OTIMIZAÇÃO DE GANHOS PID ATRAVÉS DE ANÁLISE DE CURVAS DE INSTRUMENTOS: UMA ABORDAGEM PARA A INDÚSTRIA

Neimar Alves
Universidade La Salle/Canoas

RESUMO

Este artigo apresenta uma pesquisa aplicada que visa desenvolver uma solução para analisar as curvas de instrumentos e determinar automaticamente os ganhos PID em sistemas industriais. A pesquisa aborda a necessidade de métodos eficientes para superar a falta de ferramentas eficazes e acessíveis na indústria, buscando otimizar as operações de controle Proporcional-Integral-Derivativo(PID). A análise de curvas de instrumentos é fundamental para entender a dinâmica do sistema e determinar os parâmetros ideais do controlador PID. O estudo propõe uma metodologia avançada que utiliza algoritmos para otimizar os parâmetros do controle PID. Essa abordagem combina a análise de dados com a capacidade de busca por soluções ideais dos algoritmos, resultando em um sistema de automação eficiente e preciso. O programa desenvolvido tem o potencial de aumentar a eficiência, segurança e sustentabilidade das operações industriais, reduzindo custos e impactos ambientais.

Palavras-chave: Controle PID, Análise de Curvas de Instrumentos, Algoritmos, Otimização, Indústria.

ABSTRACT

This article presents an applied research aiming to develop a program for instrument curve analysis and automatic PID gain determination in industrial systems. The research addresses the need for efficient methods to overcome the lack of effective and accessible tools in the industry, seeking to optimize PID control operations. Instrument curve analysis is crucial to understand the system's dynamics and determine the ideal parameters for the PID controller. The study proposes an advanced methodology that uses algorithms to optimize the PID control parameters. This approach combines data analysis with the ability of algorithms to search for optimal solutions, resulting in an efficient and accurate automation system. The developed program has the potential to increase the efficiency, safety, and sustainability of industrial operations, reducing costs and environmental impacts.

Keywords: PID Control, Instrument Curve Analysis, Algorithms, Optimization, Industry.

1 INTRODUÇÃO

O controle PID (Proporcional-Integral-Derivativo) é uma técnica fundamental na automação industrial, utilizada para controlar e regular processos de forma precisa e eficiente. A eficácia do controle PID depende diretamente da correta configuração dos seus ganhos (Kp, Ki, Kd), que determinam o comportamento do controlador e influenciam diretamente o desempenho do sistema. No entanto, a determinação precisa desses ganhos representa um desafio para a indústria, pois métodos tradicionais, como o método e o método Ziegler-Nichols ou de Sintese, podem apresentar limitações para operadores não capacitados.

O método empírico, embora amplamente utilizados na indústria, podem ser imprecisos e demandar tempo, comprometendo a eficiência e a segurança do sistema. Este trabalho visa identificar as principais limitações dessas abordagens e propor uma alternativa mais eficaz e automatizada.

Segundo Leão et al (2014), em 1942, Ziegler e Nichols propuseram regras para determinar os parâmetros proporcional, integral e derivativo de controladores PID a partir da resposta temporal de uma função de transferência . Seu método, conhecido como método Ziegler-Nichols, apresenta abordagens de malha aberta e fechada, utilizando, respectivamente, a curva de reação e o ganho e período críticos para o cálculo das constantes do controlador e der alta complexidade.

Este trabalho propõe uma abordagem inovadora para a otimização dos ganhos PID, combinando análise de curvas de instrumentos e algoritmo. A análise de curvas de instrumentos permite extrair informações cruciais sobre a dinâmica do sistema, fornecendo dados valiosos para a configuração do controlador PID. Por outro lado, os algoritmos fornecem uma solução automatizada para encontrar os parâmetros ideais do controlador, explorando um espaço de soluções de forma eficiente e adaptativa.

A análise de curvas de instrumentos é essencial para a otimização dos ganhos PID, mas métodos tradicionais podem ser limitados em sistemas complexos. Este trabalho busca aprimorar as técnicas de análise de curvas de instrumentos para obter informações mais precisas e completas sobre a dinâmica do sistema.

A otimização dos ganhos PID tem um impacto direto na eficiência, segurança e sustentabilidade das operações industriais. Ganhos PID mal ajustados podem levar a instabilidades, oscilações, desperdício de recursos, riscos de acidentes e impactos ambientais negativos. A otimização dos ganhos PID visa minimizar esses problemas e promover a eficiência energética, a segurança operacional e a sustentabilidade das operações.

