

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE SUPERVISÃO DE TEMPERATURA, A BAIXO CUSTO, PARA CRESCIMENTO DE CRISTAIS PELA TÉCNICA MICRO-PULLING-DOWN.

JAQUELINE SILVA RIBEIRO¹, MARCUS VINICIUS DE SIQUEIRA SILVA².

¹Graduando em Engenharia de Controle e Automação, Bolsista PIBIFSP, IFSP, Campus São José dos Campos, jaqueline.s@aluno.ifsp.edu.br.

²Professor EBT, Campus São José dos Campos, marcus.silva@ifsp.edu.br.

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 3.04.02.04-2 Instrumentação Eletrônica

RESUMO: Este trabalho consiste em elaborar um sistema de controle de temperatura para aplicação em dispositivos para crescimento de monocristais. Para isso realizou-se o controle da temperatura, utilizando a plataforma Arduino e, através do SCADA Indusoft Web Studio Educacional, desenvolveu-se a interface do sistema via computador programável, proporcionando o ajuste da corrente aplicada no cadinho, por meio de controlador on-off.

PALAVRAS-CHAVE: controle, corrente, supervisório.

DEVELOPMENT OF A TEMPERATURE SUPERVISION SYSTEM, AT LOW COST, FOR GROWTH OF CRYSTALS BY THE MICRO-PULLING-DOWN TECHNIQUE.

ABSTRACT: This work consists of developing a control system for homogeneous growth of crystal fibers. For this purpose, temperature control was performed using the Arduino platform and, through SCADA Indusoft, the system interface was developed via a programmable computer, providing the adjustment of the current applied in the crucible, via on-off controller.

KEYWORDS: control, current, supervisory.

INTRODUÇÃO

No presente momento, com os avanços científicos e tecnológicos, os monocristais são de suma importância para o desenvolvimento de novos dispositivos eletrônicos. Devido as pequenas quantidades de material necessária no processo de crescimento e a rápida obtenção de peças homogêneas a baixo custo, os cristais em forma de fibra tornam-se mais vantajosos, se comparados aos cristais volumétricos.

Uma das maneiras para obtenção dos monocristais em forma de fibra é através da utilização da técnica *micro-pulling-down* (μ -PD), que tem como característica principal a obtenção de fibras longas e regulares com boa qualidade cristalina. Esta técnica consiste em fundir o material em um cadinho e, através de um capilar, induzir a cristalização do material líquido e realizar o puxamento constante na direção vertical e sentido descendente (SANTOS, 2005).

No entanto, para obter um crescimento estável e com alta qualidade, é necessário realizar o controle adequado do gradiente de temperatura. Portanto, o presente trabalho tem como objetivo elaborar um sistema de supervisão e controle, em malha fechada, da temperatura de fusão do material, através do monitoramento da passagem de corrente elétrica aplicada diretamente no cadinho.

MATERIAL E MÉTODOS

A princípio, desenvolveu-se um circuito de simulação (Figura 1), utilizando a plataforma Tinkercad, para servir de base para a elaboração do projeto. Através de modulação por largura de pulso e um transistor bipolar de junção trabalhando como chave, aferiu-se a tensão no potenciômetro, responsável inicialmente por regular a tensão de entrada no motor (aqui representando o cadinho). Desta forma foi possível realizar a escrita da tensão em um display LCD.

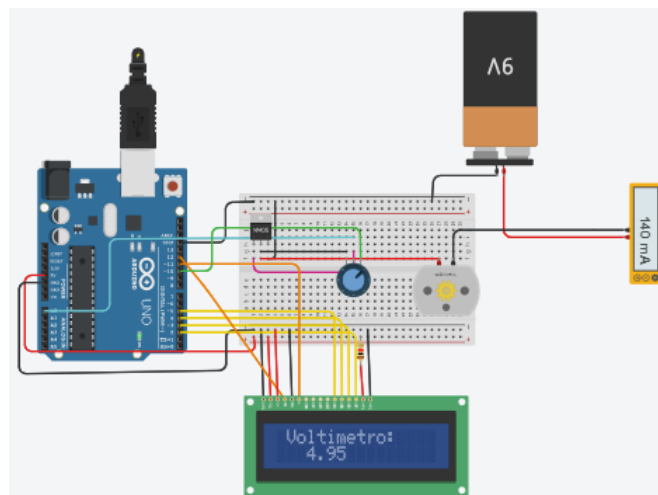


FIGURA 1. Simulação do circuito em malha aberta utilizando o software Tinkercad

Fonte: Tinkercad

Para realizar a montagem do circuito no protoboard, utilizou-se uma bateria 9V como fonte de alimentação do circuito, um potenciômetro para regular manualmente a tensão aplicada sobre o resistor (utilizado para representar a carga) e um microcontrolador Arduino Mega 2560. Desenvolveu-se, primeiramente, um voltímetro para checar a tensão de saída do potenciômetro, utilizando o conversor analógico/ digital (DAC) para ler o valor correto e aplicou-se a Equação 1 para verificar a resolução do Arduino (4,88mV/bit). Em seguida conectou-se o display LCD (16x2) para exibir os valores do voltímetro.

$$V = \frac{5 \times}{1023} \quad (1)$$

em que,

V- tensão, V;

x- valor de entrada analógica.

