MEDIDOR DE ENERGIA MONOFÁSICO DE BAIXA TENSÃO BASEADO EM REDES SEM FIO

Cristian Fernando Ritter – Graduando em Engenharia Mecatrônica

Valdir Noll – Professor Orientador

**Resumo. Este trabalho propõe o desenvolvimento de um sistema para medição de energia monofásico de baixa tensão baseado em redes de comunicação de dados sem fio que realizará o monitoramento de diversos parâmetros elétricos da rede e seu registro em um serviço de banco de dados.**

Keywords — Internet das Coisas, monitor de energia, microcontroladores, sensores de corrente e tensão.

##### Introdução

Concorrentemente à popularização da internet e sua disponibilização sobre diversas formas de propagação, muitas delas sem a necessidade de fios, houve também a ampliação da gama de dispositivos com dimensões reduzidas e baixo consumo que podem acessar tais redes e compartilhar dados de sensoriamento e até mesmo de controle para sistemas nas mais diversas áreas, com uma ótima relação de custo benefício. Isso tem incentivado uma cada vez mais evidente tendência de interconexão e monitoração de dispositivos e ambientes, não somente industriais, mas também domésticos.

Propõe-se neste trabalho o desenvolvimento de um sistema para medição de energia monofásica de baixa tensão baseado em rede sem fio que realizará o monitoramento e registro de diversos parâmetros elétricos da rede. A medição dos parâmetros elétricos da rede será feita utilizando um circuito integrado especificamente desenvolvido para este fim. Utilizar-se-á um microcontrolador com interface de rede sem fio integrada para leitura, processamento e envio de informações que serão armazenados em um serviço de armazenamento de dados online. As análises e os resultados obtidos poderão ser consultados diretamente pela internet em uma aplicação web desenvolvida para este fim.

##### Principais Conceitos

* Acesso Remoto

Tais tecnologias têm sido amplamente empregadas em diferentes áreas como, por exemplo, as redes de telefonia celular, a transmissão de dados via satélite e, sobretudo, as redes sem fio com abrangência local, classificadas como *Wireless* LAN, também conhecidas como redes *Wi-Fi*, presentes em ambientes residenciais e corporativos (BOBAK, 2001).

Através de rede *wi-fi*, pode-se realizar esse gerenciamento remoto de um determinado sistema. O sistema aqui proposto possui uma resistência elétrica, a qual receberá um sinal para realizar seu aquecimento, e quem enviará esse sinal, será o controlador PID, que receberá o valor da temperatura em tempo real.

* Controlador PID

O controlador PID, ou simplesmente PID, é uma técnica de controle de processos que une as ações derivativa, integrativa e proporcional, fazendo, assim, com que o sinal de erro seja minimizado pela ação do proporcional, zerado pela ação integral e obtido com uma velocidade antecipativa pela ação derivativa.

 Os sistemas de controle de malha aberta são aqueles em que o sinal de saída não exerce nenhuma ação de controle no sistema, neles o sinal de saída não é medido nem utilizado para realimentação do sistema para comparação com a entrada (OGATA, 2011).

Já no controle em malha fechada, o sinal de saída possui um efeito direto na ação do controle e é designado por um sistema de controle com realimentação. Neste tipo, o sinal de erro que corresponde à diferença entre os valores de referência e de alimentação, é introduzido no controlador de modo a reduzir o erro e a manter a saída do sistema num determinado valor pretendido pelo usuário. (OGATA, 2011).

* Transdutor de temperatura

Termopares são sensores de temperatura simples, robustos e de baixo custo, sendo amplamente utilizados nos mais variados processos de medição de temperatura. Um termopar é constituído de dois metais distintos unidos em uma das extremidades. (SCERVINI, 2009).

O termopar tipo K (Cromel e Alumínio) é um termopar de uso genérico. Tem um baixo custo e, devido a sua popularidade e estão disponíveis variadas sondas. Cobrem temperaturas entre os -200 e os 1200. tendo uma sensibilidade de aproximadamente 41µV/°C. (MARCINICHEN, 2018).

