



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

(11) (21) **PI 0502283-5 A**



(22) Data de Depósito: 13/04/2005
(43) Data de Publicação: 28/11/2006
(RPI 1873)

(51) Int. Cl⁷.:
G01R 19/12

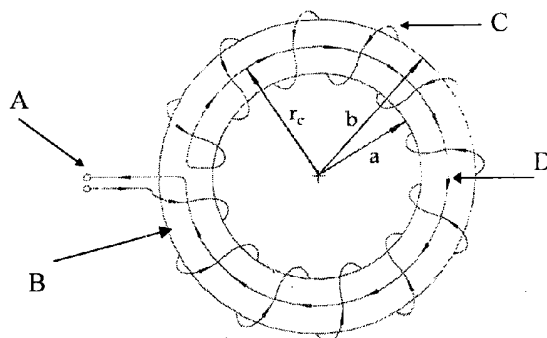
(54) Título: **TRANSDUTOR DE CORRENTE DO TIPO BOBINA DE ROGOWSKI USANDO ELETRÔNICA DE BAIXO CUSTO**

(71) Depositante(s): Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP (BR/SP) , Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS (BR/RS)

(72) Inventor(es): Ernesto Ruppert Filho, Rafael Cassiolato de Freitas, Roberto Petry Homrich

(74) Procurador: Maria Cristina Valim Lourenço Gomes

(57) Resumo: "TRANSDUTOR DE CORRENTE DO TIPO BOBINA DE ROGOWSKI USANDO ELETRÔNICA DE BAIXO CUSTO". A presente invenção refere-se a um transdutor de corrente do tipo bobina de Rogowski constituído por um suporte de seção preferencialmente circular (rígida ou flexível), envolvido por uma bobina sensora, que circunda perpendicularmente o condutor no qual está presente a corrente alternada a ser medida. Um dispositivo mecanicamente resistente e isolante elétrico e não ferromagnético mantém o condutor centrado no interior da bobina. A bobina sensora é conectada a um circuito integrador através de um cabo coaxial. O integrador fornece uma tensão terminal que é proporcional à corrente no condutor através de seus bornes de conexão. A corrente elétrica no condutor pode ser medida, através do transdutor, com o emprego de um instrumento, podendo este ser um voltímetro ou um osciloscópio. Sua aplicação pode ser voltada às concessionárias de energia e indústrias onde há a presença de conteúdo harmônico na corrente elétrica. A possibilidade de sua construção flexível ou rígida permite a instalação em locais de difícil acesso. Sua calibração pode ser feita sob condição de baixa corrente de calibração devido a sua característica linear de relação de transformação. A ausência de corrente no enrolamento induzido evita o atraso inerente do circuito resistivo-indutivo que é verificado no transformador de corrente convencional (TC).





"TRANSDUTOR DE CORRENTE DO TIPO BOBINA DE ROGOWSKI USANDO ELETRÔNICA DE BAIXO CUSTO"

CAMPO DA INVENÇÃO

A presente invenção refere-se a um transdutor de corrente do tipo bobina de Rogowski usando eletrônica de baixo custo, a ser utilizado para medir a corrente elétrica variável no tempo em situações que pode haver conteúdo harmônico presente. Esta bobina proposta se aplica para medições de corrente elétrica em sistemas de energia elétrica e, para tanto, não há
10 necessidade, em caso de medições de verificação do estado de carregamento do sistema de larga faixa de frequências. Deste modo é possível utilizar uma eletrônica de baixo custo para aplicação em concessionárias de energia e indústrias.

FUNDAMENTOS DA INVENÇÃO

15 A aquisição e registro em computador ou a simples visualização da corrente elétrica em uma tela de osciloscópio ou no visor de um instrumento é uma tarefa essencial e muito freqüente em sistemas elétricos.

A medição de corrente elétrica pode ser realizada de
20 várias maneiras: direta, através de resistor shunt, através de transformador de corrente, através de sensor de efeito Hall e através de Bobina de Rogowski.

A Bobina de Rogowski (BR) baseia-se na Lei de Faraday-Lenz, e é projetada de modo a funcionar como um transdutor
25 para medidas de transitórios e altos valores de corrente alternada.