No decorrer das atualizações do circuito acrescentou-se um sensor de corrente ACS712, a fim de desenvolver um amperímetro. Assim foi possível fazer a leitura de corrente no resistor, exibindo os valores no display LCD, para facilitar a verificação da variável.

Para estabelecer a comunicação do sistema com o supervisor Indusoft Web Studio Educacional tornou-se necessário alterar o código de programação no Arduino, adicionando uma biblioteca de protocolo Modbus e registradores para armazenar os dados do sistema.

No próprio *software* Indusoft Web Studio elaborou-se uma tela com layout simples e intuitivo (Figura 2), contendo um botão para sair da página e duas caixas de texto para exibir a corrente aplicada diretamente no cadinho e a tensão de saída do potenciômetro, e adicionou-se um drive Modbus para transmitir e receber informações.

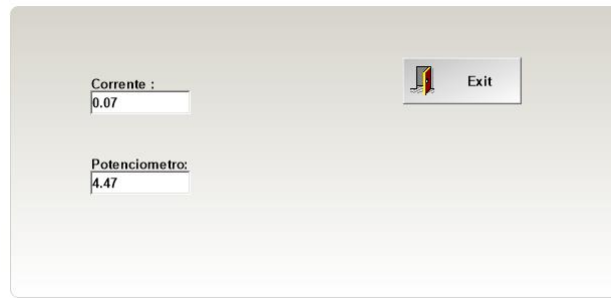


FIGURA 2. Tela principal desenvolvida no SCADA Indusoft

Fonte: Indusoft Web Studio

Para fechar a malha do circuito, determinou-se um *setpoint* de 0,2A, aplicou-se uma histerese de $\pm 0,05A$, e desenvolveu-se uma logica de programação como mostra o fluxograma da Figura 3, e dessa forma obteve-se um controle ON/OFF.

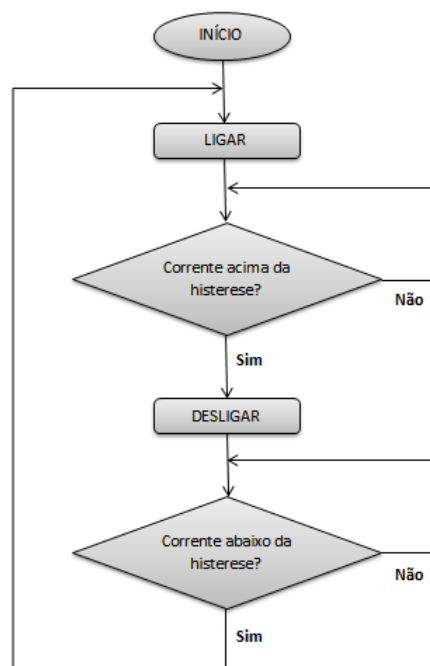


FIGURA 3. Fluxograma do controle ON-OFF.

Fonte: Própria autora.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aquisição de dados do circuito, a partir do sensor ACS758, foi bem sucedida e apresenta boa precisão, considerando que os valores adquiridos, tanto na função voltímetro como na função amperímetro, são muito próximos dos aferidos em um multímetro comercial, como mostra a Figura 4.



FIGURA 4. Implementação do amperímetro e comparação com a medição no amperímetro comercial.

Fonte: Própria autora.

Durante os testes constatou-se que a corrente analisada possuía um valor muito baixo. Para melhorar a resposta do sistema, modificou-se o circuito, trocando a bateria por uma fonte DC de 5V e 30A e substituindo o resistor utilizado anteriormente por uma associação em paralelo de 4 resistores de 12 ohms, resultando em uma resistência equivalente de 3 ohms, e obteve-se uma corrente de 0,25A (Figura 5). Além disso, notou-se que a corrente possuía o mesmo valor nos pontos máximo (255) ou mínimo (0) do PWM, portanto utilizou-se 254 como PWM máximo.

