

Pedido nacional de Invenção, Modelo de Utilidade, Certificado de Adição de Invenção e entrada na fase nacional do PCT

Número do Processo: BR 10 2024 019659 7

Dados do Depositante (71)

---

Depositante 1 de 2

Nome ou Razão Social: ENEVA S.A.

Tipo de Pessoa: Pessoa Jurídica

CPF/CNPJ: 04423567000121

Nacionalidade: Brasileira

Qualificação Jurídica: Pessoa Jurídica

Endereço: Praia de Botafogo, 501 - Torre Pão de Açúcar, 7º andar, Botafogo

Cidade: Rio de Janeiro

Estado: RJ

CEP: 22250-040

País: Brasil

Telefone:

Fax:

Email:

**Depositante 2 de 2**

**Nome ou Razão Social:** INESC P&D BRASIL - INSTITUTO DE ENGENHARIA DE SISTEMAS E COMPUTADORES, PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DO BRASIL

**Tipo de Pessoa:** Pessoa Jurídica

**CPF/CNPJ:** 16507211000155

**Nacionalidade:** Brasileira

**Qualificação Jurídica:** Pessoa Jurídica

**Endereço:** Rua José Caballero, nº 15, Gonzaga

**Cidade:** Santos

**Estado:** SP

**CEP:** 11055-300

**País:** BRASIL

**Telefone:**

**Fax:**

**Email:**

**Natureza Patente:** 10 - Patente de Invenção (PI)

**Título da Invenção ou Modelo de Utilidade (54):** SISTEMA, COM SENSOR E CIRCUITO ELETRÔNICO, PARA MONITORAMENTO DE BAIXAS CORRENTES EM SUBESTAÇÕES DE ENERGIA

**Resumo:** A presente invenção trata de um sistema, sensor e circuito eletrônico com aplicação na área de dispositivos de medição de baixas correntes em regime alternado, com o objetivo de monitorar equipamentos elétricos em subestações de energia e auxiliar na execução de manutenções preventivas, essenciais para a garantia de um bom funcionamento e segurança dos sistemas elétricos. O sistema é composto por um transformador de corrente (1), um módulo de medição (2), uma unidade microprocessada (3) e a carcaça (4). O conjunto em questão atua de forma abrangente e autosuficiente na medição de baixas correntes em subestações de energia. Seu funcionamento, baseado no princípio magnético, é robusto e preserva a integridade da rede com a sua medição sem contato a partir do transformador de corrente (1). A carcaça (4) protege as partes sensíveis contra intempéries e interferência eletromagnética. O método de medição direta desenvolvido reduz incertezas no sistema e permite realizar calibração e autoequalização do sinal com simples ajustes feitos no módulo de medição (2), sem necessidade de pós-processamento para recuperação da informação medida. Os dados adquiridos são tratados e enviados pela unidade microprocessada (3) ao Servidor, que disponibiliza arquivos do tipo binário que podem ser visualizados através de qualquer editor de código fonte disponível.

**Figura a publicar:** 1

## Dados do Procurador

---

### Procurador:

**Nome ou Razão Social:** Flávia Salim Lopes

**Numero OAB:**

**Numero API:** 488

**CPF/CNPJ:** 02341292712

**Endereço:** Rua do Passeio, 38, Setor 1 - 14º andar, Centro

**Cidade:** Rio de Janeiro

**Estado:** RJ

**CEP:** 20021-290

**Telefone:** (21)3223-9500

**Fax:** (21)3223-9501

**Email:** flopes@clarkemodet.com.br

### Escritório:

**Nome ou Razão Social:** Clarke, Modet Propriedade Intelectual Ltda.

**CPF/CNPJ:** 33033101000118

Dados do Inventor (72)

---

Inventor 1 de 10

**Nome:** TARSO VILELA FERREIRA

**CPF:** 98879685520

**Nacionalidade:** Brasileira

**Qualificação Física:** Engenheiro, arquiteto e afins

**Endereço:** Rod. Engenheiro Edilson Távora, 7500, Casa 1204 Bairro Luar da Barra

**Cidade:** Barra dos Coqueiros

**Estado:** SE

**CEP:** 49142-442

**País:** BRASIL

**Telefone:**

**Fax:**

**Email:**

Inventor 2 de 10

**Nome:** LEONARDO LIRA RAMALHO

**CPF:** 94787786253

**Nacionalidade:** Brasileira

**Qualificação Física:** Engenheiro, arquiteto e afins

**Endereço:** Rua Mariano, 15 T. Copacabana apt. 802, Bairro Castanheira

**Cidade:** Belém

**Estado:** PA

**CEP:** 66645-415

**País:** BRASIL

**Telefone:**

**Fax:**

**Email:**

Inventor 3 de 10

**Nome:** MERCEDES MARIA BARBOSA DINIZ

**CPF:** 03008545289

**Nacionalidade:** Brasileira

**Qualificação Física:** Engenheiro, arquiteto e afins

**Endereço:** Conjunto Guajara I, Passagem IV, 31.

**Cidade:** Ananindeua

**Estado:** PA

**CEP:** 67143-530

**País:** BRASIL

**Telefone:**

**Fax:**

**Email:**

**Inventor 4 de 10**

**Nome:** PEDRO HENRIQUE FERNANDES RENDEIRO

**CPF:** 02916751238

**Nacionalidade:** Brasileira

**Qualificação Física:** Engenheiro, arquiteto e afins

**Endereço:** Tv. Timbó, 2730

**Cidade:** Belém

**Estado:** PA

**CEP:**

**País:** BRASIL

**Telefone:**

**Fax:**

**Email:**

**Inventor 5 de 10**

**Nome:** LUCAS MOLINA

**CPF:** 83927433500

**Nacionalidade:** Brasileira

**Qualificação Física:** Engenheiro, arquiteto e afins

**Endereço:** Alameda dos Cajueiros 65, Alphaville

**Cidade:** Barra dos Coqueiros

**Estado:** SE

**CEP:** 49141-374

**País:** BRASIL

**Telefone:**

**Fax:**

**Email:**

**Inventor 6 de 10**

**Nome:** CHARLES ANTONY CORDEIRO DE ARAUJO

**CPF:** 52144178453

**Nacionalidade:** Brasileira

**Qualificação Física:** Engenheiro, arquiteto e afins

**Endereço:** Av. Adélia Franco,3494, Torre Poxim, apt 1203, Luzia

**Cidade:** Aracaju

**Estado:** SE

**CEP:** 49048-010

**País:** BRASIL

**Telefone:**

**Fax:**

**Email:**

**Inventor 7 de 10**

**Nome:** ELYSON ÁDAN NUNES CARVALHO

**CPF:** 01498625550

**Nacionalidade:** Brasileira

**Qualificação Física:** Engenheiro, arquiteto e afins

**Endereço:** Rua José Pires Winne, 29, Bairro Suíça

**Cidade:** Aracaju

**Estado:** SE

**CEP:** 49052-290

**País:** BRASIL

**Telefone:**

**Fax:**

**Email:**

**Inventor 8 de 10**

**Nome:** GRAZIELLA BEDENIK DE OLIVEIRA

**CPF:** 04791370562

**Nacionalidade:** Brasileira

**Qualificação Física:** Engenheiro, arquiteto e afins

**Endereço:** 47 Van Order Dr, Unit 10-301, ON K7M 2W8

**Cidade:** Kingston

**Estado:**

**CEP:**

**País:** CANADÁ

**Telefone:**

**Fax:**

**Email:**

**Inventor 9 de 10**

**Nome:** STÉPHANE SANTOS CARVALHO

**CPF:** 07773278563

**Nacionalidade:** Brasileira

**Qualificação Física:** Engenheiro, arquiteto e afins

**Endereço:** Rua Governador João Alves Filho, N° 139, Rosa Elze

**Cidade:** São Cristóvão

**Estado:** SE

**CEP:** 49107-230

**País:** BRASIL

**Telefone:**

**Fax:**

**Email:**

**Inventor 10 de 10**

**Nome:** ULISSES DANIEL ENES DE SOUZA LEBRE

**CPF:** 32006418866

**Nacionalidade:** Brasileira

**Qualificação Física:** Engenheiro, arquiteto e afins

**Endereço:** Rua José do Prado Barreto, 300, Rosa Maria

**Cidade:** São Cristóvão

**Estado:** SE

**CEP:**

**País:** BRASIL

**Telefone:**

**Fax:**

**Email:**

## Documentos anexados

---

| Tipo Anexo                          | Nome                                     |
|-------------------------------------|--|
| Comprovante de pagamento de GRU 200 | 2024_32962 GRUDEP.pdf                    |
| Procuração                          | 2024_32962 PoA_Clarke_Assinado INESC.pdf |
| Procuração                          | Substabelecimento Clarke INPI 2021.pdf   |
| Relatório Descritivo                | 2024_32962 REL.pdf                       |
| Reivindicação                       | 2024_32962 REIV.pdf                      |
| Desenho                             | 2024_32962 DES.pdf                       |
| Resumo                              | 2024_32962 RES.pdf                       |

### Acesso ao Patrimônio Genético

---

- Declaração Negativa de Acesso - Declaro que o objeto do presente pedido de patente de invenção não foi obtido em decorrência de acesso à amostra de componente do Patrimônio Genético Brasileiro, o acesso foi realizado antes de 30 de junho de 2000, ou não se aplica.

### Declaração de veracidade

---

- Declaro, sob as penas da lei, que todas as informações acima prestadas são completas e verdadeiras.

**INSTRUÇÕES:**

A data de vencimento não prevalece sobre o prazo legal. O pagamento deve ser efetuado antes do protocolo. Órgãos públicos que utilizam o sistema SIAFI devem utilizar o número da GRU no campo Número de Referência na emissão do pagamento. Serviço: 200-Pedido nacional de Invenção, Modelo de Utilidade, Certificado de Adição de Invenção e entrada na fase nacional do PCT

[Clique aqui e pague este boleto através do Auto Atendimento Pessoa Física.](#)

[Clique aqui e pague este boleto através do Auto Atendimento Pessoa Jurídica.](#)

Recibo do Pagador

**BANCO DO BRASIL** | 001-9 | 00190.00009 02940.916238 26750.108172 8 98770000017500

|   |                   |                    |                       |                |
|---|-------------------|--------------------|-----------------------|----------------|
| Nome do Pagador/CPF/CNPJ/Endereço   |                   |                    |                       |                |
| ENEVA S A CPF/CNPJ: 04423567000121  |                   |                    |                       |                |
| PRAIA DE BOTAFOGO 501 TORRE PAO DE ACUCAR 7 ANDAR BOTAFOGO, RIO DE JANEIRO -RJ CEP:22250040 |                   |                    |                       |                |
| Sacador/Avalista  |                   |                    |                       |                |
| Noosso-Número   | Nr. Documento     | Data de Vencimento | Valor do Documento    | (=) Valor Pago |
| 29409162326750108   | 29409162326750108 | 22/10/2024         | 175,00                |                |
| Nome do Beneficiário/CPF/CNPJ/Endereço  |                   |                    |                       |                |
| INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUST CPF/CNPJ: 42.521.088/0001-37                       |                   |                    |                       |                |
| RUA MAYRINK VEIGA 9 24 ANDAR ED WHITE MARTINS , RIO DE JANEIRO - RJ CEP: 20090910           |                   |                    |                       |                |
| Agência/Código do Beneficiário  |                   |                    | Autenticação Mecânica |                |
| 2234-9 / 333028-1   |                   |                    |                       |                |

