

KIT DIDÁTICO PARA ENSINO DA DISCIPLINA DE CONTROLE DIGITAL DE PROCESSOS

Albernaz, P. F.; Araújo, V.; Carlos, T. M. J.; Morais, J. S.; Morais, A. S.

Núcleo de Controle e Automação

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Elétrica, Uberlândia – MG.

aniel@eletrica.ufu.br

Resumo – Este artigo tem como objetivo desenvolver um kit didático, que simula uma planta industrial, para o ensino da disciplina de Controle Digital de Processos. Serão citados os conceitos teóricos de controle de processos, assim como será mostrado os componentes utilizados no desenvolvimento desse projeto. Ao final serão apresentados resultados experimentais obtidos com o auxílio do software e hardware Arduino.

Palavras-Chave – Controle de processos, controle de temperatura, controle de nível, controle de vazão, PID, Arduino.

TEACHING KIT FOR THE DISCIPLINE OF DIGITAL PROCESS CONTROL

Abstract – The authors of this article present a proposal for an educational kit consisting of a prototype, which has as its aim the simulation of a specific industrial process to be used as an aid in the teaching of Digital Process Control. This article will refer to the theoretical concepts of process control, as will be shown the components used in the development of this project. Finally, the authors present the experimental results obtained with the help of Arduino hardware and software.

Keywords – Process control, Temperature control, level control, flux control, PID, Arduino.

NOMENCLATURA

PV Process variable, variável controlada ou saída.
SP set point, referência ou entrada.

I. INTRODUÇÃO

A base de sistemas de controle consiste no controle realimentado, pois se caracteriza pela constante medição da variável que se quer controlar. Este artifício permite fazer correções dinâmicas de erros que possam surgir na variável controlada do processo (PV) analisado. A ideia é que o

controlador busque atingir um erro zero, ou seja, o valor da saída seja igual à referência (SP).

No ramo industrial, podemos citar três variáveis de processos que necessitam ser controladas constantemente, são elas: a temperatura, o nível e a vazão.

O controle de temperatura se faz necessário, pois em diversos casos a substância utilizada no processo industrial pode mudar suas propriedades físicas e químicas dependendo da temperatura de trabalho. Desta forma, o ambiente onde esta contida esta substância não pode receber variações bruscas de temperatura, pois isso poderia prejudicar todo o processo.

O controle de nível busca limitar o valor do nível de cada reservatório para que não haja o excesso nem a falta da substância em nenhum dos tanques, evitando assim a danificação dos equipamentos.

Já o controle de vazão tem como objetivo controlar a vazão na saída de uma bomba ou mesmo dentro das tubulações utilizadas. Pois além de evitar sobrecarga, que poderia levar a ruptura das tubulações, também limita a quantidade de substância que entra em cada reservatório, assim como limita a velocidade de escoamento da mesma.

A disciplina de Controle Digital de Processos possui o objetivo de expor ao aluno as técnicas de controle existentes com os modelos matemáticos de cada uma delas, assim como, distinguir os diversos tipos de processos e habilitar o aluno a escolher qual é o melhor método de controle para cada processo.

No entanto, encontra-se a necessidade de relacionar a teoria aprendida em sala de aula com a realidade encontrada nas indústrias, visando assim não somente o conhecimento teórico, mas também o conhecimento prático do aluno.

Com esse intuito, é apresentado o kit didático para ensino da disciplina de Controle digital de processos, em que consiste em uma planta industrial com dois tanques interligados por meio de tubos de PVC, onde se encontram uma bomba, válvulas de bloqueio, sensores de temperatura, vazão e nível de cada tanque, que são acionadas por um driver de potência e controladas por um microcontrolador Arduino.

O Arduino por ser um hardware de fácil utilização e com um software livre e de linguagem de programação simples, é uma ferramenta importante para o desenvolvimento desse kit didático, pois o torna uma alternativa mais atrativa e econômica.

O funcionamento básico da planta consiste em bombear o líquido, neste caso a água, pelas tubulações de um tanque em um nível mais baixo para outro de nível mais elevado, como é mostrado na figura 1.1.



