MONITORAMENTO INTELIGENTE DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

Alex Wiese ⁽¹⁾ (alex@wiese.eng.br), Frederico Silva Moreira ⁽²⁾ (fredericosilvamoreira@gmail.com), Mauro Conti Pereira ⁽³⁾ (maurocp@gmail.com)

⁽¹⁾ Universidade Federal do Mato Grosso do Sul; Mestrado Profissional em Eficiência Energética e Sustentabilidade

⁽²⁾ Universidade Federal do Mato Grosso do Sul; Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia

⁽³⁾ Universidade Católica Dom Bosco; Cursos de Engenharia Elétrica, Computação, Mecânica e Controle e Automação

RESUMO: *A demanda de energia elétrica aumenta constantemente. Pesquisas recentes sugerem que uma maior quantidade de informações sobre o consumo de energia elétrica pode incentivar as pessoas a reduzir seu consumo. Aliado a isso, os medidores inteligentes, que estão substituindo os antigos medidores analógicos/mecânicos, são capazes de fornecer informações relevantes aos consumidores, influenciando mudanças de hábitos de consumo e promovendo a redução no consumo de energia elétrica, principalmente através da redução do desperdício. Este artigo apresenta um medidor de energia inteligente de fácil implementação e baixo custo para um sistema automático de medição e desagregação de consumo através de métodos não intrusivos. O feedback aos usuários ajuda a identificar os hábitos de consumo, sugerindo ajustes que resultem em redução no consumo. Serão apresentadas peculiaridades que podem ser implementadas, incluindo um sistema de comunicação e armazenamento em nuvem, e propõe um modelo de projeto para um medidor inteligente capaz de identificar o consumo individualizado de cada carga através de algoritmos NILM.*

PALAVRAS-CHAVE: *Eficiência Energética, Assinatura de Carga, Gestão Inteligente de Energia, Medidores Inteligentes.*

SMART ELECTRICITY USAGE MONITORING

ABSTRACT: *Demand for electricity is increasing constantly. Recent research suggests that more information about electricity usage may influence people to reduce their consumption. Allied to this, smart meters, which are replacing the old analog/mechanical meters, can provide relevant information to final users, influencing changes in usage habits and promoting the reduction of electricity consumption, mainly through the reduction of waste. This paper presents an easy-to-implement, low-cost smart energy meter for an automatic metering system through non-intrusive methods. Feedback provided to final users helps identifying usage habits, suggesting adjustments that result in reduced consumption. Will be also presented peculiarities that can be implemented, including a cloud storage and wireless communication system, finally proposing an intelligent meter capable of identifying the individualized consumption of each appliance through NILM algorithms.*

KEYWORDS: *Energy Efficiency, Load signature, Intelligent Energy Management, Smart Meters.*

1. INTRODUÇÃO

O consumo consciente de energia elétrica tem sido um tema bastante discutido dentro do contexto de sustentabilidade, visto que a maior parte da energia elétrica gerada no planeta provém de fontes não renováveis (TOLMASQUIM; GUERREIRO; GORINI, 2008). Mesmo assim, ainda faltam recursos ou mesmo políticas de incentivo, principalmente no Brasil e em outros países em desenvolvimento, que motivem a população a um consumo de energia mais racional, evitando desperdícios (VIEIRA; CORREA; CARMO, 2012).

A disponibilidade de energia elétrica se enquadra dentro dos principais pilares de desenvolvimento para os países, sendo uma variável estratégica e indispensável de crescimento. Em todo o mundo são crescentes os investimentos em pesquisas para buscar novas fontes de energia, modernizar as atuais e reduzir o desperdício (COVERT; GREENSTONE; KNITTEL, 2016).

A infraestrutura de monitoramento do consumo de energia não acompanhou o desenvolvimento tecnológico, estando baseado nos mesmos princípios há décadas, onde é necessária a visita de um funcionário da concessionária em cada residência para efetuar manualmente a leitura do consumo. Apesar do emprego crescente de medidores eletrônicos/digitais, em substituição aos analógicos/mecânicos, tal substituição não trouxe, ao menos para maior parte da população, novos recursos (FISCHER, 2008).

