



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

(11) BR 112015019474-5 B1



(22) Data do Depósito: 14/02/2013

(45) Data de Concessão: 01/02/2022

**(54) Título:** DISPOSITIVO E MÉTODO PARA A GERAÇÃO DE PARTE OU O TODO DE UM CAMPO B0 HOMOGÊNEO E PARA A GERAÇÃO SIMULTÂNEA DE CAMPOS DE GRADIENTE E/OU CAMPOS DE SHIMMING DENTRO DE UM VOLUME DE IMAGENS

(51) Int.Cl.: G01R 33/381; G01R 33/385.

(73) Titular(es): J. S. PASRICHA ENTERPRISES, LLC.

(72) Inventor(es): HARDAVE S. KHARBANDA.

(86) Pedido PCT: PCT US2013026006 de 14/02/2013

(87) Publicação PCT: WO 2014/126561 de 21/08/2014

(85) Data do Início da Fase Nacional: 13/08/2015

**(57) Resumo:** GERAÇÃO DE CAMPOS MAGNÉTICOS PARA IMAGIOLOGIA POR RESSONÂNCIA MAGNÉTICA (MRI) COM LOOPS QUE POSSUEM SHUNTS DE CORRENTE. A patente da invenção refere-se a loop de condução que possui seção transversal robusta e é energizado por uma única fonte de tensão capaz de produzir correntes extremamente altas. Segmentos antiparalelos do loop são colocados próximos um do outro e os segmentos não casados nesse loop são moldados para formar um campo homogêneo B0. Tensão alimenta corrente shunt a partir de um ponto do loop robusto para outro de modo que a redistribuição resultante de corrente interna no loop robusto permite-o simultaneamente estabelecer requeridos campos de gradiente e/ou campos momentâneos em adição ao seu campo B0.

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para  
**"DISPOSITIVO E MÉTODO PARA A GERAÇÃO DE PARTE OU O  
TODO DE UM CAMPO  $B_0$  HOMOGÊNEO E PARA A GERAÇÃO  
SIMULTÂNEA DE CAMPOS DE GRADIENTE E/OU CAMPOS DE  
SHIMMING DENTRO DE UM VOLUME DE IMAGENS".**

### **REFERÊNCIA CRUZADA A PEDIDO RELACIONADO**

[0001] O presente pedido está relacionado ao Pedido Internacional N° PCT/US2012/050462, o qual foi depositado em 10 de agosto de 2012 e que havia reivindicado o benefício do Pedido de Patente Provisório Norte-Americano N° 61/574.823, depositado em 10 de agosto de 2011.

### **DECLARAÇÃO REFERENTE À PESQUISA E DESENVOLVIMENTO FINANCIADOS PELO GOVERNO FEDERAL**

[0002] A presente descrição não foi objeto de pesquisa ou desenvolvimento patrocinados pelo governo federal.

### **CAMPO TÉCNICO**

[0003] A presente descrição refere-se ao estabelecimento de padrões de campo magnético através da aplicação de correntes elétricas; mais particularmente, a presente descrição refere-se ao estabelecimento de padrões de campo magnético no contexto de scanners de Imagiologia por Ressonância Magnética (MRI) e no contexto de outros sistemas, tais como Espectroscopia de Ressonância Magnética Nuclear, Imagiologia por Ressonância Paramagnética Eletrônica e Espectroscopia de Ressonância Paramagnética Eletrônica, os quais também requerem o estabelecimento de padrões de campo magnético precisos para obter informações de um indivíduo.

### **TÉCNICA ANTECEDENTE**

[0004] Um scanner de Imagiologia por Ressonância Magnética (MRI) e outros dispositivos similares são sistemas que estabelecem

campos magnéticos de modo a manipular com precisão as orientações dos momentos magnéticos inherentemente presentes em um indivíduo. Esta manipulação faz com que os momentos magnéticos gerem sinais elétricos dentro do scanner e estes sinais, por sua vez, são usados para construir imagens detalhadas da composição interna do indivíduo.

[0005] O campo magnético visto dentro de um scanner de MRI durante a imagiologia normalmente é a soma de dois ou mais padrões de campo magnético muito diferentes produzidos pelo scanner. Estes padrões devem ser cuidadosamente concebidos e cronometrados para que seu efeito líquido produza as orientações do momento magnético desejado em um determinado instante de tempo dentro do volume do scanner especificamente designado para imagiologia. Os padrões de campo magnético considerados críticos para a aquisição da imagem em RM são o campo  $B_0$ , o qual é muito forte e homogêneo; o campo  $B_1$ , o qual oscila em uma frequência de rádio; e o campo de gradiente  $x$ , campo de gradiente  $y$  e campo de gradiente  $z$ , a magnitude de cada um dos quais varia de forma aproximadamente linear nas direções  $x$ -,  $y$ - e  $z$ -, respectivamente. Campos magnéticos de homogeneização (*shimming*) também são muito frequentemente usados para melhorar a homogeneidade do campo  $B_0$ .

[0006] Cada um dos padrões de campo magnético acima normalmente é produzido por uma estrutura distinta dentro do scanner, e cada uma de tais estruturas é uma configuração de correntes elétricas ou uma configuração de ímãs permanentes. No caso de scanners de MRI resistivos, todos os padrões de campo magnético são produzidos por estruturas elétricas não supercondutoras.

[0007] A imagiologia por RM tem sido aplicada com grande sucesso ao diagnóstico de doenças. No entanto, a extensão da MRI para o rastreamento de doenças, incluindo rastreamento de câncer,

infelizmente tem sido relativamente limitada. Dois fatores que limitam significativamente o uso da MRI para o rastreamento são o custo relativamente alto geralmente associado à construção do scanner e o desconforto associado ao espaço tipicamente pequeno para o paciente encontrado nos scanners de MRI.

[0008] Uma abordagem para tornar os scanners mais baratos e espaçosos e, portanto, desenvolver um scanner especificamente orientado para o rastreamento de doenças, seria gerar simultaneamente uma pluralidade de padrões de campo magnético usados em MRI com uma configuração que traz a soma de suas respectivas correntes elétricas. Em princípio, é concebível somar as correntes do campo  $B_0$ , dos campos de gradiente e dos campos de homogeneização (*shimming*), uma vez que os vetores de todos estes campos estão orientados principalmente em uma única direção, por convenção, a direção z-.

[0009] No entanto, embora tenham sido desenvolvidos métodos que pareçam ser muito bem-sucedidos na produção de uma pluralidade de campos de gradiente e/ou campos de homogeneização (*shimming*) com uma configuração de corrente somada, ainda não foram introduzidos meios práticos para combinar especificamente o campo  $B_0$  com os campos de gradiente e/ou campos de homogeneização (*shimming*). Por exemplo, a Patente Norte-Americana Nº 6.492.817 para Gebhardt *et al.* mostra uma configuração elétrica que pode estabelecer simultaneamente diferentes padrões de campos magnéticos e que consiste em uma série de loops coaxiais paralelos conectados através de segmentos de linhas regularmente espaçados, perpendicularmente orientados aos planos dos loops. Uma vez que as correntes necessárias para um campo  $B_0$  são da ordem de dezenas de milhares de Amperes quando o enrolamento de loop não é usado, cada loop nesta estrutura que contribui para um campo  $B_0$

hipotético teria de ter uma fonte de tensão capaz de distribuir correntes extremamente grandes. Partindo do princípio de um mínimo de quatro loops para um campo  $B_0$  suficientemente homogêneo, quatro fontes de tensão para correntes extremamente grandes, portanto, seriam necessárias para que a estrutura produzisse um campo  $B_0$  entre seus outros padrões de campo magnético.

