



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

(11) BR 112018006116-6 B1



(22) Data do Depósito: 30/09/2016

(45) Data de Concessão: 10/01/2023

(54) Título: APARELHO PARA UM MOTOR ELÉTRICO E/OU GERADOR

(51) Int.Cl.: H02K 3/26; H02K 9/22.

(30) Prioridade Unionista: 02/10/2015 US 62/236,407; 02/10/2015 US 62/236,422; 30/06/2016 US 15/199,527.

(73) Titular(es): E-CIRCUIT MOTORS, INC..

(72) Inventor(es): STEVEN ROBERT SHAW.

(86) Pedido PCT: PCT US2016054794 de 30/09/2016

(87) Publicação PCT: WO 2017/059257 de 06/04/2017

(85) Data do Início da Fase Nacional: 27/03/2018

(57) Resumo: ESTRUTURAS E MÉTODOS PARA CONTROLAR PERDAS EM PLACAS DECIRCUITO IMPRESSO. A descrição refere-se a motores de placa de circuito impresso e, especificamente, a placas de circuito impresso usadas em motores e geradores. Os enrolamentos formados a partir de cobre em placas de circuito impresso têm sido utilizados para a formação de antenas, indutores, transformadores e estatores que podem ser incorporados em máquinas de ímã permanente sem escovas DC (síncrono de ímã permanente). Para dispositivos de conversão de energia que utilizam materiais magnéticos permanentes modernos e estatores de PCB, o campo magnético não é fortemente confinado por materiais magneticamente suscetíveis. Deste modo, a interação entre campos de voltas adjacentes em um enrolamento e/ou enrolamentos em camadas adjacentes (para uma configuração multicamadas) pode ser significativa. As estruturas descritas deste ponto em diante reduzem a resistência eficaz nos enrolamentos e, por essa razão, reduzem as perdas associadas para alcançar uma densidade de corrente reduzida em porções dos dispositivos de conversão de energia rotativa. O efeito das estruturas divulgadas é uma redução mensurável nos mecanismos de perda como uma função que aumenta a frequência, em comparação com os dispositivos atualmente disponíveis. Esses efeitos são significativos nas faixas de frequência importantes para os (...).

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para
"APARELHO PARA UM MOTOR ELÉTRICO E/OU GERADOR".

REFERÊNCIA CRUZADA PARA PEDIDOS RELACIONADOS

[001] A presente descrição reivindica o benefício sob 35 U.S.C. § 119 (e) para a Solicitação de Patente Provisória dos Estados Unidos Nº 62/236.407, intitulada ESTRUTURAS PARA REDUZIR PERDAS EM ENROLAMENTOS DE PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO, para Steven R. Shaw, depositada em 2 de outubro de 2015. Esta descrição também reivindica o benefício sob 35 U.S.C. § 119 (e) para a Solicitação de Patente Provisória Nº 62/236.422, intitulada ESTRUTURAS PARA GERENCIAMENTO TÉRMICO EM ESTADORES DE PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO, para Steven R. Shaw, depositada em 2 de outubro de 2015. Esta descrição também reivindica o benefício sob 35 U.S.C. § 120 para a Solicitação de Patente dos Estados Unidos de número de série 15/199,527, intitulada ESTRUTURAS E MÉTODOS PARA GERENCIAMENTO TÉRMICO EM ESTADORES DE PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO, para Steven R. Shaw, depositada em 30 de junho de 2016. O conteúdo de cada uma das aplicações anteriores é incorporado neste documento, por referência, na íntegra, para todos os efeitos.

CAMPO

[002] As modalidades descritas neste documento estão, em geral, relacionadas com o campo da redução de perdas em dispositivos de placa de circuito impresso. Mais especificamente, as modalidades como divulgadas neste documento estão relacionadas com o campo da gestão de perdas em enrolamentos em estadores constituídos em placas de circuito impresso de multicamadas para motores elétricos e/ou geradores.

HISTÓRICO

[003] O inventor reconheceu e apreciou que os motores elétricos

atuais e outros dispositivos elétricos que manipulam altas correntes através de condutores elétricos em uma placa de circuito impresso (PCB) enfrentam múltiplos problemas resultantes do fluxo de corrente elétrica na PCB. Tais problemas incluem a geração de calor indesejado devido a correntes parasitas, o que pode levar a falhas mecânicas e interferências mecânicas destrutivas com o rotor do motor ou gerador, bem como a outras ineficiências na operação do motor ou gerador. Como um subproduto do aumento do fluxo de densidade de corrente em regiões do circuito elétrico, altas gradientes de temperatura na PCB causadas, inter alia, por altos gradientes de corrente elétrica podem levar a danos estruturais da PCB, tais como delaminação, ou falha localizada ou degradação dos condutores elétricos ou do material dielétrico no substrato. Mais importante, talvez, essas altas densidades de corrente elétrica agem para gerar campos eletromagnéticos maiores indesejáveis que podem criar, por exemplo, correntes parasitas em regiões fisicamente próximas dos circuitos elétricos, que por sua vez podem atuar como um arrasto no motor ou no rotor do gerador e, deste modo, reduzir sua potência e eficiência.

[004] Os dispositivos elétricos de placa de circuito impresso construídos sem as características vantajosas descritas deste ponto em diante, empregam uma variedade de estratégias para fazer conexões entre traços de transporte de corrente elétrica depositados na superfície da PCB, ou superfícies no caso de um dispositivo de placa de multicamada, dos substratos dielétricos encontrados nesses dispositivos. Estas estratégias, no entanto, não abordam, ou reconhecem de nenhuma maneira substancial, as desvantagens resultantes da densidade de corrente aumentada em porções dos traços do circuito elétrico e os resultados adversos daí resultantes.

SUMÁRIO

[005] Um exemplo particular de modalidade da descrição refere-

se a motores e geradores de placa de circuito impresso. Os enrolamentos formados a partir de cobre em placas de circuito impresso têm sido usados com o objetivo de formação de antenas, indutores, transformadores e estatores que podem ser incorporados em máquinas de ímã permanente sem escova DC (ímã permanente síncrono). Para dispositivos de conversão de energia que utilizam materiais magnéticos permanentes modernos e estatores de PCB, o campo magnético não é fortemente confinado por materiais magneticamente suscetíveis. Deste modo, a interação entre campos de voltas adjacentes em um enrolamento, e/ou enrolamentos em camadas adjacentes (para uma configuração multicamadas) pode ser significativa. As estruturas divulgadas deste ponto em diante reduzem a resistência efetiva nos enrolamentos e, por essa razão, reduzem as perdas associadas para alcançar uma densidade de corrente especificada em dispositivos de conversão de energia rotativa. O efeito das estruturas divulgadas é uma redução mensurável nos mecanismos de perda em função do aumento da frequência, em comparação com os dispositivos atualmente disponíveis. Esses efeitos são significativos nas faixas de frequência importantes para os processos de conversão de energia, bem como nas estratégias de controle típicas, por exemplo, a modulação por largura de pulso.

[006] Em um primeiro exemplo de modalidade, a descrição refere-se à estrutura de um estator de motor ou gerador elétrico que inclui uma estrutura composta plana (PCS) tendo pelo menos uma camada dielétrica e uma pluralidade de camadas condutoras. A PCS é caracterizada, pelo menos em parte, por um ponto de origem central e uma periferia. O estator também pode incluir uma pluralidade de primeiros elementos, que estendem radialmente traços condutores, que se estendem a partir de uma distância radial interna r_s até uma distância radial externa r_1 , sendo os raios medidos a partir do ponto de origem

central em direção à periferia da PCS. Os traços são geralmente dispostos angularmente na PCS. A pluralidade dos primeiros elementos que se prolongam radialmente é, cada um, conectada nas suas extremidades interna e externa para permitir a formação de laços de enrolamento e outras estruturas de circuito. Quando os elementos são conectados em tais laços, as extremidades externas dos elementos são conectadas com a utilização de interconexões de circuito externo, e as extremidades internas dos elementos são conectadas com a utilização de interconexões de circuito interno, como descrito em mais detalhes deste ponto em diante. Além disso, de acordo com alguns exemplos de modalidade da descrição, pelo menos um dos primeiros elementos condutores radiais está ligado a pelo menos um outro dos elementos condutores radiais nas suas respectivas extremidades de raio externo. Além disso, os primeiros elementos condutores são conectados em suas extremidades de raio interno a outros elementos radialmente condutores. Podem ocorrer vários laços fechados com múltiplos enrolamentos e formando o estator, por exemplo, de um motor ou gerador elétrico.

[007] Um segundo exemplo de modalidade da descrição refere-se a um motor ou gerador elétrico tendo um estator que inclui uma PCS com pelo menos uma camada dielétrica e pelo menos uma camada condutora, sendo a PCS caracterizada, pelo menos em parte, por um ponto de origem central e uma periferia. O estator pode também incluir uma pluralidade de primeiros traços eletricamente condutores que se estendem radialmente a partir de um raio de partida r_0 , a partir do ponto de origem central em direção à periferia da PCS e dispostos angularmente na PCS. Uma pluralidade de traços condutores se conectam, através de uma respectiva interconexão associada, a pelo menos um outro traço condutor que se estende radialmente a partir de um raio interno r_0 a partir do ponto de origem central radialmente para

fora em direção à periferia da PCS e disposto angularmente a partir do traço condutor associado.

[008] Em outro exemplo de modalidade, um estator tem uma estrutura composta plana (PCS) com pelo menos uma camada dielétrica e um padrão condutor sobre uma superfície de cada referida camada dielétrica. O padrão condutor tem uma pluralidade de primeiros traços condutores, cada um se estendendo radialmente a partir de um raio interno para um raio externo e disposto angularmente em uma das superfícies dielétricas, com pelo menos um dos primeiros traços condutores conectado em seu raio externo a pelo menos um outro dos primeiros traços condutores em seu raio externo por uma primeira interconexão. A primeira interconexão é limitada entre as bordas interna e externa. A primeira interconexão tem uma região de início, uma região de transição e uma região de término, e a região de início tem uma primeira seção de borda interna radial que se estende a partir do primeiro traço condutor até a região de transição, e a região de término tem uma segunda seção de borda interna radial que se estende a partir da região de transição para o outro traço condutor; e em que, pelo menos, a primeira seção de borda interna radial e a segunda seção de borda interna radial são caracterizadas, cada uma, pelo menos em parte, por uma Equação de Canto, $r(\theta) = r_d + (r_s - r_d)e^{-\frac{\theta - \theta_s}{\alpha}}$ para um canto que começa em θ_s e r_s e avaliado para $\theta > \theta_s$, ou a versão refletida equivalente com $r(\theta) = r_d + (r_s - r_d)e^{-(\theta_s - \theta)/\alpha}$ para um canto avaliado com $\theta < \theta_s$ e terminando em θ_s e r_s .

[009] Ainda em um outro exemplo de modalidade, um estator tem uma estrutura composta plana (PCS) tendo pelo menos uma camada dielétrica e um padrão condutor sobre uma superfície de cada referida camada dielétrica. Pelo menos um padrão condutor tem uma pluralidade de primeiros traços condutores, cada um se estendendo radialmente a partir de um raio interno para um raio externo e dispostos angularmente

em uma das superfícies dielétricas. Pelo menos um dos primeiros traços condutores se conecta em seu raio externo a pelo menos um outro dos primeiros elementos condutores em seu raio externo por meio de uma primeira interconexão, e em que pelo menos a primeira interconexão é limitada por bordas internas e externas, e tem um região de início, uma região de transição e uma região de término, e a região de início tem uma primeira seção de borda interna radial e uma primeira seção de borda externa radial que se estende a partir do primeiro traço condutor até a região de transição, e uma segunda seção de borda interna radial e uma segunda seção de borda externa radial que se estende a partir da região de transição para o outro traço condutor. Pelo menos as primeiras seções de borda interna e externa radiais e as segundas seções de borda interna e externa radiais são, cada uma, caracterizadas, pelo menos em parte, pela Equação de Canto $r(\theta) = r_d + (r_s - r_d)e^{-\frac{\theta - \theta_s}{\alpha}}$ para um canto começando em θ_s e r_s e avaliado para $\theta > \theta_s$, ou a versão refletida equivalente com $r(\theta) = r_d + (r_s - r_d)e^{-(\theta_s - \theta)/\alpha}$ para um canto avaliado com $\theta < \theta_s$ e terminando em θ_s e r_s .

[0010] Em outro exemplo de modalidade, um estator tem uma estrutura composta plana (PCS) com pelo menos uma camada dielétrica e um padrão condutor sobre uma superfície de cada camada dielétrica. Pelo menos um padrão condutor tem uma pluralidade de primeiros traços condutores, cada um se estendendo radialmente a partir de um raio interno para um raio externo e dispostos angularmente em uma das superfícies dielétricas. Pelo menos um dos primeiros traços condutores é conectado em seu raio externo a pelo menos um outro dos primeiros elementos condutores em seu raio externo por uma primeira interconexão. A primeira interconexão é limitada por uma borda interna e uma borda externa. A primeira interconexão tem uma região de início, uma região de transição e uma região de término, e a borda interna da região de início tem uma primeira seção de borda interna radial que se estende a partir do primeiro

traço condutor em seu raio externo até a região de transição, e uma segunda seção de borda interna radial que se estende a partir da região de transição até o outro traço condutor em seu raio externo. Pelo menos, a primeira seção de borda interna radial e a segunda seção de borda interna radial são caracterizadas, cada uma, por uma inclinação $dr/d\theta$, que é uma função linear de $r(\theta)$ a partir do traço condutor para a região de transição e onde a inclinação é uma função linear diferente a partir da região de transição para o outro traço condutor.

