

# Registrador de Qualidade de Tensão com Leitura Remota

L. Marques, E. Araújo - ENAUTECH; J. A. S. Brito - COELBA

## RESUMO

Este artigo descreve o Registrador de Qualidade de Tensão com Leitura Remota - RQT, protótipo que foi desenvolvido para monitorar remotamente valores eficazes de tensão da rede secundária além de registrar violações de faixas de valores, máximos e mínimos de sobretensão e subtensão, com respectivos horários de ocorrência e duração em ciclos. Essas informações serão úteis para verificar, além da adequação dos níveis de tensão às exigências da ANEEL, a coerência das reclamações de danos elétricos por parte do consumidor. São descritos os aspectos físicos, de projeto e funcionalidade, bem como os resultados alcançados com o protótipo em testes de laboratório e de campo.

## PALAVRAS-CHAVE

Celular; Comunicação; Qualidade de Energia; Internet; Telemetria; Tensão.

## I. INTRODUÇÃO

A COELBA vem se empenhando em melhorar a qualidade do serviço prestado aos seus clientes. Como parte desse empenho é que se apresenta o RQT, um equipamento capaz de monitorar, registrar e avaliar, remotamente, a qualidade da malha elétrica secundária.

Propõe-se neste trabalho o desenvolvimento do protótipo de um registrador trifásico de qualidade de tensão, de baixo custo, para monitoração do valor eficaz da tensão secundária de fornecimento em sistemas elétricos de distribuição, com leitura baseada em internet, telefonia celular ou sinal de rádio frequência local. Além dos registros de violação de tensão, o equipamento fornece o nível máximo de sobretensão, o nível mínimo de subtensão e os instantes de sua ocorrência. Essas informações são úteis para verificar, além da adequação dos níveis de tensão às exigências da ANEEL, a coerência das reclamações de danos elétricos por parte do consumidor quando da ocorrência de defeitos sustentados ( 60 Hz ) no sistema de distribuição, conforme descrito no documento técnico ABRADDEE 02.33. [6].

O Registrador de Qualidade de Tensão com Leitura Remota RQ-10 da ENAUTECH é um equipamento especificamente projetado para registrar afundamento e elevação de tensão em sistemas trifásicos com as seguintes características:

1. Obter leitura remota das tensões registradas através de telefonia celular, dispensando a necessidade de visitas ao local e interligação de cabos, reduzindo o índice de falhas operacionais e os custos do serviço;

2. Permitir a leitura e configuração do equipamento através de “Web Browsers”, que são interfaces visuais independentes da plataforma;
3. Obter opcionalmente leitura remota das tensões registradas através de enlace local de RF com alcance de poucos metros. Esta opção é particularmente útil para os casos nos quais não seja possível uma cobertura adequada por parte do sistema de telefonia celular. De dentro do veículo automotivo, as equipes de campo podem fazer tanto o “download” dos dados quanto a configuração do equipamento. Dessa forma, dispensa-se a necessidade de escadas e de interligação de cabos;
4. Permitir supervisão periódica, devido ao acesso remoto, quanto ao seu correto funcionamento e instalação;
5. Dispensar a utilização de teclado e display no registrador, reduzindo custos, uma vez que o equipamento pode ser configurado via computador remoto ou computador portátil local;
6. Permitir que novas definições da ANEEL e da própria concessionária sejam atualizadas com facilidade através de reinstalação remota de firmware (*upgrade*);
7. Permitir que demandas computacionais intensivas possam ser configuradas para execução tipo “client-side” de forma que não seja necessário um processador poderoso no registrador (“server-side”).

