



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

(11) PI 0603363-6 B1



(22) Data do Depósito: 16/08/2006

(45) Data de Concessão: 13/03/2018

(54) Título: "MÁQUINA SÍNCRONA"

(51) Int.Cl.: H02K 1/27

(73) Titular(es): WHIRLPOOL S.A.

(72) Inventor(es): FLAVIO J. H. KALLUF; MILTON BRUNING

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para
"MÁQUINA SÍNCRONA".

[001] A presente invenção refere-se a uma máquina síncrona e a um processo de fabricação de uma máquina síncrona e, mais particularmente a uma máquina síncrona com ímãs permanentes no rotor e gaiola para partida direta.

Descrição do Estado da Técnica

[002] Máquinas síncronas com ímãs permanentes são conhecidas do estado da técnica e compreendem essencialmente um estator e um rotor, o rotor possuindo formato substancialmente cilíndrico tendo uma porção superficial e um núcleo de rotor, o rotor podendo ser provido de uma gaiola posicionada na porção superficial, a gaiola sendo formada por barras paralelas conectadas em suas extremidades por anéis de curto-circuito. Tal configuração de rotor é conhecida como rotor em gaiola e é útil no processo de partida da máquina. Internamente ao rotor, pode ser prevista a colocação de pares de ímãs permanentes que, por sua vez, são alocados em ranhuras de fixação de ímã que são posicionadas longitudinalmente no núcleo do rotor. No que se refere às características elétricas, o rotor possui uma pluralidade de polos, que varia de acordo com as características e aplicações de cada máquina.

[003] Os ímãs permanentes, alocados internamente ao rotor, têm propósito de gerar o fluxo de magnetização da máquina.

[004] Um fato comum encontrado em máquinas deste tipo é o vazamento de fluxo, causado pelo curto-circuito magnético dos ímãs, através das pontes de aço formadas nos seguintes pontos: 1) entre as ranhuras para alocação dos ímãs de um mesmo polo; 2) entre as ranhuras para alocação dos ímãs e as ranhuras adjacentes da gaiola; 3) entre o bico das ranhuras do rotor e o diâmetro externo do rotor. Este efeito, bem como os pontos de perda de fluxo podem ser

melhores entendidos através da figura 6 que mostra as linhas de fluxo magnético.

[005] Nesse sentido, o ideal, seria o núcleo totalmente cortado longitudinalmente com ímãs, conforme pode ser visto na figura 9, pois dessa forma, não haveria perda de fluxo magnético. A situação é apenas hipotética, pois, nesse caso, o rotor não teria a estabilidade mecânica necessária para o funcionamento da máquina elétrica.

[006] Uma das soluções do estado da técnica que revela o uso da aplicação de ímãs permanentes é descrita no documento US 6.876.119. Conforme os ensinamentos dessa técnica anterior, é descrito um motor síncrono tendo um rotor provido com ímãs configurados em "V", através da junção de dois ímãs engastados entre si. A solução, embora seja boa do ponto de vista magnético, pode apresentar problemas relativos à estabilidade (rigidez) mecânica do pacote de lâminas, devido à grande quantidade de aço removida durante a estampagem. Tal fato, aliado ao fato de que, durante a injeção de alumínio, ocorrem deformações significativas no pacote de aço, pode causar problemas de batimento no rotor, prejudicando a confiabilidade da máquina. Tais problemas exigem tratamento posterior do rotor para redução do batimento, tais como retífica, usinagem ou processo similar. A mesma referência ainda descreve a possibilidade de se configurar as ranhuras próximas à extremidade dos ímãs com uma profundidade maior, para que a mesma se aproxime do ímã e evite o curto-circuito do fluxo magnético de um polo a outro no mesmo ímã. Tal solução minimiza os problemas de curto-circuito de fluxo magnético, mas dificulta a construção da máquina elétrica, já que uma ranhura do rotor em gaiola precisa ser especialmente configurada e montada de maneira específica durante o processo de fabricação da máquina, exigindo ferramentas de estampagem diferenciadas, o que resulta complicações de ordem

prática e econômica.

[007] Outra característica desta referência é o fato de apresentar relutâncias similares nos eixos direto e eixo de quadratura. Desta maneira, entretanto, não é possível o aproveitamento dos torques de relutância no funcionamento em regime, isso ocorre pelos seguintes motivos:

[008] O torque gerado por um motor síncrono pode ser dividido em duas componentes:

a) Torque Síncrono: representa o torque de sincronização entre o campo do ímã e o campo girante principal. Pode ser calculado pela seguinte fórmula:

$$T_{sinc} = \frac{p}{2 \cdot \pi \cdot f} \cdot \left(\frac{V_1 \cdot E_f}{X_{sd}} \right) \cdot \sin \delta$$

onde,

p = número de polos

f = frequência [Hz]

V1 = tensão de alimentação [V]

Ef = FEM induzida pelos ímãs [V]

Xsd = reatância síncrona de eixo direto [Ω]

δ = ângulo de carga

b) Torque de Relutância: surge devido à diferença de relutância entre o eixo direto e eixo em quadratura. Pode ser calculado pela seguinte fórmula:

$$T_{rel} = \frac{P \cdot V_1^2}{4 \cdot \pi \cdot f} \cdot \left(\frac{1}{X_{sq}} - \frac{1}{X_{sd}} \right) \cdot \sin(2 \cdot \delta)$$

onde,

Xsq = reatância síncrona de quadratura [Ω]

[009] O torque total gerado pelo motor em velocidade síncrona é a soma de Tsinc + Trel. Desta forma, pode-se observar que as relutâncias de eixo direto e quadratura têm grande influência no valor do torque máximo obtido.

[0010] Mais especificamente, a influência de cada parcela de torque e sua variação em função do ângulo de carga do motor pode ser melhor compreendida se analisada graficamente conforme ilustrado na figura 1. Como mostrado pelas equações, diferentes valores de relutância do eixo direto e de quadratura podem levar a valores distintos de torque máximo gerado pelo motor. Usando como base um motor de 2 polos, pode-se calcular a magnitude do torque máximo para cada uma das configurações abaixo, na figura 2a, uma situação onde a magnitude do eixo direto é substancialmente igual ao do eixo de quadratura ($X_d \approx X_q$), na figura 2b ilustra-se uma situação onde a magnitude do eixo direto é menor que a do eixo de quadratura ($X_d < X_q$), e na figura 2c ilustra-se uma construção onde a magnitude do eixo direto maior que a do eixo de quadratura ($X_d > X_q$).

[0011] Para cada uma das alternativas, os valores de X_d e X_q foram obtidos por análise de elementos finitos. Utilizando as equações 1 e 2, calcula-se o valor do torque total em função do ângulo de carga do motor, conforme mostrado no gráfico da figura 3. Como pode ser visto no gráfico, o torque máximo é maior para o caso em que $X_d < X_q$. A maior parte do ganho deve-se à queda na reatância síncrona de eixo direto, que aumenta significativamente o valor da parcela do torque síncrono.

