



MEDIÇÃO MICROCONTROLADA DE ENERGIA ELÉTRICA UTILIZANDO REDES SEM FIO E DISPOSITIVOS MÓVEIS

Luciano Leite Pompeu – leitepompeu@gmail.com
Grau Técnico Belém
Travessa 14 de abril ,1186
66060460 – Belém – PA

Wellington da Silva Fonseca – fonseca@ufpa.br
Universidade Federal do Pará
Avenida Perimetral ,2651
66077-830 – Belém – PA

Maria Emília de Lima Tostes – tostes@ufpa.br
Universidade Federal do Pará
Avenida Perimetral ,2651
66077-830 – Belém – PA

Resumo: *Este artigo trata do desenvolvimento de um sistema para o gerenciamento do consumo de energia em uma instalação elétrica monofásica. O sistema é composto por um circuito microcontrolado responsável por extrair os sinais de corrente e tensão de uma instalação elétrica e calcular as grandezas referentes ao consumo, tais como potência ativa, potência reativa, aparente e fator de potência, além disso, o circuito dispõe de memória removível, relógio em tempo real, relés para o acionamento de cargas e uma interface com rede ethernet. O acionamento de cargas interligadas ao sistema e o acesso aos dados calculados pelo circuito de medição são feitos remotamente pela LAN ou WLAN, utilizando um software para dispositivos móveis, cujo qual foi desenvolvido para sistema operacional Android e em linguagem de programação Java. Além de acessar os dados online, este software permite o armazenamento das informações colhidas em um banco de dados na memória do dispositivo, para que posteriormente, possam ser gerados relatórios de consumo e gráficos de tendência, ferramentas que auxiliam na melhor gestão do consumo e consequentemente na eficiência energética da instalação elétrica monitorada.*

Palavras-chave: *Medição de Energia, Eficiência Energética, Arduino, dispositivo móvel.*

1. INTRODUÇÃO

O consumo da energia elétrica vem se tornando cada vez mais indispensável com o passar dos anos, visto que, através dela é possível executar atividades essenciais para o bem-estar, segurança e a economia de uma população. Neste contexto, o consumo de energia cresce em diferente proporção em relação a produção e o armazenamento de energia, podendo acarretar crises em meio ao setor energético devido ao não suprimento da demanda. A partir de diversas crises nacionais e internacionais no setor de abastecimento de energia, as autoridades nacionais se propuseram a investir em políticas

Organização



UDESC
UNIVERSIDADE
DO ESTADO DE
SANTA CATARINA



Promoção





que visam o combate ao desperdício de energia, haja vista, o seu papel fundamental para a economia de um país. Além dos problemas econômicos decorrentes do desperdício, existem os problemas ambientais devido às construções necessárias para a geração e distribuição de energia.

“Ao economizar energia, estamos adiando a necessidade de construção de novas usinas geradoras e sistemas elétricos associados, disponibilizando recursos para outras áreas e contribuindo para a preservação da natureza.” (Marques, Haddad e Guardia, 2007). Em meio a esta realidade, é possível verificar a preocupação com a eficiência energética em instalações elétricas de alta e média tensão, como é comum em indústrias. Porém, mesmo com a criação do PROCEL EDIFICA, programa do governo federal que visa emitir selos para edificações a fim de classificar o nível de eficiência energética, ainda é notória a escassez de ferramentas que auxiliem na eficiência da energia em instalações de baixa tensão, como em instalações residenciais e prediais. Observando estes aspectos, que o sistema aqui descrito propõe o desenvolvimento de uma rede de gerenciamento de energia elétrica para instalações de baixa tensão. O processo de gerenciamento de energia inicia-se na captura dos sinais de corrente e tensão, sinais estes disponíveis na fase e o no neutro da instalação a ser monitorada. Após a captura, é feito o processamento dos sinais, utilizando circuitos integrados e microcontroladores para executar os cálculos referentes às grandezas elétricas envolvidas no consumo.

Uma prática bem comum em equipamentos de monitoramento e supervisão industrial, é a gravação de dados periódicos *in loco* (*datalogger*), processo que equipamentos como os da marca Onset HOBO® Data Loggers oferece. Adotando essa prática, o sistema proposto disponibiliza de uma memória removível inserida no módulo responsável pela medição, para que nela, possam ser gravados os dados do consumo da instalação, bem como a gravação de data e hora que ocorreram as medições. Isso é possível devido a utilização de um RTC (*Real Time Clock*) que mantém a sua atividade mesmo que o sistema não esteja alimentado pela rede elétrica.