X CEEL - ISSN 2178-8308
24 a 28 de setembro de 2012
Universidade Federal de Uberlândia - UFU
Uberlândia - Minas Gerais - Brasil

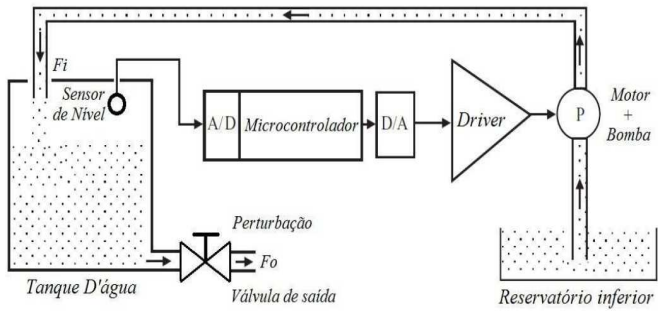


Figura 1.1 – Funcionamento básico da planta.

Para realização desse procedimento, utiliza-se uma bomba para bombear a água e sensores para controlar as variáveis de processo, sendo que, o Arduino nos auxilia no controle e na automatização dos dispositivos encontrados na planta, como ligar e desligar a bomba de acordo com o nível de cada tanque, controlar a abertura e o fechamento das eletroválvulas e a controlar a temperatura com o aquecimento da água por meio de uma resistência colocada dentro do tanque.

Como esse sistema servirá para mostrar ao aluno como é o controle de um processo real, também serão simuladas perturbações de carga, tais como: variação brusca na temperatura, no nível e na vazão. Diante destas situações o controlador projetado pelos alunos deve ser capaz de atuar de modo a corrigir esses problemas e voltar o sistema às condições desejadas.

Desta forma, o kit didático não só auxilia o aluno a ter maior contato com os processos reais, mas também auxilia o professor a ministrar a disciplina de maneira mais interativa.



Figura 1.2 – Planta didática.

II. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

O projeto do kit didático pode ser dividido em cinco partes principais, as quais serão abordadas abaixo.

A. Sensores

Um sistema em malha aberta só envia sinais de excitação à planta através dos atuadores, sem ter certeza do comportamento desta. Quando o controlador é realimentado com sinais que refletem o comportamento da planta, torna-se capaz de tomar decisões em função do comportamento apresentado.

Quando o controlador e a planta não trabalham com as mesmas grandezas físicas é preciso utilizar sensores para traduzir os sinais físicos.

Desta forma, para se medir as variáveis de processo do kit didático foram utilizados quatro sensores, dois sensores de nível para medir o nível de cada tanque que está sendo controlado, um sensor de vazão para medir a vazão da bomba e um sensor de temperatura para medir a variação de temperatura do tanque.

O sensor de nível usado foi o sensor ultrassônico HC-SR04, que consiste em um sensor de proximidade que permite detectar de forma precisa e confiável objetos de materiais, formas e cores diversas. Além disso, ele pode medir distâncias entre 2 a 500 cm com uma precisão de 0.3 cm.

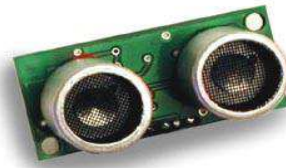


Figura 2.1 – Sensor HC-RS04.

O seu funcionamento consiste na emissão de uma onda sonora de alta frequência, e na medição do tempo necessário para a recepção do eco (reflexão do sinal) produzido quando esta onda se choca com o objeto capaz de refletir o som.

O sensor emite pulsos ultrassônicos ciclicamente. Quando o objeto reflete estes pulsos, o eco resultante é recebido e convertido em um sinal elétrico.

