



**UNIVERSIDADE
FEDERAL DO CEARÁ**
CAMPUS SOBRAL

Curso de Engenharia Elétrica
Laboratório de Sistemas de Controle

Controle de Tanque de Nível

Alunos: Denisia Vasconcelos Mota

Julio Cesar Ferreira Lima

Renato Fonteles de Sousa

Prof.: Reuber Regis de Melo

Sobral, **Dezembro de 2017**

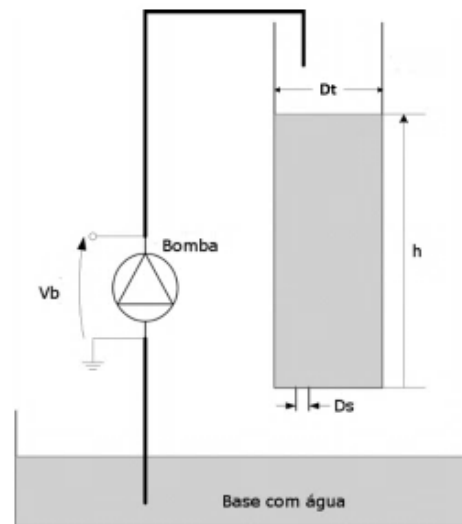
SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| SUMÁRIO | 2 |
| INTRODUÇÃO | 3 |
| DESENVOLVIMENTO | 6 |
| 1. Tanque | 6 |
| 2. IHM (Interface Homem Máquina) | 9 |
| 3. Sensor | 9 |
| 4. Driver | 10 |
| 5. Controle | 11 |
| 1. Definição de Constantes | 11 |
| 2. Medição | 12 |
| 3. Atuação | 12 |
| REPOSITÓRIO PÚBLICO | 13 |
| CONCLUSÃO | 14 |
| BIBLIOGRAFIA | 15 |
| ANEXOS | 16 |

INTRODUÇÃO

Os sistemas automáticos de níveis de água atualmente estão presentes em boa parte no cotidiano da vida humana, sejam em indústrias ou mesmo nas casas, tendo em vista os conceitos de reutilização ou captação de água. Para controlar estes tipos de sistemas, geralmente utilizam-se de sensores de nível para acionamento da bomba e o controle pode ser feito a partir de um controlador PID ou por histerese, por exemplo. O relatório referente a este projeto se limitará à um controle realizado com base na histerese de sistemas de controle, nos quais os procedimentos serão apresentados mais adiante. A Figura 1.1 mostra um exemplo esquemático de um sistema hidráulico controlado pela bomba.

Figura 1.1 – Sistema hidráulico controlado.



Fonte: Reuber Regis

Em um sistema deste tipo, é necessário saber alguns parâmetros para se atingir os níveis conforme se deseja no projeto implementado. Um destes parâmetros é o fluxo de entrada de líquido no tanque, que pode ser obtido com a equação (1) a seguir:

$$F_e = K_b V_b \quad (1)$$

Onde K_b é a constante de fluxo da bomba e V_b a tensão elétrica na mesma. Já a velocidade deste fluxo pode ser dada pela equação de Bernoulli, mostrada na equação (2) a seguir.

$$v_s = \sqrt{2gh} \quad (2)$$

Onde g é a aceleração da gravidade e h a altura de líquido no tanque. A área e orifício do tanque podem calculados de acordo com o formato do tanque e do orifício. Para um tanque e orifício com formato cilíndrico, as áreas dos mesmo podem ser calculados conforme as equações (3) e (4) a seguir, respectivamente.

$$A_t = \frac{\pi D_t^2}{4} \quad (3)$$

$$A_s = \frac{\pi D_s^2}{4} \quad (4)$$

Pode-se também com as equações já obtidas o fluxo de saída de líquido do tanque multiplicado a área do orifício pela velocidade do fluxo. Para o caso do formato cilíndrico de orifício, com a equação (5) obtém-se o fluxo de saída.

$$F_s = A_s \sqrt{2gh} \quad (5)$$

Assim, a taxa de fluxo do tanque pode ser obtida com a subtração entre o fluxo de entrada e o fluxo de entrada, resultando na equação (6) a seguir.

$$F_t = K_b V_b - A_s \sqrt{2gh} \quad (5)$$

Pode-se dizer que a taxa de fluxo do tanque é a derivada do volume em relação ao tempo e o volume pode ser calculado como a altura multiplicada pela área do tanque. Logo, de acordo com a equação (5) acima, após substituído o volume por $A_s h$ na derivada, pode-se isolar o h . Encontra-se, assim, a equação (6) a seguir.

$$\frac{dh}{dt} = \frac{K_b V_b - A_s \sqrt{2gh}}{A_t} \quad (6)$$

Integra-se (6) para se encontrar uma equação para a altura. A equação (7) mostra a equação obtida:

$$h(t) = \int \frac{K_b V_b - A_s \sqrt{2gh}}{A_t} \quad (7)$$

Para o equilíbrio do sistema, é necessário que o mesmo esteja no chamado ponto de operação. Pode-se assim linearizar a (7) a partir dos três primeiros termos da série de Fourier. Seja $\hat{h} = h - h_0$ e $\hat{V}_b = V_b - V_{b0}$ para pequenas variações de altura e tensão na bomba e o sistema atuante em um ponto de operação onde a taxa de fluxo seja igual a zero, a equação (8) mostra o resultado da equação linearizada para o projeto.

$$\frac{dh}{dt} = -\frac{A_s g \sqrt{2}}{2A_t \sqrt{gh_0}} \hat{h} + \frac{K_b \hat{V}_b}{A_t} \quad (8)$$

Se na equação acima, for utilizado \hat{h} , como a derivada de h_0 é constante, pode-se escrever (8) como:

$$\frac{d\hat{h}}{dt} + \frac{A_s g \sqrt{2}}{2A_t \sqrt{gh_0}} \hat{h} = \frac{K_b \hat{V}_b}{A_t} \quad (8)$$

Aplicando a transformada de Laplace na equação (8), encontra-se a função transferência do sistema mostrada na equação (9).