[00010] A Patente Norte-Americana N° 6.933.724 de Watkins *et al.* descreveu uma configuração elétrica dentro da qual loops individuais foram substituídos por segmentos de loop separados ou arcos com fontes de tensão independentes. O padrão de corrente em cada loop segmentado, e na estrutura como um todo, é claramente capaz de representar uma soma de padrões de corrente associados a diferentes padrões de campos magnéticos de MRI. No entanto, aqui, cada segmento usado para contribuir para um campo  $B_0$  hipotético requereria uma fonte de tensão capaz de gerar dezenas de milhares de Amperes. Novamente, partindo do princípio do conjunto de um mínimo de quatro loops para um campo  $B_0$  e assumindo ainda que cada loop segmentado da estrutura de Watkins *et al.* consiste em pelo menos quatro segmentos, seriam necessárias dezesseis fontes de corrente extremamente alta se esta estrutura produzisse simultaneamente um campo  $B_0$  juntamente com seus outros padrões de campo magnético. Além deste requisito pouco prático, a corrente de retorno extremamente alta associada a cada segmento que contribui para um campo  $B_0$  levaria a um desperdício de energia e, adicionalmente, teria o potencial de distorcer significativamente o campo magnético dentro do volume de imagiologia do scanner.

## DESCRIÇÃO

[00011] É um objetivo da presente descrição fornecer uma estrutura capaz de estabelecer um campo  $B_0$  juntamente com um ou mais de outros padrões de campos magnéticos por meio de uma configuração

de corrente somada, sem requerer uma pluralidade de fontes de tensão de corrente extremamente alta ou ter de lidar com os outros problemas supracitados.

[00012] Este objetivo é alcançado, de acordo com a presente descrição, através de uma modalidade que envolve um loop condutor com uma seção transversal espessa e uma única fonte de tensão capaz de produzir correntes extremamente altas. Os segmentos antiparalelos do loop são mantidos em estreita proximidade entre si, o que significa que o loop é efetivamente "comprimido" em um ou mais locais e cada par de segmentos antiparalelo contribui aproximadamente com um campo magnético zero dentro do volume de imagiologia do scanner. Os segmentos não emparelhados neste loop são modelados para formar coletivamente um campo  $B_0$  homogêneo. As fontes de tensão, então, desviam a corrente de um ponto do loop espesso para outro, de modo que a redistribuição de corrente resultante no loop espesso faça com sejam estabelecidos simultaneamente os campos de gradiente e/ou campos de homogeneização (*shimming*) necessários, além de seu campo  $B_0$ .

### **BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS**

[00013] Uma compreensão ainda melhor do sistema e método descritos para o estabelecimento simultâneo de um campo  $B_0$  e outros padrões de campo magnético com um único loop espesso pode ser obtida por meio de referência às figuras do desenho em que:

[00014] A Figura 1 é um diagrama de loop esquemático que mostra um único loop espesso como uma linha espessa, com shunts de corrente conectadas, capaz de produzir um campo  $B_0$ , campo de gradiente x-, campo de gradiente y- e campo de gradiente z-.

[00015] A Figura 2 é um diagrama de circuito esquemático que mostra as correntes reais que podem estar associadas a qualquer uma das estruturas circulares dentro do único loop espesso da Figura 1.

[00016] A Figura 3 demonstra como a modalidade do diagrama de circuito esquemático representado pela Figura 1 pode realmente aparecer em um scanner de MRI.

[00017] As Figuras 4 e 5 apresentam modalidades alternativas à Figura 1 que também produzem simultaneamente um campo  $B_0$  e outros padrões de campo magnético por meio de uma configuração de corrente compartilhada.

[00018] A Figura 6A mostra uma estrutura análoga à Figura 1 na qual um único loop fino é usado para formar um campo de gradiente z-e shunts de corrente conectadas permitem que o único loop fino estabeleça também um campo de gradiente x- e um campo de gradiente -y. As Figuras 6B e 6C indicam como a vibração acústica da estrutura na Figura 6A pode ser reduzida.

### **DESCRIÇÃO DETALHADA**

[00019] A Figura 1 é um diagrama de loop esquemático que mostra um único loop condutor espesso **100**, representado por uma linha preta espessa, que recebe energia de uma única fonte de tensão  $V_{HIGH}$  i capaz de gerar uma corrente  $I_{polarização}$  extremamente alta. O loop espesso **100** foi dobrado, de modo que vários segmentos **110** de corrente antiparalela fiquem emparelhados, além das correntes antiparalelas que normalmente se esperaria estarem conectadas a uma fonte de tensão  $V_{HIGH}$  i . Cada par de segmentos deve ser entendido como tendo um campo magnético combinado aproximadamente igual a zero no volume do scanner especificado para imagiologia o que, por exemplo, pode ser alcançado para um determinado par de segmentos ao colocar os segmentos muito próximos entre si, produzindo um efeito de telescópio de um segmento dentro do outro ou entrelaçando os dois segmentos entre si. O isolamento e/ou um espaço de ar evita que os segmentos de um par façam contato físico direto entre si ou transmitam eletricidade

diretamente uns para os outros. Os segmentos não emparelhados de **100**, os quais formam quatro estruturas circulares (loops parciais), produzem um campo  $B_0$  com a corrente  $I_{polarização}$  quando as estruturas circulares são dimensionadas e posicionadas adequadamente. Três shunts de corrente **20** são conectadas a cada uma das quatro estruturas circulares de **100**. Cada shunt de corrente **20** recebe energia a partir de uma fonte de tensão V, e a ativação das shunts de corrente **20** redistribuirá a corrente no loop espesso **100**, de modo que um campo de gradiente x-, um campo de gradiente y- e/ou um campo de gradiente z- sejam adicionados ao campo  $B_0$  produzido por **100**. As shunts são desenhadas com linhas sólidas e tracejadas ao longo do presente pedido para ajudar a distingui-las visualmente umas das outras.

[00020] A Figura 2 é um diagrama de circuito esquemático que ilustra as correntes reais que podem estar associadas a qualquer uma das estruturas circulares dentro do loop espesso **100** da Figura 1. Consistente com os eixos mostrados na Figura 2, a estrutura circular deve ser entendida como sendo paralela ao plano x-y e centralizada sobre o eixo z-. A shunt A **40** transmite corrente a partir do ponto **42** sobre o eixo y- para o ponto **44** no eixo y-, a shunt B **60** transmite corrente a partir do ponto **62** sobre o eixo x- para o ponto **64** sobre o eixo x-e a shunt C **80** transmite corrente a partir do ponto **82** sobre um segmento **110** do par de segmentos verticais na Figura 2 para o ponto **84** no outro segmento **110** do par de segmentos verticais. Aqueles versados na técnica reconhecerão que as correntes  $\beta$ ,  $\gamma$ , e  $\delta$  produzidas pelas fontes de tensão contribuiriam, respectivamente, para um campo de gradiente x-, um campo de gradiente y- e/ou um campo de gradiente z- dentro do volume de imagiologia do scanner. Aqueles versados na técnica reconhecerão ainda que a regra de loop e a regra de junção de Kirchhoff podem ser usadas para resolver

prontamente as magnitudes das tensões de shunt necessárias para as correntes  $\beta$ ,  $\gamma$  e  $\delta$  mostradas na Figura 2. Estas tensões são:

$$V_A = (2\beta)R_A + 2(I_{polarização} + \delta + \beta)R_q$$

$$V_B = (2\gamma)R_B + 2(-I_{polarização} - \delta + \gamma)R_q$$

$$V_C = (\delta - \beta + \gamma)R_C + 4(I_{polarização} + \delta)R_q,$$

onde  $R_q$  é a resistência de cada quarto da estrutura circular,  $R_A$  é a resistência total associada à Shunt A,  $R_B$  é a resistência total associada à Shunt B e  $R_C$  é a resistência total associada à Shunt C.