[0011] Em ainda outro exemplo de modalidade, um estator tem uma estrutura composta plana (PCS) compreendendo pelo menos uma camada dielétrica e um padrão condutor sobre uma superfície de cada referida camada dielétrica. Pelo menos um padrão condutor tem uma pluralidade de primeiros traços condutores, cada um se estendendo radialmente a partir de um raio interno para um raio externo e dispostos angularmente em uma das superfícies dielétricas. Pelo menos um dos primeiros traços condutores é conectado em seu raio externo a uma região de início de uma primeira interconexão. A primeira interconexão é limitada por bordas internas e externas, e a primeira interconexão tem a região de início, uma região de transição e uma região de término, e uma primeira seção de borda interna radial que se estende a partir do raio externo do traço condutor até a região de transição, e uma segunda seção de borda interna radial que se estende a partir da região de transição para o outro traço condutor no seu raio exterior. Em qualquer ponto entre a borda interna e externa, a menor magnitude de densidade de corrente sob excitação de corrente contínua não é menor do que 50% da maior magnitude de densidade de corrente avaliada ao longo da linha mais curta entre a borda interna e a externa passando através desse ponto.

[0012] Em outro exemplo de modalidade, um estator, tem uma estrutura composta plana (PCS) tendo pelo menos duas camadas dielétricas e um padrão condutor sobre uma superfície de cada referida

camada dielétrica. Pelo menos um padrão condutor tem uma pluralidade de primeiros traços condutores, cada um se estendendo radialmente a partir de um raio interno para um raio externo e sendo dispostos angularmente sobre as diferentes superfícies dielétricas. Pelo menos um dos primeiros traços condutores é conectado em seu raio externo a pelo menos um outro dos primeiros traços condutores em uma superfície diferente em seu raio externo por uma primeira interconexão entre camadas. A interconexão é substancialmente limitada por bordas interna e externa. A primeira interconexão entre camadas tem uma região de início em uma primeira camada, uma região de transição e uma região de término em uma camada diferente, e ainda possui uma primeira seção de borda interna radial que se estende a partir de um primeiro traço condutor até a região de transição, e uma segunda seção de borda interna radial que se estende a partir da região de transição até o outro traço condutor em seu raio externo; e em que pelo menos a primeira seção de borda interna radial e a segunda seção de borda interna radial são caracterizadas, cada uma, pelo menos em parte, por uma estrutura concebida para reduzir os efeitos de correntes parasitas em estruturas de superfície condutora axialmente adjacentes.

[0013] Em outro exemplo de modalidade, um estator tem uma estrutura composta plana (PCS) tendo pelo menos uma camada dielétrica e um padrão condutor sobre uma superfície de cada camada dielétrica. Pelo menos um padrão condutor tem uma pluralidade de primeiros traços condutores, cada um se estendendo radialmente a partir de um raio interno para um raio externo e dispostos angularmente em uma das superfícies dielétricas. Pelo menos um dos primeiros traços condutores é conectado, em seu raio externo, a pelo menos um outro dos primeiros elementos condutores, em seu raio externo, por uma primeira interconexão. A primeira interconexão é limitada por bordas internas e externas. A primeira interconexão tem uma região de início,

uma região de transição, uma região de término e uma primeira seção de borda interna radial que se estende a partir do primeiro traço condutor conectado em seu raio externo até a região de transição, e uma segunda seção de borda interna radial conectando a região de transição ao raio externo do outro traço condutor. Pelo menos, a primeira seção de borda interna radial e a segunda seção de borda interna radial são caracterizadas, cada uma, por uma estrutura para reduzir as correntes parasitas nas partes condutoras externas da interconexão.

[0014] Em ainda outro exemplo de modalidade, um estator tem uma estrutura composta plana (PCS) com pelo menos uma camada dielétrica e um padrão condutor sobre uma superfície de cada camada dielétrica. Pelo menos um padrão condutor tem uma pluralidade de primeiros traços condutores, cada um se estendendo radialmente a partir de um raio interno para um raio externo e sendo dispostos angularmente em uma das superfícies dielétricas; com pelo menos um dos primeiros traços condutores conectado em seu raio externo a pelo menos um outro dos primeiros traços condutores em seu raio externo por uma primeira interconexão, a primeira interconexão limitada por bordas interna e externa. A primeira interconexão tem uma região de início, uma região de transição e uma região de término, e primeiras seções de borda interna e externa radiais que se estendem a partir do primeiro traço condutor até a sua região de transição, e segundas seções de borda interna e externa radiais que se estendem a partir da região de transição para o outro traço condutor, no seu raio externo. Pelo menos a respectiva inclinação da primeira seção de borda interna radial e da segunda seção de borda da borda interna radial, cada uma, é caracterizada por um valor de inclinação monotonicamente variável como uma função do ângulo de rotação a partir de um traço condutor para o outro traço condutor.

[0015] Em um outro exemplo de modalidade, um estator tem uma estrutura composta plana (PCS) com pelo menos uma camada dielétrica e um padrão condutor sobre uma superfície de cada referida camada dielétrica. Pelo menos um padrão condutor tem uma pluralidade de primeiros traços condutores, cada um se estendendo radialmente a partir de um raio interno para um raio externo e sendo disposto angularmente em uma das superfícies dielétricas, sendo pelo menos um dos primeiros traços condutores conectado em seu raio externo a pelo menos um outro dos primeiros traços condutores no seu raio externo por meio de uma primeira interconexão. A primeira interconexão é limitada por bordas interna e externa. A primeira interconexão tem uma região de início, uma região de transição, uma região de término e uma primeira seção de borda interna radial e uma primeira seção de borda externa radial que se estende a partir do primeiro traço condutor até a região de transição, e uma segunda seção de borda interna radial e uma segunda seção de borda externa radial que se estende a partir da região de transição até o outro traço condutor, no raio exterior do outro traço condutor. Pelo menos, entre uma seção de borda interna e uma seção de borda externa da interconexão, em sua região de transição, a interconexão tem pelo menos uma região alongada semelhante a uma fenda que não reduz substancialmente a condutividade elétrica a partir de uma extremidade da interconexão à outra extremidade da interconexão, a região alongada semelhante a uma fenda que se estende substancialmente em paralelo à seção de borda interna na região de transição da interconexão.

[0016] Ainda em outro exemplo de modalidade da descrição, um estator tem uma estrutura composta plana (PCS) tendo, pelo menos, uma camada dielétrica e um padrão condutor em uma superfície de cada referida camada dielétrica. Pelo menos um padrão condutor tem uma pluralidade de primeiros traços condutores, cada um se

estendendo radialmente a partir de um raio interno para um raio externo e sendo dispostos angularmente em uma das superfícies dielétricas. Pelo menos um dos primeiros traços condutores é conectado, em seu raio externo, a pelo menos um outro dos primeiros traços condutores, em seu raio externo, por meio de uma primeira interconexão. A primeira interconexão é delimitada, pelo menos, por bordas interna e externa. A primeira interconexão tem uma região de início, uma região de transição e uma região de término, e uma primeira seção de borda interna radial que se estende a partir do primeiro traço condutor até a região de transição, e uma segunda seção de borda interna radial que se estende a partir da região de transição para o outro traço condutor, no raio externo do outro traço condutor. A borda interna da interconexão a partir da conexão entre o primeiro traço condutor e a região de início até o início da região de transição é designada como a distância “borda interna CT”. Um exemplo de modalidade alcança pelo menos 90% do valor máximo da densidade de corrente, conforme determinado pelos cálculos FEA/FEM, dentro dos primeiros 20% da borda interna CT medida ao longo da borda interna da interconexão a partir do primeiro traço condutor em direção à região de transição.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

[0017] A Figura 1 ilustra uma vista em planta de um estator incluindo uma PCS possuindo pelo menos uma camada dielétrica com uma de uma pluralidade de camadas condutoras sendo ilustrada de acordo com algumas modalidades da descrição;

[0018] Figura 2A é uma cópia em preto-e-branco de uma ilustração colorida de uma solução de FEM para densidade de corrente em um canto de fim de curva com cantos agudos;

[0019] Figura 2B é uma versão em escala de cinza da solução FEM mostrada na Fig. 2A;

[0020] Figura 3A é uma cópia em preto-e-branco de uma ilustração

colorida de uma solução FEM para a densidade de corrente em uma estrutura de canto de extremidade final com cantos radiais em que o raio corresponde à meia largura do menor traço;

[0021] Figura 3B é uma versão em escala de cinza da solução FEM mostrada na Fig. 3A;

[0022] Figura 4A é uma cópia em preto-e-branco de uma ilustração colorida de uma solução FEM para a densidade de corrente de acordo com uma modalidade de exemplo da descrição;

[0023] Figura 4B é uma versão em escala de cinza da solução FEM mostrada na Fig. 4A;

[0024] Figura 5 ilustra uma vista em planta de um estator incluindo uma PCS de acordo com uma estrutura da técnica anterior tendo cantos agudos;

[0025] Figura 6 ilustra uma vista em planta de um estator incluindo uma PCS em que os cantos têm um raio de viragem constante;

[0026] Figura 7 ilustra detalhes de uma conexão de laço externo em um estator, cada configuração de conexão incluindo uma primeira região de início que se conecta a uma região de transição que se conecta, por sua vez, a uma região de término, de acordo com algumas modalidades da descrição;

[0027] Figura 8 ilustra uma grande expansão, no eixo z, do estator do motor empilhado;

[0028] Figura 9 ilustra um laço de viragem final tendo um traço de interconexão que é dividido longitudinalmente;

[0029] Figura 10A é uma cópia em preto-e-branco de uma ilustração colorida de uma solução FEM que mostra uma densidade de corrente resultante sem as regiões alongadas semelhantes a uma fenda ilustradas na Figura 9;

[0030] Figura 10B é uma versão em escala de cinza da solução FEM mostrada na Fig. 10A;

[0031] Figura 11A é uma cópia em preto-e-branco de uma ilustração colorida de uma solução FEM que mostra uma densidade de corrente resultante com as regiões alongadas semelhantes a uma fenda ilustradas na Figura 9;

[0032] Figura 11B é uma versão em escala de cinza da solução FEM mostrada na Fig. 11A;

[0033] Figura 12 ilustra uma vista em corte transversal de uma seção do estator 100 de acordo com algumas modalidades;

[0034] Figura 13 ilustra um detalhe do estator 100 incluindo uma pluralidade de elementos condutores 111 dispostos na PCS;

[0035] Figura 14 ilustra um detalhe de uma área interna do estator próxima ao ponto de origem central;

[0036] Figura 15 ilustra uma vista em perspectiva de configurações de conexão de acordo com algumas modalidades da descrição; e

[0037] Figura 16 é um fluxograma de um método para a fabricação de um estator incluindo uma camada composta plana (PCS) tendo pelo menos uma camada dielétrica e uma pluralidade de camadas condutoras, de acordo com algumas modalidades.

[0038] Nas figuras, os elementos e etapas denotados pelos mesmos números de referência estão associados aos mesmos ou a elementos e etapas semelhantes, salvo indicação em contrário.

DESCRIÇÃO DETALHADA

[0039] Com referência à Figura 1, em uma modalidade exemplar da descrição, uma vista em planta de um estator 100 para a utilização em um motor acionado eletricamente ou em um gerador rotativo, tem uma estrutura composta plana (PCS) 110 com pelo menos uma camada dielétrica e uma pluralidade de camadas de substrato com traços condutores 111 sobre a mesma. O diâmetro do estator mostrado na Figura 1 pode ser da ordem de cm a dezenas de metros. Os traços condutores 111 podem fazer parte de uma estrutura de enrolamento, de

acordo com uma modalidade da descrição, que pode ser conectada no anel externo e na seção interna de uma estrutura de PCB. A PCS 110 é caracterizada, pelo menos em parte, por um ponto de origem central 101 e uma periferia externa 102. O estator 100 inclui uma pluralidade de primeiros traços condutores 111 que se estendem radialmente a partir de um raio 140 (r_0) (medido a partir do ponto de origem central 101) até um raio 142 (r_1) (medido a partir do ponto de origem central 101) na direção da periferia 102 da PCS 110 e disposto angularmente na PCS. Um ou mais dos primeiros traços condutores são conectados em sua extremidade externa, no raio r_1 , tipicamente a um ou mais dos primeiros traços condutores em seu raio externo r_1 . Uma tal interconexão, designada como um laço exterior, tem uma região de início 144, uma região de transição 148, e uma região de término 150.

[0040] De maneira complementar, uma pluralidade dos traços condutores é conectada em suas extremidades internas, no raio r_0 , por laços condutores internos 151, cada laço condutor interno de modo semelhante apresenta uma região de início, uma região de transição e uma região de término. Desta maneira, a combinação de traços condutores 111, e suas estruturas de conexão, proporcionam uma estrutura de enrolamento na(s) superfie(s) da(s) camada(s) dielétrica(s).

[0041] Em estruturas mais complexas, os traços condutores 111 podem ser conectados a traços condutores em outras camadas com a utilização de conexões de camada interior, tais como vias ou outros links de camada interior. Nestas conexões intercamadas, a combinação dos traços condutores em cada um, por exemplo, duas (ou mais) camadas, se combinam para formar uma estrutura vantajosa de enrolamentos multicamadas, como é bem conhecido no campo.

[0042] No entanto, existe a preocupação de que a corrente que passa de um traço condutor 111 para o próximo traço condutor não crie campos eletromagnéticos que possam danificar ou reduzir a eficiência

do sistema operacional do motor ou gerador. Tais efeitos negativos podem resultar, por exemplo, em correntes parasitas nas estruturas eletricamente condutoras próximas que podem atuar como um empecilho para o sistema. Como é explicado mais abaixo, tal arrasto reduz a eficiência, e não é tipicamente considerado no desenho estrutural do motor ou gerador da Figura 1. No entanto, a presente descrição é dirigida a reduzir substancialmente, pelo formato apropriado e design dos laços de extremidade de interconexão 151, 153, tais campos eletromagnéticos indesejáveis.