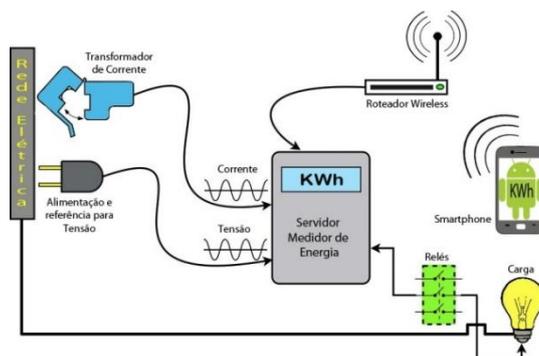


Figura 1. Estrutura do Sistema de gerenciamento de energia

2. MEDIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Segundo Bastos (Bastos, 2002), talvez o mais popular de todos os medidores elétricos, é o medidor de KWh (quilowatt-hora), também conhecido simplesmente como relógio. Todas as residências, lojas e indústrias, enfim, todos os consumidores de energia elétrica, ou seja, os que compram esta energia são obrigados a instalar esse medidor. Os medidores convencionais, os eletrodinâmicos, são adotados pela maioria das concessionárias de energia elétrica no Brasil, oferecendo a medição de KWh, ou seja, a

Organização



UDESC
UNIVERSIDADE
DO ESTADO DE
SANTA CATARINA



Promoção





potência (KW) consumida em um determinado tempo (h), sendo o resultado dos volts (V) pelos ampères (A). A equação a baixo descreve o como é feito o cálculo da energia.

$$E = \int P dt \quad (1)$$

Onde:

P é a potência.

E a energia (KWh).

O sistema aqui descrito propõe um resultado semelhante aos medidores convencionais, porém convertendo as variáveis analógicas capturadas da rede em variáveis digitais, oferecendo ao sistema a possibilidade de aferir aspectos importantes na análise do consumo tais como Energia, Potência Aparente, Potência Ativa, Potência Reativa, Fator de Potência e respectivas tarifas. Para capturar os sinais de corrente e tensão da rede, é necessário o uso de sensores ou transdutores de corrente e tensão para adequar os valores a faixas aceitáveis pelos circuitos integrados responsáveis pelo processamento dos sinais. O funcionamento do módulo de medição de energia ocorre como mostrado na Figura 1.

2.1. MEDIÇÃO DE CORRENTE

Uma das medições realizadas para determinar o consumo em uma instalação é a medição de corrente. Na prática, é frequente se abrir o circuito para intercalar o medidor de corrente. Porém, em certos casos pode optar-se pela inclusão de uma resistência em série com o circuito, e medindo a queda de tensão, pela lei de Ohm obteremos o valor da corrente que o percorre. Porém para uma prática de medição não invasiva, são utilizados sensores de indução, ou seja, sem contato físico entre o sensor e o condutor.

Não é possível em todas as situações, inserir um resistor ou abrir o circuito elétrico em carga para então se fazer a medição. Daí surgiu a necessidade de se obter outro método, que é o do medidor de indução (Bastos, 2002). O transformador de corrente escolhido para utilizar no sistema é mostrado na Figura 2. O YHDC SCT-013-030 possui um range de 0-30 A e saída em tensão (mV).



Figura 2. TC SCT13-00

Para verificar sua linearidade, foi realizada uma comparação dos valores medidos com os valores nominais na saída do sensor, utilizando um alicate amperímetro (equipamento calibrado) como referência em um circuito com corrente variando de 0 a 8A. Os resultados desta medição são mostrados na Figura 3.

Organização



Promoção



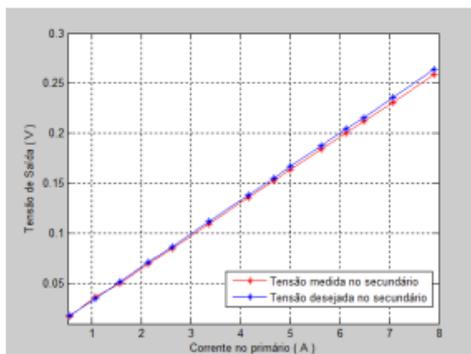


Figura 3. Gráfico da tensão medida na saída do transformador de corrente em função da corrente de entrada

Analisando os dados obtidos, foi possível calcular um erro percentual de aproximadamente 0,906 % nessa faixa de variação de corrente. Os maiores erros percentuais observados, se encontram nas medições de corrente inferiores a 1 A, porém esse erro pode ser efeito da baixa resolução para medições abaixo de 1 A, característica normalmente encontrada nos alicates amperímetros.

