

DESENVOLVIMENTO DE UM ANÁLISADOR DE QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA DE BAIXO CUSTO

JEAN CARLOS SCHEUNEMANN¹; MARIANO BERWANGER WILLE²; MARLON SOARES SIGALES³; TARSO RODRIGUES DE ÁVILA⁴; MARCELO LEMOS ROSSI⁵

¹Universidade Federal de Pelotas – scheunemann.jc@ufpel.edu.br

²Universidade Federal de Pelotas – marianobw@hotmail.com

³Universidade Federal de Pelotas – marlonsigales@yahoo.com

⁴Universidade Federal de Pelotas – tarso.avila@hotmail.com

⁵Universidade Federal de Pelotas – marcelo.rossi@ufpel.edu.br

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, com o aumento do número de equipamentos eletrônicos, começou a surgir grandes problemas relacionados a qualidade da energia elétrica distribuída para o consumidor final, seja pelo aumento da sensibilidade destes equipamentos com relação as gerações anteriores, ou pela maior degradação da rede por parte destes, devido a característica não linear que as cargas eletrônicas naturalmente apresentam (DUGAN et al, 2012; ALDABO, 2001).

Como maneira a controlar este problema, surgiram acordos e normas que limitam a interferência dos componentes a rede elétrica (IEC 6100 e IEEE 519) e desde 2008, a ANEEL realiza esta fiscalização no Brasil, através do PRODIST (ANEEL, 2008).

Para realizar a monitoração dos parâmetros de qualidade da energia nos sistemas elétricos é necessário utilizar modernos medidores eletrônicos vendidos comercialmente. Esses equipamentos seguem as metodologias de quantificação de indicadores definidas pela International Electrotechnical Commission (ROSSI et al, 2012).

Baseando-se nisso, o objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de um equipamento de baixo custo, que possa avaliar os parâmetros da qualidade de energia elétrica segundo as especificações da ANEEL, apresentando-os em uma interface amigável e que permita a utilização destes dados em sistemas que possam realizar a sua correção.

2. METODOLOGIA

A fim de realizar a aquisição e o processamento dos dados, foi escolhido o mini-PC Beagle Bone Black, devido ao seu baixo custo, grande capacidade de processamento e a grande quantidade de periféricos que ele já possui, como conversor analógico digital de 12bit 1,6MS/s, 2 unidades de processamento em tempo real (PRU), GPU, co-processador com suporte a SIMD e hardware para manipulação de números em ponto flutuante, interface de rede, entre outros.

Pelo fato da Beagle Bone possuir uma grande quantidade de periféricos, optou-se por utilizar-se a distribuição Linux Ångström como sistema operacional, assim possibilitando o uso de tecnologias de desenvolvimento mais sofisticadas, como Python, NumPy e Node.js. As funcionalidades de cálculo que não estão

presentes na biblioteca NumPy foram implementadas em C++ para adicionar um melhor desempenho aos cálculos.

Fluxo dos dados a serem processados ocorrem da seguinte maneira: os sinais de tensão e corrente, a serem analisados, são isolados e condicionados aos níveis adequados (0~1,8V) para, então, serem adquiridos pelo conversor analógico-digital. Em seguida esses sinais são ordenados por canal pelas PRUs e, então, são armazenados em um buffer na memória da Beagle Bone. O tamanho deste buffer varia de acordo com a detecção frequência fundamental do sinal que, ao ser preenchido, gera uma requisição de interrupção ao processador, chamando o programa para então processar os dados.

Após feitas a aquisição dos seis sinais, sendo três de tensão e três de corrente, o sistema realiza as principais análises dos parâmetros de qualidade de energia, como: a média do valor eficaz, Variações de Tensão de Curta Duração (VTCD), detecção da frequência fundamental das tensões, potência aparente do sistema, fator de potência da frequência fundamental, Distorção Harmônica Total (THD) de tensão e de corrente e flicker.

A primeira análise dos sinais utiliza um segundo de aquisição de dados obtendo, assim, os valores médios eficazes, composição harmônica e a frequência do harmônico fundamental. Isso irá definir o tamanho do buffer a ser utilizado durante o resto das análises. Cada amostra possui 12 bits de informação mais 4 bits do identificador do canal, totalizando 16 bits, então o tamanho total do buffer em bytes por canal é dado pela Equação 1.

$$N_p = 2 * (\text{Taxa de Aquisição}) / (2 * \text{Frequência Fundamental}) \quad (1)$$

Para calcular o valor eficaz dos sinais utilizou-se o modulo estatístico do NumPy que, a cada requisição de interrupção, carrega o buffer de memória e, então, cria uma thread que irá calcular o valor eficaz para cada ponto do vetor para, no final, obter a média do sinal. Por si só, o valor médio eficaz da tensão já é uma métrica da qualidade, pois ele apresenta se a rede está fornecendo os níveis contratados de energia. Além do mais o sinal médio eficaz também serve como parâmetro para as análises de VTCD e para o cálculo da potência aparente.

O cálculo do VTCD ocorre a cada nova requisição de processamento, que corresponde à metade do período da frequência fundamental, quando se calcula novamente o valor eficaz sobre um período utilizando-se as informações do buffer de memória anterior, realizando-se assim duas comparações do valor médio a cada período da rede.

A cada período completo de 1 segundo de aquisição calcula-se novamente a transformada rápida de Fourier do sinal (FFT) para analisar a composição harmônica do sinal da rede. Dessa forma pode-se obter a taxa distorção harmônica total, que é a razão do valor eficaz de todos os harmônicos exceto a o fundamental sobre o módulo do harmônico fundamental.

Já a análise de Flicker é feita através da energia das componentes de frequência menor que a fundamental.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Até o momento conta-se com os algoritmos de cálculo de todas as operações de análise dos parâmetros de qualidade da rede elétricas. Esses algoritmos foram testados utilizando banco de dados de leituras de sinais da rede e os resultados apresentam um bom desempenho do sistema em análises com taxas de amostragem de até 50kS/s como mostrado na tabela 1.

Teste	Taxa de amostragem	Tempo médio FFT por canal (ms)	Tempo médio Vrms + VTCD por canal (ms)	Tempo médio do Algoritmo para um segundo de dados (ms)
1	200kS/s	394	77	1884
2	100kS/s	221	66	1148
3	50kS/s	137	60	788
4	10kS/s	68,8	55,6	499

Tabela 1- Tempo médio de resposta do algoritmo

Entretanto, ainda há alguns problemas a serem solucionados, tais como ter acesso às informações enquanto ocorre o processamento de operações de custo computacional elevado (como a FFT), aumentar a taxa de aquisição de dados utilizando as PRUs da Beagle Bone e integrar com a interface do usuário.

4. CONCLUSÕES

Pode-se observar que os algoritmos apresentam um resultado satisfatório em realizar as análises, tornando-se uma alternativa viável para ser utilizados em testes preliminares de equipamentos eletroeletrônicos, podendo inclusive se comunicar com o sistema de controle do circuito, como no caso de inversores de frequência, Nobreaks, UPS, entre outros.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Livro

DUGAN, Roger C.; MCGRANAGHAN, Mark F.; SANTOSO, Surya; BEATY, H. Wayne. **Electrical Power Systems Quality**, 3ª Ed. New York: McGraw-Hill Professional, 2012.

ALDABO, Ricardo L. **Qualidade na energia elétrica**. São Paulo: Artliber, 2001.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Procedimentos de Distribuição – PRODIST**. Módulo 8, Qualidade da Energia Elétrica.

ROSSI, M. L. ; MACEDO JR., José Rubens . **Analizador de Qualidade da Rede Elétrica**. 2012.