[0043] Deste modo, um estator 100 pode incluir várias camadas semelhantes ao ilustrado na vista plana da Figura 1. As múltiplas camadas podem ser organizadas com o objetivo de fornecer uma sequência de bobinas ou enrolamentos que são conectados, geralmente em série, para formar o pólos de um motor ou gerador. Os pólos são, em seguida, tipicamente segregados em grupos, com pelo menos um grupo para cada fase de corrente fornecida ao motor (ou gerada pelo gerador). Coletivamente, quando adequadamente controlado por um circuito elétrico externo, a disposição dos condutores (por exemplo, os traços 111 e os traçados condutores de interconexão 151 e 153 na PCS 110) cria uma densidade de corrente rotativa e um campo magnético associado. Essa densidade de corrente rotativa (e campo magnético) pode exercer um torque sobre uma estrutura magnética circundante (para um motor) ou gerar uma saída de corrente (para um gerador). A parte da placa de circuito impresso com as estruturas radiais 111 (a “área ativa”) é a parte do estator projetada para participar dessa interação. Por consequência, a área ativa do estator 100 pode incluir traços condutores 111 acoplados através dos traços condutores interconectados 151 e 152 para formar a corrente rotativa. Algumas modalidades incluem dois conjuntos de ímãs de terras raras fixados a um eixo que passa através do ponto de origem central 101 da PCS 110,

o qual forma um dispositivo elétrico síncrono de campo axial compacto e de alta eficiência. Para além da área ativa, incluindo uma densidade de corrente rotativa que interage com um campo magnético não homogêneo, o estator 100 pode incluir elementos condutores em uma área periférica e elementos condutores em uma área interior. Os elementos condutivos podem dissipar o calor gerado pelo estator 100, enquanto em operação.

[0044] De acordo com a estrutura da descrição, uma PCB plana, por exemplo, para um motor ou gerador elétrico rotativo, tem estruturas de giro de extremidade interna, externa e neutra, que são moldadas com o objetivo de otimizar o desempenho do estator. Em um estator de motor de PCB plana, ou um estator composto plano (PCS), o design de giro de extremidade é de importância crítica pela simples razão de que os giros de extremidade que servem a funções diferentes no plano de enrolamento normalmente não podem coexistir em uma única camada, e também não pode aparecer em um grande número de camadas como um método de reduzir sua resistência total. Outra consideração para os giros de extremidade é que eles estão próximos a outros materiais condutores, por exemplo, outras estruturas nas mesmas camadas ou em camadas adjacentes, o que pode levar a correntes parasitas e cargas parasitas em altas frequências.

[0045] A presente descrição aborda ambas as questões, e pode ser comparada com outras estratégias e estruturas de projeto através da utilização de medições de elementos finitos (FEM). O uso de "giros de extremidade" na descrição a seguir deve ser entendido para incluir características semelhantes em curvas internas e externas, em conexões entre grupos de pólos, em conexões de camada cruzada, conexões de energia, e em estruturas neutras de ponto de ligação. Também é importante reconhecer que, embora o uso principal da tecnologia divulgada neste documento não seja para dilaceração e

geradores, a aplicação da tecnologia a qualquer placa de circuito impresso, de camada única ou de multicamada, pode ser vantajosa para reduzir as perdas no circuito. Também é importante notar que dentro do campo de motor/gerador, o número de giros de extremidade e sua função irão variar dependendo do número de fases, giros e pólos do motor.

[0046] Como observado acima, uma volta final interna ou externa tem várias regiões conectadas. A parte funcional básica de um giro de extremidade é um canto, uma região que conecta a corrente elétrica proveniente de um traço ou condutor radial de região ativa a um raio prescrito depois que a rotação ou o canto foi executado, normalmente mudando a direção da corrente nas superfícies planas de uma corrente substancialmente radialmente dirigida para uma corrente dirigida angularmente. Frequentemente, o giro se conecta a um traço radial de largura estreita em seu ponto de conexão inicial, sendo a largura do traçado radialmente direcionado sendo ditada pelo espaçamento dos condutores na região ativa do plano e pelo espaço disponível para a parte angular do giro. Para propósitos de ilustração, e porque a característica sob consideração é aproximadamente (localmente) cartesiana, o deslocamento angular nas modalidades que se seguem é indicado no eixo x, enquanto o deslocamento radial é indicado no eixo y. Existe um mapa conforme entre este caso e o caso de coordenadas cilíndricas diretamente aplicáveis à PCS para máquinas de campo axial.

[0047] Para explorar a relação entre a estrutura ou a forma do projeto de giro de extremidade e seu desempenho, as simulações FEM de várias estruturas projetadas e exemplos de projetos anteriores são descritas com a condição de que cada estrutura tenha exatamente a mesma corrente total. As parcelas de magnitude de densidade de corrente dentro de uma estrutura foram subsequentemente produzidas a partir da solução FEM e estão ilustradas nas Figuras 2-4. As escalas

nesses gráficos são ajustadas para que possam ser comparadas. Deve ser apreciado que nas versões em preto e branco dos desenhos a cores apresentados neste documento (isto é, as Figuras 2A, 3A, 4A, 10A e 11A), as regiões mais escuras não correspondem necessariamente a regiões de densidade de corrente mais elevadas nas soluções FEM e as regiões mais claras não correspondem necessariamente a regiões de baixa densidade de corrente nessas soluções. Isso é verdade porque as regiões vermelha e azul perto da parte superior e inferior, respectivamente, das escalas para as versões coloridas são ambas copiadas como uma cor mais escura nas versões em preto-e-branco. Por consequência, é útil considerar as versões em escala de cinza das soluções FEM (ou seja, as Figuras 2B, 3B, 4B, 10B e 11B) em conjunto com as cópias em preto e branco das versões coloridas dessas soluções para entender melhor as densidades de corrente nas várias regiões.

[0048] É comum que os pacotes CAD de placa de circuito impresso anteriores mesclêm linhas de larguras diferentes com cantos quadrados, como ilustrado na Figura 5. Os giros de extremidades com cantos desenhados dessa maneira aparecem, por exemplo, na patente dos Estados Unidos 7.109.625. Uma consequência adversa desta estrutura, como mostrado no mapa de densidade de corrente produzida por FEM nas Figuras 2A e 2B, é que a corrente é concentrada significativamente no canto interno 250 da seção de borda interna 251 do giro de extremidade. Isso cria uma concentração de corrente e, portanto, perda de energia no canto da borda interna, e a corrente é essencialmente zero na borda de canto externa 252. A concentração de corrente no canto interno da borda leva a um campo magnético muito mais forte H (amperes por metro, ou A/m) nas proximidades imediatas do canto da borda interna. O canto de cobre externo, essencialmente, não tem função na condutividade da estrutura, mas em virtude da proximidade

da alta densidade de corrente na borda do canto interno e outras fontes de corrente na PCS, pode apresentar um parasita indesejável secundário a campos magnéticos variáveis no tempo provenientes de outras fontes. Além disso, o canto interno concentra a corrente e produz um campo magnético que pode interagir indesejavelmente com outras estruturas na PCS. Coletivamente, esses efeitos levam ao aumento das perdas em frequências mais altas, assim como uma resistência relativamente maior à quantidade de cobre usada (porque o cobre na borda externa do canto não carrega praticamente nenhuma corrente, como observado acima).

[0049] A condutividade real de ponta a ponta da estrutura na Figura 5 varia de uma maneira previsível como uma função da condutividade, espessura e escala do material. Para fins de comparação e para enfatizar a importância da forma de canto de giro de extremidade independente dessas outras variáveis, a condutividade da estrutura na Figura 5 é designada como 1.000.

[0050] É importante notar, para a forma/estrutura da Figura 5, que enquanto a corrente que entra na região de início 254 do giro de extremidade é substancialmente uniforme ao longo de toda a extensão da seção transversal do traço, ao fazer a curva de giro tende a se reunir para dentro.

[0051] Outra prática comum em ferramentas CAD é fornecer a opção de mesclar as linhas com a aplicação de um raio de giro constante especificado no turno. Frequentemente, os raios no canto radial interno 642 e no canto radial externo 645 utilizados para substituir o canto agudo da Figura 5 são escolhidos com base nas larguras das linhas a serem fundidas. A geometria do canto ilustrado na Figura 6 mostra esse tipo de canto de giro de extremidade. Note-se que na Figura 6 existem 3 giros de extremidade aninhadas 635. Neste caso, os raios interno e externo para a borda interna 640 e a borda externa 650

são os mesmos que o raio da abertura utilizado para o segmento de traço vertical. A operação da estrutura ilustrada na Figura 6 é melhorada em relação à estrutura ilustrada na Figura 5 (como mostrado pela simulação FEM das Figuras 3A e 3B), embora a estrutura/forma da Figura 6 ainda mostre a concentração atual perto da borda do canto interno, e um pouco de cobre na borda do canto externo ainda não carrega uma corrente significativa. A condutividade da estrutura ilustrada na Figura 6 em relação à Figura 5 é de 1,046. A estrutura da Figura 6, por essa razão, proporciona menos perda de resistência; no entanto, a densidade de corrente ainda é indesejavelmente alta na borda do canto interno, resultando nos mesmos efeitos indesejáveis observados em conexão com a estrutura da Figura 5, embora em níveis ligeiramente inferiores.

[0052] Um exemplo de modalidade descrito neste documento reconhece, dessa forma, a necessidade de se obter uma redução adicional das altas densidades de corrente das estruturas anteriores ilustradas nas Figuras 2 e 5, e Figuras 3 e 6, para determinar uma forma e função de projeto que reduza significativamente a concentração da densidade de corrente ao longo do canto interno, e especificamente da borda de canto interno, com a consequente redução dos efeitos negativos resultantes da alta concentração de densidade de corrente ilustrada nas Figuras 2 e 3.

[0053] Referindo-se à Figura 7, a estrutura de giro de extremidade ilustrada é delimitada por suas bordas interna e externa, e corresponde a uma solução local de uma equação diferencial de primeira ordem em x e y (ou r e θ). Este exemplo e modalidade preferida, correspondendo a uma parametrização de variável simples de uma transição contínua a partir da largura inicial e localização 710 do canto de giro de extremidade 712, através do canto, para a porção direcionada para x ou $teta$ 714 do giro de extremidade. A transição suave descrita em maior

detalhe abaixo evita a concentração localizada de corrente na transição de canto encontrada nos exemplos das Figuras 5 e 6 e não tende a concentrar a densidade de corrente no giro. Por consequência, os campos magnéticos indesejáveis produzidos pelas estruturas anteriores (Figuras 5 e 6) são minimizados. A parametrização do giro fornece uma variável independente que pode ser usada para propósitos de otimização em diferentes projetos. Como ilustrado na Figura 4, este projeto de giro de extremidade evita a concentração de densidade de corrente e campo magnético e tem uma condutividade relativa de 1,197, quase 20% maior do que a estrutura de giro de extremidade ilustrada na Figura 5. Além disso, em uma particular modalidade de exemplo da descrição, as bordas interna e externa podem ser moldadas de acordo com a chamada “Equação de Canto”: $r(\theta) = r_d + (r_s - r_d)e^{-\frac{\theta - \theta_s}{\alpha}}$ para um canto começando em θ_s e r_s e avaliados para $\theta > \theta_s$, ou a versão refletida equivalente com $r(\theta) = r_d + (r_s - r_d)e^{-(\theta_s - \theta)/\alpha}$ para um canto avaliado com $\theta < \theta_s$ e terminando em θ_s e r_s . Esta equação fornece uma mudança gradual do raio de curvatura ao longo das bordas e é controlável por um único parâmetro, α , selecionado dependendo dos pontos inicial e final da borda. Em uma modalidade preferida, a inclinação é uma variável de mudança contínua tendo uma segunda derivada zero. Isso equivale a dizer que a borda radial é caracterizada por uma inclinação, que é uma função linear de r a partir do ponto de início (a interseção entre a região de início e o traço condutor) até a região de transição e que a inclinação é uma função linear diferente a partir da região de transição para o final da região de término. Toda a estrutura da borda do laço pode ser descrita a partir do traço de início 111 até o traço de término 111 por uma única equação: $r(\theta) = r_{s1} + (r_d - r_{s1})\left(1 - e^{-\frac{\theta - \theta_1}{\alpha}}\right) + (r_{s2} - r_d)\left(e^{-\frac{\theta_2 - \theta}{\alpha}}\right)$ onde r_{s1} , θ_1 é o ponto inicial da estrutura no traço de início 111, r_{s2} , θ_2 é o ponto de término da

estrutura, α é o parâmetro dos cantos, e r_d é o raio no qual a estrutura se estende principalmente na direção angular.

[0054] A prevenção de uma concentração de densidade de corrente no circuito (interno ou externo) pode ser visualizada ao medir a densidade de corrente ao longo da borda interna de um laço na região de início. Normalmente, a medição da densidade de corrente será maior no início da região de início, onde se conecta a um traço radial condutor, e mais baixa na borda interna, na interseção das regiões de início e de transição. Se a seção de borda interna da interconexão a partir da conexão entre o primeiro traço condutor e a região de início até o início da região de transição for designada a distância “borda interna CT”, então em uma modalidade de exemplo, a densidade de corrente atinge pelo menos 90% do valor máximo da densidade de corrente, conforme determinado pelos cálculos FEA/FEM, dentro dos primeiros 20% da borda interna CT medida ao longo da borda interna da interconexão a partir do primeiro traço condutor em direção à região de transição. Isto difere substancialmente das estruturas das Figuras 5 e 6, em que o pico ocorre muito mais longe do condutor radial, em uma localização que, mais provavelmente, afeta negativamente as correntes parasitas nos condutores próximos.