Medição Direta: Neste caso, a medida pode ser obtida com o emprego de um amperímetro diretamente instalado no circuito. Há limitações quanto a este tipo de medição em virtude de
30 poder ser necessário um instrumento com capacidade de corrente muito elevada, que pode inviabilizar sua construção. Também há a questão do nível do potencial elétrico que pode limitar esta aplicação por motivos de segurança, entre outros.

Medição Através de Resistor Shunt: O resistor shunt consiste
35 de um resistor calibrado e construído com material que mantém a característica elétrica do resistor praticamente invariável

com a temperatura. Instalado em série com o circuito no qual se deseja medir a corrente elétrica da mesma forma que o amperímetro da medição direta, sua instalação exige a interrupção do circuito elétrico. O resistor shunt apresenta baixo valor de resistência elétrica e produz em seus terminais uma diferença de potencial que é proporcional a corrente imposta. A medida é obtida pela medição da tensão entre seus terminais com o emprego de um voltímetro adequado. O valor da corrente i é obtido pela relação $i = v/r$, onde r é e
10 resistência elétrica do resistor shunt e v é e diferença de potencial presente entre os terminais do mesmo resistir. Com este método é possível medir valores de correntes elevadas com instrumentos mais simples, entretanto a questão do isolamento elétrico, no caso da medição de corrente em locais em que
15 existam tensões elétricas elevadas, ainda persiste.

Medição Através de Transformador De Corrente: O transformador de corrente (TC) é muito empregado uma vez que possibilita a adequação da corrente a ser medida à valores mais usuais. Consiste de um transformador em que o enrolamento primário é
20 alimentado, ou é constituído pelo próprio circuito no qual se pretende medir a corrente elétrica. Normalmente o TC é um transformador abaixador de corrente em que, normalmente, a corrente do secundário é de 5A (*Amperes*). No enrolamento secundário é instalado um amperímetro e a corrente que se
25 deseja medir se relaciona com a medida pelo amperímetro através de uma relação de transformação conhecida do TC. Por se tratar de um transformador, o TC proporciona o isolamento elétrico necessário no caso da medição de corrente em locais em que existam tensões elétricas elevadas. O TC, entretanto, é
30 dimensionado para operação em regime permanente senoidal e sua relação de transformação não se mantém constante em caso de operação em regime transitório. Outro comportamento inadequado refere-se à condição em que possa ocorrer a saturação magnética do seu núcleo e, conseqüentemente a alteração na
35 relação de transformação do TC.

Medição Através de Sensor De Efeito Hall: Este transdutor é constituído por um núcleo magnético toroidal (ou com forma semelhante) com um pequeno "gap" no qual é alojado um sensor que utiliza o efeito Hall. Sobre o núcleo magnético há um enrolamento com um determinado número de espiras. Quando um condutor percorrido por corrente elétrica é inserido no interior deste núcleo ocorre uma magnetização e um fluxo magnético no mesmo. O sensor submetido a esta magnetização produz um sinal elétrico que faz com que um circuito eletrônico injete uma corrente no enrolamento do núcleo. A corrente elétrica injetada tem o sentido e o intuito de minimizar o fluxo magnético neste. A magnitude da corrente de interesse é obtida através de parâmetros construtivos associados ao enrolamento e a corrente necessária para desmagnetizar o núcleo toroidal. Este transdutor de corrente pode ser empregado para medição de corrente contínua, o que não pode ser feito com o TC. Além disso, proporciona isolamento elétrico. Sua desvantagem consiste no fato de que há a necessidade de injeção de corrente em um circuito de teor indutivo. Conseqüentemente este tipo de transdutor não está isento dos atrasos inerentes dos circuitos *RL* (resistivo-indutivos).

Existe, por conseguinte, a necessidade de um novo transdutor de corrente que seja capaz de suprir as deficiências dos diferentes dispositivos transdutores de corrente anteriormente citados, seria interessante se desenvolver um medidor de corrente do tipo de Bobina de Rogowski usando eletrônica de baixo custo.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

A figura 1 apresenta a geometria genérica do transdutor, onde:

- A representa os dois terminais para conexão ao circuito integrador/condicionador;
- B representa um suporte não ferromagnético;
- C representa rolamento sensor; e
- D representa uma espira de compensação.

A figura 2 mostra o transdutor com núcleo flexível, onde:

E representa os terminais para conexão ao circuito integrador/condicionador; e

F representa o dispositivo de fechamento do núcleo flexível.