[00021] A Figura 3 indica como a modalidade esquemática da Figura 1 pode realmente aparecer fisicamente em um scanner de MRI. A Figura 3A é uma figura preparatória para a Figura 3B e indica os pares de segmentos verticais da Figura 1 que são removidos. Embora os pares de segmentos verticais da Figura 1 ajudem a modalidade a ser melhor compreendida pela separação visual mais clara dos segmentos **110** que são emparelhados dos segmentos não emparelhados de **100** que realmente produzem o campo  $B_0$ , eles não são necessários para a operação da modalidade e, na verdade, suas correntes provavelmente representariam um desperdício de energia. A Figura 3B mostra a manifestação física real do circuito esquemático da Figura 1, com cada estrutura circular tendo a mesma orientação que a estrutura circular da Figura 2. Aqueles versados na técnica reconhecerão que as correntes  $\delta$  opostas associadas, respectivamente, às primeiras duas e às duas últimas estruturas circulares da estrutura, são consistentes com a geração de um campo de gradiente z-, enquanto que as correntes  $\beta$  paralelas dos dois loops parciais intermediários e as correntes  $\gamma$  paralelas dos dois loops parciais intermediários são consistentes com a respectiva geração de um campo de gradiente x- e um campo de gradiente y-.

[00022] Várias observações práticas sobre a Figura 3B podem ser

feitas aqui. Primeiro, cada shunt pode ser considerada como se dividindo em duas ramificações ao percorrer perpendicularmente o eixo z-. A configuração exata associada a esta ramificação pode ser mostrada como preservando os padrões de campo magnético de gradientes x- e y- produzidos pelo scanner. Aqueles versados na técnica poderiam assegurar que as shunts associadas à presente descrição são, em geral, estruturadas de modo a não distorcer o padrão de campo magnético desejado dentro do volume de imagiologia do scanner. Segundo, o loop espesso da Figura 3B pode ter de conter *slots* que impeçam a formação de correntes parasitas dentro dele. Estes *slots* deverão ser concebidos de modo a não afetar a precisão global do padrão de campo magnético resultante do loop. Terceiro, pode ser observado que as fontes de tensão que conduzem a corrente nas shunts podem ser usadas para superar a indutância do loop espesso, assim, permitindo que o campo magnético estabelecido pelo loop espesso seja variado tão rapidamente quanto é tipicamente necessário para varredura por MRI (isto é, em cerca de meio milissegundo). Quarto, a fonte de tensão  $V_{HIGH}$  associada provavelmente terá de ser construída para lidar especificamente com a corrente extremamente alta e a resistência extremamente baixa associadas ao loop espesso. Isto pode ser alcançado, por exemplo, através do uso de uma pilha de unidades retificadoras-controladoras conectadas em paralelo e empregando transistores bipolares de porta isolada (em inglês, **I**nsulated **G**ate **B**ipolar **T**ransistors - IGBTs), tiristores ou outras tecnologias de semicondutores.

[00023] A Figura 3C mostra os meios pelos quais as estruturas circulares da Figura 3B são conectadas juntas pela estrutura tubular da Figura 3B, a qual corresponde coletivamente aos pares de segmentos horizontais da Figura 1. Claramente, existirá um par de segmentos de contracorrente curto entre a estrutura tubular e cada

estrutura circular da Figura 3B, mesmo com a remoção dos pares de segmentos verticais mostrados na Figura 3A, apenas em virtude da espessura do condutor a partir do qual estas estruturas são construídas.

[00024] A Figura 3D mostra o uso do efeito de telescópio para ajudar a assegurar que as correntes que correspondem aos pares de segmentos horizontais da Figura 1 somem virtualmente zero dentro do volume de imagiologia do scanner. Aqueles versados na técnica estarão cientes das formas para obter o maior grau de cancelamento de corrente, e a precisão deste cancelamento de corrente poderia ser especificado em termos de um limiar máximo de contaminação de campo magnético correspondente permitido dentro do volume de imagiologia do scanner (por exemplo, 1 parte por milhão, 5 ppm, 10 ppm, 50 ppm em relação à magnitude do campo  $B_0$ , dentre outras opções).

[00025] A Figura 4A mostra uma variação da modalidade da Figura 1, na qual shunts conectam pontos entre diferentes estruturas circulares em oposição a dentro da mesma estrutura circular. A Figura 4B mostra uma variação da modalidade da Figura 1 com a qual o campo  $B_0$  é produzido por oito estruturas semicirculares em oposição a quatro estruturas circulares.

[00026] A Figura 5A é uma variação da modalidade da Figura 1 que indica que duas shunts separadas podem ser conectadas ao mesmo ponto do loop espesso. A Figura 5B é uma variação que indica que uma shunt pode ser conectada a mais de dois pontos do loop espesso. A Figura 5C é uma variação que aqueles versados na técnica reconhecerão como permitindo especificamente que o loop espesso gere campos de homogeneização (*shimming*), além de um campo  $B_0$  e campos de gradiente. A Figura 5D indica que duas shunts podem se cruzar em um nó e a Figura 5E sugere ainda que duas shunts podem

se cruzar através de um círculo, polígono ou estrutura mais complexa.

[00027] A Figura 5F é uma variação da modalidade da Figura 1 que mostra uma maneira de obter um campo  $B_0$  e outros padrões de campo magnético com uma estrutura de corrente somada sem realmente usar um loop espesso ou uma fonte de tensão capaz de gerar correntes extremamente grandes. Especificamente, o loop espesso da Figura 1 é substituído por um loop fino que traz uma corrente apenas na ordem de dezenas de Amperes. Além disso, em vez dos segmentos não emparelhados do loop formarem uma estrutura circular rígida, conforme na Figura 1, cada segmento não emparelhado é um segmento muito longo e flexível que pode ser enrolado em paralelo muitas vezes. Supõe-se que as três estruturas circulares finas na parte superior da Figura 5F representam enrolamentos individuais de um de tais segmentos longos e flexíveis. O número total de Amperes-enrolamentos associados a cada segmento longo e flexível enrolado é grande o suficiente para que os segmentos não emparelhados da Figura 5F produzam um campo  $B_0$  na ordem do campo  $B_0$  associado à Figura 1. Além disso, as shunts conectadas a cada enrolamento e ao par de segmentos verticais próximo da parte inferior da Figura 5F permitem que um campo de gradiente x-, um campo de gradiente y- e/ou um campo de gradiente z- sejam produzidos simultaneamente ao campo  $B_0$ .

[00028] A Figura 6A é uma variação da Figura 1 a qual, conforme na Figura 5F, usa um loop fino **100'** que não traz correntes extremamente grandes. A estrutura da Figura 6A, no entanto, não contém segmentos e enrolamentos flexíveis longos conforme aquela da Figura 5F e, portanto, o loop da Figura 6A não se destina a produzir um campo  $B_0$ . Em vez disso, a Figura 6A se destina a demonstrar um análogo da Figura 1 no qual o loop fino principal estabelece um padrão de campo não  $B_0$  e as shunts conectadas ao loop fino principal **100'**

são usadas para adicionar outros padrões de campo magnético àquele padrão de campo não  $B_0$  inicial. No caso específico da Figura 6A, o loop fino principal **100'** poderia produzir um campo de gradiente z- e as shunts **20** conectadas ao loop, então, adicionariam um campo de gradiente x- e/ou um campo de gradiente y- para este campo de gradiente z-.