[0055] Como observado acima, a distância de um condutor a uma fonte de radiação eletromagnética pode afetar significativamente a força do campo eletromagnético que afeta o condutor e suas consequências adversas. Esse efeito de “proximidade” é a tendência de uma corrente em um condutor adjacente influenciar a distribuição de corrente em um condutor primário e vice-versa. Este efeito resulta em uma mudança na distribuição de corrente no condutor primário, bem como em perdas em ambos os condutores, e é aparente como um aumento na resistência elétrica do condutor primário à medida que a frequência da corrente aumenta. Um conceito estreitamente alinhado é: a tendência de um

material condutor que não faz parte do circuito em DC em tornar-se um parasita “secundário” devido a uma densidade de corrente induzida por uma corrente variável no tempo no condutor primário. Este efeito aumenta quando (i) a frequência aumenta, (ii) a força do campo magnético aumenta, e (iii) à medida que a proximidade do material condutor parasitário diminui em relação ao primário. Estas considerações mitigam a favor de, tanto reduzir a concentração do campo eletromagnético, por exemplo, com a utilização da estrutura de forma de canto de exemplo ilustrada na Figura 7, e reduzir a proximidade do condutor, quando possível, aos condutores adjacentes. Em uma modalidade de exemplo preferida da descrição, a “equação de canto” especificada deste ponto em diante ajuda a melhorar ambos os efeitos.

[0056] Para qualquer uma das equações acima, o parâmetro α determina a taxa na qual o giro de extremidade se aproximará de sua porção de raio essencialmente constante, direcionada angularmente, da estrutura do estator (a região de transição). Uma consideração importante é que o canto precisa evitar a interferência em estruturas próximas. Se as estruturas próximas forem cantos aninhados, como aqueles descritos pela equação de canto e ilustrados em 153 na Figura 1, a borda externa de um giro de extremidade interno deve ser menor do que o raio “constante” da borda interna do giro de extremidade externo adjacente. Além disso, grandes valores de α , podem produzir interferências ou violações de folga mínimas com estruturas adjacentes na placa de circuito impresso, tais como estruturas de terminação que não são governadas pela Equação de Canto. Com essas considerações em mente, a determinação de um valor adequado de α pode ser inferida a partir do deslocamento angular (designado como $\Delta\theta$ de dois traços radiais adjacentes 111, como os mostrados na Figura 1. Em um estator típico, tendo, por exemplo, 120 traços radiais, a separação angular $\Delta\theta$

pode ser, por exemplo, da ordem de 3° (ou $2\pi/120$ radianos) ou menos. Além disso, embora uma folga mínima de fabricação seja fatorada em um cálculo preciso do maior α possível para um determinado projeto, é indesejável usar um α que seja muito grande, uma vez que a largura da estrutura de giro de extremidade completa pode ser reduzida, com o efeito de aumentar a resistência DC da estrutura. Por outro lado, ao ajustar o α para valores que são muito pequenos, por exemplo, menores que 0.1° , efetivamente produzem uma forma de canto quadrada e reduzem as vantagens identificadas neste documento. Por conseguinte, uma “faixa” potencial para α onde a separação angular entre os traços radiais adjacentes é, por exemplo, entre cerca de $0,2^\circ$ e $0,06^\circ$ radianos.

[0057] Além da equação de Canto descrita acima, há outras descrições para formar e modelar o canto de um laço final ou traço que também melhoram os efeitos vistos quando o canto é “afiado”. Deste modo, por exemplo, como descrito acima, e no contexto de um laço final como descrito acima em relação a, por exemplo, e laço 714 ilustrado na Figura 7, a primeira seção de borda interna radial e a segunda seção de borda interna radial do laço final nas regiões de início e de término do laço pode, cada um, ser caracterizado por uma inclinação $dr/d\theta$, que é uma função linear de $r(\theta)$ a partir de um primeiro traço condutor até a região de transição e onde a inclinação é uma função linear diferente da região de transição ao traço condutor a ser conectado.

[0058] Em outra descrição da formação e modelagem do canto do laço final, pode-se selecionar qualquer ponto entre a borda interna e externa do laço, e moldar o laço, de modo que a menor magnitude de densidade de corrente sob excitação de corrente contínua nesse ponto não seja menor do que 50% da maior magnitude de densidade de corrente avaliada ao longo da linha mais curta entre a borda interna e externa do laço e passando por esse ponto. Esta abordagem, por

consequente, também reduz os efeitos adversos da densidade de corrente agregada.

[0059] Em ainda outra descrição para formar e modelar o canto de um laço final, a respectiva inclinação da primeira seção de borda interna radial e da segunda seção de borda interna radial do laço são caracterizadas, cada uma, por um valor de inclinação monotonicamente variável como uma função do ângulo de rotação a partir do traço condutor até o outro traço condutor a ser conectado. Isso também reduz as correntes induzidas, ao reduzir a densidade de corrente agregada no canto. Em ainda outra abordagem para reduzir a densidade de corrente agregada, um exemplo de modalidade alcança pelo menos 90% do valor máximo da densidade de corrente, conforme determinado pelos cálculos FEA/FEM, dentro dos primeiros 20% da borda interna CT (como definido acima) medido ao longo da borda interna de uma interconexão a partir do primeiro traço condutor em direção à região de transição.

[0060] Em projetos práticos de estator, estruturas fora do plano também podem formar elementos secundários parasitas. A Figura 8 mostra uma renderização bastante expandida (no eixo z) de um estator de motor empilhado. Na construção atual, o espaçamento entre o cobre seria aproximadamente o mesmo que a espessura do cobre. Isso ilustra a considerável complexidade da noção de “proximidade”, que pode variar com base nos parâmetros de projeto do estator, tais como contagem de pólos, número de voltas, etc. Nesse sentido, como mostrado na Figura, as superfícies condutoras podem ser escalonadas em grupos (grupos de três, como mostrado na Figura 8, são apenas uma configuração de exemplo), na estrutura e na função, com o objetivo de manter as eficiências necessárias do dispositivo como um todo. Deste modo, por exemplo, todos os laços externos não se alinharão para a altura total das camadas empilhadas do estator do motor/gerador, e as vantagens serão obtidas em

campos eletromagnéticos reduzidos gerados em outra área que não a ativa de uma placa.

[0061] Com referência à Figura 9, um laço de giro de extremidade 700 tem um traço de interconexão que é dividido longitudinalmente em dois ou mais trajetos paralelos 704 para a maior parte de seu comprimento. A(s) divisão(ões) longitudinal(is) tem pouco efeito na condutividade de ponta a ponta, mas muda a maneira pela qual o fluxo variável no tempo é ligado pela estrutura. A densidade de corrente resultante induzida nos segmentos de giro de extremidade separados pela(s) fenda(s) 706 (causadas pela(s) região(ões) estreita(s) alongada(s) substancialmente de condutividade elétrica zero ou nula) é ilustrada nas Figuras 10 e 11 por uma simulação, com a utilização das mesmas condições, para que os efeitos possam ser comparados através de diferentes modalidades, tanto em forma como em magnitude. Além disso, o efeito das fendas é evitar um aumento substancial na densidade de corrente, muitas vezes visto quando nenhuma fenda ou menos fendas são usadas.

[0062] O resultado FEM apresentado na Figura 10 mostra um efeito substancial da corrente induzida causada por um campo externo variável no tempo na origem 1004 do traço alongado 1002. As correntes induzidas são particularmente grandes na origem, e as regiões de superfície 1006 e 1008 verticalmente alinhadas com a origem. Note-se que a fenda longitudinal 706 na Figura 11, dada uma folga radial particular para o giro de extremidade, necessariamente reduz a área da seção transversal e, por essa razão, aumenta a resistência de corrente contínua do segmento de giro de extremidade. Além disso, a largura da fenda é dependente da espessura do cobre, que determina o tamanho mínimo de característica alcançável com a utilização do processo de foto-resina/gravação por meio do qual as placas de circuito impresso são feitas. Deste modo, o número de fendas em qualquer projeto

depende do vazamento de fluxo, de outras fontes dB/dt , da folga radial para os giros de extremidade, e da velocidade de operação do projeto do motor ou gerador. Vantajosamente, no entanto, como ilustrado na Figura 11, a existência destas novas fendas pode reduzir substancialmente as distribuições de corrente induzida nas características de giro de extremidade, ligação, neutro, conexão de potência e semelhantes em um projeto de estator, tanto nas regiões de origem quanto nas de superfície alinhada. A extensão física do efeito da corrente induzida também é reduzida.

[0063] Uma consideração de projeto no estator 100 envolve um compromisso entre perdas de condução e correntes parasitas na área ativa do estator. Para reduzir as perdas de condução, os condutores devem ser mais amplos (ou conectado em paralelo nas camadas subsequentes). Para reduzir as perdas por correntes parasitas, as áreas efetivas que capturam o fluxo variável no tempo devem ser menores, portanto os condutores devem ser mais estreitos.

[0064] Uma terceira fonte de calor envolve correntes parasitas devido ao campo magnético dos condutores de corrente. É importante que se considere esse efeito nas regiões interna e externa da PCB, onde diferentes camadas podem executar diferentes funções.

[0065] A Figura 12 ilustra uma vista parcial em corte transversal do estator 100, de acordo com algumas modalidades. Sem limitação e para fins de ilustração, um eixo “z” é mostrado na direção do empilhamento das diferentes camadas no estator 100, e um eixo perpendicular “r” é mostrado ao longo de sua seção transversal. Como visto, o estator 100 pode incluir um substrato dielétrico 162 inserido entre as camadas condutoras 161a e 161b. As Vias 125 fornecem condutividade elétrica entre as camadas condutivas 161a e 161b. Além disso, uma via (ou vias) 125, que é eletricamente condutora, também podem fornecer condutividade térmica entre as camadas 161a e 161b devido ao material

condutor que é tipicamente usado nesses elementos (por exemplo, cobre, alumínio, estanho, tungstênio e compostos derivados). O substrato dielétrico 162 pode incluir qualquer material utilizado em PCB, tal como um material compósito que inclui fibra de vidro tecida com um aglutinante de resina epóxi (por exemplo, FR-4 e semelhantes). Como ilustrado na Figura 12, as regiões não reticuladas, isto é, as regiões claras, são eletricamente condutoras e as vias 125 se estendem através do substrato fornecendo contato elétrico a partir dos traços em uma superfície até os traços na superfície oposta do substrato.

[0066] Por conseguinte, em algumas modalidades, o estator 100 inclui pelo menos um dos elementos condutores 111, localizado em diferentes camadas condutivas 161a e 161b. Por exemplo, o elemento condutor 111a pode ser um de uma pluralidade de elementos condutores 111 na área ativa do estator 100 e dispostos sobre a camada condutora 161a. Correspondentemente, o elemento condutor 111b pode ser um de uma pluralidade de elementos condutores 111 na área ativa do estator 100 e dispostos sobre uma camada condutora diferente 161b.

[0067] A Figura 13 ilustra um detalhe do estator 100, incluindo uma pluralidade de elementos condutores 111, dispostos radialmente em PCS 110, de acordo com algumas modalidades. Os elementos condutores 152, os laços internos, estão dispostos angularmente na PCS 110 e neste exemplo de modalidade, os laços externos são divididos ao longo das fendas 157. Os laços internos ilustrados aqui não são divididos devido ao espaço limitado disponível mais próximo do centro do estator. Em algumas modalidades, o estator 100 inclui ainda uma pluralidade de terceiros elementos condutores que se estendem radialmente a partir de um raio maior do que r_1 a partir do ponto de origem central 101 para a periferia 102 e dispostos angularmente na PCS 110, em que pelo menos um dos terceiros elementos condutores

e pelo menos um dos segundos elementos condutores são coincidentes, mas localizados em diferentes camadas condutoras. Por exemplo, e sem perda de generalidade, os terceiros elementos condutores podem ser incluídos na camada condutora 161a, e os segundos elementos condutores 121b podem ser incluídos na camada condutora 161b.

[0068] Na modalidade ilustrada da Figura 13, os traços condutores radiais 111 podem terminar em um conector de terminação 191 a uma distância 142 (r_1) a partir do ponto de origem central 101. Esses conectores são descritos em mais detalhes na Solicitação Copendente dos Estados Unidos de número de série 15/199.527, identificada e incorporada por referência acima.

[0069] A Figura 14 ilustra um detalhe de uma área interna próxima ao ponto de origem central 101 do estator 100, incluindo uma pluralidade de elementos condutores 111 dispostos radialmente e elementos condutivos 151 dispostos angularmente na PCS 110, de acordo com algumas modalidades. Devido às restrições espaciais perto do ponto de origem do centro 101, em algumas modalidades apenas certos elementos condutores 151 são acoplados eletricamente aos elementos condutores correspondentes 111. Esta disposição evita que se faça contato elétrico indesejado entre os elementos condutores adjacentes, tais como aqueles usados para aumentar a dissipação de energia térmica, próximo ao ponto de origem central 101. Além disso, para abordar a questão da condutividade térmica e elétrica no espaço altamente restrito da área interna da PCS 110, os elementos condutores, tais como os laços finais 151, podem alternar ou ser escalonados, com um laço final estando em uma camada de uma PCS 110 de multicamadas e o outro laço final estando em uma camada adjacente da PCS 110. Ao escalonar os laços finais, em diferentes camadas condutoras, eles podem se estender para dentro enquanto

mantêm uma folga desejada entre os elementos condutores adjacentes na mesma camada condutora. Outras configurações de empilhamento consistentes com esse recurso podem ser previstas, por exemplo, ao conectar cada terceiro ou quarto elemento condutor através de uma via. As vias podem se estender não apenas entre as camadas condutoras na superfície de um único substrato, mas também através de múltiplas camadas.

