



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

(21) PI 0721057-4 A2



(22) Data de Depósito: 27/11/2007
(43) Data da Publicação: 25/02/2014
(RPI 2251)

(51) *Int.Cl.*:
C21B 7/20
F27B 1/20

(54) Título: DISPOSITIVO DE CARREGAMENTO
ROTATIVO PARA UM FORNO DE CUBA

(57) Resumo:

(30) Prioridade Unionista: 18/12/2006 EP 06126393.5

(66) Prioridade Interna: 860446

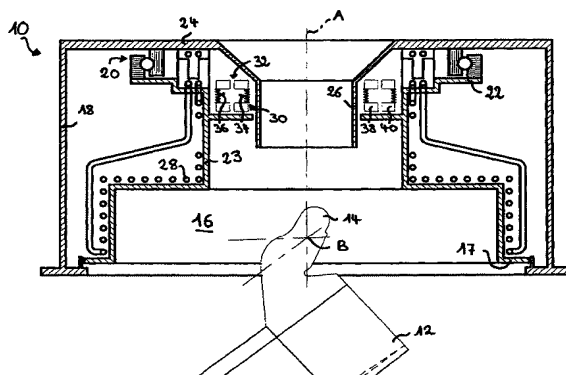
(73) Titular(es): Paul Wurth S.A.

(72) Inventor(es): Emile Breden, Emile Lonardi, Guy Thillen,
Lionel Hausemer

(74) Procurador(es): Matos e Associados - Advogados

(86) Pedido Internacional: PCT EP2007062852 de
27/11/2007

(87) Publicação Internacional: WO 2008/074596de
26/06/2008



RELATÓRIO DESCRITIVO

Pedido de Patente de Invenção para “DISPOSITIVO DE CARREGAMENTO ROTATIVO PARA UM FORNO DE CUBA”

Campo técnico

5 A presente invenção se refere de um modo geral a um dispositivo de carregamento para um forno de cuba tal como um alto-forno metalúrgico. Mais particularmente, a invenção se refere à obtenção de transferência de energia elétrica da parte estacionária para a parte rotativa do dispositivo de carregamento.

10 Estado da técnica

 Atualmente, muitos altos-fornos metalúrgicos são equipados com um dispositivo de carregamento rotativo para suprir material de carga para dentro do forno. Os dispositivos de carregamento do tipo TOPO SEM CONE representam um exemplo particularmente difundido. Tal dispositivo
15 de carregamento rotativo tipicamente compreende uma calha inclinável variavelmente que é montada em um suporte rotativo. Na maior parte dos dispositivos de carregamentos utilizados atualmente, a variação da inclinação da calha é alcançada por meio de um mecanismo de engrenagens de acionamento altamente desenvolvido configurado para transferir
20 trabalho mecânico da parte estacionária para a rotativa para variar a inclinação da calha.

 Em EP 0863215, foi proposto o acionamento da calha por meio de um motor elétrico disposto sobre a parte rotativa que sustenta a calha. Essa solução elimina a necessidade por um arranjo mecânico de
25 engrenagens altamente desenvolvido para variar a inclinação da calha. Mas requer no entanto meios para a transferência de energia elétrica, da parte estacionária para a parte rotativa, para energizar o motor elétrico sobre o suporte da calha rotativa. A solução de acordo com EP 0863215 não

mostrou ter um uso difundido por ser incompleta na medida em que tal transferência de energia elétrica tanto em termos de confiabilidade em face do ambiente severo do alto-forno como em termos de baixos requisitos de manutenção para os meios que alcançam a transferência de energia elétrica.

5 Um arranjo de anel coletor, como encontrado comumente em geradores elétricos e motores elétricos, representa um meio bem conhecido e difundido para se obter transferência de energia elétrica para (e a partir de) uma parte rotativa. Sua principal desvantagem está em que os anéis coletores requerem freqüentes intervenções para manutenção, por ex., para
10 limpeza, e com freqüência requerem troca de peças por causa do atrito. Será notado que o desgaste de anéis coletores é ainda mais acentuado no ambiente poeirento e de alta temperatura de um forno de cuba tal como um alto-forno.

Problema técnico

15 Um objetivo da presente invenção é oferecer meios seguros e de fácil manutenção para se obter transferência de energia elétrica da parte estacionária para a parte rotativa em um dispositivo de carregamento rotativo para um forno de cuba.

Descrição geral da invenção

20 Para alcançar este objetivo, a presente invenção propõe um dispositivo de carregamento rotativo para um forno de cuba de acordo com a reivindicação 1 e um método para aprimorar tal dispositivo de carregamento de acordo com a reivindicação 16.

25 Um dispositivo de carregamento rotativo tipicamente compreende meios de distribuição rotativos para distribuir material de carga em uma superfície de carregamento no forno de cuba. Uma estrutura rotativa suporta os meios de distribuição rotativos. A estrutura rotativa por

sua vez é suportada por um suporte estacionário de uma maneira que permita a rotação desta estrutura.

De acordo com a presente invenção, o dispositivo de carregamento rotativo compreende um dispositivo de acoplamento indutivo. Esse dispositivo de acoplamento indutivo inclui um indutor estacionário montado fixamente no suporte estacionário e um indutor rotativo montado fixamente na estrutura rotativa. Os indutores estacionário e rotativo são separados por um espaçamento radial. Eles são configurados para atingir transferência de energia elétrica sem contato, do suporte estacionário para a estrutura rotativa, por meio de um campo magnético compartilhado acoplado na direção radial através do espaçamento. Assim, os indutores constituem um transformador rotativo. Desse modo, o dispositivo de acoplamento oferece um meio seguro e de fácil manutenção para energizar uma carga elétrica sobre a referida estrutura rotativa e conectada ao indutor rotativo.

Em virtude desse projeto sem contatos, o dispositivo de acoplamento indutivo do tipo transformador rotativo não fica sujeito a desgastes por atrito e portanto praticamente não requer manutenção. Deve ser entendido que um arranjo conhecido com anéis coletores adaptado para um dispositivo de carregamento de um forno de cuba terá diâmetros consideráveis, por causa da passagem central necessária para o material de carregamento (carga), e sendo assim o desgaste é ainda maior. Esse problema é eliminado em virtude do dispositivo de transmissão de energia de acordo com a presente invenção. Embora um grau ligeiramente menor de transmissão de energia possa resultar do espaçamento interférico, especialmente em comparação com os arranjos de anéis coletores, esta pequena desvantagem é mais do que compensada pelos aprimoramentos consideráveis na segurança e na facilidade de manutenção.

Ao contrário dos indutores opostos axialmente, como utilizados em transformadores em aplicações com baixas correntes, por ex., aplicações de transmissão de sinais (por ex., em videocassetes), a invenção propõe a disposição do espaçamento do interférico em direção radial, isto é, oposto à face dos pólos dos indutores radialmente em relação ao eixo de rotação. No caso específico de dispositivos de carregamento dispostos em um forno de cuba, foi descoberto que a faixa de tolerância para a movimentação da estrutura rotativa é normalmente maior na direção vertical do que na direção radial. Portanto, uma inter-relação radial oposta dos indutores permite a minimização do espaço interférico.

Para uma maior indutância, é preferível que o indutor estacionário compreenda um arranjo de núcleo magnético estacionário e que o indutor rotativo compreenda um arranjo de núcleo magnético rotativo. O termo “arranjo” é utilizado para esclarecer que os núcleos respectivos não precisam necessariamente ser núcleos de peça única, como ficará claro adiante.

Em uma modalidade da invenção, o espaçamento radial separa ao menos uma, em geral duas ou três, faces de pólo magnético do arranjo de núcleo estacionário de ao menos uma, em geral duas ou três, faces de pólo magnético do arranjo de núcleo rotativo de forma que as faces de pólos magnéticos estacionárias e as faces de pólos magnéticos rotativas fiquem dispostas em relação radialmente oposta. Embora teoricamente um único pólo em um indutor oposto a um único pólo no outro indutor seria suficiente para se obter a função, é preferível também confinar a passagem de retorno do fluxo magnético. Em uma modalidade simples, o espaçamento radial é substancialmente vertical, onde qualquer acúmulo de poeiras do forno sobre as faces opostas é virtualmente impossível. Qualquer poeira ou outro acúmulo potencial pode cair através do

espaçamento sem afetar o funcionamento do dispositivo de acoplamento de energia.

Onde as peças que requeiram acesso, por ex., para propósitos de manutenção, seriam em outro caso obstruídas pelo dispositivo de acoplamento indutivo, é proposto um projeto no qual o indutor estacionário e/ou o indutor rotativo é descontínuo na direção de rotação. No caso de tal configuração descontínua (isto é, não totalmente circular), o indutor estacionário e o indutor rotativo são preferivelmente configurados de modo que a superfície de acoplamento total para o acoplamento magnético entre o indutor estacionário e o indutor rotativo seja constante durante a rotação da estrutura rotativa. Uma condição necessária mas não suficiente para tal acoplamento constante com indutores descontínuos é a de que ao menos um dentre o indutor estacionário e o indutor rotativo tenha uma geometria que seja rotacionalmente simétrica com relação ao eixo de rotação da estrutura rotativa. Uma possibilidade de se obter um acoplamento constante deixando aberturas de acesso é uma modalidade na qual o indutor estacionário possui ao menos uma abertura em sua circunferência e o indutor rotativo compreende ao menos um par de setores separados. Portanto, ambos são descontínuos. Nesta modalidade, a abertura tem uma medida em radianos β e cada par de setores separados é disposto de modo que a medida em radianos δ entre as bissetrizes deste par seja tal que δ seja um divisor de β ou tal que β seja um divisor de δ .

Preferivelmente, cada enrolamento de bobina, do indutor estacionário e do indutor rotativo respectivamente, tem um número de espiras n na faixa de $50 \leq n \leq 500$, e preferivelmente $100 \leq n \leq 200$.

Como será notado pelos técnicos no assunto, o dispositivo de acoplamento indutivo permite uma alimentação segura e livre de manutenções de uma carga elétrica, por exemplo, um motor elétrico operativamente associado à calha de distribuição para variar o ângulo de

inclinação da calha ou para girar a calha em torno de seu eixo longitudinal, de uma bomba de circuito de refrigeração, ou qualquer outra carga de potência considerável (por ex., ≥ 500 W) disposta na estrutura rotativa. Para a transmissão de sinais de controle e/ou de medição não é necessário o uso do dispositivo de acoplamento indutivo. Ao invés, um radiotransmissor, receptor ou transceptor pode ser disposto na estrutura rotativa para receber e/ou transmitir tais sinais para ou a partir da carga energizada pelo dispositivo de acoplamento.

A presente invenção não se limita a aplicações em dispositivos de carregamento do tipo TOPO SEM CONE. Seu uso é benéfico também com outros tipos de dispositivos de carregamento rotativos. Será entendido que um dispositivo de carregamento, aprimorado com o dispositivo de acoplamento indutivo descrito, é especialmente adequado para equipar um alto-forno. O técnico no assunto irá notar que o dispositivo de acoplamento revelado pode ser facilmente adaptado como um aprimoramento para os dispositivos de carregamentos existentes sem mudanças estruturais consideráveis dos dispositivos de carregamento.

