

ANALISADOR DE ENERGIA ELÉTRICA

ELECTRICAL POWER ANALYZER

¹BERNARDES, G; ¹GUIMARÃES, D.L.L.;¹ALTVATER, A. H.; ¹LOPES, G.L.; ¹CASTALDIN, A. G.

¹Departamento de Engenharia Elétrica – Faculdades Integradas de Ourinhos - FIO/FEMM

RESUMO

A energia elétrica é utilizada em praticamente todos os processos diários, e é fundamental no desenvolvimento de bens e serviços. Desta forma, torna-se muito importante desenvolver uma forma de monitorar, em tempo real, a qualidade da energia elétrica. Assim, o objetivo deste artigo é desenvolver um protótipo analisador de energia elétrica, para realizar funções análogas a um produto comercial, leitura de tensão e corrente, utilizando componentes de baixo custo e plataforma aberta. O protótipo foi desenvolvido na plataforma microcontrolada Arduino, onde, por software e hardware, foi realizado o condicionamento dos sinais de tensão e corrente, convertendo os sinais de potência para variáveis admissíveis pelo controlador. Para a transdução, foi utilizado um TP 127V-4,5V, um TC 100A-50mA e um conversor A/D de 10 bits, interno ao Arduino. Os valores instantâneos e as formas de onda são exibidos em um display, onde através de um botão capacitivo, ocorre a mudança das páginas, apresentando os valores instantâneos, e as curvas $V_1 \times I_1$, $V_2 \times I_2$ e $V_1 \times V_2$. O resultado do trabalho foi satisfatório, alcançando o objetivo de utilizar um hardware e uma plataforma aberta, obtendo resultados com erros próximos a 1% para a tensão e 7% para a corrente, erros considerados relevantes perante a metodologia empregada, e também, levando em consideração o baixo custo para atingir o resultado, sendo esse valor uma pequena fração do valor de um equipamento profissional.

Palavras-chave: Arduino. Forma de Onda. Energia Elétrica.

ABSTRACT

Electricity is used in virtually every day-to-day process and is fundamental in the development of goods and services. In this way, it becomes very important to develop a way to monitor, in real time, the quality of electric energy. Thus, the objective of this article is to develop a prototype electric energy analyzer, to perform functions analogous to a commercial product, voltage and current reading, using low cost components and open platform. The prototype was developed in the Arduino microcontroller platform, where, by software and hardware, the conditioning of the voltage and current signals was performed, converting the power signals to variables admissible by the controller. For transduction, a TP 127V-4.5V, a TC 100A-50mA and a 10-bit A / D converter, internal to the Arduino, were used. The instantaneous values and the waveforms are displayed in a display, whereby a capacitive button is used to change the pages, showing the instantaneous values, and the curves $V_1 \times I_1$, $V_2 \times I_2$ and $V_1 \times V_2$. The result of the work was satisfactory, reaching the goal of using a hardware and an open platform, obtaining results with errors close to 1% for the voltage and 7% for the current, errors considered relevant to the methodology used, and considering the low cost to achieve the result, being this value a small fraction of the value of a professional equipment.

Keywords: Arduino. Waveform. Electric Power.

INTRODUÇÃO

A energia elétrica é muito importante e essencial para a subsistência dos seres humanos. É utilizada em praticamente todos os processos que as pessoas realizam, é fundamental no desenvolvimento de bens e serviços. Devido a essa importância da energia elétrica para a sobrevivência e para o desenvolvimento econômico, surgiram muitas discussões sobre o melhor aproveitamento da energia gerada, pois a utilização

desenfreada da energia elétrica pode trazer grandes problemas, bem como a sua escassez. Também diante do impacto econômico e social causado por seguidos aumentos de contas de energia elétrica e por variadas mudanças nas bandeiras tarifárias, torna-se importante que o consumo de energia seja otimizado através de práticas de eficiência energética e de técnicas que englobam economia de energia (OCHOA, 2015).