$$G(s) = \frac{\hat{H}(s)}{\hat{V}_b(s)} = \frac{2K_b \sqrt{gh_0}}{2\sqrt{gh_0} s A_t + A_s \sqrt{2g}} \quad (9)$$

Onde, da equação (9), pode-se generalizar a função normalizada de malha aberta como na equação (10) a seguir.

$$G(s) = \frac{K_{dc}}{\tau s + 1} \quad (10)$$

Onde K_{dc} (ganho DC) e τ (constante de tempo) são conforme (11) e (12), respectivamente:

$$K_{dc} = \frac{K_b \sqrt{gh_0} \sqrt{2}}{A_s g} \quad (11)$$

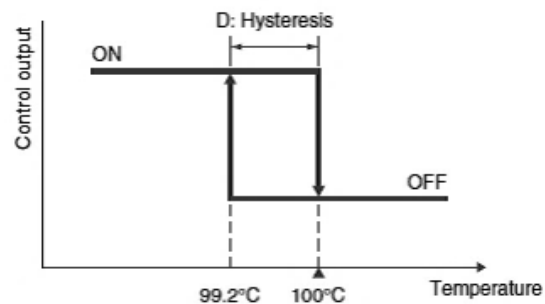
$$\tau = \frac{\sqrt{gh_0} s A_t \sqrt{2}}{A_s g} \quad (12)$$

Para o sistema controlado, a histerese é implementada na forma dinâmica de um determinado atraso da saída em referência com a entrada, desde que esta seja lentamente variável. Este tipo de histerese é uma relação de dependência de taxas, ou seja, pode funcionar com sistemas que necessitem de armazenamento durável de

memória. Esta técnica como controlador serve basicamente para filtragem de sinais a fim de que se obtenha uma saída mais lenta de acordo com a memória armazenada de um sinal mais recente.

Em um sistema baseado em ações liga/desliga, este controle reduz a vida útil ou afeta os dispositivos conectados a este sistema. Por isso, a utilização da técnica de histerese torna-se interessante para sistemas do tipo, resultando, assim, em uma seleção de uma determinada faixa, por exemplo com temperatura, como mostra Figura 1.2.

Figura 1.2 – Exemplo de Histerese para temperatura.



Fonte: Google imagens,

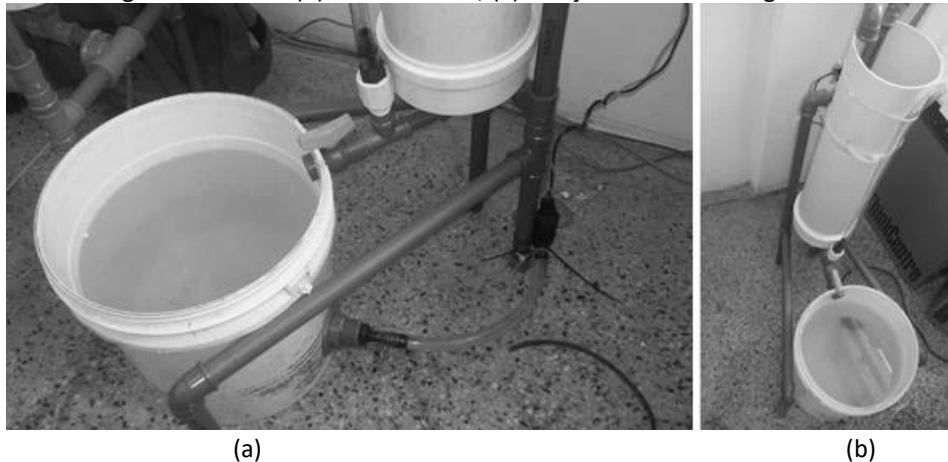
Onde na figura 02, *duty cycle* igual a $0,8^{\circ}\text{C}$ para o valor de histerese $0,2\%$, a saída do sistema é desligada em 100°C e novamente ligada caso atinja a temperatura de $99,2^{\circ}\text{C}$.

DESENVOLVIMENTO

1. Tanque

Para a construção do sistema físico foi feito uso de tubulações em PVC a fim de se obter caminho e encanamento para o fluxo de água, como também base e estrutura do mesmo material para o próprio sistema. Além disso, fez-se necessária na montagem a aplicação da bomba d'água do sistema ao lado inferior do tanque de reservatório, com intuito de garantir sempre a realimentação de água dentro das engrenagens da bomba. O resultado do sistema é mostrado abaixo pela Figura 2.1.

Figura 2.1 e 2.2 – (b) Sistema físico; (a) Posição da bomba d'água.



Fonte: Próprio autor.

Como ilustra a Figura 2.2, para o tanque com altura a ser controlada, a equipe o construiu no sistema com tubulação de 150mm de diâmetro, uma altura máxima de 80 cm. O Reservatório trata-se de um balde com capacidade até 25 Litros, e para tubulação de fluxo e a estrutura de sustentação de 4 apoios, a matéria prima foi materiais de encanamento de 20 e 25 mm respectivamente de diâmetro. Assim, para o equacionamento, o tanque terá uma área de $56,25 \text{ cm}^2$.

Da equação 01, para o sistema utilizado em questão faz-se necessário saber as características físicas da bomba d'água utilizada. O grupo optou por utilizar um motor de corrente contínua utilizado em para-brisas de automóveis, com sua alimentação sendo 12V e máximos de corrente de aproximadamente 4,5 A. A Figura 2.3 a seguir mostra o modelo da bomba utilizada na implementação do projeto

Figura 2.3 – Bomba d'água TSN 12V.



Fonte: Google Imagens.

