

Relatório Descritivo

Implementação de Controle Fuzzy em CLP industrial de Bancada de Quatro Tanques

Jhonantans Moraes Rocha

Laboratório de Robótica e Automação (LARA)
Departamento de Engenharia Elétrica - FT - UnB
Caixa Postal 4.386 - Brasília - DF - Brasil

11 de dezembro de 2015

Resumo

O objetivo principal deste trabalho é realizar a instalação de um CLP (Controlador Lógico Programável) Rockwell Control Logix 5562 a uma bancada de quatro tanques. Apresenta-se a descrição e modelagem matemática da bancada seguidas da especificação de montagem do CLP. Observa-se em seguida descrições das lógicas de controle implementadas e breves resultados obtidos à simulações.

1 Introdução

Controladores Lógico Programáveis (CLP) são largamente utilizados para controle de processos e automação industrial atualmente. Trata-se de um equipamento eletrônico digital com hardware e software adaptados para as condições industriais. Utilizam uma memória programável para armazenar instruções de controle e conexões com diversos módulos para interface com processos externos, entrada e saída de dados, comunicação digital, entre diversas outras funções.

Neste contexto, realiza-se a utilização do CLP Rockwell 1756-L62 [1] para controle de plantas multivariáveis. Apresenta-se o sistema de quatro tanques, desenvolvido por [2] com o objetivo didático de demonstrar as diversas peculiaridades de sistemas com múltiplas entradas e múltiplas saídas (MIMO, do inglês *Multiple Input Multiple Output*).

Apresenta-se na Figure 1 à seguir o diagrama esquemático da bancada de quatro tanques.

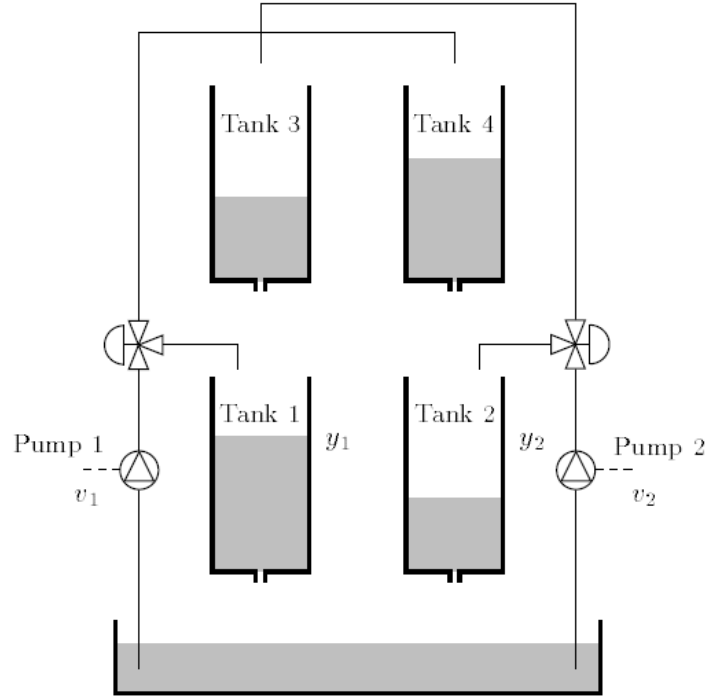


Figura 1: Diagrama esquemático do sistema de quatro tanques.

Trata-se de um sistema com quatro tanques interconectados, um reservatório inferior, quatro válvulas esfera e duas bombas de corrente contínua que bombeiam o fluido do grande reservatório inferior para os tanques de forma cruzada, com a razão entre os fluxos definida de acordo com a posição das válvulas.

A partir das equações, que serão apresentadas na seção 2 a seguir, observa-se que sistema de quatro tanques é não linear. Sendo assim, para a implementação de uma forma de controle eficiente, realiza-se a linearização em torno de um ponto de operação a partir das equações não lineares obtidas. Nota-se que este modelo linearizado apresenta um zero multivariável que pode estar localizado tanto no semi-plano esquerdo quanto no semi-plano direito, dependendo da configuração das válvulas. A abertura das válvulas determina se o sistema é de fase mínima ou de fase não-mínima afetando a estratégia de controle a ser adotada.

Neste trabalho, o objetivo final é apresentar um CLP conectado à planta preparado para implementar as várias estratégias de controle necessárias para manter os níveis do fluido nos tanques inferiores 1 e 2 em valores referenciados.

As variáveis de entrada da planta são as tensões analógicas das bombas e suas saídas são tensões proporcionais aos níveis dos tanques.