A eficiência energética veio se tornando cada vez mais um ponto recorrente nas discussões sobre a demanda de energia em nível global e possui hoje um papel preponderante nas políticas mundiais de energia e de meio ambiente, em especial naquelas relacionadas às mudanças climáticas. Embora as primeiras iniciativas de conservar energia surjam na década de 1970, em virtude, principalmente, das crises do petróleo de 1973 e 1979, a questão da eficiência energética toma vulto, na década de 1990. As discussões sobre o aumento das emissões de gases do efeito estufa, que se acentuam especialmente após a Conferência Mundial do Meio Ambiente, propiciaram, entre outros resultados, um acordo internacional sobre Mudanças Climáticas (MENKES, 2004).

O rendimento de alguns processos está profundamente interligado com algumas características da energia que alimenta todo processo de produção. Torna-se assim muito importante desenvolver uma forma de monitorar, em tempo real, a qualidade da energia elétrica. Os equipamentos de análise de energia devem servir não só como mero instrumentos indicativos/corretivos, mas também como registradores que forneçam e armazenem dados a respeito da rede elétrica (BARBOSA, 2012).

Pensando nisso o objetivo deste artigo, consiste em desenvolver um protótipo analisador de energia elétrica de baixo custo utilizando microprocessadores e controladores. Esse equipamento deve ser capaz de realizar algumas funções análogas a um produto comercial, lendo os sinais na rede elétrica e exibindo as variáveis em tempo real (tensão elétrica, corrente elétrica e valor de potência aparente consumida pela carga, bem como as formas de onda).

MATERIAL E MÉTODOS

Para análise de energia elétrica da rede, diversos equipamentos são propostos no mercado, estes equipamentos possuem alto custo, como é o caso do Fluke 345 (FLUKE, 2018), neste artigo, será apresentada uma proposta de analisador de energia elétrica de baixo custo, com construção em dispositivo Open Source. Foram definidos os requisitos mínimos para o projeto, divididos em: medição de tensão e corrente elétrica bifásica, sendo a máxima tensão de fase medida de 140 V e a máxima corrente de fase medida de 100 A. A partir destes requisitos foi necessária a construção de um protótipo. Conforme Martins (2005), a instrumentação digital pode ser implementada utilizando microcontroladores, definidos como componentes eletrônicos computadorizados que apresentam em um mesmo encapsulamento, um processador, pinos de entrada/saída, memórias, temporizadores e conversores. Das inúmeras opções disponíveis no mercado, o microcontrolador que atendeu as especificações necessárias de programação e conversor A/D (analógico/digital) de no mínimo 10 bits, além de apresentar um ótimo custo-benefício, foi a placa Arduino Mega, baseada no processador ATmega2560. Como o objetivo é o processamento de sinais, este possui um conversor A/D de 10 bits, ou seja, converte sinais de 0 a 5 V contínuos em valores de 0 a 1023 discretos, uma resolução de 0,005 V.

A aquisição e condicionamento das grandezas elétricas podem ser feitas de diversas formas, conforme a consulta feita ao estudo de Carbonara (2013) e Silva (2017), para a aquisição de corrente, o sensor que melhor atendeu a necessidade foi um transformador de Corrente indutivo (TC), da marca YHDC modelo SCT013 (YHDC, 2018), que efetua a medição por indução magnética e tem uma relação de transformação de 100A-50mA. O condicionamento do sinal foi feito instalando um resistor em série com a saída do sensor, para que o nível de corrente fosse refletido em tensão. Para a aquisição do nível de tensão foi utilizado um transformador de potencial (TP), que tem a relação de transformação de 127V-4,5V. No secundário do transformador proposto tem-se uma tensão de 6,36 Vp (tensão de pico), isto é, um valor acima do limite operacional do microcontrolador, sendo assim, foi desenvolvido um divisor resistivo que recondicionou o sinal para 1,15Vp.