De acordo com Jiang et al. (2024), o controle Proporcional Integral Derivativo (PID) é amplamente utilizado em controle de processos industriais devido à sua simplicidade algorítmica, alta confiabilidade e boa robustez. O controlador PID clássico, embora simples, apresenta limitações em sistemas complexos devido à dificuldade de ajuste de parâmetros e à presença de interferências e não linearidades. Entretanto, a sua capacidade de ajustar a saída do sistema, controlar o objeto através desta saída e

reduzir o desvio entre o objeto e o valor desejado, através de um controlador composto por unidades proporcional, integral e derivativa, demonstra sua eficácia em diversas aplicações. A unidade proporcional reduz rapidamente o desvio, a integral elimina erros estáticos e a derivativa prevê tendências de desvio, otimizando o controle.

Os ganhos de um sistema de controle PID mal ajustados podem levar a instabilidades, oscilações e falhas no sistema, comprometendo a segurança de trabalhadores e equipamentos. A otimização dos ganhos PID contribui para a estabilidade e previsibilidade do sistema, minimizando riscos de acidentes e garantindo a segurança operacional.

E, por fim, como mencionado por Toso et al. (2018), ao preencher lacunas de pesquisa na análise de curvas de instrumentos e na determinação de ganhos de PID, o projeto pode servir como base para futuros estudos e investigações. Pode inspirar outros pesquisadores a expandir e aprofundar o conhecimento nessa área, gerando um ciclo de descoberta contínua.

2 DESENVOLVIMENTO DA PROPOSTA DE SOLUÇÃO

2.1 Controle PID

2.1.1 Fundamentos e Aplicações Industriais

O controle PID é uma técnica de controle de malha fechada amplamente utilizada na indústria, que utiliza três componentes para controlar e regular processos de forma precisa e eficiente.

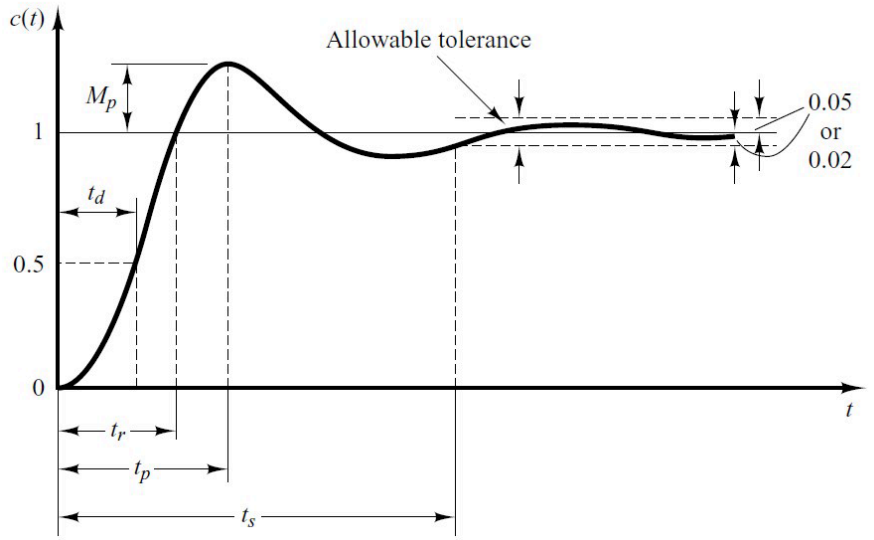
Proporcional (P): A ação proporcional é proporcional ao erro entre o valor desejado e o valor medido. A ação proporcional atua de forma instantânea, corrigindo o erro de forma proporcional à sua magnitude. Quanto maior o erro, maior a ação proporcional, resultando em uma resposta rápida do sistema.

Integral (I): A ação integral acumula o erro ao longo do tempo, corrigindo desvios e eliminando o erro de estado estacionário. A ação integral é responsável por eliminar o erro residual, que pode persistir mesmo com a ação proporcional. Ela acumula o erro ao longo do tempo e gera uma ação corretiva proporcional à integral do erro, garantindo que o sistema atinja o valor desejado e permaneça estável.

Derivativo (D): A ação derivativa prevê a tendência futura do erro, antecipando mudanças e suavizando a resposta do sistema. A ação derivativa prevê a taxa de variação do erro, antecipando futuras mudanças no sistema. Ela atua de forma preventiva, reduzindo o sobressinal e a oscilação do sistema, resultando em uma resposta mais suave e estável.

2.1.2 Análise de curvas de resposta ao degrau

Fig. 1 - Curva de resposta ao degrau unitário mostrando td, tr, tp, Mp e ts[1].



Fonte: TOSO, Bruno et al., 2018.

