paralelo ao eixo de rotação 20. Contudo, ele pode ser disposto em qualquer ângulo, mesmo radialmente, com relação ao eixo de rotação 20. A discussão seguinte é em relação a uma máquina de fluxo axial, mas isto não deve ser compreendido para ser limitante em qualquer sentido e, onde o contexto permite, a invenção igualmente se

aplica a outras inclinações das barras do estator 16.

[0067] Cada extremidade de cada barra do estator é provida com uma sapata 18a,b que serve uma proposta física de confinamento da pilha de espira 22, cuja pilha 22 é preferivelmente de fio isolado de seção quadrada (ou possivelmente seção retangular), de modo que um alto fator de enchimento pode ser alcançado. As espiras 22 são conectadas a um circuito elétrico (não mostrado) que (no caso de um motor) energiza as espiras de modo que os pólos dos campos magnéticos resultantes gerados pela corrente que escoar nas espiras são opostos em espiras de estator adjacentes 22.

[0068] Os dois rotores 14a,b conduzem magnetos permanentes 24a,b que fazem um outro com a espira de estator 22. De fato, na máquina de fluxo axial, os rotores e seus magnetos são radialmente dispostos, mas quando as barras do estator são inclinadas, então elas são do mesmo modo. Duas caixas de ar 26a,b são dispostas entre respectivas sapata e pares de magneto 18a/24a, 18b/24b. Existem um ainda número de espiras e magnetos espaçados ao redor do eixo de rotação 20 e, preferivelmente, existem um número diferente de espiras e magnetos de modo que cada espira não entra em registro com um par de magnetos correspondente todo ao mesmo tempo e na mesma posição rotacional do rotor com relação ao estator. Isto serve para reduzir desbastamento.

[0069] Em um motor (com o qual a presente invenção é principalmente relacionada) o circuito elétrico acima mencionado é disposto para energizar as espiras 22 de modo que sua polaridade de alterna servindo para fazer com que as espiras em tempos diferentes se alinhem com pares de magnetos diferentes, resultando em torque sendo aplicado entre o rotor e o estator. Os rotores 14a,b são geralmente conectados juntos (por exemplo, por um eixo, não mostrado) e giram juntos sobre o eixo 20 relativo ao estator 12, que é geralmente fixado (por exemplo em um alojamento, não mostrado). Uma vantagem proporcio-

nada pelo arranjo é ilustrada na Figura 1 em que o circuito magnético 30 é provido por duas barras adjacentes do estator 16 e dois pares de magnetos 24a,b. Desse modo, nenhuma forquilha é requerida para o estator 12, embora um contraferro 32a,b seja requerido para cada rotor que liga o fluxo entre a parte de trás de cada magneto 24a,b que faceia para fora das respectivas espiras 22.

[0070] Desse modo, no caso de um motor, por energização apropriada das espiras 22, o rotor 14 pode ser impelido a girar sobre o eixo 20. Naturalmente, na situação de um gerador, a rotação do rotor 14a,b induz correntes nas espiras de estator 12 de acordo com a mudança do fluxo magnético induzida nas barras do estator 16 à medida que os rotores 14a,b giram.

[0071] Contudo, em qualquer caso calor é gerado nas espiras 22 e a eficiência da máquina é reduzida, e sua capacidade limitada, se este calor não é removido. Conseqüentemente, a presente invenção sugere o encerramento das espiras do estator 16 dentro de um alojamento que se estendem através da caixa de ar 26a,b e que é suprido com um meio de resfriamento.

[0072] Voltando à Figura 3, um estator 12a em uma modalidade é mostrado em que as espiras do estator estão localizadas entre invólucros de material plástico 42a,b. Estes invólucros têm paredes cilíndricas externas 44, paredes cilíndricas internas 46, e paredes anulares dispostas radialmente 48. As paredes anulares 48 incluem bolsas internas 50 para receber as sapatas 18a,b das barras do estator 16 e servem para localizar as montagens de espira do estator 16, 22, 18a,b quando os dois alojamentos de invólucro 42a,b do estator 12a são montados juntos. O alojamento do estator 42a,b define espaços 52 internamente das espiras 22 e também externamente em 54 ao redor do lado de fora das espiras 22. Além disso, existem espaços 56 entre as espiras. Embora não mostrado na Figura 3, quando montado, o alojamento do estator 42a,b é provido com orifícios que permitem que o

meio de resfriamento (preferivelmente líquido eletricamente não-condutivo) seja bombeado nos espaços 52, 54, 56 para circular ao redor das espiras e resfriá-las. De fato, sendo feito, preferivelmente, de um material plástico, tal como [policarbonato] ou outro material de condução de baixo calor, o calor gerado pelas espiras e conduzido nas sapatas 18a,b é retido dentro do alojamento e não transmitido para os magnetos 24a,b, que são particularmente susceptíveis ao calor. Referências adicionais aos arranjos de resfriamento da presente invenção são também descritas abaixo com referência às Figuras 7 a 13.

[0073] Um arranjo preferido envolve a construção da máquina conforme descrita acima e então, quando completa, o enchimento dos espaços 52, 54, 56 com uma resina líquida assentável ou verniz que umedece todas as superfícies internas daqueles espaços, incluindo as espiras 22. Uma vez que a resina tenha tido a oportunidade de penetrar todo espaço, ela é drenada a partir da máquina deixando somente um revestimento de superfície da resina dentro da câmara definida pelos espaços 52, 54, 56. Em seguida a resina cura para formar uma camada eletricamente isolante que separa os espaços 52, 54, 56 das espiras 22. Por este meio, a água pode ser empregada como o meio de resfriamento. Vernizes adequados estão dentro do conhecimento de um técnico no assunto.

[0074] Referindo-se novamente às Figuras 1 e 2, mesmo sem números idênticos de magnetos 24a,b e espiras 22, um problema inerente do arranjo é o efeito de desgaste que ocorre à medida que as folgas de alta relutância 25 entre magnetos adjacentes passam sobre as folgas correspondentes 27 entre as sapatas da espira de estator 18a,b.

[0075] É bem conhecido que núcleos de espira para máquinas elétricas são frequentemente produzidos de laminações de aço. O aço é um excelente condutor de um campo magnético. Ele proporciona uma baixa trajetória de relutância portanto, e tem baixa perda de histerese. Contudo, um problema com muitos materiais ferromagnéticos é que

eles são geralmente também condutores elétricos. Portanto, a mudança de fluxo através de um condutor elétrico cria correntes inativas. Estas são minimizadas pelo emprego de laminações que são separadas por um isolador, com o isolamento sendo paralelo à direção de fluxo desejada de modo que correntes elétricas transversais são minimizadas. Contudo, uma nova técnica é encontrada com algum sucesso empregando partículas de ferro macio revestidas com isolamento e moldadas a uma forma desejada (compostos magnéticos macios - SMC), sendo ligados juntos pelo isolamento resinoso. Um processo de compactação de alta pressão é usado para moldar o componente em uma forma complexa, capaz de produzir modelos de fluxo magnético tridimensionais com um excelente fator de forma e capacitando um bobinamento de alto fator de enchimento a ser empregado, bobinado reto nos dentes de SMC.

[0076] Voltando à Figura 4, um estator 12b de uma modalidade de máquina elétrica é mostrado. Este é um arranjo particularmente adequado do estator em um arranjo de baixo custo. Ele tem barras integrais do estator 16' formadas de dois, preferivelmente idênticos, componentes 75a,b. Cada componente é um anular 76 com partes de barra verticais 78. As partes de barra podem ter espigas alternantes 80 e bolsas 82 nas interfaces de faceamento 81, de modo que, quando orientadas para facearem entre si, dois componentes idênticos 75a,b podem ser unidos juntos, com as espigas 80 entrando nas bolsas 82 do outro componente. Os dois componentes podem ser colados juntos. Contudo, antes da montagem, espiras pré-bobinadas 22 (mostradas esquematicamente na figura 4 como anéis sólidos) são localizadas nas partes de barra 78 de um componente 75a,b de modo que, quando conectadas juntas, os componentes 75a,b e as espiras 22 completam uma montagem das partes magnéticas do estator 12b.

[0077] A vantagem do arranjo mostrado na Figura 4 é que os magnetos que faceiam o anular 76 em cada lado do estator nunca são

apresentados com uma caixa de ar entre espiras de estator adjacentes 22. Consequentemente, o problema inerente de desbastamento acima mencionado pode ser eliminado, ou pelo menos reduzido – os magnetos, ver uma relutância contínua, que pode ser quase constante como uma função da posição do rotor. Contudo, a conexão magnética entre espiras adjacentes é para ser desencorajada, visto que curtos-circuitos a trajetória de fluxo e reduz a eficiência do motor. Consequentemente, o anular 76 é delgado em 84 entre cada parte de barra 78 de modo que a oportunidade de encurtamento magnético é reduzida. Contudo, pela provisão de uma folga de alta relutância 84 entre cada espira de estator, esta atenua o efeito de antidesbastamento da face de metal completa 76. Consequentemente, existe um equilíbrio a ser feito entre operação suave do motor e sua eficiência. Não obstante, existe uma posição ótima na qual desbastamento é minimizado a um grau substancial sem dano significativo da eficiência do motor. Uma vantagem da presente modalidade é seu potencial baixo custo de manufatura.

[0078] Os componentes 75a,b são vantajosamente construídos de material de SMC, cada prensado em um molde simples. Contudo, a simplicidade de sua forma também permite que os mesmos sejam manufaturados de um anular simples de laminações bobinadas (tendo um eixo de bobinamento no eixo de rotação 20), com fendas 83 entre partes de barra adjacentes 78 sendo cortadas com um cortador de fio. Finalmente, a vantagem da presente invenção pode ser alcançada pelo emprego dos arranjos descritos acima com referência às Figuras 2 e 3, mas onde as sapatas 18 e barras 16 não são construídas em um anular simples, mas cada uma independentemente. Neste caso, as sapatas são dimensionadas de modo que elas contatam uma outra quando dispostas no motor e, desse modo, reduzem desbastamento.

[0079] Nas Figuras 5a e b, um arranjo alternativo do estator 12c é mostrado, que também reduz desbastamento, mas sem afetar a efici-

ência da máquina. Aqui, cada barra do estator 16 é provida com sua própria sapata 18 de modo que existe uma caixa de ar resultante 27a entre elas. Normalmente, isto resultaria no efeito de desbastamento acima mencionado. Contudo, aqui, a caixa de ar 27a é inclinada relativa à direção radial por um ângulo α_1 , pelo menos um lado 18j da sapata é inclinado neste ângulo, o raio em questão passando através do canto de fundo 18g da sapata. O outro lado 18h da sapata é inclinado em um ângulo α_2 que difere de α_1 , por uma quantidade dependente da largura da caixa de ar 27a. O valor médio de α_1 e α_2 está entre 1° e 45° , convenientemente sobre 10° com o número de peças de pólo mostrado. A barra do estator 16 é em forma de trapézio, como nas modalidades descritas acima, com cantos arredondados e as espiras 22 são, do mesmo modo, de forma de trapézio ao redor dos núcleos formados pelas barras 16. Elas são simetricamente dispostas com relação ao eixo de rotação 20. Isto significa que em cantos opostos 18d,f, a espira 22 se estende além da extremidade da sapata 18. Contudo, pelo menos na borda externa 18e, a sapata sobrepõe a uma pequena extensão a espira 22 da sapata adjacente. O canto de reboque 18g pelo menos sobrepõe a espira 22 de sua própria barra do estator 16.