Breve descrição dos desenhos

Mais detalhes e vantagens da presente invenção ficarão aparentes a partir da seguinte descrição detalhada de diversas modalidades não limitativas com referência aos desenhos anexos, nos quais:

A Fig. 1 é uma vista de seção transversal vertical de uma primeira modalidade de um dispositivo de acoplamento indutivo em um dispositivo de carregamento rotativo para um forno de cuba;

A Fig. 2 é uma vista de seção transversal vertical de uma variante básica de um arranjo de indutores e núcleo em um dispositivo de acoplamento indutivo de acordo com a invenção;

A Fig. 3 é uma vista de seção transversal vertical de uma variante trifásica de um arranjo de indutores e núcleo de um dispositivo de acoplamento indutivo de acordo com a invenção;

5 As Figs. 4, 6 e 8 são vistas de seção transversal verticais ao longo das linhas IV-IV, VI-VI e VIII-VIII das vistas de planta esquemáticas das Figs. 5, 7 e 9 respectivamente, ilustrando uma outra modalidade de um dispositivo de acoplamento indutivo, com as Figs. 4-5, 6-7 e 8-9 respectivamente mostrando diferentes posicionamentos rotacionais;

10 A Fig. 10 é uma vista de seção transversal vertical ao longo da linha X-X da vista de planta esquemática da Fig. 11, ilustrando mais uma modalidade de um dispositivo de acoplamento indutivo em um dispositivo de carregamento rotativo;

15 A Fig. 12 é uma vista em planta de mais uma modalidade de um dispositivo de acoplamento indutivo em um dispositivo de carregamento rotativo;

As Figs. 13 a 19 são vistas de planta esquemáticas que ilustram possíveis configurações geométricas e outras variantes de um dispositivo de acoplamento indutivo;

20 A Fig. 20 é um diagrama de circuito equivalente de um dispositivo de acoplamento indutivo de acordo com a invenção.

Nessas figuras, números de referência, os números de referência idênticos ou os números com incremento de zeros à direita são utilizados para identificar elementos idênticos ou correspondentes.

25 **Descrição detalhada de modalidades preferidas**

Na Fig. 1, o número de referência 10 identifica um dispositivo de carregamento rotativo em geral. O dispositivo de carregamento rotativo

10 será tipicamente instalado na soleira de um forno de cuba (não mostrada) e em particular de um alto-forno para a produção de gusa. Esse dispositivo de carregamento 10 compreende meios de distribuição rotativos para distribuir material de carga sobre uma superfície de carregamento na garganta do forno. Como parte dos meios de distribuição rotativos, a Fig. 1 mostra uma calha de distribuição rotativa 12 que é conectada por meio de membros de montagem em forma de bico de pato 14 a uma estrutura rotativa 16. A estrutura rotativa 16 possui uma plataforma de suporte inferior 17 (ver Fig. 4) que suporta um eixo, formando um eixo B, no qual a calha de distribuição 12 está suspensa.

Como visto na Fig. 1, o dispositivo de carregamento rotativo 10 também possui um suporte estacionário projetado como um envoltório 18. A estrutura rotativa 16 é suportada rotativamente no envoltório 18 por meio dos rolamentos de diâmetro grande 20. A trilha externa dos rolamentos 20 é fixa a um flange de extremidade superior 22 da estrutura rotativa 16 enquanto que a trilha interna dos rolamentos 20 é fixa a uma placa superior 24 do envoltório estacionário 18. Os rolamentos 20 são configurados de modo que a estrutura rotativa 16 e nela a calha de distribuição 12 possa girar em torno de um eixo A substancialmente vertical, que normalmente coincide com o eixo central do forno. Um cano de alimentação central 26 está centralizado no eixo A e define uma passagem através do flange de extremidade superior 22 e através de um membro tubular 23 que conecta o flange de extremidade superior 22 à plataforma de suporte 17 da estrutura rotativa 16. O material de carregamento, tal como minério e coque, pode ser distribuído através do cano de alimentação 26 por sobre a calha de distribuição 12. Um circuito de refrigeração 28, que possui serpentinas de refrigeração na Fig. 1, é disposto sobre a estrutura rotativa 16 para proteger as partes particularmente expostas ao calor do forno.

De acordo com o princípio do TOPO SEM CONE da *Paul Wurth S.A.* de Luxemburgo, o dispositivo de carregamento 10 obtém a distribuição do material de carga girando a calha de distribuição em torno do eixo A e variando o ângulo de articulação da calha de distribuição 12 em torno do eixo B. O eixo B é geralmente perpendicular ao eixo A. Outros detalhes do mecanismo para girar e articular a calha de distribuição 12 não são mostrados nas figuras e não são descritos mais detalhadamente aqui. Uma descrição mais detalhada é dada, por ex., na patente US nº 3,880,302. Para facilitar o entendimento, deve-se notar principalmente que o dispositivo de carregamento rotativo 10 compreende uma estrutura rotativa 16 que está apta a girar em relação ao seu suporte estacionário, que na Fig. 1 corresponde ao envoltório 18.

Os técnicos no assunto irão observar que a disponibilidade de energia elétrica na estrutura rotativa, especialmente se segura e sem requerer manutenção, seria benéfica para muitas aplicações conhecidas como também para aplicações inovadoras. Aplicações ilustrativas são, por exemplo:

- dispositivos de carregamento de acordo com EP 0863215 ou US 6,481,946, que possuem um atuador para variar o ângulo de articulação da calha de distribuição montada na estrutura rotativa e que portanto requerem energia disponível na estrutura rotativa;
- uma ou mais bombas refrigeradoras, por ex., para um circuito de refrigeração de circulação forçada 28 como mostrado na Fig. 1 para o circuito de refrigeração de um eixo de suspensão de calha conforme conhecido a partir de DE 3342572, e/ou para o próprio circuito de refrigeração da calha 12 conhecida de US 5,252,063.

- um dispositivo de carregamento com uma calha de distribuição que seja rotativa em torno do eixo longitudinal da calha, como a conhecida a partir de EP 1453983;

- dispositivos de lubrificação automatizados;
- 5 • quaisquer outros atuadores e/ou sensores que sejam benéficamente fornecidos na parte rotativa do dispositivo de carregamento.

Pela natureza das coisas, sinais de medição ou controle de atuadores ou sensores têm potência baixa (vários mW ou W) e portanto podem simplesmente ser transmitidos por comunicação sem fio, por ex.,
 10 utilizando-se equipamentos convencionais de radiotransmissão. Ao revés, o fornecimento de energia para muitas aplicações são de potência considerável, tipicamente da ordem de 1 KW e acima para motores elétricos, e portanto requer um meio apropriado para se obter a transferência de energia elétrica da parte fixa para a rotativa do dispositivo
 15 de carregamento 10.

Na Fig. 1, o número de referência 30 identifica uma primeira modalidade de um dispositivo de acoplamento indutivo, que é esquematicamente mostrado em seção transversal, para alcançar tal transferência de energia elétrica. O dispositivo de acoplamento indutivo 30
 20 permite uma transferência de energia elétrica sem contato do suporte estacionário 18 para a estrutura rotativa 16 por meio de acoplamento magnético através de um espaçamento radial 32.

O dispositivo de acoplamento indutivo 30 compreende um indutor estacionário 34 que é fixo ao suporte estacionário, isto é, ao
 25 envoltório 18 na Fig. 1, e um indutor rotativo 36 que é fixo à estrutura rotativa 16. Durante a operação do dispositivo de carregamento 10, o indutor estacionário 34 permanece imóvel com o envoltório 18 enquanto que o indutor rotativo 36 gira juntamente com a estrutura rotativa 16.

Embora não mostrado na Fig. 1, deve ser entendido que o indutor estacionário 34 é conectado por cabos a um circuito estacionário com uma fonte de energia elétrica enquanto que o indutor rotativo 36 é conectado por cabos a um circuito disposto na estrutura rotativa 16 para energizar uma
5 carga elétrica tal como um motor de articulação para a calha 12 e/ou uma bomba para o circuito de refrigeração 28 e/ou qualquer outro utensílio elétrico desejável disposto na estrutura rotativa 16. Como mostrado em seção transversal na Fig. 1, o indutor estacionário 34 compreende um arranjo de núcleo magnético estacionário 38 e enrolamentos de fios
10 bobinados em torno de uma porção do arranjo de núcleo 38. De forma semelhante, o indutor rotativo 36 compreende um arranjo de núcleo magnético rotativo 40 e enrolamentos de fios bobinados em torno de uma porção do arranjo de núcleo 40.

Na modalidade da Fig. 1, o dispositivo de acoplamento 30 está
15 disposto entre o cano de alimentação 26 e o membro tubular 23. Devido às suas localizações, ambos os arranjos de núcleo 38, 40 podem ser arranjados em torno de um eixo A anéis ininterruptos, isto é, inteiramente circulares, com diâmetros comparativamente pequenos (configuração circular total). As respectivas faces de pólo dos arranjos de núcleo estacionário e rotativo
20 38, 40 são separadas pelo espaçamento radial 32 que forma um espaçamento de ar interférico substancialmente vertical entre as faces de pólos magnéticos de cada arranjo de núcleo 38, 40. O espaçamento 32 também pode ser ligeiramente oblíquo em seção vertical e não precisa necessariamente estar reto para cada face de pólo. Um pequeno
25 espaçamento radial 32 é no entanto necessário para permitir a rotação livre do indutor rotativo 36 em relação ao indutor estacionário 34.

Em virtude do espaçamento radial 32, a relação radialmente oposta das faces de pólo dos arranjos de núcleo magnético 38, 40 oferece, dentre outras, as seguintes vantagens:

- operação confiável em caso de ocorrência de pequenos deslocamentos verticais da estrutura rotativa 16 em relação ao envoltório 16 (por ex., devidos aos desgastes dos rolamentos 20 ou às variações de pressão no forno);

5 • impedimento ou ao menos redução de possíveis acúmulos de poeira sobre as faces dos pólos dos arranjos de núcleo 38, 40 e bloqueios e desgastes subseqüentes;

 • (com indutores 34, 36 de tamanhos grandes com comprimento das bobinas axial considerável): economia de espaço na
10 direção radial, com relação ao eixo A.

A Fig. 2 mostra uma modalidade do dispositivo de acoplamento indutivo 30 em mais detalhes. O dispositivo de acoplamento indutivo 30 é projetado para corrente alternada (CA) monofásica. Cada um
dentre o arranjo de núcleo magnético estacionário 38 e o arranjo de núcleo
15 magnético rotativo 40 possui um núcleo da forma substancial de um “C” ou de um “U”. Os arranjos de núcleo 38, 40 são feitos de material (por ex., ferrita) ou ligas (por ex., Fe-Si) ferromagnéticas que possuem uma permeabilidade relativa μ_r elevada, por ex., da ordem de 7.000 (com densidade de fluxo $< 0,1$ mT). As ligas PERMALLOY que atingem valores
20 de permeabilidade bem altos de 40.000 ou até 100.000 também podem ser utilizadas. A alta permeabilidade permite o confinamento do campo magnético e desse modo aumenta a indutância de cada indutor 34, 36. Os indutores estacionário e rotativo 34, 36 compreendem respectivamente os enrolamentos de bobina 44, 46, cada um deles enrolados em torno de uma
25 porção vertical do arranjo de núcleo 38, 40 correspondente, no que uma economia de espaço na direção radial em relação ao eixo A é obtida.

No sentido da rotação, isto é, em um plano perpendicular ao da Fig. 2, os enrolamentos 44, 46 podem circundar substancialmente toda a

circunferência em torno do eixo A utilizando uma única abertura de bucha com cabo simples em uma configuração de núcleo de círculo completo conforme pode ser utilizada na modalidade da Fig. 1. Para se obter uma razão alta de número de espiras por comprimento da bobina (N/l com N: número de espiras e I: comprimento da bobina do enrolamento) e desse modo aumentar a indutância, é no entanto geralmente preferível que um dado enrolamento de bobina encubra apenas parte do comprimento de arco de um arranjo de núcleo 38, 40 correspondente (ou de um sub-componente deste). Isto pode ser obtido, por ex., com aberturas de bucha de cabos radiais em locais apropriados nos arranjos de núcleo 38, 40 para delimitar o comprimento do arco de um enrolamento. No último caso, cada um dos arranjos de núcleo 38, 40 possui uma pluralidade de tais setores de enrolamento. Todos os setores de enrolamento possuem o mesmo número de espiras (N). Eles estão conectados, preferivelmente em série, com outros setores de enrolamento a uma fonte de CA ou à carga respectivamente.