Com a necessidade de se reduzir o desperdício e melhorar o controle sobre o consumo, novas formas de monitoramento estão sendo desenvolvidas e testadas, principalmente relacionadas à substituição dos medidores convencionais por medidores inteligentes, conhecidos por *smart meters*, que além de eliminar a necessidade de visita para leitura, trazem ainda inovações tecnológicas, capazes de analisar o consumo de energia e prover de maneira fácil o acesso a essas informações, tanto para a concessionária quanto para o consumidor.

O acesso à essas informações, em tempo real, possibilitaria ações em prol da redução do desperdício e consumo mais consciente, diretamente pelos consumidores (FISCHER, 2008).

1.1. Medidores Inteligentes (*Smart Meters*)

Os equipamentos de medição de consumo estão passando por uma evolução que teve início com a substituição dos medidores mecânicos e eletromecânicos por medidores eletrônicos. Esses medidores eletrônicos combinados com as novas tecnologias de comunicação de baixo custo estão trazendo uma abordagem completamente nova para a medição. Essa tecnologia, conhecida como *smart metering*, tem entre outras vantagens a capacidade de fornecer ao usuário informações que os permitam acompanhar e com isso reduzir o seu consumo de energia.

Smart meter, *digital meter*, *intelligent meter*, *electronic meter* são diferentes nomenclaturas para o mesmo equipamento e sua utilização é uma questão de preferência. Porém, o termo *smart*

meter se tornou o mais utilizado e preferido pela comunidade de desenvolvedores e comunidade científica.

Um *smart meter* é, basicamente, um dispositivo eletrônico que registra o consumo de energia elétrica em intervalos regulares enviando essas informações de forma automática à concessionária para monitoramento e faturamento, e, devido às suas características nativas, pode ser capaz de prover diversas informações complementares tanto aos usuários finais quanto às distribuidoras, formando *smart grids*.

As *smart grids* podem ser traduzidas como redes elétricas inteligentes. Essas redes inteligentes são capazes de coordenar as necessidades e capacidades de todos os geradores, operadores de rede, os consumidores finais e as partes interessadas dentro do mercado de energia elétrica, permitindo que tudo seja operado dentro de um sistema o mais eficiente possível, com menores custos e impactos ambientais reduzidos, maximizando a confiabilidade e estabilidade do sistema como um todo.

2. SOLUÇÃO PROPOSTA

Diferentes projetos de *smart meters* podem ser encontrados na literatura, utilizando diferentes plataformas. A plataforma Arduino é bastante utilizada, devido ao baixo custo e facilidade de uso e programação. Um exemplo é o trabalho proposto por (KLEMENJAK; EGARTER; ELMENREICH, 2016). Utiliza-se um sensor de corrente, que pode ser invasivo (Figura 1a) ou não-invasivo (Figura 1b) para criar um medidor que permite aos consumidores verificar o consumo de energia elétrica em tempo real. Em linhas gerais o microcontrolador lê a tensão e corrente instantâneas e a potência é calculada via *software*, bem como outras grandezas elétricas.

FIGURA 1. Sensores de Corrente Invasivo e Não-Invasivo. Fonte: Internet

As soluções mais comuns assumem que a tensão fornecida pela concessionária é constante, no entanto, no caso do Brasil, temos diversas tensões nominais secundárias de distribuição (ANEEL,

2018). Apesar disso, esses valores não são constantes, podem sofrer variações em função de diversos fatores externos. A utilização de um valor padrão afeta a precisão do cálculo de consumo devido à variação da tensão no momento do cálculo. Por esse motivo, foi implementado também um sensor de tensão, que mede a tensão fornecida no momento do cálculo, e, dessa forma, permite maior precisão nos cálculos.

Além disso, devemos considerar que uma parcela considerável dos consumidores possui ligações à concessionária com mais de uma fase, por esse motivo nosso projeto possibilita a adição de múltiplos sensores de corrente, dessa forma calculando dados de consumo de uma (monofásico), duas (bifásico) ou três fases (trifásico).

Projetos como o proposto por (MAKWANA *et al.*, 2013) sugerem a utilização de diferentes tecnologias *wireless* para comunicação, e em (YOUNG-SUNG SON; KYEONG-DEOK MOON, 2010) a própria rede elétrica pode ser utilizada. O objetivo final é o mesmo, permitir que os usuários acessem os dados sobre o seu consumo remotamente, e em tempo real.