2.2. MEDIÇÃO DE TENSÃO

Para adequar a tensão a níveis aceitáveis pelo CI responsável por efetuar o processamento digital dos sinais, é utilizado um simples divisor de tensão e um filtro passa-baixa, visando atenuar os ruídos do sinal. Um divisor de tensão é um circuito formado que permite obter, a partir da tensão de alimentação fornecida, qualquer valor de tensão menor. A Figura 4 ilustra o divisor de tensão utilizado neste projeto.

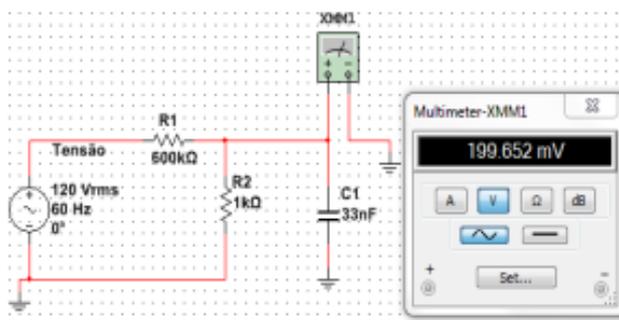


Figura 4. Divisor de tensão e filtro

A utilização do divisor de tensão neste projeto se mostra viável, visto que, sua implementação é simples e de baixo custo. Porém, o fato de este ser um sistema resistivo e o transformador de corrente se ser por indução, ocasiona uma diferença de resposta entre os dois sinais, provocando uma defasagem. Este problema pode ser solucionado via configuração dos registradores do CI responsável por calcular a energia.

2.3. CONVERSÃO A/D E COMUNICAÇÃO SPI

Após a captura dos sinais de corrente e tensão da rede elétrica, estes sinais são enviados para o circuito integrado ADE7763, responsável por efetuar o processamento

Organização



Promoção





digital dos sinais. O ADE7763 possui dois conversores A/D de 16 bits, um para sinal de tensão e um para corrente, ou seja, ele oferece ao sistema 65536 níveis de quantização, dispondo de uma resolução superior aos conversores A/D dos microcontroladores mais utilizados no mercado, que são de 10 bits. Além disso, o circuito integrado conta com uma interface digital, utilizando de comunicação SPI (*Serial Peripheral Interface*), possibilitando uma interface com microcontroladores.

O circuito integrado (CI) possui registradores endereçados para a escrita de informações ou para a leitura. Os dados das medições processadas dentro do CI são enviados para registradores responsáveis por exibir estes dados tais como os registradores AENERGY, VRMS e IRMS, respectivamente registradores responsáveis por exibir os dados da energia ativa, tensão RMS e corrente RMS. A leitura destes dados é feita através do barramento SPI do CI, este barramento é conectado ao microcontrolador do circuito de medição.

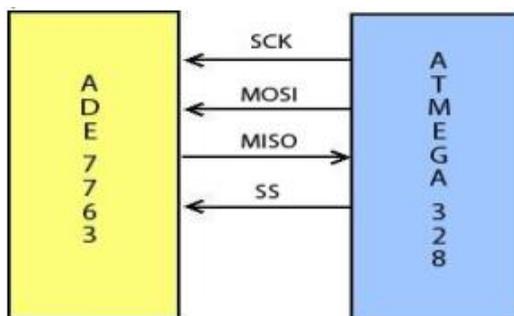


Figura 5. Comunicação SPI entre ADE7763 e microcontrolador

2.4. POTÊNCIAS ELÉTRICAS

O sistema aqui descrito propõe executar medições do consumo e exibição das potências relacionadas em sistemas que possuam diversos tipos de cargas elétricas, ou seja, um sistema que possua tanto cargas resistivas quanto indutivas (motores elétricos, transformadores). Em um sistema deste tipo, existem dois tipos de potência, que são a potência ativa e a potência reativa, cuja soma vetorial dá a potência aparente.

