

# DESIGN A CIRCUIT FOR ANALYSIS AND MONITORING DIGITAL CONTROL AT LOOP CLOSED NAMED, "BALL TUBE"

**Tainan L. Garcia, Luis F. de Deus, Kelvin H. Kobs, Ricardo N. Marchesan, Álysson R. Seidel**

Universidade Federal de Santa Maria - UFSM

Colégio Técnico Industrial de Santa Maria - CTISM

[tainanlgarcia@gmail.com](mailto:tainanlgarcia@gmail.com) , [dedeus.f.l@gmail.com](mailto:dedeus.f.l@gmail.com) , [kelvin.kobs@hotmail.com](mailto:kelvin.kobs@hotmail.com) ,  
[rikiardo93@gmail.com](mailto:rikiardo93@gmail.com) , [seidel@ctism.ufsm.br](mailto:seidel@ctism.ufsm.br)

**Abstract.** This work aims to make a system that allows a visual analysis of control techniques commonly used in closed-loop. Thus the aim is to analyze the response of Proportional control techniques, Proportional Integral and Proportional Integral Derivative in an interactive system. The system comprises a ball lying within a vertical tube with air flow applied to the tube from its lower end. The control should position the ball at a desired height, called the set point, from the variation of the air flow. For this, a circuit is created in which it is possible to change the air flow feedback with ball position in the tube by an ultrasonic sensor. A microcontroller is used to implement the set point, the error amplifier and the various drivers. The position is read by a microcontroller, which generates a PWM signal from the control action. The air flow control is performed by a buck converter and a cooler. The microcontroller also implements a system initialization routine. After executing this routine control test is enabled.

**Palavras-chave:** Control techniques, feedback, position the ball

## 1. INTRODUÇÃO

Este trabalho tem por objetivo fazer um sistema que possibilite uma análise visual das

técnicas de controle comumente utilizadas em malha fechada. O circuito baseia-se no princípio de circuito similar ao desenvolvido por Passold *et al.* [1]. Muitas técnicas e circuitos com bola tubo foram desenvolvidos para realizar diversas análises como Masoudi *et al.* [2], O objetivo deste trabalho foi controlar a posição de duas bolas em tubos verticais interligados usando dois ventiladores alimentados em corrente contínua, sensores ultrassônicos e controlador computadorizado, um circuito de testes bastante utilizados para controladores. O terceiro projeto foi realizado por Quijano *et al.* [3] em Ohio, Estados Unidos, sendo neste projeto utilizado quatro tubos paralelos de forma que o início e o final dos tubos foram interligados em comum.

Recentemente foram testados controladores PID conforme Liaupius *et al.* [4]. Em Pereira *et al.* [5] uma bola no tubo do dispositivo é utilizada para comparar o controlador PID convencional e várias tipos de controladores fuzzy. E em Ziwei *et al.* [6] um controlador PID fuzzy foi utilizado para ajustar a posição da bola automaticamente. Desse modo o que se pretende neste trabalho é analisar a resposta das técnicas de controle Proporcional, Proporcional Integral e Proporcional Integral Derivativo em um sistema interativo a partir da montagem de um sistema.

## 2. CONTROLE DE PROCESSOS

Na literatura existem alguns tipos de controles, dentre eles por exemplo, o Proporcional (P), Proporcional Integral (PI) e o Proporcional Integral Derivativo (PID), cada um com suas características, onde os dois últimos corrigem o erro por completo em regime permanente, diferentemente do Proporcional. Esses controles são muito utilizados na indústria e em diversos processos, sendo o objetivo desse trabalho poder apresentar visualmente a resposta de cada controlador na forma digital, para que assim possa se fazer uma análise do comportamento de cada um. O Quadro 1, apresenta a nomenclatura de cada variável necessária para realizar os cálculos e a atuação do controlador PID no processo analisado.

Quadro 1 - Variáveis necessárias para realização do cálculo dos controles

Variável	Descrição
$u$	Valor de atuação
$K_p$	Ganho proporcional
$S$	Frequência
$K_I$	Ganho integral
$K_D$	Ganho derivativo
$e$	Erro
$t$	Tempo

### 2.1 Controle Proporcional

O controle P trata-se de uma relação entre o erro e o ganho proporcional, esse gera um valor de atuação no circuito, dado por (1):

$$u = (k_p * e(t)) \quad (1)$$

Um controlador proporcional ajuda a diminuir o erro de regime permanente, no entanto, jamais consegue eliminá-lo.

