

INSTRUMENTO PARA MONITORAR OS PARÂMETROS DE QUALIDADE DE ENERGIA

Luciana A. Vieira
luciana@guama.cpgee.ufpa.br
Núcleo de Engenharia e Supervisão e Controle de Sistemas de Energia - NESC
Universidade Federal do Pará - UFPa
Belém - Pará - Brasil

Roberto J. C. Mússio
roberto@guama.cpgee.ufpa.br

Francisco R. R. França
Centrais Elétricas do Norte do Brasil SA - Eletronorte
Laboratório Central - CLCS
Av. Presidente Tancredo Neves S/N
Bairro: Terra Firma CEP: 66077-530 Belém-Pará
e-mail: elnlab@prodepa.gov.br

Norberto Bramatti

RESUMO - Os parâmetros da qualidade de energia são tradicionalmente conhecidos. São eles: a estabilidade da tensão, o desvio na frequência e a quantidade e duração de interrupções do serviço de fornecimento de energia. Na Eletronorte — Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A. — foi desenvolvido um instrumento que adquire e processa o sinal de tensão da rede elétrica, usando placa eletrônica de aquisição de dados. Este artigo mostra a concepção e capacidade do instrumento, bem como o algoritmo usado para calcular os parâmetros. O instrumento monitora o valor da tensão e o desvio da frequência, emitindo alarmes e mensagens de aviso ao operador. Guarda cronologicamente os eventos e os períodos de tempo.

PALAVRAS-CHAVE: qualidade de energia, aquisição de dados, processamento de sinais.

ABSTRACT - The energy quality parameters are traditionally known. They are the voltage stability, range of frequency deviation and the quantity and duration of interruptions of provide energy service. In the Eletronorte — Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A. — was developed an instrument which acquires and processes this type of data, uses electronic data acquisition cards. This paper shows the instrument conception and its capabilities and also the algorithm used to calculate the parameters. The instrument monitors the voltage range and frequency deviations, and gives alarms and warning messages to the operator. It keeps chronologically the events and time periods.

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da indústria mundial e a interligação dos mercados consumidores tem provocado uma incessante busca por padrões de qualidade em produtos e serviços que objetivam atender a todos os tipos de consumidores (conjunta, indistintamente e simultaneamente). Todas as indústrias são levadas a investir na melhoria do produto oferecido se estão interessados em atingir novos mercados — cada vez mais exigentes — ou então, preparando-se para sobreviver a uma nova ordem econômica imposta pela competição por mercados.

Do ponto de vista do mercado, as indústrias de energia elétrica partiram pela excelência na qualidade do seu produto — a energia elétrica — não só pela posição estratégica como indústria de base vital para o desenvolvimento de qualquer país, mas também para manter-se competitiva. Diversos aspectos são enfocados para aferir a qualidade dos serviços prestados avaliando-se os distúrbios manifestados a quando da utilização da

rede elétrica de distribuição pelos consumidores. Alterações nos valores nominais da tensão, desvio na frequência de trabalho, número de interrupções no fornecimento de energia elétrica e a duração destas, existência de conteúdos harmônicos indesejáveis poluindo a rede, são alguns parâmetros que atingem o consumidor.

O primeiro passo para se atingir um nível mais alto na qualidade da energia elétrica suprida é, evidentemente, conhecer-se o estágio atual. Para isto, partiu-se para a monitoração contínua da rede elétrica para determinar parâmetros que possam dar uma indicação do estado atual da qualidade da energia.

As grandezas físicas a se estudar são o nível da tensão e a frequência do sinal. Este é o objetivo básico deste trabalho: desenvolver um instrumento que monitore continuamente os níveis de tensão e frequência e seja capaz de emitir alarmes — e registrar este evento — caso os níveis atinjam valores fora do intervalo de variação considerados aceitáveis. Para isto, foi utilizado o que convencionou-se chamar Instrumento Virtual. As grandes possibilidades que esta abordagem apresenta aliada a

facilidade no desenvolvimento e ao baixo custo são alguns dos muitos argumentos a favor desta filosofia. Consiste em levar o fenômeno de interesse, no caso o sinal da rede elétrica, até um microcomputador que ficará encarregado, via programa específico, de tratar o sinal e retirar deste todas as informações que o usuário necessita.

Através desta definição resumida, já pode-se perceber a ferramenta extremamente flexível que o microcomputador permite implementar. Todo o processamento, a essência do instrumento, é baseada em programa de aquisição de dados e análise numérica, por conseguinte precisa, que este dispõe.

