



GRUPO DE ESTUDO DE SUBESTAÇÕES E EQUIPAMENTOS DE ALTA TENSÃO - GSE

COMPARAÇÃO ENTRE TIS CONVENCIONAIS E LPITS PARA APLICAÇÕES COM BARRAMENTO DE PROCESSO IEC 61850

**CARLOS ALBERTO DUTRA(1);SERGIO LUIZ ZIMATH(1);LUCIANO MENDES DE FREITAS(2);RUBENS JOSÉ NASCIMENTO(2);LUAN ZOLIN TOMINAGA(1);GILMAR FRANCISCO KREFTA;JURANDIR PAZ DE OLIVEIRA
POWEROPTICKS(1);ENGIE(2)**

RESUMO

Os transformadores de instrumentação (TI) são tradicionalmente utilizados no setor elétrico e sua aplicação é muito conhecida pelo mercado, o que traz confiança para o pessoal técnico. Porém suas características construtivas implicam em uma série de riscos tanto do ponto de vista funcional quanto de segurança. Os transformadores de instrumentação de baixa potência (Low-power Instrument Transformers – LPIT) vem cada vez mais se mostrando como uma alternativa viável e segura e trazem consigo o fato de serem naturalmente aderentes aos conceitos da norma IEC 61850. Este documento faz uma análise dos TIs convencionais e os LPITs, traçando um paralelo entre as suas características, vantagens e vulnerabilidades.

PALAVRAS-CHAVE

Transformadores de instrumentação; LPIT; TC óptico; TP óptico; IEC 61850; barramento de processo; merging unit;

1.0 INTRODUÇÃO

O setor elétrico vem sofrendo uma rápida e expressiva transformação tecnológica com a aplicação dos conceitos da norma IEC 61850 [1] no sistema de automação, proteção e controle das subestações. Novas subestações já são planejadas e construídas considerando estes conceitos por conta das várias vantagens tanto de operação e manutenção quanto pela sua relação custo/benefício para a implantação.

Neste conceito, os dispositivos da subestação, incluindo os do pátio, se interligam não mais por um conjunto de inúmeras conexões elétricas, mas sim por uma rede de comunicação via fibra óptica. Esta comunicação é baseada em protocolos definidos pela norma IEC 61850 e estruturados em uma rede devidamente preparada para garantir o tráfego seguro e confiável dos dados e a integridade do sistema de proteção, automação e controle.

Os transformadores de instrumentação (TI) convencionais, em geral indutivos, são amplamente utilizados nas subestações, mas não são preparados para a interconexão com a rede. Para permitir que as medições possam ser compartilhadas na rede, estes TIs precisam estar conectados a dispositivos eletrônicos inteligentes (IEDs) específicos chamados de Merging Units que digitalizam as medições e as enviam para a rede na forma de Sampled Values (SV).

Novas tecnologias de medição de baixa potência, os chamados LPITs (Low-Power Instrument Transformers), baseados principalmente em sensores ópticos, estão se tornando uma realidade e com ela várias das deficiências conhecidas dos TIs convencionais são eliminadas. Por conta de suas características construtivas, possuem sua interface com os demais IEDs de forma nativa totalmente aderentes à norma IEC 61850.

Neste artigo é feita uma análise comparativa entre os transformadores de instrumentação. Na seção 2 são mostrados os transformadores de instrumentação convencionais, com seus tipos e características básicas. Na seção 3 são apresentados os LPITs e na seção 4 é descrita a integração dos LPITs com o barramento de processo IEC 61850. A seção 5 traz o paralelo entre os TIs convencionais e os LPITs fazendo uma análise sobre a relação custo/benefício, segurança, operação e manutenção, aspectos metrológicos, confiabilidade e capacitação profissional e a seção 6 traz as conclusões a respeito.

Este trabalho é realizado como parte do projeto PD-00403-0047/2019 do programa P&D ANEEL, intitulado “Cabeça de Série do Transformador Eletrônico de Corrente Óptico – TECO-MR”, no âmbito do programa de P&D da ENGIE Brasil regulado pela ANEEL.

2.0 OS TRANSFORMADORES DE INSTRUMENTAÇÃO CONVENCIONAIS

Os transformadores de instrumentação são elementos que convertem os sinais de tensão ou corrente para níveis apropriados em seu secundário de forma que possam ser utilizados em instrumentos de medição, relés de proteção e outros instrumentos. Uma função importante destes transformadores é a isolamento galvânica, permitindo a operação dos sistemas em níveis seguros e padronizados. TIs convencionais são amplamente utilizados no setor elétrico devido às práticas e padrões bem estabelecidos que especificam suas características operacionais.