[0070] Algumas modalidades incluem uma ou mais vias entre as camadas perto das partes exteriores da estrutura de terminação 115 com o objetivo de proporcionar uma ligação elétrica entre as camadas. Estas vias são tipicamente empregadas em conexões de interconexão e, em particular, em conexão com os laços externo e interno, para proporcionar as estruturas de enrolamento requeridas pelo dispositivo. Essas conexões podem empregar múltiplas vias, ou apenas uma via, estendendo-se através de múltiplas camadas para habilitar as conexões necessárias para o circuito requerido. Deste modo, a região de início de um laço interno ou externo pode estar em uma primeira camada, a região de término em uma segunda camada, e a região de transição pode incluir, então, as conexões de interconexão (por exemplo, um fio de traço que conecta à região de início, a uma via ou outro conector entre camadas, e a um segundo traço de conexão conectando-se à região de término). Nesta configuração, assim como nas configurações mostradas, por exemplo, na Figura 7, os traços da região de início e da região de término desejarão atender aos termos de, por exemplo, uma equação de canto.

[0071] A Figura 15 mostra uma vista em perspectiva da configuração de conexão 615a, de acordo com algumas modalidades. A configuração de conexão 615a inclui elementos condutores 111a, b e 121a, b em duas camadas condutoras diferentes (por exemplo, camada condutora 161a e 161b), formando um acoplamento elétrico na estrutura

de terminação 115. Mais especificamente, a configuração de conexão 615a fornece acoplamento elétrico entre os elementos condutores 111a, b e os elementos condutores 121a, b.

[0072] A Figura 16 ilustra um fluxograma para um método 800 para fabricação de um estator incluindo uma camada composta plana (PCS) tendo pelo menos uma camada dielétrica e uma pluralidade de camadas condutoras, de acordo com algumas modalidades (por exemplo, o estator 100, a PCS 110, o substrato dielétrico 162, as camadas condutoras 161a, b).

[0073] Os métodos consistentes com a presente descrição podem incluir pelo menos alguns, mas não necessariamente todos, as etapas ilustradas no método 800, e em algumas modalidades podem ser realizados em uma sequência diferente. Além disso, os métodos consistentes com a presente descrição podem incluir pelo menos duas ou mais etapas como no método 800, realizado se sobrepondo no tempo, ou quase simultaneamente.

[0074] A etapa 802 inclui a formação de uma primeira camada condutora sobre uma superfície da PCS, por disposição radial de acordo com a presente descrição, dos primeiros elementos condutores sobre um substrato dielétrico, cada um começando a partir de uma primeira distância a partir de um ponto de origem central da PCS e se estendendo radialmente para um raio externo fixo. A etapa 804 inclui a formação de uma segunda camada condutora sobre um lado do substrato oposto à primeira camada condutora, ao dispor um segundo elemento condutor que se estende radialmente a partir de uma distância prefixada a partir do ponto de origem central da PCS.

[0075] A etapa 806 inclui a formação de uma pluralidade de laços de extremidade externa de acordo com modalidades da descrição em ambas as superfícies do substrato, e o acoplamento, de acordo com a descrição neste documento, dos primeiros elementos condutores entre

si e aos segundos elementos condutores através de uma conexão de interconexão com a utilização dos laços externos. A etapa 808 inclui a formação de uma pluralidade de laços de extremidade internos de acordo com modalidades da descrição em ambas as superfícies do substrato e o acoplamento, de acordo com a descrição neste documento, dos primeiros elementos condutores entre si e aos segundos elementos condutores através de uma ligação de interconexão com a utilização dos laços internos. Na etapa 810, as vias ou outras entre conexões de superfície podem ser empregadas.

[0076] Em algumas modalidades, o acoplamento do primeiro elemento condutor com os segundos elementos condutores pode incluir um acoplamento térmico. Além disso, o acoplamento pode incluir uma configuração de ligação tendo estruturas de interconexão incluindo vias que passam através do substrato dielétrico de uma camada condutora para outra camada condutora não adjacente (por exemplo, utilizando as vias 125).

[0077] Um perito na técnica perceberá que a descrição pode ser incorporada em outras formas específicas sem se afastar do espírito ou características essenciais da mesma. Por conseguinte, as modalidades anteriores devem ser consideradas em todos os aspectos mais ilustrativas do que limitativas da descrição descrita neste documento. O âmbito da descrição é, deste modo, indicado pelas reivindicações em anexo, em vez de pela descrição anterior, e todas as alterações que se enquadrem no significado e gama de equivalência das reivindicações, destinam-se, portanto, a ser abrangidas.

[0078] Vários aspectos da presente invenção podem ser usados sozinhos, em combinação, ou em uma variedade de arranjos não especificamente discutidos nas modalidades descritas no precedente e, portanto, não estão limitados nesta aplicação aos detalhes e disposição dos componentes estabelecidos na descrição anterior ou ilustrada nos

desenhos. Por exemplo, os aspectos descritos em uma modalidade podem ser combinados de qualquer maneira com aspectos descritos em outras modalidades.

[0079] Além disso, a invenção pode ser incorporada como um método, dos quais um exemplo foi fornecido. Os atos realizados como parte do método podem ser ordenados de qualquer maneira adequada. Por conseguinte, podem ser construídas modalidades nas quais os atos sejam realizados em uma ordem diferente da ilustrada, o que pode incluir a realização de alguns atos simultaneamente, mesmo que sejam mostrados como atos sequenciais em modalidades ilustrativas.

[0080] O uso de termos ordinais como "primeiro", "segundo", "terceiro", etc., nas reivindicações para modificar um elemento de reivindicação não indica por si só qualquer prioridade, precedência ou ordem de um elemento de reivindicação sobre outro ou a ordem temporal em que os atos de um método são realizados, mas são usados meramente como rótulos para distinguir um elemento reivindicado tendo um certo nome proveniente de outro elemento tendo um mesmo nome (mas para o uso do termo ordinal) para distinguir os elementos de reivindicação.

[0081] Além disso, a fraseologia e terminologia usada neste documento são usadas para o propósito de descrição e não deve ser considerada como limitante. O uso de “incluindo”, “compreendendo” ou “tendo”, “contendo”, “envolvendo”, e suas variações neste documento, engloba os itens listados a seguir e seus equivalentes, bem como itens adicionais.

REIVINDICAÇÕES

1. Aparelho para um motor elétrico e/ou gerador compreendendo:

uma estrutura composta plana (PCS) compreendendo pelo menos uma camada dielétrica e um padrão condutor sobre uma superfície de pelo menos uma camada dielétrica, o padrão condutor compreendendo:

pelo menos um primeiro e segundo traços condutores (111), cada um se estendendo radialmente a partir de um raio interno para um raio externo e dispostos angularmente na superfície;

uma primeira interconexão (153) tendo uma primeira porção conectada ao primeiro traço condutor (111) no seu raio externo e uma segunda porção conectada ao segundo traço condutor (111) no seu raio externo;

em que, a primeira interconexão (153) é limitada por uma borda interna e por uma borda externa, e tem uma região de início (710), uma região de transição, uma região de término, e a região de início (710) tendo uma primeira seção de borda interna radial que se estende a partir do primeiro traço condutor (111) até a região de transição; e

caracterizado pelo fato de que pelo menos uma porção da primeira seção de borda interna radial tendo uma curvatura que varia continuamente como uma função de comprimento de arco.

2. Aparelho, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de que** um raio r da porção da primeira seção de borda interna radial como uma função de um ângulo θ é definida pelo menos em parte, pela equação

$$r(\theta) = r_d + (r_s - r_d)e^{-(\theta - \theta_s)/\alpha}$$

para um canto iniciando em um ângulo de início em θ_s e raio de início r_s , terminado em um raio de destino r_d , e avaliado para $\theta > \theta_s$, e no qual α é um parâmetro que define uma taxa de transição de r_s

para r_d , ou a versão refletida equivalente com

$$r(\theta) = r_d + (r_s - r_d)e^{-(\theta_s - \theta)/\alpha}$$

para um canto avaliado para $\theta < \theta_s$, iniciando em r_d e terminando em θ_s e r_s , e no qual α é um parâmetro que define uma taxa de transição de r_d para r_s .

3. Aparelho, de acordo com a reivindicação 1 ou 2, **caracterizado pelo fato de que:**

a região de término tem uma segunda seção de borda interna radial que estende a partir da região de transição até o segundo traço condutor; e

pelo menos uma porção da segunda seção de borda interna radial tem uma curvatura que varia continuamente como uma função de comprimento de arco.

4. Aparelho, de acordo com a reivindicação 3, **caracterizado pelo fato de que** um raio r da porção da segunda seção de borda interna radial como uma função de um ângulo θ é definida pelo menos em parte, pela equação

$$r(\theta) = r_d + (r_s - r_d)e^{-(\theta - \theta_s)/\alpha}$$

para um canto iniciando em um ângulo de início θ_s e um raio de início r_s , terminando em um raio de destino r_d , e avaliado para $\theta > \theta_s$, e no qual α é um parâmetro que define uma taxa de transição de r_s para r_d , ou a versão refletida equivalente com

$$r(\theta) = r_d + (r_s - r_d)e^{-(\theta_s - \theta)/\alpha}$$

para um canto avaliado para $\theta < \theta_s$, iniciando em r_d e terminando em θ_s e r_s , e na qual α é um parâmetro que define uma taxa de transição de r_d para r_s .

5. Aparelho, de acordo com a reivindicação 4, **caracterizado pelo fato de que** o raio r de toda a borda interna da primeira interconexão como uma função de um ângulo θ é definida pela equação

$$r(\theta) = r_{s1} + (r_d - r_{s1}) \left(1 - e^{-\frac{\theta - \theta_1}{\alpha}}\right) + (r_{s2} - r_d) \left(e^{-\frac{\theta_2 - \theta}{\alpha}}\right)$$

onde r_{s1} , é um raio em um primeiro ponto no qual a borda interna é conectada para o primeiro traço condutor, θ_1 é um ângulo em um primeiro ponto, r_{s2} é um raio em um segundo ponto no qual a borda interna é conduzida para o segundo traço condutor, θ_2 é um ângulo no segundo ponto, r_d é um raio no qual a borda interna se estende principalmente na direção angular, e α é um parâmetro que define uma taxa de transição de r_{s1} para r_d e de r_d para r_{s2} .

6. Aparelho, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 5, **caracterizado pelo fato de que:**

a região de início (710) tem uma primeira seção de borda externa radial que estende a partir do primeiro traço condutor (111) para a região de transição (714); e a região de término possui uma segunda seção de borda externa radial que estende a partir da região de transição (714) até o segundo traço condutor (111);

pelo menos uma porção da primeira seção de borda externa radial tem uma curvatura que varia continuamente como uma função de comprimento de arco; e

pelo menos uma porção da segunda seção de borda externa radial tem uma curvatura que varia continuamente como uma função de comprimento de arco.

7. Aparelho, de acordo com a reivindicação 6, **caracterizado pelo fato de que** um raio r da porção da primeira seção de borda externa radial como uma função de um ângulo θ e um raio r da porção da segunda seção de borda externa radial como uma função de um ângulo θ são cada uma definida pelo menos em parte, pela equação

$$r(\theta) = r_d + (r_s - r_d)e^{-(\theta - \theta_s)/\alpha}$$

para um canto iniciando em um ângulo de início θ_s e raio de início r_s , terminado em um raio de destino r_d , e avaliado para $\theta > \theta_s$, e no qual α é um parâmetro que define uma taxa de transição de r_s para r_d

ou a versão refletida equivalente com

$$r(\theta) = r_d + (r_s - r_d)e^{-(\theta_s - \theta)/\alpha}$$

para um canto avaliado para $\theta < \theta_s$, iniciando em r_d e terminando em θ_s e r_s , e no qual α é um parâmetro que define uma taxa de transição de r_d para r_s .

8. Aparelho, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 7, **caracterizado pelo fato de que** o PCS tem múltiplas camadas, e inclui ainda:

estruturas de conexão para interconectar porções de padrão condutor em camadas diferentes.

9. Aparelho, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 8, **caracterizado pelo fato de que** o aparelho compreende um stator para um motor de fluxo axial ou um gerador.

10. Aparelho, de acordo com qualquer uma das reivindicações 2 a 5 ou 7, **caracterizado pelo fato de que** a separação angular entre o primeiro traço condutor (111) e um traço condutor adjacente (111) que também se estende radialmente a partir do raio interno para o raio externo é δ radianos, e

α varia entre $0,06 \delta$ e $0,2 \delta$ radianos.

11. Aparelho, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 10, **caracterizado pelo fato de que** compreende:

em qualquer ponto entre a borda interna e a borda externa, uma menor magnitude de densidade de corrente sob excitação de corrente contínua não é menor do que 50% da maior magnitude de densidade de corrente avaliada ao longo da linha mais curta entre a borda interna e a borda externa passando através desse ponto.

12. Aparelho, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 11, **caracterizado pelo fato de que** pelo menos a primeira seção de borda interna radial é definida pelo menos em parte, por uma estrutura concebida para reduzir os efeitos de correntes parasitas em

estruturas de superfície condutivas axialmente adjacentes.

13. Aparelho, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 12, **caracterizado pelo fato de que** pelo menos a primeira seção de borda interna radial é definida por uma estrutura para reduzir as correntes parasitas nas porções condutoras externas da primeira interconexão.

14. Aparelho, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 13, **caracterizado pelo fato de que** pelo menos entre a borda interna e a borda externa da primeira interconexão em sua região de transição, a primeira interconexão tem pelo menos uma região alongada semelhante a uma fenda que não reduz substancialmente a condutividade elétrica a partir de uma extremidade da primeira interconexão à outra extremidade da primeira interconexão, e que se estende substancialmente em paralelo à borda interna na região de transição da primeira interconexão.

15. Aparelho, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 14, **caracterizado pelo fato de que** uma porção da borda interna da primeira interconexão a partir da conexão entre o primeiro traço condutor e a região de início até o início da região de transição atinge pelo menos 90% do valor máximo da densidade de corrente, conforme determinado pelos cálculos FEA/FEM, dentro dos primeiros 20% de uma distância de uma porção da borda interna medida ao longo da borda interna da primeira interconexão a partir do primeiro traço condutor em direção à região de transição.