Para a Eletronorte, que dispõe de pelo menos um microcomputador em cada sala de controle das instalações de seu sistema elétrico, pode-se considerar que o custo de implantação deste instrumento restringe-se apenas ao hardware adicional — a placa de aquisição de dados — necessário a conversão de sinais analógicos em sinais digitais que são aqueles lidos pelo microcomputador.

O instrumento desenvolvido é constituído por uma placa de aquisição e conversão de dados instalada em um microcomputador no qual um programa, desenvolvido especificamente para este fim, identifica o sinal da rede recebido pelo conversor, obtém o nível de tensão e valor de frequência, e determina se estão dentro dos limites definidos pelo usuário. Caso não estejam, o programa gera um relatório onde são apresentadas as grandezas que estão fora da faixa, em que percentual e por quanto tempo permaneceram fora dos limites aceitáveis. Nas seções seguintes, todas as etapas a percorrer até se chegar ao objetivo final serão aprofundadas.

Este trabalho é fruto de um convênio existente entre Universidade Federal do Pará e Eletronorte, empresa do governo federal, responsável pela produção, transmissão e distribuição da energia elétrica na região norte do Brasil, que possibilitou a existência de uma parceria e o desenvolvimento deste trabalho, importante para o estudo e solução de problemas relativos do parque energético da região norte.

2. DESCRIÇÃO

O processo que possibilita a monitoração dos níveis de tensão e frequência presentes naquele instante na rede de distribuição envolve aspectos de hardware e software, conforme ilustra a Figura 2.1.

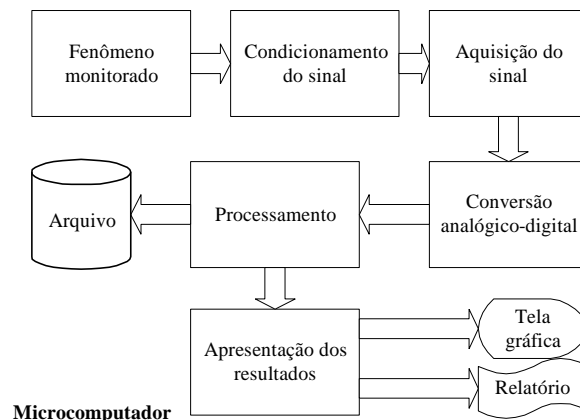


Fig. 2.1: As etapas do processo

2.1. Condicionamento e Aquisição do Sinal:

O condicionamento é a etapa que prepara o sinal para ser medido pelo sistema de aquisição de dados. Aspectos como segurança e precisão nas medidas devem ser observados.

O condicionador de sinais possibilita amplificação ou atenuação, linearização, compensação, filtragem do sinal.

O hardware utilizado para aquisição do sinal suporta níveis de tensão entre +5 e -5V ou entre +10 e -10V de pico. Níveis obtidos pela transformação do sinal de tensão da rede elétrica em níveis suportados pelo circuito de aquisição de dados são conseguidos, conforme mostrado na Figura 2.2.

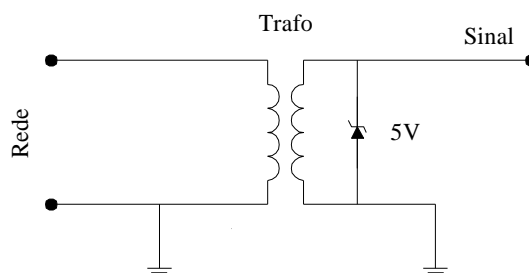


Fig. 2.2: O circuito utilizado para condicionamento do sinal

Para isso, utiliza-se um transformador de tensão ligado a rede elétrica, que garante a proporcionalidade exata entre os níveis de tensão

Para permitir que a máxima resolução do circuito de conversão analógico-digital seja utilizada, a atenuação no sinal é feita de modo a garantir que os níveis de pico do sinal atenuado coincidam com os níveis

de pico da faixa de entrada do conversor, no caso, $\pm 5V$ ou $\pm 10V$.

Uma característica importante do hardware utilizado é possuir 16 canais de entrada analógicas, permitindo, deste modo, que até 16 pontos diferentes sejam monitoradas ao mesmo tempo utilizando-se apenas um microcomputador. Um empecilho natural é a distância que estes pontos estão do hardware de aquisição. Em ligações diretas, o ponto onde será feita a medição deve ficar até 15 metros do ponto onde está o microcomputador evitando a degradação do sinal e garantindo o processamento correto dos dados.