**BANCO DO BRASIL** | 001-9 | 00190.00009 02940.916238 26750.108172 8 98770000017500

|   |                   |             |            |                       |                        |                                |  |
|---|-------------------|-------------|------------|-----------------------|------------------------|--------------------------------|--|
| Local de Pagamento  |                   |             |            |                       |                        | Data de Vencimento             |  |
| <b>PAGÁVEL EM QUALQUER BANCO ATÉ O VENCIMENTO</b>                             |                   |             |            |                       |                        | 22/10/2024                     |  |
| Nome do Beneficiário/CPF/CNPJ   |                   |             |            |                       |                        | Agência/Código do Beneficiário |  |
| INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUST CPF/CNPJ: 42.521.088/0001-37         |                   |             |            |                       |                        | 2234-9 / 333028-1              |  |
| Data do Documento   | Nr. Documento     | Espécie DOC | Aceite     | Data do Processamento | Nosso-Número           |                                |  |
| 23/09/2024  | 29409162326750108 | DS          | N          | 23/09/2024            | 29409162326750108      |                                |  |
| Uso do Banco  | Carteira          | Espécie     | Quantidade | xValor                | (=) Valor do Documento |                                |  |
| 29409162326750108   | 17                | R\$         |            |                       | 175,00                 |                                |  |
| Informações de Responsabilidade do Beneficiário                               |                   |             |            |                       |                        | (-) Desconto/Abatimento        |  |
| A data de vencimento não prevalece sobre o prazo legal.                       |                   |             |            |                       |                        |                                |  |
| O pagamento deve ser efetuado antes do protocolo.                             |                   |             |            |                       |                        |                                |  |
| Órgãos públicos que utilizam o sistema SIAFI devem utilizar o número da GRU n |                   |             |            |                       |                        | (+ ) Juros/Multa               |  |
| o campo Número de Referência na emissão do pagamento.                         |                   |             |            |                       |                        |                                |  |
| Serviço: 200-Pedido nacional de Invenção, Modelo de Utilidade, Certificado de |                   |             |            |                       |                        |                                |  |
| Adição de Invenção e entrada na fase nacional do PCT                          |                   |             |            |                       |                        | (-) Valor Cobrado              |  |

|   |  |  |  |  |                         |  |  |
|---|--|--|--|--|-------------------------|--|--|
| Nome do Pagador/CPF/CNPJ/Endereço                           |  |  |  |  | Código de Baixa         |  |  |
| ENEVA S A CPF/CNPJ: 04423567000121                          |  |  |  |  | Autenticação Mecânica - |  |  |
| PRAIA DE BOTAFOGO 501 TORRE PAO DE ACUCAR 7 ANDAR BOTAFOGO, |  |  |  |  | Ficha de Compensação    |  |  |
| RIO DE JANEIRO-RJ CEP:22250040                              |  |  |  |  |                         |  |  |
| Sacador/Avalista  |  |  |  |  |                         |  |  |



23/09/2024 - BANCO DO BRASIL - 12:09:47  
018300183 0001

COMPROVANTE DE PAGAMENTO DE TITULOS

CLIENTE: CLARKE MODET PROP INT LTD  
AGENCIA: 0183-X CONTA: 131.742-3

=====

BANCO DO BRASIL  
-----

00190000090294091623826750108172898770000017500  
BENEFICIARIO:  
INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIED  
NOME FANTASIA:  
INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE I  
CNPJ: 42.521.088/0001-37  
PAGADOR:  
ENEVA S A  
CNPJ: 04.423.567/0001-21

-----

|                    |                   |
|--------------------|-------------------|
| NR. DOCUMENTO      | 92.302            |
| NOSSO NUMERO       | 29409162326750108 |
| CONVENIO           | 02940916          |
| DATA DE VENCIMENTO | 22/10/2024        |
| DATA DO PAGAMENTO  | 23/09/2024        |
| VALOR DO DOCUMENTO | 175,00            |
| VALOR COBRADO      | 175,00            |

-----

|                 |                       |
|-----------------|-----------------------|
| NR.AUTENTICACAO | 3.854.508.F0A.C31.935 |
|-----------------|-----------------------|

=====

Central de Atendimento BB  
4004 0001 Capitais e regioes metropolitanas  
0800 729 0001 Demais localidades.  
Consultas, informacoes e servicos transacionais.

SAC BB  
0800 729 0722  
Informacoes, reclamacoes, cancelamento de  
produtos e servicos.

Ouvidoria  
0800 729 5678  
Reclamacoes nao solucionadas nos canais  
habituais agencia, SAC e demais canais de  
atendimento.

Atendimento a Deficientes Auditivos ou de Fala  
0800 729 0088  
Informacoes, reclamacoes, cancelamento de cartao,  
outros produtos e servicos de Ouvidoria.

## PROCURAÇÃO

Pelo presente instrumento particular de procuração, **INESC P&D BRASIL – INSTITUTO DE ENGENHARIA DE SISTEMAS E COMPUTADORES, PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DO BRASIL**, CNPJ 16.507.211/0001-55, estabelecida em Rua José Caballero, nº 15, Gonzaga, Santos, SP 11.055-300, Brasil, outorga a **Clarke, Modet Propriedade Intelectual Ltda.**, sociedade inscrita no CNPJ sob o nº 33.033.101/0001-18, com endereço na Rua do Passeio, 38 – Setor 1, 14º Andar, Centro, município do Rio de Janeiro, Estado de Rio de Janeiro, CEP 20.021-290, Brasil, todos os poderes para representar a Outorgante perante as autoridades competentes brasileiras para o fim de obter a proteção e salvaguarda de direitos relativos à Propriedade Intelectual, tais como patentes de invenção, modelos de utilidade, registros de desenhos industriais, certificados de adição, garantias de prioridade, registros de marcas de produto, de serviço, coletivas e de certificação, certificados de registro de direito autoral, seja para obras artísticas, literárias, partituras musicais, campanhas de publicidade e outros, registro de programas de computador, registro de nomes de domínio, requerer o cancelamento de um nome de domínio, promover notificações extrajudiciais, entre outros, com amplos e ilimitados poderes para assinar petições e documentos e requerer buscas e certidões, anotar transferências, protocolar pedidos internacionais, fazer prova de uso de patentes e marcas, efetuar pagamento de anuidades, pedir prorrogações e ainda opor, protestar, recorrer, replicar, desistir, efetuar pagamentos de taxas e retribuições, cumprir exigências, requerer anotações de cessões e transferências, requerer e/ou contestar caducidades, alterações de nome e/ou sede, contratos de licença, requerer nulidades, anotações de quaisquer direitos ou prestação de assistência técnica ou transferências de tecnologia; desistir, renunciar, receber e dar quitação, substituir e revogar no todo ou em parte; praticar, enfim, todos e quaisquer atos perante todas as autoridades administrativas brasileiras em benefício da Outorgante, ratificando atos anteriormente realizados; receber citações judiciais relativas à Propriedade Intelectual, podendo substabelecer no todo ou em parte; relativo especificamente ao pedido de patente intitulado **“SISTEMA, COM SENSOR E CIRCUITO ELETRÔNICO, PARA MONITORAMENTO DE BAIXAS CORRENTES EM SUBESTAÇÕES DE ENERGIA”**.

Local/Data: SANTOS 20 DE SETEMBRO DE 2024

Assinatura: \_\_\_\_\_

Nome: MAURO AUGUSTO DA ROSA


Cargo: DIRETOR EXECUTIVO

***O reconhecimento de firma só é necessário para o registro de nomes de domínio, averbações de contratos e obras protegidas por direito autoral.***

## SUBSTABELECIMENTO

**Clarke Modet Propriedade Intelectual Ltda.**, sociedade empresária limitada, inscrita junto ao Ministério da Fazenda Brasileiro sob o CNPJ de nº 33.033.101/0001-18, inscrita perante à Junta Comercial do Estado de Rio de Janeiro - JUCERJA sob o Número de Identificação do Registro de Empresas - NIRE 33.02.0716710-6, atualmente com sede na Rua do Passeio, 38 – Setor 1, 14º Andar, Centro, município do Rio de Janeiro, Estado de Rio de Janeiro, CEP 20.021-290, Brasil, neste ato representada na forma de seu contrato social, por seu atual administrador, **Claudio Fernandes Castanheira da Silva**, brasileiro, casado, engenheiro de telecomunicações, portador da cédula de identidade de nº. 07.664.967-2 IFP-RJ, inscrito CPF/MF sob o nº 924.472.877-04, substabelece, com reserva de iguais poderes, na qualidade de funcionários da empresa que nesta substabelece, para **Arthur Felipe Cândido Lourenço**, brasileiro, divorciado, advogado, inscrito na OAB/RJ sob o nº 126.262, **Fabrize Machado Pereira da Cruz**, brasileira, solteira, advogada, inscrita na OAB/RJ sob o nº 96.887, **Flávia Salim Lopes**, brasileira, solteira, engenheira química, Agente da Propriedade Industrial nº 0488, **Flavia Simon Dias**, brasileira, casada, Bacharel em Direito, CPF Nº 099.127.307-98, **Patrícia Falcão Corrêa**, brasileira, solteira, advogada, inscrita na OAB/RJ sob o nº 114.580, **Rafael Cordoville Freire**, brasileiro, casado, engenheiro eletrônico, Agente da Propriedade Industrial nº 2240, **Ricardo Cardoso Costa Boclin**, brasileiro, divorciado, engenheiro mecânico e advogado, Agente da Propriedade Industrial nº 1857, inscrito na OAB/RJ sob o nº 159.931, e **Silvia Moreira Taketsuma Costa**, brasileira, casada, farmacêutica industrial, Agente da Propriedade Industrial (API/RJ) nº 2260, todos com endereço na Rua do Passeio, 38 – Torre 1, 14º Andar, Centro, município do Rio de Janeiro, Estado de Rio de Janeiro, CEP 20.021-290, Brasil, os poderes que lhe foram conferidos para atuação junto ao Instituto Nacional da Propriedade Intelectual – INPI, conforme procuração anexa, ratificando desde já, todos os atos anteriormente praticados.

Rio de Janeiro, 29 de janeiro de 2021.



**Clarke Modet Propriedade Intelectual Ltda.**  
Claudio Fernandes Castanheira da Silva  
Diretor-Administrador

## **SISTEMA, COM SENSOR E CIRCUITO ELETRÔNICO, PARA MONITORAMENTO DE BAIXAS CORRENTES EM SUBESTAÇÕES DE ENERGIA**

### **Campo da invenção**

[001] A presente invenção trata de um sistema e circuito eletrônico de medição de baixas correntes em regime alternado com aplicação na área de dispositivos para monitoramento de equipamentos elétricos de alta tensão em subestações de energia. O sistema, ajustável para medições na faixa de dezenas de microampères a dezenas de miliampères, tem o objetivo de diagnosticar falhas a partir da forma de onda, magnitude e resposta em frequência da corrente medida, fornecendo informações úteis aos indicadores de manutenção preventiva dos equipamentos.