[0012] Um documento conhecido do estado da técnica é o documento Nº US 5,097,166 A, que descreve um rotor de alta velocidade para um motor síncrono de corrente alternada com ímã permanente que inclui uma pilha de laminações de rotor magneticamente permeáveis. Cada laminação do rotor é composta por uma pluralidade de ranhuras de barras condutoras para manter um elemento de partida e tendo aberturas viradas para fora para minimizar o escapamento do fluxo de campo magnético de rotação produzido pelos enrolamentos primários do estator e fendas magnéticas que

comportam ímãs permanentes para produzir um número par de polos magnéticos na periferia do rotor. A laminação ainda inclui uma pluralidade de ranhuras de barreira de fluxo ligadas às ranhuras do ímã para minimizar o escapamento de fluxo dos ímãs permanentes e formando pontes em uma configuração de anel entre as ranhuras de barras condutoras e as ranhuras de barreira de fluxo.

Objetivos da Invenção

[0013] De modo a superar os problemas do estado da técnica, a presente invenção tem os objetivos de reduzir o fluxo de curto-circuito junto às extremidades dos ímãs bem como em torno da ranhura do rotor em gaiola, através do uso de ranhuras no rotor especificamente dimensionadas para elevar a relutância à passagem do fluxo magnético de curto-circuito e assim reduzir as perdas que ocorrem de acordo com as técnicas anteriores. Além disso, problemas de dinâmica (batimento) que ocorrem nas máquinas do estado da técnica são superados, diminuindo-se quantidade de retífica, usinagem, etc. necessária.

[0014] Uma das soluções prevê a aplicação em uma máquina síncrona que possui uma ranhura de fixação para o ímã permanente, sendo tal ranhura especialmente dimensionada de maneira a ser provida com uma ponte alongada formando um canal de majoramento de relutância junto a primeira extremidade livre. A primeira extremidade livre é posicionada adjacentemente a uma das ranhuras da gaiola do rotor, e a ponte alongada é formada entre a extremidade livre da ranhura de fixação e a extremidade interna da ranhura de gaiola. A extremidade alongada sendo configurada a partir de uma abertura no rotor e prolonga-se ao longo do rotor e ao longo da ranhura de fixação. Tal configuração pode ser alcançada através de estampagem durante a fabricação das lâminas que formam o núcleo do rotor, ou ainda através de perfuração quando o rotor já está

montado.

[0015] Desta forma, o fluxo magnético que tende a vazar nas porções extremas do ímã, é reduzido, pois com a abertura do canal dentro do núcleo, a relutância ao fluxo magnético de curto-círcuito dos ímãs é elevada e as perdas são minimizadas.

[0016] Uma outra solução da presente invenção, é de se manter os ímãs dentro do rotor separados, e prover também um canal de majoramento de relutância junto à outra extremidade do canal de fixação de ímã (ou junto à segunda extremidade livre). Nesse caso, porém, como os ímãs permanentes são providos em pares, o canal de majoramento de relutância deve ser configurado de modo a ao mesmo tempo (i) evitar que ocorra curto-círcito do fluxo magnético e (ii) manter a resistência mecânica do rotor em níveis suficientes para que as características da máquina elétrica não sejam prejudicadas quando o rotor é movimentado.

[0017] Ainda, para evitar que o fluxo magnético seja curto circuitado por fora da ranhura do rotor, de acordo com a presente invenção prevê-se uma ponte superficial configurada através de uma abertura do núcleo junto à porção superficial e a extremidade de fundo da ranhura de gaiola (ou bico da ranhura), tal ponte superficial estendendo-se ao longo da superfície do rotor. Dessa maneira, alongando-se as pontes, junto às extremidades das ranhuras de fixação dos ímãs e abrindo as pontes entre as ranhuras da gaiola e a superfície externa do rotor, é possível reduzir o fluxo magnético de curto-círcito nas extremidades do ímã, e também reduzir o fluxo magnético de curto-círcito em torno das ranhuras da gaiola. Ao mesmo tempo, consegue-se manter a estabilidade mecânica do rotor.

[0018] Outro objetivo da presente invenção é gerar no rotor uma diferença significativa na relutância de eixo direto versus relutância de eixo de quadratura. Isso é obtido aproveitando-se as ranhuras para

colocação dos ímãs e pontes alongadas que formam canais de majoramento de relutância, que são dispostas de forma a dificultar a passagem de fluxo na direção do eixo direto e facilitá-la na direção do eixo de quadratura. Com esta solução, é possível aproveitar o torque de relutância gerado, de modo a maximizar o máximo torque em regime.

Breve Descrição da Invenção

[0019] São objetivos da presente invenção uma máquina elétrica síncrona com ímãs permanentes e partida direta, onde se reduza o vazamento do fluxo magnético gerado pelos ímãs e, ao mesmo tempo se obtenha um rotor com a resistência mecânica necessária para o bom funcionamento da máquina. Como segundo objetivo, tem-se o aumento da relação de relutâncias do rotor entre o eixo direto e eixo de quadratura.

[0020] Tais objetivos são alcançados através de uma máquina síncrona compreendendo um estator e um rotor, o rotor possuindo formato substancialmente cilíndrico tendo uma porção superficial e um núcleo de rotor, o rotor sendo provido com uma gaiola posicionada na porção superficial, a gaiola sendo formada por barras condutoras alocadas em ranhuras de gaiola e anéis que interconectam as barras em suas extremidades, o rotor compreendendo ainda ao menos um par de ímãs permanentes, os ímãs permanentes alocados em ranhuras de fixação de ímã, as ranhuras de fixação de ímã sendo posicionadas longitudinalmente no núcleo do rotor, a ranhura de fixação possuindo uma seção substancialmente retangular tendo uma região de engastamento e uma primeira porção extrema livre e uma segunda porção extrema livre, a ranhura de fixação estendendo-se ao longo do rotor, o ímã permanente sendo fixamente associado ao rotor na região de engastamento, a ranhura de fixação sendo posicionada de maneira secante à porção superficial do rotor, a ranhura de fixação

possuindo uma primeira extremidade alongada configurada de forma a criar um canal de majoramento de relutância junto a primeira porção extrema livre, a extremidade alongada prolongando-se desde a primeira porção extrema livre até uma região adjacente à extremidade do fundo da ranhura de gaiola, a primeira extremidade alongada sendo configurada a partir de uma abertura no rotor, a abertura prolongando-se ao longo do rotor e ao longo da ranhura de fixação.

[0021] Ainda, as ranhuras para fixação de imã são dotadas de limitadores de deslocamento adjacentes à primeira porção extrema livre e à segunda porção extrema livre, os limitadores de deslocamento sendo formados por porções de núcleo que se projetam internamente às ranhuras de fixação em direção paralela à espessura do ímã e apenas as ranhuras mais próximas das primeiras porções de extremidade livre das ranhuras de fixação dos ímãs permanentes são providas de uma ponte superficial configurada através de uma abertura do núcleo, o núcleo se prolongando ao longo da porção de superfície do rotor, a abertura proporcionada entre a parte de superfície do rotor e a extremidade exterior das ranhuras.

[0022] Um outro objetivo da presente invenção é alcançado através de um processo de fabricação de máquina síncrona onde a fabricação de um núcleo de rotor possui etapas de estampagem para formação de pontes alongadas e de canais de majoramento de relutância junto às extremidades das ranhuras de fixação de ímã e uma etapa de estampagem para que uma ponte superficial configurada através de uma abertura do núcleo seja provida entre a porção superficial do rotor e a extremidade externa das ranhuras de gaiola adjacentes às ranhuras de fixação dos ímãs.