Como o conversor A/D efetua conversões apenas com sinais positivos, ou seja, na forma de onda senoidal o semiciclo negativo seria ignorado. Para adequar o

sinal, uma componente CC (corrente contínua) de 2,5 V foi injetada à componente CA (corrente alternada) de 1,15 V_p, fazendo com que a referência do sinal passasse de 0 V para 2,5 V. Assim, a forma de onda resultante tem uma componente com +3,65 V para o pico positivo e +1,15V para o pico negativo, agora, compatíveis com os níveis de operação, este processo é feito para os dois sinais de tensão e corrente (OPENENERGYMONITOR, 2018).

Após transduzidas e condicionadas, as grandezas elétricas têm de ser amostradas pelo conversor A/D, conforme Epifanio (2015) a amostragem é o processo utilizado para obter uma forma discretizada de um sinal contínuo, coletando amostras do sinal original em intervalos de tempo constantes ou não. Para que o sinal possa ser processado e reconstruído a amostragem teve de respeitar o Teorema de Nyquist-Shannon, que determina que: a frequência de amostragem deve ser no mínimo duas vezes maior que a maior frequência do sinal original. Conforme proposto em Embarcados (2018), para obter a máxima amostragem do microcontrolador, cerca de 50.000 amostras por segundo, o prescaler do microcontrolador foi ajustado para 16, o que respeita o teorema (ROCHA, 2016).

A obtenção dos níveis de tensão, corrente e potência aparente, são obtidos por meio da multiplicação dos níveis digitalizados por um valor obtido experimentalmente, resultando nos parâmetros que serão exibidos. A potência aparente é obtida pela multiplicação dos níveis de corrente e tensão da respectiva fase.

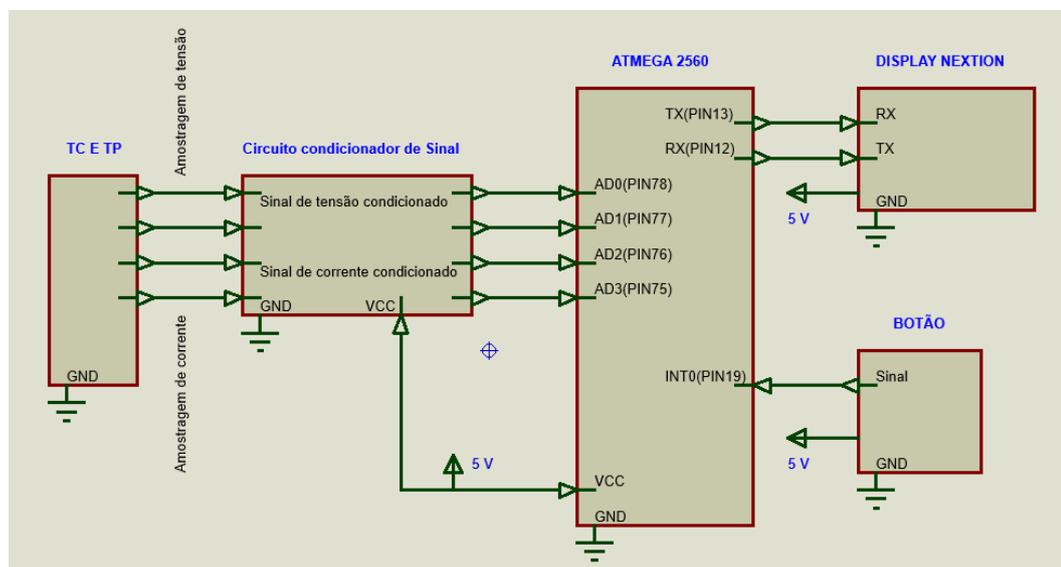
Para a exibição dos resultados ao usuário do protótipo, foi utilizado um display da marca Nextion de 2,4", cuja interface foi totalmente programada e seccionada em diversas páginas para uma melhor exibição. A comunicação com a placa Arduino Mega é feita por comunicação serial via RX/TX. Ainda na programação, todos os valores instantâneos de tensão, corrente e potência foram padronizados e tem uma taxa de atualização de 100 microssegundos, já as formas de onda de tensão e corrente são construídas diretamente com os valores resultantes do conversor A/D, e tem uma taxa de atualização de 50 microssegundos.