### **Fundamentos da invenção**

[002] A detecção e o sensoriamento de falhas em subestações de energia e linhas de transmissão são essenciais para garantir o bom funcionamento e a segurança dos sistemas elétricos (Rubio-Serrano, J. et al., 2012) (Robles, G. et al., 2021). Falhas em equipamentos elétricos podem resultar em perdas econômicas significativas, superando os custos iniciais de aquisição e instalação. Além disso, essas falhas podem causar sobrecargas em outras partes do sistema, comprometendo o fornecimento de energia em amplas áreas (Dolník, B. et al., 2022).

[003] Por exemplo, isoladores de alta tensão, que fornecem suporte mecânico e isolamento elétrico às linhas de transmissão e distribuição, são críticos nesse contexto (Akbar, M. et al., 2019) (Portella, K. F. et al., 2008) (Dolník, B. et al., 2022). Falhas nesses isoladores podem causar sobrecargas em outras linhas, deixando grandes áreas sem energia elétrica e gerando perdas econômicas consideráveis (Dolník, B. et al., 2022). Geralmente, essas falhas resultam do acúmulo de sais solúveis, que, ao se dissolverem na presença de umidade, formam caminhos condutores alternativos, gerando correntes de fuga (Akbar, M. et al., 2019) (Werneck, M. M. et al., 2014) (Oliveira, S. C. et al., 2009)

(Fierro-Chavez, J. L. et al., 1996). Embora a corrente de fuga em cada isolador seja de centenas de microamperes a poucos miliamperes, o acúmulo em vários isoladores pode resultar em uma corrente significativa no sistema, ativando dispositivos de proteção (Werneck, M. M. et al., 2014). O desempenho do isolamento diminui com a poluição até que a rigidez dielétrica é comprometida, ocorrendo o fenômeno de flashover e a destruição do componente.

[004] Interrupções não planejadas para manutenção corretiva e causam prejuízos financeiros e operacionais para as empresas de distribuição e seus clientes (Werneck, M. M. et al., 2014) (Gençoğlu, M. T. et al., 2008) (Jiang, Y. et al., 2014). Portanto, a previsão e prevenção de tais ocorrências corretivas é um tema de grande importância na literatura técnica e científica (Gençoğlu, M. T. et al., 2008) (Li, J. et al., 2010) (Stefenon, S. F., 2022). No entanto, a quantificação de contaminação nos isoladores ainda é predominantemente realizada após a desconexão da rede elétrica. As técnicas consideradas padrão para medir o nível de contaminação dos isolamentos não permitem monitoramento em tempo real, o que seria crucial para avaliar a severidade da poluição no local (Jiang, Y. et al., 2014) (de Santos, H., 2020) (Ahmed, R., 2020). Além da dificuldade de acessar diretamente essas grandezas devido às normas de segurança e operação em subestações, um dos principais desafios de tal problemática é a baixa magnitude das correntes associadas a falhas, como a corrente de fuga, comprometendo a capacidade de processamento da informação adquirida.

[005] Atualmente, a medição em tempo real de baixas correntes em subestações é investigada principalmente por três princípios: óptico, resistivo ou magnético. Embora viável, a medição por sensores ópticos enfrenta desafios devido à influência de intempéries e outras variáveis que interferem na propagação da luz, além de exigir sistemas de aquisição mais complexos e caros. A abordagem resistiva não é viável em campo, pois exige uma medição em série no sistema, introduzindo uma resistência associada ao aterramento, o que contraria normas de proteção de sistemas elétricos. Apesar da sensibilidade à interferência eletromagnética nas subestações, o princípio magnético, por meio

do uso de transformadores de corrente (TCs), tem potencial para o monitoramento contínuo da corrente elétrica. Ao mesmo tempo em que preserva a integridade da rede, a medição sem contato possui robustez contra intempéries, sujeira e substâncias químicas.

[006] Apesar disso, uma busca na esfera científica mostra poucos trabalhos diretamente relacionados ao uso de TCs para medição de baixas correntes em subestações de energia. Em (Villalobos, R. J., et al., 2022), os autores apresentam o desenvolvimento de um sistema de monitoramento cujo sensor é constituído de um núcleo de liga *supermalloy*, com altíssima permeabilidade magnética quando comparados a núcleos tradicionais de ferrite ou ferro em pó, e de um enrolamento de cobre com 8000 voltas. Ambas as características conferem maior sensibilidade ao sistema de medição, capaz de medir correntes entre 50 microamperes e 300 miliamperes, cujos dados são empregados em uma análise simples de distorção das harmônicas da corrente de fuga adquirida. No entanto, o trabalho encontrado difere do proposto neste documento em fatores como o número de voltas do enrolamento ser 80 vezes maior, o encapsulamento e isolamento do sensor serem mais pesados e complexos de fabricar, e o núcleo utilizado no enrolamento ser de difícil disponibilidade e alto custo. Tais características impactam diretamente no tempo e custo de fabricação do dispositivo. Além disso, o procedimento de equalização do sinal, necessário para a recuperação da informação medida, é feito via *software* de maneira posterior à aquisição, enquanto, na invenção proposta, a equalização e processamento necessários são realizados já no *hardware* do sistema, minimizando custos computacionais.

[007] Em (Gouda, O. E., et al., 2022) também se descreve um dispositivo para o monitoramento da integridade de isoladores em alta tensão utilizando um TC. O equipamento funciona detectando continuamente as magnitudes dos picos de corrente de fuga e calculando seu valor médio para cada segundo ou minuto conforme o *software* do monitor é calibrado. Caso a média do valor da corrente de fuga corresponda a um limiar relacionado a uma queda de energia

significativa, emite-se um sinal de alarme e uma mensagem de aviso à equipe de manutenção. Apesar de também possibilitar medições contínuas, ser de baixo custo, fácil de manusear e calibrar e apresentar altas precisão e grau de segurança, o trabalho encontrado difere do proposto neste documento por apenas detectar picos de corrente de fuga, sem nenhuma possibilidade de observação da forma de onda do sinal medido nem de sua resposta em frequência. Ademais, o limiar de alerta é configurado para 60 mA, um valor muito elevado em relação à faixa de medição que a invenção proposta é capaz de medir, e o sistema sofre de maneira significativa com a interferência eletromagnética presente no ambiente da subestação.

[008] Seguindo o mesmo padrão, a busca na esfera patentária mostra diversos registros relacionados principalmente a medidores de corrente de fuga para isoladores de alta tensão e que não utilizam TCs, empregando diferentes tipos de princípios para a detecção e o monitoramento da grandeza. São exemplos os documentos US5640154, intitulado "*Insulation Monitoring System For Insulated High Voltage Apparatus*", WO1996018909, de nome "*Monitoring System For Insulated High Voltage Apparatus*", EP3130931, "*Leakage Current Detection Circuit, Direct-Current High-Voltage System, And Leakage Current Detection Method And Device*", CA2987059, nomeado "*Direct Current Meter And Method Of Use*", e US20180313885, de título "*Direct Current Meter Employing Waveform Separator For Detecting Leakage Current*". A patente US5640154 utiliza um sensor óptico, o que permite um monitoramento contínuo sem contato físico direto com os condutores. A WO1996018909 utiliza um sensor capacitivo para detectar variações nos campos elétricos, enquanto a EP3130931 utiliza sensores piezoelétricos para captar variações em frequências elevadas. A CA2987059 usa um sensor acústico, adequado para ambientes com alta interferência sonora. Por sua vez, a US20180313885 combina sensores de corrente com alta precisão para monitoramento de condições elétricas em tempo real, abrangendo uma faixa ampla de medições. Entretanto, a corrente de fuga é, indiscutivelmente, a grandeza mais utilizada para a aplicação e considerada a

mais capaz de fornecer uma descrição mais abrangente sobre o estado dos isoladores (Li, J. et al., 2010).

[009] Já as patentes ZA1997/02791, intitulada "*Measuring Device For Measuring Electric Currents In A Stressed Conductor*" e US20180313885, de nome "*Direct Current Meter Employing Waveform Separator For Detecting Leakage Current*", além da CA2133047 chamada "*System For Monitoring The Insulation Quality Of Step Graded Insulated High Voltage Apparatus*", utilizam TCs para medição de corrente de fuga. O registro ZA1997/02791 detalha um sistema para medir correntes parasitas em um circuito elétrico, com um foco em garantir precisão e estabilidade na medição de correntes em alta tensão. A invenção do documento US20180313885 fornece medições detalhadas de correntes parasitas com capacidade para distinguir entre componentes DC e AC, sendo projetada para fornecer dados precisos mesmo para correntes de alta magnitude e transientes momentâneos. Já a medição da corrente na patente US20180313885 é realizada indiretamente através do TC, oferecendo um range de medição abrangente, que cobre desde correntes de baixa a alta magnitude, melhorando a precisão e a análise das condições elétricas. Por fim, o documento CA2133047 especifica um intervalo de medição de corrente entre 4 e 20 mA, com um sistema que realiza a medição indireta da corrente de interesse através da corrente que passa por um capacitor e é medida pelo TC. Apesar de a medição por princípio indutivo nas três patentes permitir um desacoplamento eficiente das condições de operação do circuito, nenhuma das invenções é eficaz em medir uma faixa de corrente adequada (dezenas de microamperes a dezenas de miliamperes) à identificação antecipada da necessidade de manutenção dos equipamentos elétricos ou componentes das linhas de transmissão. Além disso, os inventos não são capazes de medir diretamente a grandeza de interesse, necessitando de artifícios para obter a informação original, o que acarreta em maiores incertezas no sistema e limita a obtenção de dados confiáveis acerca da corrente medida.

[0010] Assim, é possível observar a necessidade da introdução de um

sistema abrangente e autossuficiente de medição de baixas correntes em subestações de energia. Deve-se proporcionar um produto robusto, seguro, de alto custo-benefício, e útil ao aperfeiçoamento de manutenções preventivas nos equipamentos elétricos. Ao mesmo tempo, o sistema deve proporcionar acesso contínuo e direto à informação do sinal de baixa corrente, possibilitando reconstrução completa da grandeza medida e, conseqüentemente, maior entendimento acerca dos fenômenos relacionados à degradação de elementos como os isoladores. Dentre as invenções, modelos e trabalhos existentes, não foram encontrados dispositivos que preencham simultaneamente todas as lacunas indicadas, o que pode ser visto no **SISTEMA, COM SENSOR E CIRCUITO ELETRÔNICO, PARA MONITORAMENTO DE BAIXAS CORRENTES EM SUBESTAÇÕES DE ENERGIA**, descrito na presente patente de invenção. Dessa forma, o desenvolvimento desta invenção, utilizável de forma autocontida em qualquer ponto de subestações em que se queira monitorar direta e completamente baixas correntes, de baixo custo, de simples instalação e manutenção, blindada contra interferências eletromagnéticas, dentro dos padrões estabelecidos por normas técnicas relacionadas e capaz de realizar a auto equalização do sinal sem necessidade de pós-processamento para recuperação da informação medida, garante a unicidade do sistema entre os demais.

#### **Breve descrição dos desenhos**

[0011] A invenção pode ser melhor compreendida através da seguinte descrição detalhada, em consonância com as figuras em anexo, onde:

a Figura 1 apresenta o diagrama de blocos do sistema completo.

[0012] A Figura 2 apresenta cortes e vistas superior, frontal e em perspectiva do sensor desenvolvido.

