

Dispositivo para a Indicação Visual de Sobrecargas em Transformadores de Distribuição

A. Osterne, L. E. Rodrigues, COELBA e C. F. Melo, N. S. R. Quoirin, R. L. Araújo*, LACTEC

lrodrigues@coelba.com.br

Palavras-chave — Transformador de distribuição, protótipo, dispositivo, sobrecarga, queima.

Resumo - O presente trabalho tem por finalidade descrever a pesquisa, o desenvolvimento e os resultados alcançados no projeto Dispositivo para a Indicação Visual de Sobrecargas em Transformadores de Distribuição. O presente projeto estudou a causa de queima de transformadores de distribuição por sobrecargas no sistema elétrico da COELBA, desenvolveu uma metodologia e implementou-a em um dispositivo capaz de indicar de forma visual o sobrecarregamento em transformadores. O dispositivo desenvolvido teve seu desempenho e seu funcionamento validado nos laboratórios do LACTEC, ficando a cargo da COELBA a avaliação de campo após o término do projeto. Caso a avaliação em campo por parte da COELBA seja positiva, o protótipo deve tornar-se um equipamento comercial, servindo como uma importante ferramenta na prevenção da queima de transformadores por sobrecargas, reduzindo custos e melhorando a eficiência de seu sistema de distribuição.

1. INTRODUÇÃO

A COELBA vem há muitos anos trabalhando na solução de uma das principais causas de queima de transformadores de distribuição, a sobrecarga.

Várias medidas foram implementadas visando a redução da taxa de falhas que, em alguns momentos, atingiu níveis alarmantes de aproximadamente 10 % do parque instalado ao ano.

O crescimento acelerado do estado da Bahia, que chega em algumas regiões em níveis de 12% ao ano, é um importante fator para o grande aumento de demanda por energia em um curto espaço de tempo, o que exige constante monitoramento dos transformadores instalados e sua troca por unidades de maior potência conforme a ocasião. Outras causas para o excessivo carregamento dos transformadores também podem ser citadas: instalação de grande parte da carga em apenas uma das fases da máquina (geralmente a fase que possui os cabos da rede secundária mais próximos do solo); instalação por parte dos consumidores de grandes cargas sem que seja feito comunicado a COELBA e, principalmente, a grande incidência de cargas clandestinas conectadas na rede da concessionária.

Dentre as soluções adotadas, visando a redução de queima de transformadores por sobrecarga, destacam-se:

- Maior atenção na previsão de carga de novos ramos de distribuição;
- Maior atenção no balanceamento de cargas por fase no sistema de distribuição;
- Utilização de disjuntores de proteção na baixa tensão;
- Utilização de transformadores autoprotegidos.

As medidas adotadas conseguiram melhorar significativamente a taxa de queima de transformadores de distribuição por sobrecarga, chegando-se a um patamar de aproximadamente 3% ao ano, número ainda considerado significativo pela concessionária.

Em termos de equipamentos, as duas últimas medidas adotadas possuem as seguintes desvantagens:

O transformador autoprotegido possui um custo de aquisição superior ao do transformador convencional, manutenção mais demorada e mais onerosa;

A utilização de disjuntores na baixa tensão não elimina completamente a queima de transformadores, além de causar uma grande quantidade de desligamentos, o que pode comprometer significativamente o índice DEC/FEC da COELBA caso esta medida seja adotada em profusão.

Frente ao exposto acima, a COELBA, dentro do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento do Setor Elétrico Brasileiro, procurou o LACTEC para o desenvolvimento de um dispositivo capaz de detectar e indicar de forma visual sobrecargas em transformadores de distribuição.

Atendendo à demanda da COELBA, o LACTEC realizou, no período compreendido entre abril de 2001 e abril de 2002, o desenvolvimento de uma metodologia para a identificação de sobrecargas e a construção de um dispositivo de baixo custo que, baseado nesta metodologia, consiga indicar a ocorrência de sobrecargas em máquinas instaladas no sistema de distribuição da companhia.

2. CARACTERIZAÇÃO

O LACTEC realizou uma ampla pesquisa sobre os números das taxas de falhas por sobrecarga nos transformadores da COELBA nos últimos anos, baseado principalmente em dados fornecidos pela concessionária.