Por serem construídos com materiais ferromagnéticos e usarem óleo ou outros materiais isolantes para prover a isolamento necessária entre os seus enrolamentos primário e secundário, estão sujeitos a situações que podem provocar atuações indevidas como falhas na operação, acarretando prejuízos financeiros para as concessionárias, bem como causar importantes danos materiais e pessoais [2]. Esses equipamentos também provêm medidas para os instrumentos de medição de faturamento, e a sua exatidão está diretamente associada a questões financeiras referentes aos agentes envolvidos.

Os tipos de TIs empregados são os de transformadores corrente (TCs) e os transformadores de potencial (TPs).

2.1 TRANSFORMADORES DE CORRENTE

O transformador de corrente (TC) é um equipamento monofásico que possui dois enrolamentos, um denominado primário, normalmente constituído de uma barra sólida, e outro denominado secundário, construído com um conjunto de espiras, sendo isolados eletricamente um do outro, porém, acoplados magneticamente. São usados para reduzir a corrente do primário, cujos valores nominais podem manter-se na ordem de alguns milhares de Ampères, para valores em torno de 1 A ou 5 A, que são compatíveis com os equipamentos que compõem o sistema de proteção, automação e controle da subestação e promovem a segurança do pessoal técnico que opera os equipamentos na sala de controle.

Em situações de curto-circuito as correntes medidas sobem drasticamente e o TC deve ter a capacidade de medir corretamente e de suportar eletricamente e mecanicamente os esforços relativos aos valores de corrente que podem chegar, no caso de TCs para proteção, em 20 vezes a corrente nominal.

Para prover a isolamento necessária, a maioria dos TCs comercializados para aplicações em altas tensões utilizam óleo como elemento isolante interno. Os aspectos construtivos de um TC são ilustrados na Figura 1.

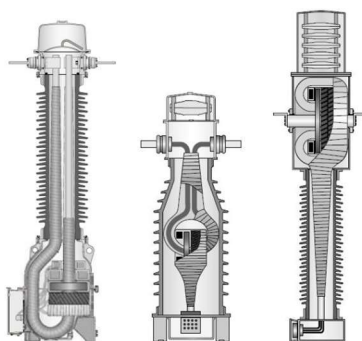


Figura 1 – Construção de TCs.

Devido às suas características construtivas, no que se refere aos transitórios de corrente em função de um curto-circuito na linha em que monitoram, podem ser observados comportamentos indesejáveis nas correntes do secundário. Nos transitórios, as correntes do primário sobem rapidamente, implicando no aumento do fluxo magnético dado pelas correntes de magnetização internas ao transformador. O comportamento da componente d.c. da falta pode levar ao fenômeno da saturação do núcleo, fazendo com que a corrente do secundário seja nula em certos períodos de tempo. A Figura 1 ilustra o efeito da saturação do TC em uma falta considerando uma carga resistiva no secundário.

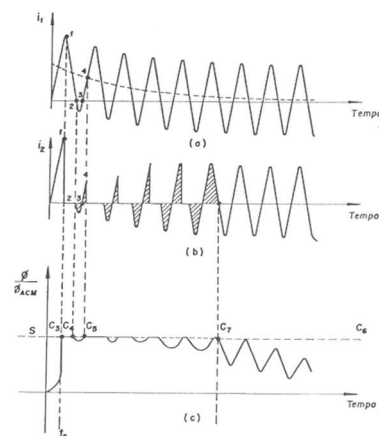


Figura 2 – Corrente de primário, de secundário e fluxo magnético, considerando saturação.

A saturação também é dependente da carga no secundário do TC. Com a redução substancial no uso de relés eletromecânicos, o *burden* imposto no secundário do TC deixou de ser um potencializador deste comportamento. Entretanto a resistência dos cabos que interliga o TC do pátio da subestação até a sala de controle pode influenciar na saturação.

Os efeitos da saturação comprometem o comportamento dos sistemas de proteção. Por conta da forma de onda no secundário já não mais refletir as correntes da falta, as funções de proteção dos relés passam a não responder adequadamente, operando mais lentamente do que o esperado ou mesmo não operando (uma vez que valores RMS da corrente de secundário serão menores que os reais em função da distorção da onda), bem como pode haver perda de seletividade nos esquemas de proteção, causando desligamentos indevidos.

Do ponto de vista de segurança, os TCs apresentam um elevado risco de explosão. Esta situação, além de levar a danos materiais em várias partes da subestação, também coloca em risco o pessoal técnico do local.