### 2.2 Controle Proporcional Integral

O controle PI é aquele que relaciona os ganhos proporcional e integral e com o erro,

gerando um valor de atuação no circuito dado por (2):

$$u = (k_p * e(t)) + \left( \frac{k_i}{S} * e(t) \right) \quad (2)$$

### 2.3 Controle Proporcional Integral Derivativo

O controle PID é o controle que relaciona ganhos proporcional, integral e derivativo. Esse tipo de controle pode apresentar um valor baixo de sobressinal, além de apresentar um valor de erro aproximado do nulo, quando se encontra em regime permanente conforme é apresentado em (3):

$$u = (e(t) * k_p) + \left( \frac{k_i}{S} * e(t) \right) + (k_d * S * e(t)) \quad (3)$$

## 3. SENSOR ULTRASSÔNICO

Esse sensor no sistema empregado, mostrado na Figura 1, tem a função de medir a altura da bola no interior do tubo através da leitura do conversor A/D do microcontrolador empregado.

## 4. MICROCONTROLADOR

É utilizado para a implementação do *setpoint* ou referência através da programação aonde se define um valor fixo. É com esse valor de referência que a partir da lei de controle implementada que se consegue manter a bola na altura de referência e com diferentes respostas, a qual é estipulada pelo projetista através do código de programação. É responsável também por trabalhar com o valor que o sensor envia a ele o transformando em um sinal equivalente PWM (*Pulse Width Modulation*), o qual é empregado para acionar um conversor *Buck*. O microcontrolador implementa também uma rotina de inicialização do sistema. Após a execução dessa rotina o controle em teste é habilitado. O diagrama de blocos na “Fig. 1” representa o sistema.

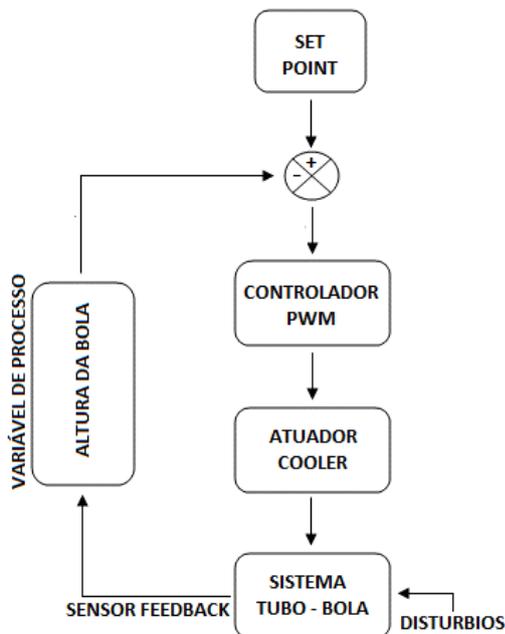


Figura 1 Diagrama de blocos do Sistema de Testes.

## 5.CONVERSOR BUCK

Um conversor estático de potência CC-CC do tipo Buck mostrado na Figura 2 para controle da tensão no *cooler* foi projetado. Este conversor operar em modo de condução de corrente CCM (*Continuous Conduction Mode*). O conversor Buck ou *step-down*, tem como principal característica a conversão de tensão CC, em outra tensão CC, mas com valor inferior. O circuito apresentado na figura 2 mostra a topologia básica do conversor. Conforme Pomilo [7] o conversor Buck é um circuito chaveado no qual usa a relação do *duty-cycle* do PWM (*Pulse Width Modulation*) para definir a relação entre tensão de entrada e saída. O controle de fluxo de ar é realizado pelo conversor *Buck* e um *cooler* que no qual vai variar a sua velocidade através da tensão de saída do conversor, podendo assim fazer o controle da altura da bola.

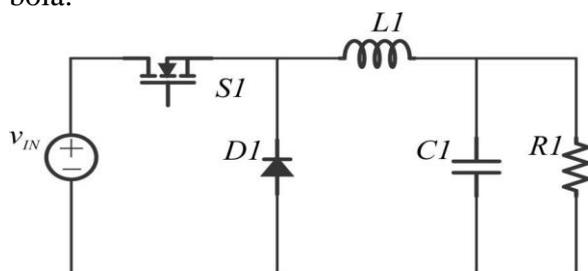


Figura 2 Conversor Buck.