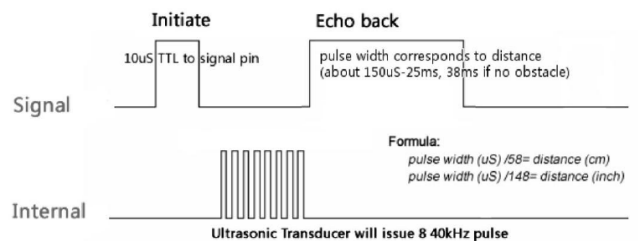


Figura 2.2 – Funcionamento do HC-RS04.

A detecção do eco incidente depende de sua intensidade e esta da distância entre o objeto e o sensor ultrassônico. Estes sensores se baseiam na medição do tempo de propagação do

eco, isto é, o intervalo de tempo medido entre o impulso sonoro emitido e o retorno do mesmo.

O sensor utilizado para medir a variação de temperatura do tanque consiste em uma termorresistência. Uma termorresistência (RTD do inglês *Resistance Temperature Detector*) é um instrumento que permite conhecer a temperatura do meio ambiente, recorrendo à relação entre a resistência elétrica de um material e a sua temperatura. A maior parte das termorresistências é feita de platina, mas são também utilizados outros materiais, como, por exemplo, o níquel. Por norma, quando se fala de uma termorresistência ela é identificada pelo material que a constitui e pela resistência que apresenta a 0 °C.

Suas principais características são a alta estabilidade mecânica e térmica, resistência à contaminação, relação de Resistência X Temperatura praticamente linear e o desvio com o uso e o envelhecimento desprezíveis, além do alto sinal elétrico na saída.

A termorresistência de platina é a mais utilizada na indústria devido a sua grande precisão e estabilidade, conhecida como PT-100 ela apresenta uma resistência ôhmica de 100 Ω a 0°C.



Figura 2.3 – Sensor PT100.

Por meio de testes experimentais, é possível encontrar a curva característica Tensão X Temperatura do sensor, relacionando a mudança no sinal elétrico na saída do sensor devido à mudança da resistência do mesmo com a variação da temperatura do tanque. Curva esta que será apresentada no item D do desenvolvimento do projeto.

Para medir a vazão da bomba foi utilizado um sensor de vazão (fluxo) de água constituído por um corpo de válvula de plástico, um rotor dentro d'água, e um sensor de efeito Hall. Quando a água flui através do rotor este gira, sua velocidade muda com diferentes taxas de vazão. O sensor de efeito Hall gera um sinal de impulso correspondente à velocidade.



Figura 2.4 – Sensor de vazão.

B. Software

Para realizar a função do sistema descrito anteriormente pode-se simplesmente ligar a bomba até atingir um determinado nível e ligar a resistência esquentando a água até a temperatura desejada. Esta forma de controle é conhecida como controlador *on-off*, e é uma técnica que não permite controle contínuo do processo.

Para fazer o controle através do circuito eletrônico citado anteriormente foi utilizado um software de programação que permite enviar os comandos para acionar a bomba, o relé e a eletroválvula e também ler as variáveis de processo de forma automática. O software na verdade permite automatizar e não somente controlar o sistema.

O software utilizado foi o Wire, que é uma linguagem de programação que o Arduino suporta, além de ser um software livre e didático.

Foram utilizado apenas 6 pinos digitais (3 saídas e 3 entradas) e um pino analógico (1 entrada).

As saídas digitais estão conectados ao circuito de acionamento do relé que esquentará a água, ao da bomba e da eletroválvula. As entradas digitais recebem sinais dos sensores de ultrassônicos dos dois tanques e do sensor de vazão. Já a entrada analógica receberá um valor de tensão proporcional à variação de temperatura da água.



Figura 2.5 – Interface do software Arduino.

Com essas informações foi elaborado um código para encher o tanque superior até determinado nível e logo após ligar o relé para esquentar a água do mesmo, sendo mostrado na figura 2.5.

Desconsiderando as definições dos pinos de entrada e saída, esse código irá executar a seguinte sequência de operação: o sensor ultrassônico está constantemente enviando um sinal de alta frequência para calcular a distância dele para o objeto em questão (água).

O objetivo desse código é aquecer a água para que seja medida a tensão no pino analógico em que está conectada a saída do amplificador subtrator para alguns valores de temperatura medidos com um termômetro localizado dentro do tanque.