Outra característica importante do instrumento que influencia sua precisão é sua concepção digital. Por estar baseado em sinais amostrados, incorpora o erro de quantização relativo a aproximação entre o valor convertido-digital e o valor original-analógico. Este erro de aproximação é diretamente associado a frequência de amostragem utilizada. Através de diversos ensaios, determinou-se que a frequência da rede elétrica de 60 Hz, adotada nos sistemas de geração da Eletronorte, uma frequência de amostragem 15 Hz fornece resultados satisfatórios, sendo portanto, usada no instrumento. Não houve total liberdade na escolha desse valor, pois também houve necessidade de computalização com os valores de frequência de amostragem disponíveis na placa de aquisição de dados utilizada.

Os dados digitalizados são transferidos para a memória utilizando acesso direto à memória, ou DMA — *direct memory access* — que dispensa a atenção da CPU para executar a tarefa de transferência de dados.

2.2. Processamento dos dados:

2.2.1. Algoritmos:

O algoritmo para cálculo da frequência consiste em se determinar o período do sinal de tensão da rede elétrica na sua proporção em relação ao tempo total de aquisição. Para se determinar exatamente este período deve-se levar em consideração que os valores amostrados não são necessariamente tomados em um número exatos de períodos, ou seja, o tempo de aquisição pode conter ainda uma fração entre períodos subsequentes do sinal de tensão da rede elétrica.

Para evitar este erro, o algoritmo analisa o sinal adquirido e determina em quais amostras houve um cruzamento pelo zero. O período do sinal de tensão da rede elétrica é, o número de amostras entre o primeiro e o último cruzamento pelo zero, somado a uma fração de tempo ΔT — é o período de amostragem — decorrente da amostragem do sinal, conforme mostra a Figura 2.3.

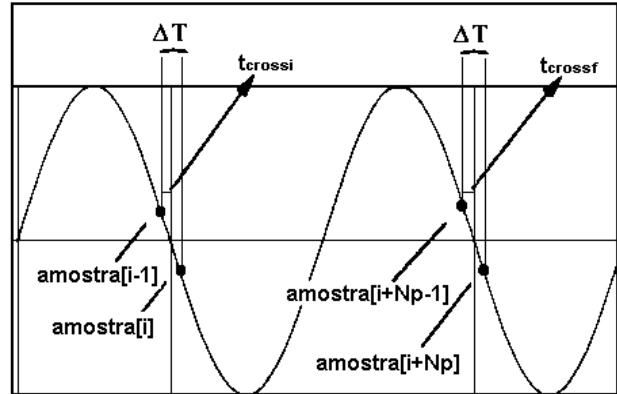


Fig. 2.3: Valores utilizados para o cálculo da tensão e da frequência.

Em resumo o algoritmo é descrito por:

- Adquire-se amostras do sinal de tensão da rede elétrica durante um intervalo conhecido T_a ;
- Determina-se as posições i onde se situam o primeiro e o último cruzamento e determina-se N_p , número de amostras entre os cruzamentos;
- Considerando-se os valores das amostras i e $i-1$, calcula-se t_{crossi}

$$t_{crossi} = \frac{\Delta T * amostra[i - 1]}{amostra[i - 1] - amostra[i]} \quad (1)$$

- Considerando-se os valores das amostras $i+N_p$ e $i+N_p-1$ calcula-se t_{crossf}

$$t_{crossf} = \frac{\Delta T * amostra[i + N_p - 1]}{amostra[i + N_p - 1] - amostra[i + N_p]} \quad (2)$$

- Determina-se a frequência

$$f = \frac{1}{\Delta T - t_{crossi} + N_p * \Delta T + t_{crossf}} \quad (3)$$

- Determina-se o valor de pico do sinal de tensão da rede elétrica, V_p , para calcular o valor RMS do sinal de tensão

$$V_{RMS} = \frac{V_p}{\sqrt{2}} \quad (4)$$

2.2.2. Descrição do Programa:

Na definição das necessidades de processamento a serem atendidas pelo instrumento, foi estipulado que poderiam haver diferentes intervalos de tolerância para as variações de tensão e frequência, conforme as características de cada sistema isolado da Eletronorte.

