



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

(21) PI 1104420-9 A2



★ B R P I 1 1 0 4 4 2 0 A 2 ★

(22) Data de Depósito: 27/09/2011

(43) Data da Publicação: 13/08/2013  
(RPI 2223)

(51) Int.Cl.:

G01R 15/24

G01D 5/28

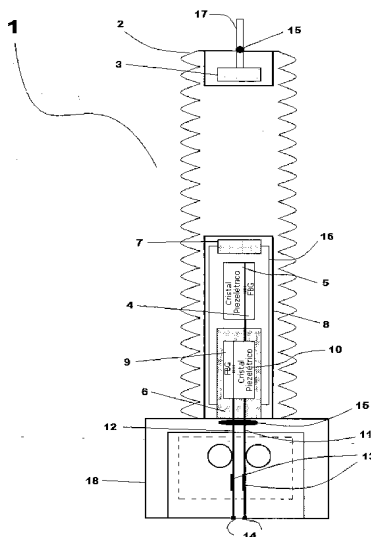
G02B 6/00

(54) **Título:** DISPOSITIVO SENSOR OPTICO COM DUPLA GRANDE DE BRAGG E SISTEMA OPTICO PARA MONITORAÇÃO DE TENSÃO ELETRICA QUE UTILIZA DITO DISPOSITIVO

(73) **Titular(es):** BANDEIRANTE ENERGIA S/A, FUNDAÇÃO CPQD

(72) **Inventor(es):** ALESSANDRO ROGÉRIO DOS SANTOS, Cláudio Antonio Hortencio, DANILO CESAR DINI, EDUARDO FERREIRA DA COSTA, FLÁVIO BORIN, FRANCISCO MANOEL PIRES NETO, ROGERIO MARQUES, ROGÉRIO LARA LEITE, ROGÉRIO LARA LEITE

(57) **Resumo:** DISPOSITIVO SENSOR ÓPTICO COM DUPLA GRADE DE BRAGG E SISTEMA ÓPTICO PARA MONOTIRAÇÃO DE TENSÃO ELÉTRICA QUE UTILIZA DITO DISPOSITIVO Utilizados para monitorar e medir diferentes faixas de tensão elétrica, tanto em linhas de transmissão (alta tensão) como em redes de distribuição (média tensão), e que são imunes aos efeitos da temperatura ambiente e aos efeitos de indução de correntes produzidas pelos campos eletromagnéticos existentes nas proximidades dos cabos da rede elétrica.



Relatório Descritivo da Patente de Invenção **Dispositivo Sensor Óptico com Dupla Grade de Bragg e Sistema Óptico para Monitoração de Tensão Elétrica que utiliza dito Dispositivo.**

**Campo de Aplicação:**

5           A presente invenção refere-se a um dispositivo sensor óptico com dupla grade de Bragg e a um sistema óptico que utiliza dito dispositivo para a monitoração da tensão elétrica em linhas de transmissão e redes de distribuição de energia elétrica.

**Descrição do Estado da Técnica:**

10           De um modo geral, as redes de transmissão e distribuição de energia elétrica estão sujeitas a frequentes variações de tensão, ocasionadas por falha ou degradação de isoladores, interrupções dos serviços devido a quedas de árvores sobre as rotas, tombamento de postes e torres de sustentação, dentre outros acidentes imprevistos.

15           Em face às ocorrências anteriormente citadas, um dos maiores problemas consiste na pronta detecção, localização, diagnóstico e reparo das falhas na malha de transmissão e distribuição de energia elétrica, problema que é agravado pela própria constituição da malha, onde as linhas de transmissão e distribuição passam, muitas vezes, por regiões remotas de difícil acesso,  
20           distantes das centrais de controle, situações que dificultam a monitoração, localização e reparo das falhas.

          Para resolver tais problemas são utilizados sistemas de telemetria, constituídos por sensores que monitoram a tensão em pontos estratégicos da rede de transmissão/distribuição, e enviam essas informações para os centros de  
25           controle, onde são processadas e avaliadas pelos operadores.

          Embora resolva as principais dificuldades de monitoração remota, a telemetria apresenta outros problemas, sendo um deles, o processo utilizado para coletar, medir e transmitir para a central de controle a tensão nas linhas de transmissão e distribuição, posto que os circuitos eletrônicos e fios metálicos  
30           utilizados para fazer a monitoração, além de estarem sujeitos a interferências

provocadas pelos campos eletromagnéticos existentes em torno das linhas, por serem constituídos de material condutor de energia elétrica, podem ainda, em alguns casos, funcionar como rota de fuga para a tensão das redes. Essas limitações levaram ao desenvolvimento de sensores galvanicamente  
5 desacoplados, baseados em tecnologia óptica e fibras ópticas, para coletar e transmitir os valores da tensão elétrica monitorada, posto que tanto o sinal óptico como as fibras ópticas são imunes à interferência dos campos elétricos e eletromagnéticos presentes em torno das linhas de transmissão e distribuição. Além disso, as fibras ópticas são constituídas de materiais isolantes não  
10 condutores de energia elétrica, característica que minimiza a possibilidade de rota de fuga para a energia elétrica.

Um dos sensores ópticos conhecidos é o Transdutor Óptico de Tensão, representado na **Figura 1**, cujo funcionamento se baseia na propriedade de alteração do tamanho e forma física de cristais piezelétricos  
15 submetidos a campos elétricos. Estas alterações são detectadas através da rotação de uma luz polarizada, por intermédio de uma fibra óptica enrolada no cristal. Esse fenômeno é conhecido como efeito Pockel, que é diretamente proporcional ao campo elétrico aplicado ao cristal.

Embora o Transdutor Óptico de Tensão apresente a vantagem de  
20 ser galvanicamente desacoplado, em consequência da coleta e transporte das informações serem efetuados por meios ópticos, apresenta como inconvenientes um alto custo de produção e a utilização de tecnologia complexa e de grande precisão.

A tecnologia de fibras ópticas permitiu o advento de novos  
25 sensores a fibra óptica com grade de Bragg (FBG, *Fiber Bragg Grating*), tal qual ilustrado na **Figura 2**, que corresponde a uma fibra óptica cujo núcleo apresenta um agrupamento de "defeitos periódicos" (grade de Bragg) com certo período  $\Lambda$ . Quando recebe um sinal  $S$  de espectro largo, essa grade de Bragg tem a propriedade de refletir de volta o sinal  $S'$  cujo comprimento de onda  $\lambda$  esteja casado com a sua estrutura, transmitindo os demais comprimentos de onda  
30 contidos no sinal resultante  $S''$ . Alterando-se o período  $\Lambda$ , altera-se também o

comprimento de onda refletido  $\lambda$ . Essa modificação no comprimento de onda pode então ser utilizada como princípio de medição para muitos parâmetros, como tensão elétrica, tensão mecânica ou força, deslocamento, temperatura, etc.

5 O estado da técnica apresenta sensores com FBG para as mais diversas aplicações, como pode ser observado nos documentos de patente US2006146909 (sensor de temperatura), US2006139652 (sensor de vibrações sísmicas), WO0114843 (sensor de pressão) e EP1179727 (sensor de pressão e densidade), entre outros.