[00029] Conforme é bem conhecido por aqueles versados na técnica, uma estrutura exposta a um campo magnético muito forte e que também contém uma corrente que varia ao longo do tempo geralmente vibrará pelas forças de Lorentz e, assim, produzirá ruído acústico. Em geral, espera-se que os segmentos do loop espesso **100** com correntes variáveis sejam imunes às forças de Lorentz associadas ao campo que emana de outros segmentos do loop espesso, simplesmente porque o loop espesso provavelmente pesará na ordem de alguns milhares de quilogramas. O loop fino **100'** colocado próximo de uma estrutura que produz o campo  $B_0$ , por outro lado, seria claramente vulnerável às forças de Lorentz. Uma maneira de aliviar este problema é mostrada na Figura 6B. Tanto o loop fino **100'** como a estrutura que produz o campo  $B_0$  têm uma seção transversal circular e parte do loop fino foi simetricamente colocada em um túnel circular oco **402** que foi simetricamente formado em parte da estrutura **400** que produz o campo  $B_0$ . Da mesma forma, na Figura 6C, tanto o loop fino **100'** como a estrutura que produz o campo  $B_0$  têm novamente uma seção transversal circular, porém, desta vez, parte da estrutura **500** que produz o campo  $B_0$  foi simetricamente colocada em um túnel circular oco **502** que foi simetricamente formado em parte do loop fino **100'**. Aqueles versados na técnica entenderão que, em virtude da simetria das configurações representadas na Figura 6B e na Figura 6C, a vibração acústica da parte do loop fino **100'** colocada dentro ou feita para envolver parte da estrutura que produz o campo  $B_0$

provavelmente será reduzida em relação à vibração que esta parte de **100'** experimentaria se fosse simplesmente deixada adjacente à estrutura que produz o campo  $B_0$ . Espera-se que tal redução na vibração seja mais significativa se a parte do loop fino **100'** e a parte da estrutura que produz o campo  $B_0$  que são feitas concêntricas tiverem um raio de curvatura relativamente grande.

[00030] Aqueles versados na técnica entenderão que há muitas outras variações associadas à presente descrição, além daquelas apresentadas nas figuras acima. Em algumas modalidades, o loop espesso pode ser feito para se ramificar e se reunir, ou uma pluralidade de loops espessos pode ser colocada junta, porém, a estrutura global das correntes ainda pode ser equivalente àquela descrita para a modalidade da Figura 1. O loop espesso pode, em algumas modalidades, produzir apenas parte do campo  $B_0$  necessário para o scanner, mas, fora isso, aparece conforme mostrado na Figura 1. Cada shunt de corrente pode, em algumas modalidades, possuir alguma resistência variável que poderia ser usada além de sua fonte de tensão para ajudar a alcançar a distribuição de corrente necessária dentro do loop espesso. Cada shunt de corrente pode, em algumas modalidades, capturar corrente a partir de múltiplos pontos do loop espesso, retornar corrente para múltiplos pontos do loop espesso, ou ambos. Qualquer fonte de tensão discutida acima pode, em algumas modalidades, ser substituída por um grupo de fontes de tensão conectadas em série e/ou em paralelo, por exemplo, conforme provavelmente seria o caso da fonte de tensão de alta corrente usada para alimentar o loop do scanner de loop espesso. A presente descrição pode ser claramente usada em outros sistemas que não scanners de MRI que produzem padrões de campo magnético. A Espectroscopia de Ressonância Magnética Nuclear, a Espectroscopia de Ressonância Paramagnética Eletrônica e a Imagiologia por

Ressonância Paramagnética Eletrônica são três exemplos de métodos não MRI aos quais a presente invenção pode ser aplicada.

## VANTAGENS

[00031] Tendo agora descrito o sistema e o método da presente descrição, aqueles versados na técnica entenderão que algumas ou todas as vantagens descritas nos parágrafos a seguir podem ser viáveis. Nos parágrafos a seguir, a modalidade física do circuito desenhado na Figura 1 será denominada de "scanner de loop espesso".

[00032] Uma primeira vantagem de um scanner de loop espesso pode ser vista a partir do fato de que, considerando que a precisão do padrão de campo magnético do campo  $B_0$  é particularmente importante em MRI, os loops parciais de um scanner de loop espesso provavelmente serão concebidos para ter posições, diâmetros e espessuras iguais ou aproximadamente iguais às posições, diâmetros e espessuras de uma estrutura típica que produz um campo  $B_0$  em um scanner de MRI resistivo. Isto significa que, assumindo que os percursos das shunts estejam configurados para ficar fora do volume delimitado pelos loops espessos, conforme na Figura 3B, a partir de uma perspectiva de espaço, um scanner de loop espesso será equivalente a um scanner de MRI que contém apenas estruturas que produzem um campo  $B_0$  e um campo  $B_1$ . O tamanho da bobina de radiofrequência definido pode ser maior do que o habitual em virtude do espaço liberado dentro de um scanner de loop espesso. O aumento da sensação de espaço provavelmente tornaria o rastreamento de doenças mais agradável para a população em geral e também aumentaria as oportunidades para a imagiologia de indivíduos obesos, a imagiologia de indivíduos com claustrofobia, imagiologia veterinária e imagiologia durante procedimentos intervencionistas ou cirúrgicos.

[00033] Uma segunda característica vantajosa de um scanner de

loop espesso é o custo de fabricação relativamente baixo esperado. Apenas uma estrutura que produz campo magnético significativo diferente da estrutura que produz um campo  $B_1$  teria de ser fabricada para o scanner. Além disso, o loop espesso presumivelmente seria montado a partir de peças moldadas e, consequentemente, seria mais econômico quando comparado com estruturas formadas a partir do enrolamento cuidadoso e repetido dos fios. Estruturas moldadas também podem ser menos suscetíveis a erros decorrentes das tensões mecânicas de transporte do que as estruturas de enrolamentos e, por este motivo, pode ser mais econômico desmontar um scanner de loop espesso e remontá-lo em outro local, por exemplo, para doação a uma nação em desenvolvimento, do que seria o caso de um scanner com um grande número de enrolamentos. É verdade que as shunts de corrente terão de ser fabricadas juntamente com o loop espesso de um scanner de loop espesso e conectadas a este loop espesso; no entanto, como o próprio loop espesso, as shunts de corrente são estruturas relativamente simples.

[00034] Uma terceira característica vantajosa de um scanner de loop espesso é sua capacidade de permitir uma operação relativamente calma. Na MRI padrão, as diferentes estruturas são frequentemente colocadas umas dentro das outras na forma de cilindros concêntricos bem ajustados; no entanto, conforme explicado acima, espera-se que o scanner de loop espesso tenha uma quantidade relativamente grande de espaço livre. Parte deste espaço aumentado poderia ser dedicada à colocação de tubos delgados evacuados em torno das shunts de corrente, o que reduziria significativamente a transmissão de ruído resultante das forças de Lorentz que atuam sobre as shunts quando suas correntes mudam de valor. Se as shunts tiverem a configuração representada na Figura 3B, então os tubos evacuados usados para envolver as shunts poderiam

consistir simplesmente em oito tubos evacuados lineares e dois anéis circulares evacuados. Os tubos evacuados não teriam de ser colocados em torno de qualquer parte do loop espesso, uma vez que provavelmente teriam um peso da ordem de 1000 kg e, portanto, seria improvável que vibrassem significativamente à medida que suas correntes mudam.

[00035] Tendo agora lido e compreendido o sistema e o método descritos para o estabelecimento simultâneo de um campo  $B_0$  e outros padrões de campo magnético, aqueles versados na técnica reconhecerão outras vantagens, variações e modalidades que se tornaram viáveis pela descrição anterior. Tais vantagens, variações e modalidades devem ser consideradas parte do escopo e significado das reivindicações anexas e seus equivalentes legais.

[00036] Embora modalidades específicas tenham sido descritas acima, estas modalidades não se destinam a limitar o escopo da presente descrição, mesmo quando apenas uma única modalidade é descrita com relação a uma característica específica. Exemplos de características fornecidos na descrição devem ser ilustrativos, e não restritivos, a menos que indicado de outra forma. A descrição acima se destina a abranger as alternativas, modificações e equivalentes que seriam evidentes para aqueles versados na técnica que tenha o benefício da presente descrição.