[0013] A Figura 3 ilustra a vista superior do sistema implementado.

[0014] As Figuras 4a e 4b trazem fluxogramas de funcionamento da unidade microprocessada.

[0015] A Figura 5 apresenta um esquema de instalação do sistema em

subestação de energia.

[0016] A Figura 6 ilustra uma configuração experimental em laboratório de alta tensão, para testes de isoladores submetidos a diferentes graus de poluição.

[0017] As Figuras 7a e 7b apresentam gráficos de medição de corrente de fuga em alta tensão em isoladores com diferentes níveis de poluição.

### **Descrição da invenção**

[0018] O **SISTEMA, COM SENSOR E CIRCUITO ELETRÔNICO, PARA MONITORAMENTO DE BAIXAS CORRENTES EM SUBESTAÇÕES DE ENERGIA**, objeto desta patente, compreende um Transformador de Corrente - TC, ou sensor (1), um módulo de medição (2), uma unidade microprocessada (3) e a carcaça (4), como apresentado nas Figuras 1 a 3.

[0019] O sensor (1), como evidenciado na Figura 2, é composto de um núcleo (5a) toroidal envolto por um enrolamento (6) condutivo. Tal conjunto é coberto por uma tela (7) metálica e selado em um invólucro (8a) personalizado. A tela (7) envolve apenas a parte externa do toróide, concentrando as linhas de fluxo magnético necessárias ao efeito indutivo para o sensoriamento na parte interna do núcleo (5a). Por fim, as extremidades do enrolamento (6) são conectadas via cabo blindado (9) por meio de um conector (8b) até um circuito de condicionamento de sinal - nesse caso, ao módulo de medição (2). Tal cabo (9) é revestido com uma camada (10) protetora.

[0020] Quando uma corrente elétrica passa por um condutor que atravessa o centro do núcleo (5a), gera-se um campo magnético ao seu redor, de acordo com a Lei de Ampère. A forma do campo magnético será circular, em torno do condutor. O núcleo (5a) é altamente permeável ao campo magnético, concentrando e guiando as linhas de fluxo magnético ao seu redor. De acordo com a Lei de Faraday, uma variação no fluxo magnético que passa através do núcleo (5a) induz uma tensão elétrica no enrolamento (6). Essa tensão induzida é diretamente proporcional à taxa de variação da corrente no condutor que atravessa o centro do núcleo (5a). Assim, a tensão induzida no enrolamento (6) pode ser medida com um circuito eletrônico, como o do módulo de medição (2).

Como essa tensão é proporcional à variação da corrente no condutor, é possível detectar a corrente elétrica no mesmo sem precisar conectá-lo diretamente ao sensor (1).

[0021] A carcaça (4) conta com orifícios para passagem do cabo (9) do TC (1), do cabo (11) de alimentação do sistema e da antena (12) de comunicação, como visto na Figura 3. Além de fornecer proteção ao módulo de medição (2) e ao circuito da unidade microprocessada (3), devido ao material de que é feita, a carcaça (4) contribui para a blindagem eletromagnética do sistema.

[0022] O módulo de medição (2), implementado em uma placa mãe (13) integrada, é composto por blocos interligados de condicionamento e processamento da informação advinda do sensor (1), evidenciados na Figura 1. O circuito do bloco de Proteção de Entrada consiste em fusíveis e diodos polarizados de modo a não permitir uma corrente ou tensão impulsiva na entrada do sistema. Seu objetivo é evitar danos ou perdas parciais ou totais aos componentes.

[0023] O circuito do bloco de Equalização consiste em um filtro ativo passa-baixa de primeira ordem, que age de modo a equalizar a resposta em frequência natural do conjunto núcleo (5a) + enrolamento (6), similar a de um filtro passa-faixa. O objetivo é linearizar e tornar constante a resposta em frequência do sistema e, ao mesmo tempo, migrá-la para a região de interesse para o monitoramento da corrente, de 50 Hz a 900 Hz. A realização da equalização em *hardware* tanto minimiza o custo de processamento *in loco* quanto elimina a necessidade de pós processamento após a transmissão da informação ao Servidor.

[0024] O circuito do bloco de Controle de Ganho Automático é composto por amplificadores controlados através de um potenciômetro digital, que recebe sinais advindos do Microcontrolador de Processamento (14). O objetivo é automatizar o ajuste dos ganhos necessários para a maximização da resolução do sinal, otimizando a conversão A/D (analógico/digital) da informação.

[0025] Os blocos do Amplificador de Instrumentação e do Controle de

Nível DC (corrente contínua) atuam em conjunto. O amplificador de instrumentação reduz a tensão de modo comum e, conseqüentemente, o ruído em baixas frequências que afeta o pequeno sinal advindo do sensor. Já o Controle de Nível DC ajusta o nível médio do sinal de saída, que pode ser eventualmente modificado para valores diferentes de zero devido a características do próprio sistema de medição. Esse sinal é então injetado como referência do amplificador de instrumentação. O objetivo do conjunto é garantir que o nível DC fique estável durante toda a medição.

[0026] O circuito do bloco do Filtro Ativo é composto por um filtro Butterworth de quarta ordem. Seus objetivos são reduzir o ruído em altas frequências e evitar o recobrimento do sinal, mas ainda de forma a não comprometer as harmônicas de interesse. Isso garante uma maior resolução para as medidas nas faixas de frequência mais baixas.

[0027] O circuito do bloco de Condicionamento de Sinal é composto por um amplificador somador inversor. Seu objetivo é de permitir a calibração da excursão do sinal, obedecendo os limites de tensão da entrada analógica para o Microcontrolador de Processamento (14). Já o circuito do bloco de Proteção de Saída é composto por um arranjo de diodos. Atuando de forma complementar ao bloco de Condicionamento de Sinal. Seu objetivo é garantir que a tensão enviada para o Microcontrolador de Processamento (14) esteja entre os limites aceitáveis para a operação segura do equipamento, ou seja, ao sair dessa faixa, o sinal é cortado.

[0028] A unidade microprocessada (3) é composta por dois módulos de processamento, implementados no Microcontrolador de Processamento (14) e no Microcontrolador de Comunicação (15), conforme ilustrado na Figura 1. O Microcontrolador de Processamento (14) realiza a amostragem ininterrupta do sinal advindo do módulo de medição (2), fazendo sua conversão A/D, armazenando as amostras do sinal digitalizado em uma Memória Externa (16) não-volátil e quantificando sua magnitude para enviar sinais de comando ao bloco de Controle de Ganho Automático. Por sua vez, o Microcontrolador de

Comunicação (15) é responsável pela lógica de controle da unidade microprocessada (3) e por sua comunicação sem fio com o Servidor remoto, que pode enviar comandos para a unidade microprocessada (3) ou receber dados da mesma. Os microcontroladores interagem entre si por meio de comunicação serial e de um sistema de arquivos acessado por ambos em uma Memória Externa (16). Dessa forma, o Microcontrolador de Comunicação (15) encaminha ao Microcontrolador de Processamento (14) as configurações de período de amostragem  $T_s$  e número de amostras  $N$ , definidas no Servidor remoto. O Microcontrolador de Comunicação (15) também recebe atualizações de *firmware* vindas do Servidor, sendo assim capaz de atualizar a si próprio e ao Microcontrolador de Processamento (14).

[0029] A unidade microprocessada (3) implementa uma máquina de estados com sete estados principais, detalhados na Figura 4a: A - Setup, B - Amostragem, C - Preparo da Conexão, D - Transmissão, E - Repouso, F - Atualização das Configurações, e G - Atualização de *Firmware*. No estado A, é realizada toda a configuração inicial da unidade, incluindo a inicialização de registradores e pinos. No estado B, a unidade microprocessada (3) realiza a amostragem do sinal do módulo de medição (2) e armazena-o na Memória Externa (16). No estado C, a unidade estabelece a comunicação com a rede sem fio. No estado D, os dados armazenados são enviados ao Servidor remoto e, em caso de envio bem-sucedido, são apagados da Memória Externa (16). Ao final deste estado, o Microcontrolador de Comunicação (15) consulta o Servidor remoto para verificar a existência de novas configurações e/ou atualizações de *firmware*. No estado E, a unidade entra em estado de repouso para economia de energia.

[0030] No estado F, a unidade microprocessada (3) atualiza suas configurações, como o período de amostragem  $T_s$ , o número de amostras  $N$  e o intervalo entre janelas de amostragem  $T_j$ . Uma janela de amostragem é definida como um período em que a unidade captura  $N$  amostras consecutivas do sinal, espaçadas por  $T_s$  segundos. O início de cada janela de amostragem é separado

por  $T_j$  segundos. Por fim, no estado G, a unidade realiza a atualização do *firmware* do Microcontrolador de Processamento (14) e/ou do Microcontrolador de Comunicação (15).

[0031] Em operação padrão, o sistema deve iniciar no estado A, seguir sequencialmente até o estado E, retornar ao estado B e repetir o ciclo de B até E continuamente. Contudo, alguns eventos especiais podem ocasionar desvios nesse ciclo. Caso ocorra uma falha na conexão com a rede de comunicação, o fluxo do programa é desviado do estado C diretamente para o estado E, e os dados permanecerão armazenados na Memória Externa. Todos os dados pendentes serão transmitidos apenas na próxima vez que o sistema entrar no estado D.

[0032] Outro evento que pode alterar o fluxo principal da máquina de estados é o processo de atualização remota das configurações ou atualização dos *firmwares*. Esse processo começa quando o Microcontrolador de Comunicação (15) está no estado D e recebe a informação do servidor de que há novas configurações ou um novo *firmware* disponível, o que direciona o fluxo de execução para o estado F ou estado G, respectivamente. No estado F, a plataforma atualiza os parâmetros de amostragem e armazena-os em sua memória não-volátil. Assim, mesmo em caso de interrupção da alimentação elétrica, a configuração permanece no dispositivo, sendo restaurada na reinicialização.

[0033] No estado G, o Microcontrolador de Comunicação (15) tenta estabelecer comunicação com o Servidor. Se a conexão for bem-sucedida, é solicitado o acesso à imagem do novo *firmware*. Após receber o *firmware* e suas informações, o Microcontrolador de Comunicação (15) valida o *firmware* por meio da conferência da soma de verificação (*checksum*). Em caso de validação bem-sucedida, inicia-se o processo de atualização do *firmware* do Microcontrolador de Processamento (14) ou do Microcontrolador de Comunicação (15), conforme indicado nas informações transmitidas junto com o *firmware*. Se a atualização for bem-sucedida, o respectivo módulo é reiniciado, retornando ao estado A.

[0034] Caso o processo de atualização de *firmware* falhe, seja por indisponibilidade da rede, por falha de integridade dos arquivos ou por outro motivo, a unidade entra no estado E (repouso). Outro evento que pode conduzir a unidade do estado G para o estado E é a atualização exclusiva do *firmware* do Microcontrolador de Processamento (14).

[0035] No estado B, o Microcontrolador de Comunicação (15) envia um comando para o Microcontrolador de Processamento (14) iniciar a amostragem. Esse comando inclui as informações sobre o período de amostragem  $T_s$  e o número de amostras  $N$  que devem ser capturadas. Nesse momento, o Microcontrolador de Processamento (14) inicia o processo de calibração do ganho do circuito de condicionamento, a fim de maximizar a relação sinal-ruído. Após a etapa de calibração, o Microcontrolador de Processamento (14) armazena o ganho configurado na Memória Externa e inicia a digitalização do sinal com o período de amostragem  $T_s$ , armazenando-o de forma ininterrupta em uma Memória Externa (16).