2 Modelagem da Planta

2.1 Modelo Não Linear

Observando o esquemático apresentado na Figura 1 e partindo das equações de Bernoulli para conservação de energia de fluidos incompressíveis, chega-se às seguintes equações não lineares:

$$\begin{cases} \dot{h}_1 = \frac{1}{A_1}(o_3\sqrt{2gh_3} + \gamma_1 k_1 v_1 - o_1\sqrt{2gh_1}) \\ \dot{h}_2 = \frac{1}{A_2}(o_4\sqrt{2gh_4} + \gamma_2 k_2 v_2 - o_2\sqrt{2gh_2}) \\ \dot{h}_3 = \frac{1}{A_3}((1 - \gamma_2)k_2 v_2 - o_3\sqrt{2gh_3}) \\ \dot{h}_4 = \frac{1}{A_4}((1 - \gamma_1)k_1 v_1 - o_4\sqrt{2gh_4}) \end{cases} \quad (1)$$

em que, h_i , A_i e o_i são o nível de água, a área da secção transversal e a área de secção transversal do orifício de saída do tanque i , $i = 1, 2, 3, 4$, respectivamente. A constante de fluxo e a tensão aplicada na bomba j são dadas respectivamente por k_j e v_j , $j = 1, 2$. O parâmetro γ_1 é a razão entre os fluxos para os tanques 1 e 4, γ_2 é a razão entre os fluxos para os tanques 2 e 3 e g é a aceleração da gravidade.

2.2 Linearização

Seja o ponto em regime permanente dado por $\bar{h} = (\bar{h}_1, \bar{h}_2, \bar{h}_3, \bar{h}_4)$ e $\bar{v} = (\bar{v}_1, \bar{v}_2)$, realiza-se a linearização, por expansão em série de Taylor, das equações 1. Chega-se a:

$$\begin{bmatrix} \Delta \dot{h}_1 \\ \Delta \dot{h}_2 \\ \Delta \dot{h}_3 \\ \Delta \dot{h}_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{-o_1\sqrt{2g}}{2A_1\sqrt{h_1}} & 0 & \frac{o_3\sqrt{2g}}{2A_1\sqrt{h_3}} & 0 \\ 0 & \frac{-o_2\sqrt{2g}}{2A_2\sqrt{h_2}} & 0 & \frac{o_4\sqrt{2g}}{2A_2\sqrt{h_4}} \\ 0 & 0 & \frac{-o_3\sqrt{2g}}{2A_3\sqrt{h_3}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{-o_4\sqrt{2g}}{2A_4\sqrt{h_4}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta h_1 \\ \Delta h_2 \\ \Delta h_3 \\ \Delta h_4 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{\gamma_1 k_1}{A_1} & 0 \\ 0 & \frac{\gamma_2 k_2}{A_2} \\ 0 & \frac{(1-\gamma_2)k_2}{A_3} \\ \frac{(1-\gamma_1)k_1}{A_4} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta v_1 \\ \Delta v_2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_4 \end{bmatrix} = I \begin{bmatrix} \Delta h_1 \\ \Delta h_2 \\ \Delta h_3 \\ \Delta h_4 \end{bmatrix} \quad (3)$$

em que y_i são as saídas medidas do sistema, $\Delta h_i = h_i - \bar{h}_i$, $\Delta v_i = v_i - \bar{v}_i$, e $i = 1, 2, 3, 4$.

E por fim, a matriz função de transferência do sistema obtida é:

$$G(s) = \begin{bmatrix} \frac{T_1 \gamma_1 k_1}{A_1(1+sT_1)} & \frac{T_1(1-\gamma_2)k_2}{A_1(1+sT_3)(1+sT_1)} \\ \frac{T_2(1-\gamma_1)k_1}{A_2(1+sT_4)(1+sT_2)} & \frac{T_2 \gamma_2 k_2}{A_2(1+sT_2)} \\ 0 & \frac{T_3(1-\gamma_2)k_2}{A_3(1+sT_3)} \\ \frac{T_4(1-\gamma_1)k_1}{A_4(1+sT_4)} & 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

em que $G(s) = \frac{\Delta h(s)}{\Delta v(s)}$ e $T_i = \frac{2A_i\sqrt{h_i}}{o_i\sqrt{2g}}$, $i = 1, 2, 3, 4$.

3 Instalação e especificação do CLP

Neste trabalho realizou-se a montagem de toda a estação de controle. Assim, escolheu-se primeiramente um local adequado para a disposição do painel de controle: próximo à planta e ao microcomputador ao qual se conecta, porém afastado de fiações elétricas ou locais úmidos. Outro cuidado deve de ser observado durante a instalação da fonte junto ao chassi, observando a compatibilidade com as tensões de entrada e saída do controlador. Seguiu-se fixação do painel

no local escolhida, instalação do microcomputador a ser utilizado e instalação da fiação elétrica. Observa-se na figura 2 o resultado instalado.



Figura 2: Estação de trabalho.