A análise de curvas de resposta ao degrau é uma técnica fundamental para entender a dinâmica de um sistema e determinar seus parâmetros. A resposta ao degrau é a reação do sistema a uma mudança repentina na entrada. A análise dessa resposta permite identificar parâmetros como:

Tempo de atraso (td): Tempo que o sistema leva para começar a responder à mudança. O tempo de atraso representa o tempo que o sistema leva para iniciar sua resposta à mudança na entrada, ou seja, o tempo que leva para a saída começar a variar.

Tempo de subida (tr): Tempo que o sistema leva para atingir 90% do valor final. O tempo de subida indica o tempo que o sistema leva para alcançar 90% do valor final, ou seja, o tempo necessário para o sistema se aproximar do estado desejado.

Tempo de ciclo (tp): Tempo que o sistema leva para completar um ciclo de oscilação. O tempo de ciclo se refere ao tempo que o sistema leva para completar uma oscilação completa, indicando a frequência das oscilações na resposta do sistema.

Sobressinal máximo (Mp): Valor máximo da resposta em relação ao valor final. O sobressinal máximo representa a diferença entre o valor máximo da resposta e o valor final desejado. Um alto sobressinal indica uma resposta instável e oscilatória do sistema.

Tempo de estabilização (ts): Tempo que o sistema leva para atingir e permanecer dentro de uma faixa de tolerância em torno do valor final. O tempo de estabilização indica o tempo que o sistema leva para se estabilizar em torno do valor final desejado, permanecendo dentro de uma faixa de tolerância pré-definida.

2.2 Metodologia

A pesquisa se estrutura como um estudo aplicado com abordagem quantitativa e qualitativa. A coleta de dados em ambientes industriais reais permitirá a aplicação e avaliação da metodologia proposta. A coleta de dados será realizada em diversos ambientes industriais, com o objetivo de abranger diferentes tipos de processos e garantir a representatividade dos dados. Serão coletadas curvas de instrumentos e registros de desempenho de sistemas PID em funcionamento em diversos tipos de processos industriais.

Os dados coletados serão analisados para extrair informações sobre a dinâmica do sistema e para determinar os ganhos PID ideais. A análise de dados utilizará técnicas estatísticas e algoritmos específicos para extrair informações relevantes das curvas de instrumentos. Um programa em Python será desenvolvido para automatizar a análise de curvas de instrumentos e a determinação dos ganhos PID. O programa será desenvolvido em Python, uma linguagem de programação popular para desenvolvimento de aplicações de automação, com foco na eficiência, flexibilidade e facilidade de uso.

O programa será avaliado em ambientes reais, comparando seus resultados com as abordagens empíricas existentes. A avaliação do programa será realizada em ambientes reais, com o objetivo de comparar o desempenho do programa desenvolvido com métodos tradicionais, em termos de precisão, tempo de configuração e desempenho do sistema.

A pesquisa será realizada em um ambiente controlado, com temperatura constante, utilizando um CLP da Altus de modelo XP325 e dois coolers, um recebendo tensão de uma entrada analógica do CLP e um fazendo a leitura analógica de outro cooler. O Estudo será conduzido por um único pesquisador, que irá realizar a coleta de dados, análise e desenvolvimento do programa.

Serão utilizados softwares de aquisição de dados para coletar dados de sistemas PID em funcionamento, ferramentas de análise estatística para processar os dados coletados e o programa desenvolvido em Python para a determinação automática dos ganhos PID. A avaliação da pesquisa será realizada através da comparação dos resultados obtidos com o programa desenvolvido em relação às abordagens empíricas existentes. Serão utilizados indicadores de desempenho específicos para medir a eficácia do programa. A avaliação do programa será realizada com base em indicadores de desempenho como tempo de estabilização, sobressinal máximo,