A figura 3 apresenta o procedimento para a instalação do transdutor: (a) Vista frontal → Inserção no condutor; (b) Vista frontal → Giro da bobina; e (c) Vista superior → Giro da bobina.

10 A figura 4 mostra um exemplo de protótipo construído, onde:

G apresenta a bobina do transdutor;

H mostra o cabo coaxial;

I apresenta o integrador/condicionador; e

15 J indica a saída do sinal.

A figura 5 apresenta as assíntotas aproximadas da resposta em frequência do circuito integrador/condicionador.

A figura 6 apresenta um transdutor de corrente do tipo Bobina de Rogowski.

20 **BREVE DESCRIÇÃO DA INVENÇÃO**

Visando suprir as deficiências anteriormente citadas, criou-se o presente "Transdutor De Corrente Do Tipo Bobina De Rogowski Usando Eletrônica De Baixo Custo", que em comparações feitas entre resultados de medidas realizadas com outros

25 dispositivos transdutores (resistor Shunt, sensor de efeito Hall e transformador de corrente TC), indicaram sua rapidez de resposta à entrada, precisão adequada para a aplicação proposta quanto ao valor da medida e reprodução da forma de

onda do sinal da corrente além de apresentar isolamento

30 elétrico suficiente para ser instalada em pontos de alta tensão. Ressalta-se que o TC não opera adequadamente em condições de regime transitório e não senoidal, condição típica para a aplicação do transdutor proposto.

O transdutor de corrente do tipo Bobina de Rogowski tem

35 possibilidade de construção flexível ou rígida e permite a

instalação em locais de difícil acesso. Este transdutor pode operar sob a presença de corrente com forma de onda de corrente elétrica com a presença de conteúdo harmônico. A calibração deste transdutor proposto pode ser feita sob condição de baixa corrente de calibração uma vez que, como não possui núcleo ferromagnético, mantém sua característica linear de relação de transformação constituindo esta outra vantagem em relação ao *TC*, que devem ser calibrados nas condições nominais de operação. A ausência de corrente no enrolamento induzido, no *BR*, evita o atraso inerente do circuito resistivo-indutivo que acontece no *TC*.

Além do mais, a presente invenção possibilita a utilização de uma eletrônica mais econômica do que as presentes no estado da técnica. Ou seja, possibilita a utilização de componentes eletrônicos de uso geral, que não são específicos para aplicações em instrumentação, assim como sua montagem e acondicionamento utilizam também peças mais econômicas e facilmente encontradas em qualquer mercado.

DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO

A *BR* é projetada de modo a funcionar como um transdutor para medidas de transitórios e altos valores de corrente alternada. Ao ser instalada em um condutor, no qual passa uma corrente variável no tempo, a bobina gera uma força eletromotriz (*fem*), e proporcional à indutância mútua *M* da bobina, e à taxa de variação da corrente no tempo $di(t)/dt$, e é dada por (1):

$$e(t) = M \frac{d}{dt} i(t) \quad (1)$$

E a corrente $i(t)$ é obtida através da integração, como em (2):

$$i(t) = \int di(t) = \frac{1}{M} \int e(t) dt \quad (2)$$

Para se obter a medida da corrente, a tensão de saída da *BR* deve ser integrada e então condicionada a um valor igual ao recíproco da indutância mútua. Isso pode ser realizado de duas formas: através de um circuito eletrônico

integrador/condicionador ou através de integração numérica por software a partir da digitalização da tensão de saída da *BR*.

No transdutor *BR*, a estrutura (núcleo) sobre a qual é fixado o enrolamento secundário, é não-ferromagnético e não condutora de corrente elétrica. Conseqüentemente não há perdas por correntes parasitas, saturação do núcleo e nem perdas por histerese magnética que podem surgir quando há variação no fluxo magnético que atravessa a estrutura que dá forma ao enrolamento secundário. Neste transdutor não existe corrente
10 forçada no enrolamento secundário, pois este permanece sempre como se estivesse em circuito aberto. Isto é possível uma vez que o circuito integrador/condicionador apresenta alta impedância visto dos pontos de conexão com o enrolamento secundário. A ausência de corrente no enrolamento secundário
15 extingue o atraso na resposta do transdutor uma vez que o efeito da constante de tempo, peculiar dos enrolamentos que envolvem associações de elementos resistivos e indutivos, não está presente.