Com base nestes dados foi determinada a quantidade de máquinas queimadas anualmente com causa atribuída à sobrecarga.

* rluiz@lactec.org.br

Outro fator importante foi a visita à empresa responsável pelo rebobinamento de transformadores para a COELBA. Nesta empresa ficou comprovada a ocorrência das queimas atribuídas à sobrecarga em apenas uma das fases das máquinas. Isto é característica de regiões em que existe um desequilíbrio excessivo entre as correntes das fases do transformador.

A queima acontece geralmente na fase C, que é a fase mais próxima do solo e, por conseqüência, a mais propícia para a instalação de novas cargas ou mesmo de cargas clandestinas.

Outro fator importante, determinado através do levantamento de dados do sistema da COELBA, foi à faixa de potência de transformadores que mais sofrem queimas atribuídas à sobrecarga: máquinas com potências de até 45 kVA, instaladas em regiões de alto crescimento populacional e de baixo desenvolvimento econômico.

Nas figuras 1 e 2 podem ser vistas imagens realizadas em Salvador contendo transformadores que queimaram devido à sobrecarga na fase C.



Figura 1 – Transformador com a fase C queimada por sobrecarga



Figura 2 – Transformador com a fase C queimada por sobrecarga

Com a caracterização de sobrecorrente em uma das fases como sendo o principal agente causador das queimas de transformadores da COELBA, foi resolvido o primeiro grande impasse do projeto - optar pela medição de corrente ou de temperatura.

A medição de corrente é, do ponto de vista operacional, significativamente mais fácil do que a medição de temperatura, uma vez que a segunda opção implica na instalação de sensores de temperatura na máquina, acarretando alguns problemas.

A medição de temperatura no núcleo envolve a abertura da máquina (o que se torna inviável no campo). A abertura do tanque pode comprometer a estanqueidade da máquina e a pureza do óleo isolante, além disto, a instalação de sensores no núcleo obriga a serem observados cuidados importantes no isolamento elétrico do sistema.

A temperatura no núcleo pode ser determinada ainda medindo-se a temperatura no exterior do tanque, fazendo-se em seguida uma correlação com a temperatura interna do transformador por meio de um algoritmo matemático. No entanto, este procedimento possui uma confiabilidade contestável, além de exigir o modelamento de cada modelo de máquina utilizado pela concessionária, sendo este um processo extremamente demorado e oneroso do ponto de vista financeiro.

As dificuldades para a medição de temperatura para a determinação de sobrecargas, aliado ao fato das queimas de transformadores na COELBA acontecerem principalmente por desequilíbrio de carregamento entre as fases, levaram à escolha da grandeza a ser monitorada, ou seja, a corrente. Um exemplo do problema enfrentado pela COELBA pôde ser constatado na primeira máquina em que o protótipo foi instalado em Salvador, ou seja: a fase A com 13 A, a fase B com 104 A, a fase C com 84 A e o neutro com 85 A, o que justifica plenamente a opção pela medição desta grandeza ao invés da temperatura no núcleo.

3. SENSORES DE CORRENTE

Para a medição da corrente foram estudadas algumas soluções utilizando diferentes tecnologias. Na seleção dos sensores, foram determinadas algumas restrições a serem respeitadas:

- Facilidade de instalação;
- Simplicidade construtiva;
- Baixo custo de aquisição;
- Sem necessidade de desconexão do transformador para a instalação;
- Classe de exatidão de até 2 % para o erro de relação. O erro de fase é irrelevante para este projeto.

Dentro destas restrições, foram analisadas as seguintes tecnologias de sensores de corrente:

- Sensor de efeito Hall;
- Sensor tipo indutivo flexível;
- Transformador de corrente;

- Sensor tipo alicate com núcleo em ferro silício e bobina de indução.

