

3 Controle do sistema

Este capítulo irá apresentar as formas de controle abordadas por esse trabalho para obtenção de uma resposta rápida e precisa.

Primeiramente foi sugerido o controle PID clássico por sua simplicidade e eficácia. Mas pelo conhecimento adquirido ao longo do trabalho, surgiu a ideia de realizar o controle Fuzzy do sistema, como forma de se obter uma comparação de resultados e análise dos mesmos.

O esquema de controle é ilustrado a seguir na figura 3.1:

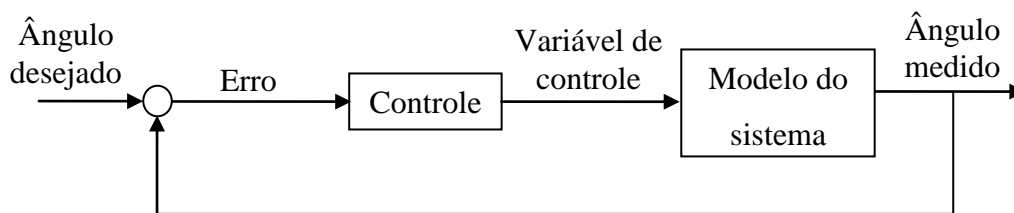


Figura 3.1 – Esquema de controle

Em ambos os casos, Fuzzy e PID, a variável de controle será corrente ou tensão. A realimentação do sistema é dada por um ganho unitário do ângulo medido pelo encoder, a fim de se obter um erro nulo, ou o minimamente possível. O controlador deverá zerar não só o ângulo, como também a velocidade e aceleração da haste, porém para fim de testes não é necessária que a velocidade final do rotor seja zero. Esse fato se deve pela existência de perturbações que não são totalmente eliminadas controlando o sistema.

Além disso, os testes realizados no Simulink envolveram tanto o controle por tensão como o controle por corrente, a fim de se obter uma comparação inicial, mas no teste prático só foram feitos testes com controle de tensão. Isso se deve ao fato de que é bem difícil criar uma fonte de corrente na vida real tão precisa quanto na simulação. Os modelos matemáticos indicam que o controle por corrente teria um resultado bem melhor por não depender das impedâncias e

resistências do motor, e pelo torque estar diretamente ligado à corrente. Isso não quer dizer que o resultado do controle por tensão foi insatisfatório, mas apenas não tão bom quanto o outro.

Os modelos matemáticos do sistema já foram definidos pelas equações no capítulo 2 para o controle de tensão e de corrente, e estes serão usados para as simulações no capítulo 4, mas primeiramente será desenvolvida a arquitetura de controle.

3.1. Controle PID

O controle PID (proporcional-integrativo-derivativo) foi explicado no capítulo 1, mas o uso dele no projeto será mais detalhado nessa seção.

Tanto o Simulink, que foi utilizado na simulação matemática do sistema, quanto o LabView, que foi utilizado nos testes no Laboratório possuem naturalmente uma opção de controle PID que obedecem à regra abaixo:

$$U(t) = k_p e(t) + k_i \int e(t) dt + k_d \frac{de(t)}{dt} \quad (3.1)$$

Onde $e(t)$ é o erro, e K_p , K_i e K_d são respectivamente os ganhos proporcional, integral e derivativo. Porém como o sistema é analógico, isso faz com que a integral e a derivada do sistema sejam aproximadas. Isso faz com que o sistema de controle seja digital, e do tipo:

$$U(t - t_0) = k_p e(t - t_0) + k_i \sum_{t_0}^{t-t_0} e(t - t_0) + k_p \frac{e(t-t_0) - e(t_0)}{t_0} \quad (3.2)$$

Se a parte integral do sistema ficar excessivamente grande, podem desenvolver problemas para o controle, por isso, muitos autores aconselham utilizar uma estratégia chamada “anti-windup” que consiste em interromper o somatório da parte integral se U atingir o valor máximo e o erro for positivo ou se U atingir o valor mínimo e o erro for negativo.

3.1.1. Ajuste do controle pelo método de Ziegler Nichols

Para o controle PID, foi desenvolvida uma técnica de ajuste das variáveis k_p , k_i e k_d que é utilizada quando não se dispõe de um modelo matemático preciso o suficiente para se utilizar em técnicas analíticas de projeto, o chamado método de Ziegler Nichols, e por ser uma estratégia experimental, passou a ser utilizado em sistemas desse tipo.

Inicialmente os valores de k_i e k_d são zerados para se obter um controle puramente proporcional, e em seguida o valor da constante k_p é aumentado até um valor onde se percebe que o sistema está oscilando perfeitamente. A esse valor de k_p é dado o nome de k_{crit} . Em seguida, calcula-se o período dessa oscilação, e a esse valor se dá o nome de T_{crit} .

Com os valores de k_{crit} e T_{crit} em mãos, é utilizado o método de Ziegler-Nichols resumido pela tabela 3.1 a fim de se encontrar os valores de k_p , k_i e k_d de acordo com os três testes que serão descritos nos capítulos 4 e 5.

	k_p	k_i	k_d
P	$0,5 k_{crit}$	---	---
PI	$0,4 k_{crit}$	$0,5 k_{crit} / T_{crit}$	---
PID	$0,6 k_{crit}$	$1,2 k_{crit} / T_{crit}$	$0,075 k_{crit} T_{crit}$

Tabela 3.1 – Diagrama dos coeficientes de Ziegler-Nichols

3.2. Controle Fuzzy

O esquema do controle Fuzzy foi explicado no capítulo 1, mas suas componentes serão mais detalhadas nesta seção.

O controle Fuzzy do tipo Mamdani a ser utilizado se mostrou muito preciso em diversas aplicações, e foi escolhido como uma alternativa ao controle PID por sua flexibilidade e a proximidade dele com o pensamento humano.

Ao contrário do controle PID, o controle Fuzzy não vai utilizar um ajuste inteligente similar ao método aplicado de Ziegler-Nichols neste projeto, por isso todos os ajustes foram por tentativa e erro. O ponto negativo desse ajuste é que nunca se tem certeza que as regras escolhidas são a melhor maneira de controlar o

sistema, talvez uma regra a mais ou a menos melhoraria ou pioraria o funcionamento do sistema.

Dentro do controle Fuzzy, tem-se duas partes ajustáveis, o banco de regras, que consiste de um conjunto de lógicas proposicionais do tipo “if x, then y” que melhor descrevem o sistema, e as funções de pertinência que descrevem o comportamento de certa variável ao longo do seu valor, e a classificação que ela detém em certa posição.

No estudo dessa dissertação foram feitos 2 testes com o controle Fuzzy, um apenas com o valor da leitura do erro do ângulo como variável de entrada, e outro com o erro do angulo e a derivada do ângulo, ou seja, a velocidade angular da haste. Espera-se que o controle que possui duas variáveis de entrada tenha uma resposta melhor em comparação ao com uma entrada apenas, principalmente pelo fato de ter duas variáveis de controle, e assim melhor poder observar o sistema.