[00037] O escopo da presente descrição inclui qualquer característica ou combinação de características descritas aqui (explícita ou implicitamente), ou qualquer generalização das mesmos, que aliviem ou não um ou todos os problemas abordados aqui. Diversas vantagens da presente descrição foram descritas aqui, porém, as modalidades cobertas pelas reivindicações podem fornecer algumas, todas ou nenhuma de tais vantagens.

## REIVINDICAÇÕES

1. Dispositivo para a geração de parte ou o todo de um campo  $B_0$  homogêneo e para a geração simultânea de campos de gradiente e/ou campos de shimming desejados dentro de um volume de imagens, o referido dispositivo compreendendo:

um circuito condutor principal (100);

e

uma única fonte de tensão capaz de produzir correntes polarizantes, ou uma única fonte de tensão efetiva capaz de produzir correntes polarizantes, sendo que:

a referida única fonte de tensão efetiva compreende um grupo de fontes de tensão ligadas em série e/ou em paralelo;

a referida única fonte de tensão ou fonte de tensão efetiva, capaz de produzir correntes polarizantes, sendo ligada em série com o referido circuito condutor principal (100);

o referido dispositivo **caracterizado por**:

o referido circuito condutor principal (100) ser conformado para incluir um ou mais pares de segmentos de cancelamento (110) e dois ou mais segmentos de contribuição;

os dois segmentos de cancelamento (110) de cada referido par de segmentos de cancelamento (110) serem segmentos antiparalelos do referido circuito condutor principal (100) colocados em estreita proximidade um com o outro, e, terem correntes que juntas correspondem a campo magnético aproximadamente zero dentro do volume de imagens do referido dispositivo;

cada referido segmento de contribuição ser um segmento não pareado do referido circuito condutor principal (100);

os referidos segmentos de contribuição serem agrupados em uma pluralidade de circuitos incompletos, cada circuito incompleto compreendendo um ou mais segmentos de contribuição e sendo

equivalente a um circuito completo que apresenta uma ou mais aberturas, e sendo, centralizado em relação a um eixo;

a totalidade dos referidos circuitos incompletos tem correntes que correspondem coletivamente a referida parte ou todo de um campo  $B_0$  homogêneo dentro do referido volume de imagens;

os dois segmentos de cancelamento (110) de cada referido par de segmentos de cancelamento serem separados, ao longo do comprimento do referido circuito condutor principal (100) por pelo menos um segmento de contribuição, e não serem ambos localizados nas respectivas extremidades do comprimento do referido circuito condutor principal (100);

uma pluralidade de desvios de corrente (20), cada desvio de corrente (10) compreendendo um ou mais segmentos condutores de desvio e pelo menos uma fonte de tensão de desvio inserida em um dos referidos um ou mais segmentos condutores de desvio, sendo que:

- os referidos segmentos condutores de desvio são diferentes do circuito condutor principal (100);

- a referida pelo menos uma fonte de tensão de desvio é separada fisicamente da referida fonte única de tensão ou fonte única de tensão efetiva, capaz de produzir correntes polarizantes;

- cada referido desvio de corrente (20) desvia corrente de um ou mais pontos do referido circuito condutor principal (100) para um ou mais outros pontos do referido circuito condutor principal (100);

- para cada um dos referidos círculos incompletos, ambos os lados de uma das referidas uma ou mais aberturas na circunferência do referido circuito incompleto são conectados para desviar segmentos do circuito condutor;

para cada circuito incompleto de pelo menos dois dos referidos circuitos incompletos, quatro posições na circunferência do

referido circuito incompleto são conectados para desviar segmentos do circuito condutor, as referidas quatro posições tendo separações azimutais de 90° no sistema de coordenadas definido pelo referido eixo;

para todos dos referidos pelo menos dois circuitos incompletos, os respectivos azimutes das mencionadas quatro posições são idênticos,

sendo que o dispositivo é organizado de modo a:

- produzir a referida parte ou o todo de um campo  $B_0$  homogêneo para imageamento de ressonância magnética ou espectroscopia, ou para imageamento de ressonância paramagnética de elétrons ou espectroscopia, com a corrente a partir da referida única fonte de tensão ou única fonte de tensão efetiva, capaz de produzir correntes polarizantes; e

- estabelecer os desejados campos de gradiente e/ou campos shimming simultaneamente com a referida parte ou o todo de um campo  $B_0$  homogêneo mediante a redistribuição de corrente dentro do referido circuito condutor principal (100) através das referidas fontes de tensão de desvio.

2. Dispositivo de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de** que cada referido circuito incompleto é composto de exatamente um segmento de contribuição.

3. Dispositivo de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de** que cada referido circuito incompleto é composto de mais de um segmento de contribuição.

4. Dispositivo de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de** que cada referido circuito incompleto tem um par de segmentos de cancelamento (110) verticais ou uma porção vertical de um par de segmento de cancelamento localizado abaixo dele.

5. Dispositivo de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de** que, para cada referido circuito incompleto para o qual quatro posições possuindo separações azimutais de 90° dentro do sistema de coordenadas definido pelo referido eixo são ligadas para desviar segmentos do condutor,

- um primeiro desvio de corrente é acoplado entre uma primeira posição e uma segunda posição, entre as referidas quatro posições, sendo que as referidas primeira e segunda posições são diametralmente opostas, uma à outra, no referido circuito circular incompleto, e

- um segundo desvio de corrente é acoplado entre a terceira posição e a quarta posição, entre as quatro posições, sendo que as terceira e quarta posições são diametralmente opostas, uma à outra, no referido circuito circular incompleto, e uma linha sobre a qual ficam as referidas terceira e quarta posições é girada em 90° em relação à linha sobre a qual ficam as referidas primeira e segunda posições.

6. Dispositivo de acordo com a reivindicação 5, **caracterizado pelo fato de** que uma porção do referido primeiro desvio de corrente, entre as primeira e segunda posições, é dividida em duas ramificações, e uma porção do referido segundo desvio de corrente, entre as terceira e quarta posições, é também dividida em duas ramificações.

7. Dispositivo de acordo com a reivindicação 6, **caracterizado pelo fato de** que cada circuito incompleto é de formato circular, e é disposto em um plano perpendicular ao referido eixo.

8. Dispositivo de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de** que pelo menos um dos desvios de corrente (20) possui um pouco de resistência variável.

9. Dispositivo de acordo com a reivindicação 1,

**caracterizado pelo fato de** que os referidos desvios de corrente (20) estão posicionados dentro de tubos delgados evacuados.

10. Dispositivo de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de** que a referida única fonte de tensão efetiva é formada a partir de uma pluralidade de unidades controladas por retificador que estão ligados em paralelo e que usam transistores bipolares de porta isolada.

11. Dispositivo de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de** que a referida única fonte de tensão efetiva é formada a partir de uma pluralidade de unidades controladas por retificador que estão ligados em paralelo e que usam tiristores ou outras tecnologias de semicondutores.

12. Dispositivo de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de** que quaisquer dois segmentos de contribuição adjacentes estão separados, ao longo do comprimento do referido circuito condutor principal (100), pelos segmentos de cancelamento (110) pertencentes a dois ou três pares de segmentos de cancelamento (110).

13. Dispositivo de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de** que quaisquer dois segmentos de contribuição adjacentes estão separados, ao longo do comprimento do referido circuito condutor principal (100), pelos segmentos de cancelamento (110) pertencentes a um par de segmentos de cancelamento (110).

14. Dispositivo de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de** que os centros geométricos dos referidos segmentos de contribuição estão todos alinhados no referido eixo.

15. Dispositivo de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de** que nem todos os centros geométricos dos referidos segmentos de contribuição estão alinhados no referido

eixo.

