

MEDIDOR E REGISTRADOR ELETRÔNICO DE TENSÃO TRIFÁSICA

Tiago LESSA (1); Íkaro SARAIVA (2); Sérgio CRUZ (3); Antonio THEMOTEO VARELA(4)

(1) CEFETCE, Av. 13 de Maio 2081, Benfica, Fortaleza-CE, 33073636, e-mail: tiago_lessa_garcia@yahoo.com.br

(2) CEFETCE, e-mail: ikaro_ce@hotmail.com

(3) CEFETCE, e-mail: sergiocruz_br@yahoo.com.br

(4) CEFETCE, e-mail: themoteo@cefetce.br

RESUMO

Com a entrada da resolução 505 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que estabelece as disposições relativas à conformidade dos níveis de tensão de energia elétrica em regime permanente, surgiu a necessidade de desenvolver-se uma ferramenta eletrônica microcontrolada, específica para medições, armazenamento de dados de tensão trifásica, realizados em campo, necessários para uma análise computacional posterior e que proporcionasse rapidez, flexibilidade, precisão e confiabilidade. Este trabalho tem como objetivo comprovar a eficiência e eficácia de um dispositivo medidor de tensão trifásica, que, por sua vez, registra e analisa os níveis de tensão da rede monitorada.

Palavras-chave: medidor de energia, armazenamento de dados, qualidade da energia elétrica.

1. INTRODUÇÃO

Com a entrada da resolução 505 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que estabelece as disposições relativas à conformidade dos níveis de tensão de energia elétrica em regime permanente, surgiu a necessidade de desenvolver-se uma ferramenta eletrônica microcontrolada, específica para medições, armazenamento de dados de tensão trifásica realizados em campo, necessários para uma análise computacional posterior, e que proporcionasse rapidez, flexibilidade, precisão e confiabilidade. O trabalho atual foi desenvolvido para comprovar a eficiência e eficácia de um dispositivo medidor de tensão trifásica, que, por sua vez, registra e analisa os níveis de tensão da rede monitorada. A análise das tensões são refletidas em um painel com nove leds dispostos de acordo com os tipos de tensão referentes à qualidade da energia elétrica (Crítica, Adequada e Precária). O equipamento possui um display de cristal líquido (LCD) 20x4, com comunicação serial, onde são apresentados opções de menu e valores de tensão online e a quantidade de registros adicionados no cartão, também possui um acesso as opções de menu por intermédio de três botoeiras do tipo push bottom, componentes estes, que serão detalhados ao longo do trabalho.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Tensão alternada

Em circuitos elétricos uma onda alternada é um sinal elétrico que varia no tempo e assume uma série de valores positivos, zeros e negativos. A Figura 1 mostra uma onda que alterna entre valores positivos e negativos durante a passagem pelo zero, e que se repete em iguais intervalos de tempo.

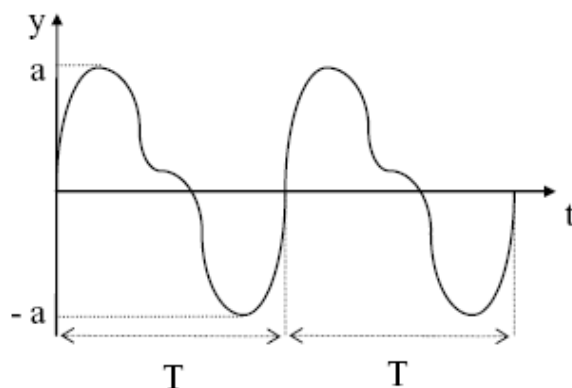


Figura 1-Forma de onda alternada.

(Fonte: Ruth Leão, 2007)

As tensões senoidais são geradas por dois métodos: máquinas elétricas rotativas e osciladores eletrônicos. O princípio básico de geração de energia elétrica consiste no movimento relativo de bobinas elétricas imersas em um campo magnético. Como resultado, tem-se a indução de tensão alternada nos terminais das bobinas.

A Figura 2 mostra um gerador ca simplificado, o qual consiste de uma bobina de uma espira apenas em um campo magnético permanente. Cada terminal da bobina é conectado a um anel coletor condutor. À medida que a bobina gira no campo magnético entre os pólos norte e sul, o anel coletor também gira em contato com as escovas que conectam a bobina a uma carga externa.

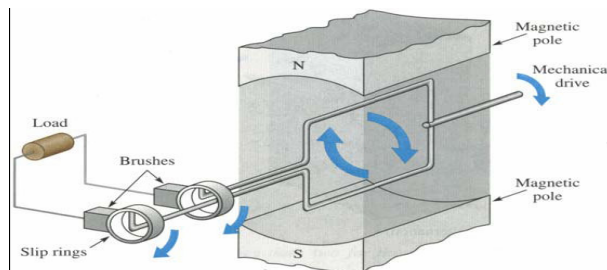


Figura 2-Gerador elétrico ca simplificado.