Como os cálculos e adequações de valores são muito complexos, a programação foi particionada para efetuar os cálculos e comunicações com o display, em seções separadas. Para a mudança de página foi utilizado um botão capacitivo, a

cada toque, um sinal é injetado no pino de interrupção do ATmega2560, com isso a programação identifica qual foi a última seção do código a ser executada, e aciona a etapa subsequente, assim alterando a página da tela.

A figura 01, representa por meio de blocos as principais conexões entre os diferentes níveis de condicionamento dos sinais e o chip, bem como as conexões com a interface do usuário.

Figura 01 –Diagrama de conexão do sistema.



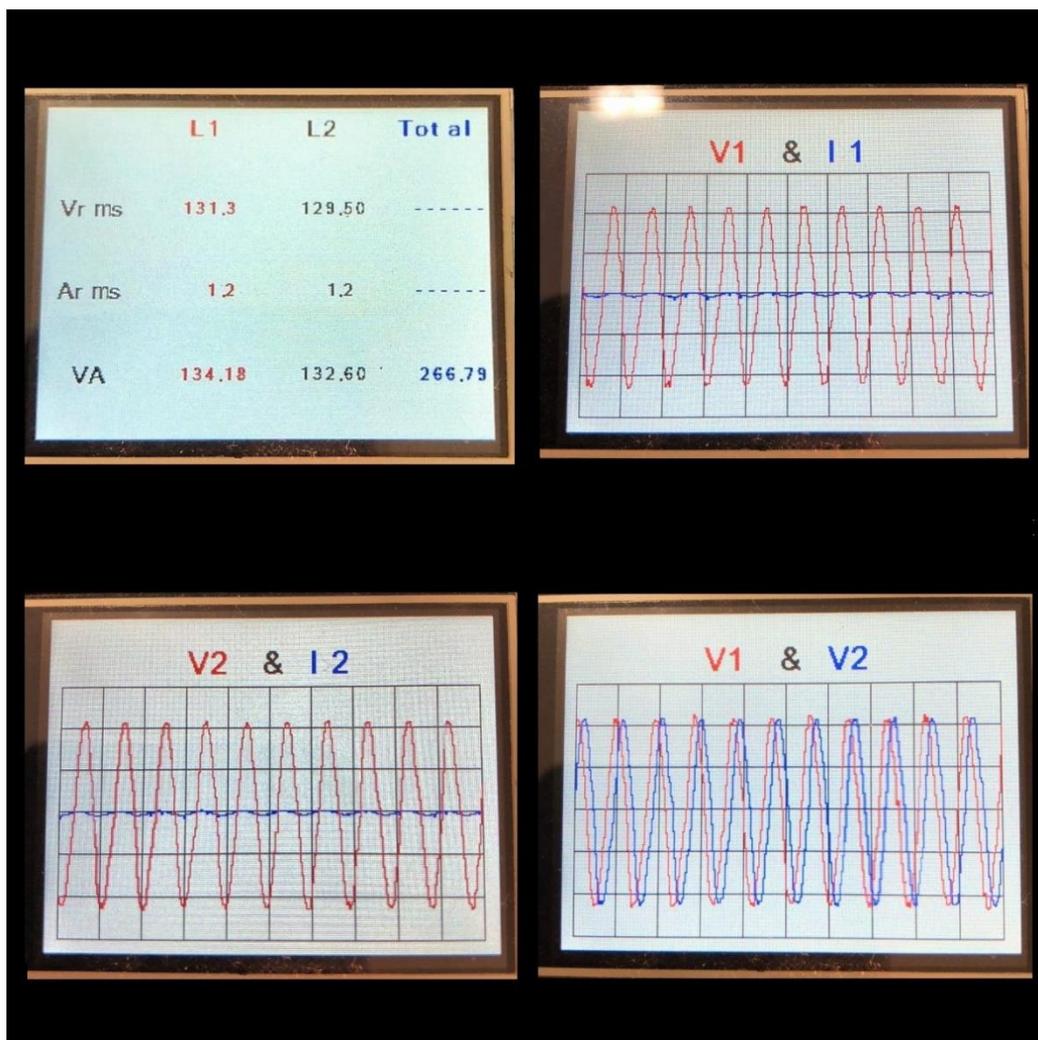
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi necessário um estudo aprofundado do hardware e software para atingir o objetivo do projeto, possibilitando fazer a integração de todos os resultados em um único equipamento (protótipo), tendo como principal função as medições de tensão, corrente e potência aparente, bem como as formas de onda desses parâmetros, a fim de disponibilizá-las através de uma interface para o operador.

