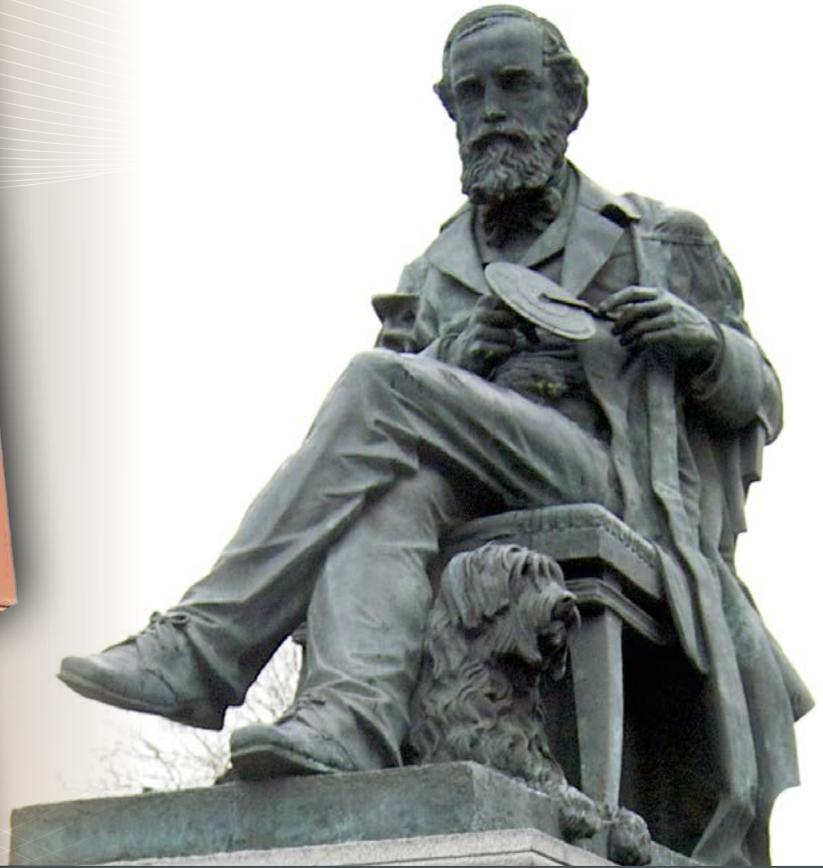


Rafael Boloix Tortosa
Eva María Arias de Reyna Domínguez

PROBLEMAS DE ONDAS PLANAS Y MEDIOS DE TRANSMISIÓN



UNIVERSIDAD DE SEVILLA
Editorial Universidad de Sevilla

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

ÍNDICE

Rafael Boloix Tortosa
Eva María Arias de Reyna Domínguez

PROBLEMAS DE ONDAS PLANAS Y MEDIOS DE TRANSMISIÓN



Sevilla 2017

Serie: Ingeniería
 Colección: Monografías de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería
 Número: 4

COMITÉ EDITORIAL:

José Beltrán Fortes
 (Director de la Editorial Universidad de Sevilla)
 Araceli López Serena
 (Subdirectora)

Concepción Barrero Rodríguez
 Rafael Fernández Chacón
 María Gracia García Martín
 Ana Ilundáin Larrañeta
 Emilio José Luque Azcona
 María del Pópulo Pablo-Romero Gil-Delgado
 Manuel Padilla Cruz
 Marta Palenque Sánchez
 José Leonardo Ruiz Sánchez
 Antonio Tejedor Cabrera

Reservados todos los derechos. Ni la totalidad ni parte de este libro puede reproducirse o transmitirse por ningún procedimiento electrónico o mecánico, incluyendo fotocopia, grabación magnética o cualquier almacenamiento de información y sistema de recuperación, sin permiso escrito de la Editorial Universidad de Sevilla.

Motivo de la cubierta: Estatua de James C. Maxwell en Edimburgo

Edición digital de la primera edición impresa en 2014

© EDITORIAL UNIVERSIDAD DE SEVILLA 2017
 C/ Porvenir, 27 - 41013 Sevilla
 Tlfs.: 954 487 447; 954 487 451; Fax: 954 487 443
 Correo electrónico: eus4@us.es
 Web: <<http://www.editorial.us.es>>