No nosso projeto utilizaremos a comunicação sem fios (*wireless*), amplamente difundida e já presente em grande parte dos domicílios, para a conexão do nosso módulo à internet, e os dados obtidos serão armazenados em nuvem (*cloud computing*), eliminando a necessidade de um equipamento adicional para a visualização dos dados pelo consumidor. Dessa forma, as informações estarão acessíveis a partir de qualquer dispositivo com acesso à internet.

O sistema fornece ainda parâmetros associados à qualidade da energia, como o fator de potência e o nível de distorção harmônica, além de analisar o consumo, sugerindo mudanças de hábitos que possam resultar em economia de energia, e, ainda, analisando a vantagem na opção por tarifas diferenciadas de acordo com as horas de utilização (Tarifa Branca), além de utilizar plataforma de hardware aberta e softwares de distribuição gratuita. Essas características tornam nosso projeto inovador.

3. IMPLEMENTAÇÃO

Nossa solução é composta por um circuito para medição de tensão e três circuitos para medição de corrente, em cada uma das três fases fornecidas pela concessionária. Utilizaremos como base do nosso protótipo o módulo *RobotDyn UNO+WiFi* (Figura 2), que consiste em um módulo integrado composto por um microcontrolador *ATmega328p* e um *ESP8266*, integrando dessa forma um *Arduino* com comunicação *WiFi*. A Figura 3 mostra o diagrama esquemático do módulo utilizado em nosso protótipo.

FIGURA 2. Módulo Integrado RobotDyn UNO+WiFi. Fonte: RobotDyn

FIGURA 3. Diagrama esquemático do módulo. Fonte: RobotDyn

3.1. Corrente

O sensor de corrente utilizado foi o *STC013* fabricado pela *YHDC*, um sensor de corrente de núcleo dividido não-invasivo, capaz de medir correntes de até 100A. A construção desse sensor permite uma instalação rápida e sem a necessidade de interrupção do circuito elétrico (Figura 4).

FIGURA 4. Sensor de Corrente SCT013. Fonte: YHDC

Dadas as características desse sensor, é necessário adicionar um resistor de carga nos pinos de saída do mesmo, dessa forma convertendo a corrente induzida na bobina em uma voltagem que será interpretada pelo conversor analógico-digital do microcontrolador. O valor do resistor de carga pode ser calculado através dos seguintes passos:

- a. O sensor é capaz de medir correntes de até 100A, dessa forma a corrente de pico no enrolamento primário do sensor será dado pela Equação 1.

$$I_{mp} = RMS * \sqrt{2} = 100 * 1,414 = 141,4A \quad (1)$$

- b. Dividimos a corrente máxima no primário pelo número de voltas da bobina, obtida com o fabricante do sensor, nesse caso 2000, dessa forma obtendo pela Equação 2 a corrente máxima no secundário.

$$I_{ms} = \frac{141,4}{2000} = 0,0707A \quad (2)$$

- c. Considerando que o microcontrolador que estamos utilizando é alimentado por uma tensão de 5V, e considerando ainda que o ciclo completo será composto pelas porções positivas e negativas, devemos então definir nossa tensão de referência utilizando a Equação 3.

$$V_{ref} = \frac{5}{2} = 2,5V \quad (3)$$

- d. Finalmente podemos obter o valor da nossa resistência de carga, calculada dividindo-se a tensão de referência pela corrente máxima no secundário do sensor, na Equação 4, obtendo o valor calculado de 35,4Ω. Utilizaremos nesse caso um resistor comercial de valor próximo: 33Ω.

$$R = \frac{V_{ref}}{I_{ms}} = \frac{2,5V}{0,0707A} = 35,35\Omega \quad (4)$$

A Figura 5 mostra o circuito do sensor de corrente, onde o resistor R1 foi calculado conforme demonstrado acima. O capacitor C1 atua como um filtro de sinal e os resistores R2 e R3 atuam na polarização da tensão, que é recebida diretamente do microcontrolador (5V).