Com isso, para o sistema utilizado, foi decidido utilizar como sinal de comando para a bomba um sinal PWM (*Pulse Width Modulation*) que se trata de um sinal periódico com ciclo de trabalho “d” variável, pois neste caminho, garantia-se valores de tensão os quais a bomba foi projetada, sempre em 0 ou 12 volts, diminuindo erros e não linearidades providas pela bomba. Dessa forma, a equação 01 terá uma relação periódica, onde deve ser utilizado a tensão média, calculada por:

$$F_e = K_b \times V_{b_{\text{médio}}} \quad (13)$$

Ou seja, o cálculo dos valores médios de tensão na bomba $V_{b_{\text{médio}}}$ dar-se pela seguinte forma:

$$V_{b_{\text{médio}}} = \frac{1}{T} \int_0^T V_b(t) \times dt = \int_0^{T*d} 12 \times dt + \int_{T*d}^T 0 \times dt = 12 \times d \quad (14)$$

Portanto, substituindo a equação acima em 13, temos:

$$F_e = K_b \times (d \times 12) \quad (15)$$

Logo, para encontrar a constante da bomba, faz-se necessária o uso também de sinal PWM, o qual terá relação entre o fluxo dado pela equação anterior.

Com isso, de forma empírica, a equipe obteve no experimento medições de variação de altura da coluna d'água do sistema e qual o tempo levou esta variação de volume para determinado valor de ciclo de trabalho (d). Com a utilização de um micro controlador, junto a um circuito de chaveamento com MOSFET IRFZ648N, para experimento com a finalidade de se obter a constante da bomba, foi montado um circuito driver para a bomba d'água de acordo com o esquemático da Figura 2.5 a seguir:

Em seguida, com um programa simples dentro do micro controlador, de forma a guardar uma variável do tipo *float* em linguagem C/C++, o código simples é apenas um chaveamento com sinal alto no instante de tempo do ciclo de trabalho, e o desligamento no resto do período. Dessa forma, variando o valor da variável de ciclo de trabalho d, tem-se os resultados obtidos das medições feitas na tabela abaixo:

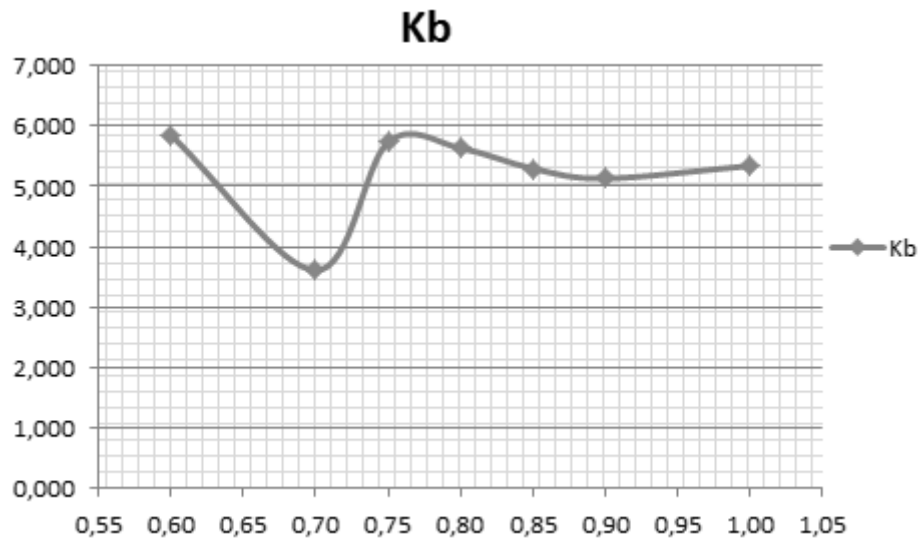
Tabela 2.1 – Variáveis para cálculo da constante da bomba K_b .

| Ciclo de Trabalho | Δ Altura(m) | Δ Tempo(s) | Δ Volume(cm ³) | Fluxo (cm ³ /s) | K_b |
|-------------------|--------------------|-------------------|-----------------------------------|----------------------------|--------|
| 0,60 | 0,10 | 41,96 | 1767,14550 | 42,1150024 | 5,8493 |
| 0,70 | 0,10 | 58,27 | 1767,14550 | 30,3268492 | 3,6103 |
| 0,75 | 0,20 | 68,57 | 3534,29100 | 51,5428176 | 5,7270 |
| 0,80 | 0,06 | 19,61 | 1060,28730 | 54,0687047 | 5,6322 |
| 0,85 | 0,20 | 65,46 | 3534,29100 | 53,9916132 | 5,2933 |
| 0,90 | 0,10 | 31,90 | 1767,14550 | 55,3964107 | 5,1293 |
| 1,00 | 0,10 | 27,58 | 1767,14550 | 64,0734409 | 5,3395 |

Para os cálculos da tabela, com um cronômetro foi medido no sistema a variação da altura e qual o tempo em que o sistema levou para atingir àquela altura. Como os valores de área do cilindro de 75mm de raio são conhecidos, a variação do volume pode ser obtida. Por fim, o cálculo do fluxo é simplesmente a razão entre a variação do volume com a variação do tempo, onde com a equação 15, foi feita a coluna da tabela 01 para cálculo de K_b com a seguinte equação:

$$K_b(d) = \frac{F_b}{d \times 12} = \frac{\frac{\Delta \text{Volume}}{\Delta \text{tempo}}}{d \times 12} \quad 16$$

Fazendo um gráfico de dispersão, é possível notar os diferentes modos de comportamento da bomba, como mostra a Figura 2.4;

Figura 2.4 - Gráfico de dispersão para eixo x ciclo de trabalho e eixo y constante K_b .

Fonte: Próprio autor.

Do gráfico, é notório a o erro relacionada a medição em “d” igual a 0,7, o que define um erro no momento da medição por fatores de problemas com a bomba, limitação de corrente da fonte ou a atuação da sobre carga que neste caso teve efeito maior por mudanças físicas da quantidade de água na bomba. Com isso, é válido fazer o cálculo final na constante K_b ignorando esses tipos de extremos encontrados.