10 Dentre muitos outros mensurandos quantificáveis por esta técnica, devido à sua natureza dielétrica que permite menor sensibilidade aos efeitos de interferência eletromagnética (EMI, *electromagnetic interference*), o sensor com FBG pode monitorar campos elétricos, sendo que, neste tipo de aplicação, as FBGs são fixadas a um corpo de material piezelétrico (sensível ao campo  
15 elétrico), de modo que qualquer alteração dimensional do corpo submetido a este campo elétrico provoque uma deformação na FBG, que consequentemente resulta em uma variação no comprimento de onda do sinal óptico refletido pela FBG e torna possível a mensuração de tal campo elétrico.

Um sensor com FBG que utiliza as propriedades dos materiais piezelétricos, representado na **Figura 3** é ensinado no documento de patente  
20 DE19902279. Através do dispositivo e do processo apresentados, é realizada a medição óptica do campo elétrico entre uma fase e o terminal terra ou em cada fase, a partir de um elemento sensor de material piezelétrico, fixado a uma fibra óptica com pelo menos uma grade de Bragg. Em função do campo elétrico a que  
25 está submetido, o material piezelétrico apresenta variações dimensionais, que consequentemente alteram também a dimensão da FBG. Essa alteração na dimensão da FBG faz com que o comprimento de onda do sinal de luz refletido seja modificado. A detecção e avaliação deste comprimento de onda alterado permitem, portanto, quantificar o campo elétrico ao qual está submetido o  
30 elemento sensor.

Embora mencione a possibilidade de utilizar grades de Bragg adicionais para detecção de outros parâmetros além do campo elétrico como, por exemplo, a temperatura, o documento de patente DE19902279 não revela e nem ensina como fazê-lo.

5 De fato, os sensores sofrem variações de outros parâmetros, dentre os quais se podem destacar particularmente a temperatura. Pesquisas têm sido propostas com o objetivo de obter alternativas para distinguir os efeitos procedentes de diferentes parâmetros em um sensor.

O artigo "*Multipoint temperature-independent fiber-Bragg-grating strain-sensing system employing an optical-power-detection scheme*", de Chiang  
10 et al, Applied Optics, Vol. 41, nº 9, March 2002, págs. 1661-1667, apresenta um sistema para medição de tensão mecânica (ou força) capaz de neutralizar a influência da temperatura sobre o sensor. Este sensor compreende duas FBGs em duas fibras diferentes, mas com espectros de reflexão idênticos ou  
15 levemente sobrepostos. No entanto, o artigo não ensina e nem apresenta detalhes sobre como seria a disposição construtiva do referido sensor.

### **Objetivos da Invenção:**

Em vista do acima exposto, é objetivo da presente invenção prover um dispositivo sensor óptico e um sistema para medir e monitorar diferentes  
20 faixas de tensão elétrica, tanto em linhas de transmissão (alta tensão) como em redes de distribuição (média tensão), que sejam imunes aos efeitos da temperatura ambiente e aos efeitos de indução de correntes produzidas pelos campos eletromagnéticos existentes nas proximidades dos cabos da rede elétrica.

### **Descrição Simplificada da Invenção:**

Os objetivos propostos são alcançados através do **Dispositivo Sensor Óptico com Dupla Grade de Bragg (1)**, compreendendo duas FBGs (4 e 9) fixadas a materiais piezelétricos idênticos (5 e 10), sendo a primeira FBG (4) e o material piezelétrico (5) acondicionados em uma cápsula de proteção (8)  
30 e submetidos aos efeitos de um campo elétrico pelo fato do eixo de deformação

do material piezelétrico (5) ser orientado perpendicularmente entre um eletrodo terra (6) e um eletrodo fixo (7), que está paralelamente distante a um eletrodo móvel (3), que por sua vez se encontra fora da cápsula de proteção (8) e está ligado à rede elétrica através de um terminal de conexão (17), e sendo a  
 5 segunda FBG (9) e o material piezelétrico (10) ambos alojados internamente ao eletrodo terra (6) para prover isolamento em relação ao campo elétrico e perceber apenas a temperatura interna do dito dispositivo sensor óptico (1).

Os objetivos propostos são igualmente atingidos através do  
**Sistema Óptico para Monitoração de Tensão Elétrica que utiliza dito**

10 **Dispositivo** (100), que compreende um laser (101), um *splitter* (102), dois circuladores ópticos (103a e 103b), um dispositivo sensor óptico com dupla grade de Bragg (1), um circuito de controle (104), um conversor óptico-elétrico (105), um conversor analógico-digital (106), um microcontrolador (107) e um microcomputador (108), sendo que o laser (101) emite uma luz (L), que é  
 15 dividida pelo *splitter* (102) em duas partes iguais (a e b) direcionadas pelos circuladores ópticos (103a e 103b) respectivamente para a FBG (4) e para a FBG (9) do dito dispositivo (1), gerando a reflexão dos sinais de luz (a' e b') que são redirecionadas pelos circuladores ópticos (103a e 103b) respectivamente para o conversor óptico eletrônico (105) e para o circuito de controle (104).

#### 20 **Descrição das Figuras:**

A invenção será mais bem compreendida a partir da descrição detalhada das figuras que a ela se referem, das quais:

A Figura 1 representa um sensor conhecido como Transdutor Óptico de Tensão da técnica anterior.

25 A Figura 2 representa o funcionamento da fibra óptica com grade de Bragg do estado da técnica.

A Figura 3 representa um sensor à fibra óptica com grade de Bragg da técnica anterior.

A Figura 4 representa uma das possíveis concepções do dispositivo sensor óptico para monitoração da tensão elétrica em redes de transmissão e distribuição de energia elétrica, objeto da presente invenção.

5 A Figura 5 representa o princípio de funcionamento do dispositivo sensor óptico proposto, mostrando a variação da amplitude do sinal óptico refletido com a Grade de Bragg comprimida, relaxada e estendida.

A Figura 6 ilustra o uso do dispositivo sensor óptico proposto em um sistema para medição de tensão elétrica, também objeto da presente patente de invenção.

10 A Figura 7 apresenta os detalhes do circuito eletrônico de controle que executa o controle e estabilização da temperatura do laser, usado pelo sistema para medição de tensão elétrica proposto.

#### **Descrição Detalhada da Invenção:**

Conforme a **Figura 4**, em uma das construções possíveis para o  
15 **Dispositivo Sensor Óptico com Dupla Grade de Bragg (1)**, objeto da presente invenção, um sensor de campo elétrico (16) é montado dentro de uma bucha isoladora (2), adequadamente acoplada a uma base de fixação (18).

Na base de fixação (18) são acomodadas as emendas (13) das fibras ópticas (11 e 12) da FBG (4) e da FBG (9), juntamente com as fibras  
20 ópticas que realizam a comunicação com um sistema externo, através de conectores ópticos (14).

