



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

(11) (21) **PI 0201682-6 A**



(22) Data de Depósito: 07/05/2002  
(43) Data de Publicação: 03/10/2006  
(RPI 1865)

(51) Int. Cl.<sup>7</sup> :  
G01D 5/30  
G01B 11/00

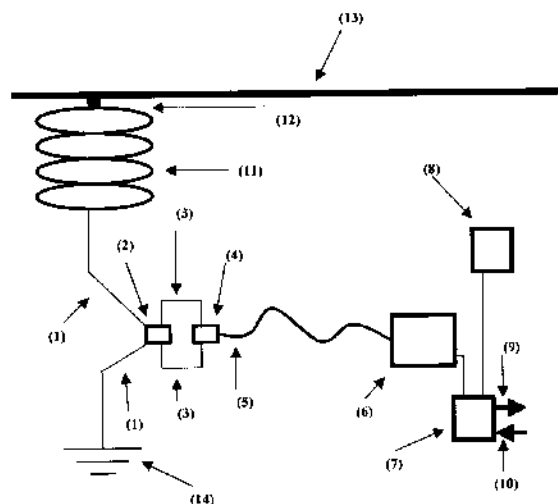
(54) Título: **SENSOR OPTOELETRÔNICO DE CORRENTES DE FUGA**

(71) Depositante(s): Coppe/Ufrj -Coordenação dos Programas de Pós Graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (BR/RJ)

(72) Inventor(es): Marcelo Martins Werneck, Ricardo Marques Ribeiro

(74) Procurador: Joubert Gonçalves de Castro

(57) Resumo: "SENSOR OPTOELETRÔNICO DE CORRENTES DE FUGA". Refere-se a presente invenção, a um sensor de correntes de fuga baseado em tecnologia optoeletrônica onde os sinais de luz são codificados pelo acionamento (modulação) direto do mesurando sobre uma fonte óptica. Os sinais ópticos produzidos são transmitidos livremente e/ou por fibra óptica para o potencial de terra. O sensor possui grande confiabilidade, sensibilidade, faixa dinâmica adequada, é imune à interferência eletromagnética, compacto, de baixo peso, pode ser estendido para sensoriamento multiponto, não necessita de energização in-situ e não é eletricamente ligado ao potencial de terra mantendo-se a isolamento elétrica. Permite monitorar em tempo real o valor médio das correntes de fuga, assim como seu formato de onda instantâneo em dispositivos tais como isoladores, buchas, pára-raios e chaves, submetidos a diferentes tensões tais como, 13,8kV, 25,0kV, 34,5kV, 69kV, 138kV, 230kV, 345kV, 440kV, 500kV, 750kV e 800kV.



Relatório Descritivo da Patente de Invenção para  
"Sensor Optoeletrônico de Correntes de Fuga"

CAMPO TECNICO

Refere-se a presente invenção a um sensor  
5 optoeletrônico de correntes de fuga (DC e/ou AC) para uso  
em redes de distribuição de energia e em sistemas de  
potência sob uma tensão elétrica (voltagem) de valor  
arbitrário como por exemplo, 13,8 kV, 25,0 kV, 34,5 kV, 69  
kV, 138 kV, 230 kV, 345 kV, 440 kV, 500 kV, 750 kV e 800  
10 kV. A invenção monitora qualitativamente e/ou  
quantitativamente em tempo real as correntes de fuga em  
dispositivos tais como isoladores, pára-raios, buchas e  
chaves, embora não se limite a estas aplicações. O módulo  
de transdução elétrico-óptico (elemento sensor) instalado  
15 no ponto ou pontos de medida(s) não necessita(m) ser  
energizado(s) e envia(m) os sinais codificados para o  
potencial de terra através de caminhos não-condutivos como  
fibra(s) óptica(s) e/ou transmissão livre pela atmosfera.

FUNDAMENTOS DA INVENÇÃO

20 Com o intuito de melhor fundamentar a presente  
invenção, descreve-se a seguir algumas de suas motivações.  
Isoladores são essencialmente utilizados para apoiar  
mecanicamente e isolar eletricamente os fios e cabos de  
transmissão de energia, estando localizados nos  
25 equipamentos, torres e postes que fornecem sustentação para  
o conjunto. No entanto, a capacidade de isolamento elétrico  
destes isoladores fica comprometida em função da ocorrência  
das correntes de fuga. Em última instância, as correntes de  
fuga percorrem um caminho aleatório ao longo dos isoladores  
30 para o potencial de terra através da superfície destes  
isoladores e/ou o ar que os circunda. Fenômeno semelhante  
acontece em outros dispositivos como chaves, pára-raios,  
buchas etc. A causa primordial da ocorrência das correntes  
de fuga em diversos dispositivos consiste no depósito

gradativo de poluentes (contaminação) em sua superfície externa. A referida contaminação é composta de materiais poluentes originados naturalmente no meio-ambiente ou artificialmente, seguido pelo umedecimento da camada depositada. Diversos fenômenos meteorológicos como o vento (velocidade e direção), irradiação solar, umidade e chuvas influenciam marcadamente na dinâmica do depósito de poluentes de diversas naturezas sobre a superfície dos dispositivos, assim como a densidade e o tipo das partículas poluentes (aerossóis). Os poluentes mais comuns que se depositam na superfície de dispositivos são: sais, fertilizantes, pó de cimento e partículas de borracha. Em países tropicais verifica-se também a existência de certos tipos de algas e fungos na superfície dos dispositivos. Estes e outros poluentes podem ser condutores ou não-condutores. Poluentes ainda que de natureza iônica (condutora) como os sais contidos na água do mar, quando absolutamente secos, não conduzem. Porém quando são dissolvidos pela água formam um eletrólito com a forma de uma superfície condutora de espessura fina que em geral não é uniforme. Muitas vezes existe uma mistura solúvel ou insolúvel de poluentes que se depositam na superfície dos dispositivos. A poluição depositada também depende da posição geográfica, o formato e a orientação da superfície dos dispositivos. Há uma relação dinâmica direta entre o depósito de poluentes e as correntes de fuga embora esta seja bastante complexa. No entanto, há um consenso, de que o material utilizado, grau de hidrofobicidade, o formato geométrico dos dispositivos, bem como o seu estado de degradação em combinação com a camada depositada de poluentes no estado sólido de diferentes naturezas, notadamente o NaCl, quando devidamente umedecida, é a causa fundamental da ocorrência das correntes de fuga.

As correntes de fuga implicam primordialmente no desperdício de energia. Além disto, como vários isoladores estão normalmente presentes em uma linha de transmissão de energia, pode-se ter um somatório bastante alto destas  
5 correntes de fuga. Portanto, além do desperdício, este fato pode implicar em um desligamento não desejável da rede de energia devido ao estabelecimento de um alto valor de corrente de fuga, trazendo problemas para os consumidores e prejuízo para as concessionárias, já que afeta a qualidade  
10 e a continuidade do fornecimento de energia. As correntes de fuga podem também evoluir para o fenômeno denominado de *flashover* elétrico, onde um arco elétrico se fecha sobre a cadeia de isoladores. Isto pode vir a causar incêndios em postes e cruzetas de madeira ou mesmo, em certas  
15 circunstâncias, pode interromper a transmissão de energia. Por um outro lado, as correntes de fuga também implicam na degradação intrínseca do material do qual os isoladores são fabricados, diminuindo então a sua vida útil.

Monitorar em tempo real as correntes de fuga, e  
20 adotar procedimentos para minimizá-las é uma necessidade na medida que possibilita que as equipes de manutenção sejam acionadas antes que ocorra a interrupção. Uma outra aplicação deste monitoramento é na previsão confiável e com uma antecedência conveniente, da ocorrência de *flashovers*,  
25 em especial para isoladores contidos em transformadores e linhas de transmissão localizados em regiões poluídas, como por exemplo, em regiões litorâneas.

As condições adversas da natureza, as necessidades impostas para o avanço tecnológico e o desenvolvimento  
30 econômico, criam uma série de nichos de aplicações que propiciam o uso da tecnologia de sensores ópticos. Some-se a isto, o seu eventual uso rotineiro, de forma a competir diretamente com os sensores ditos convencionais. De forma genérica, é muitas vezes necessário monitorar grandezas

físicas em ambientes hostis, de difícil acesso e/ou sensíveis. Os referidos ambientes podem ser eletromagneticamente ruidosos, como por exemplo, nas vizinhanças de altas tensões elétricas ou correntes, fuselagem de um avião, de altas temperaturas e pressões, de atmosfera corrosiva ou explosiva, poços petrolíferos, minas etc. Em todos estes casos, o uso da tecnologia de sensores elétrico/eletrônicos, ditos convencionais, podem não ser adequados por serem de desempenho insuficiente, perigoso ou mesmo impossível. Além do mais, para ambientes hostis ou não, é muitas vezes necessário realizar o sensoriamento remoto, ou seja, suficientemente longe do ponto ou ponto(s) de medida(s), além de ser conveniente dispensar a alimentação elétrica dos sensores. A tecnologia óptica e de fibras ópticas quando utilizada para a realização de medidas de grandezas elétricas, apresenta intrinsecamente uma série de vantagens, como: Imunidade à interferência eletromagnética, não-condutividade elétrica, baixo peso, pequeno volume, alta sensibilidade, matéria-prima abundante, resistência térmica e química, permite a construção de sistemas de sensoriamento remoto, passividade elétrica, sensoriamento multiponto e/ou contínuo, multiplexação etc.

#### SUMÁRIO DA INVENÇÃO

O objetivo central da presente invenção é a de medir e monitorar em tempo real as correntes de fuga que ocorrem em redes de distribuição energizadas e o potencial de terra, através de dispositivos como: isoladores, pára-raios, buchas, chaves etc. O invento se aplica a redes sob qualquer tensão elétrica (voltagem) e em particular para valores usuais como 13,8 kV, 25 kV, 34,5 kV, 69 kV, 138 kV, 230 kV, 345 kV, 440 kV, 500 kV, 750 kV e 800 kV.

Uma primeira concretização da presente invenção diz respeito à necessidade de se medir a corrente de fuga média

(RMS) com base na modulação da intensidade da luz, o que requer uma implementação física e é caracterizada pelas etapas de:

- 5 (a) Conectar um diodo emissor de luz (LED) em série com relação à linha energizada e o potencial de terra;
- (b) Conectar um diodo retificador em anti-paralelo com o diodo emissor de luz (LED);
- (c) Acoplar opticamente o LED com uma fibra óptica;
- (d) Estender a fibra óptica até o potencial de terra;
- 10 (e) No potencial de terra, conectar a extremidade livre da fibra óptica a um medidor de potência óptica.

