

ANÁLISE DA LARGURA DE BANDA DOS SINAIS ELÉTRICOS ADQUIRIDOS POR UMA UNIDADE REMOTA DE AQUISIÇÃO DE DADOS (URAD).

Camila S. Gehrke, Mauricio de Campos, Fabiano Salvadori.

Universidade do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUI

Departamento de Tecnologia – DETED - Ijuí - RS

camila.gehrke@unijui.edu.br; campos@unijui.edu.br; f.salvadori@unijui.edu.br

Resumo. Este trabalho apresenta uma análise da largura de banda dos sinais adquiridos por uma Unidade Remota de Aquisição de Dados (URAD), estudando a viabilidade de essa ser utilizada como analisador de perturbações na rede elétrica. Para a análise da banda passante foi feito um embasamento teórico no Teorema de Nyquist, assim como na Série de Fourier.

Palavras-chave: Teorema de Nyquist, Série de Fourier, Largura de banda.

1. INTRODUÇÃO

Devido a crescente utilização de equipamentos eletrônicos que utilizam fontes chaveadas, cada vez mais perturbações são injetadas na rede elétrica. Para avaliar essas perturbações, são necessários analisadores capazes de identificar comportamentos, tais como harmônicos, subtensões, sobretensões, curto-circuitos, entre outros.

A Unidade Remota de Aquisição de Dados (URAD) foi desenvolvida como parte de um projeto de P&D, financiado pela CEEE, sendo parte de uma rede de sensores inteligentes. Esta rede tem por finalidade identificar essas perturbações no sistema elétrico, através da aquisição de correntes e tensões trifásicas.

Porém, para se ter uma boa análise do sinal adquirido deve ser estabelecido uma largura de banda e taxa de

amostragem adequada para a detecção das perturbações a serem diagnosticadas.

2. URAD

A URAD é responsável pela aquisição dos valores de tensão e corrente do sistema trifásico, e pela transmissão destes valores para um servidor local à planta monitorada.

O hardware do projeto desta unidade apresenta o diagrama em blocos mostrado na Figura 1, ou seja, condiciona os sinais de entrada a níveis de tensão e corrente aceitáveis ao microprocessador.

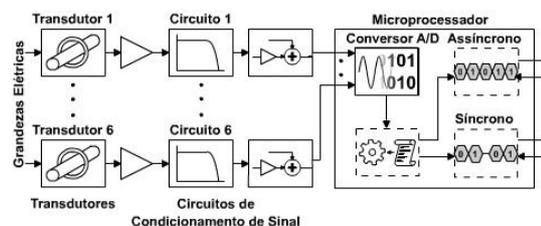


Figura 1 – Diagrama em blocos da URAD

A rotina de aquisição realiza 64 amostras a cada 16,67ms. A partir dos valores adquiridos calcula seus valores eficazes, e realiza a transformada de Fourier (FFT), agrupa os resultados em um pacote e envia esses através do protocolo MODBUS a um servidor remoto, via wi-fi, através de um transceiver (TRW-24G) ou via RS-232.

3. TEOREMA DE NYQUIST

Em 1928, Harry Nyquist, matemático do Bell Labs, estabeleceu uma relação entre frequência de amostragem e a máxima frequência de um sinal a ser reproduzido, o *Teorema de Nyquist* (referência 4,5).

De acordo com *Nyquist*, a quantidade de amostras por unidade de tempo de um sinal, chamada taxa ou frequência de amostragem, deve ser maior que o dobro da maior frequência contida no sinal a ser amostrado, para que esse possa ser reproduzido integralmente.

A metade da frequência de amostragem é chamada frequência de *Nyquist* e corresponde ao limite máximo de frequência do sinal que pode ser reproduzido. Porém, o *Teorema de Nyquist* apresenta um problema, conhecido como *aliasing*, em que frequências maiores que a frequência de Nyquist é "espelhada" ou "rebatida" para uma região mais grave do espectro.

4. SÉRIE DE FOURIER

A *Série de Fourier* decompõe em co-senos e senos qualquer sinal periódico, representando suas amplitudes e frequências (referência 3).

A *Série de Fourier* é bastante utilizada para analisar a presença de harmônicos na rede, ela representa os harmônicos ímpares e suas amplitudes, de acordo com as equações 1-4.

$$a_0 = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) dx \quad (1)$$

$$a_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \cos nx dx \quad (2)$$

$$b_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \sin nx dx \quad (3)$$

$$a_0 = \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos nx + b_n \sin nx) \quad (4)$$

Para sabermos se uma análise de Fourier está correta, em termos de amplitude e frequência podemos verificar quais harmônicas e quais amplitudes aparecem no Figura resultante da *Série de Fourier* de uma onda quadrada analisando a equação 5.

$$f\left(\frac{\pi}{2}\right) = k = \frac{4k}{\pi} \left(1 - \frac{1}{3} + \frac{1}{5} - + \dots\right) \quad (5)$$

$$1 - \frac{1}{3} + \frac{1}{5} - \frac{1}{7} + \dots = \frac{\pi}{4} \quad (6)$$

5. ANÁLISE DA LARGURA DE BANDA

5.1 Análise teórica

A partir do *Teorema de Nyquist* pode-se determinar a largura de banda, ou seja, a frequência máxima de um sinal que pode ser reproduzido integralmente pela URAD.