Segundo Creder (Creder, 2008), o conceito físico pode ser explicado da seguinte maneira: qualquer equipamento que transforme a energia elétrica diretamente em outra forma de energia útil (térmica, luminosa, etc.) sem necessitar energia intermediária na transformação, é um consumidor de energia ativa.

Qualquer equipamento (motores, transformadores, reatores, etc.) que necessite de energia magnetizante como intermediária na utilização de energia ativa, é um consumidor de energia ativa e reativa.

A potência é definida como a taxa de fluxo de energia a partir da fonte da carga, ela é definida como o produto das formas de onda da corrente e tensão. A forma de onda resultante é chamada de potência instantânea, a Equação 2 mostra uma expressão para a potência instantânea.



$$p(t) = v(t) \times i(t) \quad (2)$$

Onde:

$$v(t) = \sqrt{2} \times V \sin(\omega t)$$

$$i(t) = \sqrt{2} \times I \sin(\omega t)$$

No entanto, para o estudo de consumo e armazenamento de energia, geralmente se usa o valor médio da potência ou potência ativa. A Equação 5 descreve como é feito o cálculo da potência ativa no ADE7763.

$$P = \frac{1}{nT} \int_0^{nT} p(t) dt = VI \quad (3)$$

Onde:

P é a potência ativa

nT é o período da onda senoidal

O ângulo θ , mostrado na Figura 6, entre a potência aparente e a potência ativa, geralmente apresenta uma defasagem nas formas de onda da tensão e corrente em cargas não resistivas. O ADE7763 possui um detector de cruzamento de zero, a partir dessa informação é possível obter a defasagem entre os sinais de tensão e corrente, e consequentemente o cálculo da potência reativa.

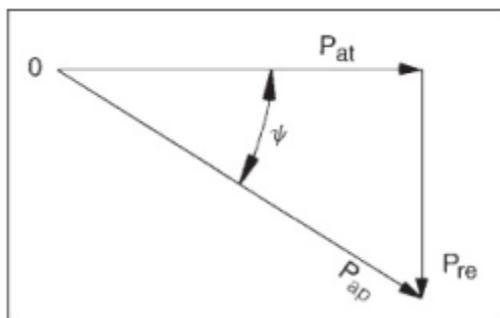


Figura 6. Triângulo das Potências (João Mamede filho 2010)

2.5. FATOR DE POTÊNCIA

Uma das propostas do sistema aqui descrito é a medição do fator de potência em uma instalação elétrica e segundo Panesi (Panesi, 2006), o fator de potência é o índice que indica o quanto de energia aparente (fornecida pela concessionária) é transformada em energia que realmente realiza trabalho. Quanto maior for esse índice, que pode variar de 0 a 100 %, maior será o aproveitamento de energia pelo consumidor. Um baixo fator de potência provoca vários problemas, como variação de tensão, redução do aproveitamento da capacidade dos transformadores e dos circuitos elétricos, aquecimento irregular dos condutores etc. Além desses problemas, o consumidor pode pagar para a concessionária por uma energia efetivamente não utilizada.

Organização

Promoção



O ADE7763 não possui um registrador específico para a exibição do fator de potência, porém com os dados disponibilizados no CI relativos às potências envolvidas no sistema, é possível incumbir o microcontrolador mestre de executar o cálculo simplificado do fator de potência.

$$FP = \frac{P}{S} = \cos \theta \quad (4)$$

Onde:

FP é Fator de Potência

P é Potência Ativa

S é Potência Aparente

θ o ângulo entre a potência aparente e a potência ativa

3. INTERFACE ETHERNET EMBARCADA

O sistema aqui descrito, a fim de possibilitar uma comunicação veloz com o usuário do sistema, disponibiliza de uma interface embarcada com rede Ethernet. Para que isso seja possível, é utilizado um microcontrolador e um controlador ethernet. O Microcontrolador utilizado neste projeto é o Atmega328 da Atmel Corporation e o controlador Ethernet utilizado é o Wiznet W5100.

A comunicação entre o microcontrolador e o controlador ethernet é feita utilizando o barramento SPI (*Serial Peripheral Interface*), tipo de comunicação descrita anteriormente neste artigo. A interface ethernet embarcada é desenvolvida utilizando a placa Iboard da Itead Studio mostrada na Figura 7. Ela contém além do microcontrolador e do controlador ethernet, uma interface com redes Zigbee um soquete mini SD card, utilizado para a gravação dos dados medidos (*datalogger*).