Entretanto, esses intervalos de tolerância sempre deveriam ser menores do que os fixados através da legislação federal do Brasil, que regulamenta a qualidade de energia elétrica. O programa de computador portanto, deveria permitir ao usuário a escolha das faixas de tolerância de variação da tensão e da frequência. Deveria também permitir que esses intervalos fossem fixados por valores diferentes, conforme as vinte e quatro horas do dia. Para levar em conta os dias de carga pesadas e cargas leves, respectivamente, dias úteis da semana e dias feriados ou de final de semana, o programa também deveria em sua configuração, permitir ao usuário a fixação de intervalos de tolerância para as variações de tensão e frequência, conforme esses tipos de dias ou cargas. Assim, para o usuário é permitido configurar o programa, conforme a sua instalação ou característica do sistema elétrico, conforme o período de horas do dia e conforme o tipo de dias com suas respectivas cargas (leve ou pesada).

Os parâmetros do hardware que constitui a placa de aquisição de dados utilizada, são fixas e escolhidas de forma a atender ao objetivo proposto na definição das necessidades de processamento a serem atendidas pelo instrumento. São eles: frequência de amostragem do sinal de tensão da rede elétrica, o tempo de aquisição de dados, número de pontos estudados.

Configurando inicialmente os intervalos de tolerância para as variações de tensão e frequência, o programa pode ser inicializado. Seu procedimento inicial é adquirir dados do sinal de tensão da rede elétrica durante um tempo de aquisição, $T_a = 240$ mseg, a uma frequência de amostragem de 25 khz.

O programa executa todo o seu processamento, conforme explanado, apresentando ao usuário a tensão atual da rede elétrica e sua frequência.

É feita, continuamente, uma crítica nos valores encontrados, comparando-os com os valores aceitáveis definidos pelo intervalo de tolerância. Caso seja detectado alguma ultrapassagem seus valores limites é emitido um alarme sonoro facilmente reconhecido pelo usuário. Ao mesmo tempo é criado um arquivo, que pode ser armazenado em disco rígido ou em disco flexível com dados do tipo:

- Valor máximo ou mínimo da ultrapassagem dos limites dos intervalos de tolerância de tensão e/ou frequência;
- Instante, em termos de hora, minuto e segundo do início da ocorrência;
- Percentual da ultrapassagem;
- Tempo total em que a tensão e/ou a frequência ficaram fora do intervalo permitido;
- Data da ocorrência.

O programa possui uma interface gráfica, apresentada na Figura 2.4, na qual podem ser observados as seguintes informações:

- Valor da tensão atual;
- Intervalo percentual da tolerância da tensão referente ao horário e dia da semana;
- Valor da frequência atual;
- Intervalo percentual da tolerância para os valores de frequência;
- Hora atual;
- Caso ocorra uma ultrapassagem dos limite dos intervalos permitidos uma mensagem é mostrada, indicando qual grandeza ultrapassou o limite permitido, podendo ser inclusive as duas grandezas;
- Botão para desativar o alarme sonoro;
- Botão para ativar a configuração dos intervalos de tolerância.

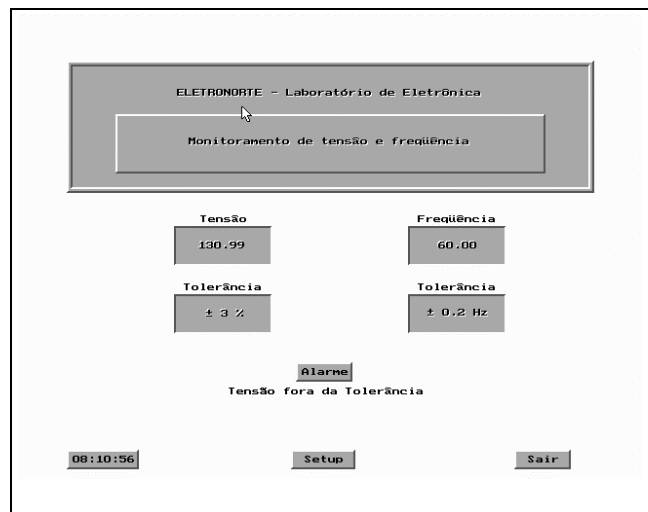


Fig. 2.4: Interface do software com o operador

Para evitar a atuação de alarmes desnecessários, é introduzido no programa um retardo proposital. O programa monitora a grandeza, tensão e/ou frequência, que teve seu limite de intervalo de tolerância ultrapassado retornar imediatamente ao seu valor permitido. Se isso ocorrer dentro do tempo tolerado, o alarme não é acionado e a ocorrência não é registrada. Esse tempo de tolerância também é fixado pelo usuário.