Para conseguir realizar a leitura desse termopar, pois ele possui valores de tensão muito baixos, precisa-se utilizar um amplificador de tensão, para conseguir elevar esses valores de tensão e ter uma melhor escala de temperatura futuramente.

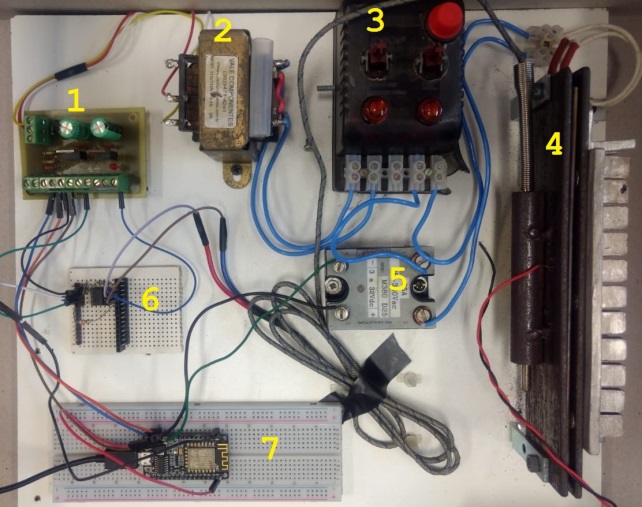
O conversor escolhido foi o AD620, da Analog Device, que é um amplificador de instrumentação monolítico de baixo custo e alta precisão. Ele requer apenas um resistor externo para definir um ganho entre 1 e 1000.

##### Desenvolvimento do Sistema

* Materiais e Componentes Utilizados

Para realizar o projeto de hardware – figura 1, fez-se necessário o desenvolvimento de uma placa com um amplificador AD (6) para a leitura do sensor termopar tipo K que está fixado a uma base metálica juntamente com uma resistência de ferro de passar roupa (4), que é acionada pela plataforma de programação descrita abaixo através de um relé de estado solido (5). Também foi necessária a utilização de uma placa reguladora de tensão 24V para 5V (1) que havia sido desenvolvida anteriormente, para alimentação da placa do conversor AD através de um transformador 220-24V (2) que é acionado por uma botoeira que possui 2 botões (3): um para energizar o transformador, outro para energizar a resistência elétrica. Para realizar a programação de todo sistema, foi utilizada a plataforma NodeMCU (7), que além de comandar o controle PID, faz a conexão *Wi-Fi* e possibilita a interface *WEB*.

**Figura 1 – Hardware utilizado**

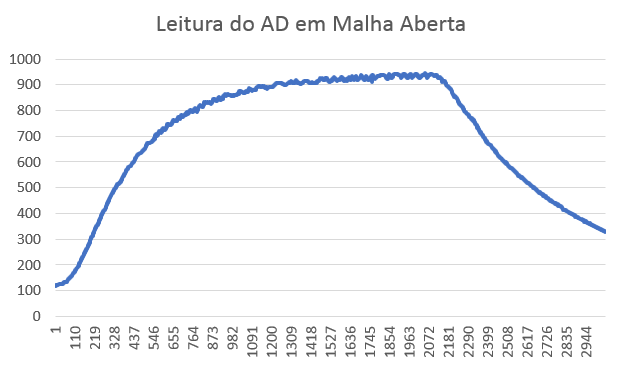


Fonte: Autoria Própria (2018).

* Controlador PID

Inicialmente foi realizada uma programação para se ler a entrada analógica (A0), que vem do conversor AD (que está ligado ao termopar), e exibir os resultados via comunicação serial, para os registros dos dados através do *software* Terminal. A figura a seguir mostra a resposta do conversor AD mantendo-se sempre ligada à resistência até o tempo 2070 s, quando então foi desligada a resistência elétrica da fonte de energia, como mostra a figura 2.