Em cada indutor 34, 36, a direção do fluxo magnético, como indicado pelas setas na Fig. 2, é independente da posição rotacional do indutor rotativo 36. Em outras palavras, a face de pólo superior 48 do núcleo estacionário 38 permanece oposta à face de pólo superior 50 do núcleo rotativo 40 enquanto se dá o mesmo para as respectivas faces de pólo inferiores 48', 50'. Além disso, o dispositivo de acoplamento indutivo 30 é configurado de modo tal que as densidades do fluxo magnético total através de cada indutor 34, 36 permaneçam substancialmente constantes durante a rotação do indutor rotativo 36. Ou seja, a transferência de energia elétrica é substancialmente independente da posição rotacional relativa entre os indutores estacionário e rotativo 34, 36. Isto se dá, é claro, à exceção de variações desprezíveis, por ex., devidas a aberturas de bucha com cabos nos arranjos de núcleo 38, 40. Dentro do espaçamento radial 32,

o fluxo magnético é também substancialmente radial como ilustrado pelas setas mostradas na Fig. 2.

Quando útil, elementos de condução magnética falsos (sem enrolamentos) podem ser inseridos em certos locais na circunferência dos arranjos de núcleo 38, 40 para se manter uma densidade de fluxo magnético uniforme no sentido de rotação minimizando-se efeitos de campo disperso. Como o arranjo de fluxo radialmente interno (por ex., o arranjo de núcleo estacionário 38 na Fig. 1 ou o arranjo de fluxo rotativo nas Figs. 4 a 9) tem um diâmetro ligeiramente menor, o dispositivo de acoplamento indutivo 30 é projetado de modo que o núcleo magnético com a menor seção transversal de fluxo não sature.

O dispositivo de acoplamento indutivo opera como um transformador do tipo núcleo com os enrolamentos de bobina estacionários 44 e os enrolamentos rotativos 46 funcionando como primário e secundário respectivamente. Assim, a tensão disponível nos terminais do enrolamento rotativo 46 depende da razão dos enrolamentos e da densidade de fluxo magnético. No dispositivo de acoplamento indutivo 30, ela é no entanto geralmente independente da posição rotacional da estrutura rotativa 16. Como a transformação de tensão não é o propósito básico do dispositivo de acoplamento indutivo 30, a razão de enrolamento (de espiras estacionárias para espiras rotativas) pode ser igual a 1, como em um transformador de 1 para 1. Devido à presença do espaçamento de ar interférico 32 entre as faces de pólo superiores e inferiores 48, 50; 48', 50', a eficiência da transmissão do dispositivo de acoplamento indutivo 30 é menor do que a de um transformador convencional com um núcleo contínuo. A largura radial do espaçamento de ar 32 é pequena, normalmente da ordem de vários décimos de milímetro ou de poucos milímetros (por ex., de 0,5 a 5 mm). A largura interférica depende do valor mínimo que confira com segurança a

rotação livre do indutor rotativo 36 levando-se em conta os fatores relevantes tais como a dilatação térmica e folga dos rolamentos 20.

A Fig. 2 também mostra esquematicamente um exemplo de uma carga (motor M) a ser disposta na estrutura rotativa 16. Qualquer tipo
5 de carga pode ser alimentado com energia elétrica em virtude do dispositivo de acoplamento indutivo 30. Deve ser também observado que o dispositivo de acoplamento 30 oferece uma transmissão de energia elétrica constante tanto durante a rotação da estrutura rotativa 16 em diferentes velocidades, isto é, durante a operação, como também durante a paralização
10 do dispositivo de carregamento 10.

A Fig. 3 mostra um dispositivo de acoplamento indutivo 130 alternativo como um sistema trifásico simétrico como utilizado convencionalmente em aplicações de altas potências. Na modalidade da Fig. 3, o dispositivo de acoplamento 130 compreende arranjos de núcleo
15 estacionário e rotativo 138, 140 de seção transversal vertical substancialmente em forma de “E”, cada um possuindo três faces de pólos magnéticos. Os indutores estacionário e rotativo 134, 136 compreendem respectivamente um conjunto de três bobinas 144.1, 144.2, 144.3; 146.1, 146.2, 146.3, com cada bobina de um conjunto operando em uma mudança
20 de fase de 120°, para transmissão de energia de CA trifásica simétrica. As bobinas estacionárias 144.1, 144.2, 144.3 são enroladas em torno de cada um dos três ramos horizontais do arranjo de núcleo estacionário 138 respectivamente enquanto que as bobinas rotativas 146.1, 146.2, 146.3 são enroladas em torno dos ramos horizontais opostos do arranjo de núcleo
25 rotativo 140. Os demais aspectos do dispositivo de acoplamento indutivo 130 são semelhantes aos descritos acima e adiante.

As Figs. 4 a 9 mostram uma outra modalidade de um dispositivo de acoplamento indutivo 230 equipando um dispositivo de carregamento 10. Aqueles detalhes do dispositivo de carregamento 10 das

Figs. 4 a 9 que correspondem aos descritos com referência à Fig. 1 não repetidos daqui por diante.

O dispositivo de acoplamento indutivo 230 das Figs. 4 a 9 é disposto na parte inferior do envoltório estacionário 18 como pode-se ver
5 melhor na Fig. 8. À semelhança dos dispositivos de acoplamentos discutidos anteriormente, o dispositivo de acoplamento indutivo 230 compreende um indutor estacionário 234 com um arranjo de núcleo magnético 238 e um indutor rotativo 236 com um arranjo de núcleo magnético 240. Os arranjos de núcleo 238, 240 e seus enrolamentos de
10 bobina são projetados para transmissão de energia em maiores potências quando comparadas à modalidade da Fig. 1. Como o dispositivo de acoplamento indutivo 230 está na parte inferior do envoltório 18, o indutor rotativo 236 é suportado diretamente sobre a plataforma 17, enquanto que o indutor estacionário 234 é fixo à parede do envoltório 18. Como aparece
15 nas Figs. 5, 7 e 9, o arranjo de núcleo estacionário 238 está por fora enquanto que o arranjo de núcleo rotativo 240 está por dentro em relação ao eixo A. Embora não seja mostrado em detalhes, ambos os arranjos de núcleo 238, 240 são fornecidos com respectivos enrolamentos de bobina.

Como visto nas Figs. 5, 7 e 9, ambos os indutores estacionário
20 e rotativo 234, 236 e seus respectivos arranjos de núcleo magnético estacionários e rotativos são descontínuos no sentido da rotação da estrutura rotativa 16 (configuração circular descontínua). O indutor estacionário 234 é composto por dois setores 234.1, 234.2 enquanto que o indutor rotativo 236 é composto por quatro setores 236.1, 236.2, 236.3 e
25 236.4. Os setores 234.1, 234.2; 236.1, 236.2, 236.3 e 236.4 são dispostos em simetria rotacional com relação ao eixo A. Somente as faces opostas dos arranjos de núcleo magnético estacionário e rotativo 238, 240 precisam ser acionadas com alta precisão para se obter uma seção horizontal circular.

Deve-se notar também que, em vista de planta, o espaçamento radial 32 é circular e centralizado no eixo A.

Como visto ainda nas Figs. 5, 7 e 9, aberturas respectivas na circunferências dos arranjos de núcleos magnéticos 238, 240 permitem o
 5 acesso a partes internas na estrutura rotativa 16, por ex., para intervenções de manutenção, sem se desmontar o dispositivo de acoplamento indutivo 230. Por exemplo, é dado acesso a ambas as metades do suporte e mecanismo de acionamento da calha de distribuição 12, esquematicamente mostradas pelos números de referência 52, 54, como também ao circuito de
 10 refrigeração 28 ou sua bomba refrigeradora (não mostrada), por exemplo. Na configuração rotacional da Fig. 5, por exemplo, ambas as metades do suporte e mecanismo de acionamento 52, 54 dispostos sobre a plataforma de suporte 17 podem ser acessadas através de portas de acesso 56, 58 no envoltório 18. Na configuração rotacional da Fig. 7, por exemplo, a
 15 estrutura rotativa é girada por 90° no sentido do relógio com relação à Fig. 5 de modo que outras partes, por ex., parte do circuito de refrigeração 28 vista no lado esquerdo da Fig. 6, possa ser acessada. A Fig. 9 mostra uma posição rotacional intermediária da estrutura rotativa 16. Um dispositivo de acoplamento circularmente interrompido 230 também pode ser utilizado
 20 tendo em vista restrições de construção.

A altura da porção vertical das partes substancialmente em forma de “U” dos arranjos de núcleo magnético 238, 240 acomoda um número grande de enrolamentos de bobina (não mostrados) para que se obtenha uma indutância considerável, uma vez que a indutância aumenta
 25 com o quadrado do número de enrolamentos. O arranjo das Figs. 4 a 9 é apropriado para aplicações de altas potências, por ex., cargas que requerem suprimento de potência elétrica $> 10 \text{ KW}$.

Como visto nas seções transversais verticais das Figs. 4, 6 e 8, uma dada porção de face de pólo do arranjo de núcleo magnético

estacionário 238 não fica todo o tempo oposta a uma porção de face de pólo correspondente do arranjo de núcleo magnético rotativo 240 durante um dado ciclo de rotação. Como será observado a partir de uma comparação das Figs. 5, 7 e 9, a superfície de acoplamento total para o
5 acoplamento magnético através do espaçamento radial 32 permanece constante durante a rotação do indutor rotativo 236, isto é, independe da posição rotacional do indutor rotativo 236 em relação ao indutor estacionário 234. No presente contexto, a expressão “superfície de acoplamento” é definida como a superfície sobre a qual as faces de pólo
10 (ver 48, 50; 48', 50' na Fig. 2) do arranjo de núcleo estacionário 238 estão radialmente opostas às faces de pólo do arranjo de núcleo rotativo 240 e vice-versa, isto é, a área de superfície pela qual o acoplamento magnético efetivo possa ser obtido. Conseqüentemente, na modalidade das Figs. 4 a 9, a superfície de acoplamento total é a soma de tais superfícies separadas
15 dada pela medição em radianos das porções opostas (rachuradas nas Figs. 5, 7 e 9) dos setores 234.1, 234.2; 236.1, 236.2, 236.3 e 236.4, respectivamente multiplicadas pela altura vertical somada das faces de pólo correspondentes (ver 48, 50; 48', 50' na Fig. 2).

Em conseqüência da superfície de acoplamento total ser
20 constante independentemente da posição rotacional, o fluxo magnético acoplado e portanto a energia elétrica transferida à estrutura rotativa 16 é também independente da posição rotacional desta, apesar da configuração descontínua dos indutores estacionário e rotativo 234, 236 de acordo com as Figs. 4 a 9. Com um diâmetro apropriado do dispositivo de acoplamento
25 magnético 230, um grau de acoplamento magnético semelhante ao de uma configuração contínua de diâmetro menor (por ex., como na Fig. 1) pode ser obtido com a configuração descontínua do dispositivo de acoplamento 230 das Figs. 4 a 9.

As Figs. 10 e 11 mostram uma outra modalidade de um dispositivo de acoplamento indutivo 330 equipando um dispositivo de carregamento 10. O dispositivo de acoplamento 330 tem uma configuração descontínua. Somente as diferenças com relação às modalidades
5 anteriormente descritas serão detalhadas abaixo.