Descrição Resumida dos Desenhos

[0023] A presente invenção será, a seguir, mais detalhadamente descrita com base em exemplos de execução representados nos

desenhos. As figuras mostram:

Figura 1 - um gráfico ilustrando a influência de cada parcela de torque e sua variação em função do ângulo de carga do motor;

Figuras 2a, 2b e 2c - ilustram diferentes configurações de motores de rotores de dois polos;

Figura 3 - ilustra um gráfico onde se pode observar o torque máximo no caso onde $X_d < X_q$;

Figura 4 - uma vista em corte esquemático do rotor de uma máquina síncrona, de acordo com os ensinamentos da presente invenção;

Figura 5 - vista em perspectiva da gaiola do rotor ilustrado na figura 4;

Figura 6 - uma vista em corte esquemático do rotor de uma máquina síncrona, ilustrando em mais detalhes os canais de majoramento de relutância de acordo com os ensinamentos da presente invenção;

Figura 7 - uma vista em corte esquemático do rotor de uma máquina síncrona, ilustrando em mais detalhes a abertura do núcleo entre a porção superficial e a extremidade externa de uma ranhura de gaiola de acordo com os ensinamentos da presente invenção;

Figura 8 - uma vista em corte esquemático do rotor de uma máquina síncrona construído de acordo com o estado da técnica, representando os pontos de vazamento de fluxo;

Figura 9 - uma vista em corte esquemático do rotor de uma máquina síncrona ilustrando uma situação hipotética de posicionamento de ímãs permanentes. Também são mostradas as direções dos eixos direto e de quadratura;

Figura 10 - vista em perspectiva do rotor ilustrado na figura 5 acabado;

Figura 11 - uma vista em corte esquemático do rotor de

uma máquina síncrona, mostrando um formato alternativo do canal de majoramento de relutância;

Figuras 12 e 13 - ilustram variações da presente invenção para máquinas de 4 polos; e

Figuras 14 e 15 - ilustram formatos alternativos da ranhura de fixação dos ímãs de acordo com os ensinamentos da presente invenção.

Descrição Detalhada das Figuras

[0024] Como pode ser visto a partir das figuras 4 a 7, a máquina síncrona de acordo com os ensinamentos da presente invenção, comprehende um estator (não-mostrado) e um rotor 10.

[0025] O rotor 10 possui um formato substancialmente cilíndrico e tem uma porção superficial 14 e um núcleo de rotor 12, sendo o rotor 10 provido com ranhuras 15 posicionadas na porção superficial do rotor 14 onde se aloca uma gaiola 17, tal gaiola 17 sendo formada por enrolamentos ou barras condutoras 16 alocadas nas ranhuras 15 e anéis 18 que interconectam as barras em suas extremidades. O conjunto todo pode receber um acabamento 71, conforme pode ser visto na figura 10.

[0026] Ainda conforme pode ser visto das figuras 4 a 7, onde se observa uma concretização de rotor em dois polos, nesta configuração o rotor 10 comprehende ainda ao menos um par de ímãs permanentes 22 que ficam alocados em ranhuras de fixação de ímã 20, sendo que estas ranhuras de fixação de ímã 20 são posicionadas longitudinalmente no núcleo do rotor 10. Preferencialmente a ranhura de fixação de ímã 20 estende-se ao longo do rotor 10 e possui uma seção substancialmente retangular tendo uma região de engastamento RE e uma primeira porção extrema livre 25 e uma segunda porção extrema livre 26. Conforme pode ser visto em detalhes nas figuras, cada ímã permanente 22 é fixamente associado ao rotor 10 na região

de engastamento RE.

[0027] O rotor 10 possui polos que se estendem ao longo de uma série de ranhuras de gaiola 16, de modo que para efeitos de explicação, na configuração de rotor em dois polos, pode-se dividir cada polo como tendo uma região central de polo CP e duas regiões extremas de polo EP.

[0028] Com relação ao posicionamento das ranhuras de fixação de ímã 20, estas são posicionadas de maneira secante à porção superficial 14 do rotor 10 e prolongam-se entre uma das regiões extremas de polo EP e a região central de polo CP, sendo que as ranhuras de fixação aproximam-se do fundo (ou bico) de ranhura 15' das ranhuras de gaiola 16.

[0029] Conforme pode ser visto em detalhes na figura 6, a ranhura de fixação 22 possui um canal de majoramento de relutância 50 junto a primeira extremidade livre 25 sendo que o canal de majoramento de relutância 50 é configurado de modo a formar uma ponte alongada, construída de modo a acompanhar todo ou ao menos a maior parte do fundo da ranhura 15' de rotor adjacente. Essa configuração pode ser vista com mais detalhes na figura 7.

[0030] Preferencialmente, se opta por configurar uma das extremidades da ranhura de fixação dos ímãs de modo a formar uma primeira extremidade alongada 101 para que a mesma prolongue-se desde a primeira porção extrema livre 25 até uma região adjacente à extremidade de fundo da ranhura 15', de modo que a ponte alongada formada contorne o fundo da ranhura 15', e assim se obtenha um canal de majoramento de relutância 50 mais delgado possível. Dessa forma, se opta preferencialmente por configurar as paredes do canal paralelas à extremidade do fundo da ranhura 15'.

[0031] Como pode ser observado na figura 7, e mais detalhadamente na figura 13, a primeira extremidade alongada 101

para um motor de dois polos e a primeira extremidade alongada 103 para um motor de quatro polos apresentam um formato curvo que envolve substancialmente as superfícies, ou os arredores, da extremidade do fundo da ranhura 15'.

[0032] Tal formato curvo mostrado nas figuras 7 e 13, abrange não apenas a extremidade do fundo da ranhura 15', mas também a região linear da ranhura, como mostrado especialmente na figura 13. Neste caso, como já mencionado, o canal de majoramento de relutância 50 acompanha total, ou parcialmente, o raio da extremidade do fundo da ranhura 15', acompanhando, portanto, de acordo com esta configuração, um fluxo de ranhura.

[0033] Ademais, tal como ilustrado na figura 7, a primeira extremidade alongada 101 é dotada de um canal de majoramento de relutância 50 que envolve parte do raio da ranhura de fundo, reduzindo assim o fluxo de dispersão.

[0034] A concretização do canal de majoramento de relutância 50 mostrada na figura 13, acompanha, devido ao seu formato, todo o raio da extremidade do fundo de ranhura 15', envolvendo, portanto, a maior parte da referida extremidade.

[0035] Ambas as concretizações da presente invenção permitem aumentar a relutância do canal de fluxo e o desempenho do motor, quando comparadas às soluções, ou canais de relutância, encontradas no estado da técnica. Utilizando as concretizações ora descritas, é possível aproximar a presente invenção de um modelo hipotético ideal, tal como ilustrado na figura 9.

[0036] Um modelo matemático da presente invenção e os resultados de simulação alcançados para o mesmo mostram que a característica associada ao envolvimento de parte do raio da ranhura de fundo oferece um ganho de performance para o motor, uma vez que o torque de relutância é aumentado.