## II. CARACTERÍSTICAS FUNCIONAIS BÁSICAS

De acordo com a resolução 505 ANEEL de 26/11/2001 é possível distinguir várias etapas que devem ser cumpridas para avaliar a qualidade da energia:

1. Obter amostras instantâneas da tensão de cada fase com taxa de amostragem de 16 amostras por ciclo de 60Hz e uma resolução de 12 bits nas amostras;
2. Calcular o valor RMS da tensão de cada fase utilizando taxa de amostragem de 64 amostras por ciclo de 60Hz;
3. Para fins do cálculo de indicadores, utilizar janelas fixas e consecutivas de 12 a 15 ciclos de 60Hz para caracterizar uma leitura;
4. Armazenar a leitura do item anterior com o referido horário, o que caracteriza a tabela de tensão;
5. Os indicadores individuais e o histograma de tensão podem ser calculados off-line utilizando os dados da tabela de tensão.

Para o desenvolvimento do sistema proposto, foi definida a especificação funcional do registrador. Implementou-se o circuito básico de aquisição de tensão e armazenamento dos dados (figura 1).

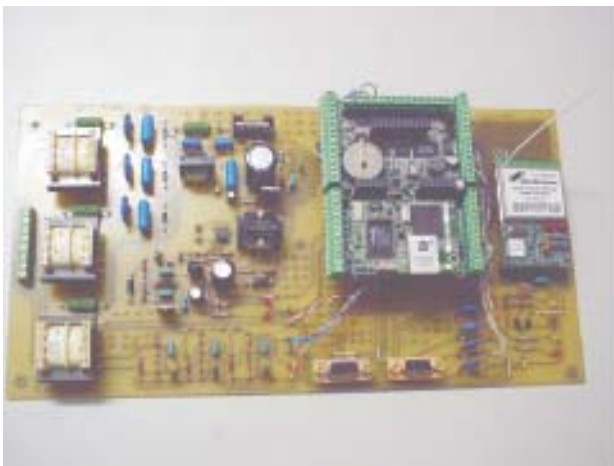


FIGURA 1 – Circuito básico

Neste protótipo foram implementadas as funções fundamentais do equipamento: leitura de tensão RMS nas três fases, registro das transgressões de tensão e configuração do equipamento.

Com o protótipo testado nas suas funcionalidades básicas, foi implementado o protocolo TCP/IP para comunicação via rede Ethernet, utilizando o serviço TELNET.

Em seguida foi implementada uma versão que utiliza a porta serial RS232 para acesso utilizando emulador de terminal desenvolvido para microcomputador tipo PC.

A conexão local (RS232) também serviu de base para o desenvolvimento do protocolo PPP embutido no microcontrolador para conexão dial-up com a concessionária.

Acoplou-se um módulo de rádio-modem à porta serial do microcontrolador, permitindo-se o acesso à distância de até 100 metros, sem fio.

Novas funções de aquisição e registro foram implementadas requerendo uma interface mais sofisticada no PC para configuração e acesso dos dados no registrador. Desenvolveu-se um aplicativo na linguagem Delphi (figura 2) onde essas novas funções tornaram-se acessíveis além de uma interface gráfica para visualização dos dados.



FIGURA 2 – Aplicativo Delphi

O protótipo foi acondicionado em um gabinete com proteção IP 67 (figura 3), acoplado a um suporte para fixação em poste via cintas metálicas. Incorporou-se um sensor de temperatura ao sistema de aquisição do registrador de forma a fazer um acompanhamento remoto da temperatura interna do protótipo instalado no poste.



FIGURA 3 – Protótipo montado no gabinete

Uma vez testada a conexão local via modem de RF, incorporou-se um equipamento celular com tecnologia CDMA configurado para transmissão de dados via cabo de comunicação com porta RS232.

O RQT foi projetado para registrar transgressões que ocorrem nas tensões na rede elétrica. O registro destes

eventos possibilita o cálculo off-line dos diversos indicadores de qualidade exigidos pela ANEEL ou pela concessionária. Para este propósito, são definidas cinco faixas de tensão de operação. A cada aquisição a tensão lida é comparada com os limites das cinco faixas e o contador da faixa adequada é incrementado. Além dos contadores das faixas, a tensão lida é comparada com os limiares de máximo e mínimo da sobretensão.