Então, para o cálculo da constante K_b , pode-se adotar um dos valores encontrados, ou fazer um levantamento em cima das diferentes medições, calculando uma média aritmética da constante, que resultará em:

$$K_b = \frac{5,849 + 5,727 + 5,632 + 5,293 + 5,129 + 5,329}{6} = 5,945 \quad 17$$

Ainda no sistema físico, a equipe utilizou de uma chave reguladora de fluxo a fim de se ter controle quanto a vazão do fluxo de saída, permitindo assim ajustá-lo de acordo com a dinâmica do resto do sistema. Contudo, para o equacionamento faz-se necessária a área da secção transversal onde o fluxo cai no reservatório, algo quase impossível de se obter com equipamentos de medições ao tentar medir na chave reguladora de fluxo. Partindo da equação 5, sabemos que a área será:

$$A_s = \frac{F_s}{\sqrt{2 \times g \times h}} = \frac{1}{\sqrt{2 \times g \times h}} \times \frac{\Delta \text{volume}}{\Delta \text{tempo}} \quad 16$$

Então, a equação acima mostra que, com um valor constante de uma coluna d’água, calculando uma variação de volume e o tempo gasto, é possível estimar a área da secção transversal da vazão. Dessa forma, o grupo fez de forma empírica um experimento com intuito de calcular a área A_D , mantendo uma altura h de 40cm. Com gravidade sendo 982 cm/s^2 , temos a tabela feita para 5 medições da área, e uma estimativa média sendo:

Tabela 2.2 – Estimativa da área da secção transversal do fluxo de saída:

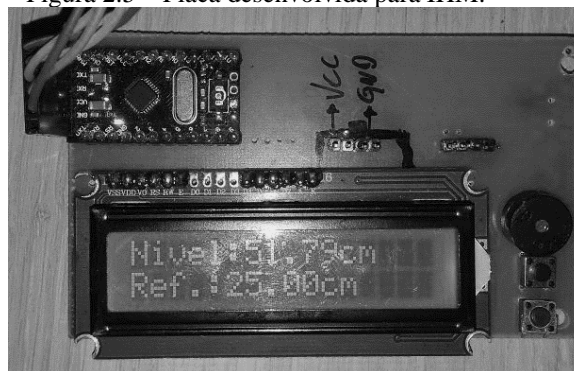
| Tempo(s) | Δ Volume (cm ³) | Fluxo (cm ³ /s) | Área (cm ²) |
|------------|------------------------------------|----------------------------|-------------------------|
| 17,03 | 500,00 | 29,3599530 | 0,1048 |
| 16,21 | 490,00 | 30,2282542 | 0,1078 |
| 15,86 | 470,00 | 29,6343001 | 0,1057 |
| 15,80 | 450,00 | 28,4810127 | 0,1016 |
| 18,13 | 538,96 | 29,7275234 | 0,1061 |
| Área Média | | | 0,1052 |

Portanto, os experimentos mostraram que o sistema tem constante da bomba K_b igual a 5,945 e a área da secção transversal da tubulação de saída foi de 10,52 mm².

2. IHM (Interface Homem Máquina)

A IHM desenvolvida, teve como intuito a facilidade na hora de interagir na mudança do valor de referência e na visualização do nível atual do tanque independentemente da medição analógica, essa por meio de um duto transparente. Nela foi utilizada um display LCD 16x2, onde é possível a verificação dos valores. Dois botões para mudança no valor da referência. Dois barramentos, um destinado ao sensor ultrassônico, e o outro destinado a placa de *driver*. Uma saída seria, onde os valores de PWM, nível do tanque e valor de referência, são enviados ao computador para análise. Assim como o micro controlador ATMEGA168-P, responsável pelo controle e aquisição de dados. O esquemático e a placa discurrida nesta seção encontra-se nos anexos deste relatório.

Figura 2.5 – Placa desenvolvida para IHM.



Fonte: Próprio autor.

Além da placa desenvolvida para a IHM, ainda há a possibilidade de conexão a um computador e assim fazer a análise dos dados. No entanto esse não é a principal vantagem desta conexão com a serial, e sim a possível plotagem dos gráficos e análise da dinâmica do sistema. Este é um dos grandes diferenciais deste projeto.

3. Sensor

O sensor utilizado neste projeto é o sensor ultrassônico HC-SR04, utilizado para medir distâncias entre 2cm até 4m. Com o intuito de fixação na estrutura desenvolvia, o sensor foi encapsulado em um case como mostra a Figura 2.6 abaixo.

Figura 2.6 – Sensor ultrassônico envolto em um case.

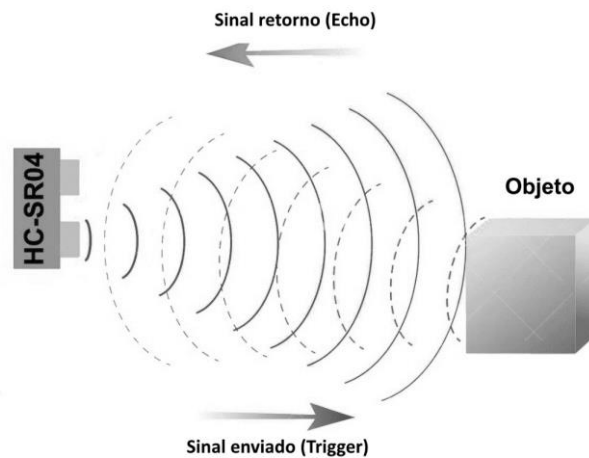


Fonte: Próprio autor.

O princípio de funcionamento deste sensor é baseado na velocidade do som no ar que é constante e de valor igual a 346,3m/s² se medido a CNTP. Por se tratar de uma grandeza constante, quando o sensor envia um pulso de sinal sonoro ele se propagará na velocidade do som, percorrerá o caminho, baterá no sólido, se encontrar um, a uma distância de até 4m e retornará o ECHO. Assim o micro controlador após o envio do sinal dispara um contador que só irá parar quando o ECHO for retornado, o valor deste contador multiplicado pela constante de velocidade do som no ar irá proporcionar o valor da distância percorrida, que deverá ser dividida por dois, pois

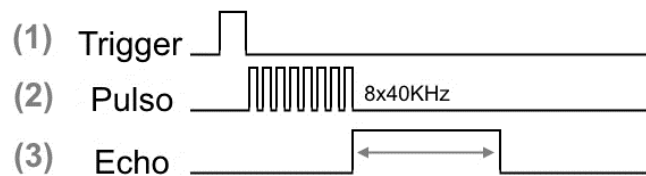
esta representa a distância de ida e retorno do sinal de som, pois como o caminho percorrido é o mesmo, ambas são iguais. A Figura 2.7 abaixo ilustra o processo elencado acima. Já a Figura 2.8 ilustra o processo da variação do sinal elétrico que acontece nas portas digitais do micro controlador.