[0037] Como as ranhuras de fixação de ímã 20, são posicionadas em "V" e são providas em pares, cada uma das ranhuras do par é posicionada simetricamente prolongando-se a partir das regiões extremas de polo EP até a região central de polo CP, o par de ranhuras de fixação 20 se aproximando adjacentemente à região central de polo CP e ficando as respectivas segundas porções extremas 26 adjacentes entre si. Nesse ponto, a ranhura de fixação dos ímãs é configurada de modo a formar uma segunda extremidade alongada 102 formando o canal de majoramento de relutância 60 prolongando-se a partir da respectiva segunda porção extrema livre 26 em direção a segunda porção extrema livre 26 da outra ranhura de fixação 20 do par, de modo que este canal fique adjacente à região central de polo CP.

[0038] Conforme pode se observar das figuras 6 e 7, cada um dos ímãs permanentes 22 possui uma secção transversal retangular tendo primeira e segundas terminações sendo que entre o par de ranhuras de fixação 20, a segunda extremidade alongada formando o canal de majoramento de relutância 60 é configurado de modo a prolongar-se em direção radial em referência ao centro geométrico do rotor 10, no sentido de um eixo direto, de modo a formar uma segunda extremidade alongada 102 formando um filete de núcleo 12 do rotor 10 com uma extensão 24 no sentido radial significativamente maior na região do canal de majoramento de relutância 60 em relação a uma largura 23 da ranhura de fixação dos ímãs 20.

[0039] Conforme pode ser visto das figuras 6 e 11, a canal de majoramento de relutância, pode ser configurado para ter arestas laterais paralelas (vide referência 60) ou não-paralelas (vide referência 80), ambas configurações feitas de modo a atender simultaneamente as restrições de desempenho do motor, bem como da respectiva rigidez mecânica do rotor 10. Em todos os casos, opta-se prolongar as

segundas extremidades alongadas 102 localizadas na região central de polo CP de modo que fiquem adjacentemente posicionadas uma em relação à outra extremidade alongada do par e de modo muito proximamente posicionadas entre si.

[0040] Ademais, para evitar que o fluxo magnético proveniente dos ímãs permanentes 22 se propague através das pontas das ranhuras de gaiola 16 junto às extremidades livres das ranhuras de fixação de ímã 20, estas ranhuras de gaiola 16 são construídas de forma a apresentar uma ponte superficial 70 configurada através de uma abertura do núcleo 12, sendo essa ponte superficial 70 provida entre a porção superficial 14 do rotor 10 e a extremidade externa da ranhura de gaiola 16 e estende-se ao longo da porção superficial 14 do rotor 10.

[0041] Uma característica essencial da presente invenção está relacionada ao uso da ponte superficial 70 configurada de modo particular, tal como ilustrado da figura 7, de forma que a abertura do núcleo 12 está localizada radialmente com relação ao seu respectivo canal de majoramento de relutância 50. A figura 7 mostra o canal de majoramento de relutância 50 e a sua correspondente ponte superficial 70, a fim de evitar o fluxo de dispersão. Adicionalmente, tal como ilustrada na figura 6, a ponte superficial 70 é aplicada apenas radialmente frente a seu respectivo canal de majoramento de relutância, e não em todas as ranhuras como descrito nas técnicas anteriores.

[0042] A presente solução oferece um melhor desempenho mecânico, isto é, melhor estabilidade, além de um melhor desempenho eletromagnético para o motor, uma vez que a ponte superficial 70 (abertura) não está distribuída em todas as ranhuras, mantendo, assim, o fluxo preservado.

[0043] A combinação da ponte superficial 70 com o canal de

majoramento de relutância, de acordo com os ensinamentos da presente invenção, permite que o motor síncrono alcance uma solução otimizada frente às técnicas hoje conhecidas.

[0044] Os conceitos da presente invenção são aplicáveis a qualquer número de polos de rotor. Pode-se observar através das figuras 12 e 13 como seria a aplicação deste conceito para a configuração de rotor em quatro polos.

[0045] Nessa concretização, pode-se observar que cada ranhura de fixação de 20, se prolonga entre uma região extrema de polo EP até uma outra região extrema de polo EP subsequente, formando uma terceira extremidade alongada 103 que é configurada para que o canal de majoramento de relutância 50 nesse caso seja configurado junto ao fundo da ranhura 15', contornando-a paralelamente ao respectivo perfil, da mesma maneira que na primeira concretização do presente pedido, ou seja, junto a primeira extremidade livre 25.

[0046] Como na presente concretização o ângulo entre as ranhuras de fixação 20 é de 90º, pode-se optar por configurar a região interna das extremidades das ranhuras de fixação 100 de modo que tenha arestas laterais paralelas 60' conforme visto em detalhes na figura 13, ou não-paralelas (não-mostrado), de maneira análoga àquela mostrada na figura 11 que ilustra a outra concretização.

[0047] Ainda, nessa configuração, poderia-se optar por construir uma máquina com quatro polos tendo ainda uma ponte superficial 70 provida entre a porção superficial 14 do rotor 10 e a extremidade externa da ranhura de gaiola 16 e estende-se ao longo da porção superficial 14 do rotor 10, tal como ocorre na outra concretização já descrita, devendo-se ater para o fato de que a estabilidade mecânica deverá ser levada em consideração, para manter o rotor 14 rígido suficiente para as condições de projeto.

[0048] Tendo em vista a necessidade de se construir máquinas

com maior número de polos, basta que se aplique combinações das configurações descritas nas duas concretizações acima, utilizando-se o conceito de se prover as ranhuras de fixação 20 com pontes alongadas que formem canais de majoramento de relutância 50 e assim diminuam o curto-círcuito do fluxo magnético.

[0049] Tendo ainda como base a concretização sugerida nas figuras acima descritas, são também apresentadas alternativas de desenhos que trazem variações que podem facilitar o processo de fabricação do rotor e/ou garantir a integridade do motor durante seu funcionamento. Uma destas concretizações é ilustrada nas figuras 14 e 15 que mostram alternativas para o formato das extremidades das ranhuras de fixação, que podem ser usadas com o objetivo de facilitar o processo de fabricação e evitar o deslocamento do ímã 22 durante a magnetização e/ou funcionamento normal da máquina, sendo que o princípio básico destes formatos alternativos é o uso de limitadores de deslocamento 200,201 adjacentes às porções extremas 25,26 do ímã, sendo os limitadores formados por porções do núcleo 12 que se projetam internamente à ranhura de fixação dos ímãs 20 na direção paralela da espessura do ímã, formando protuberâncias que limitam seu deslocamento lateral. Nessa forma de fixação do ímã, pode-se optar pela configuração ilustrada na figura 14, onde somente um dos lados da ranhura possui limitadores de deslocamento 200,201, sendo que em cada extremidade pode se optar por projetar o limitador vindo a partir de um lado oposto da ranhura, ou podendo-se configurar os limitadores sempre que vindos de um lado da ranhura, ou ainda providos somente em uma porção extrema, conforme pode ser visto a partir da concretização ilustrada na figura 15. As demais características da máquina síncrona permanecem inalteradas.

[0050] Ademais, é previsto, de acordo com a presente invenção, um processo de fabricação de máquina síncrona que possui etapas de

estampagem para formação dos canais de majoramento de relutância 50 e 60 junto às ranhuras de fixação dos ímãs, bem como compreende uma etapa de estampagem para que uma abertura 70 do núcleo 12 seja provida entre a porção superficial e a extremidade externa de uma ranhura de gaiola.