Para verificar se a tensão da rede está dentro das faixas de operação, é necessário calcular a tensão rms a partir de amostras no conversor analógico-digital. O conversor utilizado é de 12 bits no modo de conversão bipolar. Para o cálculo desta tensão se utiliza uma taxa de aquisição ou amostragem de  $N$  amostras por ciclo de 60 Hz, e uma janela de medição de  $C$  ciclos. Isto indica que são necessárias  $C \times N$  amostras da tensão  $T_j^{ADC}(i)$  lidas diretamente do conversor analógico-digital, sendo  $j = 1, 2, 3$  a fase e  $i = 1, \dots, N \times C$  a amostra. Em forma matemática [7] a magnitude da tensão rms de cada fase  $j$  é obtida como:

$$T_j^{RMS} = \sqrt{\frac{1}{C \times N} \sum_{i=1}^{i=C \times N} (T_j^{ADC}(i))^2} \quad (1)$$

A expressão (1) acima incorpora todos os harmônicos até o de ordem  $(N/2 - 1)$ . Para o caso de 64 amostras por ciclo de 60Hz, a fórmula acima é capaz de calcular o valor RMS verdadeiro, incorporando até o trigésimo primeiro harmônico.

A figura 4 mostra o esquema de conexão do Registrador de Qualidade de Tensão (RQT) à rede. Nesse esquema pode-se perceber que há duas conexões para cada fase: Fase A, 1 e 2; Fase B, 3 e 4; Fase C, 5 e 6. Uma conexão da fase serve como sinal a ser monitorado enquanto a outra é utilizada para alimentar o RQT. No uso normal, as duas entradas são interligadas externamente e com isso o mesmo sinal que é monitorado serve de alimentação ao RQT. Durante o ajuste em laboratório, o RQT precisa ser alimentado por uma fonte independente. Isso ocorre pois o sinal de referência a ser monitorado não possui potência suficiente para alimentar o circuito interno do equipamento.

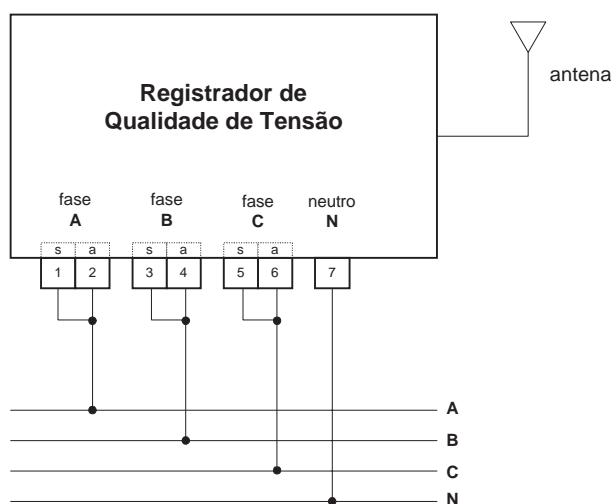


Figura 4 - RQT conectado à rede

### III. RESULTADOS

O protótipo obtido ao final do projeto possui as seguintes características:

- Monitora a tensão nas três fases e registra as transgressões de tensão;
- Registra as seguintes faixas de ocorrências de tensão: adequada, precária inferior, precária superior, crítica inferior, crítica superior. O registro ocorre separadamente para cada fase, podendo cada uma ser habilitada ou desabilitada;
- Calcula a tensão rms de cada fase a cada janela de 15 ciclos de 60 Hz;
- Registra a tensão máxima, média e mínima a cada intervalo de 10 minutos;
- Registra afundamentos e elevações de tensão em duas classes: momentânea (0 a 3 s) e temporária (3 a 60 s);
- Registra a distribuição das ocorrências de tensão com 40 intervalos entre 0,80 pu e 1,20 pu;
- Após calibrado, apresentou precisão de 0,5% ao longo da faixa útil de medição;
- A faixa de operação confiável do protótipo foi de 65 a 285 volts rms (fase-neutro);
- A velocidade de comunicação pela porta RS232 foi ajustada para 9600bps. Essa velocidade de comunicação permitiu a transferência do arquivo em memória de massa em 31s sem erros através do rádio modem;
- Dispensa o uso de teclado e display devido às diversas formas de conectividade;