Os TCs são classificados de acordo com a sua aplicação. Os de proteção possuem faixas de medição maiores (pelo menos 20 vezes a corrente nominal) entretanto, por razões construtivas também possuem um erro de medição mais acentuado. Admite-se uma classe de exatidão de 5 a 10%. Os TCs de medição operam em uma faixa de corrente mais restrita uma vez que não necessitam medir correntes de falta. E como em geral são aplicados para medição de faturamento, possuem classe de exatidão na ordem de 0,3% ou menores.

2.2 TRANSFORMADORES DE POTENCIAL

Os transformadores de potencial (TPs) realizam a conversão (redução) proporcional da tensão de linha, que pode ser de até várias centenas de kV, para valores em torno de 110 V e $115/\sqrt{3}$ V, que são tensões compatíveis com os demais equipamentos que compõe o sistema de proteção, automação e controle da subestação. O circuito secundário é isolado do primário para proporcionar segurança aos operadores que lidam com os instrumentos conectados ao TP. Todos os equipamentos de medição são conectados em paralelo ao mesmo secundário.

Quanto a sua forma construtiva, os TPs podem ser classificados por indutivos (TPI) ou capacitivos (TPC).

A estrutura básica de um TPI é formada por um enrolamento primário envolvendo um núcleo comum ao enrolamento secundário, funcionando assim com base na conversão eletromagnética da mesma forma que um transformador de potência.

Os transformadores de potencial capacitivos (TPCs) são construídos, de forma genérica, por capacitores em série, formando um divisor capacitivo e um transformador isolador cujos terminais são conectados aos instrumentos de medição.

Com os TPCs é possível acoplar dispositivos que permitem o envio de sinais, como por exemplo para tele-proteção, para a outra extremidade da linha de transmissão, utilizando a própria linha como meio físico. Com um sistema de ondas portadoras (*carrier*), sinais em uma faixa de frequência específica (de 30 kHz a 550 kHz) são enviados e passam pelos capacitores do TPC, fluem pela linha de transmissão até serem recebidos na extremidade oposta. Da mesma forma esses sinais passam pelo TPC no lado do receptor e são devidamente capturados.

A Figura 3 ilustra um transformador de potencial indutivo e um capacitivo

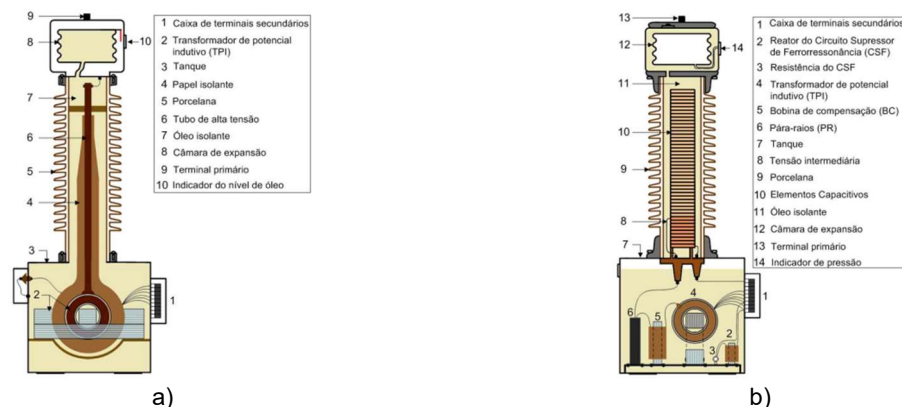


Figura 3 – a) TP indutivo. b) TP capacitivo.

A escolha entre um TP indutivo ou capacitivo depende fundamentalmente do custo e da necessidade de enviar sinais pela linha de transmissão. Os indutivos são os mais utilizados até o nível de 138 kV, pois apresentam um custo inferior. Para tensões mais elevadas, por conta das características construtivas, os capacitivos tornam-se mais competitivos no custo.

3.0 LOW-POWER INSTRUMENT TRANSFORMERS

Diferentemente dos transformadores de instrumentação convencionais com núcleos ferromagnéticos, novas tecnologias de medição de baixa potência, os chamados LPITs, baseados principalmente em sensores ópticos, estão se tornando uma realidade. Com aspectos construtivos e características de medição diferenciados, vem se tornando uma alternativa aos tradicionais meios de medição adotados no setor elétrico nacional.