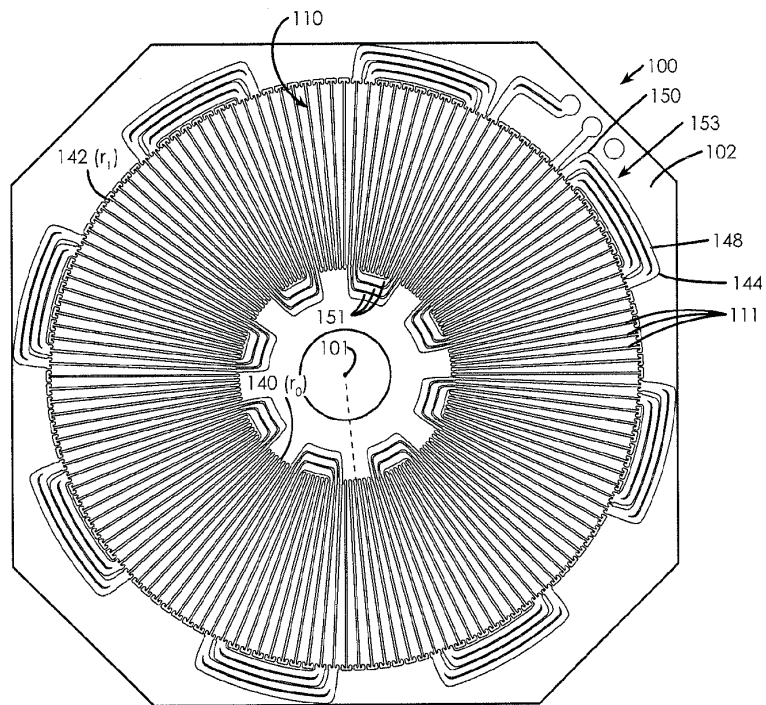


FIG. 1

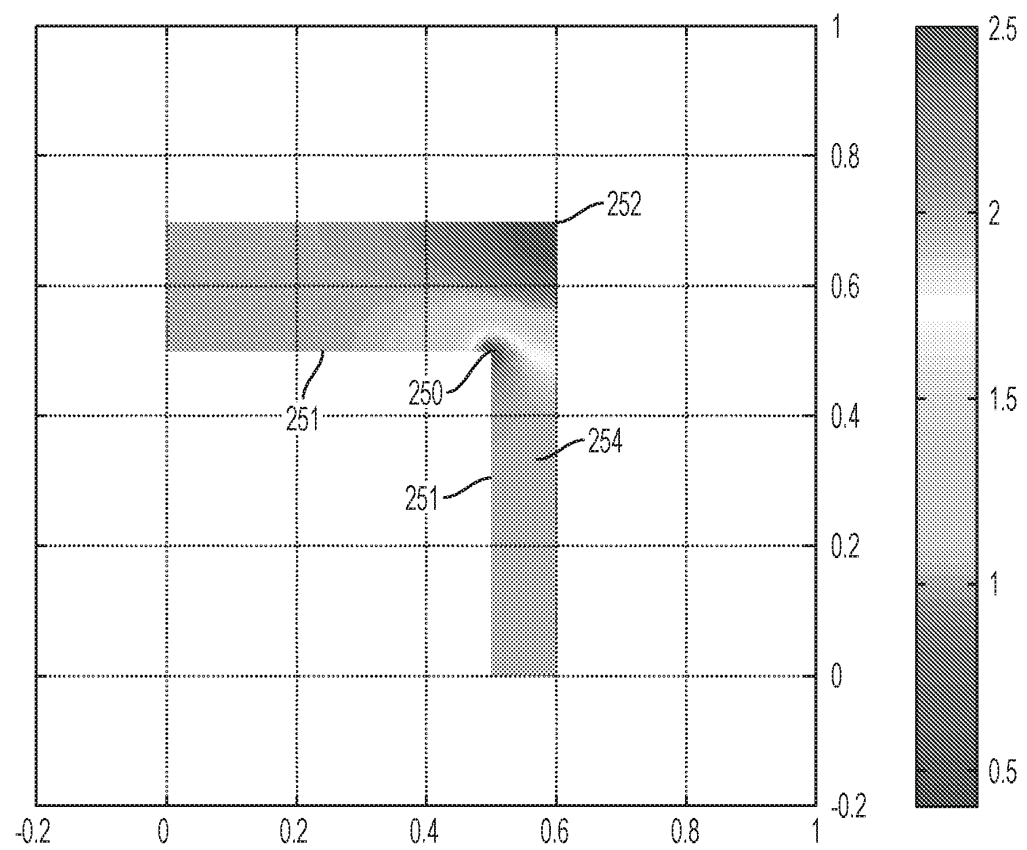


FIG. 2A

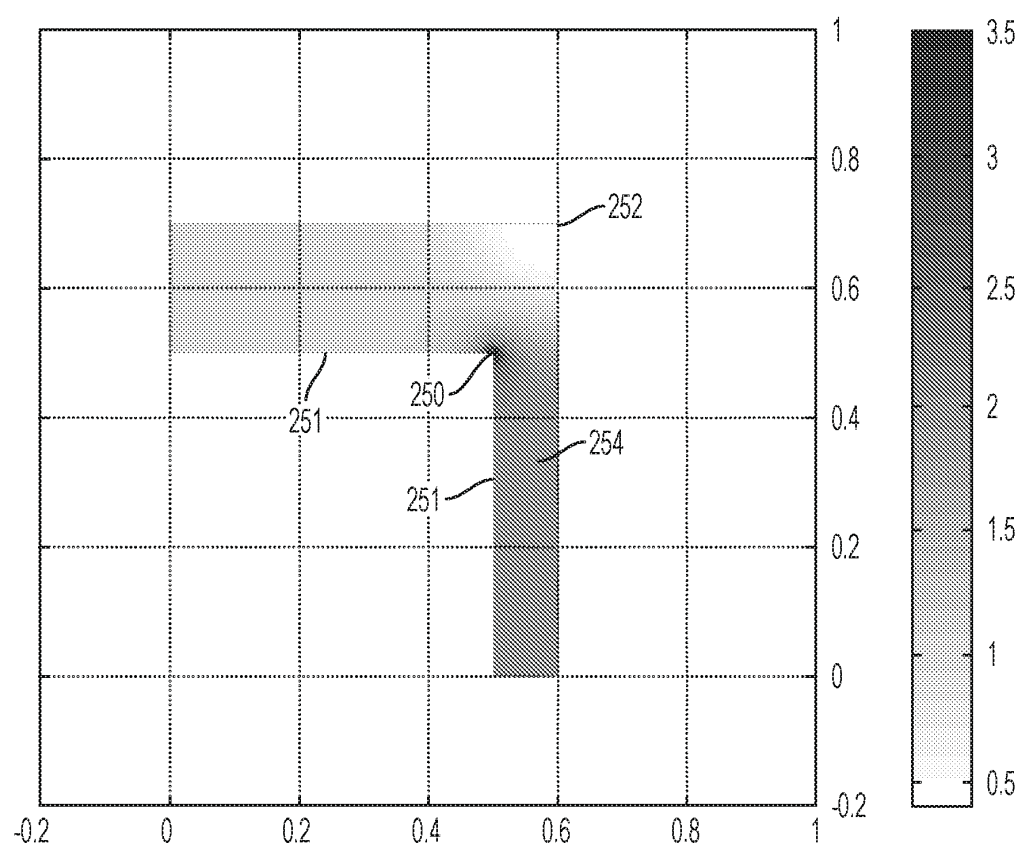


FIG. 2B

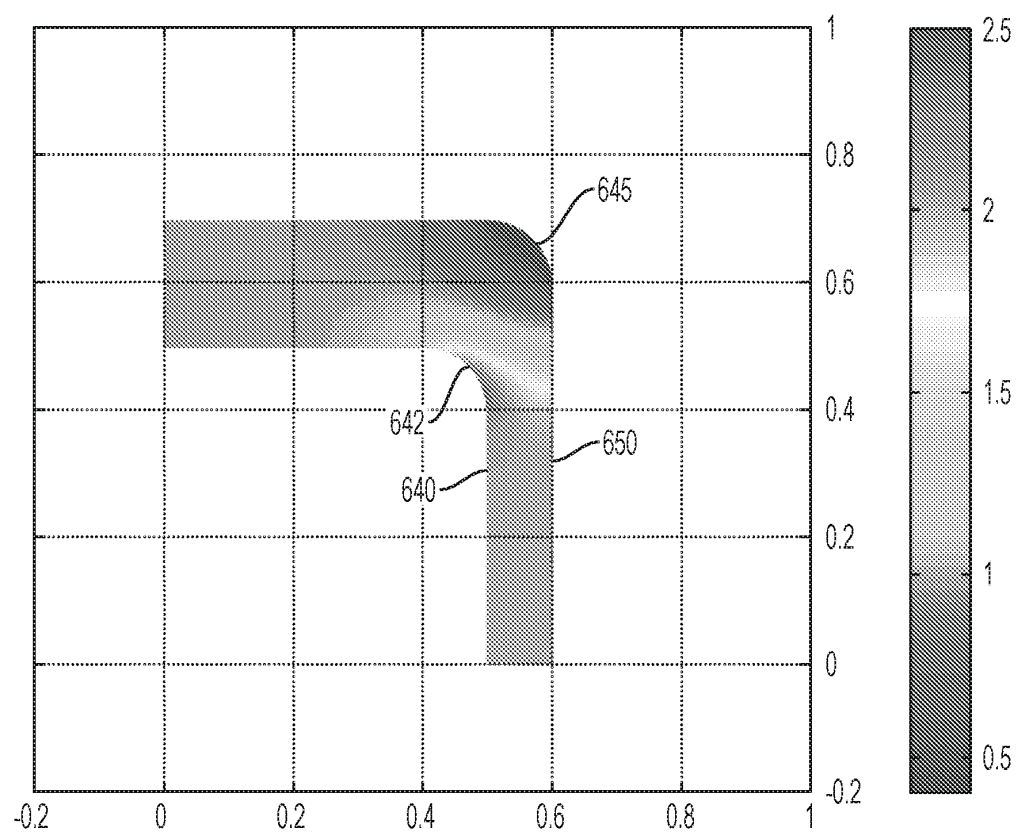


FIG. 3A

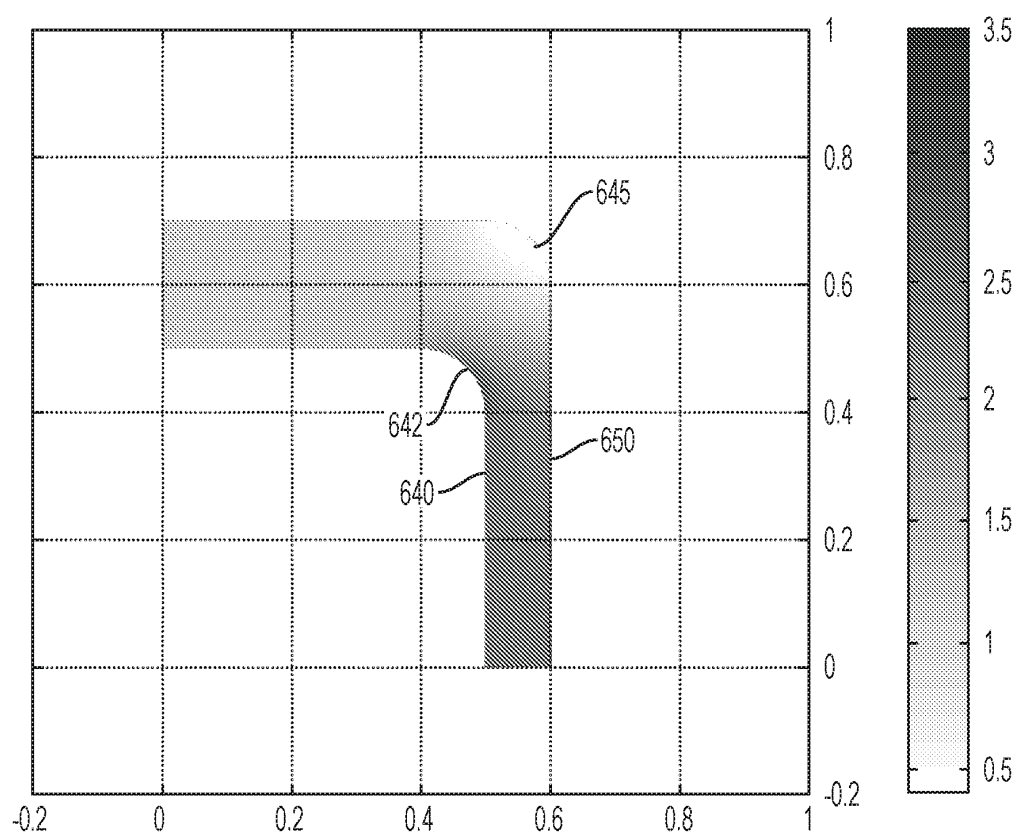


FIG. 3B

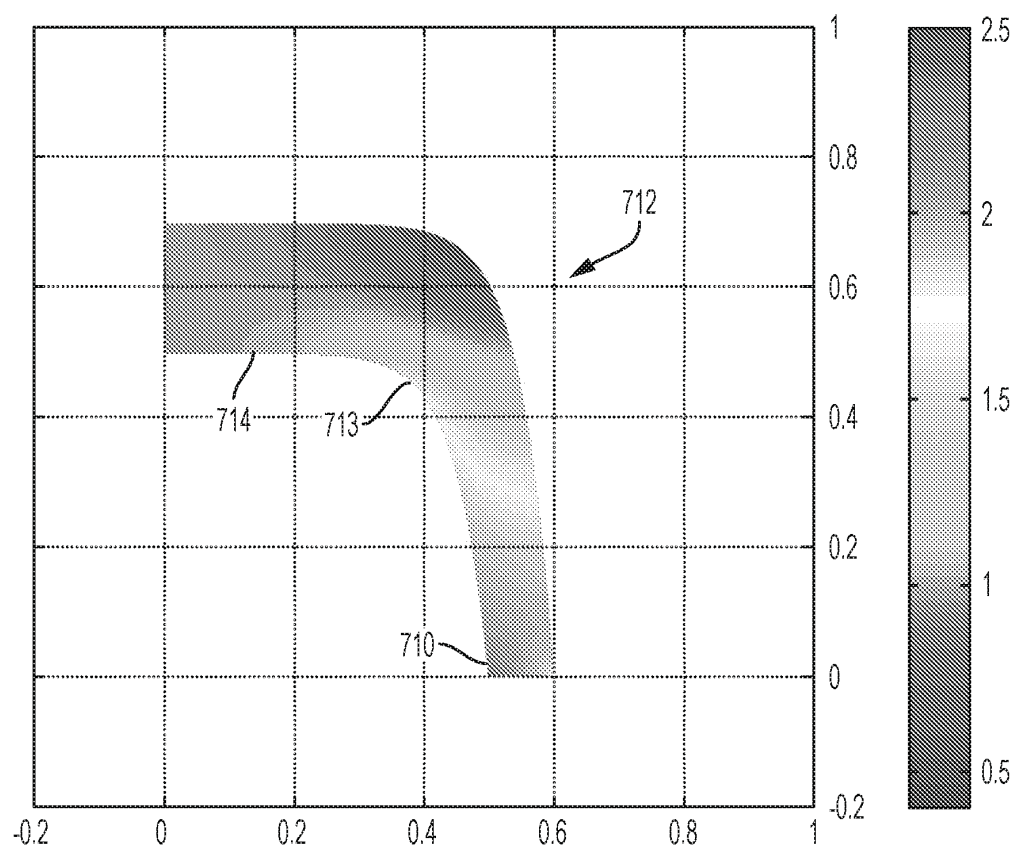


FIG. 4A