[0051] Mais particularmente, este tipo de estampagem é vantajoso quando comparada às técnicas anteriores, uma vez que é possível fabricar as ranhuras de fixação, as primeira 101 e segunda 102 extremidades alongadas durante o próprio processo de estampagem, evitando custos adicionais relacionados ao uso de outros materiais, ou em tempo de desenvolvimento, tal como descrito no estado da técnica.

[0052] Além disso, como mencionado anteriormente, os limitadores de deslocamento 200, 201 foram projetados em lados opostos, tal como ilustrado na figura 14, a fim de manter a estabilidade mecânica de cada ranhura de fixação. Tais limitadores de deslocamento, de acordo com os ensinamentos da presente invenção, são fabricados durante o processo de estampagem, semelhante à fabricação das primeira 101 e segunda 102 extremidades alongadas, a fim de facilitar e/ou auxiliar a fabricação do motor.

[0053] Em termos de rendimento, quando comparada à técnica anterior, os ganhos da presente invenção são significativos. O uso das pontes alongadas e das extremidades alongadas garante um maior aproveitamento do fluxo gerado. Assim, em termos comparativos, um motor construído segundo ensinamentos do estado da técnica tem um aproveitamento de fluxo que fica entre 80 e 85%, ao passo que em um motor construído segundo os ensinamentos da presente invenção, o rendimento fica dentro da faixa de 85 e 90%.

[0054] Tendo sido descritos exemplos de concretização preferidos, deve ser entendido que o escopo da presente invenção abrange outras possíveis variações, sendo limitado tão somente pelo teor das

reivindicações apensas, aí incluídos os possíveis equivalentes.

REIVINDICAÇÕES

1. Máquina síncrona compreendendo um estator e um rotor (10), o rotor (10) possuindo formato substancialmente cilíndrico tendo uma porção superficial e um núcleo (12) de rotor, o rotor (10) sendo provido com uma gaiola (16) posicionada na porção superficial, a gaiola (16) sendo formada por barras condutoras alocadas em ranhuras de gaiola (15) e anéis (18) que interconectam as barras em suas extremidades,

o rotor (10) compreendendo ainda ao menos um par de ímãs permanentes (22), os ímãs permanentes (22) alocados em ranhuras de fixação de ímã (20), as ranhuras de fixação de ímã (20) sendo posicionadas longitudinalmente no núcleo (12) do rotor (10),

cada ranhura de fixação (20) possui uma seção substancialmente retangular tendo uma região de engastamento (RE) e uma primeira porção extrema livre (25) e uma segunda porção extrema livre (26), a ranhura de fixação (20) estendendo-se ao longo do rotor (10), o ímã permanente (22) sendo fixamente associado ao rotor (10) na região de engastamento (RE), a ranhura de fixação (20) sendo posicionada de maneira secante à porção superficial do rotor (10), a ranhura de fixação (20) possuindo uma primeira extremidade alongada (101) configurada de forma a criar um canal de majoramento de relutância (50) junto a primeira porção extrema livre (25), a extremidade alongada (101) prolongando-se desde a primeira porção extrema livre (25) até uma região adjacente à extremidade do fundo da ranhura de gaiola (15'), a primeira extremidade alongada (101) sendo configurada a partir de uma abertura no rotor (10), a abertura prolongando-se ao longo do rotor (10) e ao longo da ranhura de fixação (20),

a máquina síncrona sendo caracterizada pelo fato de que:
as ranhuras para fixação de ímã (20) sendo dotadas de

limitadores de deslocamento (200, 201) adjacentes à primeira porção extrema livre (25) e à segunda porção extrema livre (26), os limitadores de deslocamento sendo formados por porções de núcleo (12) que se projetam internamente às ranhuras de fixação (20) em direção paralela à espessura do ímã (23); e

apenas as ranhuras (15) mais próximas das primeiras porções de extremidade livre (25) das ranhuras de fixação (20) dos ímãs permanentes (22) são providas de uma ponte superficial (70) configurada através de uma abertura do núcleo (12), o núcleo (12) se prolongando ao longo da porção de superfície (14) do rotor (10), a abertura proporcionada entre a parte de superfície (14) do rotor (10) e a extremidade exterior das ranhuras (15).

2. Máquina síncrona de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de que o rotor (10) possui polos tendo uma região central de polo (CP) e regiões extremas de polo (EP), a ranhura de fixação (20) prolongando-se entre a região extrema de polo (EP) e a região central de polo (CP), é provida em pares e é posicionada de modo que cada uma das ranhuras do par seja posicionada simetricamente prolongando-se a partir das regiões extremas de polo (EP) e a região central de polo (CP), o par de ranhuras de fixação se aproximando junto à região central de polo (CP) e ficando adjacentes entre si,

uma segunda extremidade alongada (102) sendo configurada junto à segunda porção extrema livre (26) da ranhura de fixação (20) adjacente à região central de polo (CP) de modo a possibilitar a formação de um canal de majoramento de relutância (60, 80).

3. Máquina síncrona de acordo com a reivindicação 2, caracterizada pelo fato de que a segunda extremidade alongada (102) é configurada de modo a formar o canal de majoramento de relutância

(60, 80) e prolongam-se a partir da respectiva segunda porção extrema livre (26) em direção a segunda porção extrema livre (26) da outra ranhura de fixação (20) do par.

4. Máquina síncrona de acordo com a reivindicação 1 ou 3, caracterizada pelo fato de que a primeira extremidade alongada (101) é configurada de modo a prolongar-se na direção da extremidade livre da ranhura de fixação (20), de modo a ter a porção extrema paralela à extremidade do fundo da ranhura (15').

5. Máquina síncrona de acordo com a reivindicação 4, caracterizada pelo fato de que a primeira extremidade alongada (101) é configurada de modo a acompanhar todo ou ao menos a maior parte do fundo da ranhura (15') de rotor (10).

6. Máquina síncrona de acordo com a reivindicação 3, caracterizada pelo fato de que o canal de majoramento de relutância é configurado de modo a prolongar-se em direção radial em referência ao centro geométrico do rotor (10), no sentido de um eixo direto, de modo a formar um filete de núcleo (12) do rotor (10) com uma extensão (24) no sentido radial significativamente maior na região do canal de majoramento de relutância (60) em relação a uma largura (23) da ranhura de fixação dos ímãs (20).

7. Máquina síncrona de acordo com a reivindicação 6, caracterizada pelo fato de que o canal de majoramento de relutância (60) tem arestas laterais paralelas ou não-paralelas.

8. Máquina síncrona de acordo com a reivindicação 7, caracterizada pelo fato de que uma das extremidades (101,102) adjacente à região central de polo Cp, projeta-se em direção ao outro par, de modo que as porções extremas das ranhuras de fixação (20) fiquem adjacentemente posicionadas entre si.

9. Máquina síncrona de acordo com a reivindicação 8, caracterizada pelo fato de que as porções de extremidades alongadas

ficam adjacentemente e muito proximamente posicionadas entre si.

10. Máquina de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de que a ranhura de fixação (20) se prolonga entre uma região extrema de polo (EP) até uma outra região extrema de polo (EP) subsequente, as porções extremas da ranhura de fixação de ímã (20) sendo providas com uma terceira extremidade alongada (103) formando canais de majoramento de relutância (50) que contornam o fundo da ranhura (15').