(Fonte: Ruth Leão, 2007)

Segundo o princípio de indução do eletromagnetismo, quando um condutor encontra-se submetido a um campo magnético variável, uma tensão é induzida nos terminais deste condutor.

Quando o rotor do gerador encontra-se em movimento, no condutor estar sendo aplicado um campo magnético variável e quando ele completa uma rotação de 360° , um ciclo completo de tensão é induzida. O movimento contínuo do rotor faz gerar vários ciclos da onda senoidal.

Uma onda senoidal pode ser medida em uma base temporal ou angular. Como o tempo para completar um ciclo completo depende da frequência da onda, em geral é comum especificar os valores em uma onda senoidal em termos de medida angular, expresso em graus ou em radianos. O ângulo de uma onda senoidal pode ser relacionado ao ângulo de rotação de um gerador, esta relação é mostrada na figura 3, onde temos os ângulos de rotação do gerador e os correspondentes destes em uma onda senoidal.

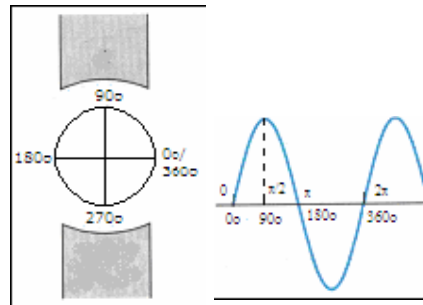


Figura 3-Relação entre uma onda senoidal e a rotação de um gerador ca.
(Fonte: Ruth Leão,2007)

2.2. Período de uma Onda Senoidal

O período de uma onda senoidal é igual ao tempo necessário para que se complete um ciclo de onda, considerando também que é o menor espaço de tempo T que separa um conjunto completo de valores diferentes. A Figura 4 ilustra dois períodos de uma onda senoidal representado por T . O período de uma onda senoidal não necessariamente necessita ser medido entre os zeros da forma de onda.

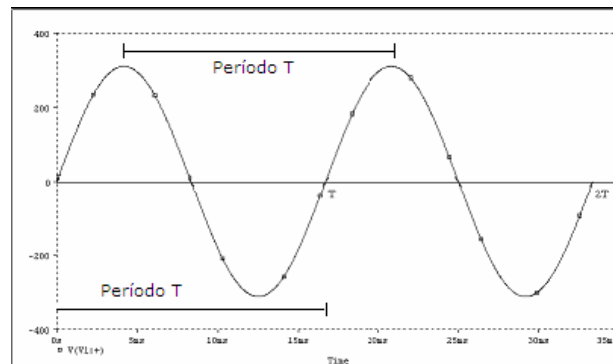


Figura 4-Medição de um período de uma onda senoidal.
(Fonte: Ruth Leão,2007)

2.3. Valor de Pico

O valor de pico, também chamado de amplitude de uma onda senoidal de tensão, é o máximo valor positivo ou negativo em relação ao zero. O valor de pico em uma onda senoidal é constante, e representado por V_p . O valor pico-a-pico de uma tensão senoidal corresponde ao valor desde o pico positivo ao pico negativo. Os valores pico a pico de tensão são representados por $V_{pp} = 2V_p$.

2.4. Valor Eficaz

O valor eficaz de uma tensão senoidal corresponde ao valor de tensão ca capaz de dissipar em um resistor R uma potência média equivalente à potência dissipada por uma tensão cc sobre o mesmo resistor. Assim

$$P_{\infty} = \frac{V^2}{R} \quad [\text{Eq. 01}]$$

$$P_{ca} = \frac{1}{T} \int_0^T \frac{1}{R} \cdot v(t)^2 dt \quad [\text{Eq. 02}]$$

onde T representa o período da onda senoidal de tensão, v o valor instantâneo da tensão e R uma carga resistiva qualquer. Para $P_{ac} = P_{cc}$, tem-se que os valores correspondentes entre as tensões cc e ca, sob esta condição denominada de tensão eficaz V_{EF} :

$$V_{EF} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v^2 dt} \quad [\text{Eq. 03}]$$

Para uma tensão senoidal definida como:

$$v(t) = V_p \cdot \text{sen}(\omega t \pm \varphi_v) \quad [\text{Eq. 04}]$$

onde ω é igual à velocidade angular, que multiplicada pelo t define o ângulo de tempo, ωt , que corresponde ao valor angular instantâneo de uma onda senoidal. Como a onda senoidal é periódica, o ângulo de tempo será sempre um múltiplo inteiro do conjunto de ângulos compreendido no intervalo de 0 a 2π rad. E φ é igual ao ângulo de fase de uma onda senoidal, quando esta se encontra defasada da referência, caso contrário este ângulo é igual a zero. Sendo assim o valor eficaz da senóide é dado por:

$$V_{EF} = \frac{V_p}{\sqrt{2}} = 0,707 V_p \quad [\text{Eq. 05}]$$

ou

$$V_p = 1,414 V_{EF} \quad [\text{Eq. 06}]$$

O valor eficaz de uma onda senoidal é também chamado de valor RMS, termo derivado do inglês com o significado da expressão matemática que o define – *Root Mean Square*.