Os princípios de funcionamento já são estudados há algumas décadas, porém a sua aplicação tem sido viabilizada recentemente por conta da intensa evolução tecnológica dos componentes que o cercam e da modernização dos sistemas de proteção, automação e controle nas subestações com a aplicação da norma IEC 61850 no setor elétrico. A norma IEC 61850 permitiu a modificação dos meios em que as medidas obtidas dos sinais ópticos são disponibilizados aos sistemas que fazem uso destas informações.

Ainda que os LPITs possam ser classificados em diferentes categorias, há uma forte tendência na aplicação de tecnologia óptica na construção dos sensores para medição de corrente e tensão. O uso de fibras ópticas traz um benefício intrínseco de prover isolamento elétrica entre os pontos de alta tensão e os demais equipamentos.

3.1 TRANSFORMADORES ÓPTICOS DE CORRENTE

A grande maioria dos sensores ópticos de corrente elétrica operam com base no efeito Faraday, utilizando fibras ópticas como elemento sensor. O efeito Faraday é uma propriedade de algumas substâncias translúcidas que, ao serem submetidas a um campo magnético externo, causam uma rotação do plano de polarização da luz que nela se propaga [3], como mostra a Figura 2.

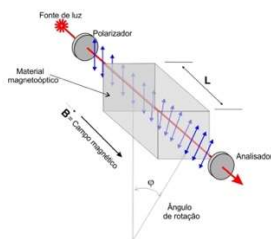


Figura 2 – Efeito Faraday.

Num sensor baseado no efeito Faraday, a corrente elétrica que passa por um condutor é calculada a partir da medição de fluxo magnético gerado em função da corrente. A forma mais simples de medir o fluxo magnético é enlaçar uma bobina de fibra óptica em torno do condutor. Nesta configuração, a sensibilidade da bobina de fibra óptica é diretamente proporcional ao número de voltas e às características físicas da fibra óptica. No modelo apresentado na Figura 5, uma luz linearmente polarizada sai do sensor Faraday com o seu ângulo de polarização modulado em função da intensidade do campo magnético rotacional ao condutor, que por sua vez é gerado pela corrente elétrica que flui no condutor.

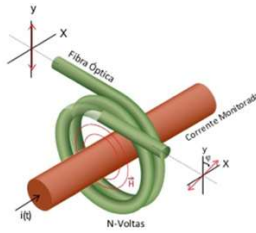


Figura 5 – Efeito Faraday aplicado à medição de corrente.

A Figura 6 apresenta um sistema óptico que utiliza uma fonte de luz linearmente polarizada, cujo feixe luminoso é conduzido através de uma fibra óptica até o sensor Faraday, o feixe luminoso passa pelo sensor, onde o seu estado de polarização é afetado em função do campo magnético, posteriormente ele é conduzido a um sistema de aquisição, onde é decomposto em suas componentes ortogonais através de um *beam-splitter*, convertendo a modulação do ângulo do estado de polarização em modulação de intensidade.

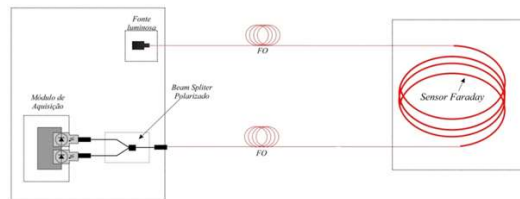


Figura 6 – Sistema óptico básico (2FO) para medição de corrente com bobina Faraday.

3.2 TRANSFORMADORES ÓPTICOS DE TENSÃO

A conversão de sinais elétricos em ópticos baseia-se no efeito Eletro-óptico, onde variações nas propriedades do índice de refração de certos cristais ocorrem mediante a aplicação de um campo elétrico externo [4]. Quando um feixe de luz polarizado atravessa esse cristal, tem a sua fase alterada pelo campo elétrico. Este dispositivo é conhecido como célula de Pockels. A Figura 7 ilustra este princípio.

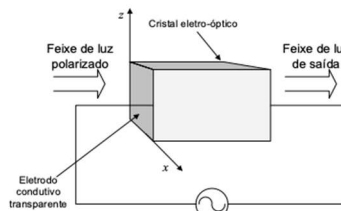


Figura 7 – Princípio de operação de uma célula de Pockels.

Devido a razões econômicas, o comprimento do cristal eletro-óptico é limitado e, por conseguinte, a diferença de potencial aceitável ao longo de um único cristal também é limitada, na ordem de 30 kV [5]. Neste contexto, os TPs ópticos são construídos utilizando elementos que abaixam a tensão (em geral com transformadores de potencial capacitivos convencionais) e a aplicam à célula de Pockels. O circuito óptico é responsável por manter a isolamento elétrica de todo o equipamento.