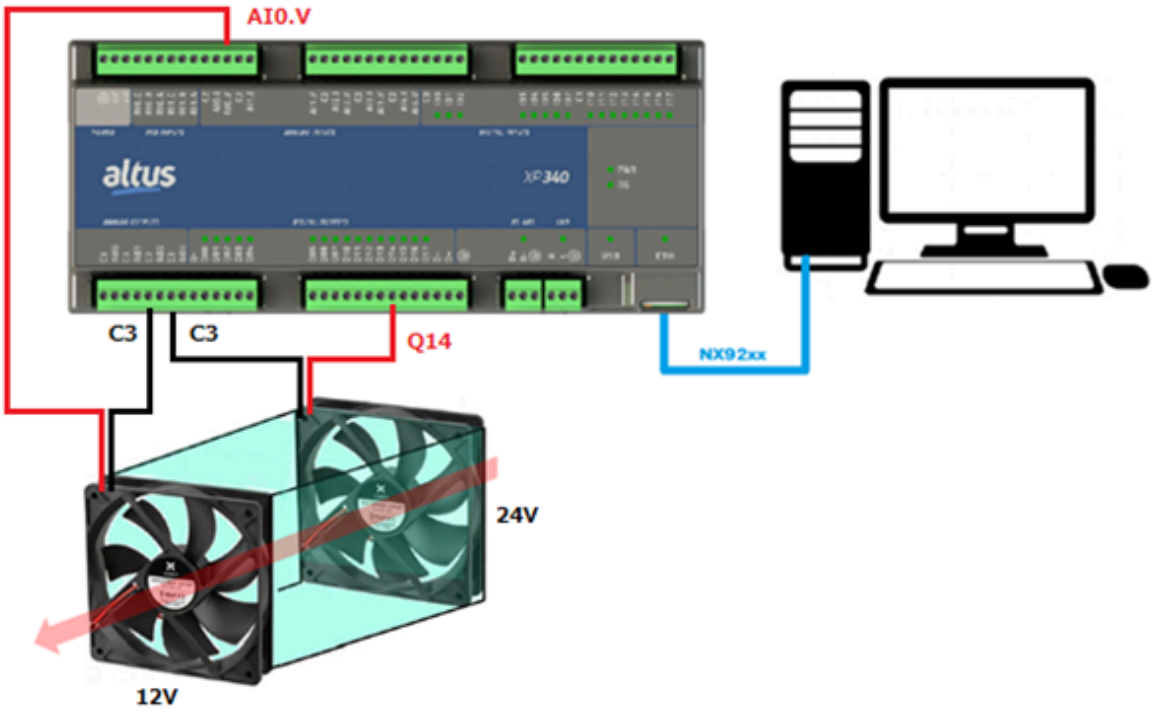
tempo de resposta e consumo de energia, em um ambiente controlado de laboratório.

A pesquisa seguirá diretrizes éticas relevantes na condução dos estudos em ambientes controlados de laboratório.

2.3 Ensaio de laboratório

Este projeto iniciou-se com a configuração da comunicação, conforme o diagrama da Figura 2. Um computador local hospedou o broker MQTT, responsável pela publicação e subscrição de dados. Para a coleta de dados e interface com o usuário, foi empregado o BluePlant, um sistema SCADA comercial da Altus, que atua como supervisor de processos. O broker MQTT possibilita a comunicação entre o sistema de aquisição de dados, CLP, e o SCADA, permitindo a transmissão eficiente e leve dos dados monitorados.

Fig. 2 - Sistema montado em laboratório



Fonte: Base de conhecimento da Altus, https://www.altus.com.br/base-conhecimento/categoria/17/detalhe/609/exemplo-de-aplicacao-de-controle-pid-com-tunel-de-vento

A aplicação no Blueplant utiliza o método de síntese, com os cálculos também anexados. O usuário, através da interface do SCADA, levanta a curva do instrumento, onde os dados são armazenados em um banco SQLite, e define pontos específicos na curva, como o ponto de estabilização, a diferença da banda morta e a localização dos 63% da curva..

Ao selecionar esses pontos, o SCADA calcula automaticamente os ganhos PID, através de cálculos feitos em C# no backend, proporcionando uma configuração otimizada do controlador. Os cálculos utilizados se baseiam no método de síntese, que utiliza a inclinação da curva e a diferença de tempo entre os pontos selecionados. O valor de K, que representa a inclinação da curva, é calculado a partir dos pontos selecionados de acordo com a fórmula. Com base nesse valor de K, o sistema calcula os ganhos de PID (Gp, Ti e Td), que controlam a ação do controlador PID.

Fig. 3 - Método de Síntese

$$K = \frac{VM2 - VM1}{VA2 - VA1}$$

$$0{,}63212 = \frac{VM' - VM1}{VM2 - VM1}$$

$$VM' = \left(0{,}63212 * (VM2 - VM1)\right) + VM1$$

$$Tr = \frac{Tc}{4}$$

$$\mathrm{Gp} = \frac{T}{K * (Tr + Tm + \frac{dt}{2})}$$

$$Ti = T$$

$$\mathrm{Td} = \frac{Tm}{2} + \frac{dt}{4}$$

Fonte: Base de conhecimento da Altus, https://www.altus.com.br/base-conhecimento/categoria/17/detalhe/609/exemplo-de-aplicacao-de-controle-pid-com-tunel-de-vento

O ganho proporcional (Gp), como podemos ver na imagem, é calculado utilizando a fórmula em anexo. O valor de Gp determina a intensidade da resposta do controlador a um erro, ou seja, a diferença entre o valor desejado e o valor real da variável de controle. Um valor de Gp alto implica uma resposta rápida e vigorosa a erros, enquanto um valor baixo resulta em uma resposta mais suave e gradual.