Figura 7. Placa Iboard

3.1 REDE ETHERNET SEM FIO (WLAN)

Segundo Tanenbaum (Tanenbaum, 2003), as redes locais, muitas vezes chamadas de LANs, são redes privadas contidas em um único edifício ou campus universitário com até alguns quilômetros de extensão. Elas são amplamente usadas para conectar computadores pessoais e estações de trabalho em escritórios e instalações industriais de empresas, permitindo o compartilhamento de recursos (por exemplo, impressoras) e a troca de informações. As LANs têm três características que as distinguem de outros

Organização



Promoção





tipos de redes, que são o tamanho, a tecnologia de transmissão e a topologia.

O sistema descrito neste artigo é projetado para funcionar 24 horas por dia como um servidor na rede local, esperando que os dispositivos possam se conectar a ele pela rede, com a limitação de quatro conexões simultâneas, limitação que é presente no controlador ethernet W5100. Ele possui um endereço IP, um endereço MAC e uma porta por onde ele vai escutar as requisições dos clientes conectados a ele. O sistema por si só não é Wireless, para que isso ocorra é necessário conectar a um roteador wireless, dispositivo que pertence à camada de rede do modelo OSI e é capaz de fazer a interface de duas redes, no caso LAN e WLAN.



Figura 2. Utilização do roteador wireless com o protótipo

3.2 MICROCONTROLADOR

O sistema desenvolvido utiliza dois microcontroladores, um dedicado ao circuito de medição de energia e outro ao servidor ethernet e *datalogger*. Ambos microcontroladores são o Atmega328, da família AVR da Atmel. Estes microcontroladores foram escolhidos por seu uso vasto no projeto de software e hardware livre Arduino, cujo tal, possui uma IDE (*Integrated Development Environment*) que é utilizada neste projeto. Apesar de o sistema não utilizar as placas do projeto Arduino, o uso da IDE é possível gravando o bootloader do Arduino nos microcontroladores e utilizando uma interface USB/Serial para efetuar a gravação do código escrito em linguagem de programação C na IDE.

Os microcontroladores Atmega328 possuem 32 kbytes de memória flash, memória onde o código é gravado, uma memória EEPROM de 2Kbytes, um processador de 8 bits e 23 pinos de E/S. Além desta característica, aspectos como o baixo custo do microcontrolador e a eficiente IDE tornam viável a utilização do Atmega328 no sistema.

4. DISPOSITIVOS MÓVEIS

“O sistema telefônico tradicional (ainda que ele algum dia chegue a vários gigabits entre uma extremidade e outra da fibra) não será capaz de satisfazer a um grupo crescente de usuários: as pessoas em trânsito. Agora, as pessoas esperam efetuar chamadas telefônicas de aviões, carros, piscinas e enquanto fazem *jogging* no parque. Dentro de alguns anos, elas também irão querer enviar correio eletrônico e navegar na Web enquanto estiverem em todos esses lugares e em muitos outros.” (Tanenbaum, 2003).

Partindo deste princípio que o sistema conta com as características presentes nos dispositivos móveis (*Smartphones e tablettes*), oferecendo mobilidade ao sistema e



interatividade com o usuário, possibilitando ao usuário um controle maior sobre o seu consumo de energia.

4.1 SISTEMA OPERACIONAL ANDROID

O Android é um sistema operacional portátil de código aberto, mantido pela empresa Google e presente na maioria dos smartphones vendidos no mundo. Segundo Deitel, P., Deitel, H., Deitel, A. e Morgano (Deitel, P., Deitel, H., Deitel, A. e Morgano, 2012), um dos benefícios do desenvolvimento de aplicativos para Android é a abertura da plataforma, ou seja, sistema operacional de fonte aberta e livre, permitindo ver o código fonte do Android e ver como seus recursos são implementados. É possível também, contribuir com o Android, relatando falhas ou através da participação em grupos de projetos de discussão sobre código aberto. Inúmeros aplicativos de código aberto Android estão disponíveis na Internet. A Figura 10 ilustra o menu de aplicações disponíveis no aplicativo desenvolvido para Android, entre elas estão a interface de acionamento de cargas, configuração do sistema, consulta da tarifa segundo a potência consumida e dicas de como economizar energia.