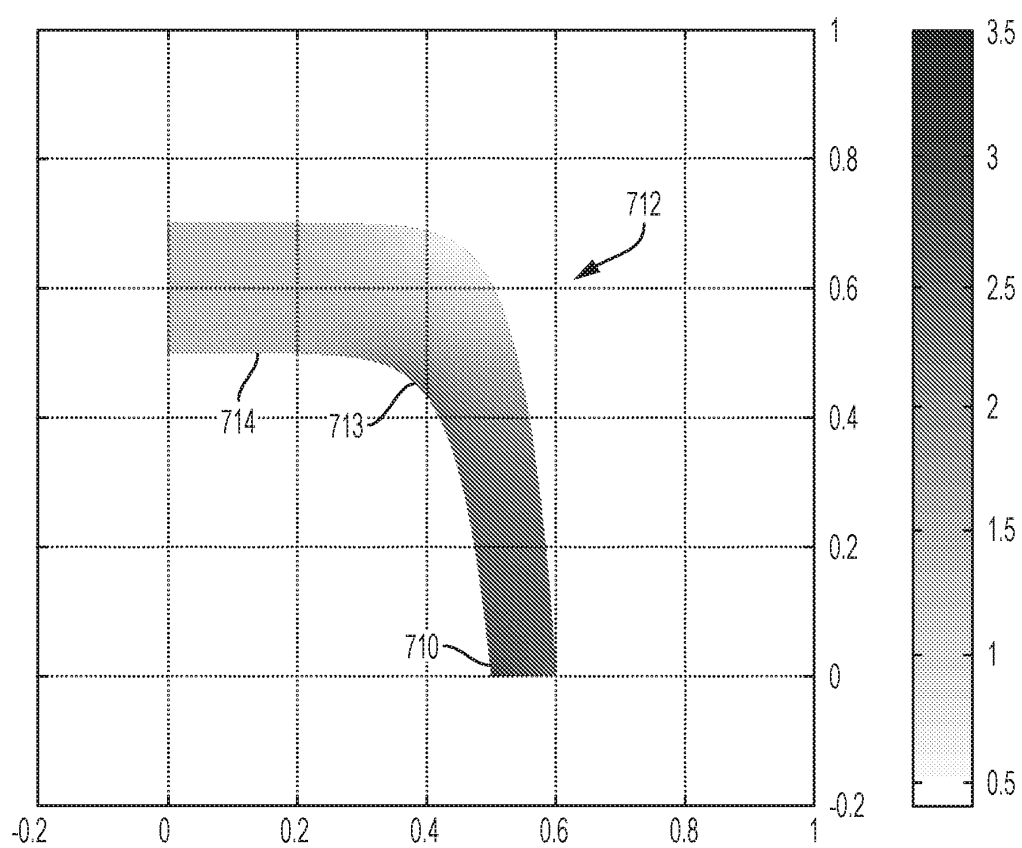


FIG. 4B

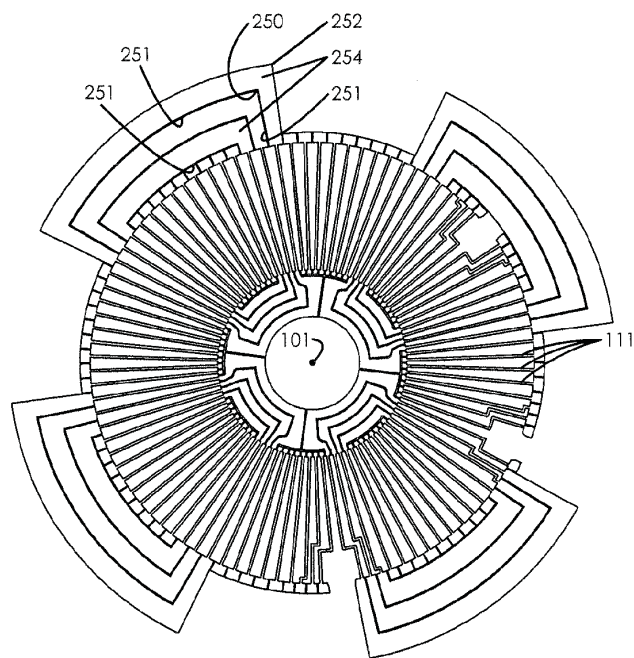


FIG. 5

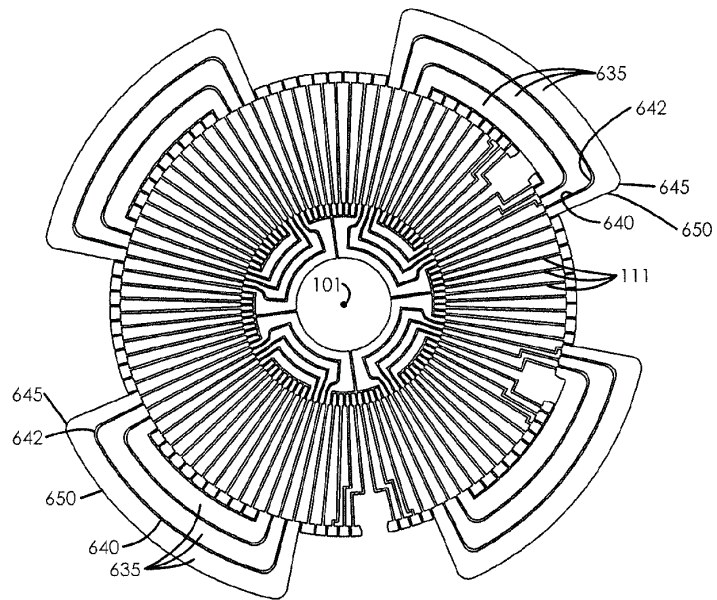


FIG. 6

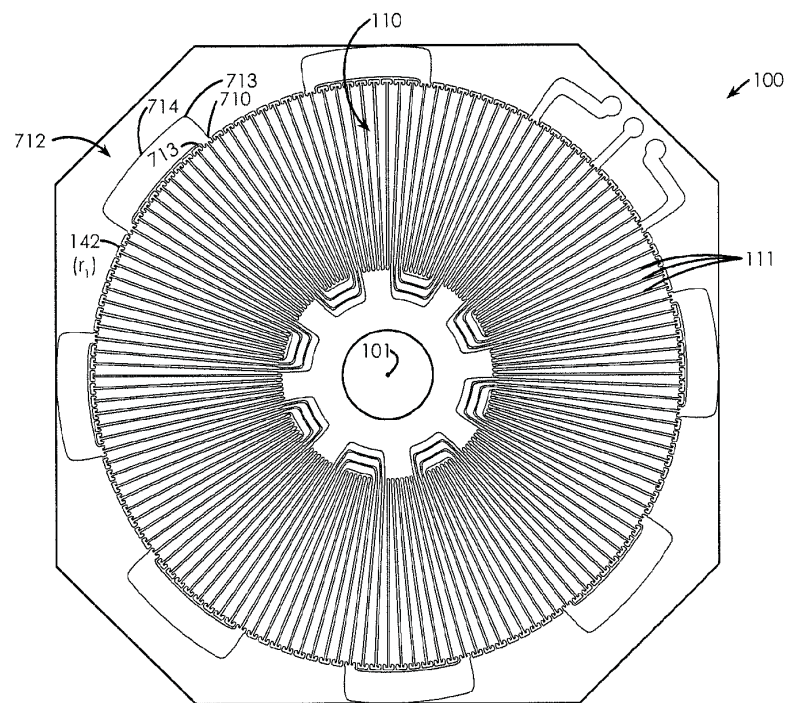


FIG. 7

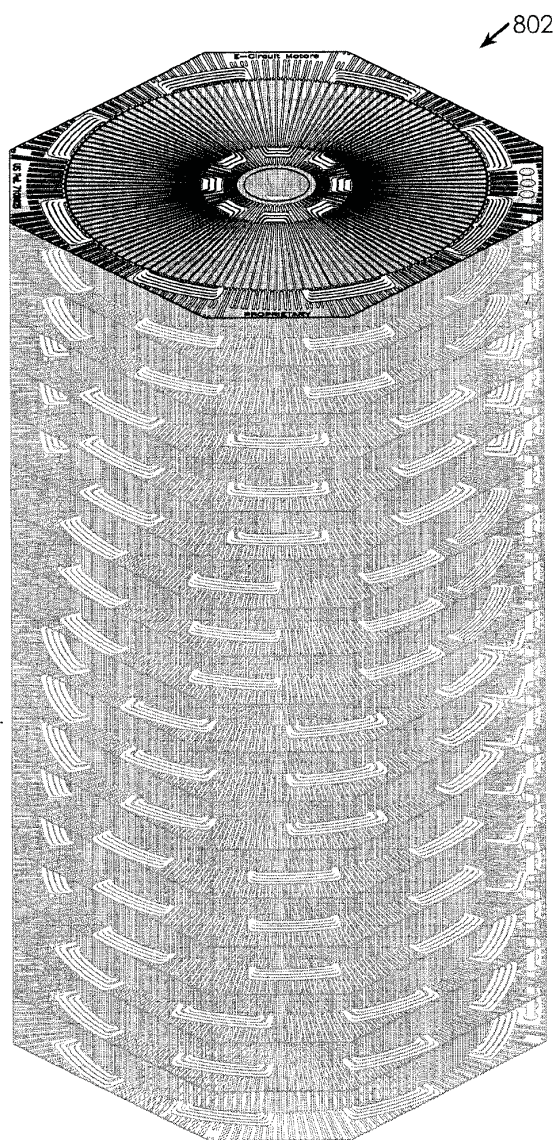


FIG. 8

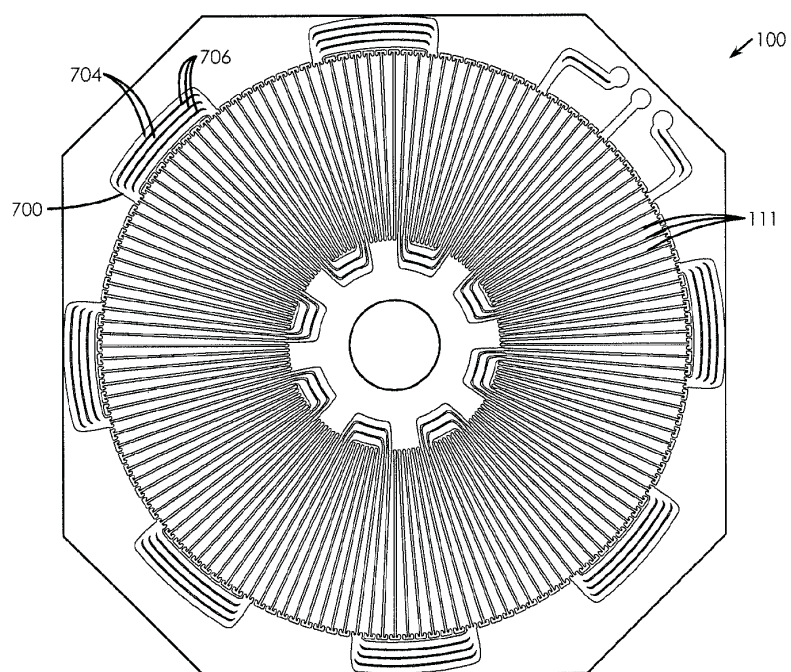
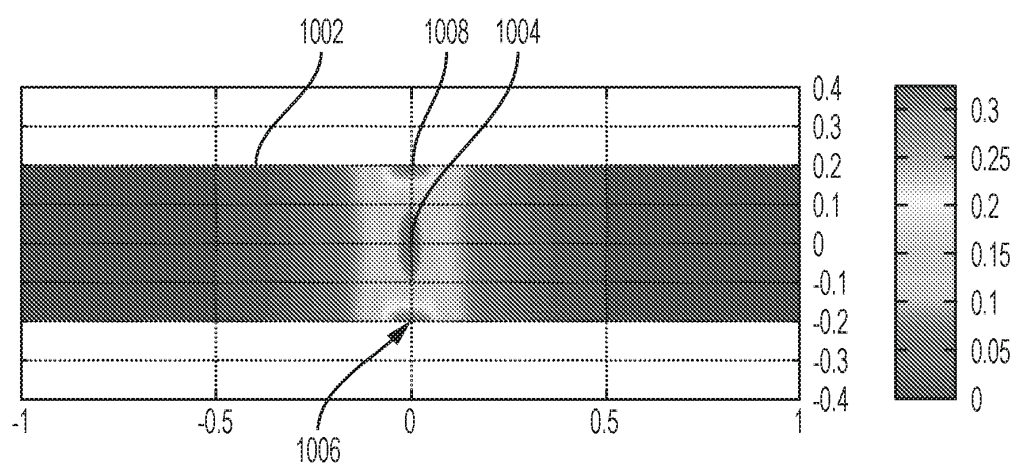