[0080] À direita da Figura 5 é mostrada, em linha tracejada, a caixa de ar 27'a que está no lado oposto do estator 12c, o canto de fundo 18'g de sua sapata sendo totalmente visível. Pode ser visto, portanto, que as duas caixas de ar 27a, 27'a sobrepõem em uma direção axial somente em uma região em forma de diamante pequeno 27b. Assumindo que as folgas de alta relutância 25 entre os magnetos nos rotores são radiais, então o efeito de inclinação das sapatas é que a transição de um magneto para outro a partir da perspectiva de uma espira de estator particular é difundida sobre um arco mais amplo de rotação do rotor com relação ao estator do que se as folgas são ambas radiais.

[0081] Naturalmente, é igualmente possível inclinar as folgas de magneto 25 e o mesmo efeito pode ser alcançado. Isto é, as folgas da

sapata 27 podem ser radiais, visto que elas são nas modalidades descritas acima com referência às Figuras 1 a 3, com as folgas de magneto inclinadas opostamente com relação a cada rotor 14a,b. Alternativamente, uma combinação de inclinações de ambos as sapatas do estator e magnetos do rotor pode ser disposta. Contudo, a moldagem do magneto é custosa, pelo que as sapatas do estator são preferivelmente uma parte prensada que é facilmente moldada. Em qualquer caso, é desejável que o arco de transição, mostrado como o ângulo β (sendo o ângulo subtendido entre os limites circunferenciais das duas folgas de sapata 27a, 27'a), seja igual a cerca de a soma de α_1 e α_2 . Naturalmente, existe um equilíbrio a ser alcançado porque a transição de um magneto para outro representa uma região de uma redução de torque e, portanto, difundindo, portanto, esta tem o efeito corolário de concentração do torque entre as transições.

[0082] É também para ser notado que as sapatas 18 são chanfradas externamente em 18k ao redor da periferia total da sapata. Isto auxilia na focalização do fluxo fora do plano das sapatas 18 em direção aos magnetos 24a,b.

[0083] De fato, em um aspecto da presente invenção, o problema de minimização da relutância do material da barra do estator e sapata na direção do fluxo magnético é determinado no arranjo das Figuras 6a a d. Desse modo, enquanto o material de SMC é muito adequado, conforme discutido acima com referência à Figura 4, deve ser notado que, enquanto partículas de ferro macio revestidas têm a capacidade de reduzir correntes inativas e geralmente ter uma baixa relutância magnética em todas as direções, elas não têm a melhor, isto é, a relutância mínima possível que está ainda no domínio de laminações, pelo menos no plano ou direção das laminações.

[0084] Neste aspecto, a presente invenção sugere o emprego de tais partículas na construção da barra do estator 16 e sapatas 18, mas dispoñdo-as de modo que elas têm uma direção preferencial, ou pelo

menos plana, de baixa relutância, que é preferivelmente mais baixa do que normalmente provida por tais partículas. No caso da barra 16, esta direção preferencial está em planos paralelos ao eixo 16a. No caso das sapatas 18, uma relutância mínima é desejavelmente disposta em planos perpendiculares ao eixo longitudinal 16a. Isto pode ser provido de vários modos, embora fundamental seja a construção separada da barra 16 e sapatas 18, conforme mostrado na Figura 6a, e sua montagem subsequente.

[0085] Desse modo, a barra 16 da Figura 6a é manufaturada de partículas de ferro macio de isolamento redondas. Estas partículas são primeiro achatadas em componentes similares a disco, antes de serem colocadas em um molde, e finalmente prensadas juntas. O molde é disposto de modo que a direção de prensagem das partículas, e sua distribuição inicial antes da prensagem, seja tal que as maiores dimensões das partículas ocorrem em um plano que é paralelo ao eixo 16a. Isto pode muito convenientemente ser alcançado, embora somente parcialmente, pelo começo com partículas essencialmente redondas no molde e prensagem das mesmas juntas em uma direção perpendicular ao eixo 16a. Por exemplo, a prensagem ascendente na direção da Seta A não somente achata as partículas em um plano ortogonal à direção A, mas também tende a difundi-las na direção das Setas B.

[0086] Idealmente, contudo, as partículas são alongadas e são dispostas no molde com seu eixo longo paralelo ao eixo 16a. Isto pode ser alcançado pelo emprego de um campo magnético para alinhar as partículas. Neste caso, a linha de fluxo mínimo para o componente não está apenas em planos paralelos ao eixo 16a, mas realmente naquela direção específica.

[0087] Por outro lado, as sapatas 18 são preferivelmente manufaturadas por prensagem das partículas redondas em uma direção paralela ao eixo 16a de modo que, durante o processo de compactação,

elas se difundem lateralmente no plano perpendicular ao eixo 16a. Quando as sapatas 18 e barra 16 são montadas juntas, o fluxo magnético pode, portanto, se deslocar com relutância mínima através da barra 16 na direção do eixo longitudinal 16a e sair nas barras 16 ambas na direção do eixo 16 a partir da extremidade 16d das barras para entrar diretamente nas caixas de ar 26a,b, mas também ortogonalmente nas periferias da sapata 18c, conforme pode ser visto a partir das setas de fluxo magnético indicadas na Figura 6d.

[0088] Em um arranjo preferido, as barras do estator 16 também compreendem um rolo de laminação, que pode aperfeiçoar as inclinações direcionais de relutância mínima. Desse modo, na Figura 6b, um rolo 90 de aço revestido de isolamento é disposto em um molde (não mostrado) com seu eixo paralelo ao (último) eixo 16a da barra 16b a ser formada. O molde é então enchido com partículas que são prensadas e compactadas ao redor do rolo de laminação de modo que um plano de relutância mínima das partículas é paralelo ao eixo 16a. Elas circundam o rolo 90 e dão a barra sua seção em forma de trapézio desejada.

[0089] Uma construção alternativa é formar um núcleo em forma de trapézio 92 de partículas de ferro macio prensadas tendo pelo menos um plano de relutância mínima paralelo ao eixo 16a. Um rolo de laminação 94 é então enrolado ao redor do núcleo 92 e resulta em uma barra do estator 16c tendo a forma de seção externa desejada.

[0090] Ambas as barras 16b,c das Figuras 6b e c cada uma tem direções preferenciais de relutância mínima paralelas ao eixo 16a. Colares 18c, formados de partículas de ferro macio prensadas, têm planos de relutância mínima perpendiculares ao eixo 16a. Quando montados, a barra e colares resultam em um núcleo de estator que tem uma relutância extremamente baixa, e é direcionalmente otimizado.

[0091] A invenção é adicionalmente descrita com referência às Figuras 7 a 13 que ilustram uma construção particular do motor 100. No-

vamente, enquanto um motor é descrito, deve ser compreendido que os princípios também se aplicam diretamente a um gerador. O motor 100 é, de fato, duas partes de motor 100a,b aparafusadas juntas. Cada parte de motor 100a,b tem um alojamento tubular 102a,b tendo faces terminais radialmente planares 104a,b pelo que vários alojamentos 102 podem ser aparafusados juntos extremidade à extremidade por parafusos e porcas 106 que passam através de saliências 108 dispostas ao redor dos alojamentos 102a,b. De fato, o motor 100 pode ser montado em um veículo, por exemplo, usando-se saliências 108 como flanges de montagem. Apesar de serem aparafusadas juntas e serem um motor composto 100, cada parte de motor 100a,b é independente uma da outra, conforme descrito adicionalmente abaixo, e pode ser acionada em sua própria velocidade e torque, conforme requerido por um sistema de controle de motor, que não é descrito adicionalmente aqui. Contudo, conforme também explanado adicionalmente abaixo, as partes do motor 102a,b podem ser conectadas a um acionamento de descarga simples, dobrando, desse modo, o torque de descarga disponível. De fato, não existe limite ao número de partes de motor que podem ser empilhadas juntas.

[0092] Desse modo, cada parte de motor 100a,b tem um estator 112 tendo uma pluralidade de espiras de estator 122 montadas em barras do estator 116 tendo sapatas 118a,b. As espiras 122 são espaçadas circunferencialmente ao redor do eixo de rotor 120, conforme mostrado na Figura 10, e existem 18 delas no motor da Figura 10. Cada sapata de espira de estator 118a,b é recebida em uma bolsa 150 de um invólucro não-magnético, não eletricamente condutivo, anular, 142a,b. Os invólucros são fixados ao redor de sua periferia externa 143a,b a flanges internos 144a,b dos alojamentos do motor 102a,b.

[0093] As bordas internas 145a,b dos invólucros anulares 142a,b são montadas em flanges 147a,b de um alojamento interno essencialmente tubular do estator 146. É para ser notado que o componente do

alojamento interno 146, junto com os invólucros 142a,b e o alojamento de motor 102, completam uma câmara anular na qual as espiras do estator são dispostas.

[0094] Voltando à Figura 11, o alojamento do motor 102 é provido com uma saliência de orifício 154, provida com uma admissão 156 para o meio de resfriamento. Dentro da câmara 152, barreiras 158 são dispostas entre as primeiras espiras e os alojamentos 102,146 para dividir a câmara 152 em duas passagens anulares paralelas 152a,b. Cada é suprida com seu próprio ramo respectivo 156a,b do orifício de admissão 156. As passagens paralelas 152a,b são separadas pelas espiras 122, entre as quais existem folgas 155. Desse modo, o meio de resfriamento que circula nas passagens 152a,b pode atravessar e circular ao redor da periferia total das espiras 122. Após completação de um circuito ao redor do motor (em uma direção de contra fluxo, é para ser notado que encorajará a turbulência através de e entre as folgas 155), o meio de resfriamento sai da saliência de orifício 154 pelas descargas 160a,b. Elas se unem no orifício 160 (ver Figura 9) e retornam ao meio de resfriamento a uma bomba e trocador de calor (nenhum mostrado) de onde elas vêm. Aproximações alternativas são muito práticas:

- 1) o fluido de resfriamento é bombeado reto através da máquina, com a admissão perto do fundo da máquina, e a descarga perto do topo. O fluido pode escoar ao redor dos raios externo e interno das espiras, algum fluido também escoando entre as espiras. Esta é a trajetória de resfriamento mais simples de implementar, mas provavelmente a menos efetiva;

- 2) o fluido de resfriamento é forçado a zigue-zague ao redor do motor, movendo-se entre o raio externo e interno em 2-8 ocasiões (por blocos dispostos entre as espiras e os alojamentos do estator 102,146) de modo que o fluido é forçado entre as espiras, que é geralmente a parte mais quente da máquina;

3) o fluxo de resfriamento é dividido (conforme descrito acima), com algum escoamento ao redor do diâmetro interno das espiras, e o restante escoando no diâmetro externo na direção oposta. Algum fluxo de fluido também ocorrerá entre as espiras; e

4) em um arranjo particularmente preferido, o fluxo de resfriamento é conforme ilustrado na Figura 11b, em que uma admissão 156' e uma descarga 160' são providas, com blocos 158a em qualquer lado da espira 122a entre a admissão e a descarga. Os blocos 158b são periodicamente dispostos ao redor da máquina primeiramente 158b1 e ultimamente 158b2 no lado externo das espiras 122b,c e entre pelo menos um bloco 158c no interior da espira 122d. Por este arranjo, o fluxo entra na admissão 156 e começa ao redor do lado externo da máquina, mas é direcionado pelo primeiro bloco 158b1 para transição ao interior da câmara 152, entre espiras diferentes de espiras de intervenção 122d. Dalí, o fluxo continua a circulação ao redor da máquina, mas é forçado pelo bloco 158c a transição de volta ao lado externo da câmara. Adicionalmente ao redor da máquina, o bloco 158b2 obriga transição de volta ao interior e, finalmente, de modo a sair da máquina através da descarga 160, os blocos 158a forçam a transição de um tempo final de volta ao lado externo. Na Figura 11b, existem quatro transições. Contudo, qualquer ainda número de transições é possível, ou ainda um número inativo se a admissão e descarga são dispostos uma no lado externo da máquina (conforme mostrado) e a outra no interior (não mostrado).