**Figura 2 – Leitura do AD em Malha Aberta**

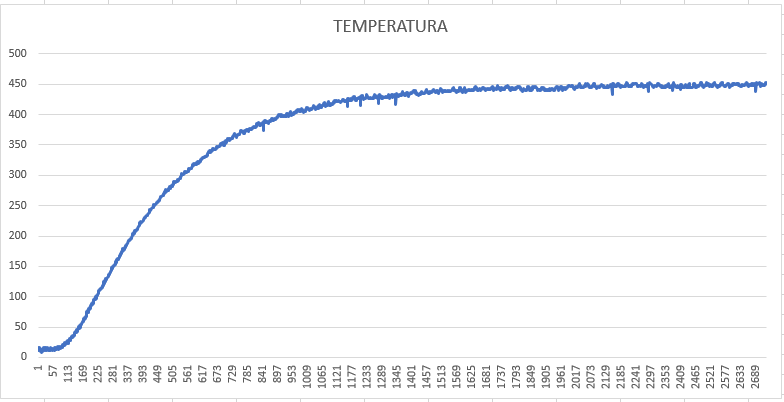


Fonte: Autoria Própria (2018).

A conversão direta da leitura do AD para a temperatura em graus Celsius, foi obtida então:

A figura 3 mostra a temperatura medida pelo termopar como resposta ao degrau unitário, em malha aberta, ou seja, sem controle em um tempo de 2650s.

**Figura 3 – Curva de temperatura obtida**

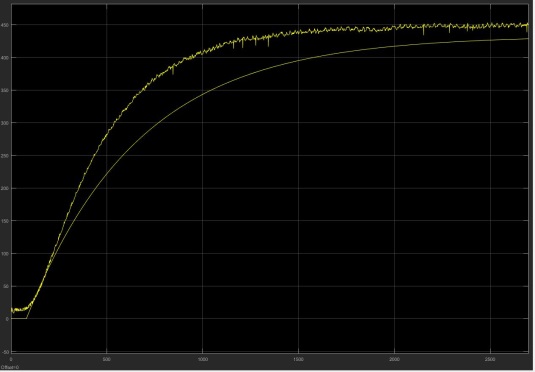


Fonte: Autoria Própria (2018).

Foi obtida a curva de temperatura pelo tempo, obtendo-se cerca de 2700 pontos medidos, ao longo do tempo, e com eles, por meio do *software* MATLAB, foi obtida a curva de resposta do sistema em malha aberta. Esses dados foram utilizados para gerar a função de transferência que posteriormente será modelada pelo método que melhor se adapta ao projeto.

Os testes consistiam na alimentação máxima da tensão em 220V. Baseado nesta alimentação se adquiria a curva de resposta do sistema. Após o levantamento da curva, foram realizados os cálculos da função de transferência do sistema, e obtiveram-se os dados necessários para inserir no MATLAB®, comparando então as duas curvas, mostradas na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, sendo a superior obtida através da leitura do sensor, e a inferior calculada através da função de transferência obtida do MATLAB®.

**Figura 4 – Comparação via MATLAB**



Fonte: Autoria Própria (2018).

Com essa curva pode-se obter, por meio de quatro métodos, a curva que melhor se adequa ao projeto, os quais são: método de Ziegler – Nichols, método de Hägglund, método de Smith e método de Sundaresan&Krishnaswamy.

Cada método tem como saída uma função. Outras informações que são importantes nos cálculos dos métodos são: variação da temperatura do forno (ΔY), variação da alimentação do motor (ΔU), atraso (θ) e o tempo de subida (τ) e ganho estático (K) (COELHO, 1999).

A partir dos dados mostrados na figura anterior, e o valor de K calculado, é possível, então, calcular a função de transferência em malha aberta do nosso sistema.

Foram realizados todos os cálculos e a função gerada foi analisada no *software* MATLAB, para verificar se apresentava uma curva dentro dos padrões esperados.

