



Propuesta de Trabajo Fin de Grado del Doble Grado en Física y Matemáticas (curso 2022-2023)

Responsable de tutorización: Jorge Portí Durán

Correo electrónico: jporti@ugr.es

Departamento: Física Aplicada

Área de conocimiento: Física Aplicada

Responsable de cotutorización: Alfonso Salinas Extremera

Correo electrónico: asalinas@ugr.es

Departamento: Electromagnetismo y Física de la Materia Condensada

Área de conocimiento: Electromagnetismo

(Rellenar sólo en caso de que la propuesta esté realizada a través de un estudiante)

Estudiante que propone el trabajo: Daniel Grana Ramos

Título: El método de modelado por líneas de transmisión: aspectos teóricos fundamentales

Número de créditos: 6 ECTS 12 ECTS

Tipología del trabajo (marcar una o varias de las siguientes casillas):

1. Revisiones y/o trabajos bibliográficos sobre el estado actual de aspectos específicos relacionados con la titulación
2. Estudio de casos, teóricos o prácticos, relacionados con la temática de la titulación, a partir del material disponible en los centros
3. Trabajos experimentales, de toma de datos de campo, de laboratorio, etc.
4. Elaboración de nuevas prácticas de laboratorio
5. Elaboración de un informe o un proyecto en el ámbito del grado de naturaleza profesional
6. Trabajos relacionados con las prácticas externas

Descripción y resumen de contenidos:

Se abordan en este TFG los aspectos fundamentales de la simulación numérica de un problema de propagación 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 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 más sencilla e intuitiva. El TLM diseña supercircuitos de líneas de transmisión a través de los cuales se propagan pulsos de tensión e intensidad de acuerdo a leyes sencillas basadas en coeficientes de reflexión y transmisión.

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 basadas en su uso para comprender otros fenómenos, el método TLM, se aborda 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.

El estudio a desarrollar centrará su atención en cuatro aspectos de carácter fundamental más que en el alcance de las aplicaciones concretas. Así, tras una primera parte en la que se estudien las líneas de transmisión y su utilización para resolver las ecuaciones de Maxwell, se prestará especial atención a dos cuestiones de interés teórico fundamental:

- i) La acotación del error en los resultados obtenidos que nos permita sacar conclusiones acerca de la estabilidad y la convergencia de los resultados a la solución esperada.
- ii) En un problema abierto, ¿qué condiciones de contorno se pueden utilizar para seguir que el medio modelado

se reduzca sin alterar la solución y poder así optimizar recursos de memoria y tiempo de cálculo?

Tras estudiar este estudio centrado en analizar la bondad de los resultados y optimización de recursos, se pretende abordar la reformulación del método en términos de teoría de campos en el que los estados del sistema se presentan como elementos de un espacio de Hilbert sobre el que actúan operadores. A partir de esta abstracción más centrada en los fundamentos teóricos del método, se procederá a visitar aspectos teóricos como son la dispersión, la convergencia, la posible detección de multiplicidad de soluciones y presentando aspectos básicos de otras aplicaciones que emanen de esta reformulación basada en Teoría de Campos.

Actividades a desarrollar:

1) La primera parte se centra en comprender y presentar el método TLM. Inicialmente se estudiarán 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, incluyendo acoplamientos y no linealidades.

A continuación, se aplicará el TLM a un problema de propagación electromagnética en el que se introducirán muy básicamente los diferentes aspectos necesarios en toda simulación numérica de esta índole: la definición de la analogía, los distintos modos de alimentación, el comportamiento numérico, condiciones de contorno, ...

2) Establecido el primer contacto con el método, se procederá a analizar con mayor rigor la validez de las soluciones obtenidas a través del estudio en frecuencia del método TLM. Se obtendrá la relación de dispersión que permitirá identificar a priori las frecuencias modeladas correctamente y se simulará una onda Gaussiana en distintas situaciones para corroborar e identificar ese comportamiento en las soluciones temporales.