Como visto na Fig. 10, o dispositivo de acoplamento indutivo 330 é disposto em altura intermediária dentro do envoltório 18. Esta localização permite a redução do diâmetro do dispositivo e portanto do custo em materiais, aproximando-se os rolamentos 20 de modo que a
10 tolerância na largura necessária do espaçamento 32 seja menor, e a redução da exposição à poeira e calor do forno. Ao contrário do dispositivo de acoplamento 330, apenas o indutor rotativo 336 do dispositivo de acoplamento indutivo 330 é descontínuo no sentido de rotação enquanto que o indutor estacionário 334 é configurado como um anel de círculo
15 completo em torno do eixo A. O diâmetro do dispositivo de acoplamento 330 é ligeiramente reduzido em comparação com o das Figs. 4 a 9. Como visto na Fig. 11, o indutor rotativo 336 é composto por dois setores em formas de arcos circulares distintos 336.1, 336.2. Os setores 336.1 e 336.2 são separados por aberturas apenas no local das duas metades opostas do
20 suporte e mecanismo de acionamento 52, 54. O indutor rotativo descontínuo 336 se conforma às restrições de espaço da construção do dispositivo de carregamento 10 e facilita o acesso ao suporte e mecanismo de acionamento 52, 54. Em virtude da considerável superfície de acoplamento total que aparece na Fig. 11 (porções opostas estão
25 rachuradas), o dispositivo de acoplamento indutivo 330 permite a transferência de energia elétrica sem contato de potências ainda maiores em comparação com as modalidades anteriores. Deve ser entendido que o projeto elétrico específico do dispositivo de acoplamento 230, 330 mostrado esquematicamente pode corresponder ao da Fig. 2, ao da Fig. 3,

ou a qualquer outro projeto elétrico prontamente concebível por um técnico no assunto.

A Fig. 12 mostra mais uma modalidade de um dispositivo de acoplamento 430 que pode ser considerado como uma variante da modalidade ilustrada nas Figs. 4 a 9. Ao contrário da última modalidade, o dispositivo de acoplamento 430 tem um indutor estacionário 434 que é configurado como um anel de círculo completo centralizado no eixo A. Para se obter acessibilidade para propósitos de manutenção, o indutor estacionário 434 possui setores removíveis 434.1, 434.3. Estes podem ser por exemplo montados em articulações para que sejam articuláveis em relação aos setores montados fixamente 434.2, 434.4 como indicado na Fig. 16. Quando o acesso for necessário, por ex., às partes do suporte e mecanismo de acionamento 52, 54, as porções de setores articulados 434.1, 434.2 são movimentadas para uma posição de estacionamento mostrada na Fig. 16. Durante a operação, as porções de setores removíveis 434.1 e 434.3 são posicionadas (ver linhas quebradiças na Fig. 16) para formar um anel de círculo completo juntamente com os setores fixos 434.2, 434.4. Como o sentido do fluxo magnético nos arranjos de núcleo magnéticos 438, 440 é perpendicular à direção de rotação, uma interrupção do arranjo de núcleo magnético nas interfaces entre os setores 434.1, 434.3 e os setores fixos 434.2, 434.4 não é crítica.

Como a velocidade de rotação de um dispositivo de acoplamento rotativo para um forno de cuba é comparativamente baixa (por ex., várias revoluções por minuto), medidas especiais precisam ser tomadas para se obter transferência de energia elétrica constante com indutores descontínuos. Portanto, mais detalhes com relação a possíveis configurações de círculos descontínuos de dispositivos de acoplamento indutivo são descritos aqui adiante com referência às Figs. 13 a 19. Inicialmente, deve ser observado que cada uma das Figs. 13 a 19 ilustra um

exemplo de um dispositivo de acoplamento indutivo descontínuo que permite transferência de energia elétrica constante independentemente da rotação da estrutura rotativa 16. Esses exemplos não têm o intuito de serem limitativos.

5 A Fig. 13 ilustra esquematicamente a configuração geométrica do dispositivo de acoplamento 230 circularmente descontínuo, isto é, circular descontínuo mostrado nas Figs. 4 a 9. Como visto na Fig. 1, ambos os setores 234.1, 234.2 do indutor estacionário 234 assim como os quatro setores 236.1, 236.2, 236.3 e 236.4 do indutor rotativo 236 são dispostos
10 em simetria rotacional em torno do eixo A. O indutor estacionário 234 tem possui simetria rotacional de ordem m (também chamada de “simetria rotacional discreta de ordem m ”), com $m = 2$ (isto é, simétrico por $2\pi/m = \pi$ ou rotação de 180°), enquanto que o indutor rotativo 236 possui simetria rotacional de ordem n , com $n = 4$ (isto é, simétrico por $2\pi/n = \pi/2$ ou rotação de 90°). As respectivas medidas em radianos α dos setores estacionários 234.1, 234.2 são idênticas e aproximadamente iguais a $\pi/2$ ou 90° . As duas aberturas entre os setores estacionários 234.1, 234.2 também possuem medidas em radianos β idênticas aproximadamente iguais a $\pi/2$ ou 90° . A medida em radianos γ dos setores 236.1, 236.2, 236.3 e 236.4 é um
15 valor de equilíbrio entre o acoplamento eletromagnético desejado e o espaço de acesso, por ex., para manutenção. O valor de γ em si não é crucial para se obter um acoplamento indutivo constante. Com os raios e ordens de simetria determinados, as respectivas medidas em radianos, α , β , γ determinam os comprimentos de arco das aberturas e dos setores
20 estacionários 234.1, 234.2 e rotativos 236.1, 236.2, 236.3 e 236.4, sendo que dentre outros aspectos a superfície de acoplamento total pode ser determinada.

Para aliviar a descrição que segue, a expressão “setores conjugados” será utilizada para referir a um dado par de setores rotativos

que satisfaçam a condição de serem o par circularmente mais próximo quando seu conjugado estiver causando uma diminuição no acoplamento e vice-versa. No dispositivo de acoplamento 230 da Fig. 13, os pares (236.1, 236.2) e (236.3, 236.4) são pares de setores conjugados. A medida em radianos δ entre os centros de dois setores conjugados, por ex., 236.1, 236.2, é escolhida em função da medida em radianos β da(s) abertura(s). No dispositivo de acoplamento 230, δ é um divisor de β , isto é, $\beta = k\delta$ com k sendo um inteiro não negativo. Como visto na Fig. 13, $k = 1$ ou δ é aproximadamente igual a $\pi/2$ ou 90° . Além disso, ambos os setores conjugados, por ex. (236.1, 236.2) e (236.3, 236.4), deverão ter medidas em radianos γ idênticas e ser dispostos simetricamente em relação ao plano definido por suas bissetrizes utilizadas para definir δ . Desse modo se assegura que a superfície de acoplamento total é independente da posição rotacional do indutor rotativo 236. Com efeito, as condições certificam que, quando a superfície de acoplamento em um dado setor, digamos 236.2, é reduzida ou aumentada devido à rotação, a superfície de acoplamento em seu setor conjugado, 236.1, é simultaneamente reduzida ou aumentada pela mesma quantidade.

A Fig. 14 mostra um dispositivo de acoplamento 530 de acordo com uma variante da modalidade das Figs. 4 a 9, e 13 na qual o indutor rotativo 536 compreende apenas um par de setores rotativos 536.1 e 536.2. Como visto na Fig. 14, o indutor rotativo 536 não precisa ser necessariamente rotacionalmente simétrico em torno do eixo A (considerando simetria de ordem 1 como não sendo uma simetria). Em certas configurações, é suficiente que um dentre o indutor estacionário 534 ou rotativo 536 tenha simetria rotacional, como ilustrado também pela Fig. 15.

A Fig. 15 mostra mais um exemplo de um dispositivo de acoplamento 630 que tem um único par de setores rotativos 636.1 e 636.2 e

somente um setor estacionário 634.1. No dispositivo de acoplamento 630 da Fig. 15, o indutor rotativo possui simetria rotacional de ordem 2 (isto é, por π ou 180°), enquanto que o indutor estacionário 634 não é rotacionalmente simétrico ($m = 1$). No dispositivo 630 da Fig. 15, δ é um
 5 divisor de β (e vice-versa), isto é, $\beta = k\delta$ com $k = 1$.

A Fig. 16 mostra um dispositivo de acoplamento 730, no qual o indutor estacionário 734 tem simetria rotacional de ordem 4 ($m = 4$), enquanto que o indutor rotativo não tem simetria rotacional ($n = 1$). Os indutores estacionário e rotativo 734, 736 têm respectivamente quatro
 10 setores 734.1, 734.2, 734.3 e 734.4 & 736.1, 736.2, 736.3 e 736.4. No dispositivo de acoplamento 730, $\alpha = \beta = \delta = \pi/4$ e portanto $\beta = k\gamma$ com $k = 1$. Novamente, a medida em radianos γ dos setores rotativos 736.1, 736.2, 736.3 e 736.4 pode ser aumentada ou reduzida sem afetar o fato de o acoplamento eletromagnético ser independente da rotação. Dentro de cada
 15 par de setores conjugados (736.1, 736.2) e (736.3, 736.4), contudo, a medida em radianos γ , isto é, o comprimento de arco, de ambos os setores devem ser idênticos e satisfazer $\gamma \leq \beta$.

A Fig. 17 mostra mais uma modalidade alternativa de um dispositivo de acoplamento 830, no qual o indutor estacionário 834 tem
 20 simetria rotacional de ordem 3 ($m = 3$, ou seja, simétrico por rotação de 120°), enquanto que o indutor rotativo tem simetria rotacional de ordem 4 ($n = 4$). O indutor estacionário 834 compreende três setores separados 834.1, 834.2 e 834.3, enquanto que o indutor rotativo 836 compreende quatro setores rotativos distintos 836.1, 836.2, 836.3 e 836.4. Os setores
 25 são dispostos em simetria rotacional em torno do eixo A. No dispositivo de acoplamento 830, $\alpha = \beta = 2\pi/3$ sendo $\delta = \pi$. Deve ser observado que os setores rotativos conjugados no dispositivo de acoplamento 830 são aqueles que são radialmente opostos, isto é, os setores (836.1, 836.3) e (836.2, 836.4) são respectivamente conjugados. Portanto na modalidade da Fig. 17,

β é um divisor de δ (e não vice-versa), isto é, $\delta = k\beta$ com $k = 3$. Com efeito, nesta modalidade particular, $\delta > \beta$ enquanto nas modalidades anteriores $\delta \leq \beta$.

A Fig. 18 mostra um dispositivo de acoplamento 930, que é
 5 uma variante da modalidade da Fig. 17 por possuir apenas um par de setores conjugados 936.1, 936.2 no indutor rotativo 936. Aparentemente pela comparação das Figs. 17 e 18 o número de pares conjugados utilizados não é decisivo, desde que as condições para o acoplamento independente de rotação continuem sendo satisfeitas. Por exemplo, mais um setor
 10 conjugado (não mostrado) poderia ser adicionado ao dispositivo de acoplamento 830 da Fig. 17 interpondo-se dois setores opostos radialmente em 45° entre os pares dos setores (836.1, 836.2) e (836.3, 836.4) sem afetar a independência rotacional.

A Fig. 19 mostra mais uma modalidade de um dispositivo de
 15 acoplamento 1030. Nesse dispositivo de acoplamento, o indutor rotativo 1036 tem a mesma configuração do indutor rotativo da Fig. 13, isto é, compreende quatro setores separados 1036.1, 1036.2, 1036.3 e 1036.4 com $\delta = \pi/4$ e é disposto em simetria rotacional de ordem 4 ($n = 4$) em torno de seu eixo de rotação A. O indutor estacionário 1034 por outro lado é
 20 formado em uma peça de medida em radianos $\alpha = 3\pi/4$ e portanto não é rotacionalmente simétrico ($m = 1$). O indutor estacionário 1034 é descontínuo devido a uma abertura que tem uma medida em radianos $\beta = \pi/4$. Como nas modalidades anteriores, a transferência de energia elétrica do indutor estacionário 1034 para o indutor rotativo 1036 por meio de
 25 acoplamento magnético através do espaçamento radial 32 é também substancialmente constante durante a rotação do indutor rotativo 1036.

