



Calibração de Transformadores de Corrente no Campo Utilizando-se Padrão baseado em Sensores Opto-eletrônicos

Pedro Henrique Mendonça¹, José Arinos T. Jr.², Marcelo M. da Costa³, João C. D. de Carvalho⁴, Celso F. de Melo Jr.⁵, Diogo B. Dahlke⁶, Minoru Ikeda⁷

¹ LACTEC, Curitiba, Brazil, pedro.henrique@lactec.org.br

² LACTEC, Curitiba, Brazil, arinos@lactec.org.br

³ ELETRONORTE, Belém, Brazil, marceloc@eln.gov.br

⁴ ELETROSUL, Florianópolis, Brasil, jclaudio@eletrosul.gov.br

⁵ COPEL, Curitiba, Brazil, celso.melo@copel.com

⁶ LACTEC, Curitiba, Brazil, diogo@lactec.org.br

⁷ LACTEC, Curitiba, Brazil, minoru@lactec.org.br

Resumo: Este trabalho apresenta um sistema para a realização da calibração de transformadores de corrente convencionais no campo, utilizando-se um transdutor de corrente ótico como padrão de referência, apto à instalação em extra alta tensão. O transdutor de corrente ótico foi caracterizado em laboratório para verificação de exatidão comparando-se com um transformador de corrente eletrônico padrão. O sistema desenvolvido é apresentado abaixo, bem como os resultados obtidos.

Palavras chave: calibração em campo, transdutores óticos, padrão de calibração.

1. INTRODUÇÃO

O novo modelo do sistema elétrico brasileiro renovou o interesse pela qualidade da medição de energia, principalmente nos pontos de fronteira entre empresas do setor, onde ocorre o faturamento de grandes quantidades de energia. Neste caso, qualquer não conformidade dos sinais medidos pode causar grandes prejuízos financeiros às empresas envolvidas. Além disso, os avançados sistemas de proteção e controle utilizados pelas concessionárias brasileiras podem ter sua devida operação prejudicada pela falta de exatidão dos sinais oriundos dos transformadores de potencial e corrente.

Dentro deste contexto, a necessidade de se verificar o erro dos transformadores instalados aumentou. Algumas opções convencionais para tal verificação estão disponíveis atualmente, como a instalação de um transformador padrão de referência para comparação, ou a remoção do transformador a ser verificado para laboratório, substituindo-o por um transformador sobressalente. Todavia, estas alternativas normalmente implicam em problemas operacionais e financeiros. Em vista do elevado porte dos equipamentos de alta tensão, o seu manuseio e transporte se tornam bastante dispendiosos, exigindo infra-estrutura compatível. Outro problema é que nem sempre há a disponibilidade de transformadores sobressalentes.

Também, e principalmente, o custo de interrupção do fornecimento de energia pode se tornar bem alto.

Como consequência dos entraves econômicos e operacionais envolvidos, em geral, a calibração periódica dos transformadores de proteção e medição instalados nas subestações não é prática comum. Grande parte dos transformadores de potencial e corrente instalados no sistema elétrico sofreu uma única calibração antes da instalação, que pode ter acontecido há muitos anos. Por isso, um fator muito preocupante no âmbito do setor elétrico é a situação em que podem se encontrar estes equipamentos, no que se refere às suas classes de exatidão, após anos de utilização no sistema.

Este artigo apresenta um sistema de verificação de exatidão em transformadores de corrente, in situ, para subestações de até 500kV. Este sistema utiliza uma tecnologia ótica, que foi disponibilizada recentemente, e que ainda não tem aplicação consolidada no sistema elétrico brasileiro. Suas principais características são: exatidão, portabilidade, flexibilidade de instalação e principalmente instalação em linha viva, ou seja, sem necessidade de desligamento e interrupção do fornecimento de energia.

A tecnologia ótica aplicada é baseada no efeito magneto-ótico de Faraday, e se utiliza de um laço sensor flexível de fibra ótica que envolve o condutor a ser medido. Adicionalmente, os módulos eletrônicos podem ser transportados manualmente.

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é demonstrar a eficiência de um novo sistema para calibração de transformadores de corrente em campo, baseado em um transdutor ótico de corrente, que venha de encontro às necessidades das concessionárias e empresas do setor elétrico no sentido de driblar as dificuldades atuais encontradas nos métodos convencionais de calibração.

São apresentados e analisados os resultados obtidos dos ensaios do sistema de verificação desenvolvido realizados no Laboratório de Metrologia do LACTEC.

Também são descritas e apresentadas as características de portabilidade, flexibilidade de instalação e principalmente a possibilidade de instalação em linha viva deste sistema, evitando-se assim a interrupção do fornecimento de energia.

3. METODOLOGIA

3.1. Sistema de Calibração de TC's em Campo

O sistema de calibração de transformadores de corrente em campo desenvolvido é baseado em um sensor ótico em conjunto com um comparador de correntes.

O sistema é composto por três partes:

1. Módulo eletrônico e alimentação
2. Módulo ótico e loop de fibra ótica
3. Comparador de correntes

A figura 1 mostra o módulo eletrônico e alimentação à esquerda e o módulo ótico e loop de fibra ótica à direita. A figura 2 mostra o comparador de correntes.