Por meio da aplicação “tune” nas configurações do bloco do PID do *Simulink*, podem ser encontrados os seguintes valores para Kp e Ki:

Kp = 0.8

Ki = 0.003

Com os ajustes finais, ficamos com os valores de:

Kp = 2

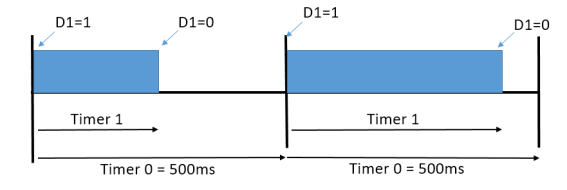
Ki = 0.005

* Software

Foi realizado o desenvolvimento do código de programação do sistema, onde no mesmo constava a conexão wi-fi da plataforma com a conexão de rede local, a configuração da biblioteca que tem função de controle PID, a configuração do PWM de saída e a conexão e comunicação entre a plataforma NodMCU e a interface WEB;

A programação do microcontrolador consiste em realizar uma conexão *wi-fi*; após isso foram configuradas duas interrupções – uma para realizar o cálculo do controle PID e a outra para calcular a razão cíclica do PWM da saída do controlador – figura 5, e algumas informações que estarão sendo trocadas via *wi-fi* com a plataforma que permita disponibilizar dados numa interface *WEB*.

**Figura 5 – Timers**



Fonte: Autoria própria (2018).

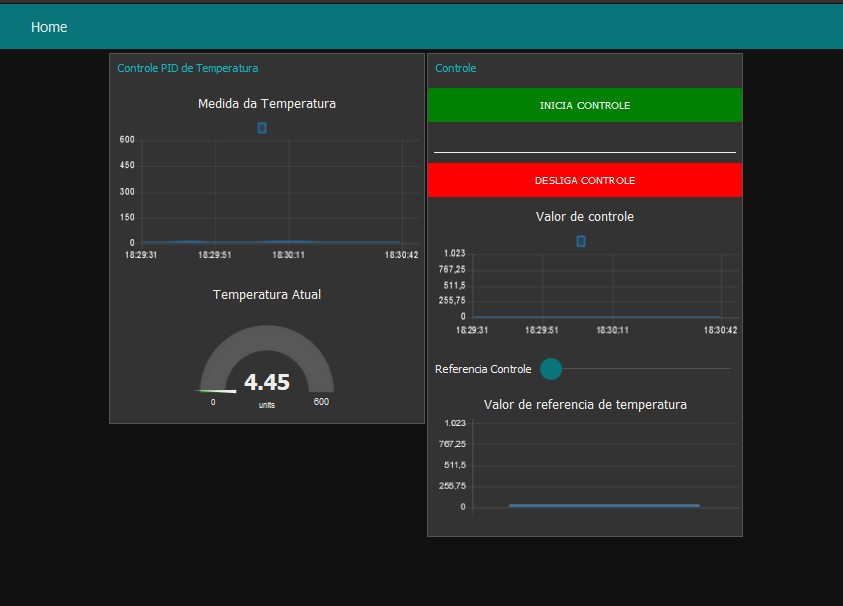
Na intenção de maximizar e facilitar a experiência do usuário com o sistema de monitoramento, foi desenvolvida uma interface *WEB*, na qual é possível fazer o monitoramento e gerenciamento da temperatura e do controle PID realizado.

O *software* utilizado para criação da página HTML que faz a interface da placa de controle com o operador chama-se Node-RED.

Um usuário que esteja acessando uma página *WEB* pré-definida, pode a qualquer momento enviar, por meio de um *software* navegador na internet, tipo Firefox, os comandos de ligar e desligar o controle; permite-se, através de uma barra de rolagem informar um valor de referência para o controle ser realizado, e os valores de temperatura são mostrados já convertidos pra a escala de temperatura.

A figura 6 mostra como ficou a aparência final da nossa interface WEB.

**Figura 6 – Comparação via MATLAB**



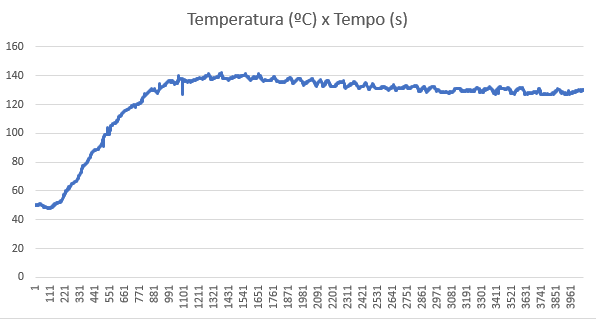
Fonte: Autoria própria (2018).