[0036] Para garantir que  $N$  amostras sejam capturadas de forma contínua com o período de amostragem  $T_s$ , o sistema implementa a estratégia conhecida como *buffer ping-pong*, ilustrada na Figura 4b. Com essa arquitetura, o Microcontrolador de Comunicação (15) utiliza duas regiões de memória interna de tamanho igual, denominadas *Buffer Ping* e *Buffer Pong*. Quando o *Buffer Ping* está sendo preenchido com dados do conversor A/D, os dados do *Buffer Pong* (preenchidos anteriormente) são enviados para a Memória Externa (16), conforme o estado 1 das chaves na Figura 4b. A escrita na Memória Externa (16) é mais rápida do que a leitura do conversor A/D, de modo que, quando um *buffer* é totalmente preenchido, o outro já está disponível para armazenar novos dados da leitura do conversor A/D. Nesse momento, as chaves indicadas na Figura 4b são alteradas para o estado 2, onde os dados do conversor A/D são encaminhados ao *Buffer Pong*, e os dados salvos no *Buffer Ping* são enviados para a Memória Externa (16). As chaves permanecem no estado 2 até que o *Buffer Pong* seja totalmente preenchido, momento em que as chaves são

alteradas novamente para o estado 1, e o processo se repete conforme descrito inicialmente.

[0037] Esse processo é crucial para garantir que N amostras sejam armazenadas na Memória Externa, mesmo que o Microcontrolador de Processamento (14) não disponha de memória interna suficiente para armazenar N amostras simultaneamente, ou que a velocidade da interface com a Memória Externa (16) seja muito lenta para armazenar amostras individualmente. Quando as N amostras são armazenadas na Memória Externa (16), o Microcontrolador de Processamento (14) encerra a amostragem e informa ao Microcontrolador de Comunicação (15); este, por sua vez, continua o fluxo da máquina de estados conforme descrito anteriormente.

[0038] O sistema completo deve ser instalado na subestação de energia próximo ao equipamento ou componente cuja corrente é de interesse para o monitoramento. Um possível esquema de instalação é visto na Figura 5, em que o sistema é utilizado para monitorar a corrente de fuga em um isolador (17) conectado a uma linha de alta tensão (18). O TC (1), conectado à carcaça (4), é posicionado de forma a envolver o terminal terra (19) do equipamento ou componente. A informação adquirida e processada pelo módulo de medição (2) é então tratada pela unidade microprocessada (3).

### **Exemplos de concretizações da invenção**

[0039] Para fabricação do TC (1), o núcleo (5a) tem preferencialmente formato toroidal e é composto de material de alta permeabilidade magnética, como uma liga formada de grãos da fase Fe(-Si) em escala nanométrica. Nesse caso, utiliza-se uma estrutura de suporte, como uma faixa de tecido (5b), para que a integridade do núcleo (5a) seja mantida. Para garantir a adaptabilidade de instalação em qualquer ponto das subestações de energia, as dimensões preferidas para o projeto do núcleo (5a) são de 41 mm de raio externo, 23 mm de raio interno e 35 mm de altura.

[0040] O enrolamento (6) de material condutivo é preferencialmente feito de fio de cobre esmaltado de calibre AWG 36. Nessa configuração, 100 voltas

são capazes de gerar o efeito desejado. De preferência, a solução para a blindagem do TC (1) contra os efeitos da interferência eletromagnética e ruído é envolver o conjunto núcleo (5) + enrolamento (6) com uma tela (7) de cobre M-250, que é fina e de trama fechada, mostrando-se uma solução barata e eficaz. A tela (7) é aterrada juntamente com a referência do sistema.

[0041] Sela-se o núcleo (5a) revestido e envolto pelo enrolamento (6) e a tela (7) com um adesivo, como silicone acético ou similar, dentro de um invólucro (8a) de material leve, moldável e resistente a impactos e às intempéries, preferencialmente filamento ASA (acrilonitrila-estireno-acrilato). Materiais de performance similar podem substituí-lo. O formato personalizado do invólucro (8a) acomoda ainda o conector (8b) do cabo (9) do TC (1), conectando-o à placa mãe (13) do sistema de forma a conferir resistência mecânica às conexões com o enrolamento (6). Dá-se preferência a um conector (8b) do tipo prensa cabo PG7, mas qualquer outro que cumpra seu propósito pode substituí-lo. Por fim, o cabo blindado (9) deve ser coberto por uma camada protetiva (10), como um tubo termo contrátil resistente à radiação UV. Devido a esse esquema de montagem, o sensor (1) pode ser conectado a outros circuitos de medição para diferentes aplicações industriais relacionadas a medição de corrente.

[0042] Os circuitos do módulo de medição (2) e da unidade microprocessada (3) são preferencialmente integrados em apenas uma placa mãe (13), facilitando fabricação, instalação e manutenção do sistema. A placa mãe (13) deve ser fixada e aterrada dentro da carcaça (4), preferencialmente de aço galvanizado e com certificação IP-67, para garantir ao sistema blindagem eletromagnética e proteção mecânica e contra intempéries. Ainda, para obter a performance desejada dos módulos de medição (2) e da unidade microprocessada (3), o Microcontrolador de Processamento (14) utilizado tem minimamente capacidade de processamento de 72 MHz e 12 bits de resolução para conversão A/D, além de ser capaz de salvar os dados em uma Memória Externa (16), preferencialmente um cartão de memória. Já o Microcontrolador de Comunicação (15) deve ser capaz de realizar comunicação Wi-Fi e ter uma

memória RAM de pelo menos 20 kB.

[0043] Para a aplicação de interesse, em que o sinal tem o principal componente de frequência em 60 Hz, o bloco de Equalização precisa ser ajustado para uma resposta em frequência constante até 1 kHz, enquanto que o Filtro Ativo é implementado para uma frequência de corte próxima a 3 kHz. Com essa configuração, a preferência é de que sejam coletadas  $N = 8000$  amostras com um período de amostragem de  $T_s = 125$  microssegundos. Apesar disso, esses parâmetros são ajustáveis de forma remota utilizando-se as funcionalidades da unidade microprocessada (3).

[0044] Os dados enviados pelo Microcontrolador de Comunicação (15) ao Servidor são preferencialmente acessados via Internet, uma vez que a Memória Externa (16) deve ser utilizada para recuperar informações em caso de falhas. Os arquivos do tipo .bin podem ser visualizados através de qualquer editor de código fonte disponível. Preferencialmente, utiliza-se uma plataforma de programação de linguagem de operações matemáticas para facilitar a manipulação e análise dos dados.

[0045] Como forma de validação da invenção, foram realizados diferentes experimentos com isoladores de alta tensão e suas correntes de fuga, uma vez que, na prática, esses são os componentes mais frequentemente monitorados. O primeiro experimento teve como objetivo reproduzir, em ambiente laboratorial, o estresse elétrico semelhante ao que o **SISTEMA, COM SENSOR E CIRCUITO ELETRÔNICO, PARA MONITORAMENTO DE BAIXAS CORRENTES EM SUBESTAÇÕES DE ENERGIA** enfrentará em campo. O sensor (1) foi instalado em um isolador (17) polimérico no barramento (18) do laboratório de alta tensão, mantendo-se uma distância mínima de 23 cm entre o TC (1) e a carcaça (4), de forma similar ao esquema apresentado na Figura 5. Procedeu-se com o aterramento do terminal terra (19) do isolador (17), do TC (1) e da carcaça (4). O mesmo procedimento deve ser repetido na instalação em campo. Na Tabela 1, são apresentados os diferentes níveis de tensão alternada aplicadas no isolador e as respectivas correntes medidas pelo sensor durante esse ensaio.

**Tabela 1: Tensões alternadas aplicada no isolador e correntes correspondentes medidas pelo sistema**

| <i>Tensão aplicada (<math>KV_{rms}</math>)</i> | <i>Corrente medida (<math>mA_{rms}</math>)</i> |
|--|--|
| 8,7  | 0,0072   |
| 18,5   | 0,0108   |
| 31,2   | 0,0169   |
| 41,9   | 0,0256   |
| 52   | 0,0355   |
| 57,8   | 0,0416   |
| 67,9   | 0,0535   |
| 75,9   | 0,0631   |

[0046] Durante esses ensaios, os módulos de medição (2) e a unidade microprocessada (3) operaram conforme o esperado, coletando os valores de corrente e os enviando para o Servidor. Para cada nível de tensão, foram realizadas duas aquisições de corrente de fuga para verificar a precisão do dispositivo proposto. Mesmo sob níveis de tensão elevados, o sistema demonstrou robustez, não apresentando variações significativas valores medidos.

[0047] Utilizando a mesma configuração experimental e visando aprofundar a validação da robustez do sistema, foi realizado o ensaio de alta tensão impulsiva, positiva e negativa, para verificar as condições eletromagnéticas tanto da carcaça (4) quanto do TC (1). Foram aplicadas tensões impulsivas de 70 kV tanto na polaridade positiva quanto na negativa. Para a realização do impulso, foi definido que os eletrodos se aproximassem até uma distância de 28 mm; assim, após a ruptura, ocorreu a injeção do impulso. Em ambas as polaridades, o módulo de medição (2) e a unidade microprocessada (3) funcionaram conforme esperado, com o circuito eletrônico suportando os estresses elétricos impostos, sem falhas em momento algum. Mesmo nos momentos em que a configuração permaneceu desenergizada, o sistema continuou operando sem interrupções, garantindo a integridade dos dados ao longo do experimento.

[0048] Por fim, para verificar a capacidade de diferenciação de níveis de degradação, foi realizado um procedimento de aplicação de poluição artificial em

três isoladores (17), nomeados de X, Y e Z, como ilustrado na Figura 6, de acordo com a norma IEC 60815-1. Os isoladores (17) foram suspensos a 150 cm e estabilizados ao longo de um cabo de aço energizado (18), juntamente com um quarto isolador (17), denominado de W, completamente limpo. Ao isolador (17) X foi aplicada uma poluição de grau baixo, enquanto que o isolador (17) Y recebeu uma poluição de grau médio e o isolador (17) Z, poluição de grau alto. Cada isolador (17) teve seu terminal terra (19) conectado ao aterramento de forma a passar pelo centro de um TC (1) operante. As correntes de fuga foram monitoradas ao mesmo tempo com um osciloscópio de bancada, vide Figura 7a, e com o sistema proposto, Figura 7b. Para o uso do osciloscópio, conectou-se cada um dos isoladores (17) a um resistor *shunt*, possibilitando o uso da ponteira de corrente do equipamento. Esse teste só possível por se tratar de ambiente laboratorial, uma vez que o acréscimo de resistências na rede vai de encontro às normas vigentes. Nota-se o alto grau de concordância na forma e magnitude das medições e a clara relação entre nível de poluição e magnitude da corrente de fuga. O desalinhamento das fases é consequência apenas dos dados escolhidos para se traçar os gráficos, cuja aquisição foi realizada em instantes diferentes, não tendo significado físico.