[0095] Voltando às Figuras 8 e 9, o alojamento interno do estator 146 tem um flange interno central 162 em qualquer lado do qual dispostos mancais 164a,b. Os mancais 164a,b montam rotores 114a,b. Os rotores são conectados juntos através de flanges internos 166a,b. Estes são tubulares e são providos com saliências espaçadas 168 para receber porcas e parafusos 170 que conectam os dois rotores 114a,b juntos. Desse modo, os rotores 114a,b são, para todos os intentos e

propostas, uma estrutura integral simples. Estendendo-se dos flanges cilíndricos 166a,b estão asas em forma de placa 172a,b que terminam em uma seção anular 174a,b na qual magnetos 124a,b são montados. De fato, as extensões 174a,b são preferivelmente providas com bolsas 176 para receber os magnetos e firmemente localizá-los.

[0096] Entre os magnetos 124a,b e os invólucros 142a,b estão caixas de ar 126a,b. Conforme será compreendido na tecnologia de motor, as caixas de ar devem ser tão pequenas quanto possível de modo a reduzir a relutância do circuito magnético. Contudo, o arranjo do motor descrito com referência às Figuras 7 a 13 permite que uma folga muito estreita seja projetada em virtude das poucas tolerâncias de manufaturamento que têm que ser acomodadas na montagem do motor 100a,b. Devido aos mancais 164a,b representarem uma fonte significativa de muito movimento, os rotores são adaptados para aplicar uma pré-tensão aos mancais, cuja pré-tensão é limitada por um espaçador 180 disposto entre eles. Naturalmente, a dimensão axial do espaçador pode ser afiada para assegurar um ajuste apertado. Contudo, à parte do mancal existem relativamente poucos outros componentes cujas tolerâncias se acumulam e necessitam de uma grande caixa de ar. Naturalmente, tal componente é o próprio estator 112, para qual as dimensões dos flanges 147a,b do alojamento do estator interno 146, e os flanges dependentes 144a,b, bem como as dimensões dos invólucros 142a,b, são críticos em assegurar a caixa de ar menor possível 126a,b, apesar da presença de uma parede formada pelo invólucro sendo incluído neste. Além disso, é aparente que qualquer tensão no rotor resultará em torsional (isto é, sobre eixos perpendiculares ao eixo de rotação 120, ou em tensão linear naquela direção) que deve ser acomodado pelo estator 112. Contudo, as séries de barras do estator e sapatas que se estendem na câmara 152 proporcionam reforço diagonal significativa dentro da câmara 152 para tornar o alojamento interno 146 extremamente seguro em uma direção axial.

[0097] Além disso, o conceito de montagem do rotor 114 diretamente no estator 112 tem dois efeitos benéficos diferentes. O primeiro está ligado com o princípio geral do desenho do motor que demanda que os magnetos 124 e espiras 122 sejam dispostos mais distante possível do eixo de rotação 120 de modo que a força magnetoestrutiva que age entre as espiras e magnetos se traduz no torque máximo sobre o eixo de rotação. Isto significa, contudo, que, se a fixação do rotor com relação ao estator está a distância que é não muito menor do que o raio dos magnetos/espiras, o rotor deve ser muito rígido sobre esta distância. Pela montagem do rotor diretamente no estator, a distância é reduzida e, portanto, o rotor não necessita ser tão rígido. Alternativamente, a caixa de ar pode ser menor. Segundo, pela conexão do rotor usando um anular em forma de placa 172 que se transforma em um corpo tubular 166, uma trajetória de retorno adicional 30' (ver Figura 8) para o fluxo magnético é criada. Pelo menos, este é o caso se o rotor é produzido de material ferromagnético. Esta trajetória de fluxo adicional é vantajosa porque ela reduz o requerimento do fluxo se confinar a uma direção circunferencial nos flanges 174 entre magnetos, mas também permite uma trajetória de retorno alternativa para cada circuito magneto-espira-magneto. A relutância total do circuito magnético é, desse modo, reduzida.

[0098] Deve ser apreciado que a força axial aplicada a cada rotor devido aos magnetos é significativa, e ela aumenta conforme a caixa de ar reduz, e pode ser da ordem de 7500N por rotor. Como um resultado disto, o suporte axial dos rotores é extremamente importante e, desse modo, o(s) mancal(is) entre o estator e rotor necessita(m) proporcionar uma reação forte e estável a esta força. Se os rotores são perfeitamente localizados em qualquer lado do estator, existe uma força axial líquida de zero, mas para alcançar isto requer-se tolerâncias de construção apertadas e uma montagem de mancal de resistência. Contudo, pela montagem do rotor diretamente dentro do estator con-

forme aqui descrito, esta precisão é alcançável dentro de custo razoável. O flange 162 contra qual os mancais assentam e se localizam, axialmente, é crítico neste particular.

[0099] De fato, com referência às Figuras 8 e 11, existem certas características geométricas de uma modalidade de uma máquina de acordo com um aspecto da presente invenção. Conforme mencionado acima, as espiras 112 têm um raio externo R_2 . Por este é significativo o raio do círculo menor que envolve todas as espiras. Do mesmo modo, elas têm um raio interno R_1 que correspondentemente é o raio do círculo maior que assenta dentro dos limites de todas as espiras. As espiras são sensivelmente dispostas em um círculo ao redor do eixo de rotor 120, mas que não é absolutamente requerido. Contudo, o raio r dos mancais 164a,b sendo aqui o raio do círculo apenas tocando a parte mais interna dos elementos de rolamento dos mancais, é disposto o maior possível, e está preferivelmente relacionado ao raio do estator R_1 pela expressão:

$$r = k_1 * R_1$$

[00100] onde k_1 é entre 0,5 e 0,9 em valor.

[00101] De fato, as espiras têm extensões radial (C_1) e circunferencial (C_2), onde

$$C_1 = R_2 - R_1.$$

[00102] Embora a extensão circunferencial possa ser nada, ela é definida como o arco de centro a centro, centrado no eixo de rotor 120, entre espiras adjacentes. Contudo, um motor conveniente tem os seguintes relacionamentos:

$$R_1 = k_2 * R_2 ; e$$

$$C_1 = k_3 * C_2$$

[00103] Onde k_2 é entre 0,5 e 0,8, e k_3 é entre 0,75 e 2,0.

[00104] De fato, o relacionamento pode ser tomado adicionalmente tal como:

$$r = k * R_2, \text{ onde}$$

$$k = k_1 * k_2.$$

[00105] k preferivelmente tem um valor entre 0,3 e 0,6, e pode ser cerca de 0,45 em um arranjo adequado.

[00106] Embora os mancais 164a,b sejam mostrados como mancais de esfera tendo suas próprias pistas, o desenho permite que as superfícies do mancal sejam formadas nas respectivas superfícies frustocônicas ou cilíndricas do alojamento do estator interno 146 e flanges cilíndricos 166, e para mancais de rolo afilados, confinados em uma gaiola, a ser disposta entre eles. Isto pode resultar em tolerâncias ainda mais apertadas sendo alcançadas. Conforme mencionado acima, os componentes do rotor são construídos de um material ferromagnético, tal como aço, e pode ser fundido ou forjado e usinado conforme requerido. Contudo, o alojamento do estator interno 146, e, de fato, o alojamento do motor 102, é convenientemente fundido de material não magnético, tal como alumínio (liga). Mesmo alumínio pode ter uma superfície de mancal endurecida contudo. Neste caso, um flange 162 não é empregado. E qualquer caso, o presente desenho capacita uma caixa de ar na ordem de 1,0 mm ($\pm 0,1$ mm) a ser mantida em custo de manufaturamento mínimo.

[00107] Conforme mencionado acima, os dois motores 100a,b são independentes. Os rotores 114 não são conectados entre si. Contudo, eles claramente podem ser, por disposição de um espaçador apropriado entre eles, e estendendo-se os parafusos 170 de modo que eles passam através de ambos os rotores. De fato, não existe nada para prevenir motores adicionais de serem adicionados em série, de modo que três ou mais motores podem ser empregados em tandem. Conforme pode ser visto nos desenhos, os lados do motor composto são fechados por tampas 178 que são um ajuste de prensa dentro das extensões internamente cilíndricas 102c,d dos alojamentos do motor 102. As tampas são prensagens em placa e são um ajuste de prensa dentro das extensões 102c,d, embora outros métodos de fixação sejam con-

cebíveis. Eles têm uma abertura central através da qual uma descarga do motor 190 se estende.

[00108] A descarga 190 compreende qualquer componente adequado e pode ser um eixo. Aqui, ele é mostrado como um cubo de acionamento padrão tendo uma taça trípode 192 para recepção de um eixo (não mostrado) tendo uma forquilha de três lóbulos. Uma vedação (não mostrada) normalmente seria disposta entre a tampa 178 e o cubo 190 para isolar o ambiente interno do motor 100. O cubo 190 é conectado por um disco anular 194 ao rotor 114. O disco 194 é seguro ao rotor pelos parafusos e porcas 170, e ao cubo 190 por parafusos (não mostrados) em aberturas 196 no cubo 190. De fato, é um aspecto da montagem direta do rotor no estator que as configurações possíveis da descarga sem qualquer distúrbio do desenho do motor é possível. Desse modo, a topologia sem eixo permite uma ampla variedade de configurações de descarga, incluindo:

- Alojamento de junta automotiva de "velocidade constante" (CV);
- Eixo inclinado (ou macho ou fêmea); e

[00109] Placa de acionamento plana com qualquer modelo de furo.

[00110] Em uma aplicação em que o motor 100 ilustrado nas Figuras 7 a 13 é particularmente pretendido, o motor é disposto para acionar duas rodas de veículo. Um motor adicional pode ser disposto para acionar outros pares de rodas em veículos de multieixos. O motor seria disposto substancialmente centralmente entre as rodas com eixos de acionamento estendendo-se de cada um dos dois cubos de acionamento 190a,b. Não existiria requerimento para qualquer diferencial, porque cada parte de motor pode ser acionada independentemente com torque constante. A máquina neste arranjo pode operar como ambos um motor e um gerador, particularmente em veículos híbridos, mas certamente pelo menos quando se emprega frenagem regenerativa.