O dispositivo proposto é constituído de um tubo de
20 material isolante, como por exemplo, *PVC*, podendo ser rígido ou flexível, sobre o qual é disposto o enrolamento sensor que será ligado ao circuito do integrador/condicionador ativo.

O enrolamento pode ser de fio de cobre esmaltado, ou similar, e se extenue sobre o tubo de um extremo ao outro
25 retornando de forma que os extremos de conexão, do enrolamento, permaneçam juntos. Esta construção permite que o tubo possa ter uma abertura a fim de que se possa introduzir o condutor no qual se pretende medir a corrente elétrica.

O fio do retorno do enrolamento pode constituir uma outra
30 camada de espiras ou simplesmente retornar internamente formando o que se denomina de espira de compensação. A espira de compensação é muito importante para evitar o efeito de componentes de fluxos magnéticos variáveis no tempo e perpendiculares ao transdutor. A figura 1 mostra a geometria
35 genérica do transdutor.

A abertura do núcleo flexível permite que a bobina do transdutor enlace o condutor percorrido pela corrente elétrica que se pretende medir, facilitando a instalação do dispositivo. Uma ilustração é apresentada na figura 2. O fechamento do núcleo pode ser feito através de um sistema de rosqueamento nas extremidades, que facilita a operação de instalação.

Para a construção com núcleo rígido, propõe-se um núcleo com extremos desencontrados para propiciar a instalação. Este tipo de construção pode ser mais adequado para a instalação em linhas de transmissão e de distribuição de energia elétrica. O procedimento para a instalação do transdutor com este tipo de geometria é apresentado na figura 3.

A conexão da bobina com o circuito integrador/condicionador é feita com cabo coaxial. O circuito integrador/condicionador possui opção para diferentes fundos de escalas. Isto possibilita que com uma única estrutura de núcleo e bobina possa se obter um transdutor com varias faixas de fundos de escalas para corrente elétrica. Este circuito é alimentado por uma bateria de 9V, o que facilita o seu uso com a possibilidade de alimentação através de fonte de tensão externa.

A configuração eletrônica proposta para o sistema integrador/condicionador é a de um filtro ativo com amplificadores operacionais em conjunto com componentes passivos, cujas especificações de grandeza e tolerância se adequam à precisão das medidas às quais este transdutor se propõe, são facilmente encontrados no mercado nacional.

O baixo valor de aquisição destes componentes eletrônicos viabiliza a eletrônica de baixo custo presente neste transdutor sendo este o seu grande atrativo com relação aos transdutores similares comerciais, quando aplicados em medida de carregamento em sistemas elétricos.

Uma fotografia do protótipo construído é apresentada na figura 4.

A integração do sinal de tensão, oriundo dos extremos da bobina, é obtida através de um circuito eletrônico integrador ativo. Este circuito fornece um sinal de diferença de potencial elétrico que é da mesma forma da corrente elétrica de interesse, entretanto com um fator de escala conhecido. Esta escala é dependente de parâmetros construtivos da bobina e do integrador/condicionador.

O sinal elétrico proporcional à corrente, na unidade de $A \cdot V^{-1}$, pode ser medido por um osciloscópio ou por um multímetro, em escala adequada. Em conjunto com circuito do integrador/condicionador ativo existe um filtro eletrônico. O filtro eletrônico é dimensionado com a finalidade de evitar uma possível saturação do integrador/condicionador quando o sinal a ser medido atinge uma faixa de frequência muito baixa ou quando ocorre um desbalanceamento da corrente de off-set interna. O dimensionamento de f_0 determina a partir de qual frequência o circuito condicionador passará a operar como um integrador do sinal de entrada, figura 5.

Exemplo 1. Transdutor de corrente do tipo bobina de Rogowski, figura 6, pode ser opcionalmente constituído por uma bobina de seção preferencialmente circular (rígida ou flexível) (1), que circunda perpendicularmente o condutor (2) no qual está presente a corrente alternada a ser medida. Um dispositivo mecanicamente resistente e isolante elétrico e não ferromagnético (3) mantém o condutor (2) centrado no interior da bobina (1). A bobina (1) é conectada a um circuito integrador (4) através de um cabo coaxial (5). O integrador (6) fornece uma tensão terminal que é proporcional a corrente no condutor (2) através de seus bornes de conexão (7). A corrente elétrica no condutor (2) pode ser medida com o emprego de um instrumento (8), podendo este ser um voltímetro ou um osciloscópio.