A figura 02 ilustra as quatro telas do protótipo para a exibição dos resultados referentes às leituras obtidas. No canto superior esquerdo da imagem, é apresentada a página principal, com a disposição dos dados de tensão, corrente, potência aparente para a Linha 1 (L1) e Linha 2 (L2) e o resultado do cálculo da potência aparente total. No canto superior direito, são expostas as imagens das curvas de tensão (em vermelho) e corrente elétrica (em azul) referentes a Linha 1 (L1). No canto

inferior esquerdo, são mostradas as imagens das curvas de tensão (em vermelho) e corrente elétrica (em azul) referentes a Linha 2 (L2). E por fim, no canto inferior direito, estão dispostas as curvas de tensão da Linha 1 (em vermelho) e da Linha 2 (em azul), podendo ser observada a defasagem entre elas.

Figura 02- Imagem das telas do protótipo com a disposição dos valores e exibições das curvas de tensão e corrente.



A comparação com o equipamento Fluke 345 (FLUKE, 2018) não foi possível, pois o equipamento não se encontrava disponível, na instituição, para as medições de teste, então, foi utilizado o multímetro Fluke 115 (INSTRUCAMP, 2018) para o estudo comparativo, o equipamento foi previamente calibrado. Foram realizados um total de 10 ensaios com o protótipo desenvolvido, onde os valores obtidos estão dispostos na tabela 01. A carga utilizada para teste foi um conjunto de 6 lâmpadas halógenas conectadas em paralelo, que totalizaram uma potência de 252 W.

Tabela 01 - Resultados obtidos no ensaio com carga totalmente resistiva.

Indicador Medido	Fluke 115 True RMS	Protótipo Proposto Média/Desvio Padrão	Erro Relativo (%)
RMS da tensão 1 (V)	130,50	128,68/2,33	1,39
RMS da tensão 2 (V)	131,80	133,18/3,21	1,05
RMS da corrente 1 (A)	1,187	1,104/0,224	7,023
RMS da corrente 2 (A)	1,193	1,164/0,245	2,461

A partir das formas de onda geradas pelo protótipo, pode-se observar pequenos degraus decorrentes das conversões do sinal analógico para digital. Um conversor mais rápido e com uma melhor resolução é capaz de minimizar essas variações e tornar o sinal mais semelhante a uma senóide.

O protótipo apresentou pequenos desvios padrões, o que garante a validade dos testes e a performance do dispositivo. As maiores discrepâncias nos valores medidos pelo equipamento comercial e o proposto foram observadas na fase 1, sendo o erro para a tensão e corrente de 1,39% e 7,023%, respectivamente. Para a fase 2, os erros relativos não foram maiores que 2,5%.

É válido ressaltar que, os maiores erros relativos ocorreram nas medidas de corrente, isso deve-se ao seu valor absoluto ser menor, ou seja, quanto menor forem as medidas tomadas maior será erro relativo.