Com isso obtêm-se vários pontos de tensão-temperatura, que auxiliará na construção de uma curva de resposta do sensor de temperatura PT100 e assim verificar sua linearidade.

Assim que a fonte é ligada, a eletroválvula é aberta e a bomba é ligada. Foi definido um nível no tanque superior e, assim que a bomba acabar de bombear a água até esse nível, esta é desligada e a eletroválvula é fechada.

A próxima etapa consiste em ligar o relé e deixar a resistência aquecendo a água. Anota-se a tensão na saída analógica do Arduino e a correspondente temperatura apontada pelo termômetro. A curva Tensão X Temperatura é obtida ao se traçar os pontos obtidos neste ensaio.

A correta medição deve ser feita também com o relé desligado (água esfriando) para constatar a linearidade do sensor. Para efeito de simulação foi estabelecido que temperatura de referência (temperatura ambiente) como 25,5°C e temperatura de limite superior de 80°C.

C. Drivers e circuito de condicionamento de sinal

Os drivers são dispositivos eletrônicos responsáveis pelo acionamento do motor elétrico da bomba d'água, da eletroválvula e da resistência elétrica para aquecimento da água. É o dispositivo de interface entre o controle (microcontrolador) e o processo. Na mesma placa dos drivers foi colocado o circuito de condicionamento do sinal proveniente do sensor de temperatura, figura 2.7.

Os drivers consistem basicamente em choppers, interruptores operando com corte ou saturação, ligando ou desligando. Foram utilizados transistores TIP120 (Darlington) para acionar cargas indutivas e um diodo de roda livre foi inserido para evitar a sobretensão gerada toda vez que o interruptor é comandado a abrir.

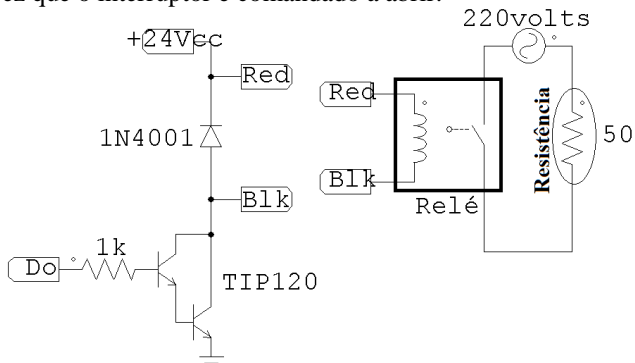


Figura 2.6 – Drivers.

D. Circuito de condicionamento de sinal

Primeiramente foi simulado por meio do software PSIM® o funcionamento do circuito condicionador do sinal do sensor resistivo PT100, em que é mostrado nas figuras 2.7 e 2.8.

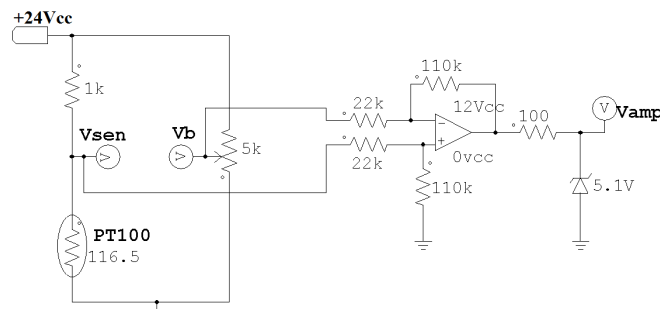


Figura 2.7 – Circuito de amplificação do sinal elétrico do sensor PT100.

Após a amplificação do sinal de saída do sensor de temperatura, foi possível construir uma tabela, por meio de testes experimentais, relacionando os valores encontrados para a o sinal enviado pelo sensor para o Arduino de acordo com a variação de temperatura observada no tanque analisado.