[00111] Conforme é evidente a partir da descrição acima, as tampas 178 são meramente exclusoras de pó e protegem os componentes internos da máquina 100. Elas têm pouco, se houver, papel estrutural. As conexões estruturais entre uma fixação (tal como um veículo no qual a máquina é disposta) e a descarga são conforme se segue. A fixação é conectada ao alojamento do motor. O alojamento do motor monta estruturalmente o estator. O estator estruturalmente, embora também rotacionalmente, monta o rotor. O rotor monta estruturalmente a descarga, que não é, de outro modo, estruturalmente suportada pelo alojamento do motor. Aqui, o termo "estruturalmente" está sendo usado no sentido que as montagens são as principais ou somente montagens para o componente em questão. Em muitos cenários conhecidos, por exemplo, um alojamento monta um estator e também (rotacionalmente) monta um rotor. Pode ser sugerido, portanto, que o estator monta o rotor. Contudo, tal montagem é incidental e não é o que é significativo aqui por montagem estrutural através da agência substancialmente exclusiva do componente em questão. Naturalmente, neste particular, uma vedação disposta entre a tampa 178 e o cubo 190 não "monta" o cubo na tampa, deixa somente estruturalmente, e não causa distúrbio na montagem estrutural fundamental do cubo no alojamento através da agência do rotor e estator.

[00112] Pode ser visto que por montagem do rotor diretamente no estator a uma distância a partir do eixo de rotação, um espaço vazado substancial é criado dentro do rotor. Dependendo da aplicação, isto proporciona uma oportunidade de dispor uma caixa de engrenagem, particularmente uma caixa de engrenagem planetária, dentro do motor. A alguma extensão, em muitas circunstâncias com uma máquina do presente desenho, uma caixa de engrenagem não é necessária porque os eletrônicos requeridos para controlar as espiras podem capacitar a máquina a operar a um torque máximo substancialmente constante (submetida substancialmente somente a limitações de resfriamento)

sobre uma ampla faixa de velocidades, por exemplo, torques de 500 Nm por parte de motor, para velocidades rotacionais em excesso de 3000 rpm, são praticáveis. Não obstante, esta opção é distintamente disponível.

[00113] Este arranjo também tem a vantagem de facilitar a interligação de máquinas em tandem, porque não existe requerimento para distúrbio do arranjo articulado do rotor no alojamento conforme normalmente seria o caso onde o rotor é suportado em mancais fixados no alojamento. Claramente, existe algum escopo para debate como onde um estator começa e um alojamento em que ele é de extremidades fixas. De fato, a invenção proporciona, em termos de motor, a seguinte lista não exclusiva de opções:

(a) Uma parte simples de 500 Nm com uma descarga inclinada;

(b) Duas partes independentemente controladas de 500 Nm, cada com sua própria descarga tipo CV para aplicações automotivas;

(c) Quatro partes unidas como dois pares (1000 Nm por par), cada par com uma descarga tipo CV, novamente potencialmente para (alto desempenho) aplicações automotivas;

(d) Quatro partes fixadas rigidamente juntas dando 2000 Nm.

[00114] Referência é feita à Figura 8, em que a metade de fundo difere da metade de topo do desenho em virtude dos rotores 114a,b sendo interligados por parafusos 170a que se estendem através de saliências alinhadas, embora espaçadas por luva espaçadora 169. De fato, não existe razão porque não deve existir duas descargas, conforme anteriormente descrito, provido que nenhum diferencial é requerido, mas na metade inferior da Figura 8, a tampa esquerda 178' é completamente fechada, e o rotor esquerdo 114a não tem um disco 194 e cubo 190 conectados a ela. Ao invés, acionamento é para (ou de) um cu-

bo simples 190 e disco 194 conectados ao rotor direito 114b. De fato, o motor de quatro partes (não mostrado) pode ser produzido simplesmente por continuação da adição de rotores 114 à esquerda na Figura 8. Alternativamente, um motor de quatro partes de acionamento duplo pode ser alcançado simplesmente por reflexão do arranjo na metade de fundo da Figura 8, removendo as tampas contínuas 178' e conectando os alojamentos anulares 102 de cada par juntos.

[00115] Outro elemento para notar é que uma parte não tem necessariamente que ser uma parte de motor adicional 100a,b – ela pode ser uma parte de caixa de engrenagem separada para proporcionar um equilíbrio de torque-velocidade alternativo. Desse modo, no exemplo acima (a), a metade pode ser adicionada a uma caixa de engrenagem epicíclica que escalona a velocidade rotacional por, por exemplo, um fator de 4:1. Isto reduziria a velocidade de descarga máxima, mas dará inversamente torque de 2000 Nm (500 Nm x 4) de uma montagem de peso muito leve. Naturalmente, estas figuras se aplicam a topologia ilustrada nas Figuras 7 a 13 empregando 18 polos de estator e 20 magnetos por rotor. Contudo, outras opções são naturalmente disponíveis, em qualquer direção, abaixo de 300 Nm e acima de 1000 Nm.

[00116] Embora o motor 100 das Figuras 7 a 13 seja mostrado sem as características das modalidades descritas acima com referência às Figuras 4 a 6, estas características podem vantajosamente serem incorporadas conforme desejado. Naturalmente, as modalidades descritas com referência às Figuras 4 e 5 são mutuamente exclusivas.

[00117] Através da descrição e reivindicações deste relatório descritivo, as palavras "compreender" e "conter" e variações delas significam "incluindo, mas não limitado a", e elas não são pretendidas para (e não) excluem outras porções, aditivos, componentes, inteiros ou etapas. Através da descrição e reivindicações deste relatório descritivo, o singular envolve o plural, a menos que o contexto, de outro modo, requeira. Em particular, onde o artigo indefinido é usado, o relatório des-

critivo é para ser compreendido como contemplando pluralidade, bem como singularidade, a menos que o contexto requeira de outro modo.

[00118] Características, inteiros, compostos, porções químicas ou grupos descritos em conjunto com um aspecto particular, modalidade ou exemplo da invenção, são para serem compreendidos para serem aplicáveis a qualquer outro aspecto, modalidade ou exemplo descritos aqui, e a menos que incompatíveis com estes. Todas as características reveladas no relatório descritivo (incluindo quaisquer reivindicações acompanhantes, resumo e desenhos), e/ou todas as etapas de qualquer método ou processo assim revelados, podem ser combinados em qualquer combinação, exceto combinações onde pelo menos algumas de tais características e/ou etapas são mutuamente exclusivas. A invenção não é restrita aos detalhes de quaisquer modalidades precedentes. A invenção se estende a qualquer nova invenção, ou qualquer nova combinação das características reveladas neste relatório descritivo (incluindo quaisquer reivindicações acompanhantes, resumo e desenhos), ou a qualquer nova invenção, ou qualquer nova combinação das etapas de qualquer método ou processo assim revelados.

[00119] A atenção do leitor é direcionada a todos os artigos e documentos que são depositados concorrentemente com, ou anterior a este relatório descritivo em conjunto com este pedido, e que são abertos à inspeção pública com este relatório descritivo, e os conteúdos de todos tais artigos e documentos são incorporados aqui por referência.

Referências

[1] TJ Woolmer and MD McCulloch "Analysis of the Yokeless and Segmented Armature Machine", International Electrical Machine and Drives Conference (IEMDC), 3-5 May 2007

REIVINDICAÇÕES

1. Máquina elétrica (100a,b) modular compreendendo um estator (112) e um rotor (114a,b) montado para rotação sobre um eixo de rotor (120) com relação ao estator (112), magnetos permanentes (124a,b) sendo conduzidos pelo rotor (114a,b), uma saída (194) no rotor (114a,b), o estator (112) compreendendo espiras (122) enroladas nas barras do estator (116) para interação com os magnetos (124a,b) do rotor (114a,b), um alojamento anular (102a,b) retendo e montando o estator (112); um mancal (164a,b) entre o rotor (114a,b) e o estator (112), o rotor (114a,b) sendo vazado ao redor de eixo de rotor (120), a saída (194) compreendendo meios de conexão de flange pelos quais um flange (190) é conectável ao rotor (114a,b) para transmitir energia rotativa para ou a partir do rotor (114a,b),

caracterizada pelo fato de que

a máquina (100a,b) é desprovida de eixo;

o rotor tem dois estágios (114a,b) dispostos um em qualquer extremidade das barras do estator (116), com duas caixas de ar (126a,b) entre as extremidades das barras (116) e os estágios do rotor (114a,b);

a montagem do rotor (114a,b) ou sua saída (194) com relação ao alojamento do estator (102a,b) sendo provida apenas pelo mancal (164a,b) de modo que a carga total entre a saída (194) e o alojamento anular (102a,b) é transmitida através do mancal (164a,b); e

cada estágio do rotor (114a,b) compreende uma placa anular (172,174,166) cujos aros externos (174a,b) montam os magnetos permanentes (124a,b) e cujos aros internos (166a,b) são conectados juntos encerrando o mancal (164a,b).

2. Máquina elétrica (100a,b), de acordo com a reivindicação 1, **caracterizada pelo fato de que** existem pelo menos duas trajetórias de fluxo magnético significantes do motor: uma primeira (30) passando

através de uma primeira barra do estator (116), através de uma primeira (126a) das caixas de ar, através de um primeiro magneto (124a) em um primeiro estágio (114a) do rotor dentro de um contraferro (174a) do primeiro estágio, dentro de um segundo magneto adjacente (124a), através da primeira caixa de ar (126a) em uma segunda barra do estator (116) adjacente à primeira, através da segunda caixa de ar (126b), através de um terceiro magneto (124b) no segundo estágio (114b) do rotor em um contraferro (174b) do segundo estágio (114b), em um quarto magneto adjacente (124b), através da segunda caixa de ar (126b) e de volta na primeira barra do estator (116); e uma segunda trajetória (30') que passa através da primeira barra do estator (116), através da primeira caixa de ar (126a) e através do primeiro magneto (124a) no primeiro estágio (114a) e no contraferro (174a,172a) do primeiro estágio (114a) do rotor, através do primeiro estágio no segundo estágio (114b) do rotor ao redor do mancal (164a,b) no contraferro (172b,174b) do segundo estágio, no quarto magneto (124b), através da segunda caixa de ar (126b) e de volta na primeira barra do estator (116).

3. Máquina elétrica (100a,b), de acordo com a reivindicação 1 ou 2, **caracterizada pelo fato de que:**

as espiras do estator (122) são espaçadas ao redor do eixo de rotor (120) e as ditas espiras do estator (122) se aproximam do eixo de rotor (120) não mais próximas do que um primeiro raio do estator (R_1) do estator; e

o mancal (164a,b) compreende elementos de rolamento que rolam em uma superfície do rotor que está não mais próxima ao eixo de rotor do que um segundo raio de rotor (r), cujo raio do rotor está entre 60% e 90% do raio do estator.

4. Máquina elétrica (100a,b), de acordo com a reivindicação 3, **caracterizada pelo fato de que** as espiras do estator (122) têm uma extensão radial (C_1) tal que o círculo menor que encerra as espi-

ras do estator (122) tem um raio de espira (R_2) onde o raio do estator (R_1) está entre 50% e 80% do raio de espira (R_2), preferencialmente na qual as espiras têm uma extensão circunferencial (C_2) que está entre 50% e 150% da extensão radial ($C_1 = R_2 - R_1$).

