UNIVERSIDAD DE GRANADA

FACULTAD DE CIENCIAS

Propuesta TFG. Curso 2026/2027

GRADO: Grado en Física

CÓDIGO DEL TFG: 267-063-2026/2027

1. DATOS BÁSICOS DEL TFG:

Título: El método numérico de modelado por líneas de transmisión en problemas de propagación electromagnética.

Descripción general (resumen y metodología):

Breve descripción del trabajo:

Se abordan en este TFG los aspectos fundamentales de la simulación numérica de un problema de propagación electromagnética mediante un método numérico de baja frecuencia: el método de modelado por líneas de transmisión o método TLM. El método es esencialmente diferente a otros métodos de baja frecuencia más extendidos, como diferencias finitas en el dominio del tiempo, FDTD, en el sentido de que el trabajo teórico inicial no se centra en la resolución de ecuaciones diferenciales acopladas sino en la búsqueda de un problema análogo de resolución alternativa. El método TLM sustituye el medio original por un entramado de líneas de transmisión formado por la interconexión de circuitos elementales, los nudos TLM. Los pulsos de tensión e intensidad se propagan por esta malla de manera análoga a como se propagaría el campo electromagnético en el problema original, no obteniéndose estos pulsos por la resolución de ecuaciones diferenciales complejas, sino a través de simples operaciones matriciales que describen la transmisión y reflexión de pulsos incidentes en el centro de estos nudos.

Como es lógico, el método presenta ventajas y desventajas. En el grupo de las desventajas, destacan principalmente la dificultad conceptual que conlleva el uso de circuitos de líneas de transmisión y las mayores necesidades de memoria cuando se compara con otros métodos más populares como FDTD. Por otro lado, el método presenta la ventaja de que el método define todas las magnitudes de campo en el mismo instante y posición, el centro del nudo, así como en la interfase, de ahí su mayor necesidad de memoria. Este exceso de información, a cambio, conlleva ventajas importantes a la hora de modelar sistemas generales o imponer condiciones de contorno. Pero quizás el aspecto más relevante del método lo constituye su carácter conceptual, pues es precisamente este aspecto el que le permite readaptarse para modelar numéricamente de forma elegante, potente y versátil materiales complejos sin que ello represente, ni un incremento relevante de memoria, ni una complejidad sensiblemente mayor en relación a la versión básica necesaria para modelar, por ejemplo, el vacío. Podría decirse que el TLM es un método complejo para resolver sistemas sencillos, pero que su nivel de dificultad prácticamente se mantiene cuando el problema a modelar se complica.

En este TFG, además del conocimiento de un concepto poco tratado en el grado, la línea de transmisión, y sobre todo de la profundización en el uso de analogías para modelar numéricamente mediante el método TLM, se abordan la mayoría de los aspectos teóricos fundamentales que usualmente acompañan a la simulación numérica de un problema de propagación: alimentación, dispersión numérica, condiciones de frontera cerradas y abiertas y análisis espectral de resultados. Cada uno de estos conceptos se aplicará a la propagación electromagnética en medios isótropos y no dispersivos, contrastando resultados numéricos obtenidos por el estudiante usando el TLM con resultados teóricos o numéricos independientes.

Metodología:

Inicialmente, se estudian los aspectos fundamentales de una línea de transmisión, tanto en el dominio de la frecuencia, importante para la situación estacionaria, como la transitoria, fundamental en la aplicación de este TFG y se inicia al estudiante en el método TLM.

En primer lugar y fundamental en el TLM, el funcionamiento conceptual de las diferentes configuraciones (línea abierta, cortocircuitada o de longitud infinita) se comprenderá mediante su

aplicación a la resolución mediante el uso de líneas de transmisión de circuitos de parámetros localizados de diversa complejidad.

A continuación, se aplicará el TLM a un problema de propagación electromagnético básico: la propagación electromagnética en un medio isótropo y no dispersivo de dimensiones infinitas. Haciendo uso de condiciones de simetría, se modelará una onda plana y se analizará su composición espectral, detectando la limitación numérica que impone el tamaño de nudo elegido debido a la dispersión numérica. Posteriormente, se simulará la reflexión y transmisión en sistemas con interfases que incluyen casos sencillos y medios multicapa en incidencia normal.

El siguiente problema práctico a tratar es la simulación de propagación electromagnética en guías de ondas. Se estudiará la dispersión física inherente a estos medios confinados, modelando y visualizando el concepto de modo de propagación, frecuencia de corte y modos evanescentes.