11. Máquina de acordo com a reivindicação 10, caracterizada pelo fato de que a terceira extremidade alongada (103) é configurada de modo a ter arestas laterais paralelas (60').

P10600363

1/6

24

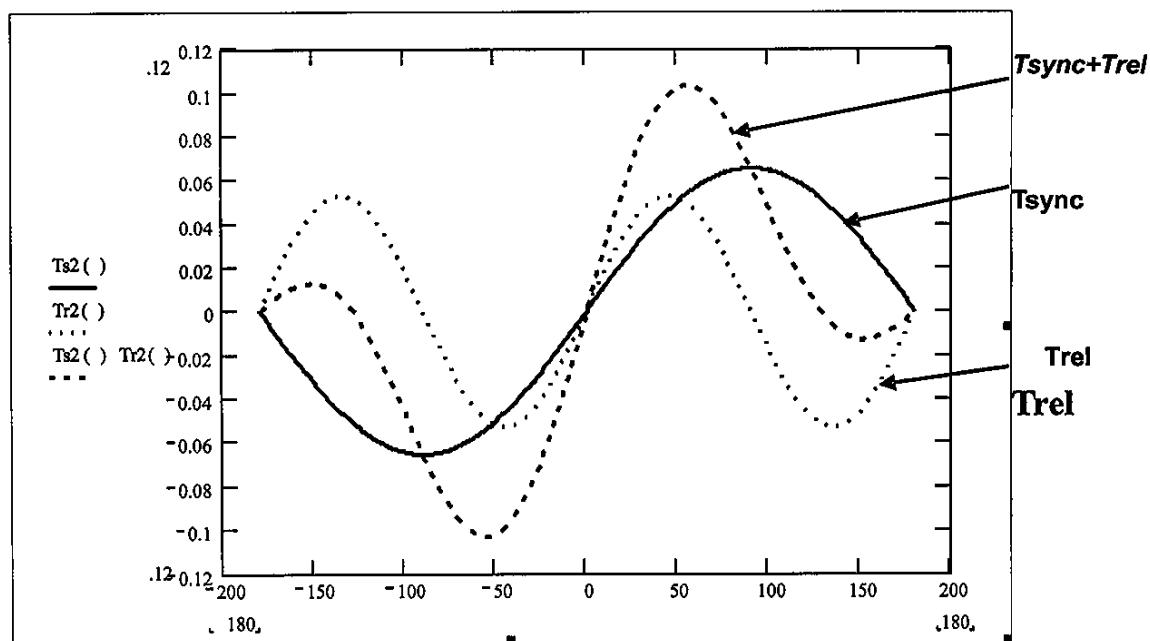


FIG. 1

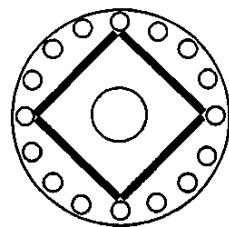


FIG. 2a

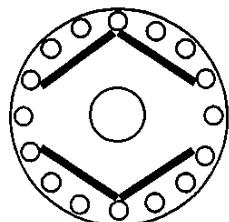


FIG. 2b