FIGURA 5. Circuito do Sensor de Corrente. Fonte: Autor

3.2. Tensão

Para a medição de tensão foi utilizado um transformador com primário 220V e secundário 12V. Como precisamos de um valor final entre 0 e 5V para entrada no conversor analógico-digital, usamos ainda um circuito divisor de tensão, como mostrado na Figura 6. Novamente, como no circuito de corrente, temos um capacitor C1 que atua como filtro e os resistores R3 e R4 atuando como polarizadores de tensão. Os resistores R1 e R2 formam o divisor de tensão, garantindo que o pino do controlador receba uma tensão entre 0 e 5V dentro da faixa adequada.

FIGURA 6. Circuito do Sensor de Tensão. Fonte: Autor

3.3 Potência

Para a obtenção do consumo estimado é necessário calcular os valores efetivos, ou valores *RMS*, tanto da corrente quanto da tensão. Esses valores são calculados através dos números obtidos diretamente do conversor analógico-digital do microcontrolador conectado aos circuitos mostrados

anteriormente. Os valores obtidos são usados para calcular o *Root Mean Square (RMS)* através da Equação 5, onde N é o número de amostras obtidas e x é a variável medida.

$$X_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2} = \sqrt{\frac{x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_N^2}{N}} \quad (5)$$

4. DESAGREGAÇÃO DO CONSUMO (NILM)

O monitoramento não-intrusivo ou não-invasivo de carga (*NILM*) é um termo amplamente usado na literatura para caracterizar os sistemas capazes de identificar o consumo de energia individualizado de equipamentos, simultaneamente, através da medição do consumo em um mesmo circuito ou unidade consumidora. Essa terminologia é usada pelo fato de que não é necessário ter um equipamento de medição individual para cada equipamentos que se deseja monitorar, evitando a necessidade de instalar vários medidores na rede elétrica para obter as informações individuais dos equipamentos (HART, 1992).

A metodologia *NILM* se baseiam no conceito de assinatura de carga para identificação de quais equipamentos estão em operação em cada instante. Assinatura de carga consiste em um conjunto de características elétricas únicas para cada carga elétrica. Quando uma carga elétrica é ligada, ela apresenta um padrão de consumo elétrico. Um chuveiro elétrico, por exemplo, apresenta os sinais de tensão e corrente praticamente em fase, o que o caracteriza como uma carga resistiva. Um outro chuveiro, embora também possua característica resistiva, possivelmente consome uma quantidade de energia que o difere do modelo anterior. Já motores elétricos possuem a fase do sinal de corrente atrasada em relação à fase do sinal de tensão, o que os classifica como cargas indutivas. No entanto, como dois motores elétricos podem apresentar diferenças tanto na potência consumida quanto nas defasagens entre tensão e corrente, é possível diferenciar qual dos motores está ligado em um determinado momento apenas medindo a potência e o ângulo de fase entre tensão e corrente.

A assinatura de carga é identificada ao ensaiar o consumo de energia de uma carga elétrica agrupando informações de grandezas elétricas derivadas da tensão e da corrente. Elas podem ser representadas tanto no domínio do tempo (HART, 1992; LIANG *et al.*, 2009; MORO *et al.*, 2013; RAHIMI; CHAN; GOUBRAN, 2011), quanto no domínio da frequência (BOUHOURLAS *et al.*, 2012; COLE; ALBICKI, 2002; HUANG *et al.*, 2011; LEE *et al.*, 2005; LIANG *et al.*, 2009; PATEL *et al.*, 2007; SHAW; LAUGHMAN, 2007; SRINIVASAN; NG; LIEW, 2006).

Podemos observar na Figura 7 o monitoramento do consumo de energia de um refrigerador e um forno de micro-ondas instalados em um mesmo circuito. Ela apresenta claramente duas mudanças de estado com períodos distintos que se sobrepõem ao longo do tempo. Sabendo que o funcionamento do refrigerador é caracterizado por partidas do compressor que se mantem ligado por períodos consideravelmente longos, enquanto o micro-ondas liga e desliga em ciclos de maior frequência, é possível discriminar em que momento cada um dos aparelhos está ligado e determinar o consumo de energia individual dos equipamentos.