## 6.RESULTADOS

Os resultados obtidos pelo projeto foram satisfatórios, pode-se observar visualmente o tipo de resposta de cada controle até chegar no *setpoint* estipulado, onde nas figuras abaixo encontra-se em 12,5 V facilitando assim o entendimento e análise dos diversos tipos de controle. A Figura 3 mostra a resposta do método de controle proporcional (P) onde em regime permanente encontra-se com erro de 1,1 V. A Figura 4 mostra a resposta do controlador proporcional integral (PI) que em regime encontra-se com erro de 0,5 V. E a Figura 5 mostra a resposta do controlador proporcional integral derivativo (PID) que em regime apresenta erro de 0,2 V. A Figura 6 mostra a foto do protótipo desenvolvido incluindo bola, tubo, cooler, e chaves seletoras para testar diferentes formas de controle.



Figura 3 Controle Proporcional



Figura 4 Controle Proporcional Integral



Figura 5 Controle Proporcional Integral Derivativo

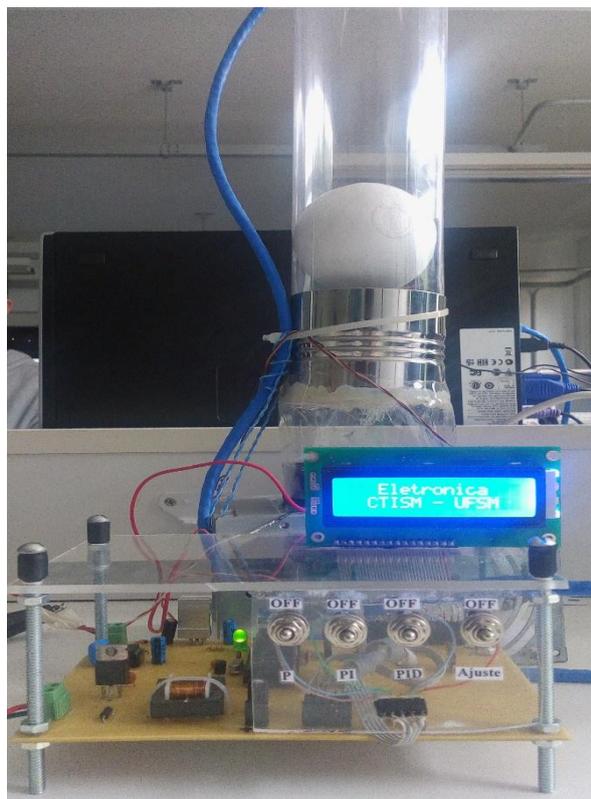


Figura 6 Protótipo Desenvolvido

## 7. CONCLUSÃO

A proposta do projeto que destaca a importância de um sistema interativo e visual para análises dos diversos tipos de controles usados em malha fechada, mostra-se efetivo para a compreensão e melhor entendimento sobre cada tipo de controle usado neste projeto. Para trabalhos futuros pretende-se trabalhar em uma análise mais completa da planta para obter um resultado mais eficaz dos controles. No design do protótipo e na

troca do microcontrolador para avançar nas melhorias de interação do software com o hardware para ampliar a interatividade do usuário como o sistema.

## REFERÊNCIAS

[1] Passold, F. Controlador digital para processo da Bola e Tubo. Disponível em: <[http://usuarios.upf.br/~fpassold/bola\\_tubo/index.html](http://usuarios.upf.br/~fpassold/bola_tubo/index.html)>. Acesso em 05 agosto de 2015.

[2] Masoudi, R. Position Control of Two Balls in Two Interconnected Vertical Tubes Using Controlled DC Fans and Sliding Mode Control

[3] A. E. Gill, N. Quijano, and K. M. Passino, "The Balls-in-Tubes Experiment," Report, Ohio State University, 2004.

[4] G. Liauþius, V. Kaminskas, and R. Liutkeviþius, "Digital Self-tuning PID Control of Pressure Plant with Closed-loop Optimization," Information Technology and Control, vol. 40, No. 3, pp. 202-209, 2011.

[5] J. S. Pereira and J. B. Bowles, "Comparing controllers with the ball in a tube experiment," Proceedings of the Fifth IEEE International Conference on Fuzzy Systems, pp. 504-510, 1996.

[6] O. Ziwei, S. Michael, and W. Kexin, "The experiment "Ball-in-tube" with Fuzzy-PID controller based on dspace," IEEE International Conference on Man and Cybernetic systems, pp. 877-881, 2007.

[7] J.A. POMILO, Topologias Básicas de Conversores CC-CC não-isolados. Disponível em: <<http://www.dsce.fee.unicamp.br/~antenor/pdffiles/CAP1.pdf>>. Acesso em 12 de agosto de 2015. >