Utilizando um conjunto de elementos ópticos para polarizar o *Laser* e capturar o feixe de luz alterado pelo campo elétrico na célula de Pockels, e por meio de sistemas eletrônicos e de técnicas de processamento de sinais, se obtém os sinais de tensão equivalentes ao originalmente aplicado nos terminais do primário do TP óptico.

4.0 INTEGRAÇÃO DOS LPITS NO BARRAMENTO DE PROCESSO IEC 61850

Tradicionalmente, em subestações de energia elétrica, os vários equipamentos instalados são interligados entre si por meio de um conjunto extenso de cabos elétricos. Os sinais transmitidos nestes cabos são relacionados aos instrumentos de medição (TPs e TCs), chaves e disjuntores, bem como para a sinalização entre dispositivos de automação, controle e proteção. Considerando os custos e as dificuldades do uso de cabos elétricos para interligar os elementos dentro da subestação, a norma IEC 61850 trouxe os conceitos de comunicação e padronização de protocolos a fim de que os vários dispositivos (agora chamados de IEDs ou Intelligent Electronic Devices) possam ser interligados por meio de comunicação via rede. Com isto se minimizaria a quantidade de cabos e abriria a possibilidade de outros tipos de aplicação. Equipamentos recentes que compõem o sistema de proteção, automação e controle, como relés de proteção e registradores já vem com o suporte à IEC 61850 nativo. A norma preconiza a separação da rede de comunicação em dois tipos específicos de barramento: de estação e de processo. No

barramento de estação trafegam mensagens relacionadas à intertravamentos entre dispositivos, sinalização e acessos administrativos e de configuração dos IEDs. No barramento de processo são transmitidas mensagens relacionadas aos equipamentos que fazem a interface com os elementos de campo. Uma dessas mensagens refere-se à comunicação de dados amostrados de tensão e corrente, os chamados Sampled Values (SV). Os SVs são produzidos por IEDs conhecidos como Merging Units, que recebem os sinais elétricos de tensão e corrente dos TPs e TCs, os digitalizam e os enviam para a rede no formato definido pela norma.

Tanto os TCs ópticos quanto os TPs ópticos, necessitam de um tratamento eletrônico e um processamento adicional para a conversão dos sinais ópticos em medidas de corrente e tensão utilizáveis por outros dispositivos. Sendo assim, é natural considerar que os LPITs já nascem com o suporte às subestações voltadas para a arquitetura proposta pela IEC 61850.

Nas Merging Units dos LPITs também são instaladas as fontes de luz necessárias para os processos de medição óptica e os receptores dos sinais provenientes dos sensores. A conversão do sinal óptico em elétrico e o devido processamento dos sinais é realizado por um processador específico que gera os pacotes de SV para o barramento de processo. Este processador também possui as funções de controle do sincronismo temporal e de monitoramento do estado de todo o equipamento, como por exemplo o recebimento dos sinais pelas fibras ópticas e os níveis de potência luminosa das fontes de luz, permitindo sinalizar qualquer anomalia na operação do equipamento.

5.0 ASPECTOS COMPARATIVOS ENTRE TIS CONVENCIONAIS E LPITS

Os TIs convencionais já são empregados a décadas e tem sua tecnologia conhecida. Entretanto, por utilizarem princípios baseados em núcleos ferromagnéticos possuem aspectos negativos que podem ser críticos em certos casos, especialmente em situações de faltas. A seguir serão traçados paralelos entre os TIs convencionais e LPITs relacionados a diferentes aspectos.

5.1 RELAÇÃO CUSTO/BENEFÍCIO

Apesar das tecnologias empregadas já serem conhecidas a décadas, o emprego dos LPITs passou a ser viabilizado economicamente. Como a escala de produção dos elementos ópticos (incluindo as fibras ópticas) está em fase de expansão, o esperado é que os custos se reduzam ainda mais e as soluções considerando LPITs sejam ainda mais competitivas.

Quando se avalia o custo dos LPITs e TIs convencionais com aplicação em barramentos de processo IEC 61850, algo que vem se tornando uma tendência mundial, a relação torna-se ainda mais vantajosa para os LPITs já que a sua conexão à rede é nativa nestes equipamentos enquanto os TIs convencionais requerem a instalação de uma Merging Unit como equipamento adicional para serem integrados.