- Possui interfaces de comunicação tipo serial RS-232 e de rede Ethernet;
- Possui modem sem fio, conectado na interface serial RS-232, para enlace local com computador remoto;
- Permite a execução dos serviços de rede (com protocolo TCP/IP) de dois tipos: servidor HTTP e TELNET;
- Possui servidor de web HTTP embutido no microcontrolador do registrador de qualidade, com Homepage residente no medidor que disponibiliza, conforme login e senha, os dados para consumidor e concessionária;
- Permite a leitura em tempo-real e configuração do registrador através de vários tipos de conexão: conexão local RS232, conexão local via modem sem fio, conexão remota via TELNET e conexão remota via "Web Browsers";
- Permite supervisão periódica, via acesso remoto, quanto ao seu correto funcionamento e instalação;
- Permite a comunicação via Celular Digital CDMA via sistema CSD (Circuit Switched Data).

### IV. CONCLUSÕES

O projeto demonstrou a viabilidade de desenvolvimento de um Registrador de Qualidade de Tensão com Leitura Remota. É necessário porém, tornar o produto a ser desenvolvido economicamente viável, e para isso será preciso continuar os esforços para que se possa baixar a plataforma do hardware para um microcontrolador competitivo em termos financeiros.

Os estudos que foram realizados permitiram que novas tecnologias fossem absorvidas, principalmente no que se refere a comunicação remota utilizando aparelho celular.

### V. BIBLIOGRAFIA

#### PERIÓDICOS:

- The IP-meter, design concept and example implementation of an Internet enabled power line quality meter - *Delsing, J.; Hyypya, K.; Isaksson, T.* - Instrumentation and Measurement Technology Conference, 2000, IMTC 2000, Proceedings of the 17th IEEE On page(s): 657 - 660 vol.2 1-4 May 2000 2000 Volume: 2;
- A Study of Network-based Data Acquisition System - By Y. Yasu, H. Fujii, E. Inoue, H. Kodama (KEK, Tsukuba) and Y. Sakamoto (Yamagata U.). KEK-PREPRINT-97-6, April 1997. 4pp. Talk at CHEP'97, the International Conference on Computing in High Energy Physics, Berlin, Germany, 7-11 April 1997;
- Web-based Power Quality Monitoring & Reporting Service - Electrotek Concepts - <http://www.electrotek.com/pqmon/monserv.htm>;
- A client-server architecture for distributed measurement systems - *Bertocco, M.; Ferraris, F.; Offelli, C.; Parvis, M.* - Instrumentation and Measurement, IEEE Transactions on - page(s): 1143 - 1148 18-21 May 1998 Oct. 1998 Volume: 47 Issue:5;
- Distributed measurement and control based on the IEEE 1451 smart transducer interface standards - *Lee, K.B.; Schneeman, R.D.* Editor(s): Puri, V., Savino, M. - Instrumentation and Measurement Technology Conference, 1999. IMTC/99. Proceedings of the 16th IEEE;
- DOC. TÉCNICO ABRADDEE 02.33, Análise de Perdas e Danos Materiais a Terceiros 11/04/2000.

#### LIVROS:

- Kenney, J. F. and Keeping, E. S. "Root Mean Square." §4.15 in *Mathematics of Statistics, Pt. 1, 3rd ed.* Princeton, NJ: Van Nostrand, pp. 59-60, 1962.
- Williams, T.; "EMC for Product Designers", 2nd ed., Butterworth-Heinemann, ISBN 0-7506-2466-3.

#### NORMAS:

- ANEEL Resolução N° 505 de 26 de Novembro de 2001.