Segue a partir da descrição de possíveis arranjos geométricos dos dispositivos de acoplamento acima que muitas configurações diferentes com arranjos de núcleos descontínuos são possíveis, sendo todas elas de

modo tal que a superfície de acoplamento total é constante durante a rotação do indutor rotativo. Desse modo a transferência de energia elétrica por acoplamento magnético através do espaçamento radial 32 é independente da posição rotacional da estrutura rotativa 16 que suporta o indutor rotativo (a não ser por pequenas variações que ocorrem nas bordas dos setores).

Voltando-se agora para o diagrama de circuito equivalente do dispositivo de acoplamento indutivo, mostrado na Fig. 20, algumas considerações de projeto elétrico serão detalhadas. Na Fig. 20 (utilizando notação de fasores):

- $U1$: tensão aplicada ao indutor rotativo,
- $R1$: resistência da bobina do indutor estacionário,
- $X1$: reatância de dispersão do indutor estacionário,
- $U'2 = n_{tr} \cdot U2$: tensão no indutor rotativo com referência ao indutor estacionário,
- $R'2 = n_{tr}^2 \cdot R2$: resistência da bobina do indutor rotativo com referência ao indutor estacionário,
- $X'2 = n_{tr}^2 \cdot X2$: reatância de dispersão do indutor rotativo com referência ao indutor estacionário,
- X_{mu} = reatância mútua magnetizadora,
- $Z'mot = R'mot + jX'mot$: impedância da carga (por ex., um motor) com referência ao indutor estacionário,
- $R'mot = n_{tr}^2 \cdot Rmot$: resistência da carga com referência ao indutor estacionário,
- $X'mot = n_{tr}^2 \cdot Xmot$: reatância da carga com referência ao indutor estacionário.

sendo n_{tr} a razão dos enrolamentos de espiras estacionárias para espiras rotativas.

Como será observado, o dispositivo de acoplamento indutivo basicamente relembra um transformador rotativo. Portanto, Xmu é um importante parâmetro para a concepção do dispositivo de acoplamento indutivo. Com efeito:

$$Xmu = 2\pi \cdot f \cdot \frac{n_1^2}{R_{ncl} + R_{esp}} \quad (1)$$

com f sendo a frequência de CA, n_1 sendo o número de espiras no enrolamento indutor estacionário e R_{ncl} e R_{esp} sendo a relutância do núcleo e a relutância do espaçamento radial 32 respectivamente. Como a permeabilidade do material do núcleo é milhares de vezes maior do que a do espaçamento radial 32, R_{esp} é desprezível em comparação com R_{ncl} na equação (1). Na medida em que a relutância do espaçamento radial 32 é diretamente proporcional à largura (ou seja, à extensão radial) do espaçamento 32, esta largura pode ser minimizada para se assegurar uma indutância mútua Xmu elevada. Além de tornar Xmu o quanto maior possível, tornar $R1$, $R2$ e $X1$ e $X2$ o quanto menor possível é uma medida para aprimorar a eficiência do acoplamento indutivo.

Utilizando o diagrama de circuito equivalente da Fig. 20, a eficiência ativa do dispositivo de acoplamento indutivo, com base nas razões de potência ativa, pode ser calculada por:

$$\eta = \frac{R'mot}{R'mot + R'2 + R1 \cdot \left(\frac{R'2 + jX'2 + jXmu + R'mot + jX'mot}{jXmu} \right)}$$

(2)

A eficiência aparente baseada na razão da potência ativa consumida pela carga sobre a potência aparente (ativa + reativa) consumida no lado primário é também uma importante medida de desempenho.

$$\eta_s = \frac{R'_{mot} + \bar{I}_2^2}{\bar{U}_1 \cdot \bar{I}_1} \quad (3)$$

5 com $\bar{U}_1$ e $\bar{I}_1$ sendo a tensão e a corrente aparentes (ativa + reativa) no lado estacionário / rotativo respectivamente.

Para um espaçamento radial de 1 mm, um núcleo de Fe-Si, fio de enrolamento de cobre de 1 mm² com uma carga de 1 KW, um número de espiras para cada enrolamento respectivamente na faixa de 110 < n_{1,2} < 160 se mostrou preferível. Deve ser observado que η e η_s não podem em geral ao mesmo tempo ideais para um dado projeto, com η_s tendo um máximo com números de espiras maiores do que η . Portanto, a escolha do menor número de espiras em que um máximo de η seja obtido minimiza as dissipações de calor resistivas. Como as reatâncias são funções da

10 freqüência de CA, deve ser notado que (2) é uma função da freqüência de CA na qual o indutor estacionário é alimentado. Foi descoberto que no projeto exemplificativo acima η e η_s aumentam rapidamente para até 150 Hz. Acima desse valor, η ainda aumenta mas em uma proporção de inclinação muito menos agudam enquanto que η_s pode cair

15 significativamente em freqüências mais elevadas. Para minimizar as perdas reativas (X_{mu} , perdas do núcleo), a freqüência deve estar dentro de uma faixa de equilíbrio de 100 Hz < f < 200Hz. Para um número de espiras n_{1,2} = 125 para ambos os enrolamentos estacionário e rotativo e uma freqüência de 150 Hz, os seguintes valores foram determinados numericamente para

20 diferentes larguras do espaçamento radial interférico 32.

e (mm)	0,5	1	2	5
η	69,7	61,3	44,8	17,6
η_s	46,7	35,6	22,6	9,2

Como pode ser observado, a largura interférrica e do espaçamento radial 32 será geralmente da ordem de $0 \text{ mm} < e < 2 \text{ mm}$. Valores de eficiência ativos acima de 70% são alcançáveis com a desvantagem de se utilizar seções transversais de fios de enrolamento maiores, se utilizando materiais de núcleo com alta permeabilidade (por ex., PERMALOY), permitindo uma largura interférrica e menor e/ou através de várias outras medidas prontamente reconhecíveis pelos técnicos no assunto. Como será notado, quaisquer componentes suplementares podem ser utilizados em combinação com o dispositivo de acoplamento indutivo quando necessário. O dispositivo de acoplamento pode ser suplementado com armazenamento de energia e um retificador ou com um controlador de energia elétrica. Será notado que nenhum meio elétrico além do projeto eletromecânico revelado aqui é necessário para se obter um suprimento de energia substancialmente constante para uma carga disposta na estrutura rotativa 16.

Embora o dispositivo de acoplamento indutivo teoricamente pudesse ser utilizado para transmissões de sinal e energia combinadas, considera-se preferível o uso de um equipamento de rádio para a transmissão de sinais. Assim, um radiotransmissor, receptor ou transceptor pode ser disposto sobre a estrutura rotativa 16 para receber e/ou controlar a transmissão e/ou medição de sinais antes ou depois da carga conectada ao indutor rotativo. Tanto a carga como o equipamento de rádio pode ser energizado através do dispositivo de acoplamento.

Por fim, será observado que um dispositivo de carregamento de forno de cuba aprimorado com um dispositivo de acoplamento indutivo descrito anteriormente, é preparado para receber qualquer tipo de carga elétrica disposta sobre a estrutura rotativa. Devido ao alto limite de
5 potência do dispositivo de acoplamento, uma ou mais cargas que possuam consumos de potência nominal bem acima de 500 W podem ser conveniente e seguramente operadas na parte rotativa do dispositivo de carregamento, independentemente das condições de operação. Em virtude de seu projeto sem contatos, o dispositivo de acoplamento indutivo não
10 sofrerá desgastes e portanto praticamente não requer manutenção apesar das condições de operação rigorosas de um forno de cuba.

REIVINDICAÇÕES

1. Dispositivo de carregamento rotativo (10) para um forno de cuba, compreendendo:

5 - meios de distribuição rotativos (12) para distribuir material de carregamento por sobre uma superfície de carregamento no referido forno de cuba;

- uma estrutura rotativa (16) que suporta os referidos meios de distribuição rotativos; e

10 - um suporte estacionário (18) que suporta de forma rotativa a referida estrutura rotativa;

caracterizado por possuir um dispositivo de acoplamento indutivo (30; 130; 230; ... 1030) que inclui:

- um indutor estacionário (34; 134; 234; ... 1034) fixo ao referido suporte estacionário, e

15 - um indutor rotativo (36; 136; 236; ... 1036) fixo à referida estrutura rotativa, sendo que o referido indutor estacionário e o referido indutor rotativo são separados por um espaçamento radial (32) e constituem um transformador rotativo capaz de obter transferência de energia elétrica sem contato por meio de acoplamento magnético através do
20 referido espaçamento radial para energizar uma carga elétrica conectada ao referido indutor rotativo.

2. Dispositivo de carregamento de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo** referido indutor estacionário compreender um arranjo de núcleo magnético estacionário (38; 138; 238;
25 338) e pelo referido indutor rotativo compreender um arranjo de núcleo magnético rotativo (40; 140; 240; 340).

3. Dispositivo de carregamento de acordo com a reivindicação 2, **caracterizado pelo** referido espaçamento radial (32) separar ao menos uma face de pólo magnético (48, 48') do referido arranjo de núcleo estacionário de ao menos uma face de pólo magnético (50 50') do referido arranjo de núcleo rotativo de modo que a referida face de pólo magnético estacionária e a referida face de pólo magnético rotativa estejam dispostas em relação de oposição radial.

4. Dispositivo de carregamento de acordo com a reivindicação 1, 2 ou 3, **caracterizado pelo** referido espaçamento radial (32) ser substancialmente vertical.

5. Dispositivo de carregamento de acordo com uma das reivindicações 1 a 4, **caracterizado pelo** referido indutor estacionário (234; 534; 634; 734; 834; 934; 1034) e/ou o referido indutor rotativo (236; 336; 436; 536; 636; 736; 836; 936; 1036) é descontínuo na direção de rotação.

6. Dispositivo de carregamento de acordo com a reivindicação 5, **caracterizado pelo** referido indutor estacionário (234; 334; 434; 534; 634; 734; 834; 934; 1034) e o referido indutor rotativo (236; 336; 436; 536; 636; 736; 836; 936; 1036) serem configurados de modo tal que a superfície de acoplamento total para o acoplamento magnético entre o referido indutor estacionário e o referido indutor rotativo seja constante durante a rotação da referida estrutura rotativa (16).

7. Dispositivo de carregamento de acordo com a reivindicação 6, **caracterizado por** ao menos um referido indutor estacionário (234; 334; 434; 534; 634; 734; 834; 934) e pelo referido indutor rotativo (236; 336; 436; 636; 736; 836; 936; 1036) possuírem uma geometria que seja rotativamente simétrica com relação ao eixo de rotação da referida estrutura rotativa.

8. Dispositivo de carregamento de acordo com a reivindicação 7, **caracterizado pelo** referido indutor estacionário (234; 334; 434; 534; 634; 734; 834; 934; 1034) possuir ao menos uma abertura em sua circunferência onde ele seja descontínuo, a referida abertura tendo
 5 uma medida em radianos β e pelo referido indutor rotativo compreender ao menos um par de setores separados (236.1, 236.2; 236.3, 236.4; 336.1, 336.2; 436.1; 436.2; 436.3, 436.4; 536.1, 536.2; 636.1, 636.2; 736.1, 736.2; 736.3, 736.4; 836.1, 836.2, 836.3, 836.4; 936.1, 936.2; 1036.1, 1036.2; 1036.3, 1036.4) arranjos de modo que a medida em radianos δ entre as
 10 bissetrizes de um par é tal que δ seja um divisor de β ou tal que β seja um divisor de δ .