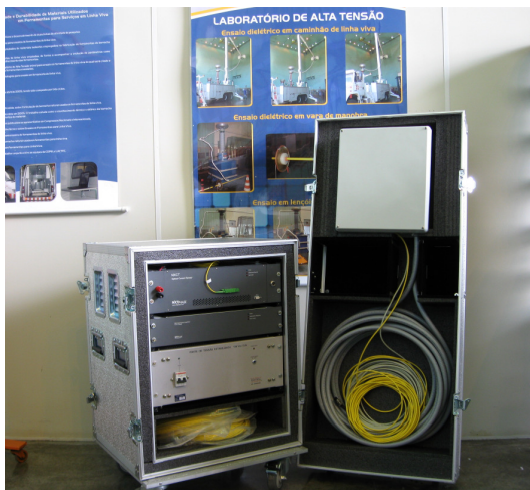


Fig. 1. Módulo eletrônico e módulo ótico – Sensor de Corrente Ótico NXCT-F3



Fig. 2. Comparador de correntes – Analisador Arbiter 931A

O laço sensor flexível, por ser composto por fibra ótica, apresenta característica dielétrica, analisada e comprovada

em [1] e pode ser instalado em linha viva. Este fato proporciona ao sistema desenvolvido uma grande vantagem com relação aos sistemas convencionais disponíveis atualmente.

3.1. Verificação da Exatidão do Sistema de Calibração de Transformadores de Corrente em Campo

Foi realizada uma sequência de ensaios para a verificação da exatidão do sistema desenvolvido.

No total, foram realizados 5 baterias de ensaios, com um dia de intervalo entre elas. A faixa de corrente aplicada foi de 150 a 1700 [A].

A configuração utilizada para os ensaios de exatidão do sistema é formada por uma fonte de corrente, transformador de corrente padrão eletrônico, e uma ponte comparadora.

A figura 3 abaixo ilustra a configuração adotada para os ensaios.

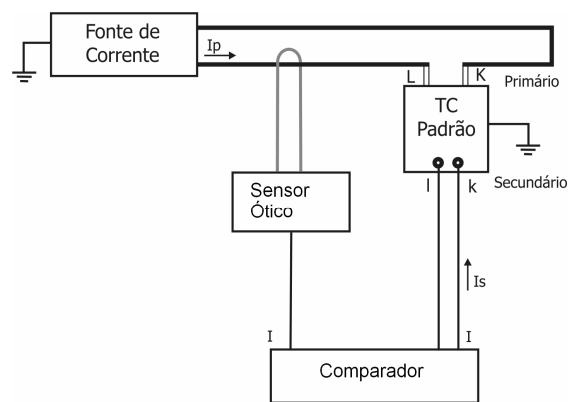


Fig. 3. Esquema para ensaio de verificação de exatidão.

A figura 4 mostra em detalhe o laço sensor de fibra ótica conectado à fonte de corrente durante os ensaios.



Fig. 4. Detalhe do laço sensor de fibra ótica.

4. RESULTADOS

Os resultados dos ensaios de verificação de exatidão do sistema apresentado são mostrados abaixo nas tabelas 1 e 2.

Como pode se observar, os erros de relação e defasagem angular obtidos se apresentaram compatíveis com os padrões disponíveis atualmente para calibração de transformadores de corrente.

Tabela 1. Erros de relação obtidos para o Sistema de Calibração

Corrente Primária [A]	Erro de Relação [%]									
	Ensaio 1		Ensaio 2		Ensaio 3		Ensaio 4		Ensaio 5	
	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
150	0,01	0,03	0,07	0,04	-0,02	0,04	0,09	0,04	0,04	0,08
200	0,00	0,03	0,08	0,02	0,01	0,03	0,09	0,03	0,05	0,07
300	-0,01	0,02	0,06	0,01	0,03	0,02	0,07	0,02	0,05	0,14
400	0,00	0,02	0,05	0,01	0,03	0,01	0,06	0,02	0,00	0,05
500	0,03	0,01	0,04	0,01	-0,01	0,04	0,06	0,03	0,01	0,01
600	0,02	0,01	0,04	0,01	0,03	0,02	0,09	0,05	0,00	0,01
700	0,02	0,01	0,04	0,01	0,02	0,01	0,07	0,02	0,00	0,01
800	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,06	0,01	0,00	0,01
900	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,02	0,04	0,01	-0,01	0,01
1000	0,02	0,01	-0,01	0,01	0,00	0,02	0,03	0,00	-0,02	0,00
1100	0,01	0,00	-0,05	0,09	-0,02	0,02	0,02	0,01	-0,02	0,01
1200	0,00	0,00	-0,03	0,00	-0,02	0,01	0,00	0,00	-0,03	0,01
1300	0,00	0,00	-0,04	0,00	-0,02	0,01	-0,01	0,00	-0,03	0,00
1400	0,00	0,01	-0,05	0,00	-0,02	0,00	-0,03	0,01	-0,03	0,01
1500	0,01	0,00	-0,06	0,00	-0,02	0,00	-0,05	0,00	-0,03	0,01
1600	0,00	0,01	-0,08	0,01	-0,01	0,01	-0,06	0,00	-0,03	0,00
1700	0,00	0,00	-0,09	0,01	-0,02	0,00	-0,08	0,00	-0,03	0,00