16. Dispositivo de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de** que o cancelamento do campo magnético dos dois segmentos de cancelamento (110) de um referido par de segmentos de cancelamento (110) envolve da recepção telescópica de um dos segmentos de cancelamento (110) dentro do outro segmento de cancelamento.

17. Dispositivo de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de** que o cancelamento do campo magnético de dois segmentos de cancelamento (110) de um referido par de segmento de cancelamento envolve um entrelaçamento dos dois segmentos de cancelamento (110).

18. Dispositivo de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de** que o grau de cancelamento de corrente associado com todos os referidos pares de segmentos de cancelamento (110) corresponde a um nível de contaminação de campo magnético que não excede um limite máximo específico de contaminação do campo magnético dentro do referido volume de imagens do referido dispositivo.

19. Dispositivo de acordo com a reivindicação 18, **caracterizado pelo fato de** que o referido limite máximo especificado de contaminação de campo magnético é um valor entre 1 parte por milhão e 50 partes por milhão em relação à magnitude do referido campo  $B_0$ .

20. Dispositivo de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de** que o referido circuito condutor principal (100) é montado a partir de peças moldadas.

21. Método para a geração de parte ou o todo de um campo  $B_0$  homogêneo e para a geração simultânea de campos de campos de gradiente e/ou campos de shimming desejados dentro de um volume

de imagens, o referido método compreendendo as etapas de:

- conectar uma única fonte de tensão, ou um grupo de fontes de tensão ligadas em série/ou em paralelo, com a capacidade de produzir correntes polarizantes em série com um circuito condutor principal (100);

o referido método **caracterizado por** compreender as etapas de:

- conformar o referido circuito condutor principal (100) para incluir um ou mais pares de segmentos de cancelamento (110) e dois ou mais segmentos de contribuição, sendo que os dois segmentos de cancelamento (110) de cada referido par de segmentos de cancelamento (110) são segmentos antiparalelos do referido circuito condutor principal (100) que não estavam já em estreita proximidade, um com o outro, mas foram trazidos a estreita proximidade um do outro ou efetivamente unidos por compressão, e tem correntes que juntas correspondem a campo magnético aproximadamente zero dentro do volume de imagens do scanner, cada referido segmento de contribuição sendo um segmento não pareado do referido circuito condutor principal (100), os referidos seguimentos de contribuição tendo correntes que correspondem coletivamente a dita parte ou todo de um campo  $B_0$  homogêneo dentro do dito volume de imageamento; e

- anexar fontes de tensão de desvio ao referido circuito condutor principal (100), cada referida fonte de tensão de desvio desviando corrente de um ou mais pontos do referido circuito condutor principal (100) a um ou mais outros pontos do referido circuito condutor principal (100);

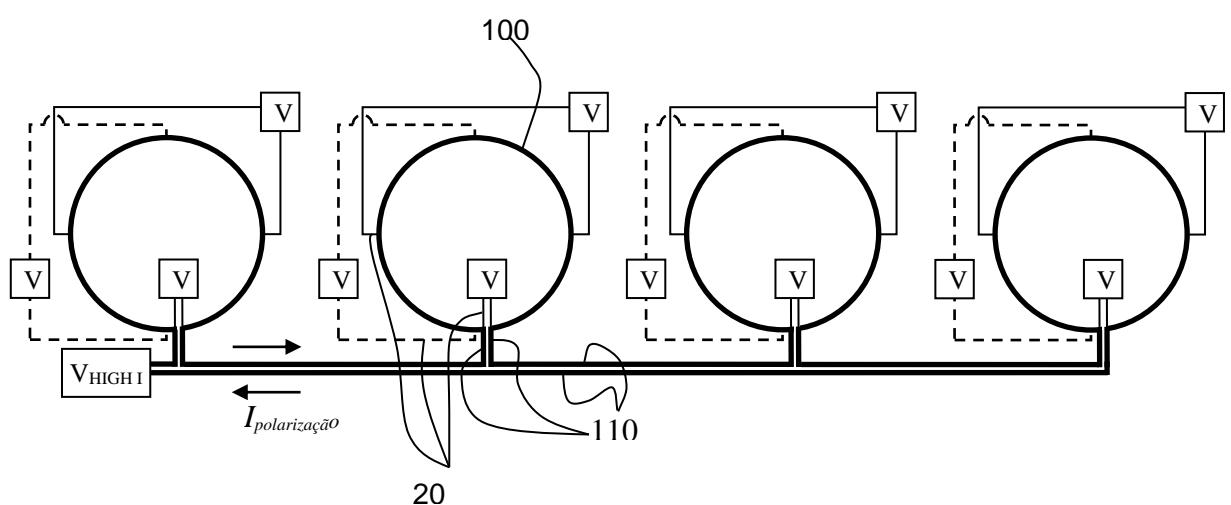
o referido método sendo capaz ambos:

- produzir a referida parte ou o todo de um campo  $B_0$  homogêneo para imageamento de ressonância magnética ou

espectroscopia, ou para imageamento de ressonância paramagnética de elétrons ou espectroscopia, com a corrente a partir da referida única fonte de tensão ou única fonte de tensão efetiva, capaz de produzir correntes polarizantes; e

- estabelecer os referidos campos de gradiente requeridos e/ou campos shimming simultaneamente com a referida parte ou o todo de um campo  $B_0$  homogêneo mediante a redistribuição da corrente dentro do referido circuito de condução principal, através das referidas fontes de tensão de desvio.

22. Método de acordo com a reivindicação 21, **caracterizado pelo fato de** que o referido desvio de corrente a partir de um ou mais pontos do referido circuito condutor principal (100) para um ou mais outros pontos do referido circuito condutor principal (100) envolve resistência variável.