#### **Referências Não-Patentárias**

[0049] Ahmed, R., Kim, T., Lee, Y. J., Jeon, S., Yi, J., Choi, I. H., ... & Koo, J. B. (2020). Online condition monitoring and leakage current effect based on local area environment. *Transactions on Electrical and Electronic Materials*, 21, 144-149.

[0050] Akbar, M., Ullah, R., & Alam, S. J. M. R. E. (2019). Aging of silicone rubber-based composite insulators under multi-stressed conditions: an overview. *Materials Research Express*, 6(10), 102003.

[0051] de Santos, H., & Sanz-Bobi, M. Á. (2020). A cumulative pollution index for the estimation of the leakage current on insulator strings. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 35(5), 2438-2446.

[0052] Dolník, B., Šárpatky, L., Kolcunová, I., & Havran, P. (2022).

Sensing method using multiple quantities for diagnostic of insulators in different ambient conditions. *Sensors*, 22(4), 1376.

[0053] Fierro-Chavez, J. L., Ramirez-Vazquez, I., & Montoya-Tena, G. (1996). On-line leakage current monitoring of 400 kV insulator strings in polluted areas. *IEE Proceedings-Generation, Transmission and Distribution*, 143(6), 560-564.

[0054] Gençoğlu, M. T., & Cebeci, M. (2008). The pollution flashover on high voltage insulators. *Electric Power Systems Research*, 78(11), 1914-1921.

[0055] Gouda, O. E., Darwish, M. M., Mahmoud, K., Lehtonen, M., & Elkhodragy, T. M. (2022). Pollution severity monitoring of high voltage transmission line insulators using wireless device based on leakage current bursts. *IEEE Access*, 10, 53713-53723.

[0056] Jiang, Y., McMeekin, S. G., Reid, A. J., Nekahi, A., Judd, M. D., & Wilson, A. (2014). Theoretical model of applying radiometry to monitor insulator contamination. In *International Conf. Condition Monitoring and Diagnostics*, Jeju, Korea.

[0057] Li, J., Sima, W., Sun, C., & Sebo, S. A. (2010). Use of leakage currents of insulators to determine the stage characteristics of the flashover process and contamination level prediction. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 17(2), 490-501.

[0058] Oliveira, S. C., Fontana, E., & de Melo, F. J. D. M. (2009). Leakage current activity on glass-type insulators of overhead transmission lines in the northeast region of Brazil. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 24(2), 822-827.

[0059] Portella, K. F., Piazza, F., Inone, P. C., Ribeiro Jr, S., Cabussú, M. S., Cerqueira, D. P., & Chaves, C. S. D. S. (2008). Efeitos da poluição atmosférica (litorânea e industrial) em isoladores da rede elétrica da região metropolitana de Salvador. *Química Nova*, 31, 340-348.

[0060] Robles, G., Martínez-Tarifa, J. M., Gómez-de-la-Calle, M., Barroso-de-María, G., & Izquierdo, D. (2021). Detecting serial arcs in aeronautical applications using inductive sensors. *IEEE Transactions on Aerospace and*

Electronic Systems, 58(3), 2073-2082.

[0061] Rubio-Serrano, J., Rojas-Moreno, M. V., Posada, J., Martínez-Tarifa, J. M., Robles, G., & Garcia-Souto, J. A. (2012). Electro-acoustic detection, identification and location of partial discharge sources in oil-paper insulation systems. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 19(5), 1569-1578.

[0062] Stefenon, S. F., Seman, L. O., Neto, N. F. S., Meyer, L. H., Nied, A., & Yow, K. C. (2022). Echo state network applied for classification of medium voltage insulators. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 134, 107336.

[0063] Villalobos, R. J., Moran, L. A., Huenupán, F., Vallejos, F., Moncada, R., & Pesce, C. (2022). A new current transducer for on-line monitoring of leakage current on HV insulator strings. *IEEE Access*, 10, 78818-78826.

[0064] Werneck, M. M., dos Santos, D. M., de Carvalho, C. C., de Nazaré, F. V. B., & Allil, R. C. D. S. B. (2014). Detection and monitoring of leakage currents in power transmission insulators. *IEEE sensors journal*, 15(3), 1338-1346.

## REIVINDICAÇÕES

1. **SISTEMA, COM SENSOR E CIRCUITO ELETRÔNICO, PARA MONITORAMENTO DE BAIXAS CORRENTES EM SUBESTAÇÕES DE ENERGIA** caracterizado por ser composto por um transformador de corrente, sensor (1), um módulo de medição (2), uma unidade microprocessada (3) e a carcaça (4); e pelo sensor (1) ser composto de um núcleo (5a) toroidal envolto por um enrolamento (6) condutivo, coberto por uma tela (7) metálica e selado em um invólucro (8a) personalizado, e pela tela (7) envolver apenas a parte externa do toróide, concentrando as linhas de fluxo magnético necessárias ao efeito indutivo para o sensoriamento na parte interna do núcleo (5), e pelas extremidades do enrolamento (6) serem conectadas via cabo blindado (9), revestido com uma camada (10) protetora, por meio de um conector (8b) até um circuito de condicionamento de sinal - nesse caso, ao módulo de medição (2), que é implementado em um placa mãe (13) integrada e composto por blocos interligados de condicionamento e processamento da informação advinda do sensor (1); e pela unidade microprocessada (3) ser composta por dois módulos de processamento, implementados no Microcontrolador de Processamento (14), que realiza a amostragem sempre que requisitada pelo Microcontrolador de Comunicação (15) do sinal advindo do módulo de medição (2), fazendo sua conversão A/D, armazenando as amostras do sinal digitalizado em uma Memória Externa (16) não-volátil e quantificando sua magnitude para enviar sinais de comando ao bloco de Controle de Ganho Automático e no Microcontrolador de Comunicação (15), responsável pela lógica de controle da unidade microprocessada (3) e por sua comunicação sem fio com o Servidor remoto, que pode enviar comandos para a unidade microprocessada (3) ou receber dados da mesma; e pelos microcontroladores interagirem entre si por meio de comunicação serial e de um sistema de arquivos acessado por ambos em uma Memória Externa (16).

2. **SISTEMA, COM SENSOR E CIRCUITO ELETRÔNICO, PARA MONITORAMENTO DE BAIXAS CORRENTES EM SUBESTAÇÕES DE**

**ENERGIA**, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** ser capaz de medir correntes elétricas em regime alternado na faixa de dezenas de microampères a dezenas de miliampères, com ajuste da faixa de interesse tanto em magnitude quanto em frequência; e por ser capaz de medir diretamente as correntes elétricas sem interferir com a integridade da rede, minimizando a propagação de incertezas no sistema; e por adquirir o sinal de corrente elétrica de maneira completa e com alta resolução, mantendo sua integridade para posteriores análises; e por ter uma rede de comunicação dedicada, habilitando configuração remota do *firmware* para atualização dos parâmetros de aquisição e processamento e envio dos dados adquiridos via Internet.

3. **SISTEMA, COM SENSOR E CIRCUITO ELETRÔNICO, PARA MONITORAMENTO DE BAIXAS CORRENTES EM SUBESTAÇÕES DE ENERGIA**, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo** circuito eletrônico do módulo de medição (2) realizar a equalização do sinal medido, linearizando e tornando constante sua resposta em frequência ao mesmo tempo que a migra para a região de interesse para a aplicação, tipicamente de 50 a 900 Hz; e pelo circuito eletrônico do módulo de medição (2) possibilitar a calibração manual da faixa de medição de interesse e do nível DC do sinal, tornando o sistema adaptável a diferentes equipamentos elétricos ou componentes da linha de transmissão; e pelo circuito eletrônico do módulo de medição (2) possibilitar a calibração automática do ganho de cada harmônica do sinal, facilitando a reconstrução direta do sinal medido.