A descrição acima da presente invenção foi apresentada com o propósito de ilustração e descrição. Além disso, a descrição não tenciona limitar a invenção à forma aqui revelada. Em

conseqüência, variações e modificações compatíveis com os ensinamentos acima, e a habilidade ou conhecimento da técnica relevante, estão dentro do escopo da presente invenção.

Assim sendo, as modificações acima descritas tencionam melhor explicar os modos conhecidos para a pratica da invenção e para permitir que os técnicos na área utilizem a invenção em tais, ou outras, modalidades e com varias modificações necessárias pelas aplicações específicas ou usos da presente invenção. É a intenção que a presente invenção inclua todas as
10 modificações e variações da mesma, dentro do escopo descrito no relatório e nas reivindicações anexas.



REIVINDICAÇÕES

1. Transdutor de corrente do tipo bobina de Rogowski, **caracterizado por** ser constituído por um suporte não ferromagnético de seção circular envolvido por uma bobina sensora (1), que circunda perpendicularmente o condutor (2) no qual está presente a corrente alternada a ser medida; um dispositivo mecanicamente resistente, isolante elétrico e não-ferromagnético (3) mantém o condutor (2) centrado no interior da bobina (1), que é conectada a um circuito integrador (4) através de um cabo coaxial (5); o integrador (6) fornece uma tensão terminal que é proporcional a corrente no condutor (2), através de seus bornes de conexão (7); a corrente elétrica no condutor (2) pode ser medida, através do transdutor, com o emprego de um instrumento (8), podendo este ser um voltímetro ou um osciloscópio.
2. Transdutor de corrente do tipo bobina de Rogowski, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** ser o suporte não ferromagnético rígido ou flexível, podendo ser fabricada de PVC.
3. Transdutor de corrente do tipo bobina de Rogowski, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** possuir sobre o suporte não ferromagnético um enrolamento sensor que será ligado ao circuito do integrador/condicionador ativo.
4. Transdutor de corrente do tipo bobina de Rogowski, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** poder ser o enrolamento sensor fabricado de fio de cobre esmaltado, ou similar, e se extenue sobre o suporte não ferromagnético de um extremo ao outro retornando de forma que os extremos de conexão, do enrolamento, permaneçam juntos, permitindo que o suporte possa ter uma abertura a

fim de que se possibilite a introdução do condutor no qual se pretende medir a corrente elétrica.

5. Transdutor de corrente do tipo bobina de Rogowski, de acordo com as reivindicações acima, **caracterizado por** possibilitar a utilização de uma eletrônica de baixo custo.