A isolação interna da bucha (2), dependendo da classe ou da faixa de aplicação, pode ser realizada com ar isento de umidade, óleo ou gases isolantes, como por exemplo, o SF<sub>6</sub> (hexafluoreto de enxofre), dentre outros, ou  
25 pelo próprio material da bucha isoladora (2). Utilizam-se meios e dispositivos para garantir a manutenção da integridade do ambiente interno da bucha (2). Além disso, são montados sistemas auxiliares para vedação, tais como anéis vedantes (15), instalados nas extremidades da bucha (2) para evitar interferências indesejáveis do ambiente externo.

O sensor de campo elétrico (16) é constituído externamente por uma cápsula de proteção de material isolante (8), com eletrodos instalados nas suas extremidades, sendo um eletrodo fixo (7) direcionado para um eletrodo móvel (3) acoplado ao terminal de conexão (17) com o potencial de fase, e o eletrodo terra (6) conectado ao potencial de terra. Em seu interior, entre os eletrodos (6) e (7), o sensor de campo elétrico (16) é composto por uma FBG (4), fixada paralelamente a um dos eixos de deformação de um material piezelétrico (5), elemento sensível ao campo elétrico, preferencialmente um cristal piezelétrico de niobato de lítio ( $\text{LiNbO}_3$ ). Este conjunto (4 e 5) está submetido aos efeitos de um campo elétrico, pelo fato do eixo de deformação do material piezelétrico (5) ser orientado perpendicularmente entre o eletrodo terra (6) e o eletrodo fixo (7), que está paralelamente distante ao eletrodo móvel (3), que por sua vez se encontra fora da cápsula de proteção (8) e está ligado à rede elétrica através de um cabo de ligação via terminal de conexão (17).

A variação da tensão elétrica, aplicada ao eletrodo móvel (3) através da conexão (17), gera proporcionalmente uma variação do campo elétrico alternado. Esta variação do campo elétrico causa deformações mecânicas no material piezelétrico (5), que conseqüentemente altera também as dimensões da FBG (4) fixada a tal material piezelétrico (5). Ao aplicar uma luz via fibra óptica (11) à dita FBG (4), observa-se então uma alteração em seu comprimento de onda  $\lambda_4$  refletido, em função da tensão aplicada ao sensor de campo elétrico.

A tensão elétrica aplicada ao sensor de campo elétrico (16) pode ser alta, média ou baixa e é definida em função da intensidade e da densidade do campo elétrico aplicado. A intensidade e a densidade do campo elétrico são determinadas pela área dos eletrodos (3, 6 e 7) e pelas distâncias entre eles (3, 6 e 7). Essas medidas de área e distância dos eletrodos (3, 6 e 7) podem ser ajustadas conforme as necessidades de projeto e aplicação do dispositivo sensor óptico (1) proposto, adaptando-o assim para tensão elétrica baixa, média ou alta.

Para eliminar os efeitos indesejáveis da temperatura sobre o sensor de campo elétrico (16), uma das possíveis soluções é a montagem de um sensor



de temperatura, com construção idêntica ao sensor de campo elétrico (16), utilizando-se para isso uma segunda FBG (9) e um material piezelétrico (10), idêntico ao material piezelétrico (5) do sensor de campo elétrico (16). O referido sensor de temperatura (conjunto 9 e 10) está alojado internamente ao eletrodo terra (6) para prover isolamento em relação ao campo elétrico e perceber apenas a temperatura interna do dispositivo sensor óptico (1) proposto.

A partir do sensor de temperatura, composto pela segunda FBG (9) e pelo cristal piezelétrico (10), pelo menos duas soluções para eliminar os efeitos da temperatura sobre o sensor de campo elétrico são possíveis.

Na primeira solução, a segunda FBG (9) pode ser utilizada para implementar o uso da técnica descrita no já citado artigo "*Multipoint temperature-independent fiber-Bragg-grating strain-sensing system employing an optical-power-detection scheme*", de Chiang et al, APPLIED OPTICS, Vol. 41, nº 9, March 2002, págs. 1661-1667.

Já na segunda solução, a segunda FBG (9) é utilizada para realimentar um circuito de controle que corrige a sintonia do comprimento de onda de operação do laser no ponto ideal, na derivada do espectro de reflexão da FBG (4) do sensor de campo elétrico, em função da temperatura do dispositivo sensor óptico, conforme exemplificado na **Figura 5**. Nos gráficos da **Figura 5**, o eixo y representa a potência refletida (em dBm) e o eixo x representa o comprimento de onda do laser (em nm). Por exemplo, a **Figura 5 (a)** apresenta a curva de resposta da FBG (4) submetido a uma temperatura ambiente no padrão de operação do laser, de modo que a FBG (4) se encontra em condições mecânicas normais (nem dilatada e nem contraída). Conforme observado na **Figura 5 (b)**, caso haja aumento da temperatura ambiente, a FBG (4) se dilata e a sua curva de resposta se desloca (para direita no eixo x), resultando em diminuição da potência refletida. Conforme observado na **Figura 5 (c)**, caso haja diminuição da temperatura ambiente, a FBG (4) se contrai e a sua curva de resposta se desloca (para esquerda no eixo x), resultando em aumento da potência refletida. Desse modo, a informação de variação de temperatura enviada pela FBG (9) – que está no mesmo ambiente térmico da

FBG (4) – pode ser usada pelo circuito de controle para ajustar a sintonia do comprimento de onda do laser no ponto ideal, corrigindo as eventuais alterações no sinal refletido pela FBG (4). A atuação do circuito de controle para realizar esse ajuste será descrita detalhadamente mais adiante.

5                   Embora tenha sido exemplificada a sintonia da luz laser na derivada positiva da curva do sinal refletido pela FBG (4), deve-se entender que analogamente é possível fazer a sintonia na derivada negativa, caso em que o aumento de temperatura gera aumento da potência refletida e a diminuição de temperatura gera diminuição da potência refletida (ao contrário do observado no  
10 caso da sintonia na derivada positiva).

Para melhor compreender o funcionamento do dispositivo sensor óptico (1) acima proposto, será descrita a seguir sua utilização em um sistema óptico para monitoração de tensão elétrica, também objeto da presente invenção.

15                   **O Sistema Óptico para Monitoração de Tensão Elétrica que utiliza dito Dispositivo (100)**, conforme **Figura 6**, compreende um laser DFB (101) que emite um sinal de luz (L), que é dividido através de um *splitter* (102) – divisor óptico 50/50 – para que possa iluminar com o mesmo comprimento de onda as duas FBGs (4 e 9) do dispositivo sensor óptico (1).

20                   Uma primeira parte do sinal de luz dividido (a) entra no circulador óptico (103a) pela porta (p1) e sai pela porta (p2) em direção ao dispositivo sensor óptico, até atingir a primeira FBG (4) do dispositivo sensor óptico (1), que está submetida a um campo elétrico. Caso haja uma variação desse campo elétrico, proporcional à variação da tensão elétrica alternada (AC) que se deseja  
25 medir, o material piezelétrico (5) sofrerá deformações mecânicas, que consequentemente vão alterar também as dimensões da primeira FBG (4) fixada a este material piezelétrico (5). Portanto, a dita primeira FBG (4) mudará o comprimento de onda  $\lambda_4$  do seu sinal de luz refletido (a'), em função do campo elétrico ao qual o sensor está submetido, e dessa forma é possível medir a  
30 tensão elétrica nele aplicada. Entretanto, é preciso eliminar os efeitos indesejáveis da temperatura sobre o sensor de tensão elétrica, que geram

perturbações (erros) na medição do valor real da tensão elétrica. Ou seja, sem a devida compensação térmica, o sinal de luz refletido (a') teria um comprimento de onda  $\lambda_4$  influenciado não apenas pelo campo elétrico, mas também pela temperatura, que altera as dimensões do material piezelétrico (5) e da FBG (4).