Tabela 2. Erros de Fase obtidos para o Sistema de Calibração

Corrente Primária [A]	Defasagem angular [Min]									
	Ensaio 1		Ensaio 2		Ensaio 3		Ensaio 4		Ensaio 5	
	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
150	-1,06	4,51	3,51	3,73	0,29	5,42	0,52	6,01	0,60	2,62
200	1,77	4,22	2,96	3,26	-1,46	5,99	4,72	3,63	4,39	3,74
300	3,10	0,92	3,00	0,53	3,11	0,47	3,13	0,97	2,66	2,00
400	3,10	0,44	3,29	0,49	3,33	0,67	2,74	0,71	2,90	1,83
500	2,66	0,31	2,74	0,55	1,87	1,96	2,59	1,33	2,58	1,02
600	2,55	0,79	2,81	0,53	3,02	0,83	2,54	1,08	2,56	0,36
700	2,64	0,40	2,65	0,24	2,70	0,69	2,52	0,46	2,52	0,65
800	2,47	0,60	2,76	0,34	2,66	0,52	2,69	0,32	2,30	0,48
900	2,68	0,14	2,76	0,20	2,71	0,22	2,91	0,26	2,69	0,76
1000	2,60	0,27	2,65	0,57	2,87	0,24	2,79	0,48	2,41	0,46
1100	2,74	0,22	2,86	0,43	2,80	0,41	2,91	0,31	2,57	0,29
1200	2,53	0,49	2,96	0,24	2,81	0,20	2,85	0,49	2,72	0,76
1300	2,69	0,10	2,73	0,51	2,79	0,48	2,93	0,26	2,48	0,64
1400	2,66	0,13	2,92	0,08	2,86	0,31	3,00	0,29	2,50	0,35
1500	2,65	0,74	3,01	0,10	2,58	0,36	2,88	0,71	2,59	0,14
1600	2,55	0,14	3,04	0,49	2,74	0,43	2,90	0,19	2,60	0,11
1700	2,66	0,20	2,76	0,36	2,80	0,22	2,85	0,44	2,67	0,08

5. CONCLUSÃO

Alguns pontos importantes a se ressaltar a respeito dos ensaios foram observados.

Pode-se notar que para correntes primárias de 150 a 400 [A] aplicadas, foram obtidos maiores desvios, como pode se observar nas tabelas 1 e 2.

Os erros obtidos tanto para relação de transformação como para a defasagem angular também se apresentaram ligeiramente mais elevados para a faixa de corrente mencionada acima.

Observou-se uma diferença com relação aos padrões convencionais para calibração disponíveis. Os erros de medição obtidos não permaneceram estáveis durante os ensaios, como pode ser observado também nas tabelas 1 e 2.

Entretanto, pode se notar que, apesar da instabilidade observada, os erros obtidos tanto para relação de transformação como para a defasagem angular se encontram dentro de uma faixa bastante aceitável frente aos requisitos de exatidão necessários para calibração.

Portanto, o sistema de calibração desenvolvido com sensor flexível por fibra ótica demonstrou ter uma exatidão satisfatória para a calibração de transformadores de corrente em campo. Além disto a capacidade dielétrica intrínseca da fibra ótica a torna obviamente interessante para medições em alta tensão.

Sendo assim, o sistema apresentado se mostra eficiente para a aplicação em calibrações de transformadores em campo em larga escala, em curto período e sem a necessidade de desligamento da linha. Por associar portabilidade, exatidão, e evitar a necessidade de interrupção do fornecimento de energia, esta pode se tornar uma valiosa alternativa a esta questão de grande importância para as concessionárias e empresas do setor.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às Centrais Elétricas do Norte do Brasil, ELETRONORTE, e à Agência Nacional de Energia Elétrica, ANEEL, pelo apoio recebido que tornou possível a realização deste estudo.

REFERÊNCIAS

- [1] A. M. Rodrigues, C. F. de Melo Junior, J. C. D. de Carvalho, M. M. da Costa, R. G. de O. Júnior, “Análise de Desempenho de Transdutor Óptico de Corrente C.A. para Medições em Sistemas de Alta Tensão”, Metrosul 2007.
- [2] W. R. E. Maftoum, C. F. de Melo, M. Ikeda, J. A. Teixeira Jr., J. A. Sidor, A. L. Krawczyk, “Calibração de Transformador de Potencial no Campo Usando Padrão Baseado em Sensores Opto-Eletrônicos,” in METROLOGIA-2003 – Metrologia para a Vida, Set. 2003.
- [3] J. N. Blake, A. H. Rose, “Precision Fiber-Optic Current Sensor as a Check-Standard”, 2002.
- [4] NxtPhase, “NXTC-F3 Optical Current Sensor Installation, Operation and Maintenance Manual”.
- [5] Arbiter Systems, “Power System Analyzer Model 931A Operation Manual”.