5. Máquina elétrica (100a,b), de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 4, **caracterizada pelo fato de que** as barras são axialmente alinhadas com o eixo de rotação (120) do rotor, o mancal (164a,b) estando entre dois planos radiais que intersectam as ditas caixas de ar (126ea,b).

6. Máquina elétrica (100a,b), de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 5, **caracterizada pelo fato de que** o mancal (164a,b) está entre dois planos radiais que intersectam as espiras (122) ou barras (116).

7. Máquina elétrica (100a,b), de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 6, **caracterizada pelo fato de que** as barras (116) e espiras (122) destas são encerradas por um alojamento do estator (102,142a,142b,146) que se estende entre as caixas de ar e define uma câmara (152) incorporando meio de resfriamento para resfriar as espiras (122).

8. Máquina elétrica (100a,b), de acordo com a reivindicação 7, **caracterizada pelo fato de que** o alojamento do estator (102, 142a,b, 146) compreende duas placas anulares (142a,b) e duas paredes cilíndricas (102,146), as placas anulares incluindo recessos (150) para localizar as barras dentro da câmara (152).

9. Máquina elétrica (100a,b), de acordo com a reivindicação 8, **caracterizada pelo fato de que** as paredes cilíndricas (102, 146) são alumínio e as placas anulares (142a,b) são materiais plásticos.

10. Máquina elétrica (100a,b), de acordo com a reivindicação 8 ou 9, **caracterizada pelo fato de que** as paredes cilíndricas (102, 146) são uma parede interna e externa, a parede externa (102)

compreendendo o alojamento anular e tendo meios (106) para montar a máquina (102a,b) e a parede interna (146) montando o dito mancal (164a,b).

11. Máquina elétrica (100a,b), de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 10, **caracterizada pelo fato de que** cada aro interno (172a,b) compreende um flange cilíndrico (166a,b) com uma interface (180) para interengatamento mútuo, e em que os flanges cilíndricos (166a,b) incluem saliências (168) dispostas paralelas ao eixo de rotor para receber prendedores (170) para prender os estágios do rotor juntos.

12. Máquina elétrica (100a,b), de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 11, **caracterizada pelo fato de que** os meios de conexão de flange compreendem uma face radial anular do rotor incluindo prendedores (170) para conexão do flange (194) e:

em que o flange compreende um disco (194) e um cubo (192); e/ou

em que o disco (194) é conectável por prendedores (170) às saliências (168) do rotor.

13. Máquina elétrica (100a,b), de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 12, **caracterizada pelo fato de que** os alojamentos anulares (102a,b) têm interfaces axiais (104a,b) permitindo pelo menos duas máquinas (100a,b) de serem conectadas juntas compartilhando um eixo comum de rotor (120).

14. Máquina elétrica (100a,b), de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 13, **caracterizada pelo fato de que** é um motor.

15. Veículo, compreendendo uma máquina elétrica (100a,b) conforme definida na reivindicação 14, **caracterizado pelo fato de que** a máquina compreende adicionalmente um eixo de acionamento a partir de cada saída (194) para rodas em lados diferentes do veículo.