Uma segunda concretização da presente invenção diz respeito à necessidade de se medir o formato de onda da corrente de fuga com base na modulação da intensidade da luz, o que

15 requer uma implementação física e é caracterizada pelas etapas de:

- (a) Conectar um diodo emissor de luz (LED) em série com relação à linha energizada e o potencial de terra;
- (b) Conectar um diodo retificador em anti-paralelo com o
- 20 diodo emissor de luz (LED);
- (c) Acoplar opticamente o LED com uma fibra óptica;
- (d) Estender a fibra óptica até o potencial de terra;
- (e) No potencial de terra, conectar a extremidade livre da fibra óptica a um receptor óptico de largura de banda
- 25 suficiente.

Uma terceira concretização da presente invenção diz respeito à necessidade de se medir a corrente de fuga média (RMS) com base na modulação do comprimento de onda da luz, o que requer uma implementação física e é caracterizada

30 pelas etapas de:

- (a) Conectar um diodo emissor de luz (LED) em série com relação à linha energizada e o potencial de terra;
- (b) Conectar um diodo retificador em anti-paralelo com o diodo emissor de luz (LED);

- (c) Acoplar opticamente o LED com uma fibra óptica;
- (d) Estender a fibra óptica até o potencial de terra;
- (e) No potencial de terra, conectar a extremidade livre da fibra óptica a um dispositivo sensível a comprimento de onda ou um sensor de cor.

5

Uma quarta concretização da presente invenção diz respeito à necessidade de se medir o formato de onda da corrente de fuga com base na modulação do comprimento de onda da luz, o que requer uma implementação física e é caracterizada pelas etapas de:

10

- (a) Conectar um diodo emissor de luz (LED) em série com relação à linha energizada e o potencial de terra;
- (b) Conectar um diodo retificador em anti-paralelo com o diodo emissor de luz (LED);

15

- (c) Acoplar opticamente o LED com uma fibra óptica;
- (d) Estender a fibra óptica até o potencial de terra;
- (e) No potencial de terra, conectar a extremidade livre da fibra óptica a um dispositivo sensível a comprimento de onda ou sensor de cor de largura de banda suficiente.

20

Uma quinta concretização da presente invenção diz respeito à necessidade de se medir a corrente de fuga média (RMS) com base na modulação do comprimento de onda da luz, o que requer uma implementação física e é caracterizada pelas etapas de:

25

- (a) Conectar um diodo emissor de luz (LED) em série com relação à linha energizada e o potencial de terra;
- (b) Conectar um diodo retificador em anti-paralelo com o diodo emissor de luz (LED);

30

- (c) Acoplar opticamente o LED com um sistema de lentes visando a colimação do feixe óptico de saída;
- (d) Alinhar o colimador de forma a transmitir livremente o feixe óptico até o potencial de terra;
- (e) No potencial de terra, coletar o feixe óptico com o uso de um sistema de lentes ou espelho parabólico;

(f) Fazer com que o feixe óptico coletado incida em um dispositivo sensível a comprimento de onda ou sensor de cor.

5 Uma sexta concretização da presente invenção diz respeito à necessidade de se medir o formato de onda da corrente de fuga com base na modulação do comprimento de onda da luz, o que requer uma implementação física e é caracterizada pelas etapas de:

10 (a) Conectar um diodo emissor de luz (LED) em série com relação à linha energizada e o potencial de terra;

(b) Conectar um diodo retificador em anti-paralelo com o diodo emissor de luz (LED);

(c) Acoplar opticamente o LED com um sistema de lentes visando a colimação do feixe óptico de saída;

15 (d) Alinhar o colimador de forma a transmitir livremente o feixe óptico até o potencial de terra;

(e) No potencial de terra, coletar o feixe óptico com o uso de um sistema de lentes ou espelho parabólico;

20 (f) Fazer com que o feixe óptico coletado incida em um dispositivo sensível a comprimento de onda ou sensor de cor com largura de banda suficiente.

Uma sétima concretização da presente invenção diz respeito à necessidade de se medir a corrente de fuga média (RMS) com base na modulação do comprimento de onda da luz, o que  
25 requer uma implementação física e é caracterizada pelas etapas de:

(a) Conectar um diodo emissor de luz (LED) em série com relação à linha energizada e o potencial de terra;

30 (b) Conectar um diodo retificador em anti-paralelo com o diodo emissor de luz (LED);

(c) Acoplar opticamente o LED com uma fibra óptica;

(d) Estender a fibra óptica até uma localização arbitrária;

(e) Conectar a extremidade da fibra óptica com um sistema de lentes visando a colimação do feixe óptico de saída;



(f) Alinhar o colimador de forma a transmitir livremente o feixe óptico até o potencial de terra;

(g) No potencial de terra, coletar o feixe óptico com o uso de um sistema de lentes ou espelho parabólico;

- 5 (h) Fazer com que o feixe óptico coletado incida em um dispositivo sensível a comprimento de onda ou sensor de cor.

Uma oitava concretização da presente invenção diz respeito à necessidade de se medir o formato de onda da corrente de fuga com base na modulação do comprimento de onda da luz, o  
10 que requer uma implementação física e é caracterizada pelas etapas de:

(a) Conectar um diodo emissor de luz (LED) em série com relação à linha energizada e o potencial de terra;

- 15 (b) Conectar um diodo retificador em anti-paralelo com o diodo emissor de luz (LED);

(c) Acoplar opticamente o LED com uma fibra óptica;

(d) Estender a fibra óptica até uma localização arbitrária;

- 20 (e) Conectar a extremidade da fibra óptica com um sistema de lentes visando a colimação do feixe óptico de saída;

(f) Alinhar o colimador de forma a transmitir livremente o feixe óptico até o potencial de terra;

(g) No potencial de terra, coletar o feixe óptico com o uso de um sistema de lentes ou espelho parabólico;

- 25 (h) Fazer com que o feixe óptico coletado incida em um dispositivo sensível a comprimento de onda ou sensor de cor com largura de banda suficiente.

Uma nona concretização da presente invenção diz respeito à necessidade de se medir a corrente de fuga em mais de um  
30 ponto simultaneamente, com base na modulação do comprimento de onda da luz, o que requer uma implementação física e é caracterizada pelas etapas de:

(a) Conectar um diodo emissor de luz (LED) em série com relação à linha energizada e o potencial de terra, para

cada ponto que se deseja sensoriar onde os LEDs possuem diferentes comprimentos de onda centrais de emissão;

(b) Conectar um diodo retificador em anti-paralelo com cada um dos diodos emissores de luz (LEDs);

5 (c) Acoplar opticamente cada LED com uma fibra óptica;

(d) Estender cada fibra óptica até o potencial de terra;

(e) No potencial de terra, conectar a extremidade livre de cada fibra óptica a um acoplador do tipo multiplexador em comprimento de onda;

10 (f) Fazer o sinal óptico resultante incidir em um elemento dispersor cromático;

(g) Fazer com que o feixe óptico espectralmente dispersado incida num detector do tipo CCD ou matriz de fotodiodos.

#### BREVE DESCRIÇÃO DAS FIGURAS

15 FIGURA 1: Mostra uma arquitetura básica preferencial do sistema sensor de correntes de fuga onde os sinais ópticos modulados são transmitidos por fibra óptica para o potencial de terra.

20 FIGURA 2: Mostra uma arquitetura básica preferencial do sistema sensor de correntes de fuga conectado em série entre o isolador e o potencial de terra onde os sinais ópticos modulados são transmitidos por fibra óptica para o potencial de terra.

25 FIGURA 3: Mostra uma arquitetura básica preferencial do sistema sensor de correntes de fuga conectado em série entre a linha energizada e o isolador onde os sinais ópticos modulados são transmitidos por fibra óptica para o potencial de terra.

30 FIGURA 4: Mostra uma arquitetura básica preferencial do sistema sensor de correntes de fuga onde os sinais ópticos modulados são transmitidos livremente através da atmosfera para o potencial de terra.

FIGURA 5: Mostra uma arquitetura básica preferencial do sistema sensor de correntes de fuga onde os sinais ópticos

modulados são acoplados a uma fibra óptica até um ponto arbitrário e então são enviados por transmissão direta pela atmosfera até o potencial de terra.

5 FIGURA 6: Mostra uma arquitetura básica preferencial do sistema sensor de correntes de fuga implementado em três pontos diferentes de medida onde os sinais ópticos modulados são transmitidos por fibra óptica para o potencial de terra.

10 FIGURA 7: Mostra um diagrama de blocos simplificado de um receptor óptico destinado a medir a potência óptica o formato da intensidade de onda de pulsos ópticos com o uso de um fotodiodo.

15 FIGURA 8: Mostra um diagrama de blocos simplificado de um receptor óptico destinado a medir o comprimento de onda ou o formato de onda de seu valor instantâneo com o uso de um dispositivo sensível a comprimento de onda.

20 FIGURA 9: Mostra um diagrama de blocos simplificado de um receptor óptico destinado a medir o comprimento de onda ou o formato de onda de seu valor instantâneo com o uso de filtro e fotodiodos.

FIGURA 10: Mostra um diagrama de blocos simplificado de um receptor óptico destinado a medir o comprimento de onda ou o formato de onda de seu valor instantâneo com o uso de uma rede de difração, filtros espaciais e fotodiodos.

25 FIGURA 11: Mostra um diagrama de blocos simplificado de um receptor óptico destinado a medir o comprimento de onda ou o formato de onda de seu valor instantâneo com o uso de uma rede de difração e um detector do tipo CCD.

30 FIGURA 12: Mostra o módulo de transdução elétrico-óptico onde (1) são as conexões elétricas externas, (2) é um diodo retificador, (3) são as conexões elétricas com o diodo emissor de luz (LED) (4) em antiparalelo e (16) é o sinal óptico produzido.

FIGURA 13: Mostra um resultado de uma medida de calibração

do sensor de correntes de fuga, conforme a arquitetura do invento conforme mostrado na FIGURA 3.

5 FIGURA 14: Mostra um resultado de medida do formato de onda com retificação em meia-onda da corrente de fuga, quando se utiliza uma arquitetura do invento conforme mostrado na FIGURA 3.

10 FIGURA 15a: Mostra um resultado de medida do formato de onda com retificação em meia-onda da corrente de fuga, quando ocorrem picos aleatórios de corrente e se utiliza uma arquitetura do invento conforme mostrado na FIGURA 3.

FIGURA 15b: Mostra um outro resultado de medida do formato de onda com retificação em meia-onda da corrente de fuga, quando ocorrem picos aleatórios de corrente e se utiliza uma arquitetura do invento conforme mostrado na FIGURA 3.

15 FIGURA 16: Mostra um resultado de medida da variação do comprimento de onda central de emissão óptica de um LED como função da corrente elétrica que o alimenta.

20 FIGURA 17: Mostra uma ilustração para exemplificar uma implementação do sensor de correntes de fuga em campo, onde (40) é o poste, (41) são as três fases de uma linha de transmissão energizada, (42) um conector elétrico, (43) são isoladores, (44) conexão elétrica com o módulo de transdução elétrico-óptico (45), (46) é o isolador-piloto, o seja, o que está sendo sensoriado, (47) é a cruzeta, (48) a fibra óptica, (49) o invólucro que contém os equipamentos de detecção e demodulação óptica, (50) é o cabo de alimentação elétrica dos equipamentos, (51) é o isolador de baixa tensão, (52) é o cabo de envio/recepção de informações/controle de dados para telemetria remota e (53) 25 30 é o isolador de saída da telemetria.

#### DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO

Com o objetivo de solucionar boa parte dos inconvenientes e requerimentos existentes no estado da técnica, desenvolveu-se a presente invenção que consiste em

um sistema de sensoriamento optoeletrônico onde uma fonte de luz é acionada (modulada) diretamente pelas correntes de fuga, ou seja, pelo mensurando.

Até o presente, tem-se monitorado as correntes de fuga  
5 basicamente com o uso de sensores elétricos convencionais. Estes, entre outros inconvenientes, necessitam de energização in-situ e ligação condutiva com o potencial de terra. Como exemplos de sensores de correntes de fuga convencionais, é possível citar: A patente norte-americana  
10 de número US 3,947,759 com o título "Leakage current monitoring system and method" concedida em 1976 a J. B. Briggs, descreve o uso de várias impedâncias de teste conectadas à linha energizada para propósitos de monitoração das correntes de fuga. Esta mesma patente faz  
15 referência a várias outras patentes ainda mais antigas, onde técnicas similares são descritas visando o mesmo objetivo. A patente norte-americana de número US 5,136,248 com o título "Method and detector for identifying insulator flashover" concedida em 1992 a R. A. Maraiio, A. T. McMahon  
20 and H. B. Hart Jr., descreve um método para a monitoração indireta das correntes de fuga, baseado na medida do campo magnético produzido pelas mesmas. A patente norte-americana de número US 5,157,334 com o título "Image intensifier monitoring of power line insulator leakage" concedida em  
25 1992 a Frank E. Lowther, descreve o uso de um intensificador de imagem para detectar a radiação eletromagnética proveniente das correntes de fuga. Para aumentar a sensibilidade de detecção, estimula-se um aumento momentâneo das correntes de fuga com a aplicação de  
30 um pulso externo de rádio-frequência (RF) ou de luz ultravioleta (UV). No entanto, nenhuma destas patentes descreve um invento igual ou mesmo similar ao que é aqui descrito.

O sensor optoeletrônico de correntes de fuga aqui objeto de invenção é intermediário ao que se denomina de

sensor ativo e passivo. Um sensor ativo é aquele que necessita de algum tipo de alimentação, mais usualmente energia elétrica ou óptica fornecida externamente. Um sensor óptico passivo deve ser sondado por luz através de uma fibra óptica onde o mensurando fica codificado e retorna ou prossegue por transmissão através desta mesma ou uma segunda fibra óptica para demodulação remota. O sensor aqui descrito não necessita de alimentação elétrica in-situ, exceto o acionamento (modulação) exercido pelo próprio mensurando (as correntes de fuga) e envia os sinais ópticos para o potencial de terra por caminhos não-condutivos.

Para detalhar o funcionamento da invenção, serão utilizadas as FIGURAS 1-11.

A FIGURA 1 mostra o diagrama da arquitetura preferencial da presente invenção onde (1) são conexões elétricas a serem implementadas em série ou em paralelo com o caminho através do qual que se deseje medir as correntes de fuga, (2) é o componente ou circuito eletrônico passivo limitador de tensões de pico e/ou correntes reversas que possam fluir pelo sensor, (3) são conexões elétricas com a fonte óptica (4), que é modulada diretamente pelo mensurando e o sinal óptico assim produzido pode ser imediatamente injetado numa fibra óptica (5) que em princípio não apresenta restrições quanto ao comprimento, exceto pela atenuação causada. A fonte óptica (4) quando desta forma acionada, é modulada tanto na sua intensidade (amplitude) óptica quanto no seu comprimento de onda central e/ou formato espectral. O sinal óptico codificado pelo valor instantâneo da corrente de fuga se propaga então pela fibra óptica (5), até ser detectado e demodulado pelo receptor óptico (6) localizado numa posição conveniente, usualmente no potencial de terra. Desta forma, os dados de medidas assim obtidos podem ficar armazenados numa memória

(datalogger) (7). Um controlador local (8) controla todos os procedimentos e que por sua vez pode ser controlado remotamente através da entrada (9), e (10) é saída para envio de dados para telemetria.

5 A FIGURA 2 mostra o diagrama da arquitetura da presente invenção particularizada a partir do que está ilustrado na FIGURA 1 para a situação onde as conexões elétricas (1) são implementadas em série entre o isolador (11) conectado com o conector (12) a linha de transmissão  
10 de energia (13), e o potencial de terra (14). Desta forma, as correntes de fuga são sensoriadas entre o extremo inferior do isolador (11) e o potencial de terra (14) onde usualmente o receptor óptico (6), memória (7) e controlador local (8) também estão localizados. De resto, o  
15 funcionamento do invento quando implementado desta forma, é idêntico ao que foi descrito com o auxílio da FIGURA 1.

A FIGURA 3 mostra o diagrama da arquitetura da presente invenção particularizada a partir do que está ilustrado na FIGURA 1 para a situação onde as conexões  
20 elétricas (1) são implementadas em série entre o isolador (11) conectado no potencial de terra em (14), onde usualmente o receptor óptico (6), memória (7) e controlador local (8) também estão localizados, e a linha de transmissão de energia (13) através do conector elétrico  
25 (12). Desta forma, as correntes de fuga são sensoriadas entre o extremo superior do isolador (11) e a linha de transmissão de energia (13). De resto, o funcionamento do invento quando implementado desta forma, é idêntico ao que foi descrito com o auxílio da FIGURA 1.

30 A FIGURA 4 mostra o diagrama da arquitetura preferencial da presente invenção onde a luz modulada produzida pela fonte óptica (4) passa pelo componente ou sistema óptico de colimação (15) que lhe está acoplado, e então o feixe óptico colimado (16) se propaga livremente

através atmosfera numa distância arbitrária até ser capturado pelo componente ou sistema óptico de coleta (17) acoplado ao receptor óptico (6) usualmente localizado no potencial de terra. De resto, o funcionamento do invento quando implementado desta forma, é idêntico ao que foi descrito com o auxílio da FIGURA 1, exceto pelo fato de que não é recomendável que opere em modulação da intensidade (amplitude) óptica.

A FIGURA 5 mostra o diagrama da arquitetura preferencial da presente invenção onde a luz modulada produzida pela fonte óptica (4) é injetada e guiada pela fibra óptica (18) de comprimento arbitrário, que por sua vez está acoplada a um componente ou sistema óptico de colimação (15) localizado numa posição arbitrária, porém, não necessariamente o potencial de terra. Então o feixe óptico colimado (16) se propaga livremente através atmosfera numa distância arbitrária até ser capturado pelo componente ou sistema óptico de coleta (17) acoplado a uma fibra óptica (19) de comprimento arbitrário (inclusive comprimento nulo) que é conectada ao receptor óptico (6) usualmente localizado no potencial de terra. De resto, o funcionamento do invento quando implementado desta forma, é idêntico ao que foi descrito com o auxílio da FIGURA 1, exceto pelo fato de que não é recomendável que opere em modulação da intensidade (amplitude) óptica.

A FIGURA 6 mostra o diagrama da arquitetura preferencial da presente invenção implementada para sensoriamento multiponto em três pontos discretos. Há para cada um destes pontos, três módulos de elemento sensor, cada qual composto de conexões elétricas (1) a serem implementadas em série com o caminho através do qual se deseja medir as correntes de fuga, (2) componente ou circuito eletrônico passivo limitador de tensões de pico e/ou correntes reversas que possam fluir pelo sensor, (3)



conexões elétricas com a fonte óptica (4) emitindo num comprimento de onda central  $\lambda_i$  (onde  $i$  designa o número do ponto de sensoriamento) diferente para cada posição  $i$ , de forma que seus espectros não se superponham qualquer que seja o valor instantâneo da corrente de fuga, que é modulada diretamente pelo mensurando. O sinal óptico assim produzido pode ser imediatamente injetado na fibra óptica (5) conectada a cada uma das fontes ópticas (4). Cada fibra óptica (5) conduz os sinais ópticos para serem detectados e demodulados pelo receptor óptico (6) localizado numa posição conveniente, usualmente no potencial de terra. Desta forma, os dados assim obtidos podem ficar armazenados numa memória (datalogger) (7). Um controlador local (8) controla todos os procedimentos e que por sua vez pode ser controlado remotamente através da entrada (9), e (10) é saída para envio de dados para telemetria. O invento pode ser estendido para sensoriar correntes de fuga em um número arbitrário de pontos ao invés de três que é meramente uma ilustração.

A FIGURA 7 mostra um diagrama de blocos simplificado de um receptor óptico (6) onde (20) é um fotodiodo, (21) é um cabo de conexão elétrica e (22) é um circuito eletrônico que demodula em intensidade (amplitude) os sinais ópticos que foram convertidos para sinais elétricos pelo fotodiodo (21) de forma a se obter o formato de onda das correntes de fuga. Alternativamente, o fotodiodo (21) poderá ser sensível o suficiente para que ao ser acoplado ao circuito eletrônico (22) se constitua em um medidor de potência óptica e então pode-se obter o valor médio (RMS) das correntes de fuga com grande sensibilidade.

A FIGURA 8 mostra um diagrama de blocos simplificado de um receptor óptico (6) onde, (23) é um dispositivo sensível a comprimento de onda (Wavelength Sensitive Device ou WSD), como por exemplo os fabricados pela Pacific

Silicon Sensor, (24) é uma junção PN sensível à luz do tipo "red enhanced", ou seja, com pico de sensibilidade de detecção em maiores comprimentos de onda, (25) é uma junção PN sensível à luz do tipo "blue enhanced", ou seja, com pico de sensibilidade de detecção em menores comprimentos de onda, (21) é um cabo de conexão elétrica e (26) é um circuito eletrônico de demodulação que fornece uma voltagem em sua saída correspondente ao valor central de comprimento de onda incidente no WSD (23), independente da potência óptica. O receptor óptico (6) quando implementado desta forma, realiza a demodulação no domínio das frequências ópticas tanto no valor médio (RMS) do comprimento de onda, quanto no formato temporal de onda do comprimento de onda central emitido pela fonte óptica (4) ao ser acionada pelas correntes de fuga.

A FIGURA 9 mostra um diagrama de blocos simplificado de um receptor óptico (6) que realiza a mesma função descrita pela arquitetura ilustrada na FIGURA 8. Desta forma, (27) é um feixe óptico incidente, (28) é um filtro (espelho) dicróico. Este último possui um comprimento de onda de corte de forma que comprimentos maiores que este são transmitidos e menores são refletidos ou vice-versa. O feixe óptico transmitido é o (29), (30) é o feixe óptico refletido, e (31) e (32) são fotodiodos. Qualquer mudança no comprimento de onda central do feixe (27) implicará numa mudança relativa entre a fração de feixe transmitido (29) e o refletido (30). Subtraindo o sinal obtido nos fotodiodos (31) e (32) e dividindo pela sua soma, obtém-se um análogo elétrico do comprimento de onda independente da potência óptica.