Sabendo-se que a URAD é utilizada para aquisição da rede elétrica, com frequência fundamental de 60 Hz, e que essa realiza uma conversão a cada 260ns, chega-se a uma frequência de amostragem de 3,84 kHz, resultando em uma banda passante com uma frequência máxima, ou frequência de *Nyquist*, de 1,92 kHz.

Conclui-se, então, que a largura de banda da URAD de 1,92 kHz, pode identificar harmônicos de até 31ª ordem.

5.2 Análise prática

Pela análise de uma onda quadrada (Figura 2), realizando a *Fast-Fourier Transform* (FFT), podem-se analisar todos os harmônicos que a URAD consegue detectar, assim como suas amplitudes (Figura 3).

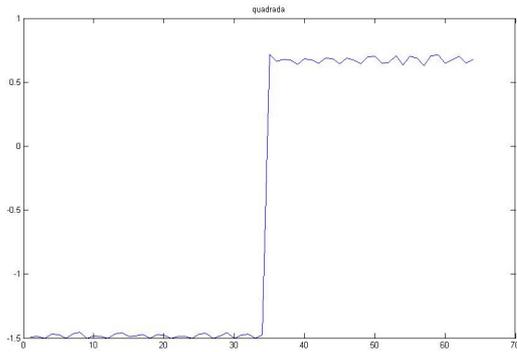


Figura 2 – Onda quadrada com frequência de 60 Hz

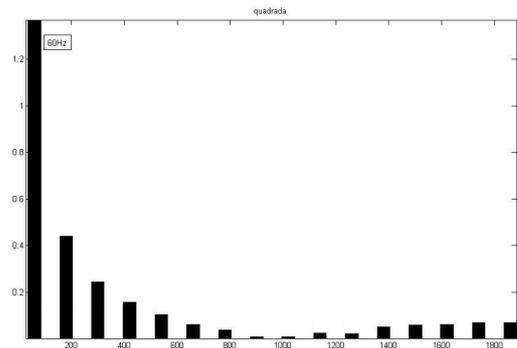


Figura 3 – FFT da onda quadrada com frequência de 60 Hz

Analisando a figura 2 pode-se identificar que a frequência de 1,92 kHz foi detectada, ou seja, a URAD tem capacidade para analisar harmônicos até 31ª ordem.

Para determinar qual a harmônica de maior ordem que a URAD pode detectar foram injetados separadamente em uma onda senoidal com frequência fundamental de 60 Hz, harmônicos de 5ª, 27ª e 51ª ordens (Figura 4, 6, 8).

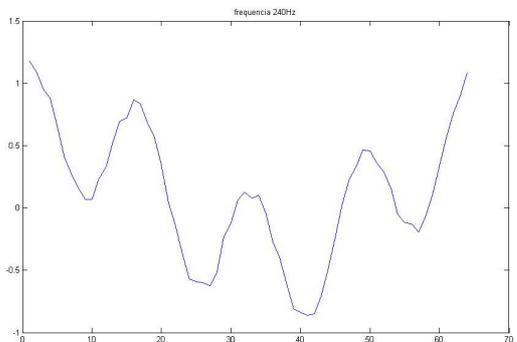


Figura 4 – Onda senoidal com frequência de 60 Hz e 3ª harmônica.

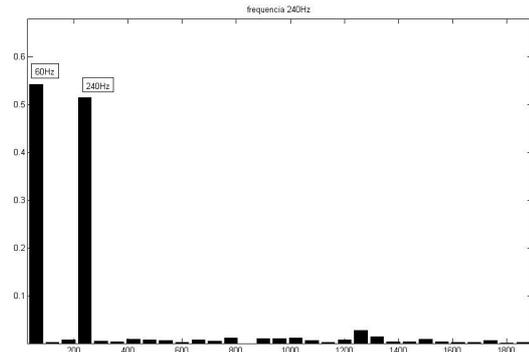


Figura 5 – FFT da onda senoidal com frequência de 60 Hz e 3ª harmônica.