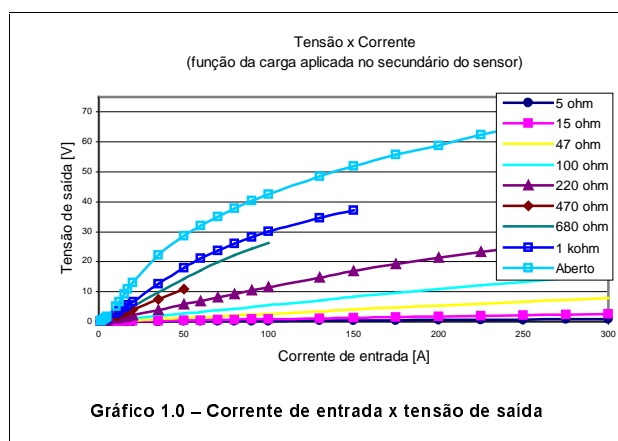
Na tabela 1 é apresentado o quadro resumo da avaliação realizada para cada tecnologia de sensor de corrente estudada.

Tabela 1 – Resultado da avaliação dos sensores de corrente

Tipo de sensor	Avaliação	Status
Sensor de efeito Hall	Pequena janela para a passagem de cabos, alto custo de aquisição, excelente classe de exatidão	Não adotado
Sensor tipo indutivo flexível	Excelente praticidade, alto custo de aquisição, classe de exatidão não compatível	Não adotado
Transformador de corrente	Necessidade de desconexão do transformador para instalação, peso excessivo e classe de exatidão compatível	Não adotado
Sensor tipo alicate	Baixo custo de aquisição, facilidade de operação e classe de exatidão compatível	Adotado

Com a escolha recaindo sobre o sensor do tipo alicate foi realizada a caracterização da resposta do modelo selecionado. Para tanto foram utilizadas três amostras de núcleo nacional. No gráfico 1 são apresentadas as curvas de resposta do sensor analisado para diversas cargas aplicadas no secundário.

Em função da linearidade e da tensão de resposta do sensor escolhido, foi definida a carga de 27Ω como sendo a mais compatível com a eletrônica a ser utilizada na construção do protótipo.



4. ESPECIFICAÇÃO

Para a construção do protótipo foram especificadas algumas características necessárias à aplicação do mesmo no sistema da COELBA.

As especificações foram feitas pelo LACTEC em conjunto com a COELBA, levando-se em consideração os resultados

alcançados na caracterização do problema de sobrecargas em transformadores da empresa.

Um resumo da especificação é apresentado a seguir:

- Operação com as seguintes potências de transformadores: 15 kVA, 30 kVA e 45 kVA.
- Possibilidade de expansão para outras potências de transformadores;
- Sinalização de sobrecargas em dois estágios distintos, 100 % e 120 % da corrente nominal;
- Possibilidade de modificação dos níveis de atuação dos estágios de sinalização;
- Possibilidade de contagem do número de sobrecargas;
- Temporização para não indicar sobrecargas de curta duração;
- Com bateria de *back-up*;
- Classe de exatidão de no máximo 3 %;
- Tensão de alimentação fase-neutro de 127 V.

5. FUNCIONAMENTO DO PROTÓTIPO

Além do protótipo propriamente dito, foi desenvolvida uma metodologia de utilização do mesmo.

O dispositivo é instalado no poste através de uma cinta. Os terminais de alimentação são conectados diretamente à rede de distribuição através de garras tipo jacaré. Os alicates de medição de corrente são conectados à saída do transformador de distribuição a ser monitorado.

Uma vez instalado e ligado, o dispositivo passará a indicar as sobrecargas no carregamento da máquina. A medição é realizada independentemente em cada uma das fases do transformador. Uma vez alcançado o carregamento de 100 % durante um período pré-determinado (para a avaliação do protótipo em campo foi adotado o tempo de 45 s) o dispositivo passará a sinalizar sobrecarga na fase correspondente através de um led de 10 mm na cor amarela de alta intensidade de brilho. A contagem do número de sobrecargas é apresentada em um *display* independente para cada uma das fases. A indicação de sobrecarregamento de 120 % é feita através de led's de 10 mm na cor vermelha de alta intensidade de brilho.

Uma vez atingidos os níveis de sobrecarga os led's continuarão sinalizando, mesmo que o carregamento venha a diminuir abaixo de 100 % ou de 120 %. O *display* continuará contando sobrecargas todas as vezes que estes níveis forem atingidos.