A figura 3 a seguir ilustra o interior do painel, onde instalou-se o chassi do controlador e distribuiu-se no espaço restante trilhas para conexão dos bornes a serem utilizados no projeto.



Figura 3: Interior do painel.

Em seguida, realizou-se a instalação dos módulos no chassi já instalado. Organiza-se, na Tabela 1 abaixo, a descrição, especificação e posição dos módulos instalados do sistema Control-Logix implementado:

Tabela 1: Módulos 1756 instalados.

Especificação	Descrição	Posição no chassi
1756-A7/B	Chassi	.
1756-L62	Controlador	0
1756-ENBT/A	EtherNetIp	1
1756-IF8/A	Entradas Analógicas	2
1756-OF8/A	Saídas Analógicas	3
1756-IB16/A	Entradas DC	4
1756-OB8I/A	Saídas DC	5

Observa-se na Figura 4 a seguir a configuração instalada.



Figura 4: Módulos do painel.

Seguiu-se a preparação dos softwares de comunicação com o CLP. Dois modos de comunicação são disponíveis com os módulos utilizados: serial, realizada diretamente com o controlador, e Ethernet, através do módulo EtherNetIP. Ambas foram implementadas.

Para comunicação serial, basta configurar a entrada serial no computador a ser utilizado e em seguida configurar o controlador no software RSLinx [3]. Para utilizar a comunicação EtherNetIp é necessário antes configurar o módulo EtherNetIp [4]. Isso foi realizado utilizando o software BOOTP/DHCP, atribuindo um endereço IP para o módulo recém instalado. Além disso, sabe-se que para que a comunicação em uma rede EtherNetIp ocorra corretamente todos os dispositivos da rede precisam possuir endereços IP que indiquem à esta rede, porém únicos. Assim, configurou-se também o endereço do computador utilizado.

Ao fim dos processos de conexão realiza-se a configuração do CLP através do RSLinx e passa a ser possível acessar e configurar os módulos através da estação de trabalho. A figura a seguir ilustra configurações funcionais dos módulos no RSLinx.

Um importante cuidado de segurança observado foi o aterramento de diversos elementos do equipamento. É conhecida sua capacidade de operação em condições adversas, mesmo assim, como precaução houve o cuidado de aterrar o chassi, a placa onde foi instalado e o painel exterior.

4 Lógica de Controle

Após a montagem do CLP e configuração dos módulos é necessária a instalação dos softwares requeridos para utilização sua utilização. Como mencionado anteriormente, o programa RSLinx irá realizar a comunicação CLP-Microcomputador. Além disso, realiza-se a instalação do FactoryTalk, software responsável por realizar a supervisão do sistema, e do RSLogix 5000 [5], a plataforma onde irá ser desenvolvido o controle.

Antes de se iniciar o desenvolvimento realizou a configuração do Logix5000. Para isso, cria-se um novo projeto, adiciona-se os módulos de entrada e saída [6] que serão utilizados. Em seguida, projeta-se a lógica de controle em alguma linguagem escolhida. Segue-se, realiza-se o download do projeto para o controlador, a partir de uma interface com o RSLinx, onde ele já está configurado. Por fim, escolhe-se uma forma de operação para o controlador (normalmente RUN) e inicia-se o controle utilizando o comando START.

O RSLogix permite o desenvolvimento utilizando 3 formas de programação. Descreve-se a

seguir duas escolhidas para teste: Linguagem Ladder e Blocos de Funções. É possível também a utilização de Texto Estruturado.

4.1 Linguagem Ladder

A linguagem Ladder é a pioneira dos CLPs por se tratar de uma evolução natural de diagramas elétricos, utilizados antes da chegada dos controladores digitais. Seu ambiente de desenvolvimento utiliza o posicionamento de símbolos e blocos para implementação da lógica de controle. O ambiente inicial é formado por duas linhas verticais, que representam nível lógico alto (à esquerda) e baixo (à direita) de um sistema. Entre essas linhas são desenhados ramos horizontais que representam representados os estados do CLP.

Uma forma de compreender essa linguagem seria como uma série de conexões de contatos e bobinas. Se for possível traçar um caminho da esquerda para direita, conectando-se à uma bobina de saída ao final, então o valor dessa bobina será verdadeiro. Trabalhando-se com controladores digitais, são criadas variáveis no programa que representam diretamente os valores presentes nos módulos de saída e entrada. Essas variáveis recebem o nome de TAGs. Assim, as variáveis de entradas são assinaladas às tags utilizadas como chaves e as variáveis de saídas às tags associadas às bobinas de saída. Percorrendo-se o caminho da esquerda para direita em um ramo, ao se chegar à uma chave, observa-se se o valor assinalado à ela é verdadeiro. Caso seja, continua-se o caminho até uma bobina de saída. Se está for alcançada, seu valor é setado para verdadeiro, consequentemente a saída associada a ela recebe a tensão associado a este nível lógico no controlador.