A FIGURA 10 mostra um diagrama de blocos simplificado de um receptor óptico (6) onde (27) é um feixe óptico incidente, (33) é uma rede de difração, (34) são feixes ópticos dispersados espectralmente, (35) são filtros

espaciais (aberturas) e (36) são fotodiodos. O receptor óptico (6) quando implementado desta forma, atua como um monocromador quando, por exemplo, a rede de difração (33) for dotada de movimento angular preciso em torno, por exemplo, de seu ponto central. É também possível utilizar um prisma como elemento de dispersão espectral e apenas um fotodiodo (36).

A FIGURA 11 mostra um diagrama de blocos simplificado de um receptor óptico (6) onde (27) é um feixe óptico incidente, (33) é uma rede de difração, (34) são feixes ópticos dispersados espectralmente, e (37) é um detector do tipo CCD. Desta forma o receptor óptico (6) quando implementado desta forma, atua como um espectrômetro de CCD que ao contrário do descrito na FIGURA 10, não possui partes móveis, pois o detector CCD (37) possui dimensão linear adequada para acomodar o intervalo espectral de interesse.

A presente invenção é descrita ilustrativamente através de dois exemplos práticos testados e apresentados a seguir.

Exemplo 1: Sensor de correntes de fuga com modulação da intensidade luminosa utilizando fibra óptica.

A invenção aqui descrita foi implementada na prática conforme a FIGURA 3, e o módulo de transdução elétrico-óptico mais detalhadamente mostrado pela FIGURA 12, como um sensor de correntes de fuga com base no acionamento direto (modulação) de um LED de visualização (display) como sendo a fonte óptica (4). Embora a concepção revelada nesta patente se refira a uma fonte óptica (4) genérica, do ponto de vista prático o uso de um diodo emissor de luz (LED) é uma escolha conveniente. Entretanto, deve-se mencionar que o uso de qualquer fonte óptica (4) capaz de emitir luz sob ação de correntes de fuga está no espírito desta invenção. A proteção (2) do LED (4) contra surtos de

tensões de pico e/ou correntes reversas, foi simplesmente um diodo retificador (2) conectado ao LED (4) em anti-paralelo produzindo o sinal óptico (16). O conjunto LED e diodo retificador com uma impedância ordens de grandeza menor que o isolador (11), foi conectado em série por (12) a linha de transmissão de energia (13). Desta forma, as correntes de fuga podiam modular a intensidade de emissão e o comprimento de onda do LED. O sinal assim obtido foi acoplado e transmitido por uma fibra óptica (5) plástica de PMMA (poly-metil-metacrilato) para o potencial de terra (14). O uso de fibras ópticas plásticas de PMMA é particularmente interessante por serem estas robustas, fáceis e seguras de manipular, e consistir numa tecnologia de baixo custo. Entretanto a invenção não se limita ao uso destas fibras. Está também no espírito da invenção o uso de fibras ópticas convencionais, ou seja, com uma matriz vítrea baseada na sílica fundida ( $\text{SiO}_2$ ) como matéria-prima, outros tipos de vidros ópticos, outros polímeros ópticos como os polímeros per-fluoretados (perfluorinated) de última geração, policarbonato etc, assim como um feixe de fibras ópticas poliméricas ou vítreas, e uma guia óptica de núcleo líquido. O receptor óptico (6) do tipo ilustrado na FIGURA 7 localizado no potencial de terra (14) utiliza um fotodiodo (20) PIN e amplificação em modo de transimpedância como sendo o circuito eletrônico (22). Desta forma obtém-se a intensidade instantânea das correntes de fuga enquanto que o valor médio pode ser calculado. O invento também foi testado com o uso de um medidor de potência óptica comercial como sendo o receptor óptico (6). Neste caso, apenas a corrente de fuga média (RMS) era medida computando-se também suas variações lentas no tempo. Quando se usa LEDs de alta eficiência quântica como sendo a fonte óptica (4), torna-se possível medir valores de correntes de fuga da ordem de  $100 \mu\text{A}$  ou

ainda menores, dependendo da sensibilidade efetiva do receptor óptico (6). O invento quando medindo o formato de onda das correntes de fuga, mostrou uma faixa dinâmica típica de operação maior que  $100 \text{ mA}/100\mu\text{A} = 1000 = 30 \text{ dB}$  que é adequada para aplicações práticas, porém pode facilmente ser melhorado.

A FIGURA 13 mostra graficamente um resultado de medidas do valor de pico (amplitude) e da média (RMS) das correntes de fuga quando o invento é implementado da forma aqui descrita. O conjunto de pontos mais altos referem-se as medidas dos valores de pico, enquanto que os mais baixos referem-se ao RMS. O gráfico mostrado é o de medida de calibração do sensor de correntes de fuga.

A FIGURA 14 mostra graficamente um resultado de medida do formato de onda das correntes de fuga. O gráfico mostra uma retificação em meia-onda. Com o uso de um LED bicolor ou tricolor convenientemente conectados, pode-se obter o formato da corrente de fuga com retificação em onda completa. Ao se usar dois fotodiodos (20) com saída elétrica invertida para o circuito eletrônico (22), obtém-se um formato do tipo corrente alternada fiel ao original elétrico.

As FIGURAS 15a e 15b mostram resultados de medidas do formato de onda com retificação em meia-onda das correntes de fuga, quando ocorrem picos aleatórios (*spikes*) de correntes de fuga. Podem surgir picos de corrente de curta duração superpostas à corrente de fuga na frequência da tensão AC (usualmente 60 Hz), ou seja, dentro dos ciclos da corrente alternada. A formação das chamadas "bandas secas" (*dry bands*) na superfície de isoladores, causa o aparecimento de efeitos capacitivos que resultam em picos intensos (*spikes*) de correntes de fuga, fenômeno este que também pode ser monitorado pelo presente invento, que na forma particular em que foi construído possui uma banda

passante de 350 kHz.

Desta forma, o sensor aqui objeto de invenção, permite obter em tempo real a medida do valor médio da amplitude das correntes de fuga, assim como o seu formato de onda e  
5 distorções que a acompanham.

O sensoriamento modulado na intensidade óptica apresenta diversos inconvenientes conhecidos como: Dependência da estabilidade da potência das fontes ópticas utilizadas, variação das características de propagação ao  
10 longo das fibras ópticas como a atenuação variável no tempo em decorrência de manipulação e envelhecimento, efeitos mecânicos nos conectores e o envelhecimento da fonte óptica. Para diversas aplicações, a modulação em intensidade não chega a acarretar imprecisões  
15 significativas. No entanto, quando a demanda for de grande precisão, uma forma de solucionar os inconvenientes descritos anteriormente, é simplesmente utilizar uma outra técnica de demodulação. Pode-se realizar demodulação em comprimento de onda do pico de emissão do LED como função  
20 do valor instantâneo da corrente de fuga. O LED então não só muda de intensidade, como também "muda de cor" com o valor instantâneo da corrente (de fuga) injetada, o que consiste então numa modulação da frequência óptica. Os LEDs violetas, azuis e verdes, geralmente baseados nos  
25 semicondutores da família do GaN, InGaN, SiC e estruturas combinadas, emitem luz cuja potência e comprimento de onda central, são ambos praticamente independentes de variações da temperatura ambiental, conforme pode ser visto no artigo "High temperature nitride sources for plastic optical fibre  
30 data buses" apresentado na 10<sup>th</sup> International Plastic Optical Fibres Conference 2001 em Amsterdam/Holanda e o catálogo "Nichia Chemical Corporation Lamp Type LED Product Guide Brochure" de maio/1999 da Nichia Chemical Corporation/Japão. A FIGURA 16 mostra a variação do

comprimento de onda central de um LED como função da corrente elétrica que o aciona. Desta forma, a demodulação é feita com base em uma "assinatura óptica" ao invés da intensidade, onde o receptor óptico (6) pode ser  
5 implementado segundo os esquemas ilustrados pelas FIGURAS 8-11, sendo apenas sensível ao comprimento de onda, e não a intensidade da luz. Obtém-se assim um sensor de correntes de fuga mais imune a efeitos ambientais, mecânicos e envelhecimento, e está também no espírito da presente  
10 invenção.

Exemplo 2: Sensor de correntes de fuga com modulação da intensidade luminosa utilizando fibra óptica implementado em campo.

A invenção aqui descrita foi implementada na prática  
15 conforme a FIGURA 17 onde (40) é o poste que sustenta mecanicamente as três fases de uma linha de transmissão energizada (41), onde há um conector elétrico (42), fazendo contato com um dos isoladores (43), através da conexão elétrica (44) com o módulo de transdução elétrico-óptico  
20 (45) conforme ilustrado na FIGURA 12, (46) é o isolador-piloto, o seja, o que está sendo sensoriado, (47) é a cruzeta que sustenta o isolador-piloto (46), (48) a fibra óptica plástica, (49) o invólucro que contém os equipamentos de detecção e demodulação óptica conforme  
25 ilustrado na FIGURA 7, (50) é o cabo de alimentação elétrica dos equipamentos, (51) é o isolador de baixa tensão, (52) é o cabo de envio/recepção de informações/controle de dados para telemetria remota e (53) é o isolador de saída da telemetria.

30 O sensor aqui objeto de invenção possui grande sensibilidade, faixa dinâmica adequada, permite obter em tempo real a medida do valor médio da amplitude das correntes de fuga, assim como o seu formato de onda, é confiável, fácil, barato e seguro de se fabricar, instalar e

Utilizar.

A inovação ora proposta não esta limitada aos arranjos particulares e exemplos descritos. Variações e modificações dentro dos limites nos quais funciona também estão dentro do  
5 escopo da presente invenção.



REIVINDICAÇÕES

1.- "Sensor Optoeletrônico de Correntes de Fuga",  
caracterizado por módulos com as respectivas funções:

5    **(a)** Módulo de transdução elétrico-óptico (elemento sensor)  
a ser conectado em série entre o cabo de transmissão de  
energia elétrica e o dispositivo a ser sensoriado  
(isolador, bucha, chave ou pára-raio) de forma que por este  
módulo de transdução flua toda a possível corrente de fuga  
10 DC e/ou AC, onde esta última aciona (modula) uma fonte  
óptica que emite preferencialmente, mas não exclusivamente,  
na faixa dentro do espectro ultravioleta-visível-  
infravermelho e está conectada com um circuito eletrônico  
passivo para ser protegida contra altos valores de tensão e  
15 de correntes de pico reversas;

**(b)** A fonte óptica deve produzir luz, visível ou não, ao  
ser atravessada por corrente elétrica e poderá ser do tipo:  
Diodo emissor de luz inorgânico (LED), diodo emissor de luz  
orgânico (OLED), diodo emissor de luz em cavidade  
20 ressonante (RCLED), laser de diodo do tipo cavidade de  
Fabry-Perot, laser de diodo do tipo DFB, laser de diodo do  
tipo DBR, laser de diodo do tipo VCSEL, laser a fibra  
óptica, emissor de radiação espontânea amplificada (ASE) a  
fibra óptica dopada, emissor de radiação espontânea  
25 amplificada (ASE) a semiconductor (SLA), lâmpada de  
filamento, lâmpada de gás como a fluorescente e a de flash  
e lâmpada de arco;

**(c)** O dispositivo sendo sensoriado quanto as correntes de  
fuga que lhe atravessam, poderá estar submetido a um  
30 potencial elétrico de valor arbitrário, inclusive: 13,8 kV,  
25,0 kV, 34,5 kV, 69,0 kV, 138 kV, 230 kV, 345 kV, 440 kV,  
500 kV, 750 kV e 800 kV.