5 Este problema é resolvido conforme a descrição a seguir.

Paralelamente ao sinal de luz (a), também é enviado um sinal de luz (b), oriundo da divisão de luz feita pelo *splitter* (102). Esta segunda parte do sinal de luz dividido (b) entra no circulador óptico (103b) pela porta (p4) e sai pela porta (p5) em direção ao dispositivo sensor óptico (1), até atingir a segunda  
10 FBG (9) do sensor de temperatura, que está submetido ao mesmo ambiente térmico da primeira FBG (4) do sensor de tensão. Ou seja, a temperatura é igual nas duas FBGs (4 e 9). Caso haja uma variação de temperatura, o material piezelétrico (10) sofrerá deformações mecânicas, que consequentemente vão alterar também as dimensões da segunda FBG (9) fixada a este material  
15 piezelétrico (10). Portanto, a dita segunda FBG (9) mudará o comprimento de onda  $\lambda_9$  do seu sinal de luz refletido (b'), em função da variação de temperatura.

O sinal de luz (b') é refletido, via fibra óptica (12), até entrar no circulador óptico (103b) pela porta (p5) e sair pela porta (p6) em direção a um circuito de controle (104), que realiza o controle e a estabilização da temperatura  
20 do ponto de operação do laser (101).

No circuito de controle (104), conforme detalhado na **Figura 7**, o sinal de luz (b') refletido pela FBG (9) do sensor de temperatura é convertido em sinal elétrico pelo conversor óptico-elétrico (1041), composto por um amplificador transimpedância DC e um filtro passa-baixa, obtém-se na saída do  
25 dito filtro um sinal elétrico DC (corrente contínua), que depende da curva de transferência da FBG (9) do sensor de temperatura e do comprimento de onda  $\lambda$  do sinal de luz (b). O sinal elétrico DC gerado, chamado  $V_{\text{controle}}$ , é aplicado a um amplificador de erro (1042), que verifica a diferença entre os valores de tensão  $V_{\text{controle}}$  e  $V_{\text{REF}}$ , que é a tensão de referência (1043) para operação ótima  
30 (desejada) do laser. Se a diferença for igual a 0, isto é  $V_{\text{controle}} = V_{\text{REF}}$ , significa que as duas FBGs (4) e (9) estão operando no mesmo ponto quiescente ótimo,

com o comprimento de onda desejado. Portanto, nesse caso, o laser não precisa ser ajustado.

Porém, caso haja alguma variação de temperatura, tanto a FBG (9) do sensor de temperatura quanto a FBG (4) do sensor de tensão irão dilatar ou encolher, mudando a sua função de transferência e alterando o valor da potência óptica por elas refletida.

Assim, o sinal de luz (b') refletido pela FBG (9) do sensor de temperatura gerará, na saída do conversor óptico-elétrico (1041), um sinal  $V_{\text{controle}}$  diferente de  $V_{\text{REF}}$ , indicando que a FBG (9) não está mais na posição ótima de polarização. Nesse caso, o amplificador de erro (1042) envia a diferença para o driver do *peltier* (1044), que vai enviar mais ou menos corrente elétrica para o TEC (*Thermo Electric Cooler*), também conhecido como *peltier*. O TEC vai então aquecer ou resfriar a temperatura de junção do laser (101), até que o comprimento de onda da saída do laser (101) esteja sintonizado com o comprimento de onda  $\lambda_9$  que faz com que o sinal óptico (b') refletido pela FBG (9) do sensor de temperatura gere uma tensão  $V_{\text{controle}}$  igual a  $V_{\text{REF}}$ , garantindo a perfeita sintonia entre o comprimento de onda do laser e as duas FBGs no ponto de operação desejado. Sempre que  $V_{\text{controle}}$  for igual a  $V_{\text{REF}}$ , significa que a eventual variação térmica e as conseqüentes variações dimensionais das FBGs estão compensadas, isto é, foi eliminado o erro ou perturbação provocado pelo efeito térmico durante a medição.

Com o tempo, a potência óptica de saída do laser (101) pode diminuir devido a sua degradação, o que afetaria os sinais de luz (a' e b') refletidos pelas FBGs (4 e 9) dos sensores de tensão e de temperatura. Isso provocaria novos erros de medidas. Para manter a potência óptica de saída do laser (101) constante, foi incluído um controle da potência óptica (1045), cuja função é detectar essa diminuição de potência óptica e aumentar a corrente elétrica de polarização do laser (101), até que a potência óptica de saída seja estabilizada no valor desejado.

Assim, após os ajustes do laser (101), as duas FBGs (4 e 9) vão operar no ponto ótimo de polarização, com o comprimento de onda sintonizado.

Dessa forma, como o sinal de luz (L) emitido pelo laser (101) é igualmente dividido (50/50) pelo *splitter* (102) – sinais de luz (a) e (b), respectivamente para as duas FBGs (4) e (9) –, a FBG (4) do sensor de tensão elétrica refletirá o sinal de luz (a'), com um comprimento de onda  $\lambda_4$  em função da tensão elétrica, mas sem a influência térmica (que foi compensada pelo ajuste no laser).

O dito sinal de luz (a') é refletido via fibra óptica (11) até entrar no circulador óptico (103a) pela porta (p2) e sair pela porta (p3) em direção ao conversor óptico-elétrico (105). O conversor óptico-elétrico (105) converte o sinal de luz refletido (a') em um sinal elétrico, cuja amplitude de saída contém a informação do parâmetro físico sensoriado (nesse caso, a tensão elétrica). Tal sinal elétrico é encaminhado para um conversor analógico-digital (106), que o transforma em sinal digital, que por sua vez é enviado para um microcontrolador (107). O microcontrolador (107) realiza o processamento e a filtragem do sinal, disponibilizando-o para um microcomputador (108), onde são realizados cálculos para determinar o valor médio, valor RMS (*Root Mean Square*, ou Valor Quadrático Médio, ou Valor Eficaz) e valor máximo (de pico) da forma de onda medida (no caso, a tensão elétrica). Esses dados então podem ser transmitidos a um sistema central de monitoração, que pode estar conectado a uma pluralidade de sistemas remotos, e desse modo é capaz de monitorar diversos pontos de uma rede de distribuição e transmissão de energia elétrica.

O presente sistema (100) também permite monitorar outros parâmetros físicos além da tensão elétrica, bastando para isso substituir o dispositivo sensor óptico (1) por um outro sensor que também tenha duas FBGs.