9. Dispositivo de carregamento de acordo com uma das reivindicações 1 a 8, **caracterizado pelo** referido indutor estacionário (34; 134; 234; ... 1034) e pelo referido indutor rotativo (36; 136; 236; ... 1036)
 15 compreenderem respectivamente ao menos uma bobina indutora, cada bobina tendo um número de espiras n no intervalo $50 \leq n \leq 500$.

10. Dispositivo de carregamento de acordo com uma das reivindicações 1 a 9, **caracterizado por** compreender ainda uma calha de distribuição (12) que forma uma parte dos referidos meios de distribuição
 20 rotativos e um motor elétrico (M) operativamente associado à referida calha de distribuição para variar o ângulo de inclinação da referida calha de distribuição, estando o referido motor elétrico (M) conectado como uma carga ao referido indutor rotativo (36; 136; 236; ... 1036) para ser energizado através do referido dispositivo de acoplamento indutivo.

25 11. Dispositivo de carregamento de acordo com uma das reivindicações 1 a 9, **caracterizado por** compreender ainda uma calha de distribuição que forma uma parte dos referidos meios de distribuição rotativos e um motor elétrico operativamente associado à referida calha de distribuição para girar a referida calha de distribuição em torno de seu eixo

longitudinal, estando o referido motor elétrico conectado como uma carga ao referido indutor rotativo (36; 136; 236; ... 1036) para ser energizado através do referido dispositivo de acoplamento indutivo.

5 12. Dispositivo de carregamento de acordo com uma das reivindicações 1 a 11, **caracterizado por** compreender ainda um circuito de refrigeração (28), compreendendo uma bomba disposta na referida estrutura rotativa, sendo a referida bomba conectada como uma carga ao referido indutor rotativo (36; 136; 236; ... 1036) para ser energizado através do referido dispositivo de acoplamento indutivo.

10 13. Dispositivo de carregamento de acordo com uma das reivindicações 1 a 12, **caracterizado por** compreender ainda carga elétrica disposta na referida estrutura rotativa (16), sendo que a referida carga possui um consumo de potência nominal ≥ 500 W e a referida carga é conectada ao referido indutor rotativo (36; 136; 236; ... 1036) para ser
15 energizado através do referido dispositivo de acoplamento indutivo.

 14. Dispositivo de carregamento de acordo com uma das reivindicações 10 a 13, **caracterizado por** compreender ainda um radiotransmissor, receptor ou transceptor na referida estrutura rotativa para receber e/ou transmitir sinais de controle e/ou de medição a partir da carga
20 ou para a carga.

 15. Alto-forno **caracterizado por** compreender um dispositivo de carregamento como definido em uma das reivindicações precedentes.

 16. Método para aprimorar um dispositivo de carregamento
25 rotativo para um forno de cuba, o referido dispositivo de carregamento compreendendo:

- meios de distribuição rotativos para distribuir material de carregamento por sobre uma superfície de carregamento no referido forno de cuba,

- uma estrutura rotativa que suporta os referidos meios de distribuição rotativos; e

- um suporte estacionário que suporta de forma rotativa a referida estrutura rotativa;

caracterizado por:

- fornecer um acoplamento indutivo que inclui um indutor estacionário e um indutor rotativo,

- fixar o referido indutor estacionário ao referido suporte estacionário,

- fixar o referido indutor rotativo à referida estrutura rotativa,

de maneira que o referido indutor estacionário e o referido indutor rotativo estejam separados por um espaçamento radial e constituam um transformador rotativo capaz de obter transferência de energia elétrica sem contato a partir do referido suporte estacionário para a referida estrutura rotativa por meio de acoplamento magnético através do referido espaçamento radial para energizar uma carga elétrica conectada ao referido indutor rotativo.