FIGURA 1

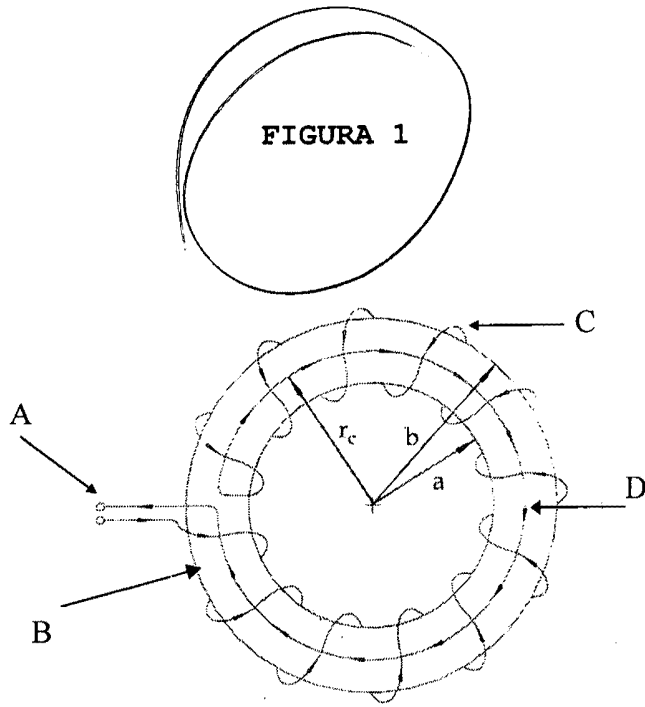


FIGURA 2

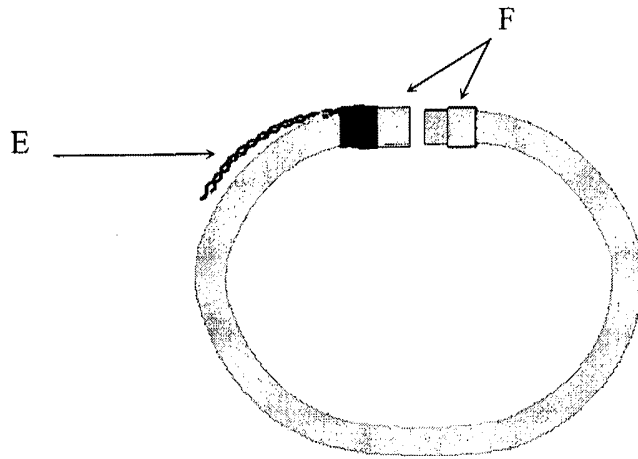


FIGURA 3

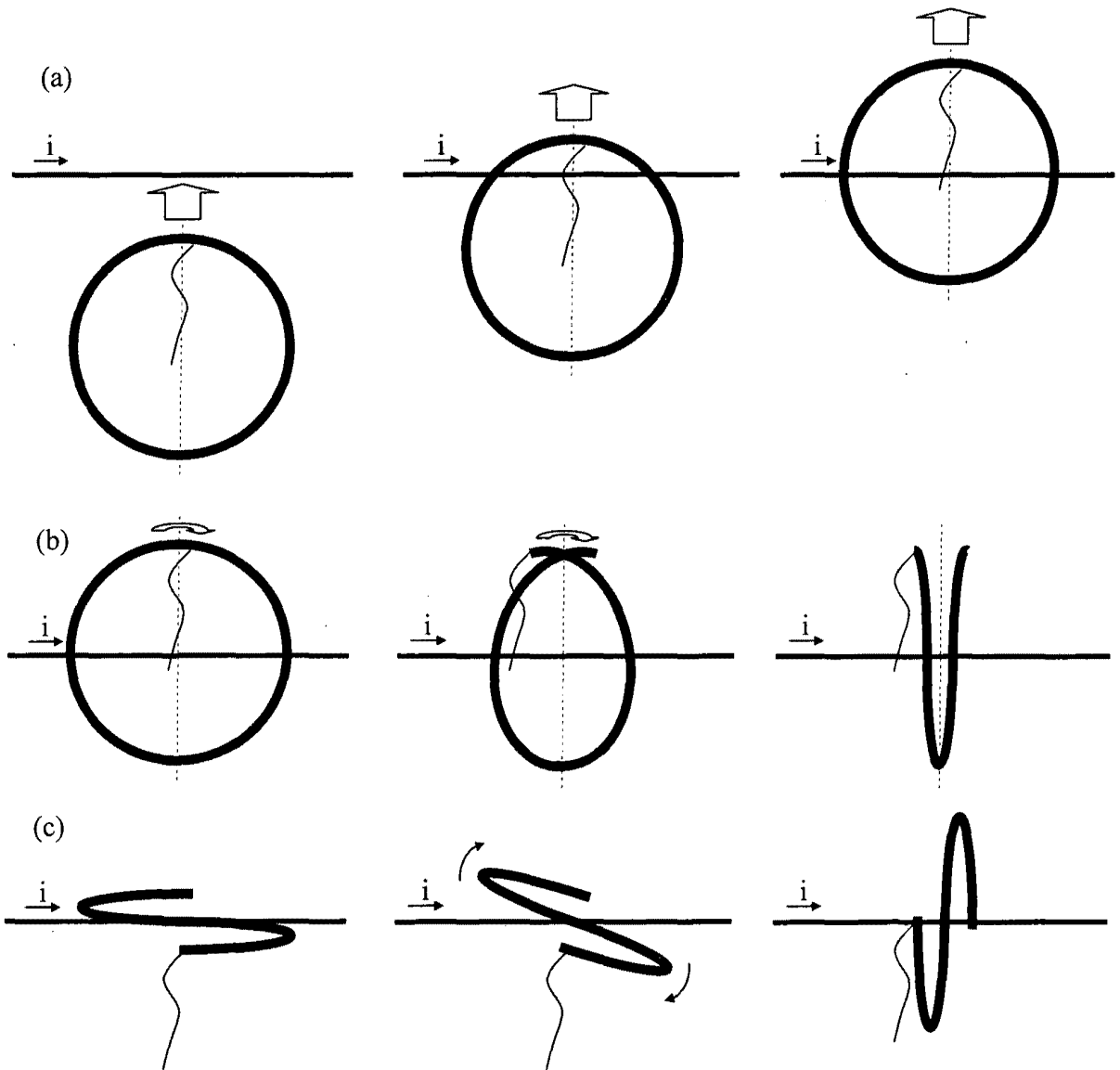


FIGURA 4

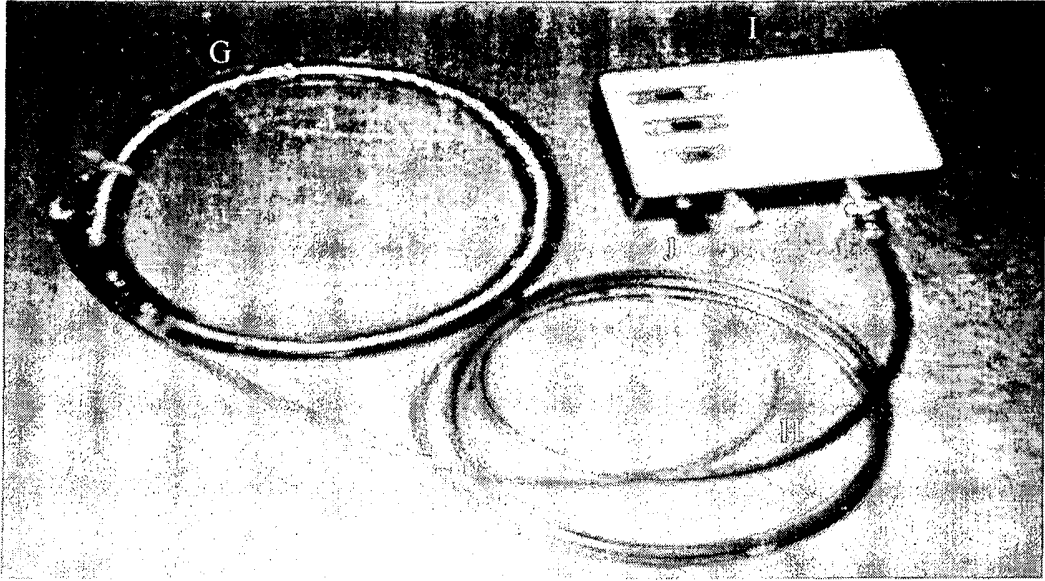


FIGURA 5

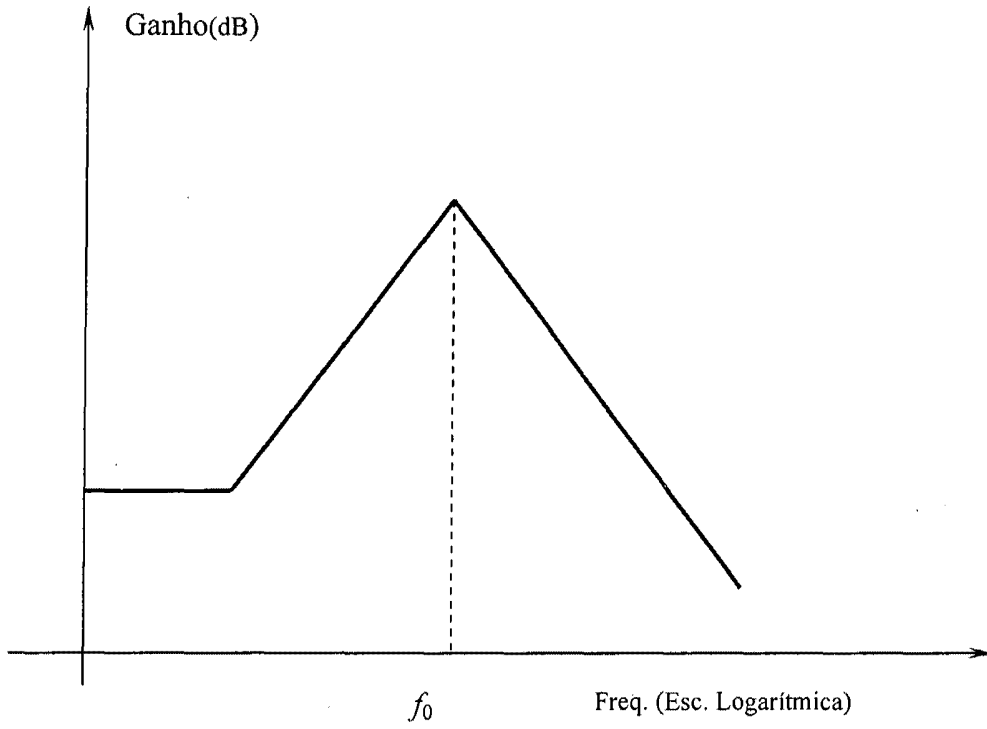
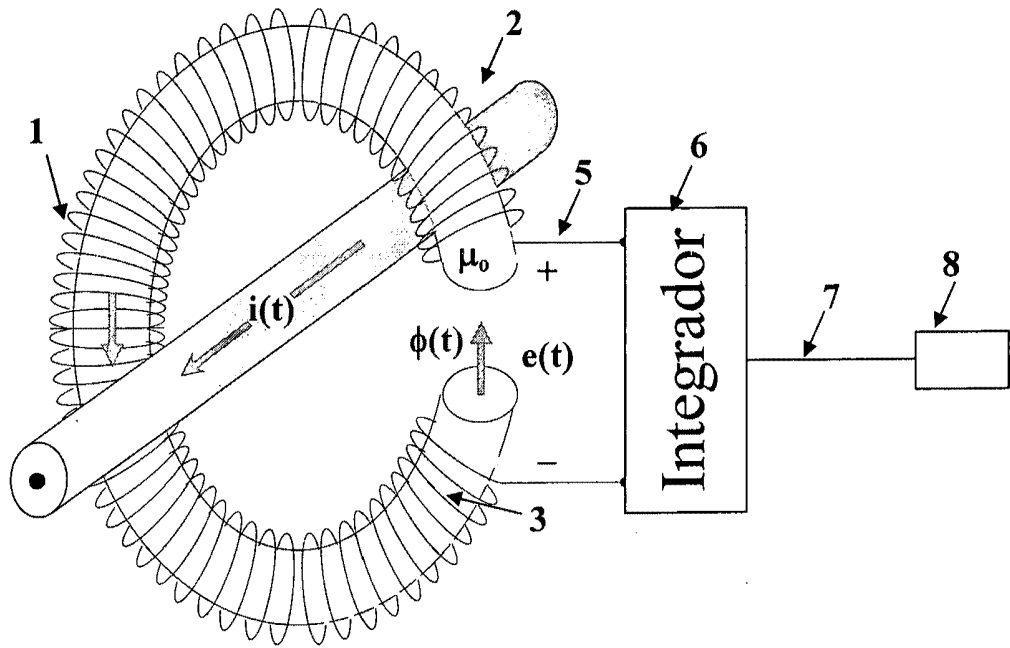
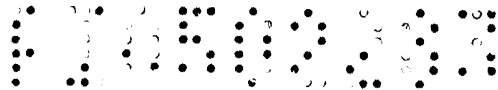


FIGURA 6



**RESUMO****"TRANSDUTOR DE CORRENTE DO TIPO BOBINA DE ROGOWSKI USANDO ELETRÔNICA DE BAIXO CUSTO"**

A presente invenção refere-se a um transdutor de corrente do tipo bobina de Rogowski constituído por um suporte de seção preferencialmente circular (rígida ou flexível), envolvido por uma bobina sensora, que circunda perpendicularmente o condutor no qual está presente a corrente alternada a ser medida. Um dispositivo mecanicamente resistente e isolante elétrico e não ferromagnético mantém o condutor centrado no interior da bobina. A bobina sensora é conectada a um circuito integrador através de um cabo coaxial. O integrador fornece uma tensão terminal que é proporcional à corrente no condutor através de seus bornes de conexão. A corrente elétrica no condutor pode ser medida, através do transdutor, com o emprego de um instrumento, podendo este ser um voltímetro ou um osciloscópio. Sua aplicação pode ser voltada às concessionárias de energia e indústrias onde há a presença de conteúdo harmônico na corrente elétrica. A possibilidade de sua construção flexível ou rígida permite a instalação em locais de difícil acesso. Sua calibração pode ser feita sob condição de baixa corrente de calibração devido a sua característica linear de relação de transformação. A ausência de corrente no enrolamento induzido evita o atraso inerente do circuito resistivo-indutivo que é verificado no transformador de corrente convencional (TC).