Embora a representação do sistema (100) proposto para detectar a alteração do comprimento de onda  $\lambda_4$  refletido tenha considerado apenas a sintonia do comprimento de onda  $\lambda$  do laser (101) na derivada positiva da curva de resposta da FBG (4) do sensor de campo elétrico, também é possível ajustar o comprimento de onda  $\lambda$  do laser (101) para operar na derivada negativa da curva de resposta da FBG (4). Nesse caso, como a potência refletida inverte em relação ao caso da derivada positiva, os comandos de controle do TEC (resfriar ou aquecer a junção do laser) também devem ser invertidos.

Embora na concepção preferencial seja usado o niobato de lítio ( $\text{LiNbO}_3$ ) como material piezelétrico (5 e 10), este pode ser substituído por tantalato de lítio ( $\text{LiTaO}_3$ ) ou outros, desde que seja mantida a propriedade de deformação mecânica do material quando submetido a um campo elétrico, gerando uma alteração dimensional na respectiva FBG (4 e 9), que consequentemente resulta em uma variação no comprimento de onda do sinal óptico refletido. Além disso, embora a cápsula de proteção (8) seja preferencialmente de material plástico, também podem ser usados materiais como vidro ou cerâmica.

- 10            Apesar da invenção ter sido descrita em conexão com certas modalidades preferenciais de realização, deve ser entendido que não se pretende limitar a invenção àquelas modalidades particulares. Ao contrário, pretende-se cobrir todas as alternativas, modificações e equivalentes possíveis dentro do espírito e do escopo da invenção.

## REIVINDICAÇÕES

1 – Dispositivo Sensor Óptico com Dupla Grade de Bragg (1) **caracterizado por** compreender duas FBGs (4 e 9) fixadas a materiais piezelétricos idênticos (5 e 10), sendo a primeira FBG (4) e o material piezelétrico (5) acondicionados em uma cápsula de proteção (8) e submetidos aos efeitos de um campo elétrico, pelo fato do eixo de deformação do material piezelétrico (5) ser orientado perpendicularmente entre um eletrodo terra (6) e um eletrodo fixo (7), que está paralelamente distante a um eletrodo móvel (3), que por sua vez se encontra fora da cápsula de proteção (8) e está ligado à rede elétrica através de um terminal de conexão (17), e sendo a segunda FBG (9) e o material piezelétrico (10) ambos alojados internamente ao eletrodo terra (6) para prover isolamento em relação ao campo elétrico e perceber apenas a temperatura interna do dito dispositivo sensor óptico (1).

2 – Dispositivo Sensor Óptico com Dupla Grade de Bragg (1), conforme reivindicação 1, **caracterizado pela** dita bucha isoladora (2) prover isolamento interna através de ar isento de umidade, óleo ou gases isolantes, como por exemplo, o SF<sub>6</sub> (hexafluoreto de enxofre), dentre outros, ou pelo próprio material da bucha isoladora (2), além do uso de dispositivos auxiliares para vedação, tais como anéis vedantes (15), instalados nas extremidades da bucha (2) para evitar interferências indesejáveis do ambiente externo.

3 – Dispositivo Sensor Óptico com Dupla Grade de Bragg (1), conforme reivindicação 1, **caracterizado pela** dita base de fixação (18) acomodar emendas (13) de fibras ópticas (11 e 12) da FBG (4) e da FBG (9), juntamente com as fibras ópticas que realizam a comunicação com um sistema externo, através de conectores ópticos (14).

4 – Dispositivo Sensor Óptico com Dupla Grade de Bragg (1), conforme reivindicação 1, **caracterizado por** permitir a medição de tensão elétrica baixa, média ou alta, de acordo com a intensidade e a densidade do

campo elétrico aplicado, que são determinadas e ajustadas pela área dos eletrodos (3, 6 e 7) e pelas distâncias entre eles (3, 6 e 7).

5        5 – Sistema Óptico para Monitoração de Tensão Elétrica que utiliza  
 dito Dispositivo (100) **caracterizado por** compreender um laser (101), um  
 5        *splitter* (102), dois circuladores ópticos (103a e 103b), um dispositivo sensor  
 óptico com dupla grade de Bragg (1), um circuito de controle (104), um  
 conversor óptico-elétrico (105), um conversor analógico-digital (106), um  
 microcontrolador (107) e um microcomputador (108), sendo que o laser (101)  
 emite uma luz (L), que é dividida pelo *splitter* (102) em duas partes iguais (a e  
 10        b) direcionadas pelos circuladores ópticos (103a e 103b) respectivamente para a  
 FBG (4) e para a FBG (9) do dito dispositivo (1), gerando a reflexão dos sinais de  
 luz (a' e b') que são redirecionadas pelos circuladores ópticos (103a e 103b)  
 respectivamente para o conversor óptico eletrônico (105) e para o circuito de  
 controle (104).

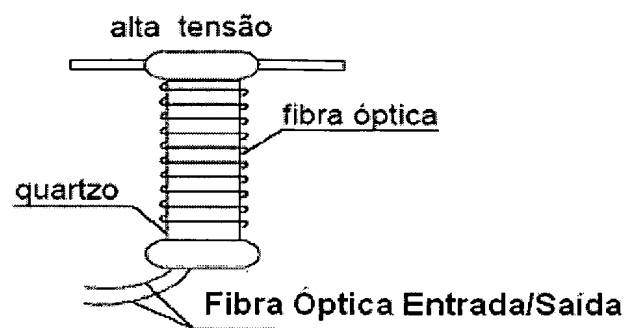
15        6 - Sistema Óptico para Monitoração de Tensão Elétrica que utiliza  
 dito Dispositivo (100), conforme reivindicação 5, **caracterizado pelo** dito sinal  
 de luz (a) ser direcionado pelo circulador óptico (103a) ao dispositivo sensor  
 óptico (1) até atingir a FBG (4), submetida a variações de campo elétrico que  
 causam alterações no comprimento de onda do seu sinal de luz refletido (a'),  
 20        dito sinal de luz refletido (a') que é redirecionado pelo circulador óptico (103a)  
 para o conversor óptico-elétrico (105), que converte o dito sinal de luz refletido  
 (a') em um sinal elétrico, cuja amplitude de saída contém a informação da  
 tensão elétrica medida, dito sinal elétrico que é encaminhado para um conversor  
 analógico-digital (106), que o transforma em sinal digital, e que por sua vez é  
 25        enviado para um microcontrolador (107), em que será realizado o  
 processamento e a filtragem do sinal, disponibilizando-o para um  
 microcomputador (108), onde são realizados cálculos para determinar o valor  
 médio, valor RMS e valor máximo (de pico) da forma de onda da tensão elétrica  
 medida.