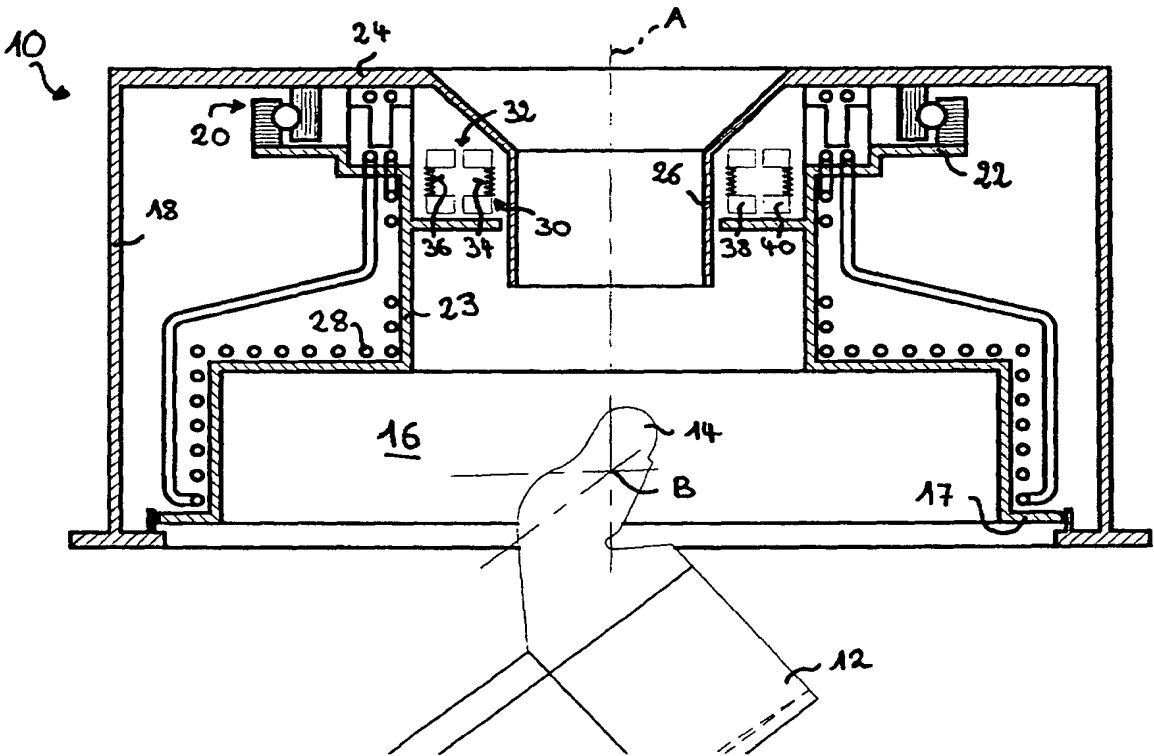


FIG. 1

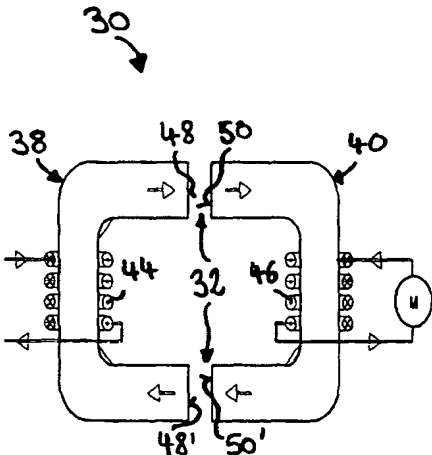


FIG.2

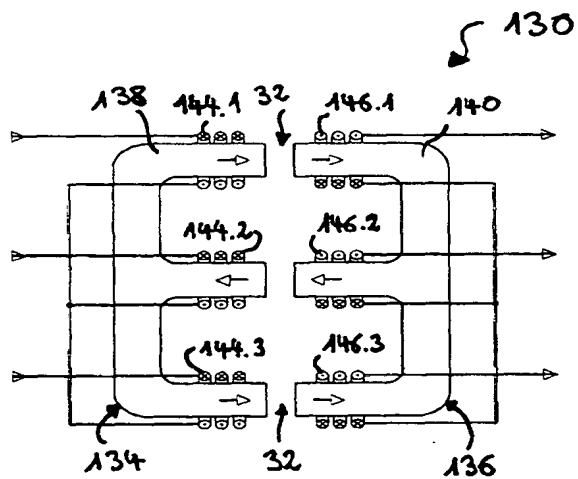


FIG.3

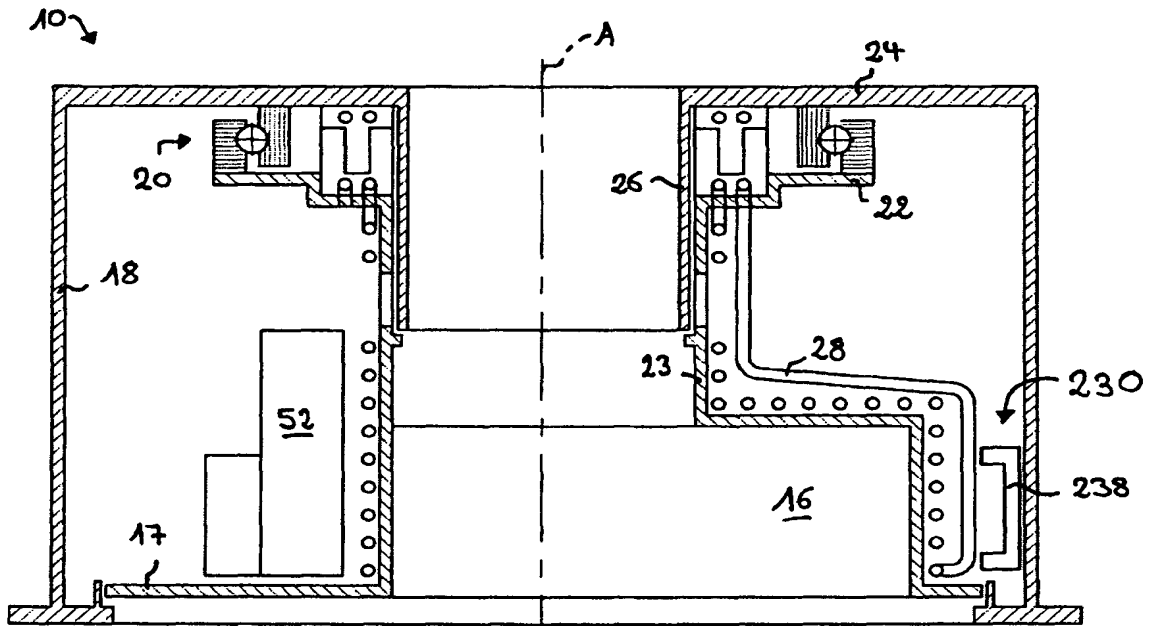


FIG. 4

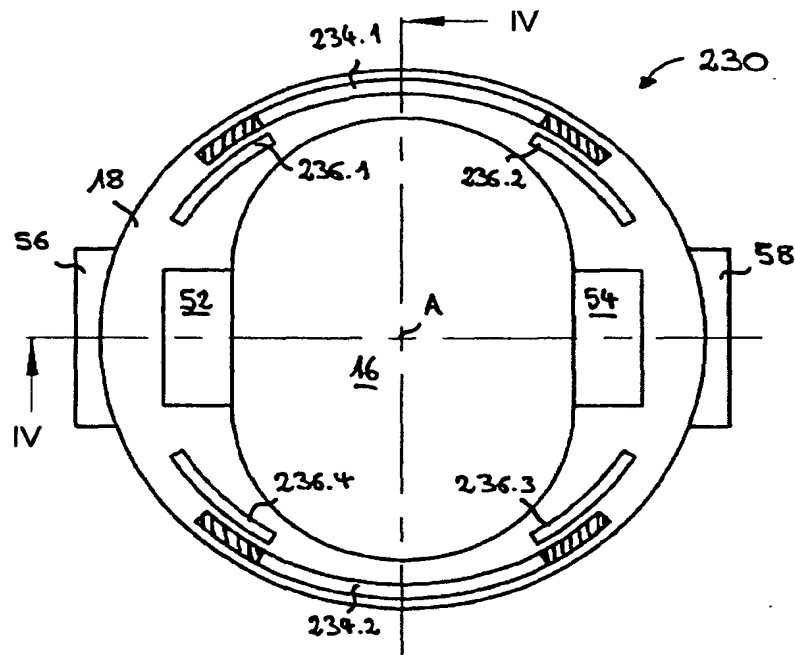


FIG. 5

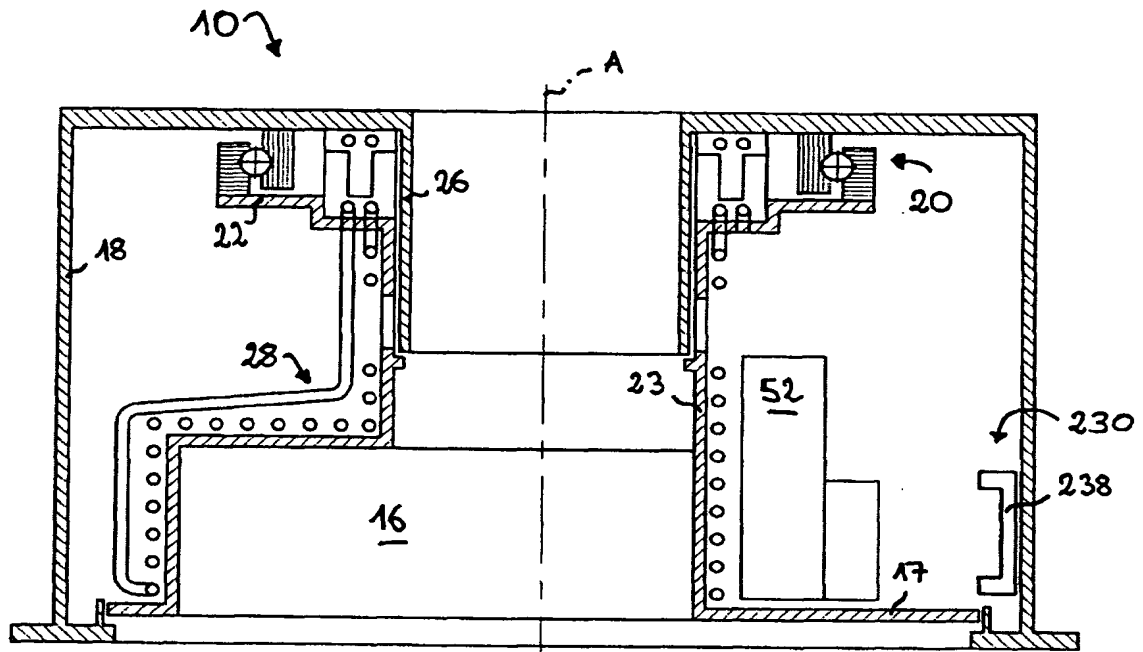


FIG.6

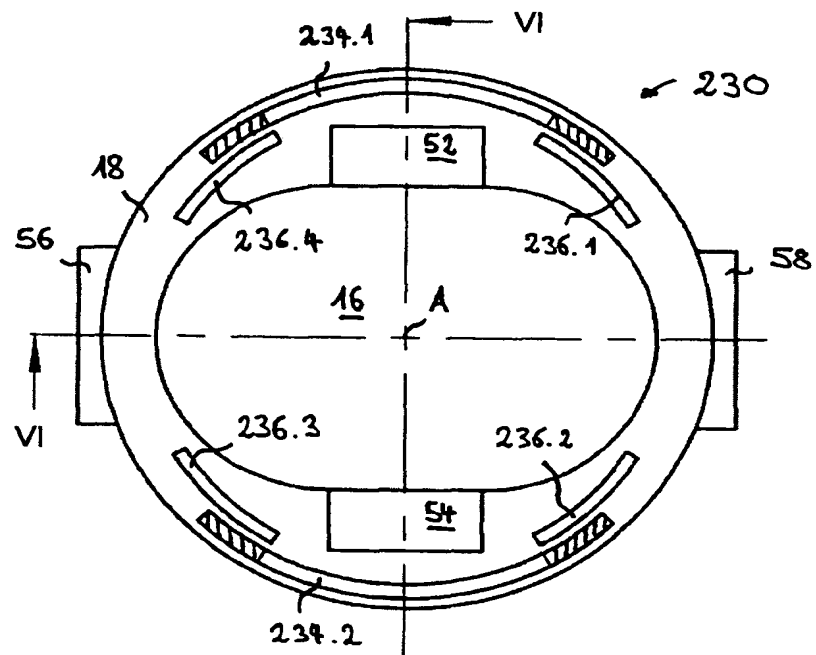


FIG.7

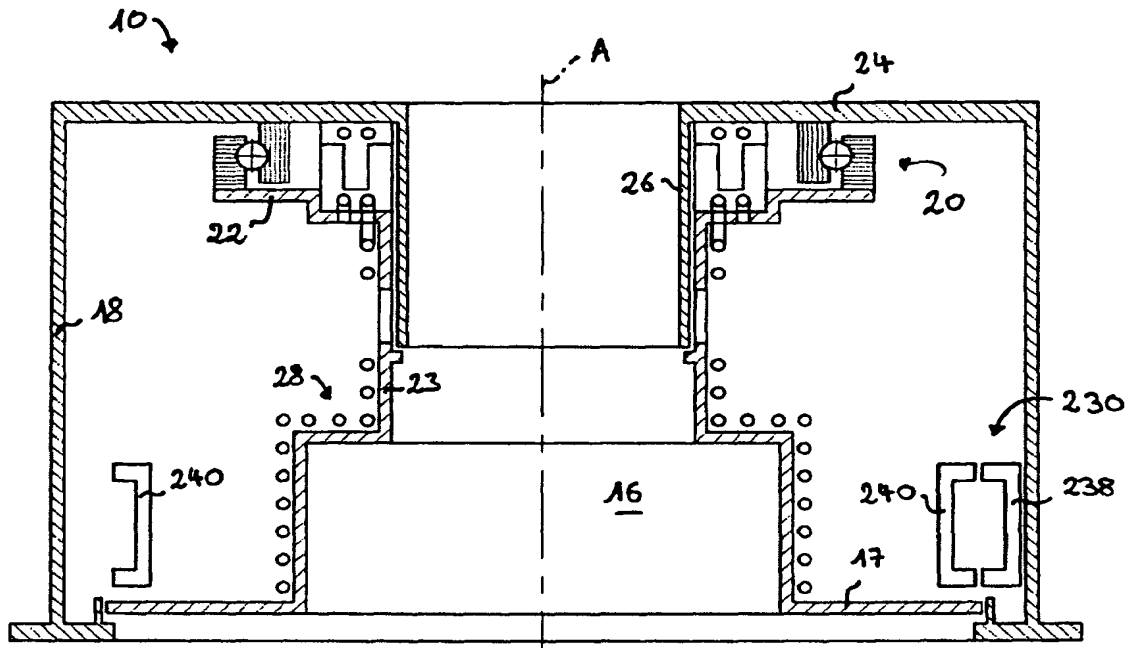


FIG. 8

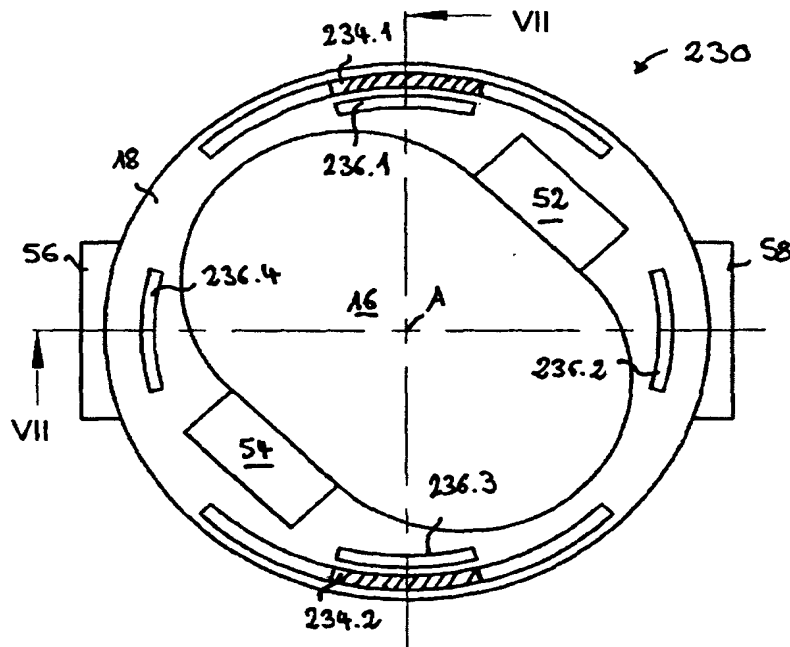


FIG. 9

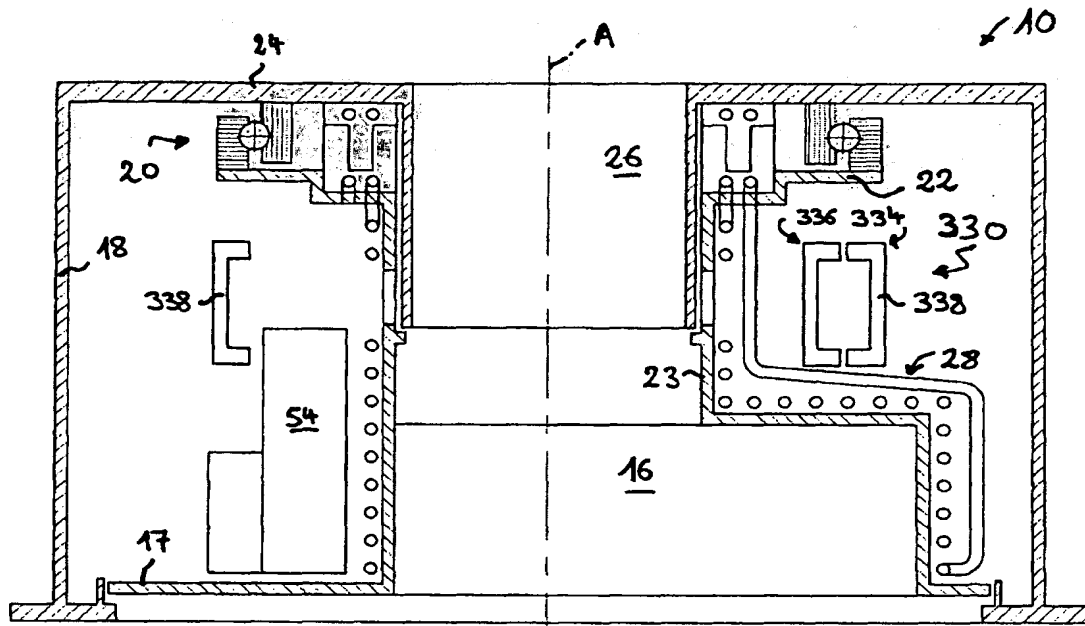


FIG. 10

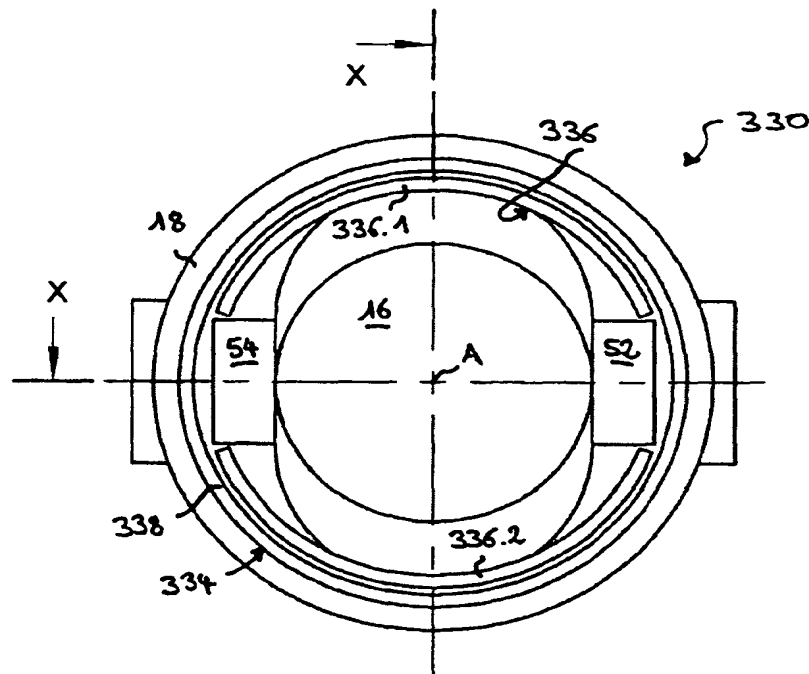


FIG. 11

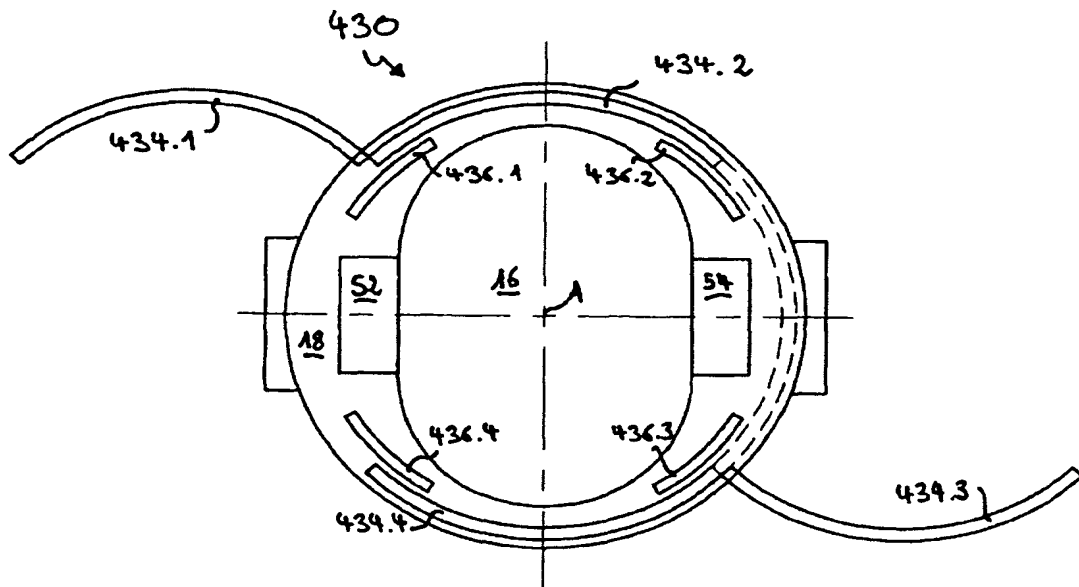


FIG. 12

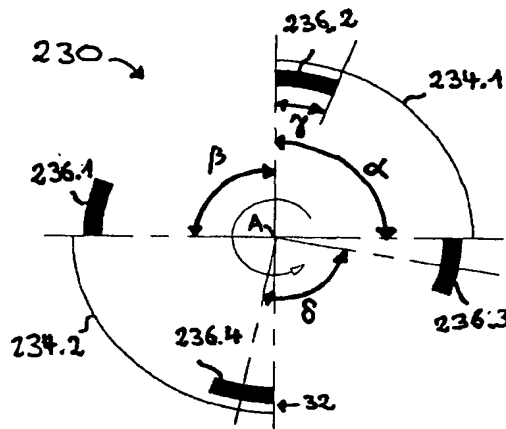


FIG. 13

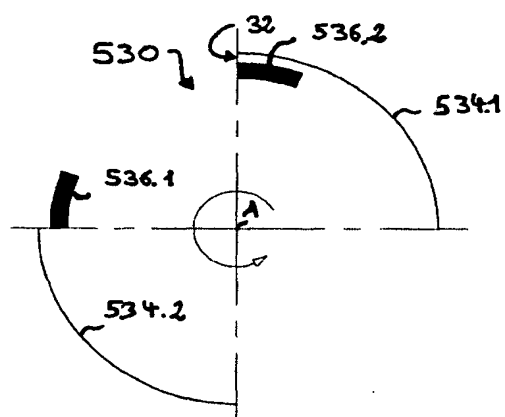


FIG. 14

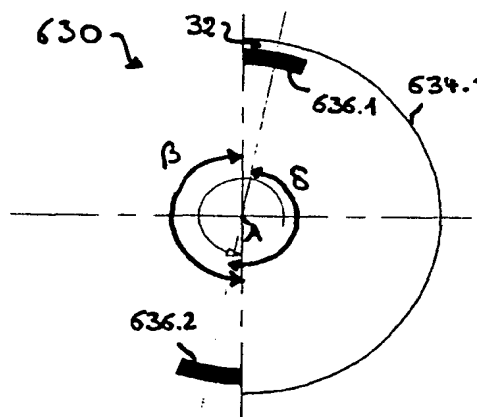


FIG. 15

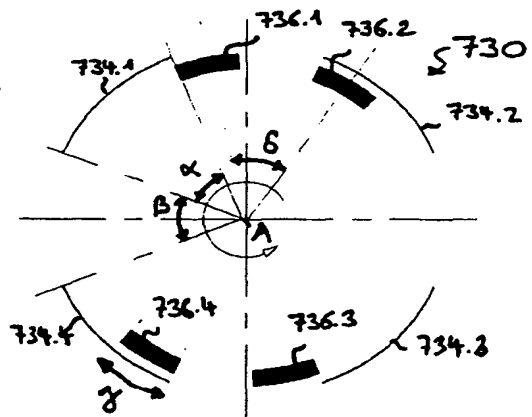


FIG. 16

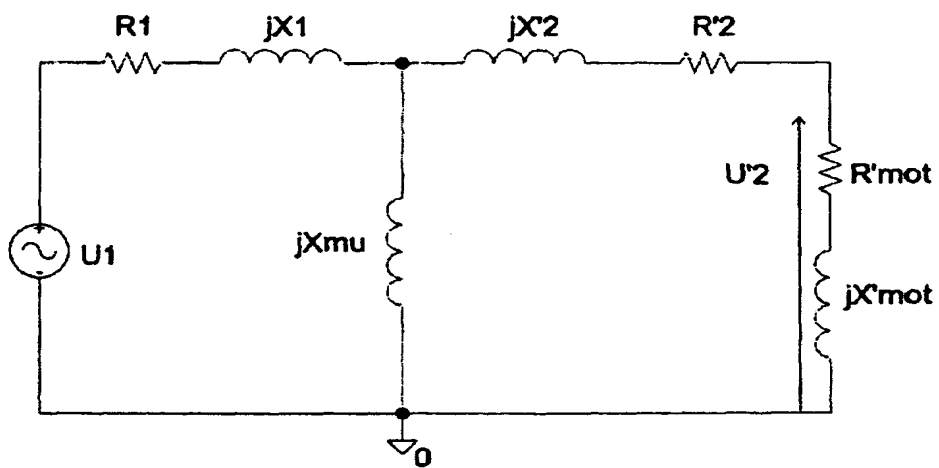
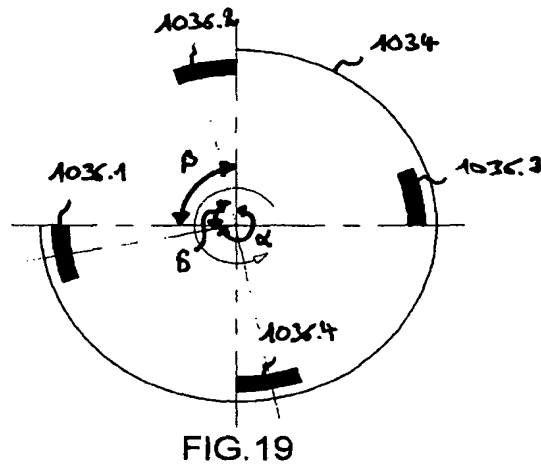
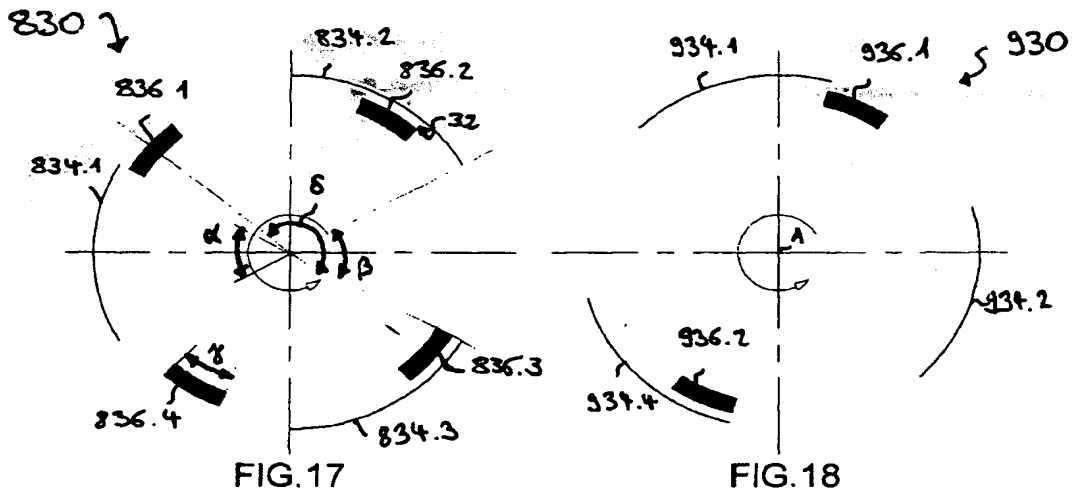


FIG. 20

RESUMO

Pedido de Patente de Invenção para “DISPOSITIVO DE CARREGAMENTO ROTATIVO PARA UM FORNO DE CUBA”

Um dispositivo de carregamento rotativo (10) para um forno de cuba compreende comumente meios de distribuição rotativos (12) para distribuir material de carregamento por sobre uma superfície de carregamento no forno de cuba. Uma estrutura giratória (16) suporta os meios de distribuição rotativos e um suporte estacionário (18) suporta de forma rotativa a estrutura giratória. De acordo com a invenção, o dispositivo de carregamento (10) é equipado com um dispositivo de acoplamento indutor (30) que inclui um indutor estacionário (34) fixo ao suporte estacionário e um indutor rotativo (36) fixo à estrutura giratória. O indutor estacionário (34) e o indutor rotativo (36) são separados por um espaço radial e configurados como um transformador rotativo para obter transferência de energia elétrica sem contato a partir do suporte estacionário (18) para a estrutura giratória (16) e por meio de acoplamento magnético através do espaço radial para energizar uma carga elétrica disposta na estrutura giratória (16) e conectada ao referido indutor rotativo (36).