Figura 2.7 – Processo de medição de distância com sensor ultrassônico.



Fonte: Blog FilipeFlop.

Figura 2.8 – Processo elétrico nas I/Os do micro controlador.

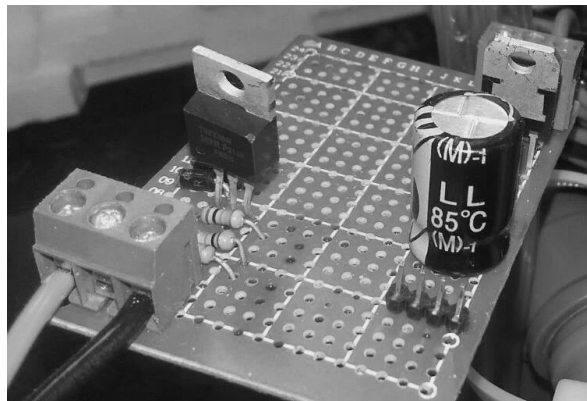


Fonte: Blog FilipeFlop.

4. Driver

O *driver* representa a parte de potência de um projeto, sendo este responsável pelo chaveamento de uma alta corrente, pois o controlador não suporta esse nível de potência, sendo assim indispensável. A placa de controle desenvolvida segue abaixo na Figura 2.9.

Figura 2.9 – Placa de circuito do *driver*.



Fonte: Próprio autor.

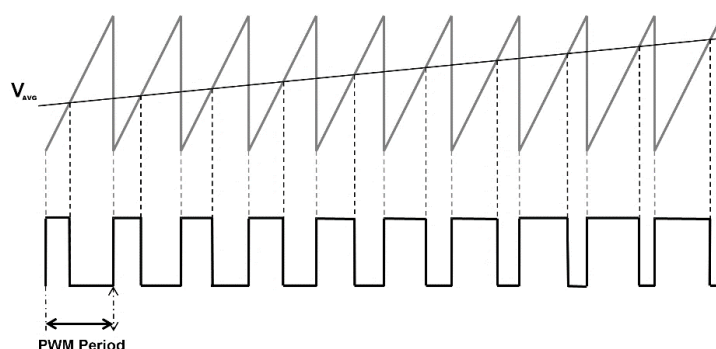
A placa consiste em um borne para alimentação em 12V CC, e outro para a conexão com a bomba d'água, motor CC, neste caso. O pino de 12V parte direto para um dos terminais do motor, e a saída do motor

será conectado no dreno de um MOSFET. Em antiparalelo com o motor será ligado um diodo *ultra fast*, na função de diodo de roda livre, para que possa fechar a malha e dissipar a corrente armazenada nos enrolamentos do motor, no momento em que ele for desligado, evitando o centelhamento, a propagação de ruído e possíveis problemas relacionados a chaves eletrônicas. Foi escolhido um diodo *ultra fast*, por conta do seu tempo de recuperação ser elevado, logo ele atuará de maneira rápida conduzindo a corrente, assim que o motor for desligado, ou passar por um ciclo onde a chave eletrônica o desliga. O MOSFET foi escolhido, por conta da sua baixíssima resistência de dreno *source* e comportando-se quase como uma chave perfeita e evitando, o aquecimento deste, evitando a necessidade de colocação de um dissipador de calor. Na *gate* do MOSFET foi colocado um resistor de *pull-down*, assim evita que na presença de um ruído externo ou instabilidade do sistema o MOSFET conduza. Novamente entre o *gate* e o borne de conexão com o micro controlador foi colocado um resistor para limitação da corrente oriunda do micro controlador, este resistor não é necessariamente necessário, é apenas uma questão de proteção para o micro controlador em caso de mal funcionamento da chave. O circuito foi pensado de modo a funcionar de maneira desacoplada de duas fontes de alimentação, bastando assim apenas a alimentação da placa do *driver*. Neste intuito foi inserido um CI de regulação de tensão LM7805, que tem a função de reduzir e manter na saída 5V CC, com valores de entrada que podem variar de 35V a 5V. Além do regulador foram adicionados uns capacitores para filtragem de frequências altas, assim como controle do *ripple* oriundo da fonte. A saída deste regulador, juntamente com o *ground* e pino de entrada para o resistor do *gate*, foram ligados em um barramento de com 4 pinos, poderiam ser utilizados apenas 3 pinos, porém por uma preferência em manter o padrão oriundo do circuito de IHM, foi optado por manter os quatro e deixando assim um pino não conectado a nada. O esquemático discorrido nesta seção encontra-se nos anexos deste relatório.

5. Controle

O controle utilizado neste projeto, foi o PWM (Pulse Width Modulation), que compreende na variação da largura de pulso de uma onda quadrada de frequência fixa, desse modo é variada a energia na saída. No sistema de um motor CC de rotação relativamente baixa o controle com variação de energia, por PWM, em uma frequência de 500Hz é funciona relativamente bem, pois trata-se de uma relação de frequência de controle e frequência de atuação alto, isto é a frequência do controle é muito mais alta que a frequência que o motor trabalha. A variação da energia, ocorre com a variação do *duty cycle*, que compreende na porcentagem em que o pulso permanece em nível alto, a cada ciclo. Assim a variação do *duty cycle* provocará a variação da energia variando a tensão média aplicada nos terminais do motor.

Figura 2.10 – Variação de tensão média por PWM.



Fonte: Google imagens, editado pelo autor.

1. Definição de Constantes

Primeiramente foram definidas as constantes relativas aos erros provocados pelo tanque nível em relação ao sensor. Após a fixação do sensor em seu devido local de operação, com o tanque vazio foi anotado o valor mostrado. Este valor corresponde a distância total do sensor ao fundo do nível.