FIGURA 7. Exemplo de identificação de cargas. Fonte: Duarte (2012)

O primeiro método para solucionar o problema da desagregação do consumo é baseada em eventos (*event-based*) e está relacionado com os primeiros estudos sobre *NILM*, e procuram desagregar o consumo total por meio da detecção e identificação de cada mudança de estado do equipamento no sinal agregado (Figura 8), usando algoritmos de aprendizagem supervisionados ou semi-supervisionados. Esse tipo de abordagem categorizada requer uma etapa complexa de coleta de dados em que várias transições, ou vários eventos, dos equipamentos de interesse são coletados, identificados e armazenados, para serem utilizados como dados de treinamento.

FIGURA 8. Desagregação de consumo baseada em eventos (*event-based*).

Fonte: Autor (Adaptado de Hart, 1992)

Um segundo método, por outro lado, não depende da detecção e identificação prévia dos eventos (*event-less*). Em vez disso, busca corresponder cada amostra de dados agregados de potência com o consumo de um equipamento específico ou uma combinação de diferentes equipamentos (Figura 9), por meio de métodos de aprendizagem de máquina (*machine-learning*) usando métodos estatísticos (*Bayesianos*) e probabilidade (*Hidden Markov Models*). Nessa abordagem, os dados de treinamento não precisam de identificação prévia, apenas o consumo agregado das cargas de interesse é necessário, tornando o processo de coleta de dados mais simples.

FIGURA 9. Desagregação de consumo baseada em abordagem *event-less*.

Fonte: Autor (Adaptado de Hart, 1992)

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Após a montagem do protótipo os sensores foram conectados à rede elétrica e foram obtidas amostras de tensão e corrente, que foram então comparadas com os dados obtidos de um alicate wattímetro *Minipa ET-4080*. Como carga de teste foi utilizado um banco com 10 lâmpadas halógenas de 70W cada. Para variar a tensão de entrada foi utilizado um *VARIAC* com entrada em 127V e saída ajustável entre 0 e 250V.

5.1. Medições de Corrente

O banco de lâmpadas foi ligado em uma tensão ajustada em 127Vrms. As lâmpadas foram ligadas uma por uma. A cada lâmpada ligada foram colhidos os valores de corrente obtidos pelo nosso protótipo e pelo multímetro certificado. Com base nos valores obtidos, fizemos a calibração do nosso protótipo. Após os testes e calibrações, os resultados obtidos foram os apresentados na Figura 10. Em todas as medições realizadas os erros ficaram abaixo de 4,5%.

FIGURA 10. Resultados Obtidos nas Medições de Corrente. Fonte: Autor

5.2. Medições de Tensão

A calibração do sensor de tensão foi feita de forma similar à utilizada no sensor de corrente. A tensão de entrada foi variada utilizando-se o *VARIAC*, coletando-se os valores obtidos no multímetro certificado, e efetuando as calibrações necessárias no nosso protótipo. A Tabela 1 mostra os resultados, onde pode ser verificado que nas medições de tensão os erros ficaram abaixo de 1%.

TABELA 1. Resultados Obtidos nas Medições de Tensão.

Voltímetro (V)	Sensor (V)	% Erro
90	90,8	0,89%
100	100,7	0,70%
110	110,5	0,45%
120	121,1	0,92%
130	130,9	0,69%
200	201,2	0,60%
210	211,7	0,81%
220	220,6	0,27%
230	231,7	0,74%
Média		0,67%

Fonte: Autor

5.3. Medições de Potência

O protótipo calcula a potência utilizando as medições já calibradas de corrente e tensão. Para validar os cálculos, repetimos o procedimento de medição de corrente, dessa vez comparando os dados calculados pelo nosso protótipo com os dados do multímetro certificado. A Figura 11 mostra os resultados obtidos, onde os erros ficaram abaixo dos 4%.

FIGURA 11. Resultados Obtidos nas Medições de Potência. Fonte: Autor

6. CONCLUSÃO

Neste artigo foi proposta a implementação de um medidor de energia de fácil implementação e baixo custo, com recurso de comunicação sem fio, baseado no microcontrolador *ATmega328p* e *ESP8266*. O projeto proposto torna possível a medição e transmissão sem fio dos dados de consumo de energia elétrica. O método proposto para detectar tensão e corrente foi implementado e testado,

permitindo que o hardware apresentado seja utilizado como base para análises e testes de algoritmos de desagregação de consumo (*NILM*). Os sinais de tensão e corrente são conectados às entradas analógicas e convertidos através do ADC interno do microcontrolador, permitindo avaliar os valores efetivos dos sinais medidos em conjunto com o fator de potência, que permitem o cálculo de todas as outras grandezas relacionadas à energia. A transmissão de dados é uma das questões tratadas no projeto, e por esse motivo um método de comunicação sem fio foi implementado, permitindo que os dados coletados possam ser transferidos a um servidor externo.