A figura 5 à seguir ilustra um exemplo.

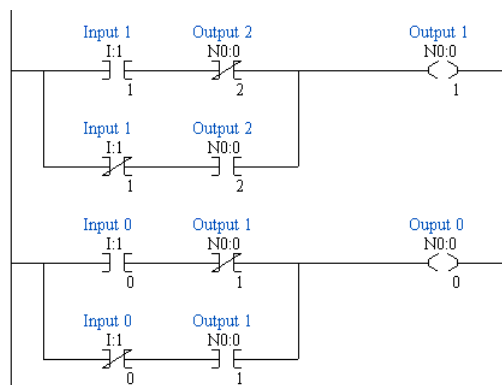


Figura 5: Exemplo de Diagrama Ladder.

4.2 Blocos Funcionais

Trata-se de outra linguagem de programação gráfica disponível aos CLPs Rockwell. É bastante semelhante à observada em vários outros softwares comuns ao meio acadêmico, como o MATLAB. Para sua utilização, assinala-se tags às entradas e saídas dos módulos já adicionados ao projeto. O desenvolvimento utiliza blocos de entradas e saídas associados à essas variáveis. Conexões entre os blocos, por meio de linhas representam passagem dos valores por esses fios. A lógica de controle é feita por meio de blocos de funções, estes possuem uma ou mais entradas e uma ou

mais saídas. Os valores assinalados à suas saídas são determinados pelas funções às quais estão associados e que utilizam os valores de entrada como argumentos.

A figura 6 à seguir ilustra um exemplo.

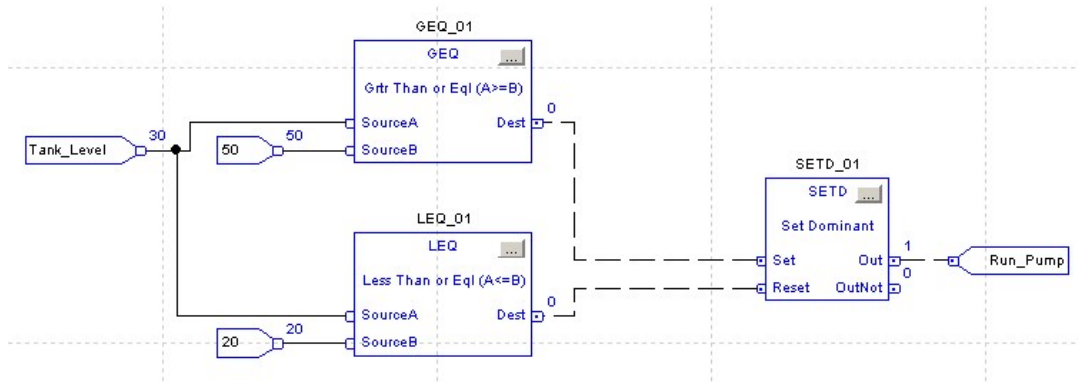


Figura 6: Exemplo de diagrama de blocos.

Observa-se o caso do bloco GEQ_01. Suas entradas são o nível do tanque ($SourceA = Tank_Level$) e um valor constante ($SourceB = 50$). Sua saída ($dest$) será assinalada com nível lógico verdadeiro apenas quando $SourceA \geq SourceB$, ou seja, $Dest = 1$ se $Tank_Level \geq 50$, sendo $Dest = 0$ caso contrário.

5 Conclusões

Neste trabalho foi realizada a implementação do CLP Rockwell 1756-L62, juntamente com o conjunto de módulos para seu funcionamento e comunicação com uma bancada de quatro tanques e com um microcomputador. Iniciou-se com o estudo e descrição da bancada, seguida da instalação do controlador bem como seus módulos de entrada e saídas de dados e de comunicação. Seguiu-se também o estudo das linguagens de programação disponíveis para os softwares proprietários da fornecedora do CLP e como aplicá-las ao controle desejado.

Referências

- [1] Allan-Bradley and Rocwell Automation. *User Manual - ControlLogix System*, 2014.
- [2] K. H. Johansson. The quadruple-tank process: A multivariable laboratory process with an adjustable zero. 2000.
- [3] Allan-Bradley and Rocwell Automation. *RSLinx Classic Getting Results Guide*, 2014.
- [4] Allan-Bradley and Rocwell Automation. *User Manual - EtherNet/IP Network Configuration*, 2014.
- [5] Allan-Bradley and Rocwell Automation. *Quick Start - Logix5000 Controllers*, 2014.
- [6] Allan-Bradley and Rocwell Automation. *User Manual - ControlLogix Analog I/O Modules*, 2014.