Após o processo citado no próximo tópico ainda se observou um erro relativo ao fundo real do tanque em relação a régua de medição, pois o nível indicava um número inferior ao mostrado pelo nível analógico, isso

se dá pelas relações não lineares, por conta de conexões da estrutura no fundo do tanque. A diferença que faltava para a que as duas medidas fossem iguais foi anotada.

A constante de histerese trata-se da distância em que o controlador irá preocupar-se com o controle, isto dentro da região de histerese o sistema estabiliza-se, não havendo mais incrementos ou decrementos pelo controlador. Então esta constante precisará ser definida de modo que o sistema não fique demasiado lento, como também não apresente muito ruído ao estabilizar-se. Esta constante foi obtida determinando inicialmente um valor que se acreditava ser um bom parâmetro, de forma intuitiva. A posteriori tal constante foi modificada, para observação se melhores resultados eram encontrados. Ao fim se percebeu que a determinação da constante ideal era a considerada inicialmente.

Precisa-se de um valor inicial para o valor de referência, como o tanque possui cerca de 50cm de comprimento, optou-se pelo valor médio.

Deste modo tais constantes elaboradas seguem abaixo, respectivamente na ordem que foram apresentadas:

- *clvlwater*: 47.59
- *deltaSystem*: 0.5
- *waterlvl*: 25
- *offset_lvlwater*: 4.2

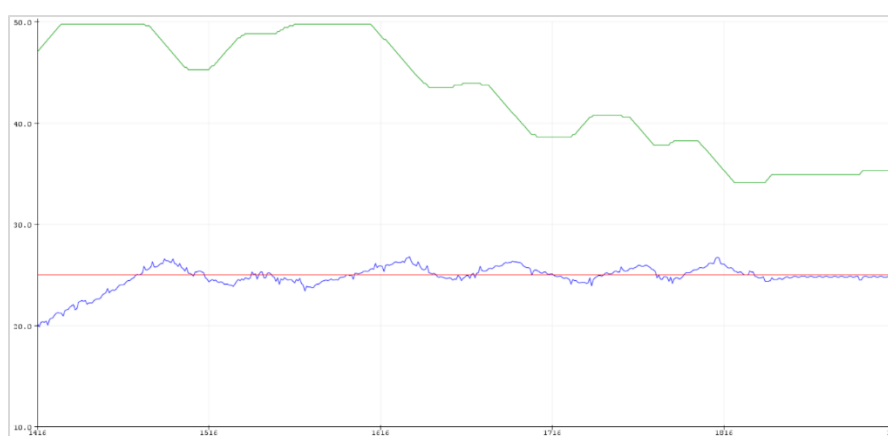
2. Medição

A cada ciclo no *main()* do programa que acontece a cada 10ms, o micro controlador faz a leitura da distância. No entanto, como neste trabalho o intuito não é a medição da distância do sensor ao nível do tanque e sim do nível zero do tanque até o seu valor mais alto, se subtrai da variável *clvlwater* o valor de distância medido e por sua vez se soma o erro relativo a medição da distância pelo sensor até o fundo do tanque *offset_lvlwater*. Dessa forma o sinal resultante é de fato a leitura do nível do tanque em relação ao nível zero.

3. Atuação

A atuação, acontecerá de maneira incremental, se a distância capturada estiver acima do nível de referência, será subtraído o *duty cycle* do PWM e verificado de novo se atendeu a referência, fechando assim a malha para o primeiro caso. O segundo caso é análogo ao primeiro, onde ele irá incrementar o *duty cycle* do PWM, e então verificar sua distância do ponto de referência. O circuito estabilizará se o nível estiver sempre no nível de referência com uma variação compreendida dentro do intervalo de histerese, ou situado em algum dos limites do *duty cycle* do PWM, onde não fosse possível o incremento ou o decremento deste, por conta do sistema ser não linear e haver os limites 100% e 0%. Segue na Figura 2.11 abaixo o gráfico gerado em tempo real de acordo com os dados enviados pela porta serial do micro controlador. Em verde o PWM, em vermelho a referência e em azul a elevação do nível da água.

Figura 2.11 – Gráfico da dinâmica do sistema controlado em operação.



Fonte: Google imagens, editado pelo autor.

REPOSITÓRIO PÚBLICO

Este trabalho não tem o intuito de ser descontinuado ao fim desta disciplina, de modo que ele seja perpetuado e possa contribuir para a formação dos integrantes, juntamente com a formação de alguém que deseja um fim próximo ao que se destinou aqui. Será postado em uma plataforma aberta, tanto os modelos de esquemático da placa que envolve o micro controlador e o sensor ultrassônico, quanto a placa de driver de potência.

Será adicionada uma licença pública de livre modificação e uso de tudo desenvolvido dentro deste projeto, chamada licença MIT.

O link para acesso do repositório, segue abaixo:

- <https://github.com/juloko/Controle-Tanque-de-Nivel>

A seções dentro do repositório são divididas abaixo:

- code: Diretório destinado a colocação do código rodado dentro do micro controlador. O ambiente de desenvolvimento utilizado foi a IDE Arduino.
- libraries: Diretório destinado a colocação das bibliotecas utilizadas dentro do código do micro controlador. As bibliotecas foram produzidas para a linguagem C, compatível com o compilador Arduino.
- sensor: Diretório destinado a colocação das do esquemático e placa do sensor, concebido aqui como a união do circuito do micro controlador com o barramento do sensor. Tais arquivos são destinados a produção da placa de circuito impresso. Os arquivos encontram-se no formado do software KICAD.
- driver: Diretório destinado a colocação das do esquemático do circuito de acionamento da bomba, conhecido como driver, destinada a produção do circuito. Os arquivos encontram-se no formado do software KICAD.
- REPORT: Arquivo com este relatório.
- README: Arquivo com explanação sobre aspectos gerais deste relatório.