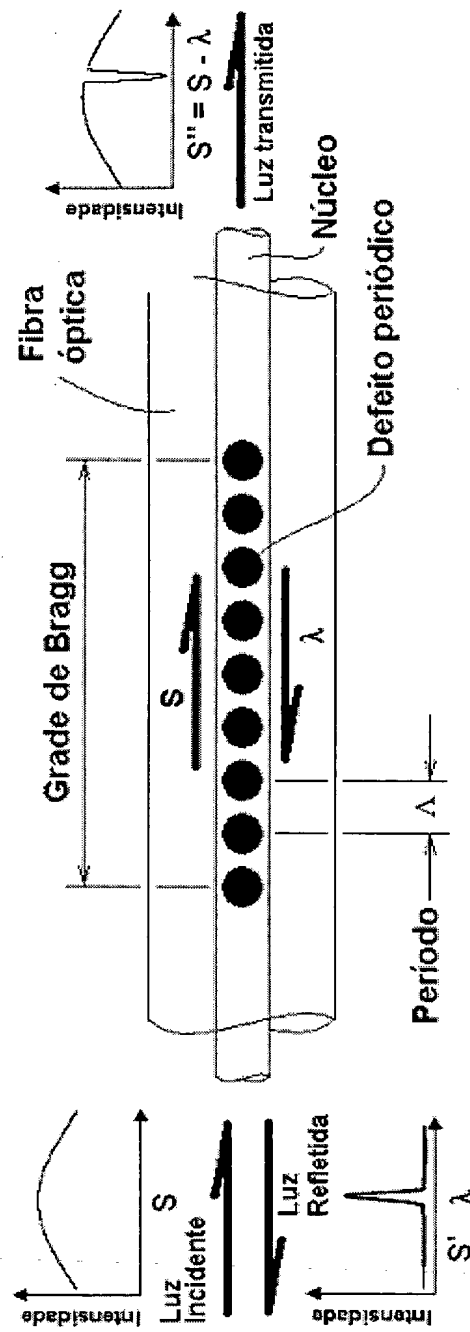
7 - Sistema Óptico para Monitoração de Tensão Elétrica que utiliza dito Dispositivo (100), conforme reivindicação 5, **caracterizado pelo** dito sinal de luz (b) ser direcionado pelo circulador óptico (103b) em direção ao dispositivo sensor óptico (1) até atingir a FBG (9), submetida ao mesmo ambiente térmico da primeira FBG (4), de modo que a FBG (9) muda o comprimento de onda do seu sinal de luz refletido (b') em função da variação de temperatura, sendo que o dito sinal de luz refletido (b') é redirecionado pelo circulador óptico (103b) para o circuito de controle (104).

8 - Sistema Óptico para Monitoração de Tensão Elétrica que utiliza dito Dispositivo (100), conforme reivindicações 5 e 7, **caracterizado pelo** dito circuito de controle (104) compreender:

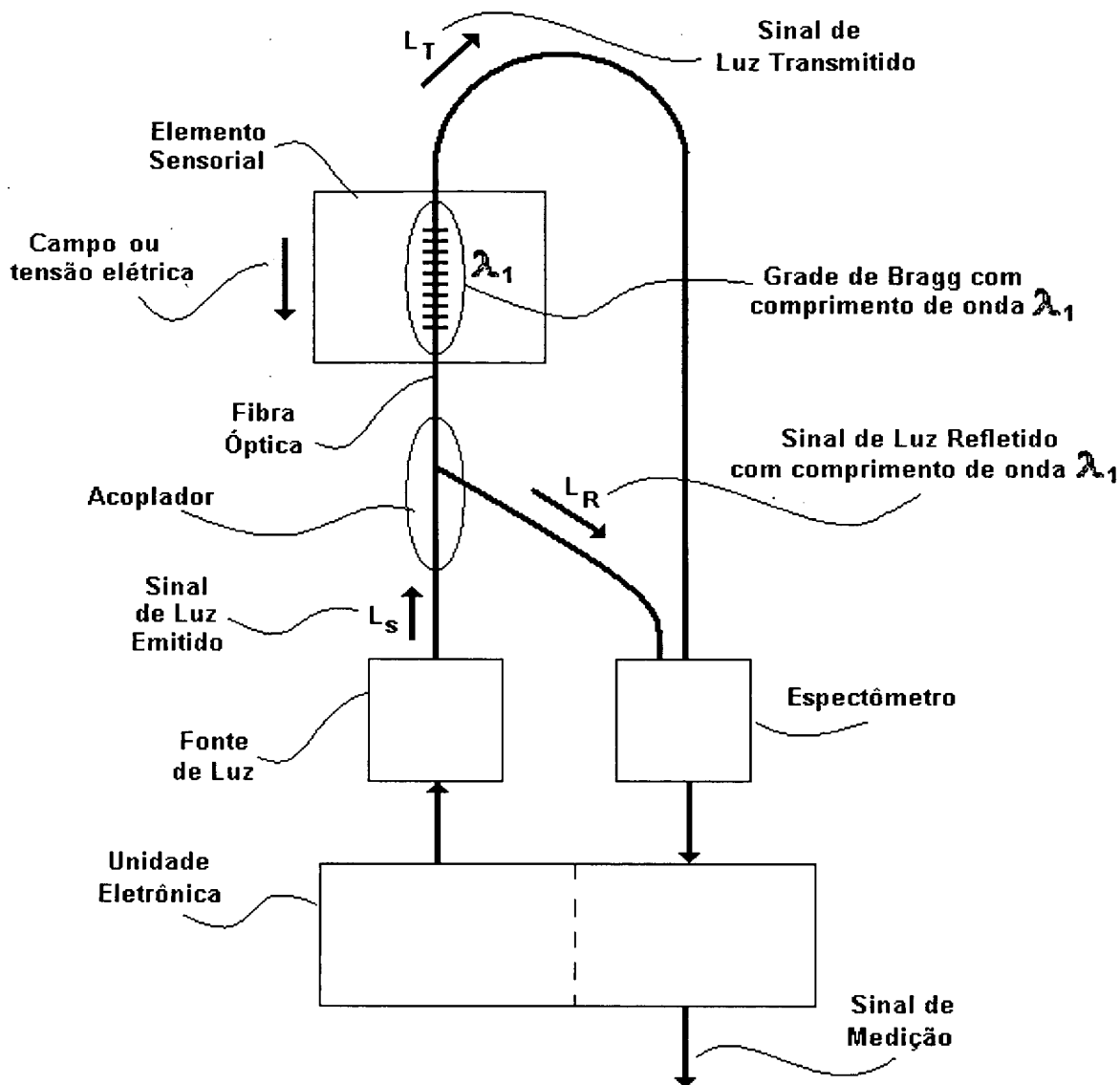
- um conversor óptico-elétrico (1041) que recebe o sinal de luz refletido (b') pela FBG (9) e o converte em um sinal elétrico DC  $V_{controle}$ ;
- um amplificador de erro (1042), que recebe o dito sinal elétrico  $V_{controle}$  e o compara com uma tensão de referência (1043)  $V_{REF}$ , gerando um valor de diferença;
- um driver do peltier (1044), que recebe o valor de diferença do amplificador de erro (1042) e, conforme essa diferença, envia uma corrente elétrica para ajustar (resfriar ou aquecer) a temperatura de junção do laser (101), que garante a perfeita sintonia entre o comprimento de onda do laser (101) e a FBG (4) no ponto de operação desejado, e que conseqüentemente possibilita a compensação ou mitigação do efeito da temperatura no sinal de luz (a') refletido pela FBG (4);
- um controle da potência óptica (1045), que detecta a diminuição de potência óptica do laser (101) no decorrer do tempo e envia comando para aumentar a corrente elétrica de polarização do laser (101), até que sua potência óptica de saída seja estabilizada no valor desejado.