O dispositivo pode ser resetado através da atuação do operador sobre um botão específico. Caso o reset venha a ser acionado e a máquina ainda estiver em sobrecarga, o *display* será zerado, porém a sinalização continuará indicando sobrecarga para que o operador seja informado que naquele momento a máquina está com o limite de carregamento

sendo violado.

O dispositivo desenvolvido pode ser instalado em uma máquina em um período de 24 a 48 horas, devendo neste período indicar qual das fases do transformador está sendo sobrecarregada. Uma vez verificado o sobrecarregamento algumas medidas podem ser implementadas pela concessionária:

- Instalação de um dispositivo de diagnóstico elétrico do tipo MUG ou SAGA;
- Retirada das ligações clandestinas que estão sobrecarregando a fase ou as fases;
- Troca da máquina por uma de maior potência;
- Redistribuição de cargas nas fases.

O funcionamento do dispositivo e sua forma de operação foram desenvolvidos para que este seja uma ferramenta adequada ao problema específico de sobrecarga na COELBA, que possui uma alta taxa de ligações clandestinas em seu sistema, sobretudo em regiões densamente povoadas e com baixo desenvolvimento econômico. Desta forma o protótipo não tem a função de caracterização energética como é o caso dos equipamentos do tipo MUG ou SAGA, mais sim de atuar como instrumento para detecção e indicação de problemas.

6. CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO

A construção do protótipo foi iniciada a partir da elaboração de um diagrama de blocos básico.

A arquitetura do protótipo foi concebida no formato de três placas de circuito impresso, uma placa para cada uma das fases do instrumento.

Na figura 3 é apresentado o diagrama de blocos utilizado para a orientação no desenvolvimento do protótipo.

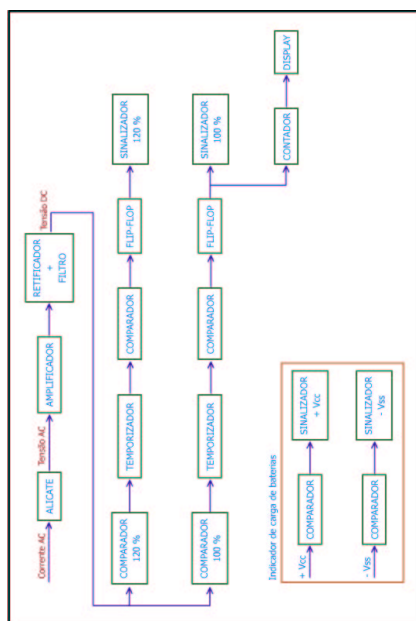


Figura 3 – Diagrama de blocos do protótipo

Os componentes eletrônicos utilizados são de fácil aquisição no mercado e a construção foi realizada de modo a facilitar ao máximo a manutenção e a correção de problemas.

Foram construídas ao todo três versões da eletrônica. A versão inicial foi implementada em *protoboard*, para facilitar o trabalho de desenvolvimento, e as duas versões seguintes foram construídas em placas de circuito impresso próprias.

Nas figuras 4, 5 e 6 são apresentadas imagens das três versões construídas.

Toda a eletrônica foi inserida em uma caixa própria, totalmente construída em alumínio para evitar problemas de corrosão. Na figura 7 são apresentadas três vistas da caixa do instrumento.

Para cada uma das três versões foram realizados testes de funcionamento e de caracterização a fim de garantir o funcionamento normal do protótipo desenvolvido.



Figura 4 – Primeira versão, ainda em *protoboard*

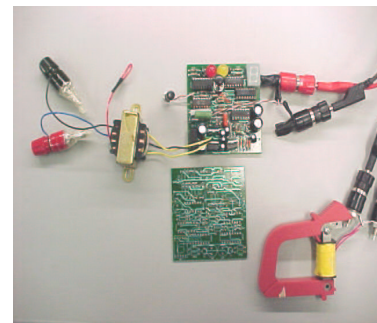


Figura 5 – Segunda versão

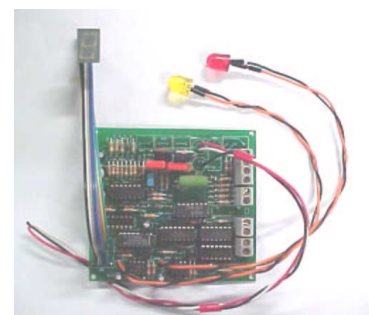


Figura 6 – Terceira versão do protótipo



Figura 7 – Caixa do protótipo

Na figura 8 é apresentada uma vista final da construção do protótipo.