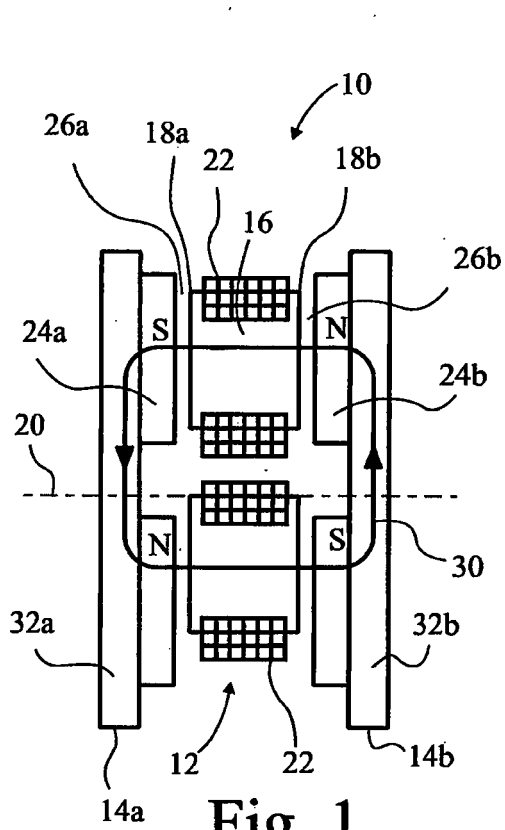


Fig. 1

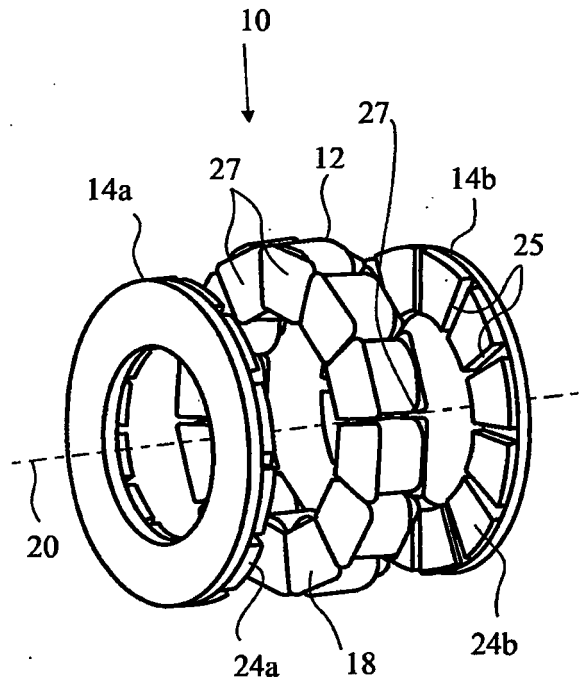


Fig. 2

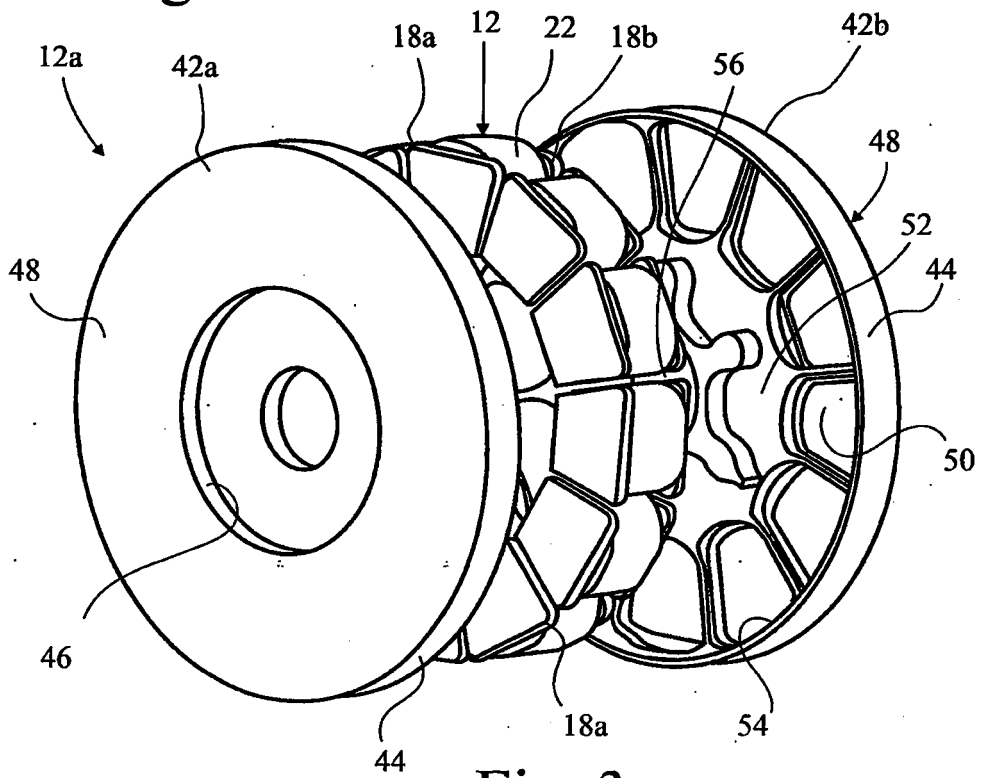


Fig. 3

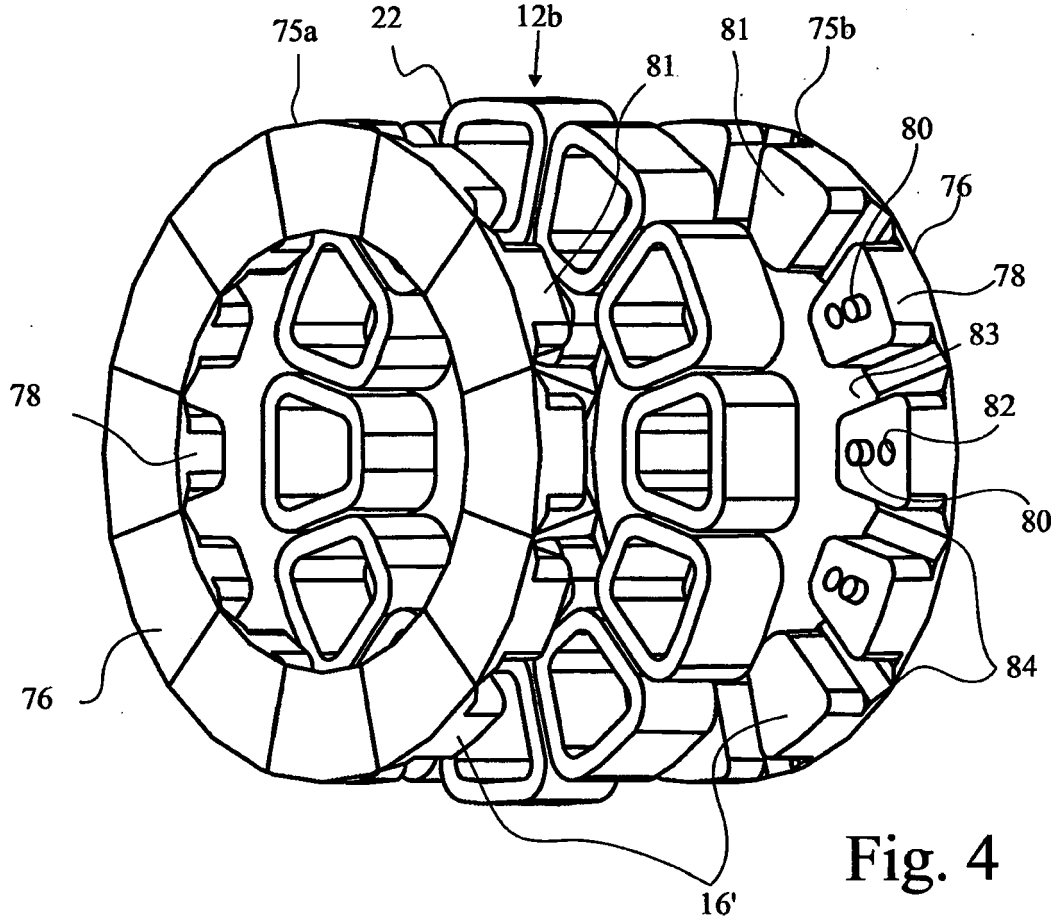


Fig. 4

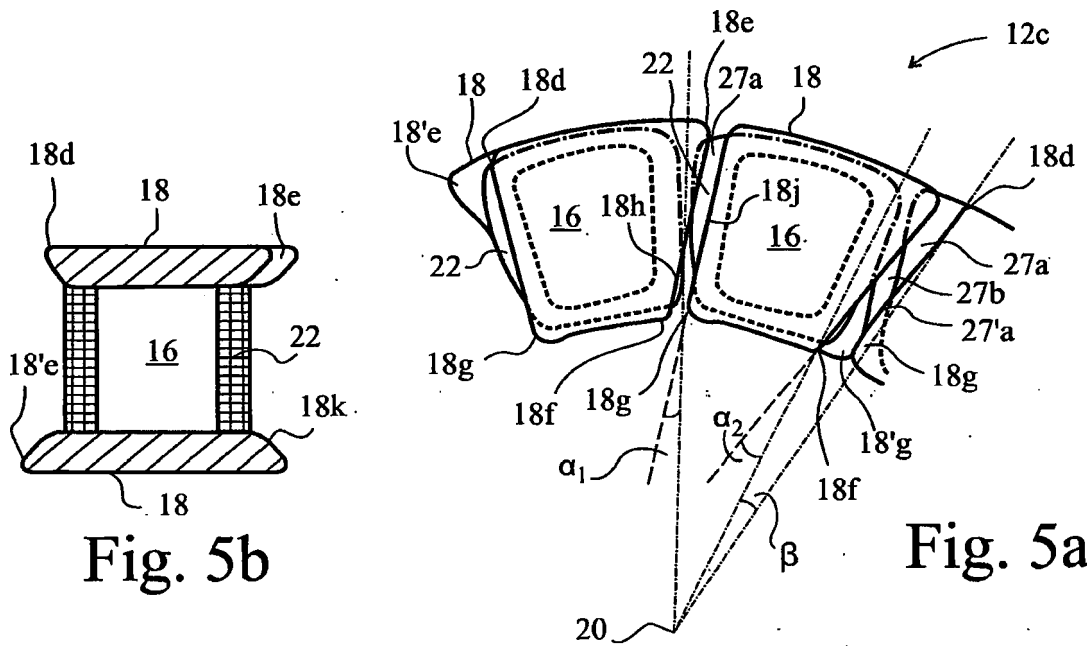


Fig. 5b

Fig. 5a

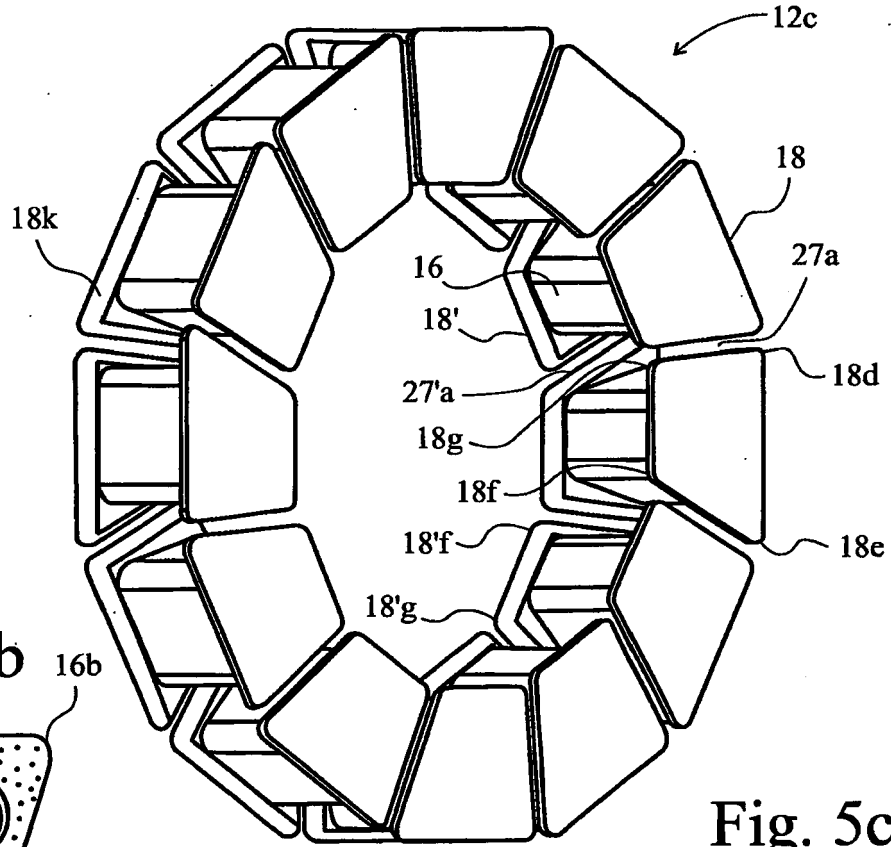


Fig. 5c