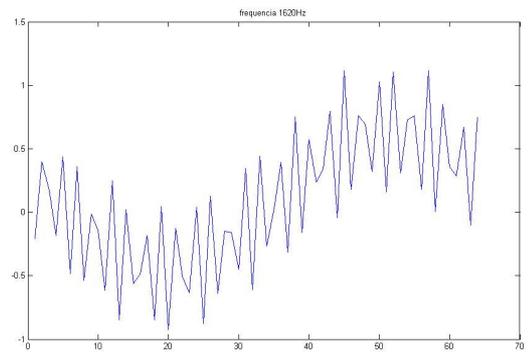


Figura 6 – Onda senoidal com frequência de 60 Hz e 27ª harmônica.

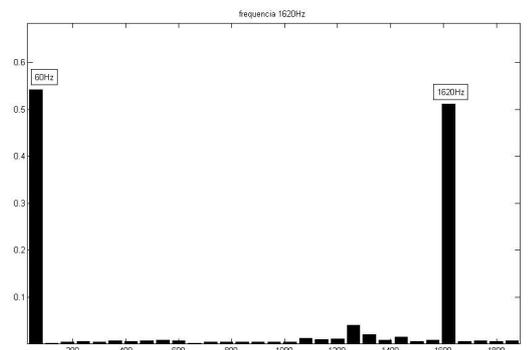


Figura 7 – FFT da onda senoidal com frequência de 60 Hz e 27ª harmônica.

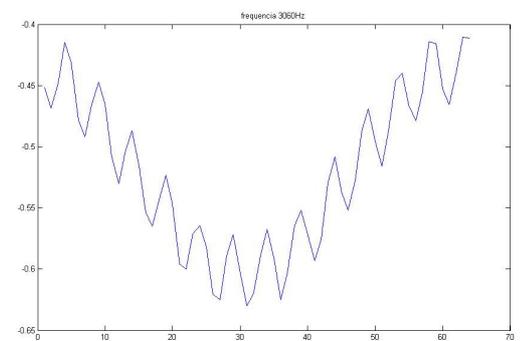


Figura 8 – Onda senoidal com frequência de 60 Hz e 51ª harmônica.

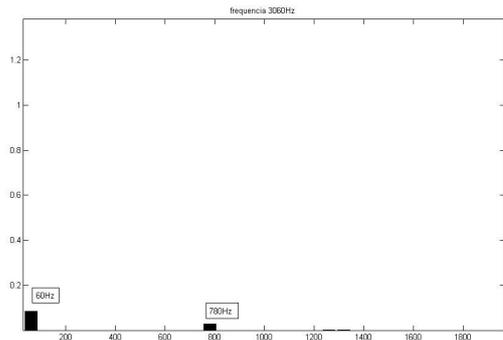


Figura 9 – FFT da onda senoidal com frequência de 60 Hz e 51^a harmônica.

Concluindo-se que a largura de banda da URAD pode medir harmônicos de até 1,92 kHz, ou seja, injetando harmônicos com uma frequência de 3kHz (Figura 8 e 9), a frequência foi rebatida para o espectro grave, resultando numa frequência não existente de 780Hz.

Porém, analisando a equação 5, verifica-se que a FFT realizada na figura 2, apresenta amplitudes distorcidas a partir da 9^a harmônica. Pela fórmula a amplitude da 11^a harmônica deveria ser de 0,1158 como pode se verificar na equação 7, porém com essa harmônica a amplitude foi de 0,712, concluindo-se assim que sinais com frequência superior a 540 Hz, não podem ser recuperados com nitidez aceitável.

$$k = \frac{4k}{\pi} \left(\frac{1}{11} \right) = 0,1158 \quad (7)$$

Para comprovar que sinais até 540 Hz podem ser reproduzidos foram realizados testes, com sinais senoidais com frequência fundamental de 60 Hz, 540Hz, 660Hz e 1920Hz (Figura 10, 11, 12 e 13).

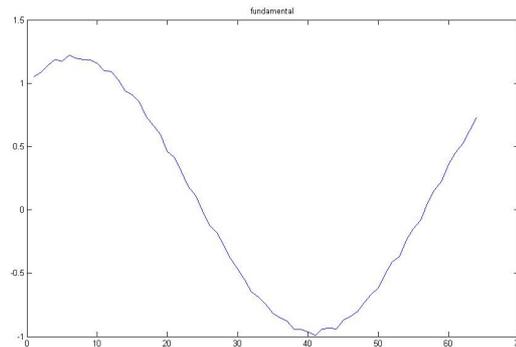


Figura 10 – Onda senoidal com frequência de 60 Hz.

