

## Estudo e Análise do Modelo Matemático da Não Linearidade de Folga em um Robô SCARA

Gustavo F. M. Philippsen<sup>1</sup>, Eduarda R. Weber<sup>2</sup>, Eduardo Padoin<sup>3</sup>, Gilberto C. Thomas<sup>4</sup>

IFFar, Santa Rosa, RS

Luana Henriksen<sup>5</sup>

UNIJUI, Ijuí, RS

Atualmente, a presença de robôs nas indústrias tem sido um dos principais impulsionadores da produção. Isso se deve ao fato desses mecanismos oferecerem a capacidade de aumentar significativamente a produção em um período de tempo relativamente curto, além de proporcionarem uma precisão notável. Contudo, a presença de folga nos trens de engrenagem desses robôs compromete essa precisão. Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo abordar a modelagem matemática da junta rotativa de um robô SCARA (*Selective Compliance Assembly Arm*) e desenvolver uma simulação computacional para futura compensação da folga.

Para tanto, essa pesquisa fundamentou-se em referenciais teóricos, destacando a validação do modelo proposto por [2] para a não linearidade de folga em uma bancada de testes. Além disso, foram consideradas contribuições de autores como [3], que ressalta a importância da escolha dos trens de engrenagem e ainda [1], onde é elaborado um controlador de decomposição virtual com a capacidade de reduzir ou eliminar o efeito de folga aplicando atenuadores rotativos hidráulicos do tipo helicoidal. Nessa perspectiva, a análise de parâmetros como velocidade de entrada, folga, eficiência e custo torna-se crucial, uma vez que geralmente há uma relação inversa entre custo, folga e eficiência. Diante desse cenário, a pesquisa abordou a necessidade de equilibrar custos e eficiência ou compensar a folga por meio de sistemas de controle.

Os robôs do tipo SCARA, possuem uma configuração composta por uma base fixa, seguida por duas juntas rotativas e uma prismática, podendo incluir uma junta rotativa adicional para a orientação do efetuador final. O acionamento das juntas rotativas ocorre por meio de transmissão por engrenagens com dentes retos. Essa escolha de transmissão, embora seja mais econômica, pode resultar em maior folga, impactando a precisão dos movimentos realizados e introduzindo não linearidades no sistema.

O modelo empregado nesta pesquisa, conforme delineado por [2], visa representar a dinâmica da junta robótica, sendo composto por dois elementos principais: o modelo do eixo motor (1) e o eixo movido (3) do conjunto de engrenagens. Esses modelos são fundamentados na segunda lei de Newton do equilíbrio dinâmico. Além disso, o modelo incorpora a não linearidade de folga (2), conforme proposto por [4]. Desse modo, o sistema dinâmico é modelado considerando a interação entre o modelo do conjunto de engrenagens e o modelo da folga, conforme expresso nas equações a seguir.

$$J_m \cdot \ddot{\theta}_m + C_m \cdot \dot{\theta}_m + T_{ll} = T_m \quad (1)$$

<sup>1</sup>philippsen0075@gmail.com

<sup>2</sup>eduarda.rozek2003@gmail.com

<sup>3</sup>eduardo.padoin@iffarroupilha.edu.br

<sup>4</sup>gilberto.thomas@iffarroupilha.edu.br

<sup>5</sup>luanabehnenh@gmail.com

$$\theta_1(t) = \begin{cases} m(\theta_m(t) - c_l) & \text{se } \theta_m(t) \leq v_l \\ m(\theta_m(t) - c_r) & \text{se } \theta_m(t) \geq v_r \\ \theta_1(t-1) & \text{se } v_l < \theta_m(t) < v_r \end{cases} \quad (2)$$

$$J_1 \cdot \ddot{\theta}_1 + C_1 \cdot \dot{\theta}_1 + T_d = T_{lu} \quad (3)$$

onde,

$$v_l = \frac{\theta_1(t-1)}{m} + c_l \quad v_r = \frac{\theta_1(t-1)}{m} + c_r \quad (4)$$

Utilizando esse modelo, procedeu-se a implementação e simulação computacional no software MATLAB/Simulink, empregando um sinal do tipo dente de serra como entrada do sistema, o qual sofreu variações entre -4 e 4 radianos ao longo de uma simulação de 16 segundos, utilizando os parâmetros da bibliografia [2, 4]. Com isso verificou-se os efeitos danosos da folga em todos os casos simulados. Uma vez que a curva da saída do sistema descreve um atraso (delay) em comparação com a curva de entrada do sistema.

A partir disso, espera-se desenvolver um sistema de controle para compensar a folga existente na junta rotativa, com posterior validação através de simulações computacionais. Dessa maneira, pretende-se atenuar os efeitos prejudiciais causados pela folga nos trens de engrenagens de robôs industriais de baixo custo, proporcionando maior precisão nas tarefas designadas.

## Agradecimentos

Agradecemos ao Instituto Federal Farroupilha e a FAPERGS pelo apoio financeiro dessa pesquisa.

## Referências

- [1] A. A. Adeleke. “Adaptive Backlash Inverse Compensated Virtual Decomposition Control of a Hydraulic Manipulator with Backlash Nonlinearity.” Em: **Tampere University of technology** (2017).
- [2] E. Padoin. “Modelagem Matemática da Dinâmica da Não Linearidade de Folga em uma Junta Rotativa de um Robô Scara com Transmissão por Engrenagens”. Em: **Dissertação de Mestrado em Modelagem Matemática** (2011). DOI: 10.1007/s40314-014-0163-6.
- [3] F. Ross, H. Johansson e J. Wikandoer. “Optimal selection of motor and gearhead in mechatronic applications.” Em: **Mechatronics** (2006). Aceito. DOI: 10.1016/j.mechatronics.2005.08.001.
- [4] G. Tao e P. V. Kokotovic. “Adaptative control of systems with actuator and sensor nonlinearities.” Em: **John Wiley and Sons** (1996). DOI: 978-0-471-15654-3.