Sobre este mismo sistema y como aplicación final, se implementarán condiciones de contorno del tipo “one-way equations”. Estas ecuaciones ajustan un operador absorbente que es no-local y que simula una onda plana. La aproximación de cierto orden permite obtener un operador local que absorbe ondas incidentes en un número de direcciones determinado por el orden de la aproximación realizada. La dependencia de la dirección de propagación con la frecuencia permitirá con este ejemplo determinar la capacidad de las condiciones de contorno para anular la onda incidente en la interfase absorbente para el número de ángulos de incidencia que establece el orden de la condición de contorno local.

Tipología: Estudio de casos, teóricos o prácticos, relacionados con la temática del Grado.

Objetivos planteados:

Objetivos planteados:

Familiarización del estudiante con el concepto de líneas de transmisión y de su aplicación a la resolución numérica mediante analogías eléctricas.

Familiarización con el método numérico TLM y los aspectos necesarios en un problema de propagación electromagnética mediante un método de baja frecuencia (TLM, Diferencias Finitas, ...): discretización, dispersión numérica, alimentación, análisis de resultados, condiciones de frontera, ...

Aplicación del método a diferentes situaciones que permitan contrastar resultados y afianzar conceptos tanto teóricos como numéricos.

Familiarización con el concepto de dispersión numérica y dispersión física.

Familiarización con la obtención de condiciones de contorno absorbentes.

Bibliografía básica:

Bibliografía:

- S. Akhtarzad and P.B. Johns, “Solution of Maxwell's equations in three space dimensions and time by the t.l.m. method of numerical analysis”, Institution of Electrical Engineers Proceedings, vol. 122, pp. 1344–1348, 1975, https://doi.org/10.1049/piee.1975.0328.
- P. B. Johns, "A Symmetrical Condensed Node for the TLM Method," in IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 35, no. 4, pp. 370-377, Apr 1987, doi: 10.1109/TMTT.1987.1133658.
- Matthew N. O. Sadiku, “Elementos De Electromagnetismo” - 3ra Edición - Ed. Oxford University Press, 2003
- M.A. Plonus, Electromagnetismo Aplicado. Ed. Reverté, 1994.
- David M. Pozar. Microwave Engineering. Wiley, 4a edition, 2011.
- P. B. Johns, “A Symmetrical Condensed Node for the TLM Method”, IEEE Trans. Microw. Theory Tech., vol. 35, no. 4, pp. 370-377, abr. 1987, doi: 10.1109/TMTT.1987.1133658.
- Alfonso Salinas Extremera, Jesús Rodríguez Camacho. Transmisión de ondas (con
- herramientas en Python). Editorial Técnica Avicam, 2018.

- J.G. Blaschak and G.A. Kriegsmann, “A Comparative Study of Absorbing Boundary Conditions”, Journal of Computational Physics, vol. 77, no. 1, Elsevier, pp. 109–139, 1988. doi:10.1016/0021-9991(88)90159-3.
- E.A Navarro, L. Gallart, V. Such, J.L. Cruz, and B. Gimeno, "Accurate absorbing boundary condition for the FDTD analysis of H-plane waveguide discontinuities", IEE Proceedings Microwave Antennas Propagation, Vol.141, No.1, pp.59-61, 1994, https://doi.org/10.1049/ip-map:19949794.
- J. A. Morente, G. Gimenez, J. A. Portí and M. Khalladi, "Group and phase velocities in the TLM-symmetrical-condensed node mesh," in IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 42, no. 3, pp. 514-517, March 1994, doi: 10.1109/22.277448.

Recomendaciones y orientaciones para el estudiante:

Plazas: 1

2. DATOS DEL TUTOR/A:

Nombre y apellidos: JORGE ANDRÉS PORTÍ DURÁN

Ámbito de conocimiento/Departamento: FÍSICA APLICADA

Correo electrónico: jporti@ugr.es

3. COTUTOR/A DE LA UGR (en su caso):

Nombre y apellidos:

Ámbito de conocimiento/Departamento:

Correo electrónico:

4. COTUTOR/A EXTERNO/A (en su caso):

Nombre y apellidos:

Correo electrónico:

Nombre de la empresa o institución:

Dirección postal:

Puesto del tutor en la empresa o institución:

Centro de convenio Externo:

5. DATOS DEL ESTUDIANTE:

Nombre y apellidos: JAVIER JIMENEZ CONCEPCION

Correo electrónico: javierjc04@correo.ugr.es