A calibração é realizada de maneira fácil utilizando-se um multímetro e uma fonte de corrente padrão.

7. RESULTADOS ALCANÇADOS

Terminada a construção, o protótipo foi ensaiado para sua caracterização e para a verificação do correto funcionamento.

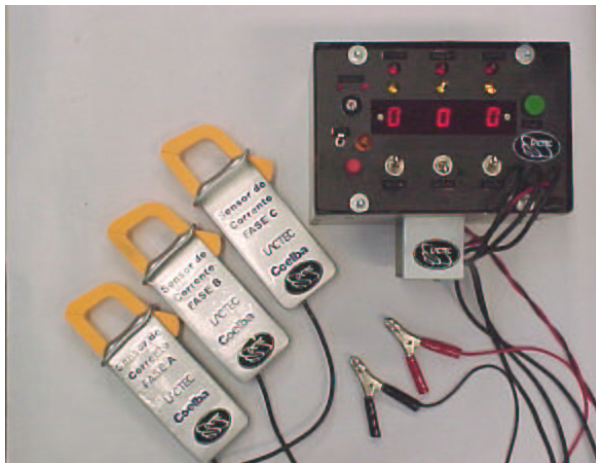


Figura 8 – Vista da montagem final do protótipo

Os ensaios foram realizados em laboratório pelo LACTEC em suas unidades de Metrologia, de Baixa Tensão e de Compatibilidade Eletromagnética.

Uma breve descrição de alguns ensaios realizados e dos resultados alcançados é apresentada a seguir:

- Verificação do funcionamento – o protótipo foi submetido a sobrecargas através de um arranjo automatizado tendo seu funcionamento verificado durante cinco dias – neste período não foram observadas anomalias ou erros funcionais;
- Falha na rede de alimentação – o dispositivo foi submetido a faltas de curta duração com três segundos e meio ciclo, não sendo observados problemas em sua operação;
- Variação da tensão de alimentação – a tensão de alimentação foi variada em $\pm 10\%$ sem

que tenha sido observado algum problema de operação;

- Operação em alta temperatura – o protótipo foi inserido em uma câmara térmica a $60\text{ }^\circ\text{C}$ durante cinco horas sem apresentar nenhuma falha ou desvio de seu correto funcionamento;
- Levantamento da classe de exatidão – o protótipo teve sua classe de exatidão levantada no Laboratório de Metrologia do LACTEC, tendo sido caracterizada em $\pm 2,5\%$;
- Levantamento do consumo de energia – o consumo foi verificado como sendo de aproximadamente $0,0135\text{ kWh}$;
- A duração das baterias de *no-break* foi verificada como sendo de aproximadamente quatro horas com todas as sinalizações atuando.

Os testes de verificação do funcionamento do protótipo em campo estão sendo realizados pela própria COELBA, em Salvador e os resultados devem estar disponíveis em breve.

Na figura 9 é apresentada a instalação do protótipo em Salvador.

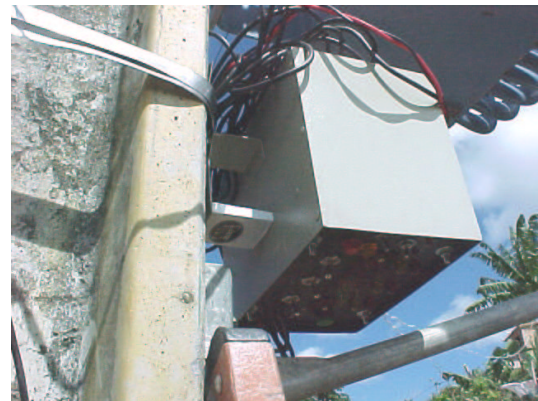


Figura 9 – Protótipo já instalado e em funcionamento em Salvador

8. CONCLUSÕES

Dentro das especificações iniciais do projeto, o protótipo desenvolvido apresentou funcionamento compatível, obtendo inclusive uma classe de exatidão melhor que a estabelecida como meta.