Do ponto de vista da infraestrutura de instalação, a interface entre os TIs convencionais e os IEDs requerem cabos elétricos de bitolas expressivas, que são caros e necessitam de canaletas maiores e mais caras. Por sua vez, LPITs tem toda a interface entre os elementos sensores e os IEDs realizadas por meio de fibras ópticas, o que reduz significativamente a quantidade de cabos, calhas e infraestrutura relacionada a interligação dos dispositivos do pátio à sala de controle da subestação.

5.2 SEGURANÇA

Um dos aspectos mais críticos do uso de TIs convencionais, mais especificamente os relacionados aos TCs, é o risco de explosões devido a falhas no isolamento interno. A abertura do secundário do TC também pode levar a explosões. Ao se abrir o circuito de corrente do secundário, há o surgimento de altas tensões nos seus terminais, levando ao superaquecimento de partes internas e o rompimento do dielétrico. As altas tensões no secundário também podem danificar os equipamentos conectados a ele, além de colocar em risco a vida de operadores. Com base em dados fornecidos pelo Operador Nacional do Sistema elétrico (ONS) relativo às ocorrências no Sistema Integrado Nacional (SIN) mostram que a taxa média de explosões de TCs é próxima de 0,1 % do número de TCs em operação. Estatisticamente o número de ocorrências é mais relevante em TCs em subestações de 500 kV, o que é bastante preocupante. A explosão de um TC, além das perdas financeiras, inviabiliza o bay que está envolvido, põe em risco outros equipamentos da subestação e a vida das pessoas que estão no seu entorno.

Os LPITs por apresentarem naturalmente um altíssimo grau de isolamento em função do uso de tecnologias ópticas, não apresentam risco de explosão, trazendo mais segurança aos empreendimentos.

5.3 OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO

Por conta dos aspectos construtivos que envolvem manter os níveis de isolamento entre primário e secundário, o volume e o peso dos equipamentos convencionais é bastante expressivo, o que requer uma maior robustez dos elementos de sustentação, e complexidade na sua instalação. Por sua vez, os LPITs são consideravelmente menores e mais leves, o que permite simplificar a estrutura de fixação e facilita o transporte e montagem em campo.

Do ponto de vista de manutenção, os TIs convencionais dependem de trabalhos específicos de medição do óleo, ou de outras técnicas de identificação de falhas internas. Estas medições são em geral realizadas de forma manual e periódica o que leva a indicações tardias de falhas. No caso dos LPITs, como estão intrinsicamente associados a sistemas eletrônicos e microprocessados, toda a cadeia que compreende o sensoriamento das grandezas, como estado e potência dos *Lasers*, circuitos ópticos, sistemas de condicionamento de sinais e conversões analógico/digitais, são monitorados continuamente e, havendo a identificação de qualquer anomalia, alertas preventivos são encaminhados ao pessoal responsável. Adicionalmente, por serem aderentes de forma nativa à norma IEC 61850, os próprios LPITs podem reportar possíveis diagnósticos de falhas no seu sistema de medição aos demais IEDs e, esquemas alternativos podem ser automaticamente disparados, mantendo o sistema operando sem a necessidade de intervenções externas.

5.4 ASPECTOS METROLÓGICOS

Com relação à qualidade das medições, por serem baseados em núcleos ferromagnéticos, os TIs convencionais estão sujeitos a saturação, o que impacta fortemente os esquemas de proteção. Por conta das impedâncias envolvidas, estão sujeitos a maiores erros de linearidade e de fase. Já os instrumentos baseados em tecnologia óptica não possuem esse tipo de limitação. Apresentam rápidas respostas a variação de sinais e classes de exatidão chegando na ordem de 0,2% em toda a faixa de medição. Porém esta tecnologia é susceptível a variações de temperatura e de potência luminosa ao longo do tempo e requerem a implementação de sistemas de compensação nas medidas.

5.5 CONFIABILIDADE

Os TIs convencionais possuem um histórico de anos de aplicação o que torna as suas características funcionais amplamente conhecidas. Ao contrário dos equipamentos convencionais, os LPITs trazem uma tecnologia que, apesar de estudada a muito tempo, ainda carece de uma maior quantidade de instalações em campo com a sua aplicação. A experiência tem mostrado ótimos resultados, entretanto, ainda é prematuro afirmar de forma estatisticamente confiável como será o comportamento dos elementos ópticos, sobretudo o das fontes de energia luminosa, no longo prazo. Estima-se que as fontes de luz venham a perder de 10 a 20 % da sua potência entre 10 e 15 anos especialmente se são submetidos a temperaturas elevadas. Além disto, os LPITs contemplam a aplicação intensa de eletrônica embarcada e é sabido que a vida útil dos componentes eletrônicos é limitada. Estes aspectos potencialmente trazem uma redução da vida útil dos LPITs quando comparada aos mais de 20 anos esperados para um TI convencional. Em contrapartida, os LPITs permitem o monitoramento constante de todos os componentes críticos que o cercam e são capazes de alertar sobre alguma degradação permitindo que se aja preventivamente. Como os elementos mais sensíveis à falhas estão instalados junto às Merging Units, é razoável considerar que a sua substituição é muito mais simples e rápida que a substituição de um TI convencional.