REFERÊNCIAS

- ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil). Atlas de energia elétrica do Brasil / Agência Nacional de Energia Elétrica. 3ª ed. – Brasília: Aneel, 2008. 236 p.: il.
- BOUHOURAS, A. S. et al. Load signatures improvement through the determination of a spectral distribution coefficient for load identification. 2012, [S.l: s.n.], 2012.
- COLE, A.; ALBICKI, A. Nonintrusive identification of electrical loads in a three-phase environment based on harmonic content. 2002, [S.l: s.n.], 2002.
- COVERT, T.; GREENSTONE, M.; KNITTEL, C. R. Will We Ever Stop Using Fossil Fuels? Journal of Economic Perspectives, v. 30, n. 1, p. 117–138, 2016.
- DUARTE, L. F. C.; FERREIRA, E. C.; SIQUEIRA DIAS, J. A. Measurement Techniques for Energy Efficiency Programs. In: EISSA, M. Energy Efficiency - The Innovative Ways for Smart Energy, the Future Towards Modern Utilities. 1. ed. Rijeka: InTech, v. 1, 2012.
- FISCHER, C. Feedback on household electricity consumption: A tool for saving energy? Energy Efficiency, v. 1, n. 1, p. 79–104, 2008.
- HART, G. W. Nonintrusive Appliance Load Monitoring. Proceedings of the IEEE, v. 80, n. 12, p. 1870–1891, 1992.
- HUANG, S. J. et al. Classification of home appliance electricity consumption using power signature and harmonic features. 2011, [S.l: s.n.], 2011. p. 596–599.
- KLEMENJAK, C.; EGARTER, D.; ELMENREICH, W. YoMo: the Arduino-based smart metering board. Computer Science - Research and Development, v. 31, n. 1–2, p. 97–103, 2016.
- LEE, K. D. et al. Estimation of variable-speed-drive power consumption from harmonic content. IEEE Transactions on Energy Conversion, 2005.
- LIANG, J. et al. Load Signature Study Part I: Basic Concept, Structure, and Methodology. IEEE Transactions on Power Delivery, v. 25, n. 2, p. 551–560, 2009.
- MAKWANA, R. et al. Wireless based load control and power monitoring system. 2013, [S.l: s.n.], 2013.

MORO, J. Z. et al. A Home Appliance Recognition System Using the Approach of Measuring Power Consumption and Power Factor on the Electrical Panel, Based on Energy Meter ICs. *Circuits and Systems*, v. 04, n. 03, p. 245–251, 2013.

PATEL, S. N. et al. At the Flick of a Switch: Detecting and Classifying Unique Electrical Events on the Residential Power Line. *UbiComp 2007: Ubiquitous Computing*, p. 271–288, 2007.

RAHIMI, S.; CHAN, A. D. C.; GOUBRAN, R. A. Usage monitoring of electrical devices in a smart home. 2011, [S.l: s.n.], 2011. p. 5307–5310.

SHAW, S. R.; LAUGHMAN, C. R. A Kalman-filter spectral envelope preprocessor. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 2007.

SRINIVASAN, D.; NG, W. S.; LIEW, A. C. Neural-network-based signature recognition for harmonic source identification. *IEEE Transactions on Power Delivery*, v. 21, n. 1, p. 398–405, 2006.

TOLMASQUIM, M. T.; GUERREIRO, A.; GORINI, R. Matriz energética brasileira: uma prospectiva. *Novos Estudos - CEBRAP*, n. 79, p. 47–69, 2008.

VIEIRA, D. M.; CORREA, P. M.; CARMO, R. A. Os desafios para a expansão da oferta de energia elétrica. *Revista do TCU*, v. 1, n. 1, p. 44–53, 2012.

YOUNG-SUNG SON; KYEONG-DEOK MOON. Home energy management system based on power line communication. jan. 2010, [S.l.]: IEEE, jan. 2010. p. 115–116.