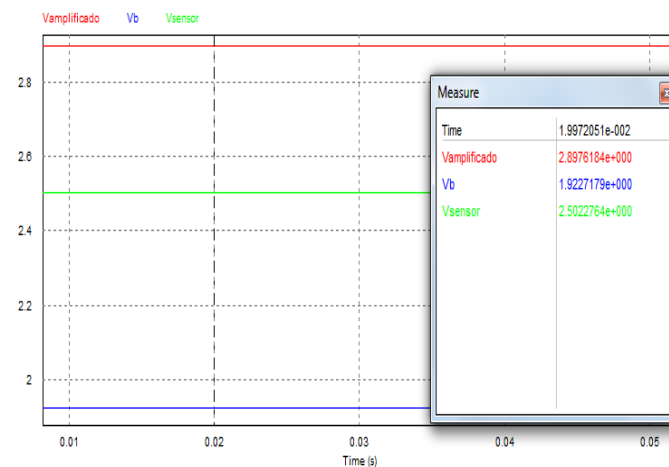


Figura 2.8 – Simulação do circuito da figura 2.6.

Foram coletados os valores para a variação da temperatura do tanque de 25,5°C a 82°C apresentados na tabela 2.1. Com o auxílio do software Matlab®, podemos esboçar a curva Temperatura X Tensão, conforme mostrada na figura 2.9.

De acordo com a figura 2.9, pode-se concluir que a relação entre a variação de temperatura do tanque e o sinal elétrico enviado do sensor PT100 para o Arduino é praticamente linear e pequenas correções serão necessárias para linearizá-la.

Tabela 2.1 – Relação Temperatura X Tensão.

Temperatura (°C)	Tensão (V)
25,5	2,75
29	2,94
30,5	3,00
33	3,10
34	3,15
35	3,20
37	3,28
40	3,41
41	3,45
42	3,49
44	3,56
45	3,60
47	3,68
50	3,80
53	3,91
55	3,99
57	4,06
59	4,12
62	4,25
65	4,34
67	4,40
70	4,50
72	4,55
75	4,65
77	4,70
80	4,78
82	4,82

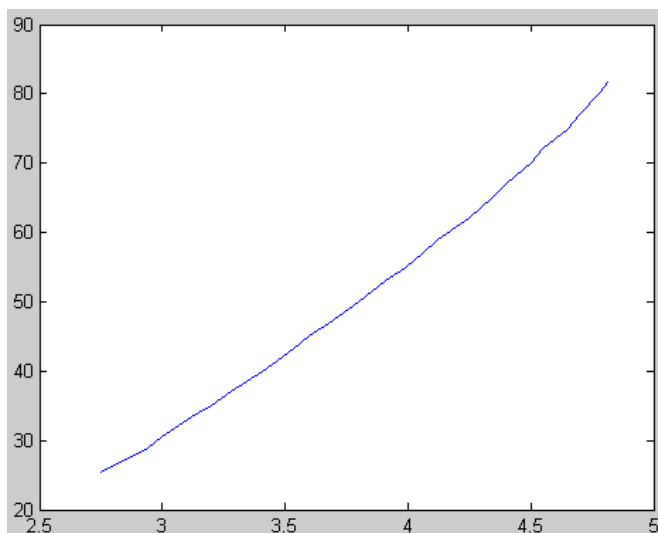


Figura 2.9 – Curva Temperatura X Tensão.

E. O microcontrolador Arduino

Arduino é uma plataforma com fonte aberta de prototipagem eletrônica baseada na flexibilidade, hardware e software fácil de usar. É destinado a artistas, projetistas, hobistas, e qualquer pessoa interessada em criar objetos ou ambientes interativos. Todas as informações necessárias podem ser obtidas na página do projeto <http://www.arduino.cc/>.

A figura 2.10 mostra o Arduino Uno. A maior vantagem do Arduino frente aos demais microcontroladores é sua simplicidade, tanto para manipular o hardware como para programá-lo. Outra vantagem é a padronização oferecida pela utilização de uma arquitetura aberta, gerando deste modo, programas ou funções que são facilmente utilizados em outras aplicações, estes programas estão difundidos pela internet. Existem inúmeros sensores e drivers desenvolvidos especialmente para serem utilizados com o arduino, e seus programas são disponibilizados gratuitamente.