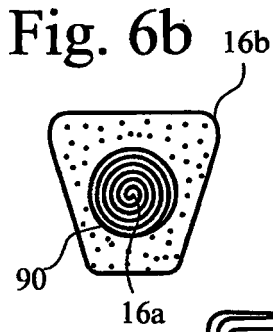


Fig. 6c

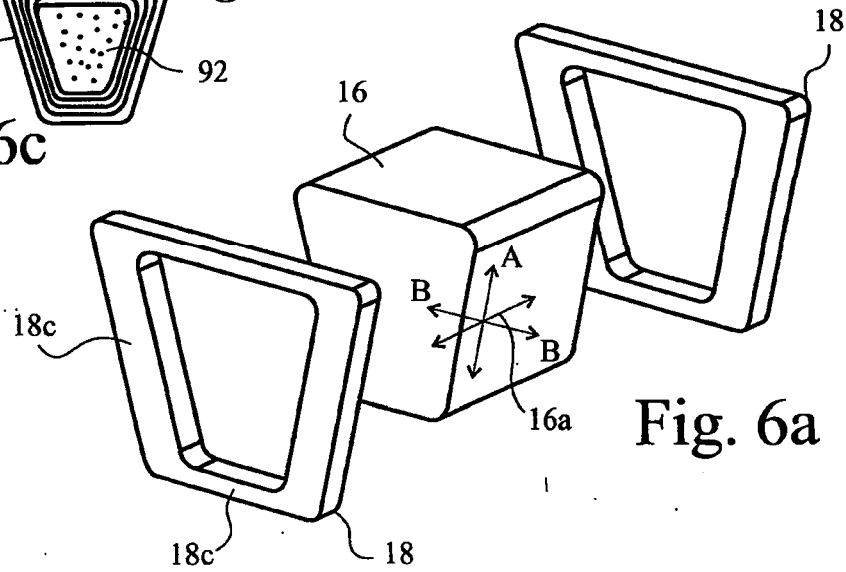


Fig. 6a

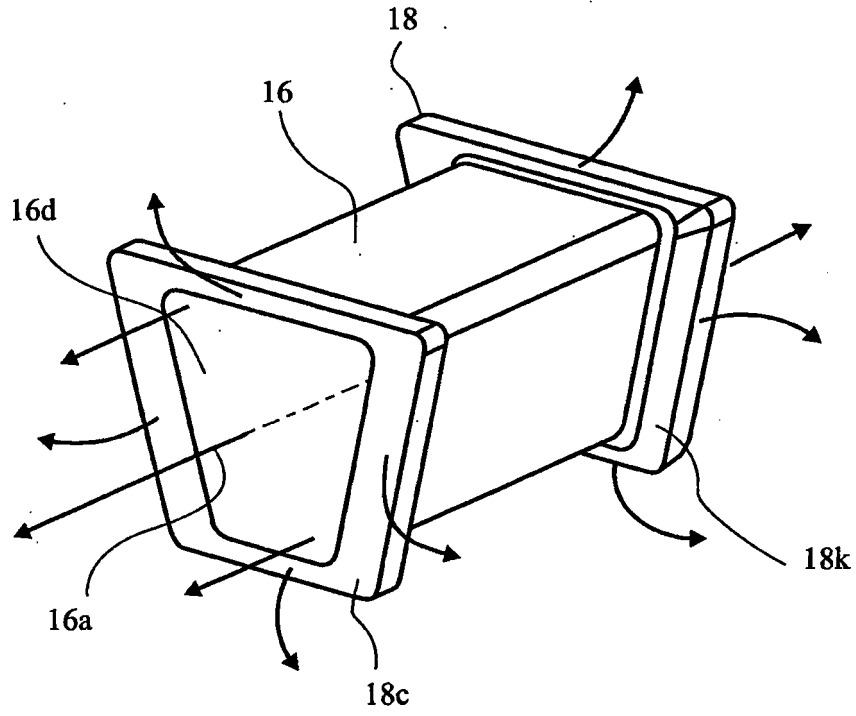


Fig. 6d

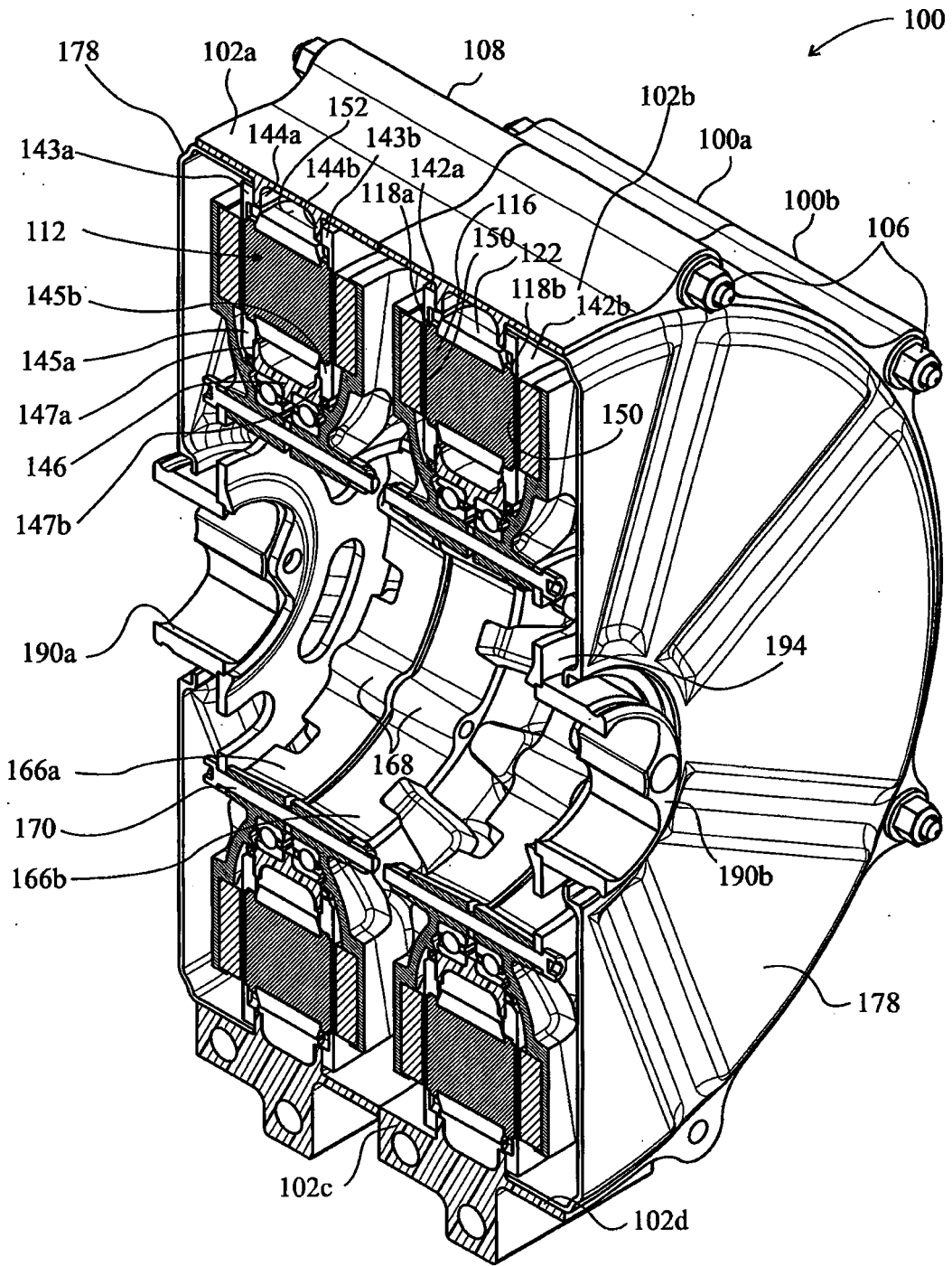


Fig. 7

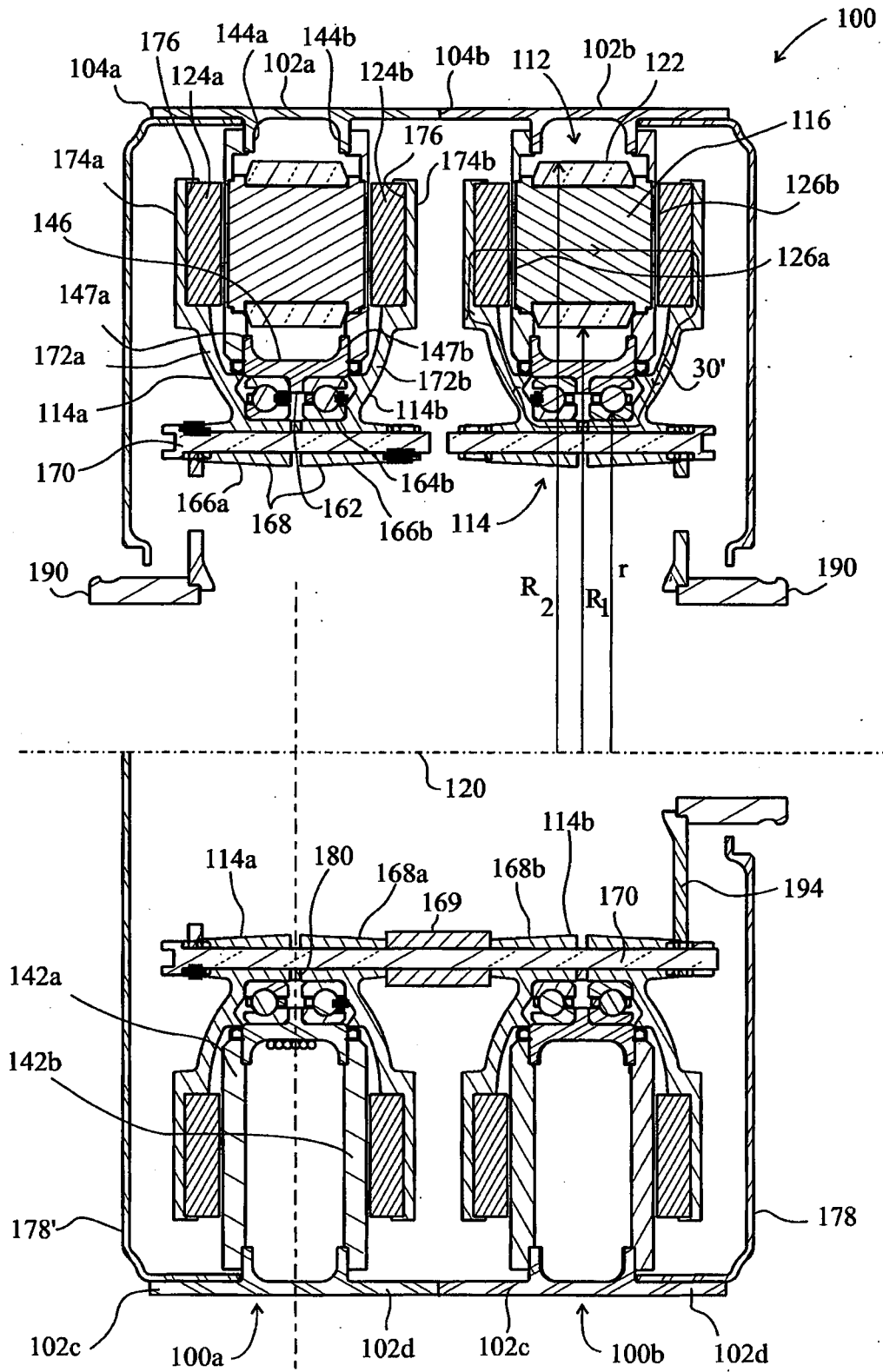


Fig. 8

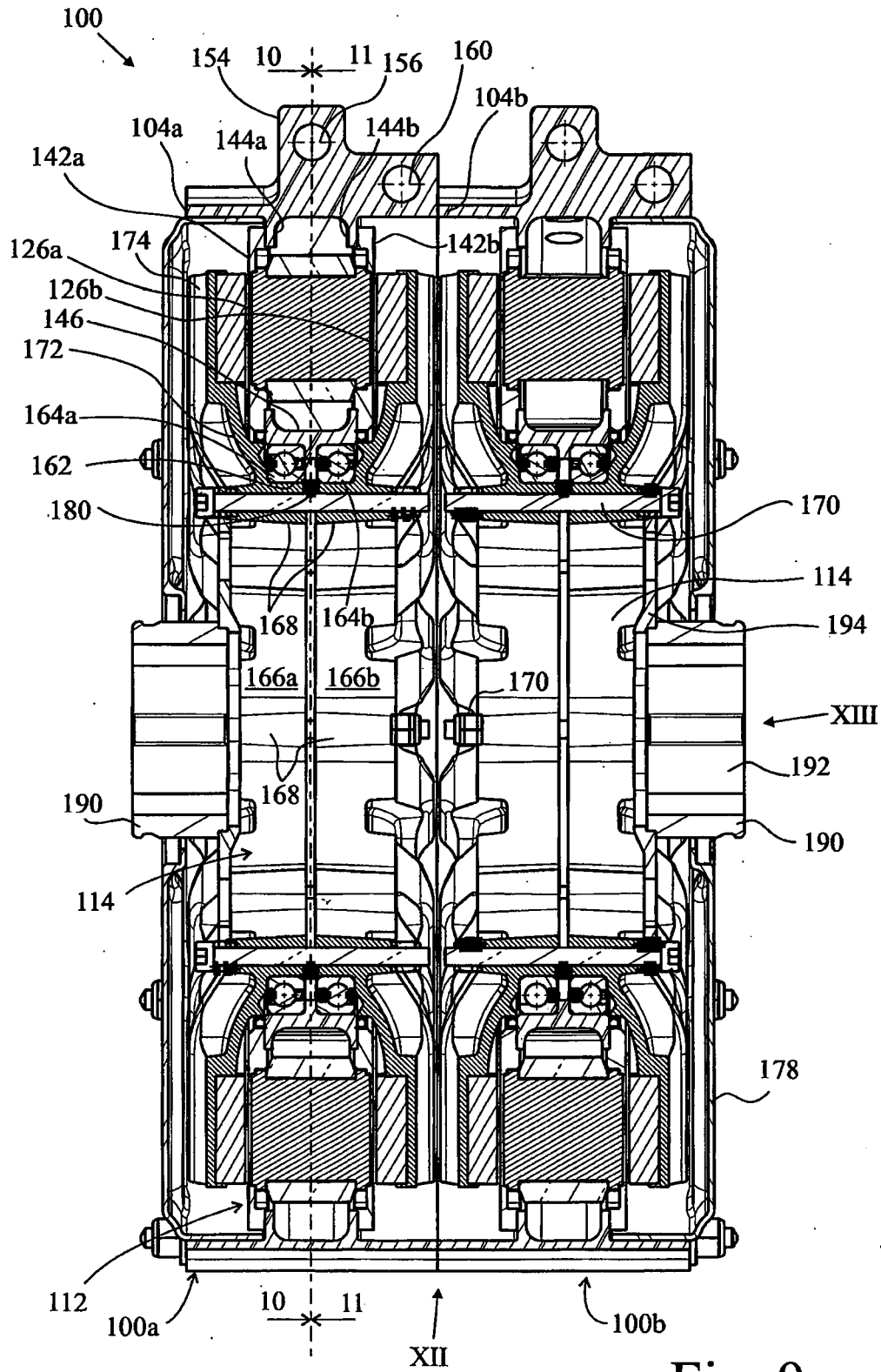


Fig. 9.