3) A continuación, se abordarán diferentes condiciones de contorno para sistemas abiertos. A priori se propone plantear tres casos esencialmente diferentes: adaptación de impedancias, imposición de condiciones de contorno de tipo de onda unidireccional y condiciones de tipo Perfectly Matching Layer (PML). Se propone aplicarlas a un problema de propagación en una guía de onda rectangular, lo que reduce en parte la complejidad de la tarea y cuya solución analítica permitirá estudiar coeficientes de reflexión numéricos dependientes de la frecuencia o el ángulo de incidencia.

4) La última parte consistirá en la reformulación del método en base a conceptos de Teoría de Campos. Se desarrolla el método a partir de operadores que actúan sobre vectores que contienen todos los voltajes incidentes en la malla TLM para todos los puntos y cualquier instante. De las propiedades de estos operadores se extraerán conclusiones acerca de la estabilidad y la convergencia. Se presentará el problema de la dispersión ya tratado anteriormente, ahora desde el punto de vista operacional y se plantearán otras posibles fortalezas de este replanteamiento teórico.

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 simulación mediante un método de baja frecuencia (TLM, Diferencias Finitas,...): discretización, dispersión numérica, alimentación, análisis de resultados, condiciones de frontera,...

Estudio de bondad de las soluciones.

Familiarización con el uso e implementación de diferentes condiciones de contorno absorbentes en métodos numéricos.

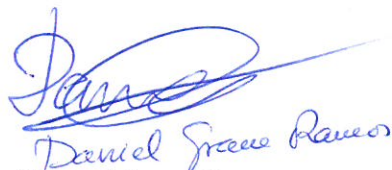
Familiarización con la aplicación de la teoría de campos para comprender el método desde una posición de contenido más teórico/fundamental que aplicado.

Familiarización con la resolución de ecuaciones diferenciales acopladas y comprensión de las distintas soluciones analíticas posibles (modos de propagación), así como su modelado numérico en casos prácticos.

Capacidad para elaborar un programa de ordenador propio capaz de implementar el algoritmo TLM con los aspectos tratados en el TFG.

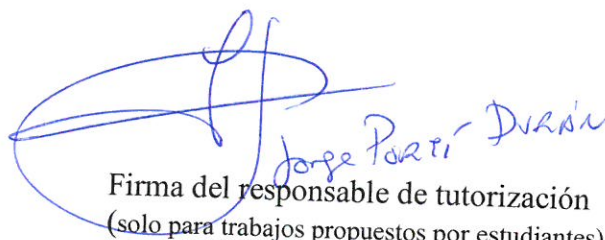
Bibliografía

- C. Christopoulos, "The Transmission-line Modeling Method: TLM", IEEE Press (1995)
- Matthew N. O. Sadiku, "Elementos De Electromagnetismo" - 3ra Edición - Ed. Oxford University Press, 2003
- M.A. Plonus, Electromagnetismo Aplicado. Ed. Reverté, 1994.
- M. Krumpholz and P. Russer, "A field theoretical derivation of TLM," in IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 42, no. 9, pp. 1660-1668, Sept. 1994, doi: 10.1109/22.310559.
- Russer, P. and Krumpholz, M. (1993), The hilbert space formulation of the TLM method. Int. J. Numer. Model., 6: 29-45. <https://doi.org/10.1002/jnm.1660060105>
- J. N. Rebel, M. Aidam and P. Russer, "On the convergence of the classical symmetrical condensed node-TLM scheme," in IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 49, no. 5, pp. 954-963, May 2001, doi: 10.1109/22.920154.



Firma del estudiante

(solo para trabajos propuestos por estudiantes)



Firma del responsable de tutorización

(solo para trabajos propuestos por estudiantes)



Firma del responsable de cotutorización (en su caso)

(solo para trabajos propuestos por estudiantes)

En Granada, a 11 de mayo de 2022