UNIVERSIDAD DE GRANADA

FACULTAD DE CIENCIAS

Propuesta TFG. Curso 2026/2027

GRADO: Grado en Física

CÓDIGO DEL TFG: 267-009-2026/2027

1. DATOS BÁSICOS DEL TFG:

Título: Análisis y modelado numérico de medios electromagnéticos con modulación temporal

Descripción general (resumen y metodología):

El electromagnetismo computacional constituye una herramienta fundamental para el análisis y diseño de dispositivos y sistemas electromagnéticos complejos. Entre las distintas aproximaciones existentes, los métodos numéricos en el dominio del tiempo permiten estudiar de forma directa la evolución temporal de los campos electromagnéticos y analizar fenómenos transitorios, dispersivos y no estacionarios.

En los últimos años ha surgido un creciente interés por el estudio de medios electromagnéticos cuyas propiedades materiales varían en el tiempo "time-varying media". Estos sistemas ofrecen nuevas posibilidades para el control de la propagación de las ondas electromagnéticas, dando lugar a fenómenos de gran relevancia científica y tecnológica, como la conversión de frecuencia, la amplificación paramétrica, la ruptura de la reciprocidad o el intercambio de energía entre ondas y medio.

El objetivo de este trabajo es estudiar la modelización numérica de medios variantes en el tiempo mediante métodos computacionales en el dominio temporal, con especial atención a su implementación dentro del marco de las ecuaciones de Maxwell. Para ello se desarrollarán herramientas de simulación que permitan analizar la propagación electromagnética en materiales con parámetros dependientes del tiempo y evaluar los efectos producidos por diferentes esquemas de modulación temporal. Los resultados obtenidos se contrastarán con predicciones teóricas y trabajos recientes de la literatura científica, combinando fundamentos de electromagnetismo computacional con técnicas modernas de simulación numérica.

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

Objetivos planteados:

1. Estudiar la incorporación de propiedades materiales variantes en el tiempo (time-varying media) en métodos numéricos para electromagnetismo computacional y analizar su impacto en la propagación de ondas electromagnéticas.
2. Revisar los fundamentos teóricos de la resolución numérica de las ecuaciones de Maxwell en el dominio temporal dentro del electromagnetismo computacional.
3. Estudiar el concepto de medios electromagnéticos con propiedades dependientes del tiempo, así como sus principales aplicaciones y fenómenos asociados.
4. Desarrollar un modelo numérico unidimensional para la propagación de ondas electromagnéticas en el dominio temporal. Particularizar el esquema numérico al método de diferencias finitas en el dominio del tiempo (FDTD) e implementar una versión básica en 1D.
5. Extender el algoritmo para incorporar parámetros materiales variables en el tiempo, como la permitividad y/o la permeabilidad.
6. Analizar fenómenos característicos asociados a la modulación temporal, como la conversión de frecuencia y los efectos no recíprocos.
7. Comparar los resultados obtenidos con casos estacionarios y con resultados publicados en la literatura.

Bibliografía básica:

[1] Computational Electrodynamics: The Finite-Difference Time-Domain Method
A. Taflove y S. C. Hagness, Artech House, 2005.
[2] Kane Yee, "Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell's equations in isotropic media", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 1966.
[3] Nader Engheta, "Metamaterials with high degrees of freedom: space, time and more", Nanophotonics, 2021.
[4] Viktor Galiffi et al., "Photonics of time-varying media", Advanced Photonics, 2022.
[5] Andrea Alù and collaborators, "Roadmap on time-varying electromagnetics", Journal of Physics: Photonics, 2022.
[6] Shanhui Fan, "Dynamic modulation and nonreciprocal photonics", Nature Photonics, 2023.

Recomendaciones y orientaciones para el estudiante:

Metodología:
Revisión bibliográfica
Desarrollo teórico, Derivación de las ecuaciones discretizadas para medios con parámetros dependientes del tiempo. Análisis de estabilidad y condiciones CFL.
Desarrollo de un código FDTD 1D.
Inclusión de variación temporal de un material.
Análisis de resultados

Plazas: 1

2. DATOS DEL TUTOR/A:

Nombre y apellidos: MIGUEL DAVID RUIZ-CABELLO NÚÑEZ

Ámbito de conocimiento/Departamento: ELECTROMAGNETISMO

Correo electrónico: mcabello@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: JUAN DARIO BURGOS BERRAL

Correo electrónico: darioburgos@correo.ugr.es