##### Analise dos Resultados

Foram alcançados resultados satisfatórios para todas as funções de gerenciamento que haviam sido previstas e que possíveis de serem desenvolvidas neste período. Desenvolveu-se a programação de uma plataforma com comunicação sem fio, o controle PI realizado, a parte mecânica construída para se poder aplicar o projeto e o desenvolvimento de uma plataforma *WEB* para o monitoramento e gerenciamento do processo.

Foram obtidos valores de temperatura controlados dentro do esperado, onde o erro de regime permanente foi de até 10% e com uma boa estabilização da temperatura desejada, com uma rampa de subida rápida, como mostra a figura 7, mesmo com o projeto sofrendo interferências com as temperaturas do meio ambiente, por não se encontrar em um ambiente isolado termicamente.

**Figura 7 – Gráfico resposta final**



Fonte: Autoria própria (2018).

##### Conclusão

Didaticamente, foi interessante esse desenvolvimento porque foram utilizados microcontroladores, foi desenvolvido o controle de um sistema que foi necessário passar por uma série de testes e levantamentos de dados para se conseguir chegar até a função de transferência do sistema.

Foi necessária uma busca por uma forma de desenvolver uma página para a comunicação e interação do usuário com o sistema, de forma fácil e eficiente, tudo isso sem o conhecimento prévio em desenvolvimento *WEB* e conseguir realizar a integração dela com o sistema.

Por fim, como melhorias, poderia ser adicionada uma forma de resfriamento do processo, fazendo também que o mesmo pudesse ser controlado automaticamente. Também a construção de uma espécie de recipiente isolado onde o mesmo pudesse ficar, para resolver o problema da interferência de temperatura do ambiente aonde se encontra, podendo melhorar os resultados de controle de temperatura. E também, pode-se trabalhar com um servidor de dados que armazene os dados em banco de dados, para registro e analise de comportamento da temperatura ao longo do tempo.

##### Referências

* NODEMCU. Features. Publicação Eletrônica, 2020. Disponível em: https://www.nodemcu.com/index\_en.html Acesso em: 08 de abril de 2020.

* ANALOG DEVICES. Datasheet: ADE7753. Publicação Eletrônica, 2010. Disponível em: https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADE7753.pdf Acesso em: 08 de abril de 2020.
* AWS. What Is Amazon DynamoDB? Publicação Eletrônica, 2020. Disponível em: https://docs.aws.amazon.com/amazondynamodb/latest/developerguide/Introduction.html Acesso em: 08 de abril de 2020.
* AWS. PHP e DynamoDB. Publicação Eletrônica, 2020. Disponível em: https://docs.aws.amazon.com/pt\_br/amazondynamodb/latest/developerguide/GettingStarted.PHP.html Acesso em: 08 de abril de 2020.
* AWS. Documentação do Amazon Elastic Compute Cloud. Publicação Eletrônica, 2020. Disponível em: https://docs.aws.amazon.com/ec2/index.html Acesso em: 08 de abril de 2020.
* AWS. What Is AWS IoT? Publicação Eletrônica, 2020. Disponível em: https://docs.aws.amazon.com/iot/latest/developerguide/what-is-aws-iot.html Acesso em: 08 de abril de 2020.
* AWS. Connecting to Your Linux Instance from Windows Using PuTTY Publicação eletrônica, 2020. Disponível em: https://docs.aws.amazon.com/AWSEC2/latest/UserGuide/putty.html Acesso em: 08 de abril de 2020.
* 김동일. Connecting ESP8266 to AWS IoT Core using Arduino Mqtt. Publicação Eletrônica, 2019. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=4eF6bfIURN0 Acesso em: 08 de abril de 2020.