Figura 31. Tela do menu do aplicativo desenvolvido para Android

4.2 PROGRAMAÇÃO

Os aplicativos para o sistema operacional Android foram desenvolvidos na IDE Eclipse e em linguagem de programação Java, onde são escritos os códigos a serem executados pela CPU do dispositivo, já a interface gráfica é desenvolvida em linguagem de marcação XML. Para que seja possível a comunicação entre o dispositivo móvel e o servidor microcontrolado através da WLAN, fez-se necessário o desenvolvimento de uma aplicação Cliente Socket de fluxo em Java, que permite ao aplicativo enxergar a rede como se fosse uma E/S de arquivos. Com os sockets de fluxo, um processo estabelece

Organização



UDESC
UNIVERSIDADE
DO ESTADO DE
SANTA CATARINA



Promoção





uma conexão com outro processo. Enquanto a conexão estiver no ar, os dados fluem entre os processos em fluxos contínuos. Dizemos que os sockets de fluxo fornecem um serviço orientado para conexão. O protocolo utilizado para a transmissão é o popular TCP (Deitel, 2010).

5. RESULTADOS OBTIDOS

O sistema foi testado utilizando pequenas cargas como lâmpadas e motores de baixa potência, obtendo a leitura de todos os registradores do circuito integrado ADE7763. Porém a realização da verificação utilizando multímetro e alicate amperímetro (instrumentos calibrados) foi feita apenas para os valores de corrente RMS e tensão RMS, através dos quais é possível obter a potência aparente.

Os dados obtidos pelo circuito de medição, bem como a data e hora em que foram executadas as medições, foram gravados na memória removível utilizada no sistema. A configuração do tempo de amostragem em que os dados serão gravados é configurada através do aplicativo para dispositivos móveis, podendo ser gerados arquivos de diferentes tipos de extensão tais como arquivos de texto ou planilhas (doc, txt, xlsx, etc.).

A leitura de todos os dados do ADE7763 foi executada, obtendo valores referentes aos bits dos registradores responsáveis por exibir os valores medidos, faltando apenas uma calibração para que sejam obtidos os valores reais referentes às grandezas desejadas, como Potência ativa, Potência reativa Energia, Fator de potência e respectivas tarifas.

6. CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de um equipamento para o controle de cargas de baixa tensão, com um sistema de medição e gerenciamento de energia integrado, dotado de capacidade de comunicação wireless e supervisão dos sistemas nele conectados, podendo ser inserido em lugares em que não seja necessário, o uso de equipamentos de custo elevado.

O custo do equipamento foi bastante reduzido, devido à utilização de softwares de código aberto e o desenvolvimento do sistema embarcado nele presente, proporcionando maior flexibilidade, pois o mesmo pode ser moldado de acordo com a necessidade do sistema a ser instalado, o que justifica que o seu uso possa ser adaptado a diversos tipos de instalações de baixa tensão.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Deitel, P.; Deitel, H.; Deitel, A.; Morgano, M. (2012). Android for Programmers: An App-Driven Approach Deitel Developer Series. Pearson Education, 1. ed.
- Panesi, A. R. Q., (2006). Fundamentos de Eficiência Energética. Ensino Profissional, 1º ed., São Paulo –SP.
- ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução nº 456, de 29 de Novembro de 2000.
- A. H. Moreira e E. C. Bortoni (2007). Eficiência Energética. Teoria & Prática, 1º ed, Itajubá.
- Creder, H., (2008). Instalações Elétricas. Livros Técnicos e Científicos, 5º ed., Rio de

Organização



UDESC
UNIVERSIDADE
DO ESTADO DE
SANTA CATARINA



Promoção



Joinville/SC – 26 a 29 de setembro de 2017
UDESC/UNISOCIESC
“Inovação no Ensino/Aprendizagem em
Engenharia”



COBENGE 2017
XLV CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA

Janeiro – RJ. Analog Devices. (2009). Datasheet: Single-Phase Active and Apparent Energy Metering

IC. One Technology Way, Massachusetts- EUA.

Mamede J. (2010). Instalações Elétricas Industriais. Livros Técnicos e Científicos, 8ªed, Rio de Janeiro – RJ.

Mamede J.; Mamede D. R. (2011). Proteção de Sistemas Elétricos de Potência. Livros Técnicos e Científicos, Rio de Janeiro – RJ.

Analog Devices. (2004). Datasheet: Evaluation Board ADE7763 Energy Metering IC. One Technology Way, Massachusetts- EUA.

Organização



Promoção