CONCLUSÃO

Idealmente o controle elaborado nesse projeto, não deveria ter procedido da maneira que foi. O conjunto micro controlador e sensor, deveria apenas ter funcionado unicamente como um sensor. No entanto a problemática de não haver um conversor digital analógico, D/A, impossibilitou o prosseguimento do projeto sem que houvesse a implementação do controlador via código, já que não se conseguiria uma razão de proporção na entrada do amplificador operacional que fosse possível a comparação de erro.

No entanto, o projeto mostrou-se satisfatório, uma vez que ele consegue atingir o estado permanente. No entanto não foi possível a estabilização da bomba, pois a resposta do controlador é demasiado lenta em relação a dinâmica do sistema. Nos gráficos gerados no experimento, foi possível a verificação senoidal na variação do erro de estado permanente, em torno da referência de nível. Também foi notada uma semelhante relação em relação ao acionamento da bomba, uma vez que em determinado período de tempo, constante dado pela constante de tempo característica do sistema, ela comportava-se de maneira senoidal variando entre os limiares onde havia cem por cento do *duty cycle* do micro controlador e zero por cento.

BIBLIOGRAFIA

- [1] **OGATA**, Katsuhiko. Engenharia de Controle Moderno. 4ª edição. Editora Prentice Hall.
- [2] **REGIS DE MELO**, Reuber. Modelagem da dinâmica física do tanque de nível. Laboratório de Controle de Sistemas Dinâmicos.
- [3] **POULSEN**, Soren. **ANDERSEN**, Michael A. E. . Hysteresis Controller with constant switching frequency. Technical University of Denmark. Disponível em:
<[http://www.skory.gylcomp.hu/alkatresz/pwm_amp\(fixfreq_onrezgo\).pdf](http://www.skory.gylcomp.hu/alkatresz/pwm_amp(fixfreq_onrezgo).pdf)>. Acesso em Dezembro de 2017.
- [4] **WIKIPEDIA**. Hysteresis. Disponível em: <<https://en.wikipedia.org/wiki/Hysteresis>>. Acesso em Dezembro de 2017.
- [5] **OMRON**. Temperature Controller: Hysteresis. Disponível em: <http://www.omron-ap.com/service_support/FAQ/FAQ00549/index.asp>. Acesso em Dezembro de 2017.

ANEXOS

```
// Carrega as bibliotecas, sensor ultrassonico e LCD.
#include <Ultrasonic.h>
#include <LiquidCrystal.h>

// Declara a variável de referência do nível da água.
float waterLvl = 25;

// Declara a variável que armazena a distância recebida.
float distance = 0;

// Declara a variável de tempo para plotar os valores.
float timerPrint = 0;

// Declara a variável do duty cycle do PWM.
float duty = 0;

// Declara a variável de tempo para o controlador.
float timerControl = 0;

// Define as constantes do sistema.
#define timeSystem 10
#define timeControl 2*timeSystem
#define timePrint 100*timeSystem
#define clvlwater 47.59
#define offset_lvlwater 4.2

// Define a constantes histerese de distância.
#define deltaSystem 0.50

// Declara e define os pinos utilizados pelo LCD.
// Inicializa a biblioteca do LCD, com os pinos que serão utilizados.
const int constraste = 10, rs = 4, en = 5, d4 = 6, d5 = 7, d6 = 8, d7 = 9;
LiquidCrystal lcd(rs, en, d4, d5, d6, d7);

// Declara e define os pinos para o trigger e echo.
#define pino_trigger 15
#define pino_echo 14

// Inicializa o sensor nos pinos definidos acima.
Ultrasonic ultrasonic(pino_trigger, pino_echo);

// Declara e define o pino utilizado no PWM.
#define pwm 11

// Define os pinos utilizados nos botões.
#define btn_01 2
#define btn_02 3

void setup()
{
    // Attach the Extern Interruptions.
    attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(btn_01), upLvl, FALLING);
    attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(btn_02), downLvl, FALLING);

    // Muda o constraste do LCD.
    analogWrite(constraste, 50);

    // Iniciliza a Serial, com sua velocidade..
    Serial.begin(9600);

    // Seta os números o número linhas e colunas do LCD.
```



```

    lcd.begin(16, 2);

    // Escreva no LCD, Controle Analógico em inglês. ;)
    lcd.write("Analogic Control");

    //Aplica delay de 1s.
    delay(2000);
}

void loop()
{
    // Recebe distância do nível da água.
    distance = getDistance();

    // Plota o nível referência do nível da água no LCD, a cada 1s.
    printLCD(distance);

    // Plota o nível referência do nível da água na Serial.
    printSerial(distance);

    // Controla.
    pwmDistance((12 / 6) * 255);
}

// Exibe informações no LCD, a cada 1s.
void printLCD(float distance) {
    if ((millis() - timerPrint) >= timePrint) {
        timerPrint = millis();

        lcd.clear();
        lcd.setCursor(0, 0);
        lcd.write("Nivel:");
        lcd.print(distance);
        lcd.print("cm");
        lcd.setCursor(0, 1);
        lcd.write("Ref.:");
        lcd.print(waterLvl);
        lcd.print("cm");
    }
}

// Exibe informações na Serial.
void printSerial(float distance) {
    Serial.print("Nivel em cm: ");
    Serial.print(distance);
    Serial.print(" ");
    Serial.print("Referencia em cm: ");
    Serial.print(waterLvl);
    Serial.print(" ");
    Serial.print("Duty: ");
    Serial.println((duty / 255) * 50);
}

// Plota no duty do PWM o valor do nível da água.
void pwmDistance(float duty) {
    analogWrite(pwm, duty);
}

// Retorna a distancia do nivel da água.
float getDistance() {
    float cmMsec;
    for (int i = 0; i < 1; i++) {
        // Lê as informacoes do sensor, em cm.