Os testes iniciais levados a cabo pela COELBA mostram a viabilidade da implantação comercial do dispositivo desenvolvido. Para tanto, a patente já está sendo requerida em nome da COELBA e do LACTEC. Já estão sendo efetuados contatos entre a concessionária e o centro de pesquisas para que sejam construídas mais unidades do protótipo.

IX - AGRADECIMENTOS

A equipe técnica agradece

- à Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia – COELBA;
- ao Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento – LACTEC;
- à Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL,

pelo apoio recebido, confiança depositada, liberação de recursos financeiros e disponibilização de infra-estrutura para a realização e finalização deste projeto.

A todos os profissionais que, de forma direta e indireta, colaboraram para a conclusão deste trabalho.

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] J. Millman, C. C. Halkias, *Eletrônica – Dispositivos e Circuitos*, 2.^aed., São Paulo, vol.1, McGraw-Hill, 1981.
- [2] J. Millman, C. C. Halkias, *Eletrônica – Dispositivos e Circuitos*, 2.^aed., São Paulo, vol.2, McGraw-Hill, 1981.
- [3] A. E. Fitzgerald, D. E. Higginbotham, A. Grabel, *Engenharia Elétrica*, McGraw-Hill, 1981.
- [4] A. E. Fitzgerald, D. E. Higginbotham, A. Grabel, *Engenharia Elétrica*, McGraw-Hill, 1981.
- [5] A. P. Malvino, *Eletrônica*, vol.1, McGraw-Hill, ed. revisada, São Paulo, McGraw-Hill, 1986.
- [6] E. N. Lurch, *Fundamentos de Eletrônica*, vol.1, São Paulo, Livros Técnicos e Científicos S.A., 1984.
- [7] E. N. Lurch, *Fundamentos de Eletrônica*, vol.2, São Paulo, Livros Técnicos e Científicos S.A., 1984.
- [8] H. Creder, *Instalações Elétricas*, 6^a ed., São Paulo, Livros Técnicos e Científicos S.A., 1979.
- [9] J. C. de Oliveira, J. R. Cogo, J. P. G. de Abreu, *Transformadores – Teoria e Ensaios*, São Paulo, Editora Edegard Blücher Ltda., 1984.
- [10] M. Milasch, *Manutenção de Transformadores em Líquido Isolante*, São Paulo, Editora Edegard Blücher Ltda., 1984.
- [11] L. C. Gesualdi Jr., “Estado da arte em sobrecarga de transformadores – parte II”, Light S.A., Rio de Janeiro, Informação Técnica Nº APLS.0-005/83 de 17/10/1983.
- [12] D. P. de Oliveira, “Critérios para sobrecarga em transformadores”, Companhia Paranaense de Energia – COPEL Departamento de Estudos Elétricos, Curitiba, Nº DVEI – 017/80. Nov. 1980.
- [13] A. D. de Oliveira, “Proteção de trafos de distribuição na baixa tensão através de disjuntores termomagnéticos”, Coelba – Grupo IBERDROLA Serviço de Redes – TOSRGB, Dez. 1999.
- [14] GCOI Subcomitê de Estudos Elétricos, “Critério e procedimentos para determinação de limites de carregamento em unidades transformadoras”, Relatório-SCEL-GTEE-02/86, Ago. 1986.
- [15] C. J. Dupont, J. A. M. Chaves, “Metodologia para avaliação das condições admissíveis de sobrecarregamento e da perda de vida útil de transformadores” apresentado no XV Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica – SNTPEE Out. 1999.
- [16] L. Cheim, V. Varella, C. Dupont, R. Páal, “Sistema inteligente de diagnóstico de transformadores de potência” apresentado no XV Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica – SNTPEE Out. 1999.
- [17] NBR 5380, “Transformadores de Potência”, Mai 1993.
- [18] NBR 5410, “Instalações Elétricas de Baixa Tensão”, Nov. 1997.
- [19] NBR 5416, “Aplicação de Cargas em Transformadores de Potência – Procedimento”, Jul. 1997.
- [20] NBR 10719, “Apresentação de Relatórios Técnicos-Científicos”, Ago. 1989.