3. RESULTADOS OBTIDOS

O programa apresenta permanentemente os valores instantâneos da tensão e frequência da rede elétrica. Quando os valores limites dos intervalos de tolerância são ultrapassados, o alarme é acionado e deve ser reconhecido pelo usuário. É deixado como opção a escolha da necessidade de reconhecimento do alarme. Em ambos os casos, entretanto, o programa não é bloqueado quando da ocorrência de uma ultrapassagem de limites e atuação do alarme; se os valores se normalizarem e voltar a acontecer uma nova ultrapassagem de limites, esta ocorrência será normalmente armazenada no banco de dados.

Um exemplo de ocorrência pode ser observado na Figura 2.4, com a tensão ultrapassando o limite permitido no horário, para o qual o intervalo de tolerância era de 2% do valor nominal. A ocorrência provoca a atuação do alarme e a criação de um arquivo para armazenar o valor máximo da tensão, a hora em que se iniciou a ocorrência e o tempo total em que a grandeza monitorada esteve fora da faixa permitida. Para a anormalidade ocorrida no dia 22 de maio de 1997, o arquivo criado recebe o nome *may2297.txt*, como indicado na Figura 3.1.

| May2297 | |
|---|----------|
| Início da ocorrência = | 07:54:13 |
| Tensão máxima na falta = | 131.68 V |
| Percentual de falta = | 1.68 % |
| Tempo total em que a tensão ficou fora da faixa = | 00:27:34 |

Fig.3.1: Exemplo de Relatório para uma falha de tensão.

4. CONCLUSÃO

O instrumento apresentado, instalado em grande parte das salas de controle das usinas e subestações da Eletronorte, tem se mostrado eficiente ferramenta no controle de qualidade de energia fornecida aos consumidores da região norte do Brasil, mercado atendido por esta empresa.

Considerando que em cada uma dessas salas de controle já existia um microcomputador, utilizado pelos operadores para tarefas administrativas, o instrumento representou uma otimização ao uso desse equipamento. Também, por exigir somente o investimento de recursos na compra da placa de aquisição de dados e desenvolvimento do programa, tornou-se um instrumento extremamente barato.

Para o futuro pretende-se utilizar a potencialidade do processamento multitarefa do Windows

95 de forma a permitir uso contínuo do instrumento. Também pretende-se tornar disponível o instrumento para os grandes consumidores de energia da Eletronorte.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Gomes, N., Costa, C., Souza, C., "Sistema de supervisão e controle local SE Ouro Preto 2", XII SNPTEE, Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, outubro 1993.
- [2] Araújo, J., Filho, J., "Qualidade de energia - Estado da Arte. Conceitos e a importância de aplicação nas empresas de energia elétrica", IV SIMOPA, Seminário Integrado de Manutenção, Operação e Administração, outubro 1996, pp 166-122.
- [3] PCL-812pg - Multilab Card - User's Manual - Advantech Co. Ltd - 1993.
- [4] Vieira, L., Mússio, R. "Desenvolvimento de instrumentação virtual utilizando programação C e placa de conversão analógico-digital/digital-analógico". Apostila de curso. Novembro, 1996.

6. DADOS BIOGRÁFICOS

FRANCISCO R. R. FRANÇA

Engenheiro de Eletrônica, ITA 1975, Mestre em Automação e Controle, UFPa 1994, Engenheiro de Manutenção Senior da Eletronorte, atua Laboratório Central - Belém - Pará.

LUCIANA A. VIEIRA

Graduada em Engenharia Elétrica, opção Eletrônica em 1994 e Mestre em Engenharia Elétrica em 1996, ambos pela Universidade Federal do Pará. Pesquisadora de Desenvolvimento Científico Regional do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.

NORBERTO BRAMATTI

Engenheiro Eletrônico, UFRS 1982 Engenheiro de Manutenção Senior da Eletronorte, atua no Laboratório Central - OLAB - Belém - Pará.

ROBERTO J. C. MÚSSIO

Engenheiro Eletrônico pela Universidade Federal do Pará em 1994 e graduado Mestre em Engenharia Elétrica em 1996 pela mesma Instituição. Atua como pesquisador na categoria Desenvolvimento Científico Regional do Conselho Nacional.