

Proyecto de Tesis de Maestría

Título: Esquemas de control y observación por modos deslizantes de alto orden mediante el uso de modelos descriptores.

Director / Co-Director / Asesor: Humberto Alan Tapia Hernández / David Ismael Vázquez Dueñas / Miguel Ángel Bernal Reza.

Clase de sistemas a considerar: Este trabajo considera el diseño de controladores y observadores por medio de algoritmos de modos deslizantes de alto orden modelados como *modelos descriptores*:

$$E(x)\dot{x} = f(x)x + d(t, x), \quad (1)$$

donde $x \in \mathbb{R}^n$ representa los estados del sistema, las matrices $E(x)$ y $f(x)$ son matrices de dimensiones adecuadas y $d(t, x) : \mathbb{R} \times \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^n$ representa un vector de incertidumbres y perturbaciones exógenas. Los algoritmos de modos deslizantes, como el Twisting y el Super-twisting [1], el super-twisting de ganancia variable [2], así como una gran variedad de algoritmos de modos deslizantes de alto orden [3] son susceptibles de representarse en la forma (1). Sistemas en forma de descriptores lineales han sido estudiados en monografías tales como [4].

Clase de técnicas de control a considerar: Este trabajo desarrollará esquemas de control y observación por *modos deslizantes* [5]; en su forma más simple, esta técnica consiste en determinar una entrada de control *continua o discontinua* que dirija a las trayectorias del sistema a una *superficie deslizante* (subespacio del espacio de estados) en tiempo finito, luego de lo cual, el diseño de dicha superficie garantice que estas trayectorias de dirijan al origen de forma asintótica sobre ella [6], [5]. Los modos deslizantes utilizan conceptos de ecuaciones diferenciales con lado derecho discontinuo [7] y, por años, se basaron en reescribir el modelo como un sistema lineal más componentes no lineales considerados perturbaciones; en años recientes, distintas generalizaciones que utilizan sistemas nominales no lineales han aparecido, por ejemplo [8] y [9].

Clase de metodología numérica a considerar: En este trabajo se privilegia la formulación de condiciones de diseño en forma de desigualdades matriciales lineales (LMIs, por sus siglas en inglés) [10] que pueden resolverse eficazmente por medio de software comercial [11], [12]. Para conseguir dicha formulación se utiliza la reescritura convexa de expresiones no lineales [13] y la factorización de señales del error [14].

Objetivo general: Proporcionar esquemas de control y observación para sistemas con modelo descriptor, inspirados en modos deslizantes y cuyas condiciones de diseño puedan expresarse como LMIs.

Productos académicos comprometidos: 1 artículo de conferencia internacional arbitrada publicado antes del 31 de Agosto de 2026; 1 tesis defendida antes del 15 de Diciembre de 2026.

REFERENCES

- [1] A. Levant, "Sliding order and sliding accuracy in sliding mode control," *International Journal of Control*, vol. 58, no. 6, pp. 1247–1263, 1993.
- [2] J. Moreno, "A linear framework for the robust stability analysis of a generalized super-twisting algorithm," in *Proceedings of the 6th International Conference on Electrical Engineering, Computing Science and Automatic Control*, Toluca, Mexico, 2009, pp. 12–17.
- [3] A. Levant, "Higher-order sliding modes, differentiation and output feedback control," *International Journal of Control*, vol. 76, no. 9-10, pp. 924–941, 2003.
- [4] G. R. Duan, *Analysis and Design of Descriptor Linear Systems*. Springer-Verlag New York, 2010.
- [5] C. Edwards and S. Spurgeon, *Sliding Mode Control: Theory and Applications*. London, England: Taylor and Francis, 1998.
- [6] H. Khalil, *Nonlinear Systems*, 3rd ed. New Jersey, USA: Prentice Hall, 2002.
- [7] Y. Shtessel, C. Edwards, L. Fridman, and A. Levant, *Sliding Mode Control and Observation*. New York, USA: Birkhäuser, 2013.
- [8] A. Tapia, M. Bernal, and L. Fridman, "Nonlinear sliding mode control design: an LMI approach," *Systems & Control Letters*, vol. 104, pp. 38–44, 2017.
- [9] D. Vázquez, D. Quintana, A. Tapia, V. Estrada-Manzo, and M. Bernal, "Convex handling of nonlinear nominal models can overcome limitations on sliding mode observer design," *European Journal of Control*, vol. 82, pp. 1–9, 2025.
- [10] S. Boyd, L. El Ghaoui, E. Feron, and V. Balakrishnan, *Linear Matrix Inequalities in System and Control Theory*. Philadelphia, USA: Studies in Applied Mathematics, 1994.
- [11] P. Gahinet, A. Nemirovsky, A. Laub, and M. Chilali, *LMI control toolbox*. Natick, USA: Math Works, 1995.
- [12] J. Sturm, "Using SeDuMi 1.02, a MATLAB toolbox for optimization over symmetric cones," *Optimization Methods and Software*, vol. 11, no. 1-4, pp. 625–653, 1999.
- [13] M. Bernal, A. Sala, Z. Lendek, and T. Guerra, *Analysis and Synthesis of Nonlinear Control Systems: A convex optimisation approach*. Cham, Switzerland: Springer, 2022.
- [14] D. Quintana, V. Estrada-Manzo, and M. Bernal, "No excuses to avoid observing unstable nonlinear systems: an lmi-based discontinuous solution," *IEEE Transactions on Automatic Control*, vol. 69, no. 10, pp. 7136–7143, 2024.