O ganho integral (Ti) é definido como o tempo necessário para que a ação integral atinja o mesmo valor da ação proporcional, ou seja, o tempo necessário para que a integral da ação proporcional seja igual ao erro. O ganho integral é responsável por eliminar erros de estado estacionário, garantindo que a variável de controle atinja o valor desejado após um determinado tempo. Um valor de Ti alto resulta em uma resposta mais lenta a erros de estado estacionário, enquanto um valor baixo implica

em uma resposta mais rápida. No projeto, o ganho integral é calculado diretamente pelo período de tempo T da curva.

O ganho derivativo (Td) é responsável por antecipar erros, utilizando a taxa de variação da variável de controle para prever o erro futuro. Um valor de Td alto implica em uma resposta mais agressiva a mudanças abruptas, enquanto um valor baixo resulta em uma resposta mais suave. No projeto, o ganho derivativo é calculado pela soma do tempo médio (Tm) e a derivada da curva em relação ao tempo.

A combinação dos valores de Gp, Ti e Td define o comportamento do controlador PID, garantindo que a variável de controle atinja o valor desejado com o mínimo de oscilações e em um tempo razoável. A escolha adequada desses valores é crucial para o desempenho do sistema de controle, garantindo estabilidade, precisão e rapidez na resposta. O método de síntese implementado no projeto permite uma configuração rápida e precisa dos ganhos PID, facilitando a otimização do sistema de controle.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo apresentou uma pesquisa aplicada com o objetivo de desenvolver um programa para analisar curvas de instrumentos e determinar automaticamente os ganhos PID em sistemas industriais. A metodologia proposta combina análise de curvas de instrumentos com algoritmos, proporcionando uma abordagem eficiente e automatizada para a otimização dos ganhos PID.

O programa desenvolvido foi capaz de determinar os ganhos PID de forma precisa e automatizada, utilizando o método de síntese para calcular os parâmetros a partir da análise da curva do instrumento. Essa solução oferece diversas vantagens para a indústria, como:

Eficiência: A automação do processo de configuração de ganhos PID reduz o tempo e o esforço humano, liberando profissionais para tarefas mais complexas.

Precisão: O programa desenvolvido garante a precisão na determinação dos ganhos PID, otimizando o desempenho do sistema de controle e minimizando erros e instabilidades.

Segurança: A otimização dos ganhos PID contribui para a estabilidade e previsibilidade do sistema, minimizando riscos de acidentes e garantindo a segurança operacional.

Sustentabilidade: O controle PID otimizado permite reduzir o consumo de energia e otimizar o processo produtivo, promovendo uma produção mais eficiente e com menor impacto ambiental.

No entanto, a pesquisa ainda se encontra em fase inicial, necessitando de validação em ambientes industriais reais para confirmar sua aplicabilidade em diferentes cenários. É importante também realizar estudos mais aprofundados sobre a

influência de diferentes tipos de processos e condições operacionais na performance do programa.

A pesquisa abre portas para o desenvolvimento de ferramentas mais robustas e eficazes para a otimização de sistemas de controle PID na indústria, contribuindo para a busca por operações mais eficientes, seguras e sustentáveis. O desenvolvimento futuro do programa poderá incluir a incorporação de novas técnicas de análise de dados, algoritmos de otimização, como generativos.

REFERÊNCIAS

JIANG, H. **Overview and development of PID control**. *Overview and development of PID control.* Proceedings of the 2nd International Conference on Functional Materials and Civil Engineering. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/380983965_Overview_and_development_of_PID_control>. Acesso em 28 de ago. de 2024

LEAO, André Luís de Araújo Marques.; **Métodos de sintonização automática de controladores PIDs e análise estatística de desempenho.** Trabalho de Graduação de bacharelado em Engenharia Mecânica. Universidade Estadual de Campinas, Brasil, junho de 2014.

TOSO, Bruno.; **Auto-Tuning PID controller based on Genetic Algorithm.** Trabalho de Bacharelado em Engenharia Eletrica. Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Brasil, junho de 2018.

Exemplo de aplicação de controle PID com túnel de vento. Disponível em: <https://www.altus.com.br/base-conhecimento/categoria/17/detalhe/609/exemplo-de-aplicacao-de-controle-pid-com-tunel-de-vento>. Acesso em: 28 de ago. de 2024.