5.6 CAPACITAÇÃO PROFISSIONAL

Em subestações com equipamentos convencionais, as interconexões entre os dispositivos são puramente elétricas. Os instrumentos utilizados para avaliar as condições de funcionamento e conexões nos quadros de comando ou entre dispositivos de campo e sala de controle, levam em consideração apenas as grandezas elétricas envolvidas no processo. No contexto em que diferentes dispositivos eletrônicos e sistemas de comunicação estão integrados e envolvidos diretamente na operação do sistema como um todo, outros conhecimentos e habilidades também passam a ser demandados para o pessoal técnico.

No mundo puramente elétrico, ferramentas como voltímetros e amperímetros são a base para qualquer pessoal técnico de campo. Com eles é possível saber se existe tensão ou corrente em alguma parte de um circuito, bem como avaliar se os seus valores estão de acordo com os esperados ou se há continuidade nos circuitos avaliados.

No universo das instalações baseadas em tecnologia digital, o uso dos instrumentos convencionais torna-se bastante limitado. Outras ferramentas são necessárias para identificar o comportamento do sistema e garantir a interoperabilidade. As grandezas medidas nos LPIT são convertidas internamente por circuitos ópticos, transformadas em informação via circuitos eletrônicos e transportadas por meio de uma rede de comunicação. Neste contexto, os instrumentos necessários à análise estão relacionados em como os dados estão sendo transportados entre os dispositivos e o conteúdo destes dados.

São exemplos dos novos instrumentos a serem utilizados:

- Medidores de potência luminosa para que se identificar se há luz sendo emitida e/ou recebida dos sensores;
- Monitoradores de tráfego de rede para identificar e dissecar as mensagens sendo trocadas entre os dispositivos e quais os dispositivos que estão sendo conectados;
- Analisadores de protocolo para verificar a integridade das mensagens;
- Software específicos para visualização de dados de interesse operacional e de manutenção, como por exemplo o conteúdo dos Sampled Values para se identificar a presença de sinais de tensão e corrente nos elementos de medição.

Fica claro que os profissionais precisarão ser treinados para o uso destas novas ferramentas e se adequar à nova realidade.

6.0 CONCLUSÕES

Os TIs são elementos essenciais na operação das subestações pois são base para qualquer ação associada ao sistema de proteção, automação e controle das subestações. Os TIs convencionais têm se mostrado apropriados para esta aplicação, porém com o aumento da demanda de energia e as correntes cada vez maiores, as suas limitações tanto em desempenho quanto em segurança vão se tornando mais evidentes e abrem espaço para aplicações funcionalmente melhores do ponto de vista de medição e mais seguras, como as ópticas aplicadas nos LPITs.

Fabricantes globais tem investido recursos vultosos em pesquisa e desenvolvimento voltados a viabilizar essas novas tecnologias ópticas em equipamentos acessíveis economicamente, e cada vez mais novos produtos começam a chegar ao mercado. Grupos de estudos em nível mundial, inclusive do próprio CIGRE, acompanham o crescimento da tecnologia dos LPITs.

Admitindo o uso do barramento de processo como uma tendência natural por conta dos vários benefícios que já são amplamente discutidos, os LPITs tornam-se opções naturais. Quando se associa os benefícios conjuntos dos LPITs ao barramento de processo, a solução torna-se economicamente ainda mais viável uma vez que os custos de infraestrutura, instalação e operação são significativamente menores comparados com instalações convencionais.

A aplicação dos LPITs se mostra extremamente promissora, mas precisa ser validada de forma mais ampla para que não existam incertezas a respeito da sua confiabilidade a longo prazo. Apesar de utilizarem componentes com vida útil mais limitada que os convencionais, o fato de seu estado ser totalmente tele-monitorado, permite que se tenha uma maior segurança das medidas obtidas e que se aja de forma preventiva no caso de indicadores de falhas. Essa característica está completamente aderente aos conceitos de digitalização das subestações.