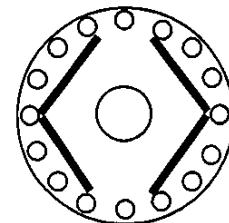


FIG. 2b

P10603363

2/6

2

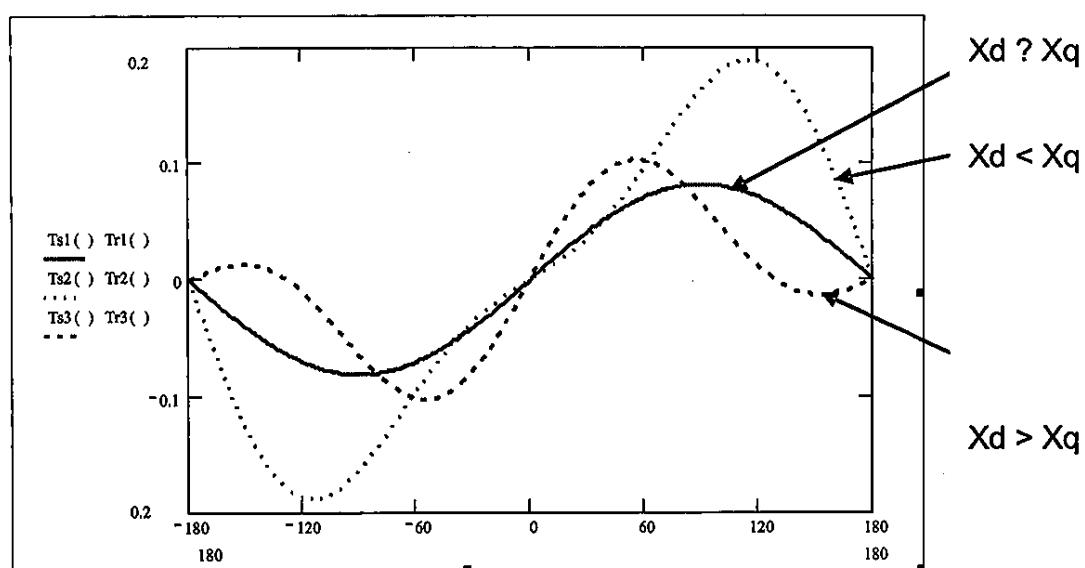


FIG. 3

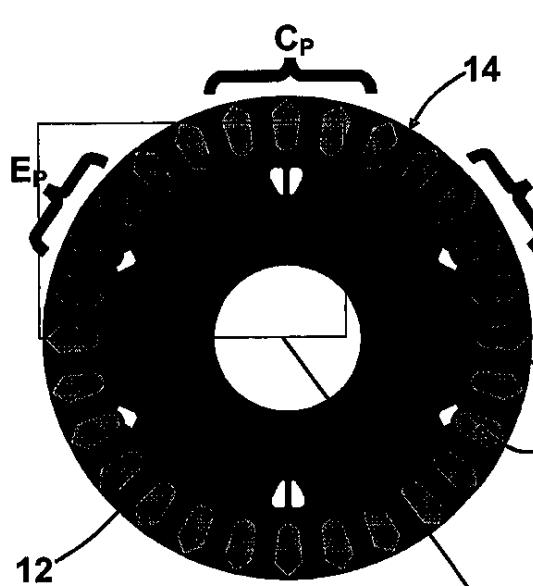


FIG. 4

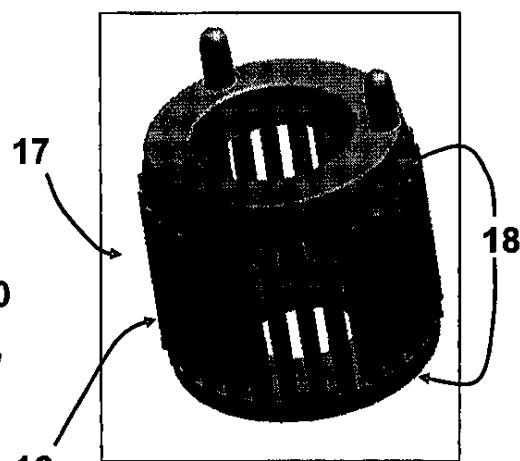


FIG. 5

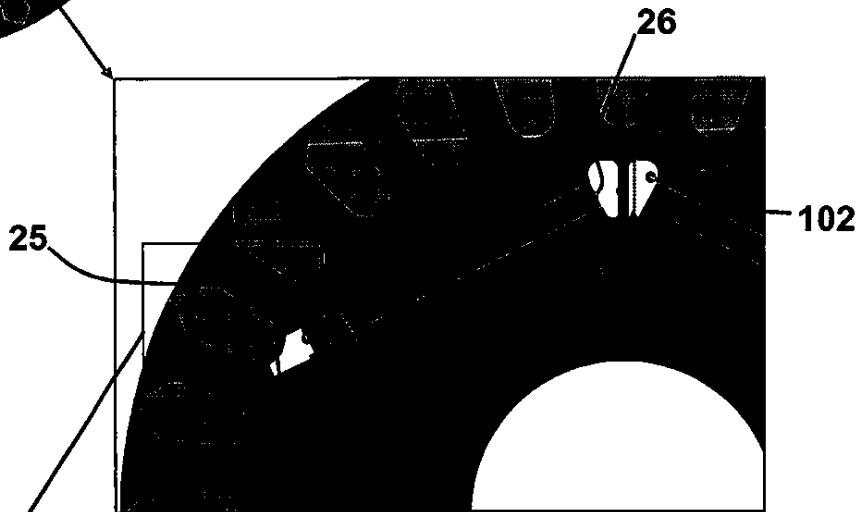


FIG. 6

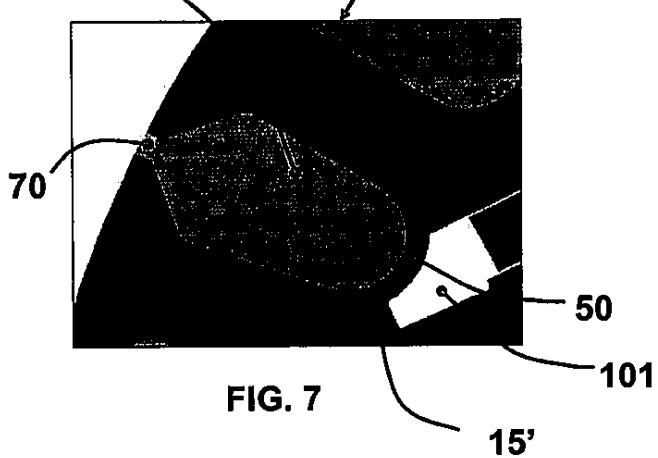


FIG. 7

P10603363

4/6
2

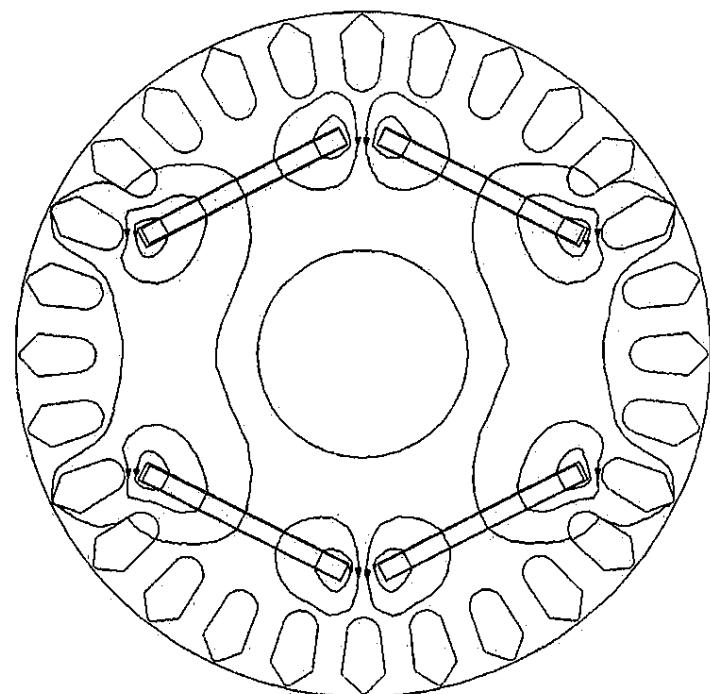