CONCLUSÃO

Ao analisar os ensaios realizados, nota-se um resultado satisfatório tanto para as medições, quanto para as formas de onda. Obteve-se erros máximos de 1,39% para as medições de tensão, 7,023% para as medições de corrente e um tempo de atualização do display entre 50 e 100ms, sendo estes, valores aceitáveis considerando os equipamentos utilizados, a plataforma de desenvolvimento, as múltiplas conversões realizadas e a taxa de transmissão dos dados para a exibição em tempo real no display. Os resultados são muito interessantes, pois, com base nos pequenos erros, mostra-se que o objetivo da proposta foi atingido, e conclui-se que é possível desenvolver um protótipo com valores confiáveis com apenas uma fração do valor de um equipamento comercial.

Para uma possível continuidade e aprimoramento deste protótipo, existem alguns pontos a serem desenvolvidos, sendo eles: a expansão da resolução do

conversor A/D e a expansão da capacidade de processamento, com isso, torna-se possível a diminuição dos erros associados as medições, e o aumento da capacidade de leitura de valores como, frequência, fator de potência, potência ativa e reativa, bem como, a distorção harmônica total.

REFERÊNCIAS

BARBOSA, J. M. S. **Analisador de Energia Elétrica**. Disponível em: <<https://ria.ua.pt/bitstream/10773/11258/1/7604.pdf>> Acesso em: 4 de setembro de 2018.

CARBONARA, F. B. Luis. **Projeto e desenvolvimento de um sistema de aquisição aplicando conceitos de instrumentação virtual**. Ijuí: Universidade Regional do Noroeste do estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ, 2013.

EMBARCADOS. **Arduino uno – Taxa de amostragem, do conversor A/D**. Disponível em: <<https://www.embarcados.com.br/arduino-taxa-de-amostragem-conversor-ad/>>. Acesso em 10/09/2018

FLUKE. **Alicate Fluke 345 para medição da qualidade de energia**. Disponível em: <<https://www.fluke.com/pt-br/produto/teste-eletrico/os-analisadores-de-qualidade-de-energia/analises-da-qualidade-da-energia-monofasica/fluke-345>>. Acesso em 28 de agosto de 2018.

INSTRUCAMP. **Fluke 115, multímetro**. Disponível em :<<http://www.instrucamp.com.br/dropbox/13996a65495a747bbc2e635b8ee7cc08.pdf>>. Acesso em 31 de agosto de 2018.

MARTINS, N. A. **Sistemas Microcontrolados - Uma Abordagem com o Microcontrolador PIC 16F84**. Novatec, 2005. ISBN: 85-7522-074-8.

MENKES, M. **Eficiência Energética, Políticas Públicas e Sustentabilidade. Tese de Doutorado**. Brasília, DF: Universidade de Brasília, 2004. 295p.

NEXTION. **NX3224T024**. Disponível em:<https://nextion.itعاد.cc/resources/datasheets/nx3224t024_011/>. Acesso em 31 de agosto de 2018.

OCHOA, A. et al. **Aplicação de uma fonte alternativa de energia termelétrica a gás natural visando reduzir o custo com energia elétrica em um edifício comercial**. Disponível em: < <http://doi.org/10.15628/holos.2015.2362>> Acesso em 4 de setembro de 2018.

OPENENERGYMONITOR. **Monitoramento de eletricidade**. Disponível em :<<https://learn.openenergymonitor.org/electricity-monitoring/ac-power-theory/introduction>>. Acesso em 28 de agosto de 2018.

ROCHA, A. Paulo. **Plataforma de aquisição de dados e algoritmo não embarcado para medição de distorção harmônica na rede elétrica**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2016.

SILVA, H. V. João. **Proposta de um protótipo de um analisador de qualidade de energia elétrica**. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2017.

YHDC. **SCT013**. Disponível em: <<http://en.yhdc.com/product/SCT013-401.html>>. Acesso em 31 de agosto de 2018.