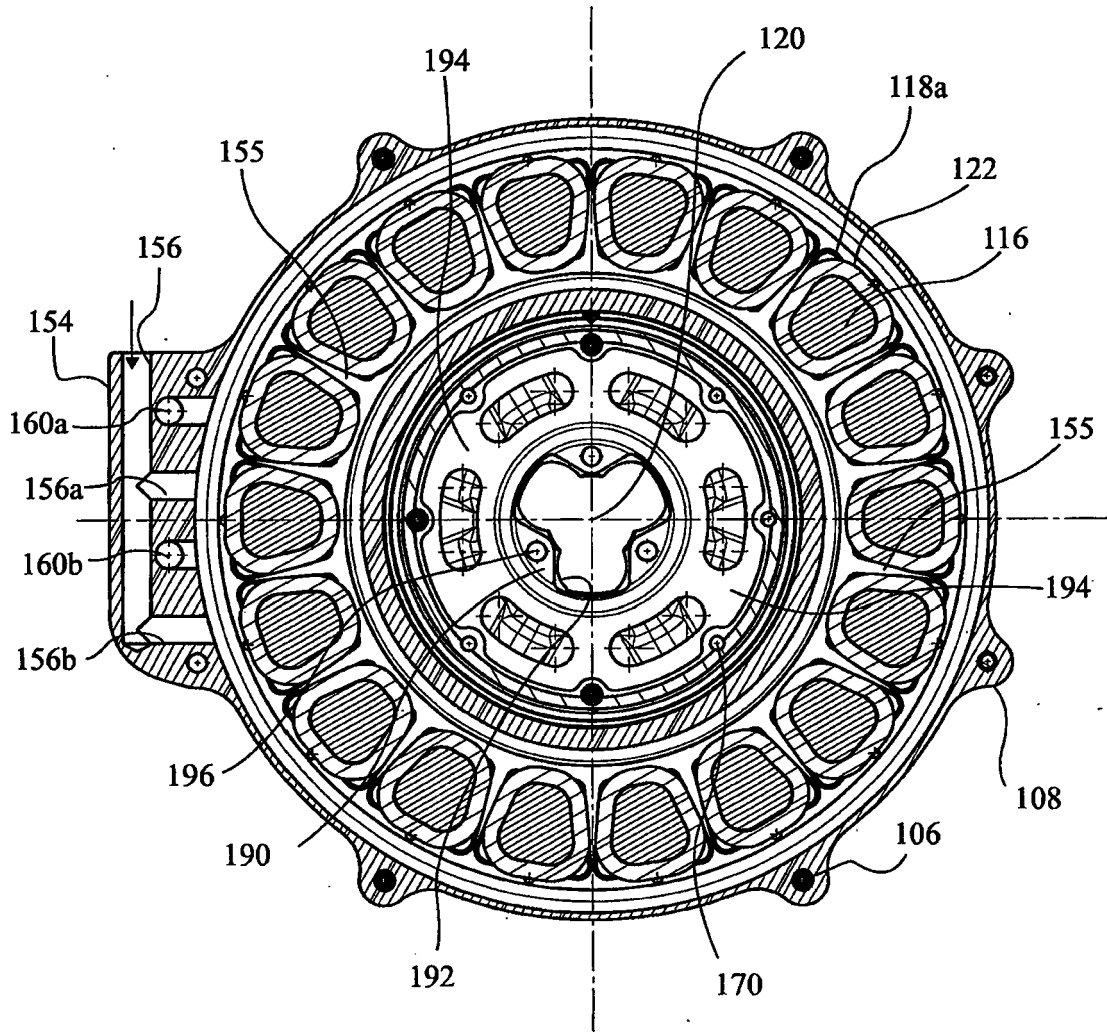


Fig. 10

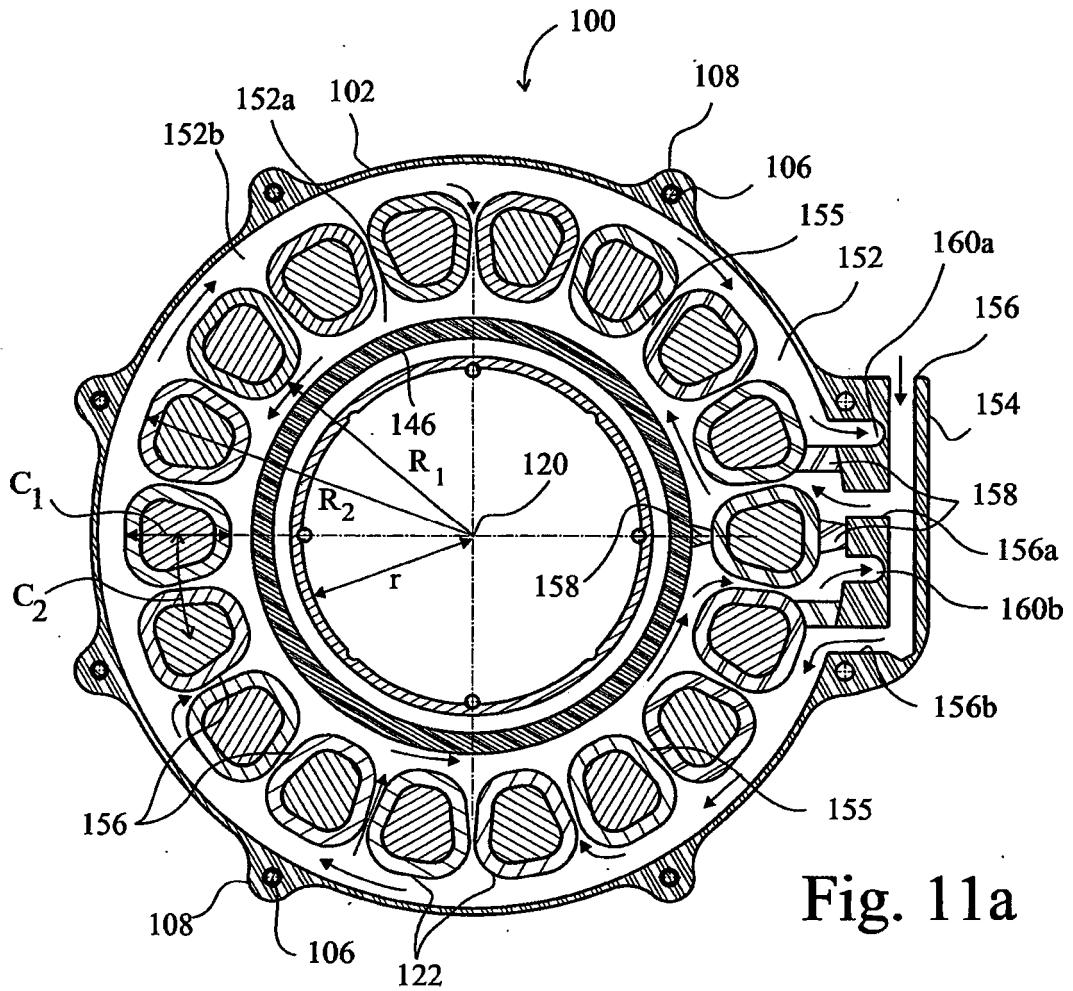


Fig. 11a

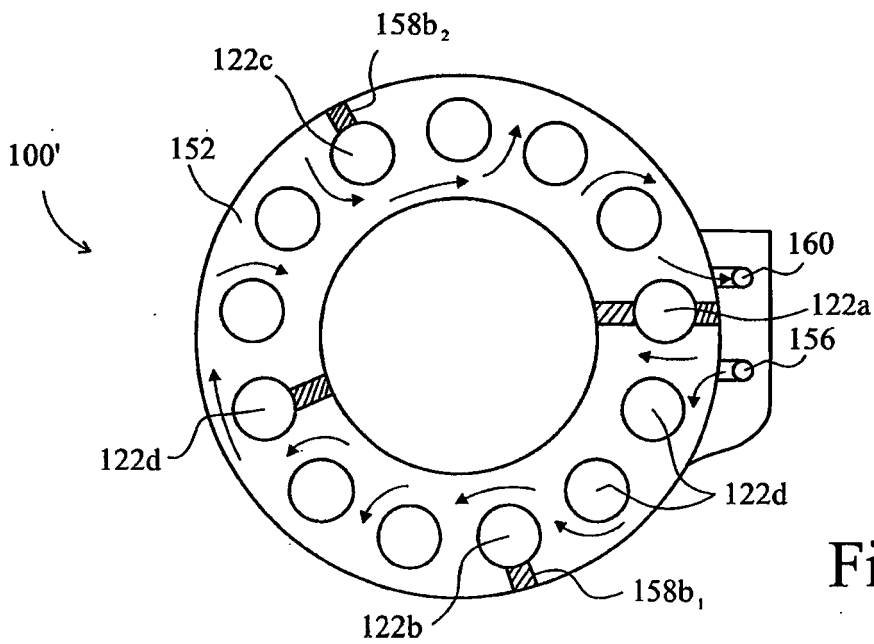


Fig. 11b

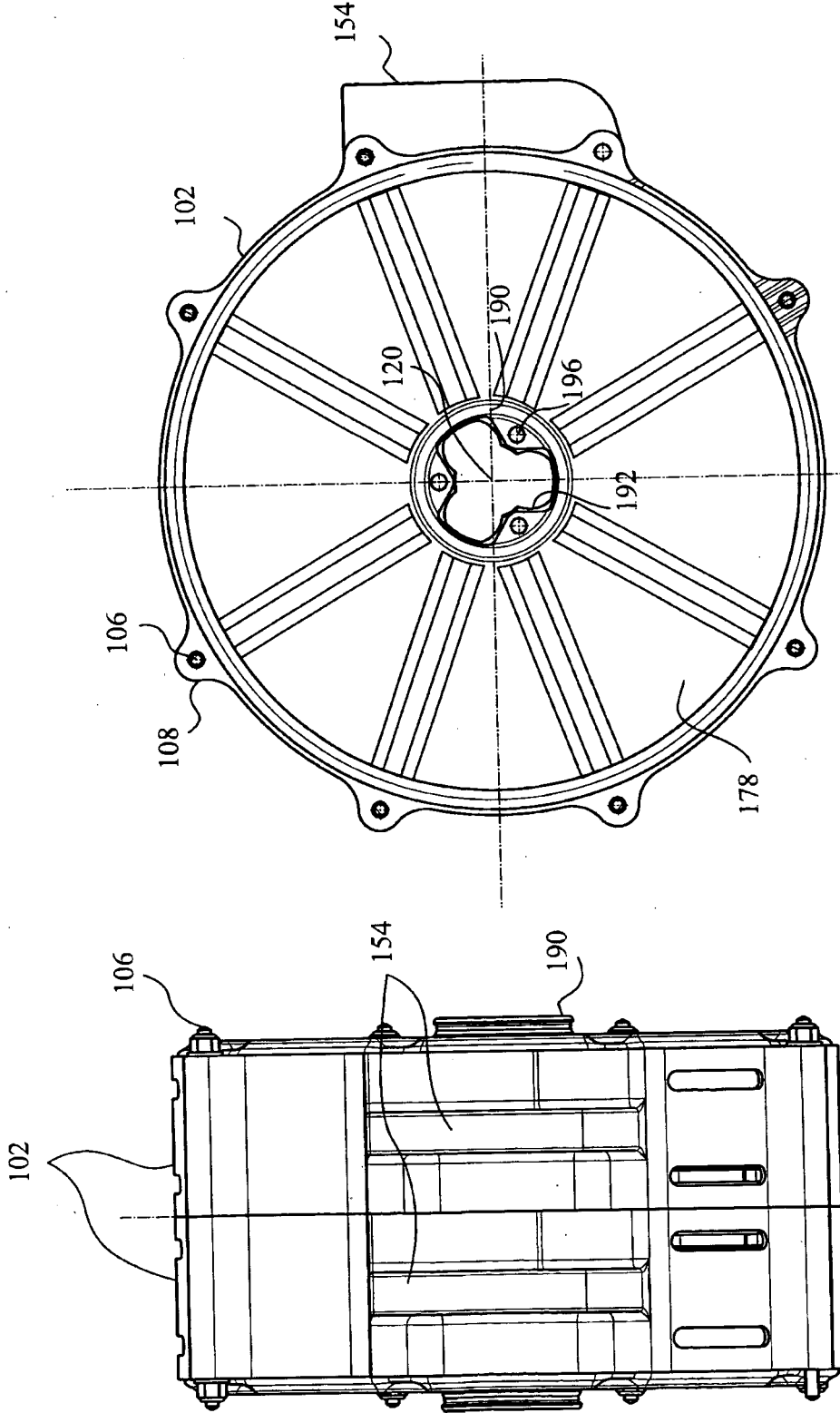


Fig. 13

Fig. 12