

Resumen

Existe una extensa red de líneas ferroviarias electrificadas en todo el mundo. La mayoría de ellas utilizan líneas aéreas de contacto o catenarias para suministrar electricidad a los trenes. Las catenarias son estructuras de cables ubicadas sobre las vías ferroviarias, diseñadas para ser contactadas por los pantógrafos que se encuentran sobre la parte superior de los trenes. El correcto funcionamiento del sistema requiere un alto nivel de exigencia, especialmente a alta velocidad, cuando la continuidad del contacto se ve comprometida.

La herramienta más empleada para el estudio y diseño del sistema pantógrafo-catenaria es el uso de simulaciones numéricas. En particular, el Método de los Elementos Finitos (MEF) es la técnica más extendida para modelar y simular la interacción dinámica del pantógrafo con la catenaria. Este método permite modelar catenarias con fidelidad y sin pérdida de generalidad.

Después de la etapa de simulación, el pantógrafo y la catenaria tienen que ser testados mediante ensayos experimentales en vía. Sin embargo, existe una alternativa que puede reemplazar esos ensayos con una reducción significativa de costes. Dicha alternativa, llamada Hardware In the Loop (HIL), permite testar pantógrafos en el laboratorio mediante un banco de ensayos que emula la interacción con una catenaria virtual. Diferentes grupos de investigación han implementado HIL; sin embargo, en todos los intentos se han adoptado soluciones de compromiso, lo que demuestra el reto que supone la aplicación de HIL. Esta Tesis pretende avanzar en el campo de ensayos HIL, impulsando las capacidades de la técnica y solventando algunas de las limitaciones encontradas

en la literatura. Para ello se proponen dos tipos diferentes de modelos de catenaria para su uso en ensayos HIL.

El primero es un modelo analítico basado en un cable tensado con perfil geométrico periódico que proporciona la solución estacionaria del sistema. Este enfoque reduce la complejidad de la catenaria, pero mantiene las principales características que intervienen en la dinámica. El modelo ha demostrado ser útil para explicar el comportamiento fundamental de la catenaria, ayudando a comprender el fenómeno de interferencia entre dos pantógrafos. Este modelo analítico es adecuado para HIL debido a su bajo coste computacional. En el presente trabajo se propone un algoritmo iterativo para utilizar el modelo analítico en HIL. El hecho de que el modelo sea periódico permite la aplicación de una estrategia específica para compensar el retraso del lazo de control. Esta estrategia tiene un excelente rendimiento y precisión, validados al comparar ensayos HIL con simulaciones numéricas y obtener coincidencia entre los resultados. Esta coincidencia no se podrá conseguir si el modelo de pantógrafo de la simulación es impreciso. Por lo tanto, la validación se realiza con un peso en el lugar del pantógrafo para eliminar las potenciales diferencias en el modelo. Si bien la precisión alcanzada es buena, el modelo analítico de catenaria carece de fidelidad, lo que ha motivado el desarrollo de un modelo periódico más avanzado.

El segundo modelo de catenaria para ensayos HIL es el Modelo Periódico de Elementos Finitos (MPEF), discretizado con el MEF para evitar adicionales simplificaciones topológicas y estructurales. En la formulación se incluye la condición de periodicidad y la dinámica se resuelve mediante análisis en frecuencia. Además, las no linealidades de la catenaria se consideran en la formulación. Un algoritmo iterativo, similar al utilizado para los ensayos HIL con catenaria analítica, es usado para realizar ensayos HIL con catenarias MPEF. La estrategia anterior de utilización de un peso se emplea para validar el sistema de ensayos, resultando tener una gran precisión. Los resultados son gratificantes debido a la sofisticación del modelo de catenaria, la precisión de los ensayos y la cancelación del retraso. Los ensayos realizados simulan la respuesta de catenarias realistas con la hipótesis simplificativa de periodicidad. Son adecuados para la dinámica de catenarias de vanos iguales en la zona central de cada cantón, sin embargo es necesario seguir realizando esfuerzos para eliminar la condición de periodicidad sin comprometer la precisión de los resultados.