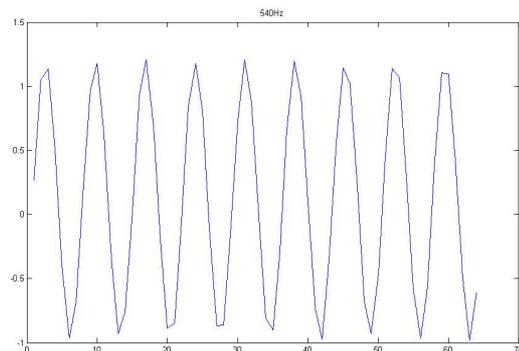


Figura 11 – Onda senoidal com frequência de 540 Hz.

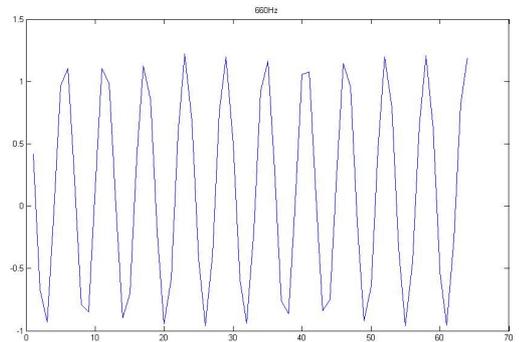


Figura 12 – Onda senoidal com frequência de 660 Hz.

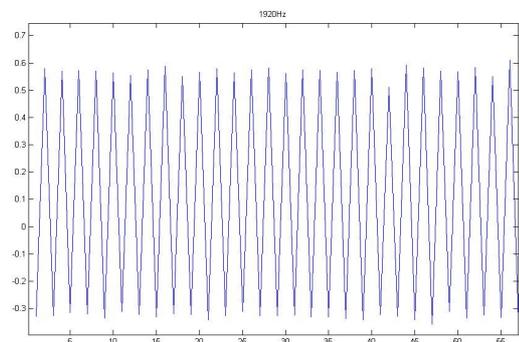


Figura 13 – Onda senoidal com frequência de 1920 Hz.

Pela análise das figuras 10, 11, 12 e 13, conclui-se que a partir da frequência de 660 Hz o sinal senoidal realmente apresenta deformações não aceitáveis, e com uma frequência de 1,92 kHz, a senoide, já apresenta características de uma onda triangular em vez de características senoidais.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados apresentados da análise da largura de banda da URAD, concluiu-se que esse dispositivo pode ser utilizado como um analisador da rede elétrica, pois consegue identificar harmônicas de até 31ª ordem.

Quanto a questão do efeito *alising*, verificou-se que de acordo com a norma IEC 61000-3-2, os equipamentos eletrônicos podem injetar harmônicas de acordo com o Figura 13.

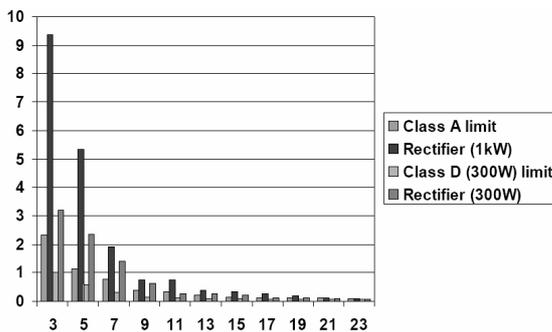


Figura 13 – Figura do limite de distorção harmônica nas diferentes classes de equipamentos segundo a norma IEC 61000-3-2.

Analisando a figura 13, percebe-se que a partir da 11ª harmônica a amplitude da perturbação permitida é praticamente desprezível, possibilitando assim, a colocação de um filtro passa-baixas com frequência de corte abaixo da 31ª harmônica, o que conseqüentemente, eliminaria o efeito *alising*, pois não permitiria a passagem de altas frequências.

Porém, verificou-se que a URAD não tem poder de processamento para

reprodução em tempo real para frequências acima de 540Hz.

Conclui-se assim que a URAD é um dispositivo que possui uma boa largura de banda para sua aplicação, porém para que não ocorra o efeito *alising*, deve-se estudar a inserção de um filtro passa-baixas na entrada do circuito.

REFERÊNCIAS

- [1] F. Salvadori, M de Campos, A. C. Oliveira, P. Sausen, C. Rech, R. F. Camargo, G. Leandro, J. W. Lemos, C. Gehrke. “Monitoring and Diagnosis in Industrial Systems Using Wireless Sensor Networks”, WISP, 2007.
- [2] P. S. Sausen, M. A. Spohn, A. C. Oliveira, F. Salvadori, M. de Campos, E. L. Padoin e R. Strieder Sistema baseado em software livre para automação de subestações utilizando redes de sensores inteligentes, Simpase, 2007.
- [3] E. Kreyszig, Advanced Engineering Mathematics, United States of America, 1993, p.569.
- [4] O. Katsuhiko, Discrete-Time Control Systems, Prentice Hall, 1995.
- [5] F. Powell, Digital Control of Dynamic Systems, 3a ed., 1998.