**(c)** Meio físico de transmissão dos sinais ópticos gerados

pelo módulo descrito em **(a)** para o potencial de terra, e que consiste em uma fibra óptica de polímero ou de material vítreo, assim como um feixe destas fibras ou uma guia óptica de núcleo líquido, conectada ao módulo de transdução elétrico-óptico cujo comprimento em princípio arbitrário só fica limitado pela tolerância com relação à atenuação óptica total;

**(d)** Receptor óptico remoto conectado à fibra óptica descrita em **(b)**, localizado preferencialmente, mas não exclusivamente, no potencial de terra, cuja função é a de detectar e demodular os sinais ópticos modulados pelo valor instantâneo da corrente de fuga em: Intensidade (amplitude óptica), e/ou frequência óptica ou comprimento de onda central e/ou formato do espectro de emissão;

2.- "Sensor Optoeletrônico de Correntes de Fuga" de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por conter uma fonte óptica semicondutora no módulo transdutor e esta, ser conectada em antiparalelo, a um circuito eletrônico passivo de proteção constituído de um diodo retificador.

3.- "Sensor Optoeletrônico de Correntes de Fuga" de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por conter uma fonte óptica semicondutora no módulo transdutor e esta, ser conectada a um circuito eletrônico passivo de proteção, constituído de diodo retificador, supressor de transiente e indutor.

4.- "Sensor Optoeletrônico de Correntes de Fuga" de acordo com as reivindicações 1-3, caracterizado por ser o módulo de transdução elétrico-óptico conectado em série, entre o dispositivo a ser sensoriado e o potencial de terra.

5.- "Sensor Optoeletrônico de Correntes de Fuga" de acordo com as reivindicações 1-4, caracterizado por ser o sinal óptico modulado pelas correntes de fuga, transmitido

livremente pela atmosfera para um outro ponto conveniente, como o potencial de terra e aí ser coletado.

5 6.- "Sensor Optoeletrônico de Correntes de Fuga" de acordo com as reivindicações 1-4, caracterizado por ser o sinal óptico modulado pelas correntes de fuga, transmitido por fibra óptica até algum ponto conveniente, e a partir deste, ser transmitido livremente pela atmosfera para um outro ponto conveniente, como o potencial de terra e aí ser coletado.

10 7.- "Sensor Optoeletrônico de Correntes de Fuga" de acordo com as reivindicações 1-4, caracterizado por ser o sinal óptico modulado pelas correntes de fuga, transmitido livremente pela atmosfera para um ponto conveniente, não necessariamente sendo o potencial de terra, e aí ser  
15 acoplado numa fibra óptica que transmite o sinal até algum ponto conveniente como o potencial de terra.

20 8.- "Sensor Optoeletrônico de Correntes de Fuga" de acordo com as reivindicações 1-7, caracterizado por haver simultaneamente mais de um dispositivo, sendo sensoriado onde em cada um destes pontos há um módulo de transdução elétrico-óptico.

25 9.- "Sensor Optoeletrônico de Correntes de Fuga" de acordo com as reivindicações 1-8, caracterizado por estar o módulo de transdução elétrico-óptico (elemento sensor), conectado em paralelo com o caminho das correntes de fuga.

10.- "Sensor Optoeletrônico de Correntes de Fuga" de acordo com as reivindicações 1-9, caracterizado por um módulo de recepção óptica, que disponibiliza sinais elétricos de saída, para visualização e controle local.

30 11.- "Sensor Optoeletrônico de Correntes de Fuga" de acordo com as reivindicações 1-9, caracterizado por um módulo de recepção óptica, que disponibiliza sinais elétricos de saída para telemetria ainda mais remota,

através do uso de cabo telefônico.

12 - "Sensor Optoeletrônico de Correntes de Fuga " de acordo com a reivindicação 1-9, caracterizado por um módulo de recepção óptica, que disponibiliza sinais elétricos de saída para telemetria ainda mais remota, através de rádio  
5 transmissão ponto-a-ponto.

13 - "Sensor Optoeletrônico de Correntes de Fuga " de acordo com as reivindicações 1-9, caracterizado por um módulo de recepção óptica, que disponibiliza sinais elétricos de  
10 saída para telemetria ainda mais remota, através de rádio-transmissão via satélite.

14 - "Sensor Optoeletrônico de Correntes de Fuga " de acordo com as reivindicações 1-9, caracterizado por um módulo de recepção óptica, que disponibiliza sinais elétricos de  
15 saída, que podem modular uma fonte óptica, para então realizar, para telemetria ainda mais remota, através de transmissão óptica sem fio.