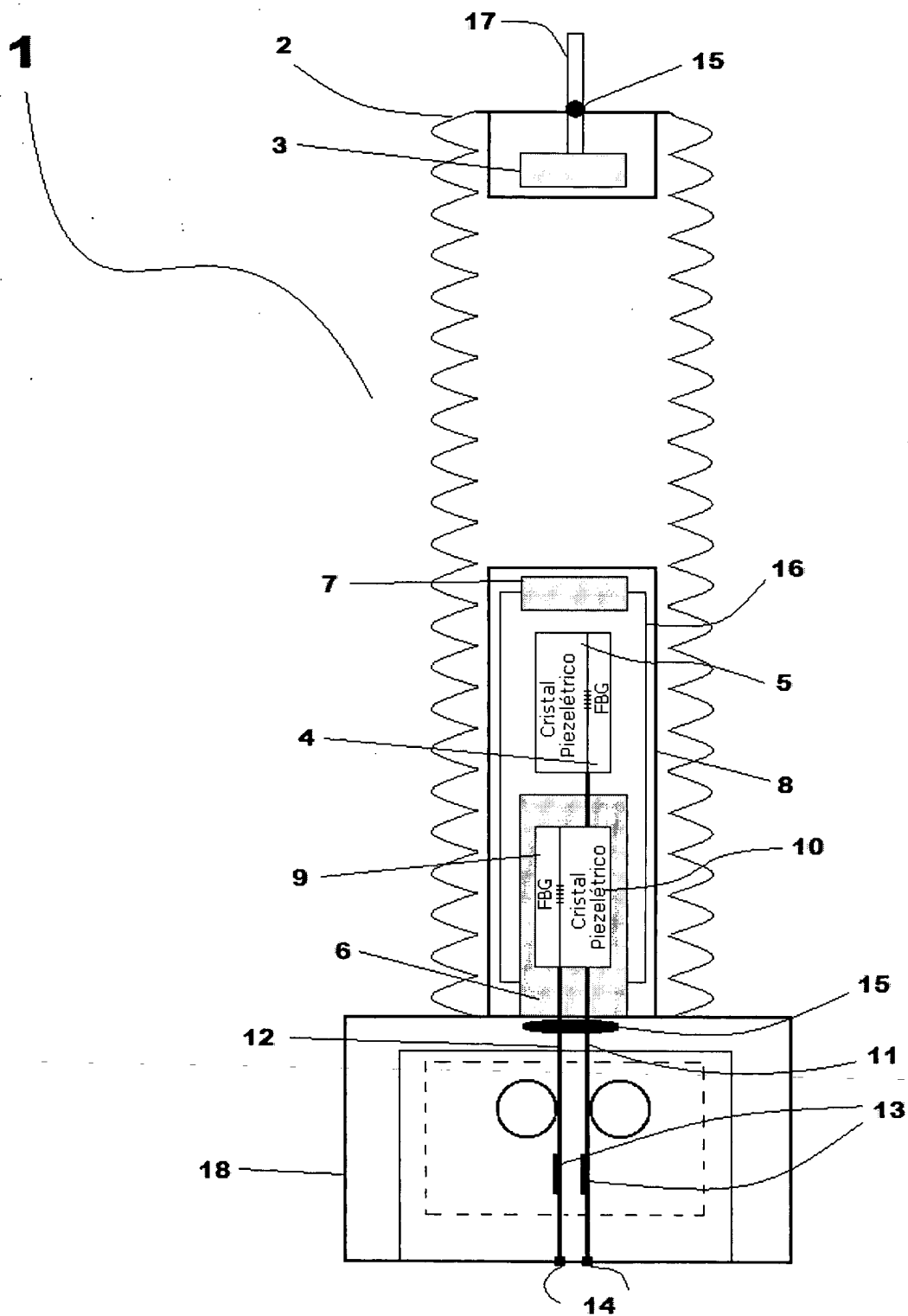
**Figura 1 (Estado da Técnica)**



**Figura 2 (Estado da Técnica)**



**Figura 3 (Estado da Técnica)**

**Figura 4**

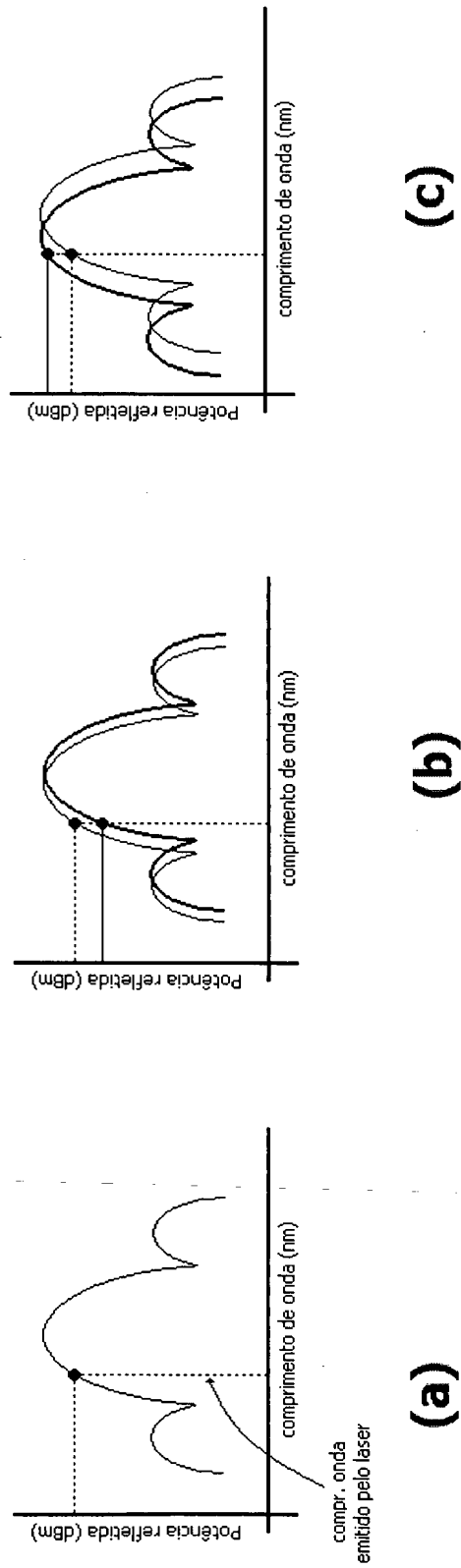


Figura 5

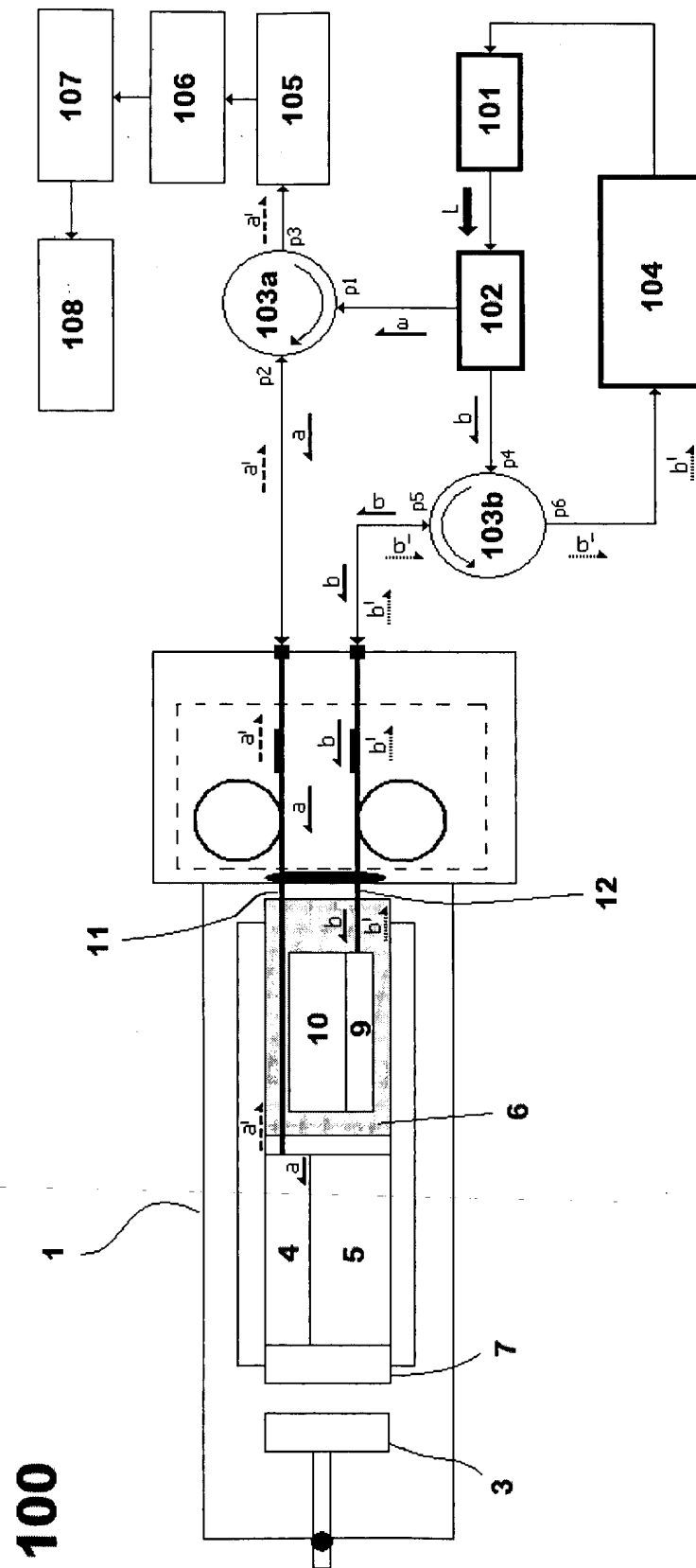
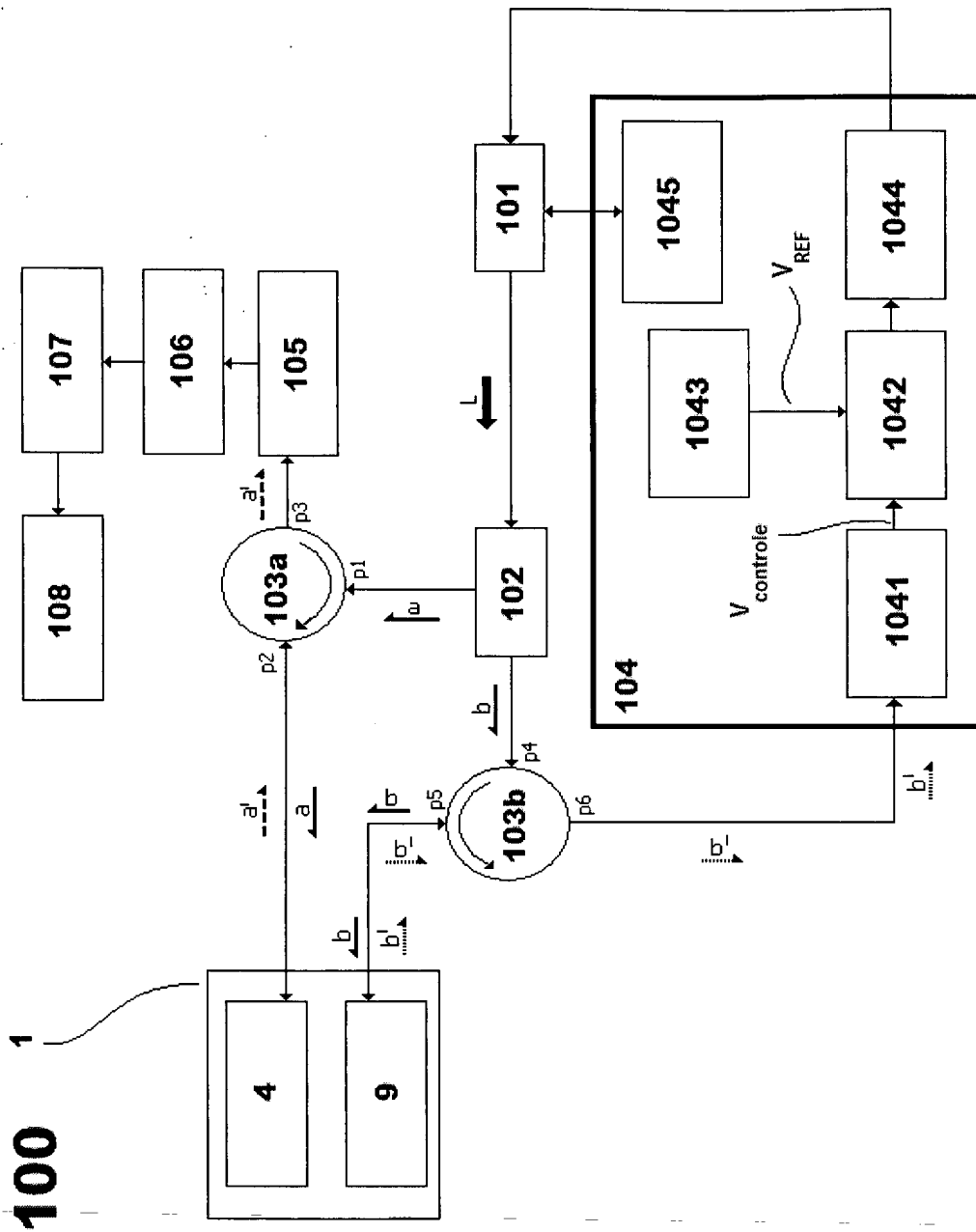


Figura 6



**Figura 7**



## RESUMO

**Dispositivo Sensor Óptico com Dupla Grade de Bragg e Sistema Óptico para Monitoração de Tensão Elétrica que utiliza dito Dispositivo** utilizados para monitorar e medir diferentes faixas de tensão elétrica, tanto em linhas de transmissão (alta tensão) como em redes de distribuição (média tensão), e que são imunes aos efeitos da temperatura ambiente e aos efeitos de indução de correntes produzidas pelos campos eletromagnéticos existentes nas proximidades dos cabos da rede elétrica.