FIG. 9



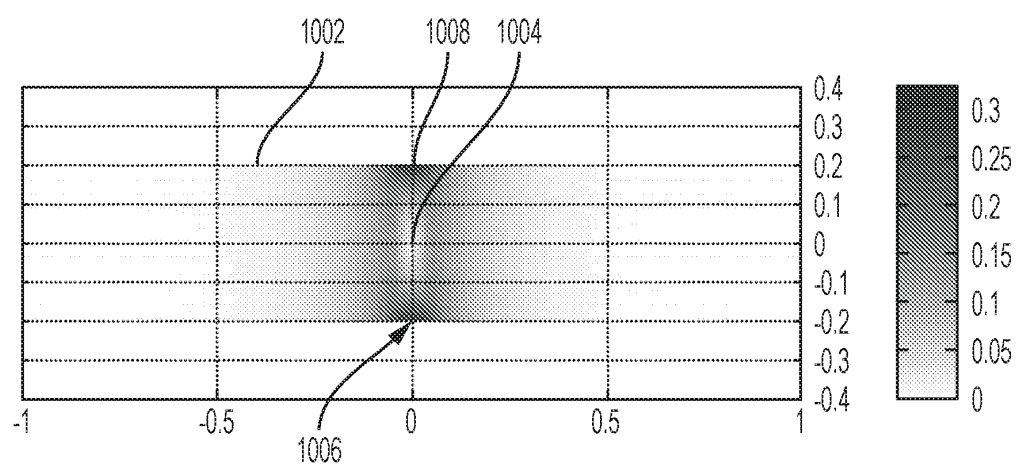


FIG. 10B

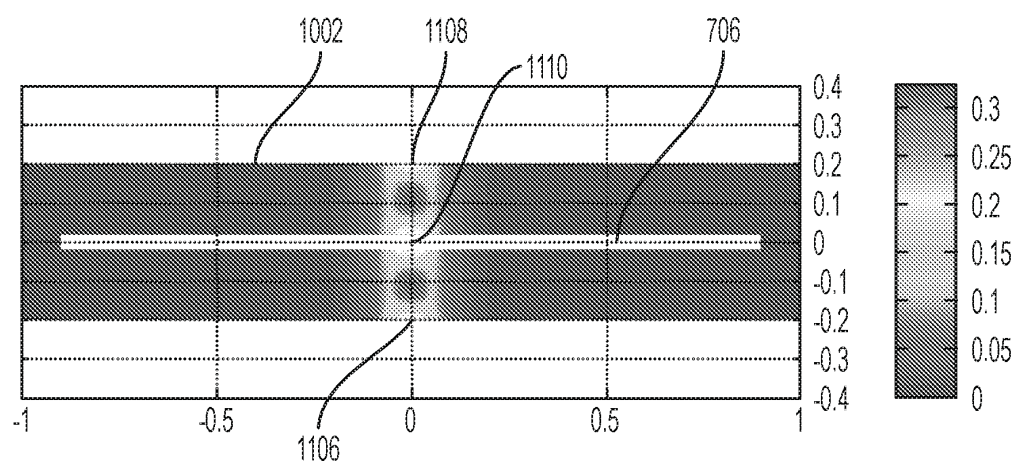


FIG. 11A

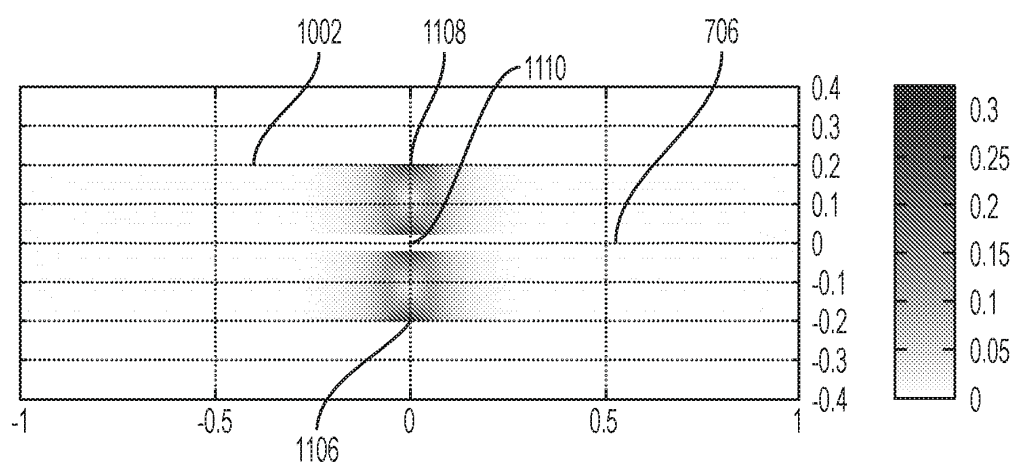


FIG. 11B

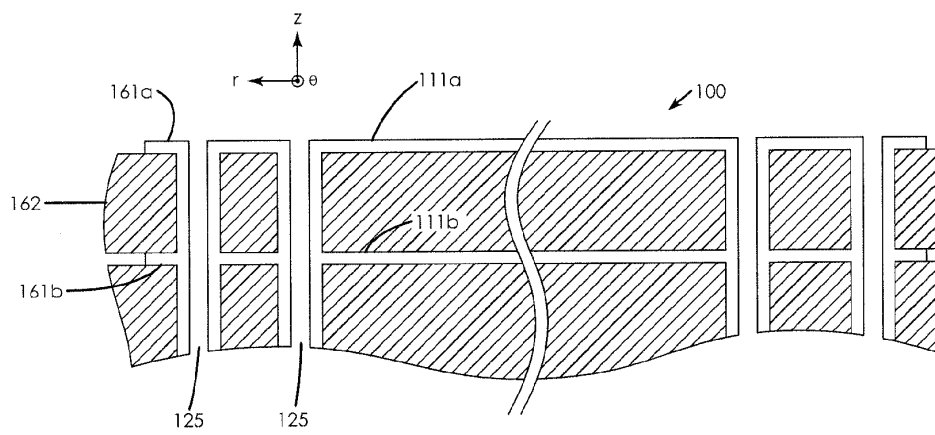


FIG. 12

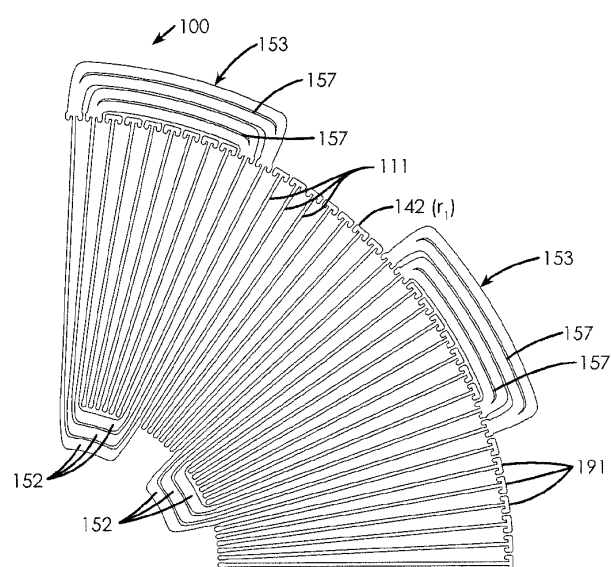


FIG. 13

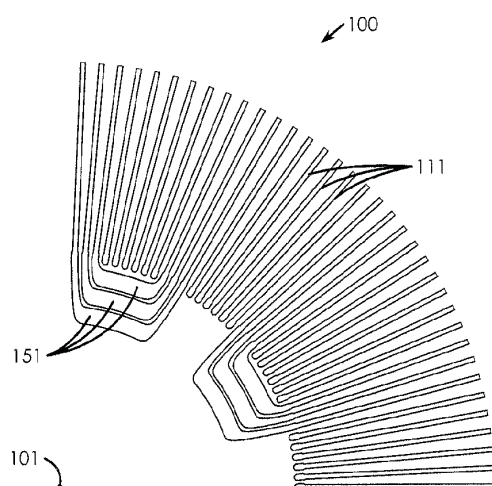


FIG. 14

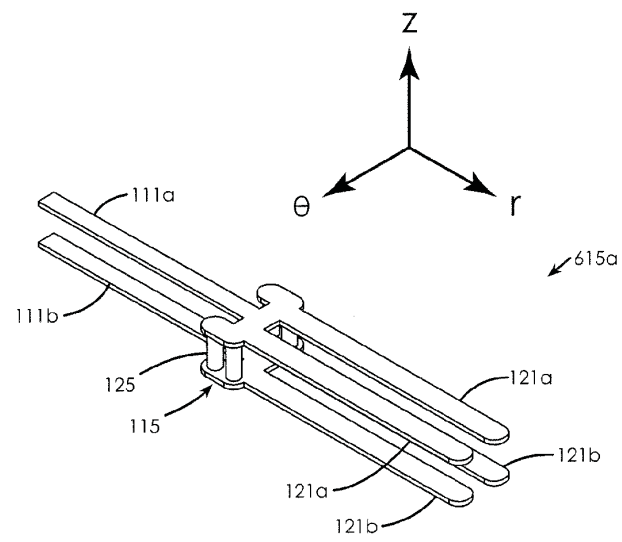


FIG. 15

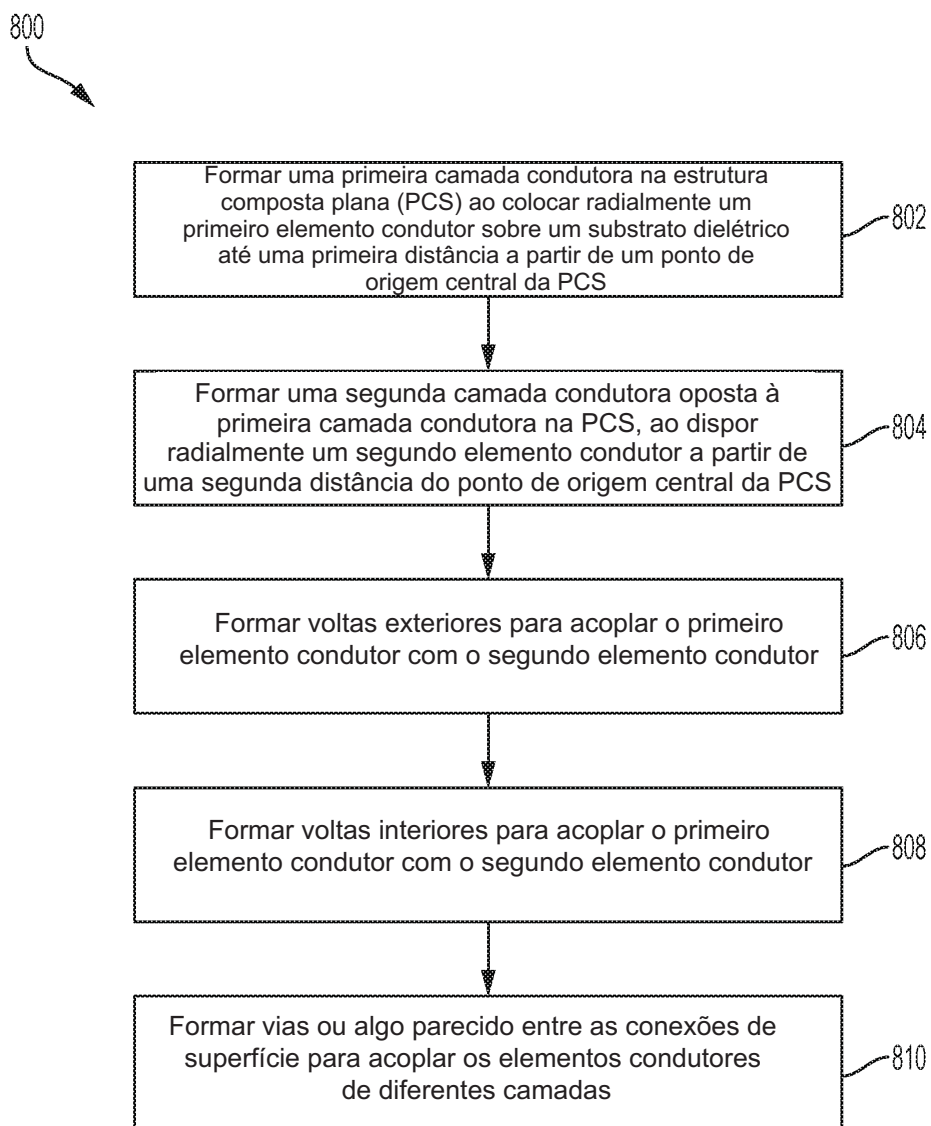


FIG. 16