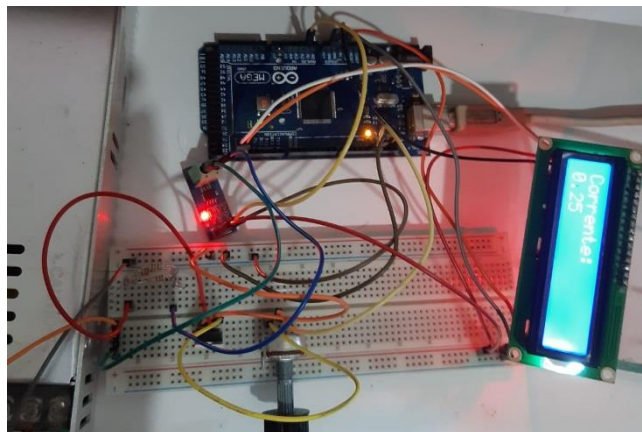


FIGURA 5. Modificação do circuito resultando na alteração do valor de corrente.

Fonte: Própria autora.

Observou-se também que o supervisor não estava lendo os valores adequadamente, e, para corrigir o erro, alterou-se as variáveis inicialmente declaradas como *float* (ponto flutuante) por uma nova variável inteira, para armazenar no registrador um valor correspondente a cem vezes o valor real da corrente, e editou-se as configurações de entrada do Indusoft para realizar a escrita do valor recebido após dividi-lo por 100 novamente. Desta forma o sistema supervisorio, desenvolvido no Indusoft em comunicação com o microcontrolador Arduino, está funcionando corretamente, realizando leitura e escrita dos dados do circuito e, portanto, cumprindo com o objetivo proposto para o projeto.

O controle de temperatura por meio de ajuste de corrente possui controlador ON/OFF com histerese, permitindo a variação de corrente em torno do *setpoint* sem causar a instabilidade do sistema.

CONCLUSÕES

Pode-se afirmar que o objetivo de criar um sistema de controle e supervisão do gradiente de temperatura de fusão foi alcançado. O sistema supervisorio, desenvolvido através do *software* Indusoft Web Studio, possui bom desempenho e eficiência, possibilitando o monitoramento remoto dos dados

do circuito, facilitando a identificação de possíveis falhas durante o processo de crescimento dos cristais.

O projeto apresenta um controlador ON/OFF que funciona de forma satisfatória, mantendo a corrente do cadinho variando em torno do valor desejado, sem alterar a estabilidade do sistema. Em relação a coleta de dados a partir da implementação de voltímetro e amperímetro, obteve-se bons resultados, considerando a precisão alcançada ao comparar com medições feitas a partir de multímetros comerciais.

Estuda-se ainda a implementação do controlador proporcional integral e derivativo (PID), para melhorar a automatização do processo e obter resultados melhores.

AGRADECIMENTOS

Ao IFSP pela bolsa disponibilizada por meio do PIBIFSP, e ao professor orientador Marcus Vinicius de Siqueira Silva pelo apoio e confiança.

REFERÊNCIAS

DENALDI, R.L. Investigação do crescimento de fibras monocristalinas de $\text{LiLa}(\text{WO}_4)_2$ codopadas com Yb^{3+} e Er^{3+} para estudos espectroscópicos. Dissertação (Mestrado em ciência) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, 2018. Disponível em < <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/85/85134/tde-21082018-150358/publico/2018DenaldiInvestigacao.pdf> > Acesso em: 21 jun 2020.

GARCIA, C. Controle de processos Industriais, v.1, p. 306-319, 2017.

INDUSOFT. Apostila treinamento básico Indusoft Web Studio. Disponível em < <https://www.indusoft.com/Portals/0/PDF/Documentation/ApostilaTreinamentoB%C3%A1sico.pdf> > Acesso em: 24 abr 2020.

MORAES, J.R; TOFFOLI, D.J; BALDOCHI, S.L. Crescimento de fibras monocristalinas. 2008. Disponível em: <

https://www.researchgate.net/profile/Jair_De_Moraes2/publication/282855690_Booklet_-_Introduction_on_Crystal_Growth_Fiber_Crystal_Growth_from_the_Melt_Techniques_Course_IPEN-USP/links/561f5efb08aecd8a36/Booklet-Introduction-on-Crystal-Growth-Fiber-Crystal-Growth-from-the-Melt-Techniques-Course-IPEN-USP.pdf > Acesso em: 30 jun 2020.

OGATA, K. Engenharia de controle moderno, ed.4, 2003.

SANTOS, A.M.E. Crescimento e caracterização de fibras monocristalinas de fluoretos do tipo $\text{LiY}_{1-x}\text{TR}_4\text{F}_4$. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Materiais) – Universidade Federal de São Paulo, 2005. Disponível em: < https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/85/85134/tde-13032006-112231/publico/Tese_AnaMaria.pdf > Acesso em: 26 jun 2020.