2.5. Valor Médio

O valor médio de uma onda é o quociente da área sob a curva correspondente a um ciclo completo dividido pelo período.

$$V_{\text{médio}} = \frac{1}{T} \int_0^T v(t) dt \quad [\text{Eq. 07}]$$

O valor médio de uma onda senoidal é sempre igual a zero, pois a área do semiciclo positivo é igual à área do semiciclo negativo. Para ser útil como medida de tensão, o valor médio de uma onda senoidal é definido sobre meio ciclo de uma senóide retificada invés de um ciclo completo. Para $v(t) = V_p \cdot \text{sen} \omega t$, tem-se:

$$\begin{aligned} V_{\text{médio}} &= \frac{V_p}{T/2} \int_0^{T/2} \text{sen} \omega t \cdot dt \\ &= -\frac{2V_p}{2\pi} \cos \frac{2\pi}{T} t \Big|_0^{T/2} \\ &= -\frac{2V_p}{2\pi} [\cos \pi - 1] = \frac{2}{\pi} V_p \\ &= 0,6366 \cdot V_p \end{aligned} \quad [\text{Eq. 08}]$$

Sendo V_p definido anteriormente como $\sqrt{2} \cdot V_{EF}$, então o valor médio de uma senóide de meio ciclo:

$$V_{\text{médio}} = 0,637\sqrt{2}V_{EF}$$

assim

$$V_{EF} = 1,11 \cdot V_{\text{médio}} \quad [\text{Eq. 09}]$$

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Sensor de tensão

O sensor de tensão é composto de um transformador que tem função de reduzir o valor de tensão de entrada a níveis (0 a 5 Volts AC) suportados pelo conversor analógico-digital (AD) e de um circuito somador de tensão que foi implementado para elevar o nível de tensão AC com o objetivo de fazer com que o conversor AD detectasse o ciclo positivo e negativo da senóide, já que a não existência do circuito tornaria obrigatório a perda do ciclo negativo pois o conversor está trabalhando com uma referência negativa de 0Volts e positiva de 5Volts. Na construção deste circuito encontram-se duas entradas, onde em uma delas entra o sinal AC, que vem do transformador, e em outra um sinal DC de 5Volts, que será responsável pela elevação dos ciclos negativo e positivo do sinal AC. Assim, com uma adição de sinal passou a existir novamente um sinal de tensão acima do suportado pelo conversor, então foi necessário a implementação de um divisor de tensão para reduzirmos o sinal a níveis suportados pelo AD.

3.2. Aquisição e tratamento dos dados de tensão

Os dados de tensão são adquiridos por meio de um conversor analógico-digital (AD) de 8 bits, interno, de um microcontrolador de família PIC (PIC18f452). Após a aquisição de dados, é realizado o tratamento destes por meio de constantes, fatores de correção e funções matemáticas todas implementadas em linguagem C para microcontroladores da família PIC utilizando um compilador específico para esta linguagem e para este componente, o PIC C Compiler. Este tratamento é realizado para que se tenha o valor RMS da tensão que está sendo aferida. Para termos uma melhor eficiência, precisão e confiabilidade no tratamento dos dados e amostragem dos valores RMS de tensão, foram utilizados aparelhos de medição de alta confiabilidade como SAGA 3000, assim como um aparelho (VARI-AC) para variação dos sinais de tensão nas entradas das fases. Utilizando um software (DOCKLIGHT V1.6) dedicado para comunicação serial RS232 foi possível realizar as medidas e apresentá-las na tela de um computador, tornando, assim, mais notável os erros de cálculos, medidas e de lógica de programação, facilitando as devidas correções.

3.3. Interface homem-máquina (IHM)

A interface homem-máquina é composta por três dispositivos: display LCD serial, três botoeiras do tipo “push bottom” e um painel com nove LED’s, como mostra a figura 5. O display LCD serial combina um módulo serial, possuindo um microcontrolador da família PIC (PIC16f628), com um display LCD de 20 caracteres e 4 linhas. Este conjunto recebe dados serialmente do PIC18f452, responsável por todo o processamento do sistema, a velocidade de 4800bps e mostra no display. Nele são apresentadas opções de menu para a parametrização do aparelho medidor e valores instantâneos de tensão RMS de cada fase aferida assim como o número de registros válidos para cada uma. São três o número de botoeiras presente no medidor, uma movimenta um cursor para cima, uma outra move o cursor para baixo e uma última que tem função de “enter”. Elas realizam a tarefa de seleção das opções de menu assim como a chamada deste. O painel com os nove LED’s representam um diagnóstico do nível de tensão RMS que cada fase está apresentando em uma média dos registros válidos dentro de um período de dez minutos. Este diagnóstico é baseado na qualidade de energia elétrica de acordo com as exigências da Resolução nº 505 da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, onde o nível de tensão RMS pode ser definido em três categorias: Crítico, Precário ou Adequado. Para cada fase existem três LED’s, de cores diferentes, que representam as três categorias.