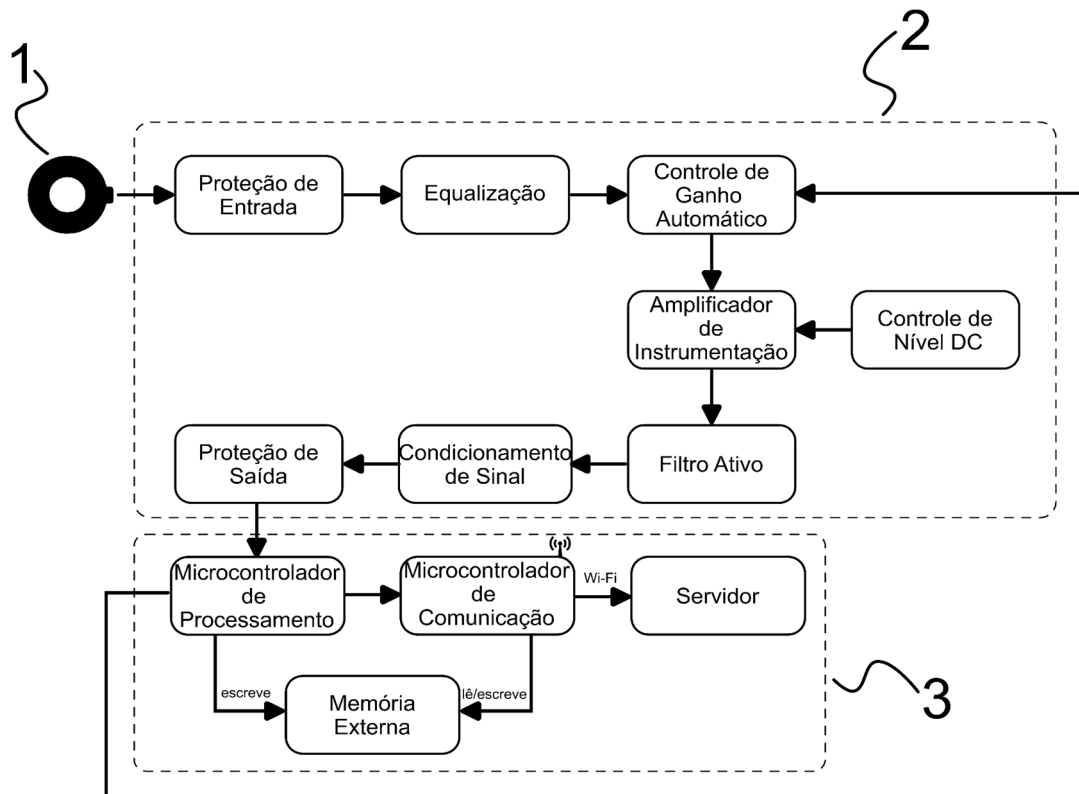


Fig. 1

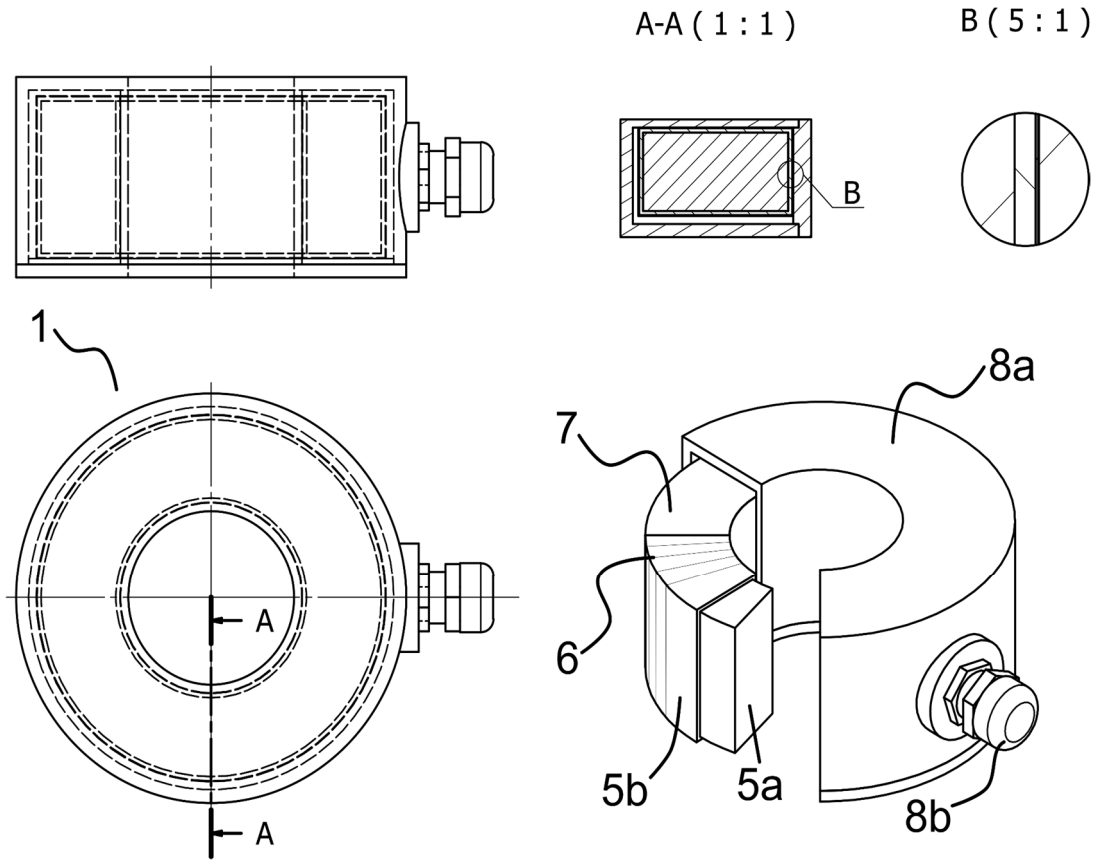


Fig. 2

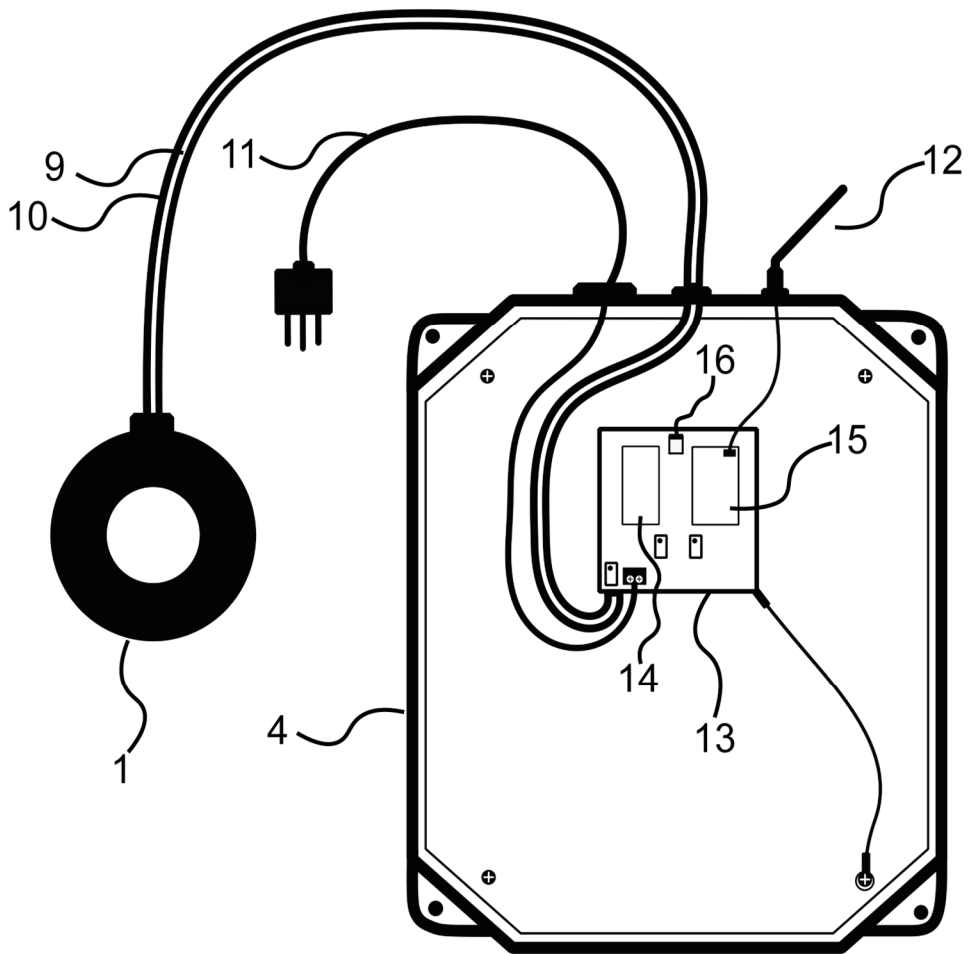


Fig. 3

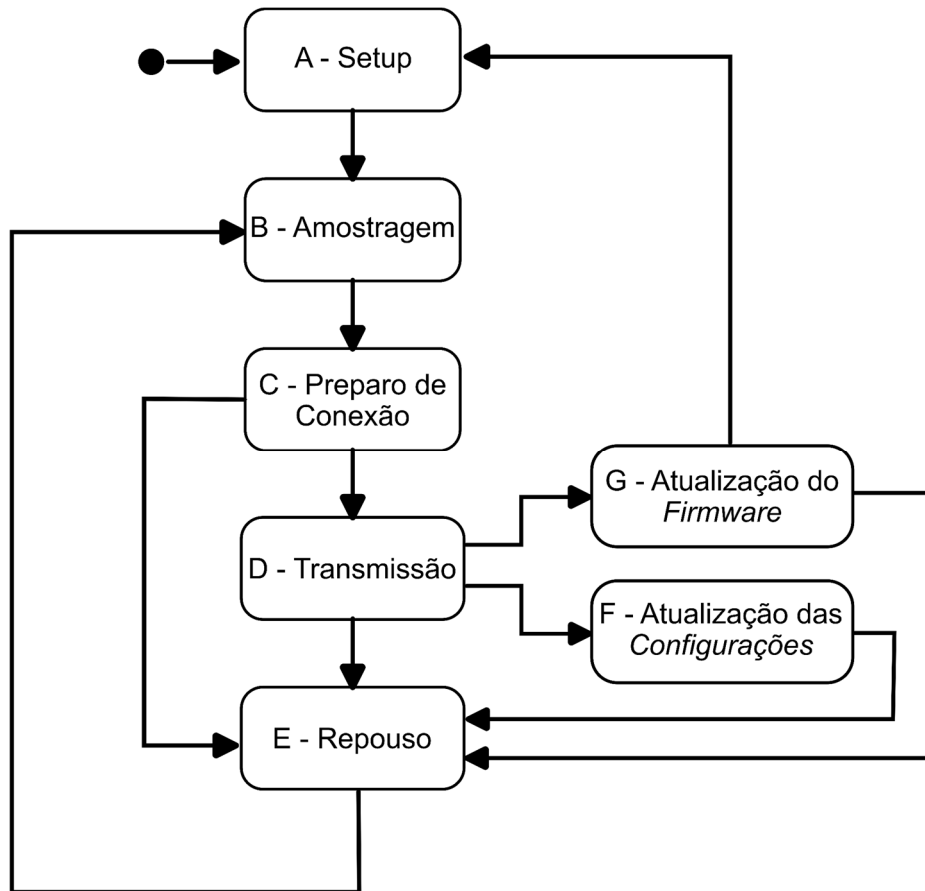


Fig. 4a

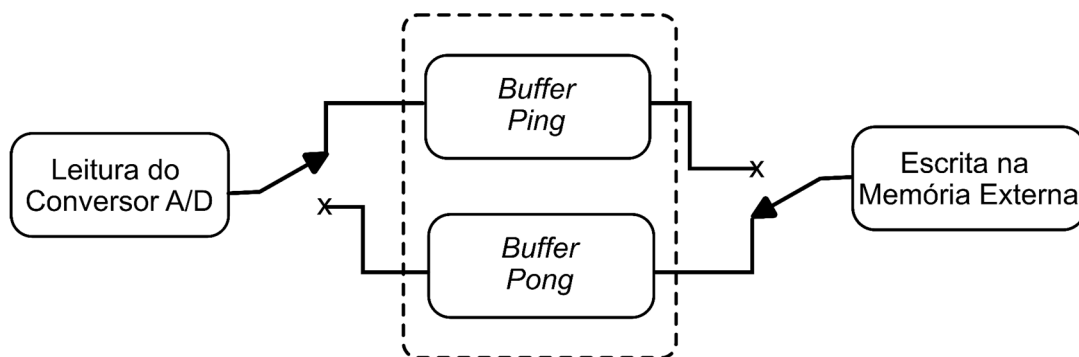


Fig. 4b

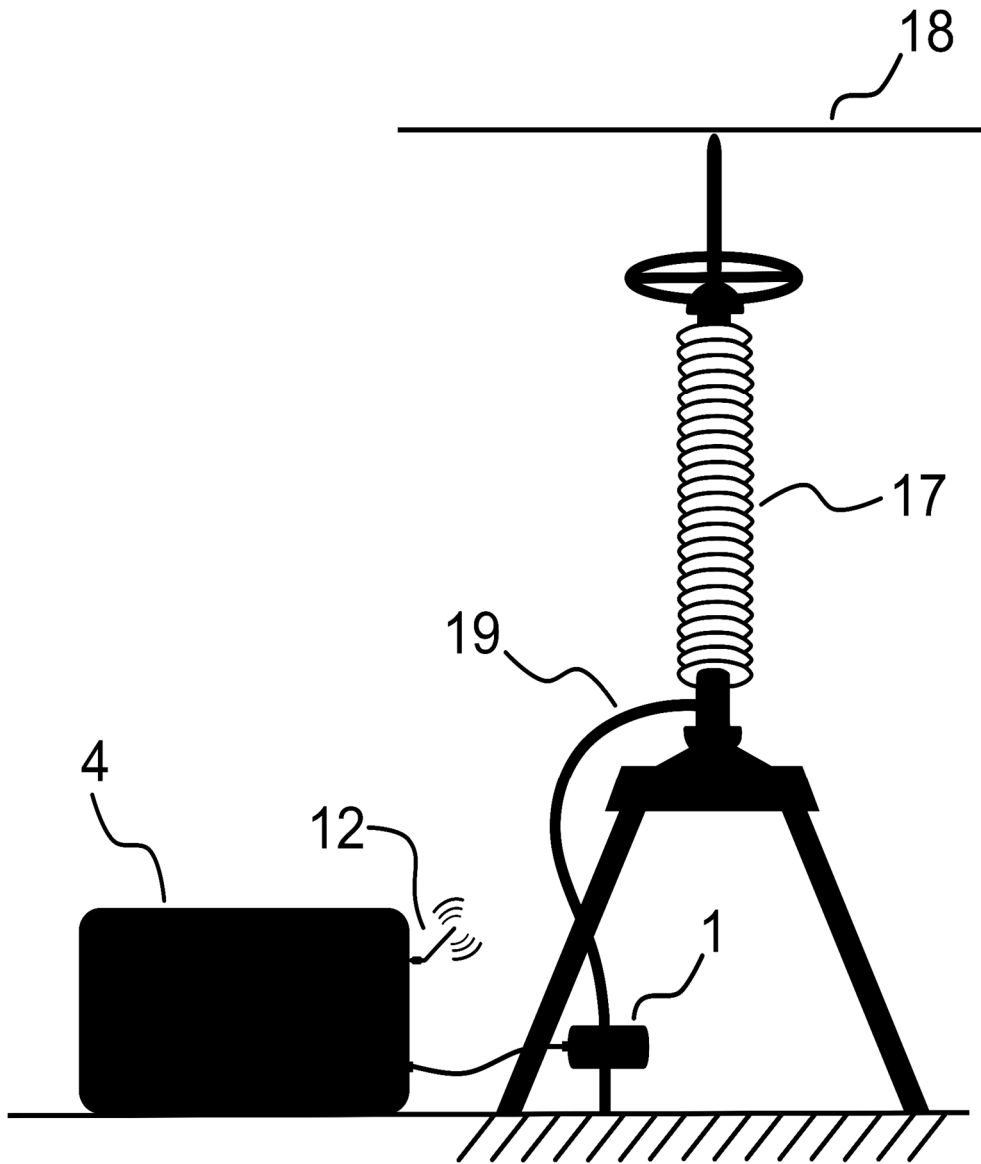


Fig. 5

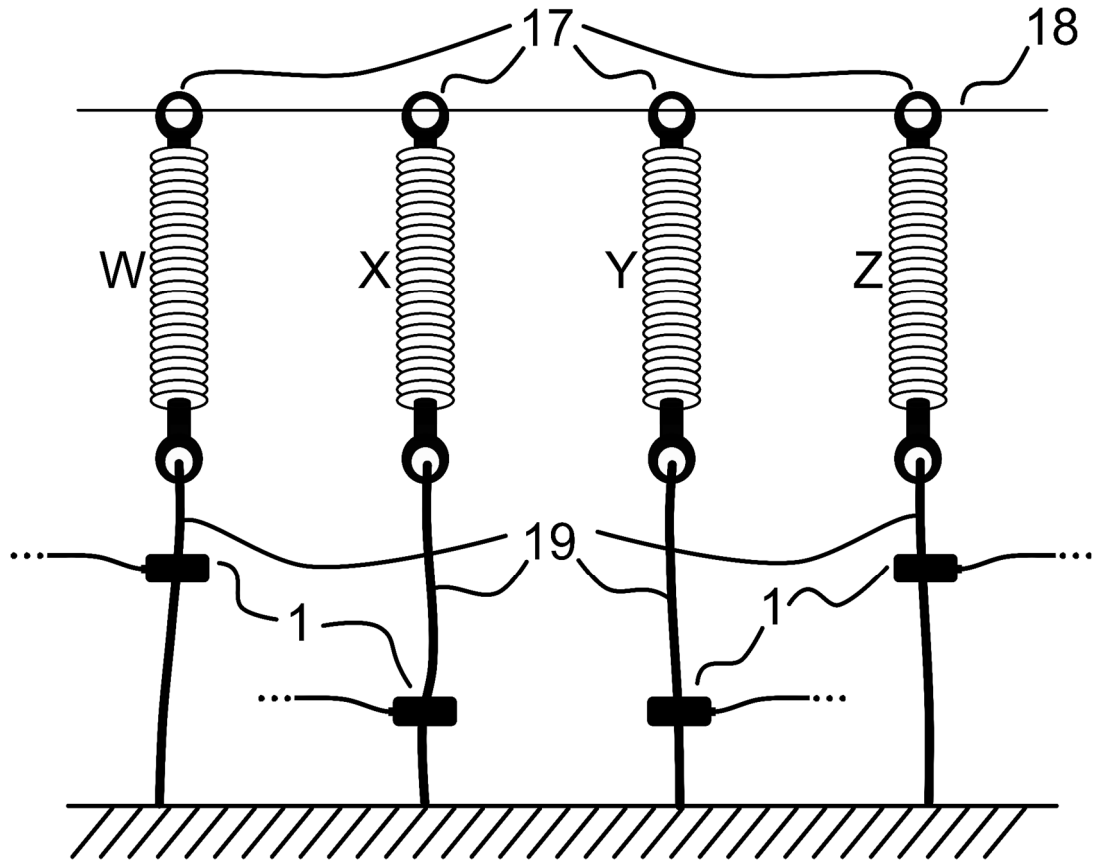


Fig. 6

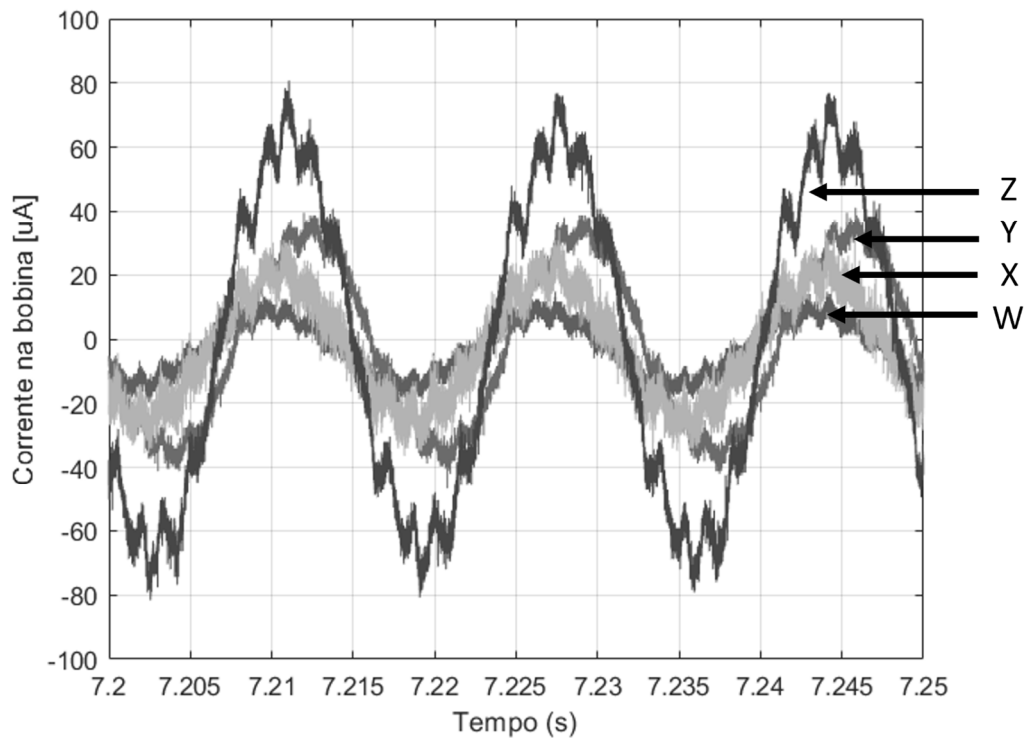


Fig. 7a

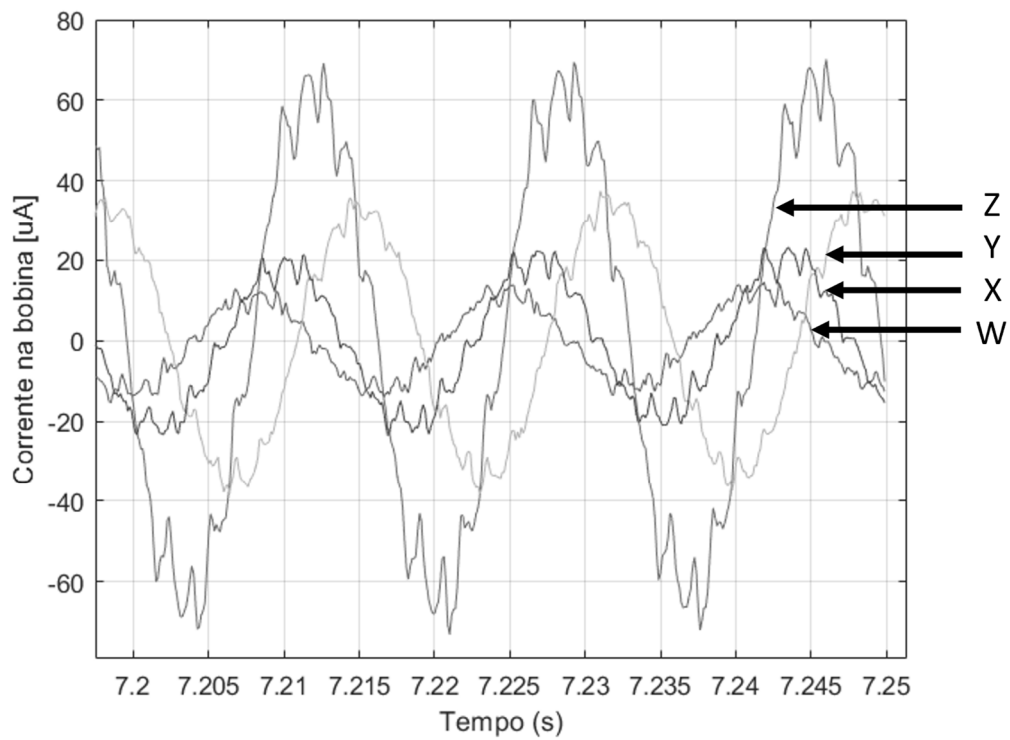


Fig. 7b

## RESUMO

**SISTEMA, COM SENSOR E CIRCUITO ELETRÔNICO, PARA  
MONITORAMENTO DE BAIXAS CORRENTES EM SUBESTAÇÕES DE  
ENERGIA**

A presente invenção trata de um sistema, sensor e circuito eletrônico com aplicação na área de dispositivos de medição de baixas correntes em regime alternado, com o objetivo de monitorar equipamentos elétricos em subestações de energia e auxiliar na execução de manutenções preventivas, essenciais para a garantia de um bom funcionamento e segurança dos sistemas elétricos. O sistema é composto por um transformador de corrente (1), um módulo de medição (2), uma unidade microprocessada (3) e a carcaça (4). O conjunto em questão atua de forma abrangente e autosuficiente na medição de baixas correntes em subestações de energia. Seu funcionamento, baseado no princípio magnético, é robusto e preserva a integridade da rede com a sua medição sem contato a partir do transformador de corrente (1). A carcaça (4) protege as partes sensíveis contra intempéries e interferência eletromagnética. O método de medição direta desenvolvido reduz incertezas no sistema e permite realizar calibração e autoequalização do sinal com simples ajustes feitos no módulo de medição (2), sem necessidade de pós-processamento para recuperação da informação medida. Os dados adquiridos são tratados e enviados pela unidade microprocessada (3) ao Servidor, que disponibiliza arquivos do tipo binário que podem ser visualizados através de qualquer editor de código fonte disponível.