*Fig. 1*

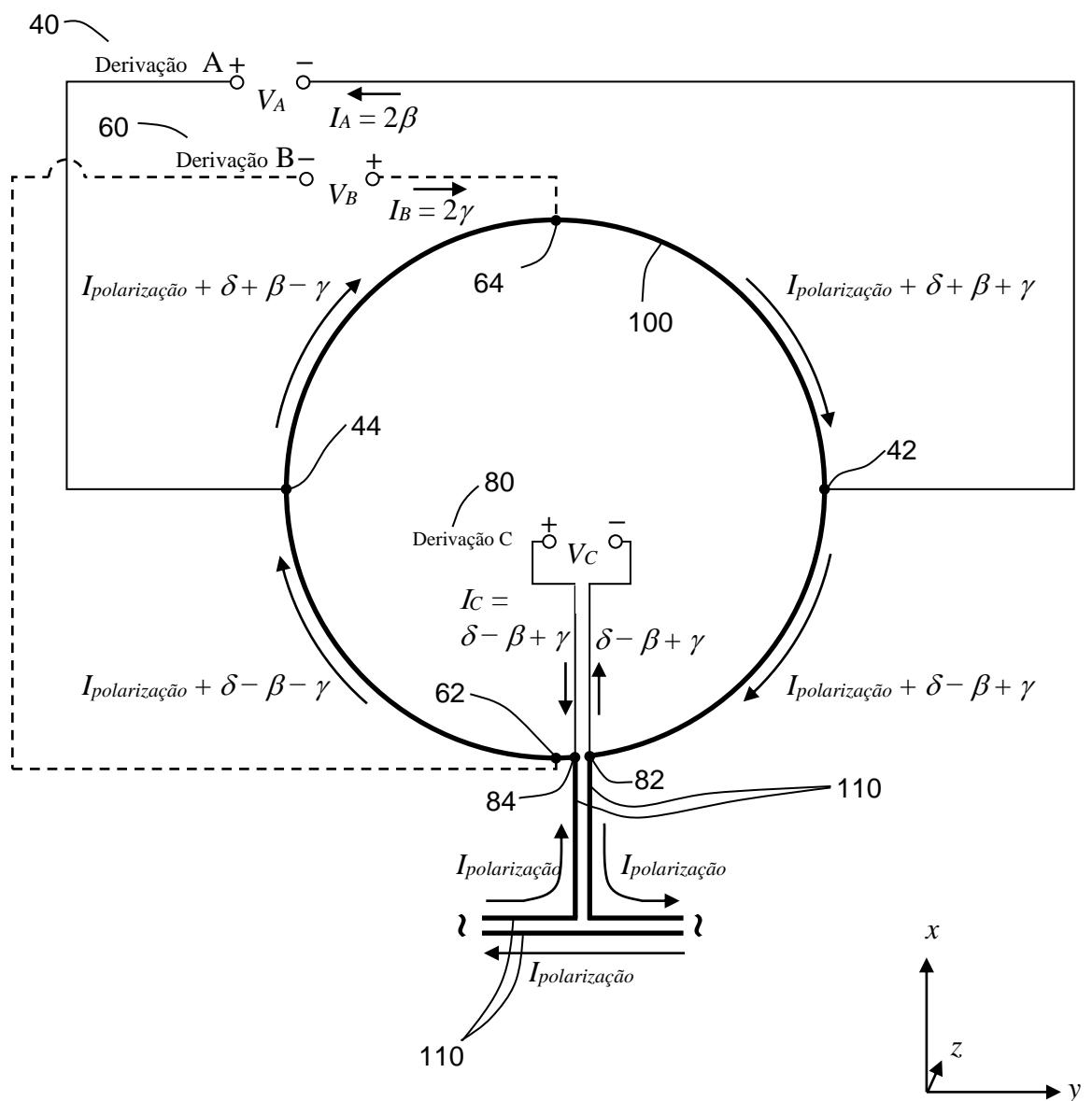
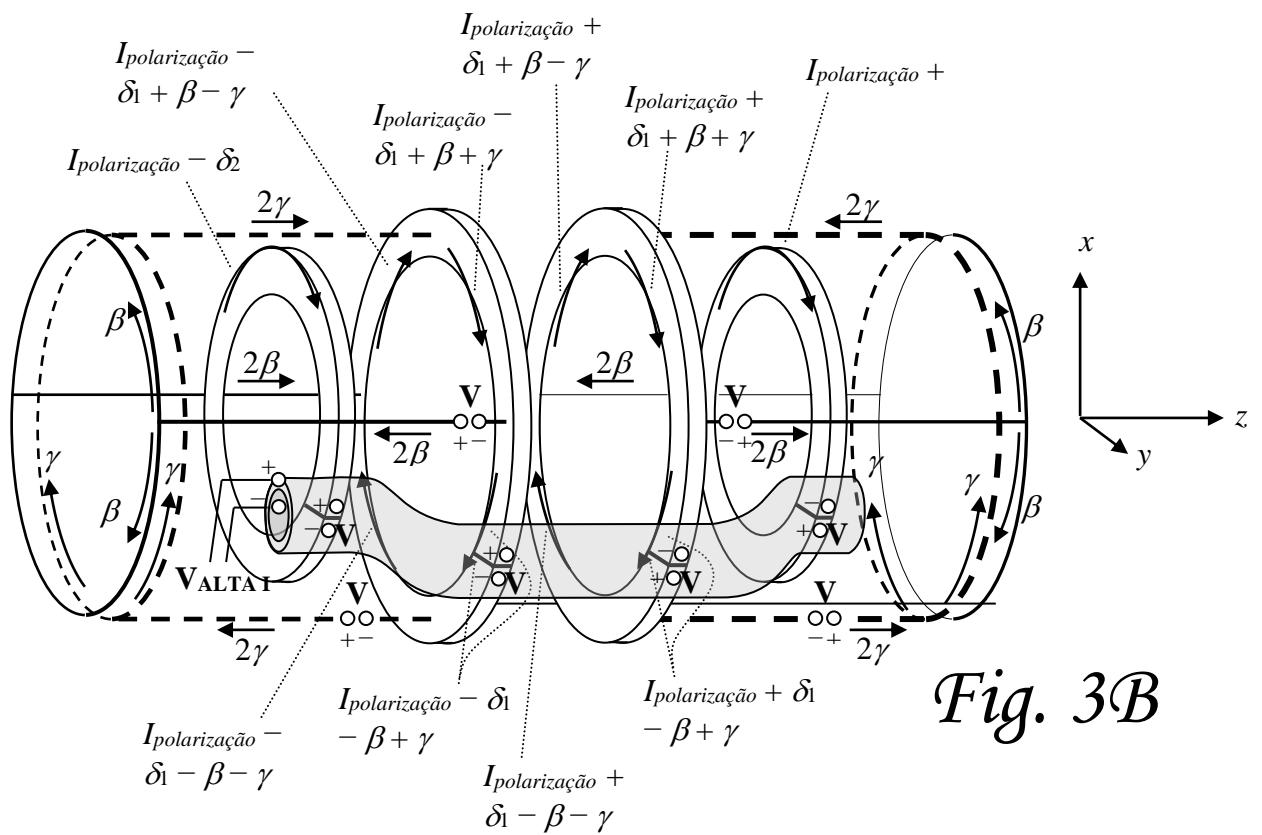
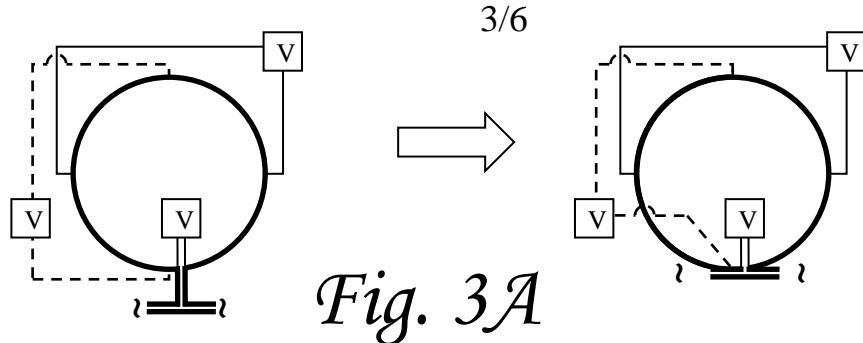
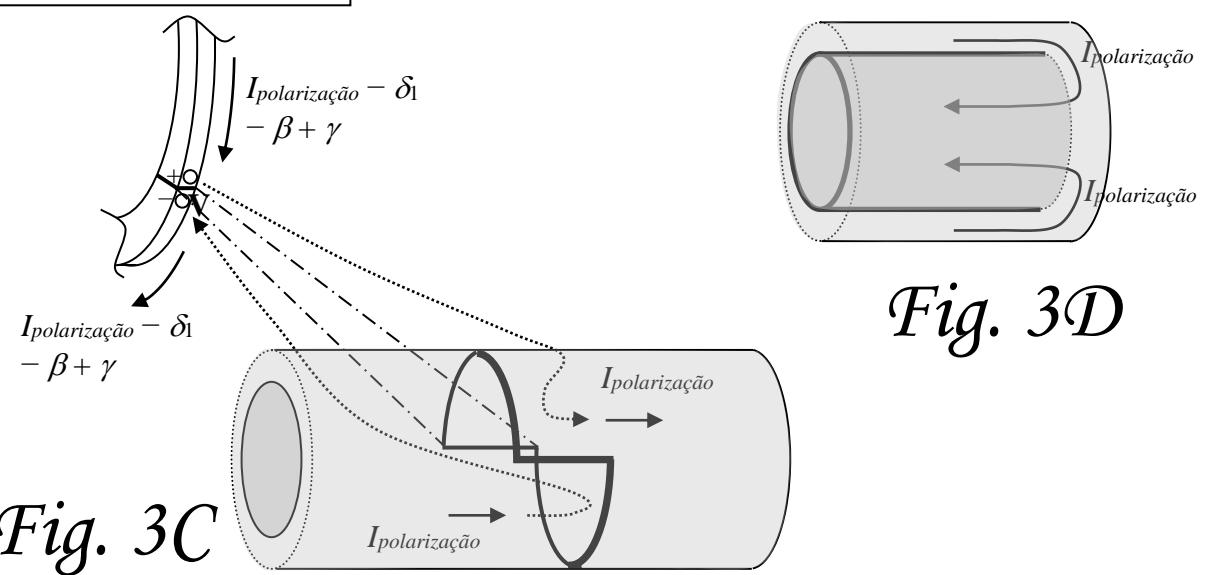
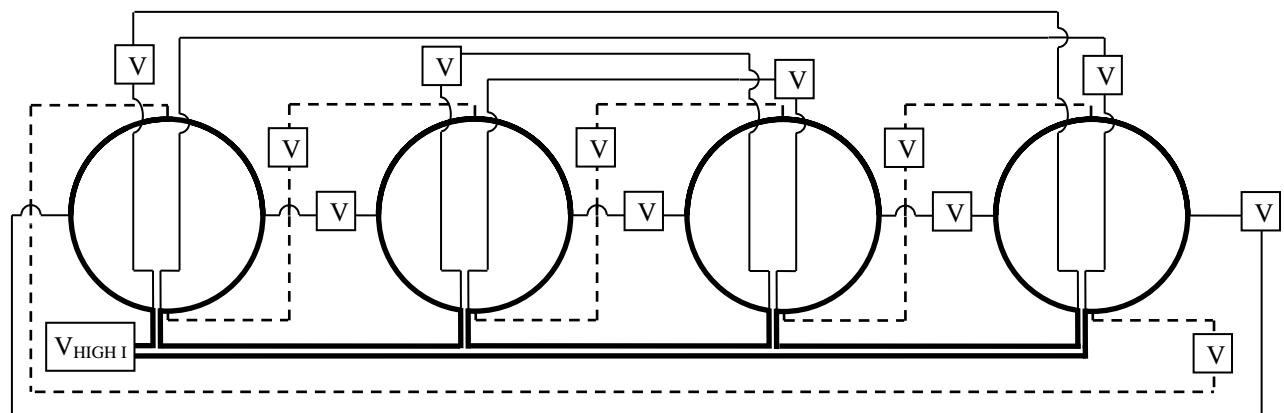