© RAFAEL BOLOIX TORTOSA
 EVA MARÍA ARIAS DE REYNA DOMÍNGUEZ 2017

ISBNe: 978-84-472-2056-4

DOI: <http://dx.doi.org/110.12795/9788447220564>

Realización interactiva: Emiliano Molina

A nuestras familias

Agradecimientos

Tras completar un trabajo como este no podemos olvidarnos de todas las personas que de forma directa o indirecta han facilitado la realización del mismo. En primer lugar nuestras familias, que han visto cómo innumerables horas fuera de nuestra jornada laboral acababan dedicadas a la docencia, y aún así nos han seguido apoyando en nuestros proyectos. Nuestros alumnos, cuya curiosidad y dudas en muchas ocasiones han puesto de relieve la necesidad de idear ejemplos que ilustren ciertos detalles de difícil comprensión. Nuestros compañeros de Departamento, cuyas aportaciones a discusiones técnicas han arrojado luz sobre distintos aspectos relacionados con los contenidos de las asignaturas. Sin duda, Javier Reina Tosina merece un lugar muy destacado en estos agradecimientos, pues nunca ha dudado en compartir con nosotros sus conocimientos, material docente y bibliografía. También queremos agradecer a Javier Payán Somet y a Juan José Murillo Fuentes su gran ayuda en la edición de este libro, pues han compartido generosamente su trabajo de preparación del formato utilizado.

Prefacio

A lo largo de los años en los que hemos impartido docencia en asignaturas sobre electrodinámica, ondas y medios de transmisión, con gran frecuencia nuestros alumnos nos han pedido que les suministráramos problemas resueltos adicionales a los trabajados en clase para poner en práctica y afianzar los conocimientos teóricos adquiridos. En muchas ocasiones, los propios alumnos han tratado de recopilar enunciados de exámenes de años anteriores, lo que ha resultado en diversas colecciones de problemas en las que podrían tratarse algunos aspectos de forma reiterativa mientras que otros temas quedarían sin cubrir.

Por eso nos ha parecido conveniente elaborar esta colección de problemas originales resueltos, ordenados por temas y abarcando e identificando una gran variedad de situaciones, procurando evitar repeticiones, de manera que se facilite el aprovechamiento eficiente del tiempo de estudio del alumno.

Las materias cubiertas son las siguientes. Tras una breve introducción a la electrodinámica, se presentan el Teorema de Poynting y los aspectos concretos de campos electromagnéticos en presencia de conductores. A continuación se consideran las ondas planas homogéneas. Seguidamente se estudian las ondas guiadas, dedicándose un capítulo a las guías de ondas y otro al análisis de circuitos con líneas de transmisión. Comenzamos cada capítulo con una introducción teórica cuyo propósito no es más que ofrecer un resumen de los distintos conceptos que se trabajarán, y que pueden estudiarse mediante alguno de los textos sobre el tema que recomendamos en las notas bibliográficas que cierran los resúmenes teóricos.

Como no podía ser de otra manera, recomendamos a los estudiantes interesados en sacar el máximo provecho posible de este libro, que traten de resolver los problemas por sí mismos antes de consultar las soluciones, ya que esa es la forma en la que realmente podrán afianzar su aprendizaje y entrenar la capacidad de abordar nuevas situaciones de forma exitosa.

Sevilla, 2013

Índice

<i>Prefacio</i>	V
<i>Índice</i>	VII
<i>Notación</i>	XI
1 Introducción a la Electrodinámica	1
1.1 Ecuaciones de Maxwell	1
1.2 Campos monocromáticos	2
1.3 Ecuaciones de Maxwell para campos monocromáticos	3
2 Teorema de Poynting y Campos Electromagnéticos en Conductores	5
2.1 Teorema de Poynting	5
2.1.1 Teorema de Poynting para campos monocromáticos	6
2.2 Campos electromagnéticos monocromáticos en conductores de geometría simple	9
2.2.1 Conductores que ocupan un semiespacio	9
2.2.2 Corriente en el conductor	10
2.2.3 Potencia media disipada y energía media almacenada	13
2.2.4 Impedancia interna	14
2.3 Conductores con geometría arbitraria	14
P.2.1 Coaxial terminado en cortocircuito	17
P.2.2 Alimentación de una antena de bocina	19
P.2.3 Guía de ondas rectangular terminada en una antena de bocina	23
P.2.4 Coaxial de sección rectangular	28
P.2.5 Guía de ondas sectorial	33
P.2.6 Estructura con una corteza esférica conductora	37
P.2.7 Estructura con dos cortezas esféricas conductoras	40
3 Ondas Planas Homogéneas	45
3.1 Ondas Planas Homogéneas	45
3.1.1 Propiedades	46
3.1.2 Propagación en distintos medios	47