Por ser uma tecnologia emergente é natural que se tenha um processo de adequação de toda a cadeia produtiva, entretanto os seus benefícios parecem ser um grande atrativo para que os LPITs se tornem um padrão de mercado para as futuras aplicações em subestações.

7.0 REFERÊNCIAS

- [1] IEC 61850-SER Series, "Communication networks and systems for power utility automation – All Parts", 2021
- [2] Lima, Dorival K.; "Transformadores para instrumentos ópticos: Aspectos da viabilidade do seu uso pelas empresas do setor elétrico brasileiro"; dissertação de mestrado; USP; SP; 2009
- [3] Coelho, Vinicius A., "O efeito Faraday: exposição teórica didática e experimento de baixo custo", dissertação de mestrado; UFRJ; RJ; 2017.
- [4] Yariv, A. ; Yeh, P.; "Optical waves in crystals"; New York; John Wiley & Sons, 1984.
- [5] Gonçalves, Marcell N.; "Transformador de potencial óptico com divisor capacitivo para linhas de distribuição de 13,8 kV"; dissertação de mestrado; UFRJ; RJ; 2015.

DADOS BIOGRÁFICOS



Carlos Alberto Dutra nasceu em Florianópolis/SC (1974). Engenheiro de Controle e Automação graduado pela UFSC (1999), MBA em Administração Global pela SOCIESC/UNICA (2007) e especialização em Mecatrônica pelo IFSC (2017). Mais de 20 anos de experiência em desenvolvimento de produtos, incluindo registradores de perturbação, localizadores de faltas por ondas viajantes, relógios baseados em satélites e equipamentos baseados em IEC 61850. Desde 2020 trabalha na PowerOpticks no desenvolvimento de um TC óptico.

(2) GILMAR FRANCISCO KREFTA

GILMAR FRANCISCO KREFTA é nascido em Curitiba, PR. Graduação em Engenharia Elétrica pela UTFPR em 1985. Especialização em Tecnologia Digital em 1998 pela UTFPR. Mestrado em Sistemas de Energia pela UFPR em 2008. Exerceu a função de Engenheiro de Operação do Sistema na Copel G&T desde 1988 até 2019. Consultor K Pesquisas desde 2021.

(3) SERGIO LUIZ ZIMATH

Formado em engenharia de controle e automação pela universidade federal de Santa Catarina, trabalhou por 20 anos na área de desenvolvimento de produtos onde foi responsável por diversos produtos que atualmente fazem parte da linha Reason da GE. Atualmente dedica-se às empresas Aqtech e Poweropticks contribuindo no desenvolvimento e administração das empresas.

(4) JURANDIR PAZ DE OLIVEIRA

Mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina - 1996 Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina – 1998; Diretor de Marketing na Reason Tecnologia - Alstom/GE - Florianópolis, SC - Janeiro de 2014 a Junho de 2016; Sócio Diretor da Reason Tecnologia S.A.- Florianópolis, SC - Dezembro de 1994 a Janeiro de 2014; Sócio e membro de conselhos de administração de empresas de inovação tecnologia na região de Florianópolis desde 2013.

(5) LUCIANO MENDES DE FREITAS

Graduado em Tecnologia em Eletrônica pelo CEFET em 2003, Engenharia de Controle e Automação pela FAG em 2007, Engenharia Elétrica pela SATC em 2014 e Especialista em Gerenciamento de Projetos pelo SENAI em 2016. Atualmente é Engenheiro de Manutenção de Ativos de Sistemas na Usina Hidrelétrica de Itá.

(6) RUBENS JOSÉ NASCIMENTO

Engenheiro eletricitista, pela Universidade Federal de Santa Catarina turma 1986, pós-graduação em Produtividade e Qualidade (Universidade do Sul de Santa Catarina) e MBA Gestão Empresarial - FGV. Atualmente exerce a função de Gerente da Unidade Organizacional Engenharia de Manutenção de Ativos de Sistemas da ENGIE Brasil Energia, com passagens pela CELESC, ELETROSUL, GERASUL e TRACTEBEL ENERGIA. Profissional no mercado desde 1986, além de possuir atividade docente na Área de Sistemas de Potência e trabalhos publicados em revistas especializadas.

(7) LUAN ZOLIN TOMINAGA

Engenheiro eletricitista pela Universidade Estadual De Londrina turma 2009, e pós-graduação em Gestão Industrial e Lean Manufacturing (SENAI). Atualmente é responsável pelo desenvolvimento de sistemas ópticos e gerenciamento de projetos de P&D.