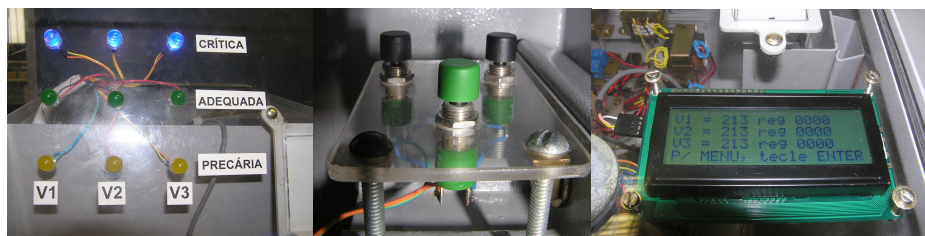


Figura 5-Interface homem-máquina (IHM).

3.4. Armazenamento de dados

A cada dez minutos uma média dos valores RMS assim como o valor máximo e mínimo deste período para cada fase, são armazenados em um cartão de memória de 64MB em formato de arquivo “.txt”. O armazenamento é realizado através de uma interface de sistemas de arquivos FAT (HDBS), mostrada na figura 6, que se encontra serialmente conectada com o PIC18f452 gerenciador do sistema. O HDBS não precisa de nenhum componente externo para operar, além da alimentação de 5Volts DC e de um microcontrolador com UART para a comunicação (no nosso caso está sendo utilizado o microcontrolador mencionado acima). Para a comunicação o HDBS implementa um tipo de modo para enviar comandos, chamado modo texto onde funciona com os comandos do DOS e são enviados em ASCII. O HDBS está trabalhando com o PIC a uma velocidade de 19200bps através de comandos próprios da interface. Antecedendo a comunicação HDBS-PIC, realizamos testes dos comandos através de uma placa para comunicação serial HDBS-COMPUTADOR possuindo um CI destinado para este tipo de comunicação, MAX232 e um software de comunicação serial que foi mencionado no tópico 3.2.



Figura 6-HDBS e cartão de memória.

(Fonte: <http://www.tato.ind.br/default.asp>, 2007)

3.5. Variáveis analisadas

As variáveis analisadas foram: Níveis de tensão RMS médio, mínimo e máximo de cada fase.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Até o presente momento o aparelho encontra-se em fase terminal de construção, toda a comunicação do display e HDBS com o PIC18f452 foi estabelecida. Estão sendo apresentadas no display todas as opções de menu para a parametrização, as tensões instantâneas de cada fase, registros validos assim como o acesso ao menu. O armazenamento de dados no cartão de memória através do HDBS está em funcionamento assim como a apresentação da categoria dos níveis de tensão RMS que cada fase esta submetida no período de dez minutos, através de sinais visuais emitidos pelos LED's indicadores, estando assim o aparelho em fase de calibração para se obter os valores de níveis de tensão RMS reais.

REFERÊNCIAS

MANUAL HDBS. Revisão 1.1. TATO EQUIPAMENTOS ELETRÔNICOS. Disponível em:
<<http://www.tato.ind.br/files/Manual%20HDBS.pdf>>. Acesso em: 11 julho 2007.

LIMA, Avilez Batista de Oliveira. **Sistema Computacional de Análise de Medições (SICAM)**. Fortaleza, CE: COELCE, 2002.

PEREIRA, Fábio. **Microcontroladores PIC: Programação em C**. São Paulo: Érica, 2003.

PIC18FXX2 Data Sheet: “High-Performance, Enhanced Flash Microcontrollers with 10BitA/D”, MICROCHIP TECHNOLOGY, Inc. Disponível em:
<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39564c.pdf>>. Acesso em 11 julho 2007.

LEÃO, Ruth P. S.. **Apostila de Circuitos II**, Fortaleza, 2007.

FLOYD, T.L.. **Principles of Electric Circuits**, 6th Ed. Prentice Hall, 2000. ISBN 0-13-095997-9.927p.

NILSSON, James W., REIDEL, Susan A.. **Circuitos Elétricos**, LTC, 6a Edição, 2003.

KERCHNER, R.M., CORCORAN, G.F.. **Circuitos de Corrente Alternada**, Porto Alegre, Globo, 1973.