3.1.3 Ondas Planas Homogéneas Monocromáticas	49
Propiedades de las ondas planas homogéneas monocromáticas	50
Polarización de una onda plana homogénea monocromática	50
3.2 Incidencia normal sobre discontinuidades planas	51
3.2.1 Coeficiente de reflexión	52
3.2.2 Impedancia	53
3.2.3 Diagrama y coeficiente de onda estacionaria	55
3.2.4 Potencia incidente, reflejada y transmitida	56
P. 3.1 Polarización de una onda plana homogénea monocromática en el vacío	58
P. 3.2 Onda plana homogénea monocromática que se propaga por un medio sin pérdidas	59
P. 3.3 Onda plana homogénea monocromática en un medio con pérdidas	61
P. 3.4 Atenuación de una onda plana homogénea monocromática que se propaga por un medio con pérdidas	62
P. 3.5 Onda plana homogénea monocromática en un buen dieléctrico	63
P. 3.6 Sistema formado por dos medios dieléctricos. Valor de ruptura del dieléctrico	66
P. 3.7 Sistema formado por tres medios dieléctricos	67
P. 3.8 Lámina dieléctrica situada en el vacío	70
P. 3.9 Diagrama de onda estacionaria en un sistema formado por tres dieléctricos	75
P. 3.10 Reflexión sobre un sistema terminado en conductor perfecto	78
P. 3.11 Sistema formado por cuatro medios dieléctricos	80
P. 3.12 Medidas a dos frecuencias en un sistema formado por cuatro dieléctricos	83
P. 3.13 Material antirreflejante	87
4 Guías de Ondas	93
4.1 Campo electromagnético en los sistemas de guiado	94
4.2 Modos de propagación	96
4.2.1 Modos TM y TE: propagación y corte	98
4.3 Potencia transmitida	101
4.3.1 Potencia transmitida para los modos TM y TE en función de las componentes longitudinales	102
4.4 Guía de ondas de sección rectangular	102
4.5 Guía de ondas de sección circular	103
4.6 Algunas analogías más entre ondas guiadas y ondas planas homogéneas	104
P. 4.1 Modos de propagación en una guía de ondas de sección rectangular	106
P. 4.2 Transmisión de potencia para el modo TE_{11} en una guía de ondas rectangular	107
P. 4.3 Transmisión de potencia para el modo TE_{21} en una guía de ondas rectangular	109
P. 4.4 Guía de ondas rectangular para una señal de banda ancha	111
P. 4.5 Guía de ondas de sección circular	113
P. 4.6 Guía de ondas de sección circular con discontinuidad en el dieléctrico	117
P. 4.7 Cavidad resonante rectangular	119
P. 4.8 Cavidad resonante cilíndrica	121

5 Líneas de Transmisión	125
5.1 Modo TEM	125
5.2 Ondas de tensión y corriente	125
5.3 Análisis circuital de las líneas de transmisión en régimen permanente senoidal	127
5.3.1 Línea de transmisión terminada	127
Reflexión, impedancia y onda estacionaria	127
Potencia	128
5.3.2 Generador	129
5.3.3 Ramificaciones serie y paralelo	130
Reparto de potencia en cargas serie	130
Reparto de potencia en cargas paralelo	130
5.4 Carta de Smith	130
5.4.1 Hallar $\underline{\rho}$ a partir de \overline{Z}	131
5.4.2 Hallar \overline{Z} a partir de $\underline{\rho}$	132
5.4.3 Movimientos por una línea de transmisión sin pérdidas	132
5.5 Análisis circuital de las líneas de transmisión en régimen transitorio	133
5.5.1 Ecuación de ondas	133
5.5.2 Diagrama de reflexiones	134
5.5.3 Primer frente de onda	135
5.5.4 Reflexión del primer frente de onda	135
5.5.5 Reflexión del segundo frente de onda: en el generador	136
5.5.6 Reflexión de los sucesivos frentes de onda	136
P. 5.1 Circuito con dos líneas de transmisión de diferente impedancia característica	137
P. 5.2 Circuito con líneas de transmisión y reparto de potencias en paralelo	139
P. 5.3 Circuito con líneas de transmisión y reparto de potencias en serie	141
P. 5.4 Circuito con líneas de transmisión y reparto de potencias en serie y paralelo	143
P. 5.5 Circuito con líneas de transmisión y ramificación paralelo	145
P. 5.6 Carta de Smith	148
P. 5.7 Línea de transmisión adaptada en régimen transitorio	149
P. 5.8 Línea de transmisión con una deficiencia en régimen transitorio	151
P. 5.9 Dos líneas de transmisión de diferente impedancia característica en régimen transitorio	153
<i>Índice de Figuras</i>	159
<i>Índice de Tablas</i>	161
<i>Bibliografía</i>	163