FIGURAS

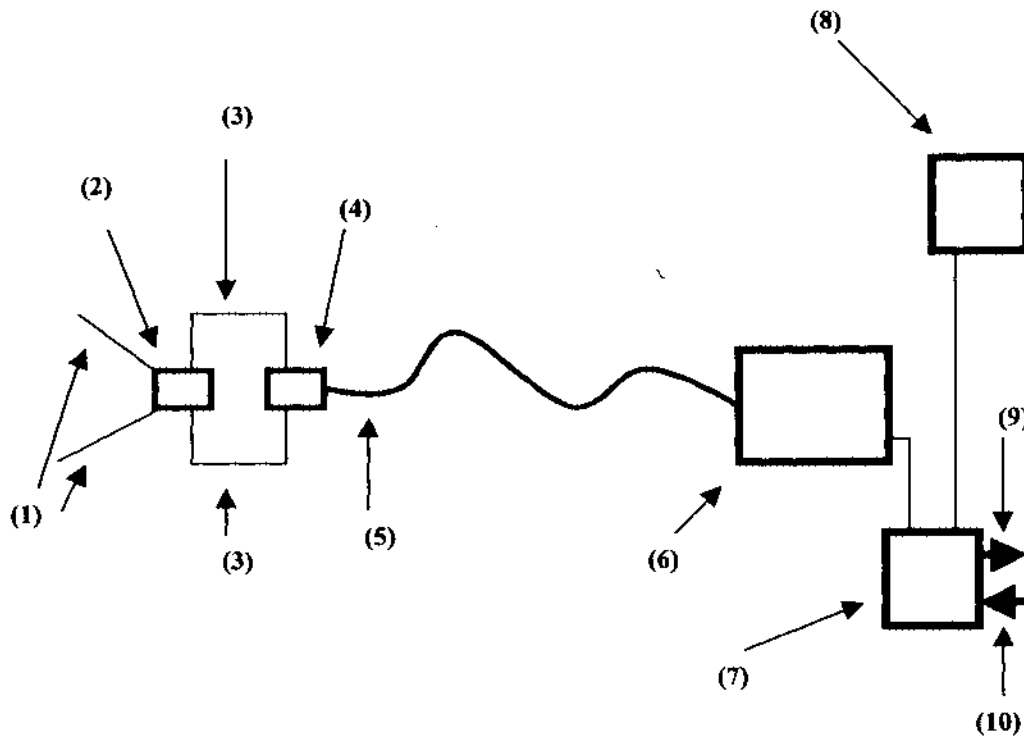


FIGURA 1

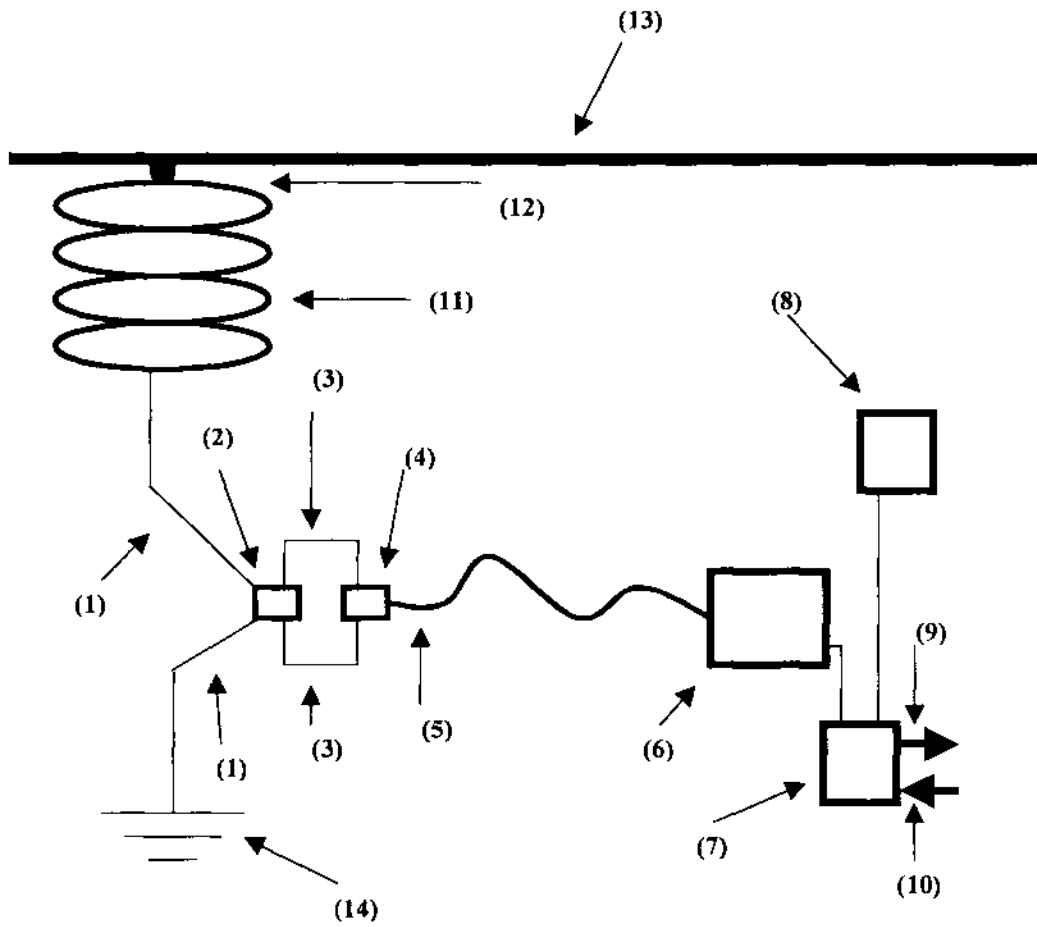


FIGURA 2

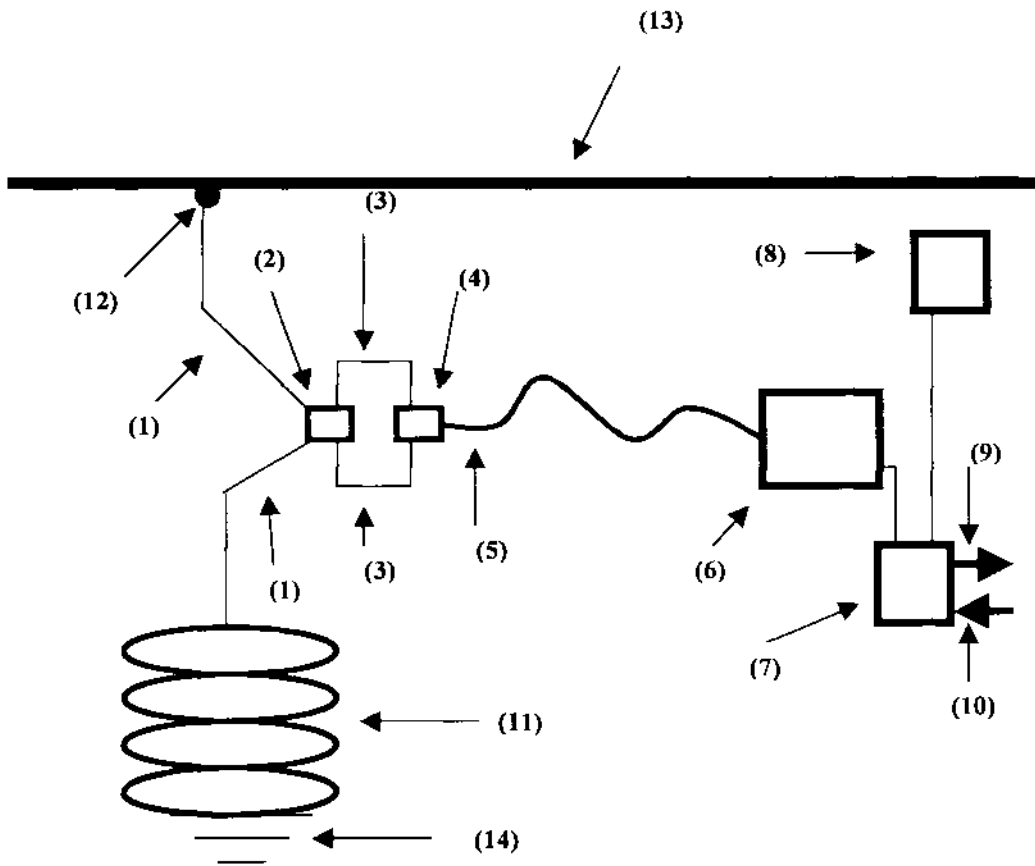


FIGURA 3

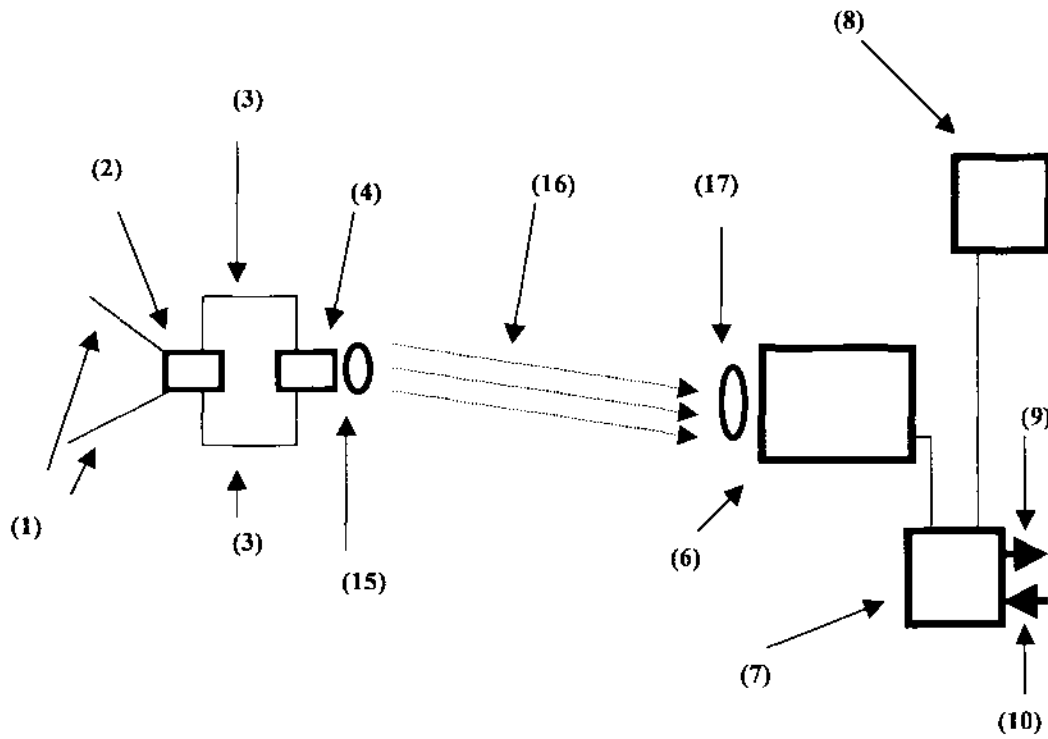


FIGURA 4



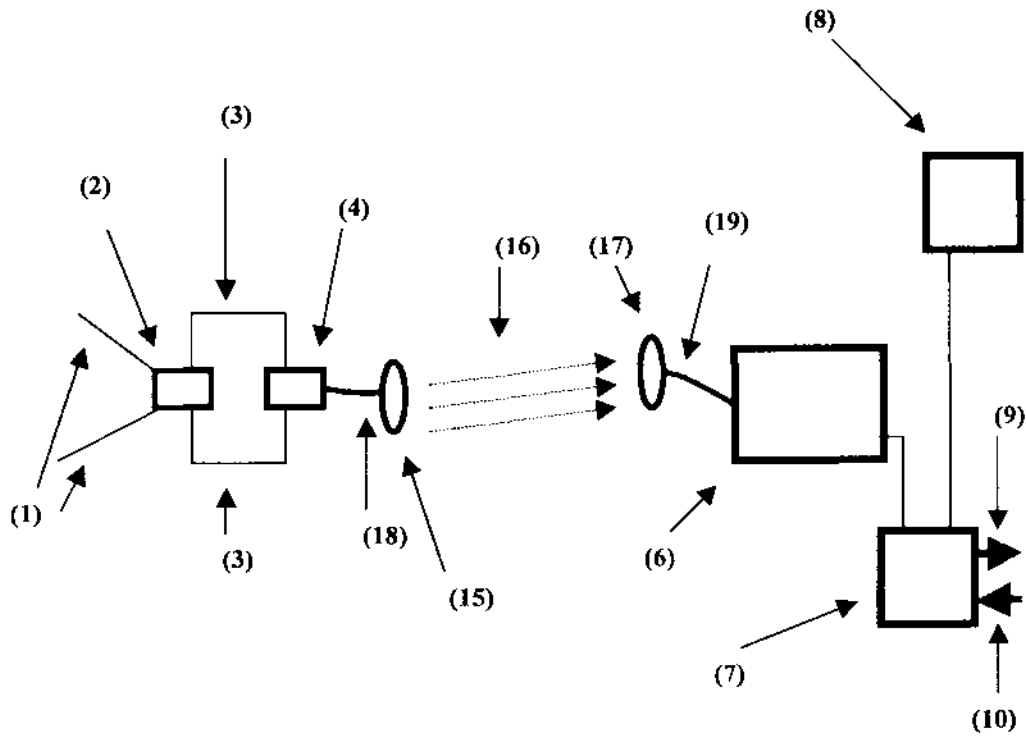


FIGURA 5

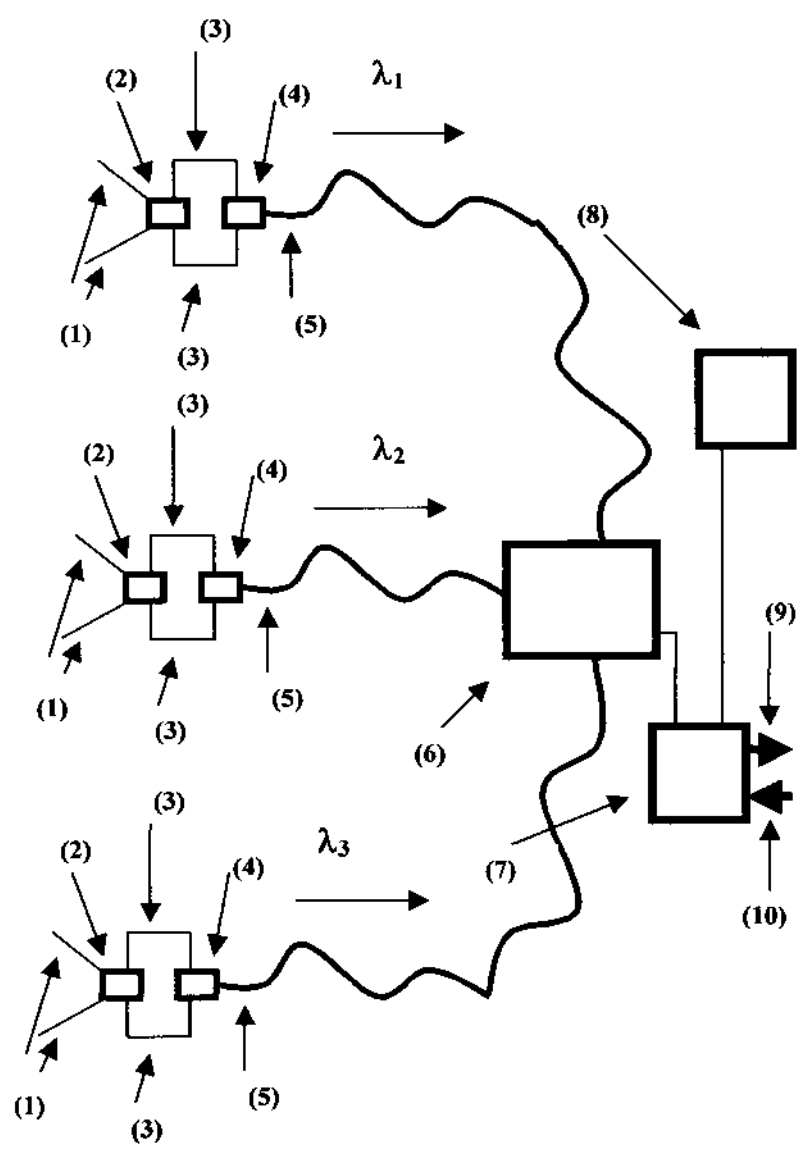


FIGURA 6

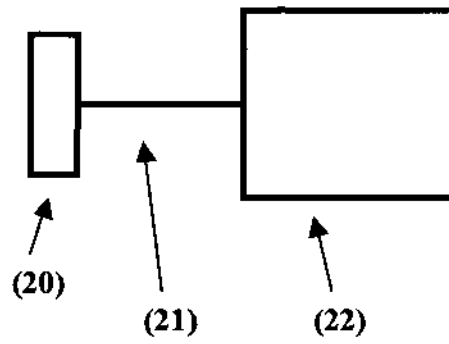


FIGURA 7

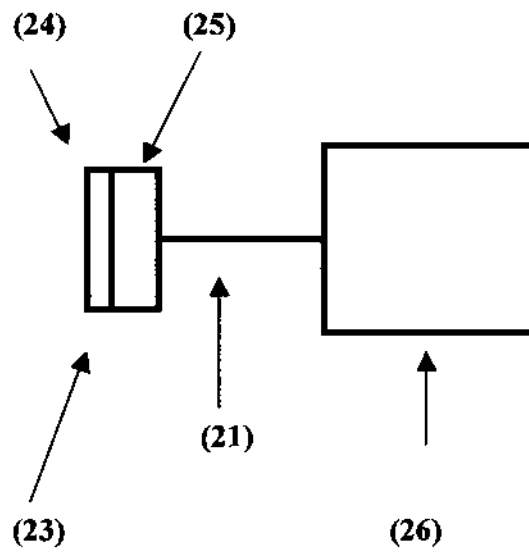


FIGURA 8

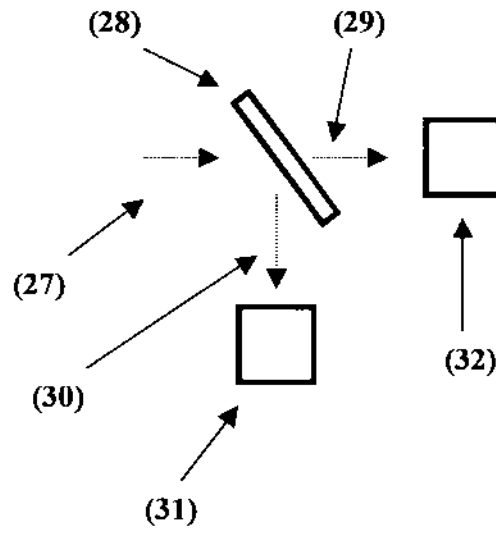


FIGURA 9

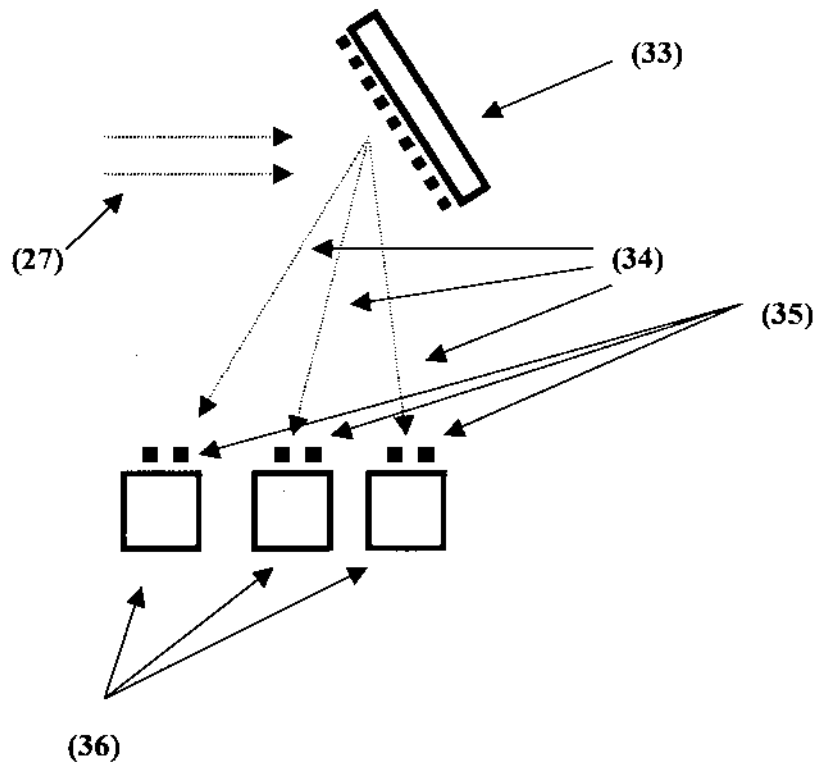


FIGURA 10

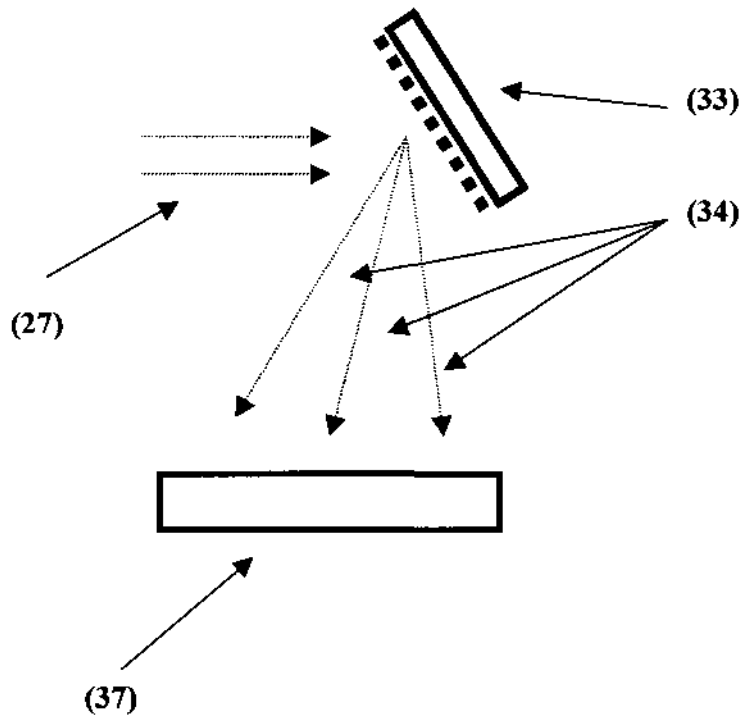


FIGURA 11

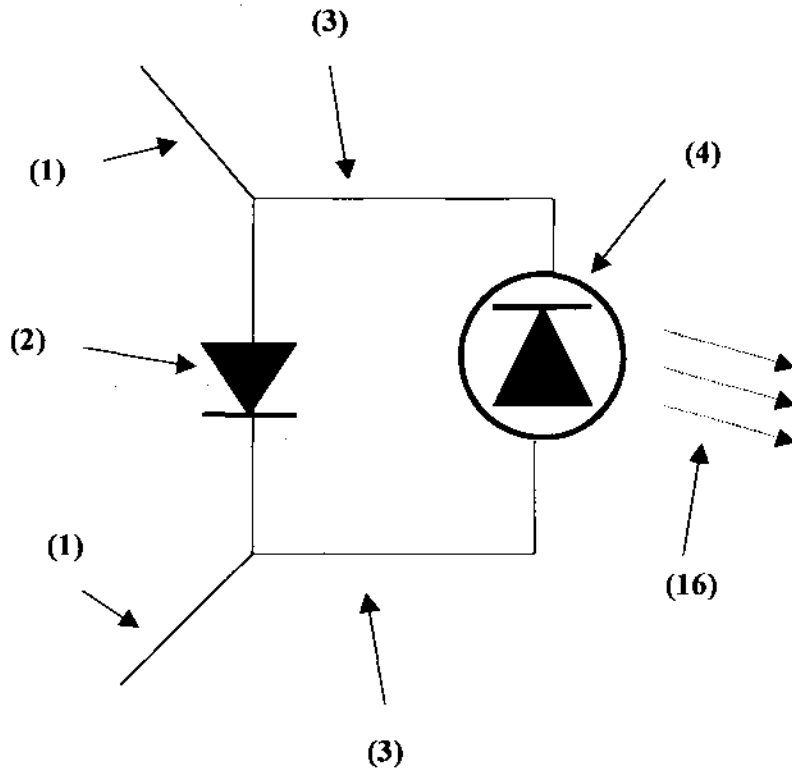


FIGURA 12