```

```

        long microsec = ultrasonic.timing();
        cmMsec += ultrasonic.convert(microsec, Ultrasonic::CM);
        delay(timeSystem);
    }
    return clvlwater - cmMsec / 1 + offset_lvlwater;
}

// Incrementa em 0.01 o nível de referência da água.
void upLvl() {
    while (!digitalRead(btn_01)) {
        if (waterLvl < 50) {
            waterLvl += 0.01;
            printLCD(distance);
            delay(100);
        }
    }
}

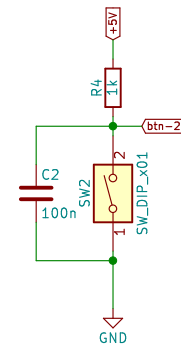
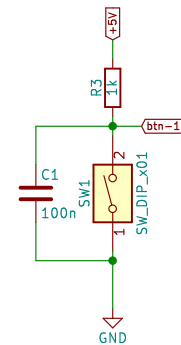
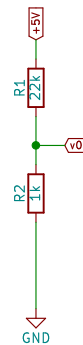
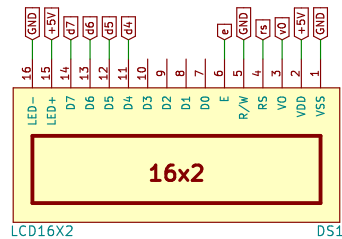
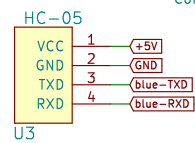
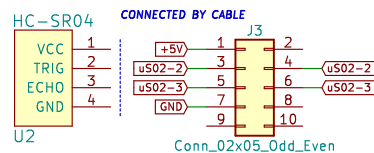
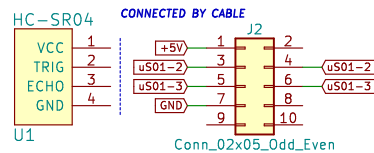
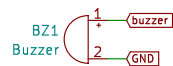
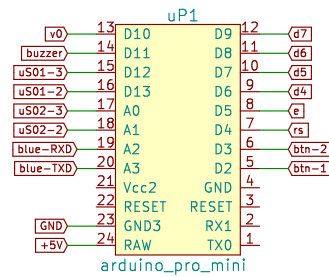
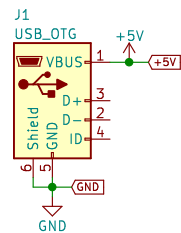
// Decrementa em 0.01 o nível de referência da água.
void downLvl() {
    while (!digitalRead(btn_02)) {
        if (waterLvl > 0) {
            waterLvl -= 0.01;
            printLCD(distance);
            delay(100);
        }
    }
}

void digitalControl(float distance, float waterLvl) {
    // Controle de Histerese de Tempo.
    // Apenas irá controlar quando o tempo de captura espaçar 200ms desde a última leitura
    if ((millis() - timerControl) >= timeControl) {
        timerControl = millis();

        // Controle de Histerese de Distâncias.
        // Verifica se a diferença entre o nível e a referência é superiores a 0.5cm.
        if ((distance - waterLvl) > deltaSystem) {
            pwmDistance(setDuty(duty - 1));
        }
        else if ((distance - waterLvl) < -deltaSystem) {
            pwmDistance(setDuty(duty + 1));
        }
    }
}

int setDuty(int _duty) {
    if (_duty < 255 && _duty > 0) {
        duty = _duty;
    }
    return duty;
}

```



Julio Cesar Ferreira Lima

Sheet: /

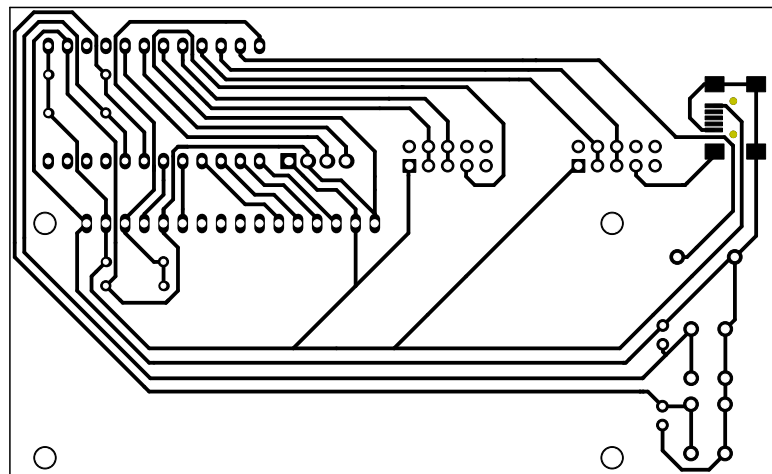
File: Velocimetro.sch

Title: Velocimetro – Controle Analógico

Size: A4 Date: 2017-11-11

KiCad E.D.A. kicad 4.0.7

Rev:
Id: 1/1



Julio Cesar Ferreira Lima

Sheet:

File: Velocimetro.kicad_pcb

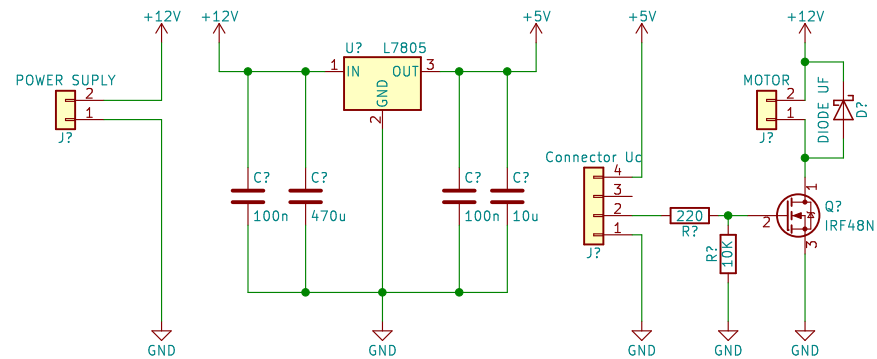
Title: Velocimetro – Controle Analógico

Size: A4 Date: 2017-11-12

KiCad E.D.A. kicad 4.0.7

Rev:

Id: 1/1



Julio Cesar Ferreira Lima – Controle Analógico

Sheet: /
File: driver.sch

Title:

Size: A4 Date: 2017-12-16

KiCad E.D.A. kicad 4.0.7

Rev:
Id: 1/1