FIG. 8

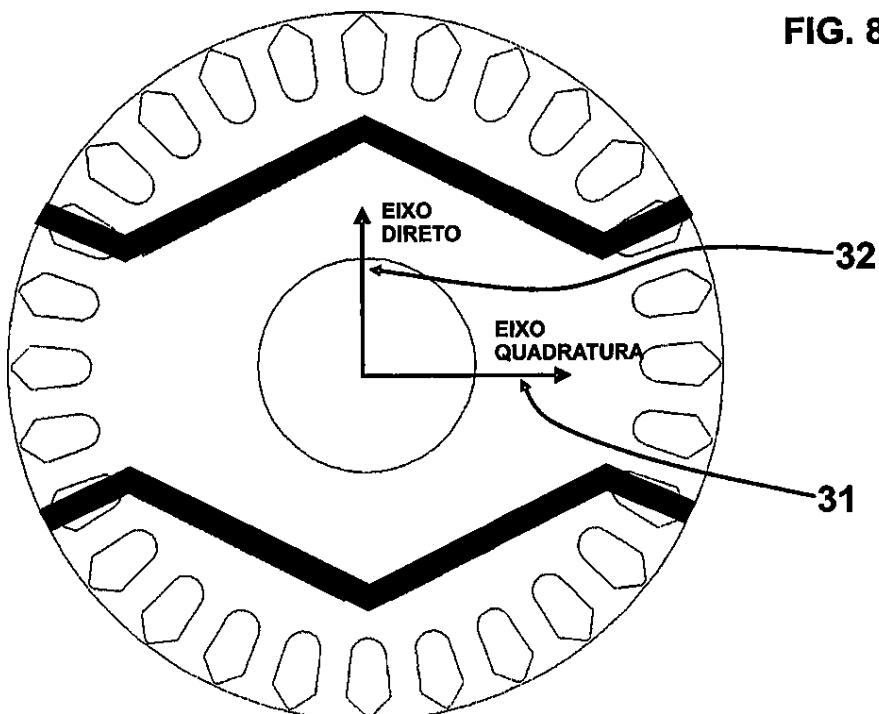


FIG. 9

P106003363

5/6

23

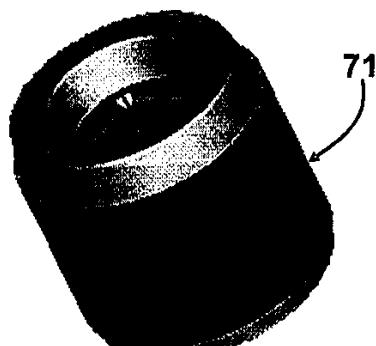


FIG. 10

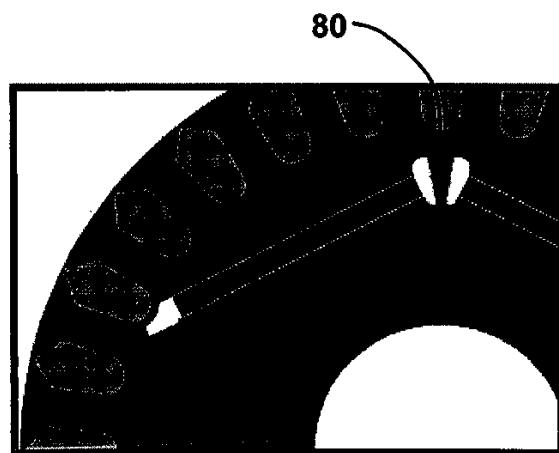


FIG. 11

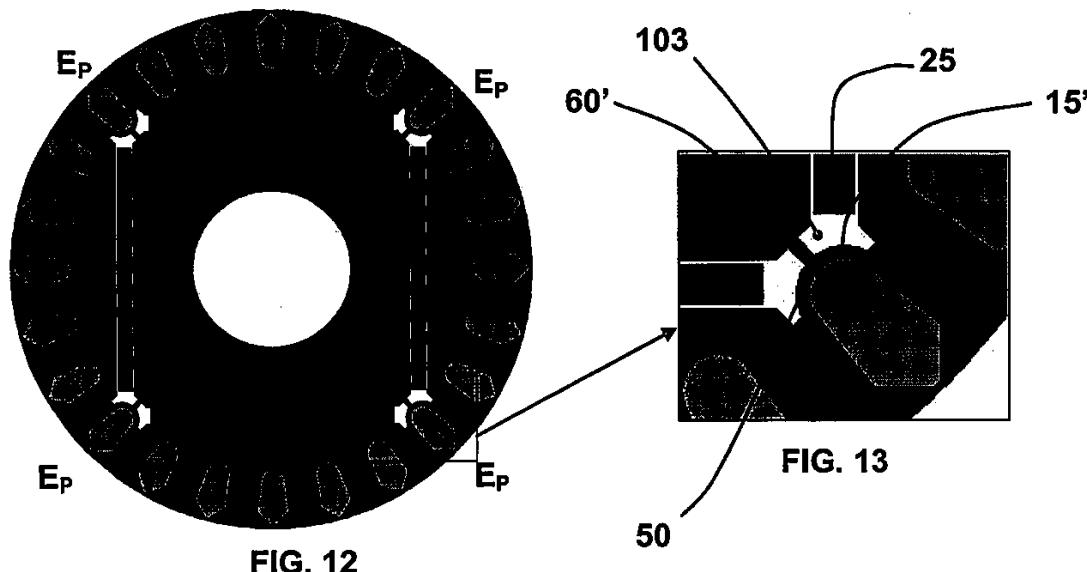


FIG. 12

FIG. 13

PI0603363

6/6

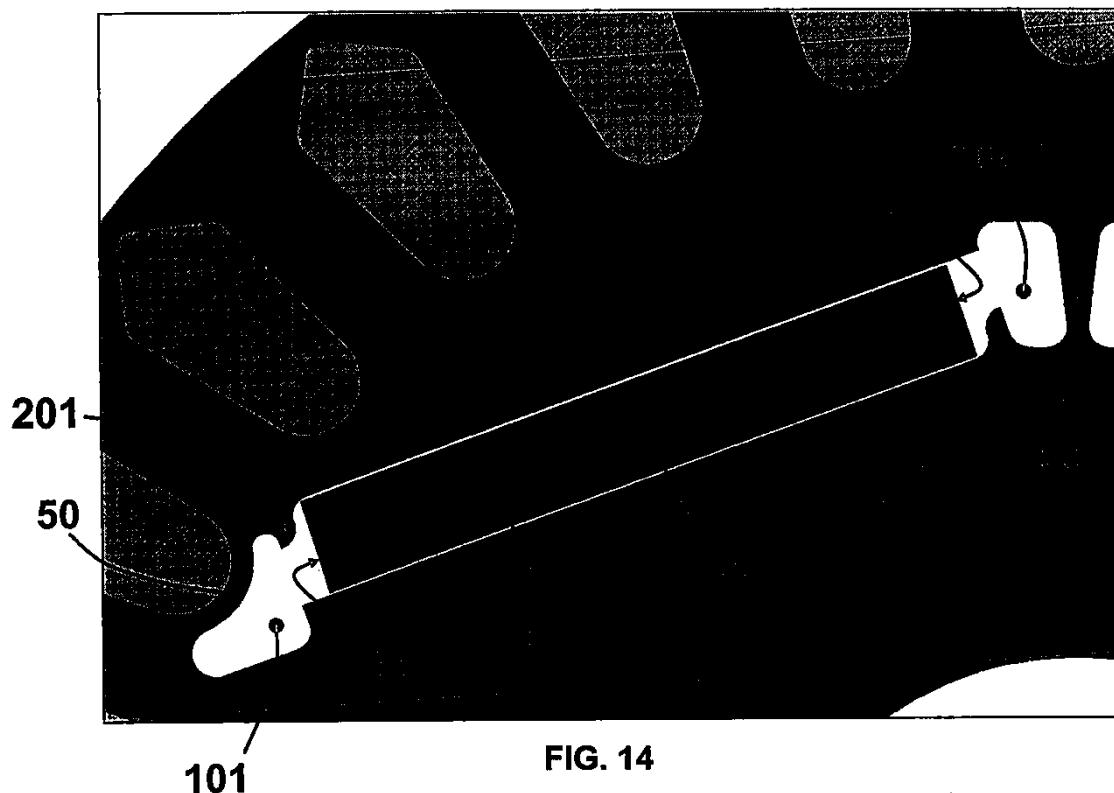


FIG. 14

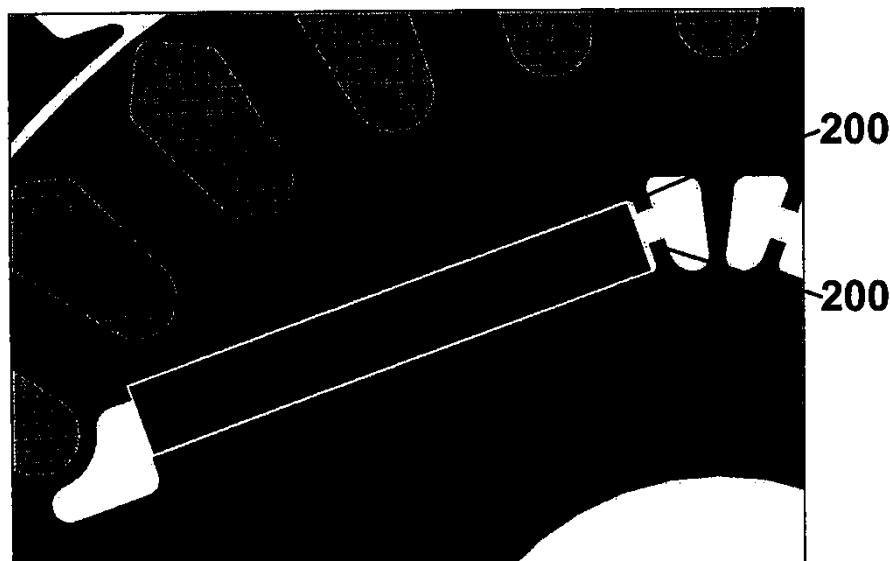


FIG. 15