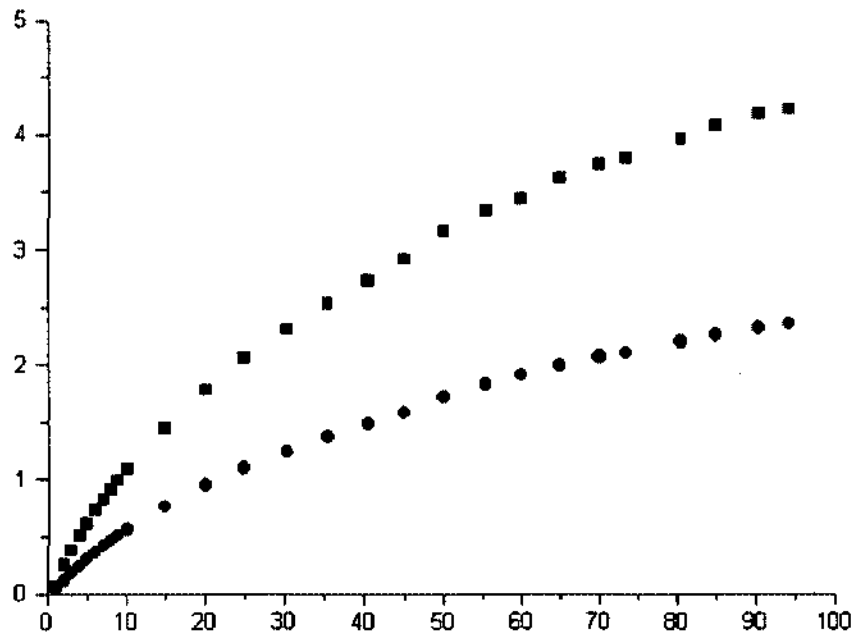


FIGURA 13

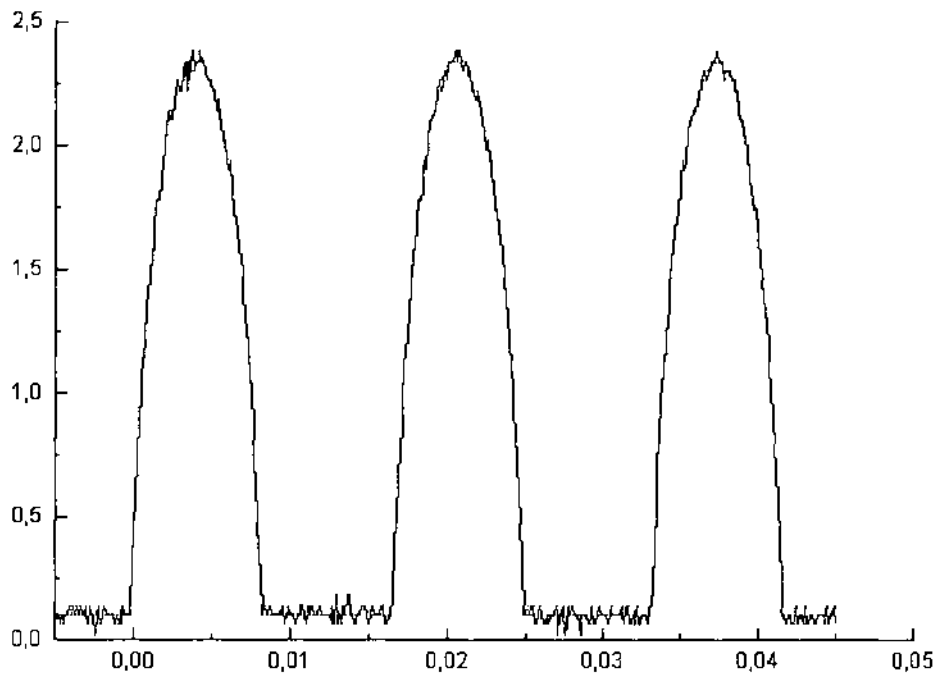


FIGURA 14



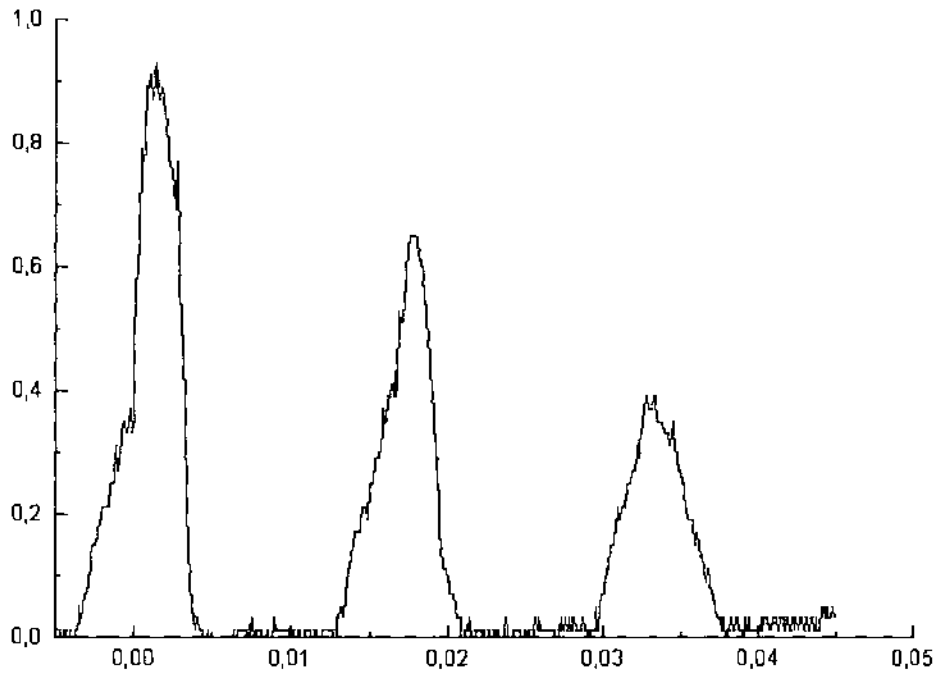


FIGURA 15a

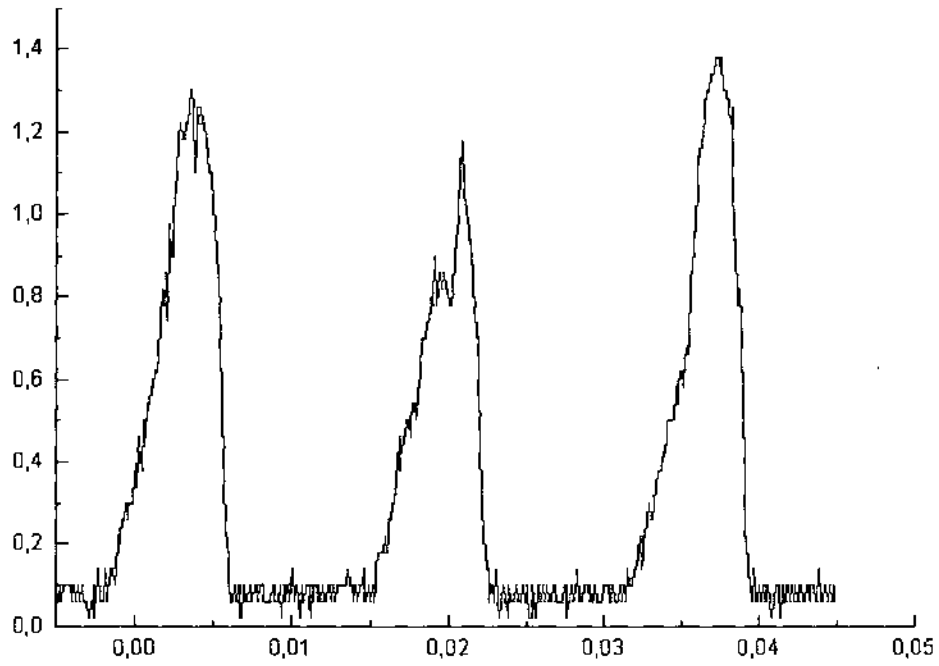


FIGURA 15b

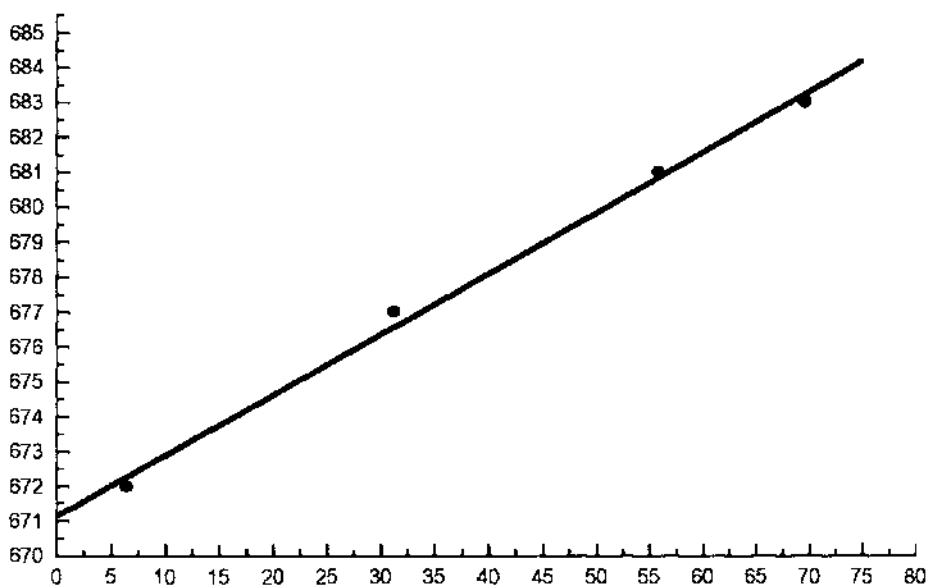


FIGURA 16

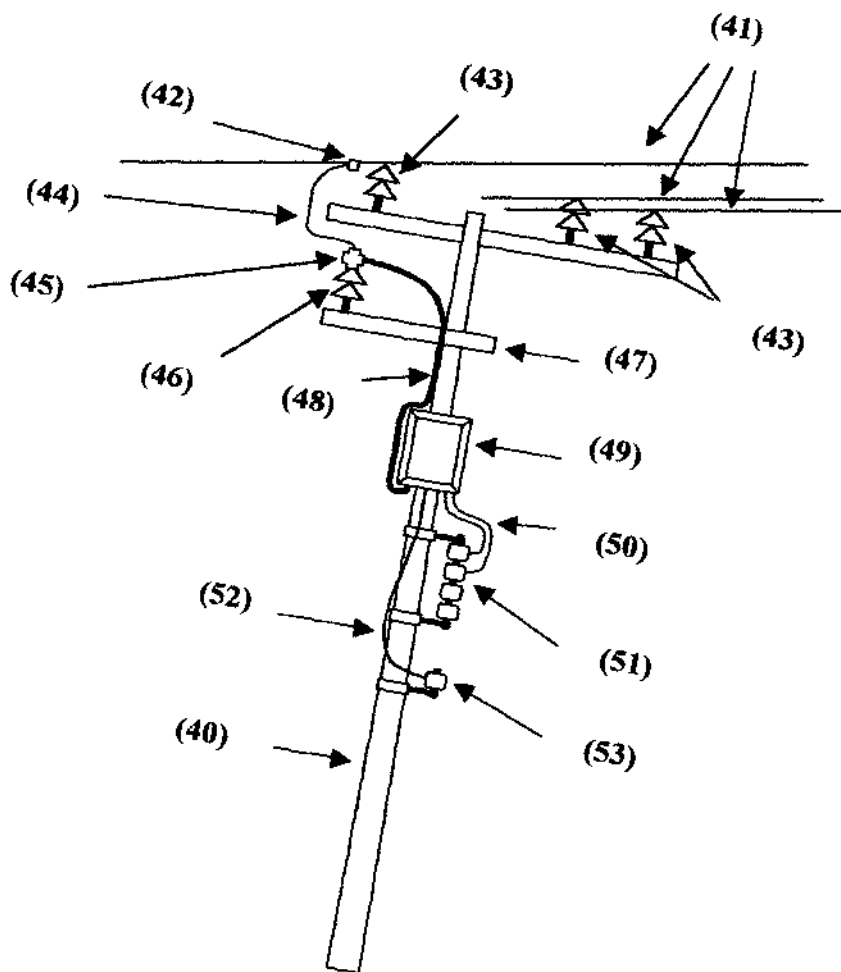


FIGURA 17

RESUMO

Patente de Invenção para "Sensor Optoeletrônico de Correntes de Fuga".

5 Refere-se a presente invenção, a um sensor de correntes de fuga baseado em tecnologia optoeletrônica onde os sinais de luz são codificados pelo acionamento (modulação) direto do mesurando sobre uma fonte óptica. Os sinais ópticos produzidos são transmitidos livremente e/ou por fibra óptica para o potencial de terra.

10 O sensor possui grande confiabilidade, sensibilidade, faixa dinâmica adequada, é imune à interferência eletromagnética, compacto, de baixo peso, pode ser estendido para sensoriamento multiponto, não necessita de energização in-situ e não é eletricamente ligado ao potencial de terra  
15 mantendo-se a isolação elétrica. Permite monitorar em tempo real o valor médio das correntes de fuga, assim como seu formato de onda instantâneo em dispositivos tais como isoladores, buchas, pára-raios e chaves, submetidos a  
20 diferentes tensões tais como, 13,8kV, 25,0kV, 34,5kV, 69kV, 138kV, 230kV, 345kV, 440kV, 500kV, 750kV e 800kV.