Fig. 2

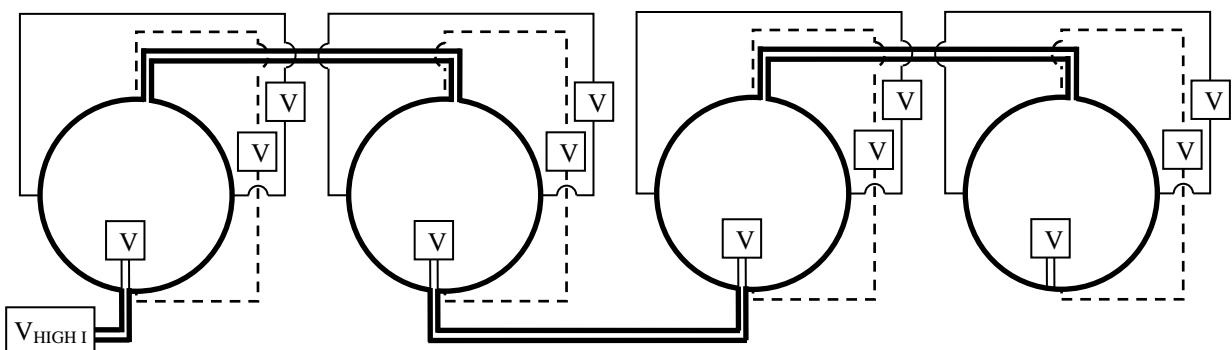


(Linhas sólidas escuras nos condutores das figuras 3B, 3C e 3D indicam isolamento)





*Fig. 4A*



*Fig. 4B*

5/6

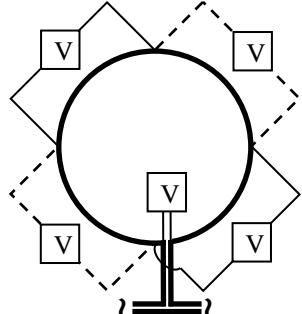
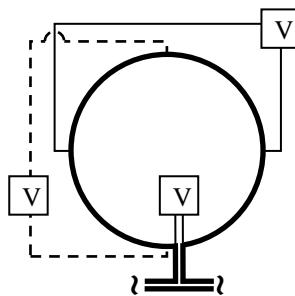


Fig. 5A

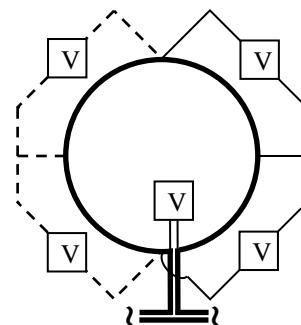


Fig. 5B

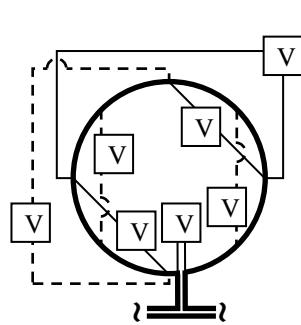


Fig. 5C

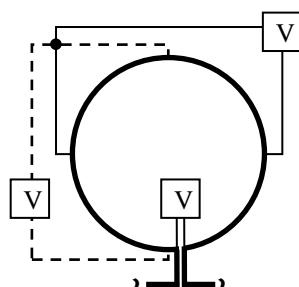


Fig. 5E

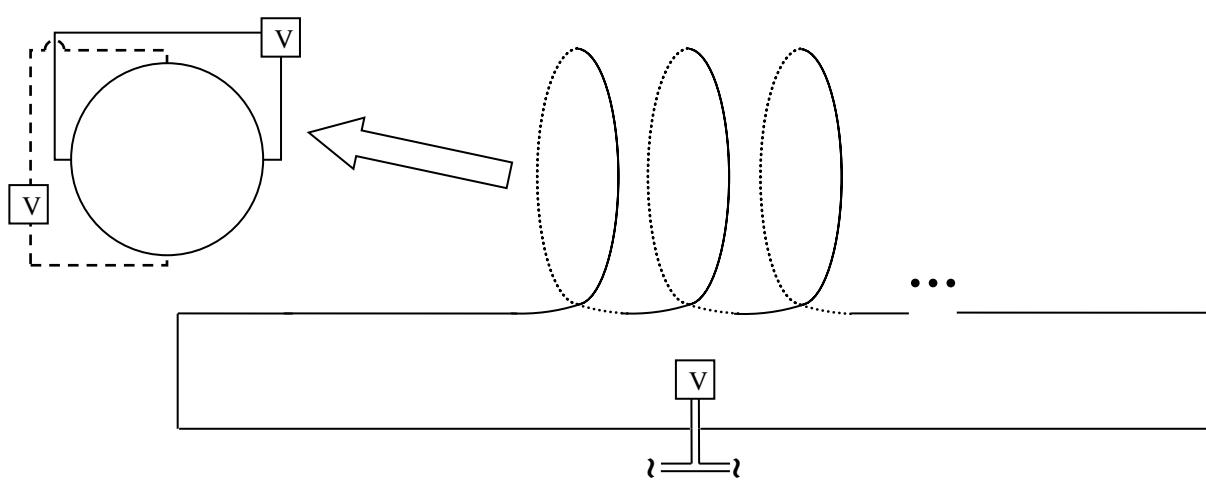


Fig. 5F