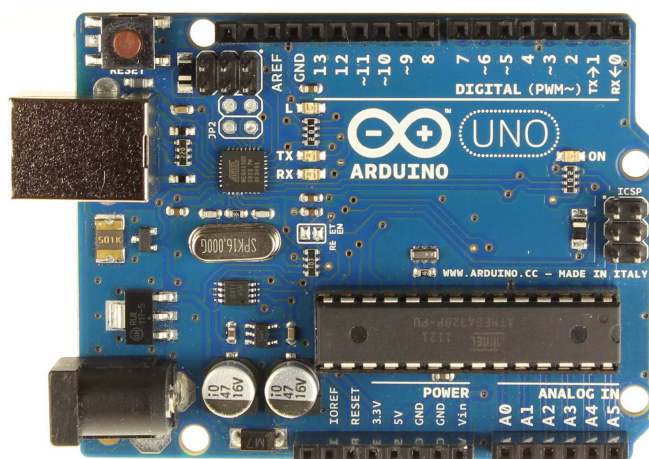


Figura 2.10 – Arduino Uno R3 frente.

Tabela 2.2 – Sumário do Arduino Uno (ATmega328)

Microcontrolador	ATmega328
Tensão de operação	5V
Tensão de entrada (recomendada)	7-12V
Tensão de entrada (limites)	6-20V
Pinos Digitais I/O	14 (6 saídas PWM)
Pinos de entrada Analógica	6
Corrente contínua por pino I/O	40mA
Corrente contínua por pino 3,3V	50mA
Memória Flash	32 KB, sendo 0,5 KB usado pelo bootloader
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Velocidade do Clock	16 MHz

III. CONCLUSÃO

Desenvolveu-se um kit didático para o ensino de controle digital de processos industriais. Este kit permite aos alunos conhecerem três dos controles industriais mais importantes, nível, temperatura e vazão. Além disso, os alunos podem implementar digitalmente tais técnicas de controle, podendo até mesmo emular um controlador industrial PID.

Como o objetivo é que os estudantes aprendam controle digital e controle de processos, é contraproducente investir tempo no aprendizado de microcontroladores complexos, os mesmos devem ser encarados como ferramentas. Este problema foi solucionado com o Arduino, por ser simples, fácil e eficiente. É uma ferramenta que quebra a resistência dos estudantes frente às tecnologias digitais.

Os resultados práticos foram surpreendentes, superando a melhor das expectativas. Conseguiu-se com facilidade testar as mais diversas técnicas de controle.

IV. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Wade, H. L. Basic and Advanced Regulatory Control: System Design and Application. ISA, 2nd Edition". ISBN 978-1-55617-873-3.
- [2] CAMPOS, MARIO CESAR M. MASSA DE, TEIXEIRA, HERBERT C. G. Controles Típicos de Equipamentos e Processos Industriais. Editora Edgard Blücher, 2006.
- [3] SMITH, CARLOS A., CORRIPIO, ARMANDO B. Princípios e Prática do Controle Automático de Processo. Editora LTC, 2009.
- [4] EGÍDIO ALBERTO BEGA. Instrumentação Aplicada ao Controle de Caldeiras. 3º Edição, Editora Interciência Ltda. ISBN: 85-7193-085-6.
- [5] ASTROM, K.J. and T.HAGGLUND. PID Controllers: Theory, Design and Tuning, Instrument Society of America, North Carolina. 1995.
- [6] Morais, A. S., Apostila de Controle Digital de Processos 2012;
- [7] Exacta, fabricante de sensores de temperatura. Acedido em 30 de abril de 2012, em: <http://www.exacta.ind.br/?p=conteudo&id=197>;
- [8] Automatize Sensores. Acedido em 30 de abril de 2012, em: <http://www.automatizesensores.com.br/ultrasonicos.html> ;
- [9] Datasheet do sensor HC-RS04;