

Antenes

Aurora Andújar Linares
Jaume Anguera Pros

PID_00178408

Material docent de la UOC


Aurora Andújar Linares

Aurora Andújar va néixer a Barcelona, Espanya, l'any 1984. Es va llicenciar en Enginyeria de Telecomunicacions l'any 2005 en l'especialitat de Sistemes de Telecomunicacions, va obtenir el màster d'Enginyeria de Telecomunicacions l'any 2007 i també l'any 2007 va obtenir el màster en Enginyeria de Telecomunicacions i Gestió per la UPC, Barcelona, Espanya. Durant el curs 2004-2005 va rebre una beca d'investigació del Departament de Teoria del Senyal i Comunicacions de la UPC. L'any 2005 va treballar com a enginyera de proves de programari per a aplicacions concebudes per a dispositius sense fils portàtils i el 2006, com a enginyera de programari dissenyant una eina de simulació de càrrega per tal de provar Digital Campus en entorns acadèmics. Des de l'any 2007 treballa com a enginyera d'I+D a Fractus, Barcelona, Espanya, on contribueix en el manteniment i el creixement de la cartera de patents de la companyia. També participa en diversos projectes en el camp del disseny d'antenes miniatura i multibanda per a dispositius mòbils. Des de l'any 2009 lidera projectes de recerca en el camp de les antenes per a dispositius sense fils portàtils dins el marc de la col·laboració universitat-indústria. Actualment està fent el doctorat en el camp de les antenes miniatura i multibanda per a dispositius mòbils. És autora de més de quaranta publicacions en revistes científiques i conferències nacionals i internacionals. Ha dirigit sis projectes de fi de carrera i màster i també és autora de cinc patents d'invents en el camp de les antenes.


Jaume Anguera Pros

Jaume Anguera va néixer a Vinaròs, Espanya, l'any 1972. Va rebre el títol d'Enginyer Tècnic en Sistemes Electrònics i d'Enginyer Superior en Electrònica ambdós per la Universitat Ramón Llull (URL), Barcelona. Va rebre el títol d'Enginyer Superior de Telecomunicació i Doctor Enginyer de Telecomunicació ambdós per la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), Barcelona. Durant el període 1997-1999 va entrar a la UPC com a investigador en el camp de les antenes fractals microstrip. L'any 1999 va treballar com a investigador a S. Radiantes, Madrid, Espanya. Aquest mateix any es vincula com a professor associat a la URL, on dona classes sobre antenes. Des de l'any 1999 treballa a Fractus com a Manager R+D. Els anys 2003 i 2004 va treballar a Fractus-Corea del Sud. Des de l'any 2005 ha liderat projectes en el camp de les antenes dins el marc de la col·laboració universitat-indústria. Té més de cinquanta-tres patents i vuitanta-tres més en tràmit en l'àmbit de les antenes. És autor de més de cent quaranta publicacions en revistes científiques i conferències nacionals i internacionals i ha dirigit més de cinquanta-nou projectes de fi de carrera i màster. El Dr. Anguera va ser membre de l'equip fractal que l'any 1998 va rebre l'European Information Technology Grand Prize. L'any 2003 va ser finalista a la Millor Tesi doctoral en UMTS. L'any 2004 va rebre el New Faces of Engineering 2004 (IEEE) i aquest mateix any va rebre el premi a la millor tesi doctoral atorgat pel Col·legi Oficial d'Enginyers de Telecomunicació i per l'empresa ONO. És revisor i editor de diverses publicacions científiques. La seva biografia apareix al *Who's Who in the World*, a les seccions de *Science and Engineering* i *Emerging Leaders*. Senior Member IEEE.

L'encàrrec i la creació d'aquest material docent han estat coordinats pel professor: Germán Cobo Rodríguez (2012)

Primera edició: setembre 2012

© Aurora Andújar Linares, Jaume Anguera Pros

Tots els drets reservats

© d'aquesta edició, FUOC, 2012

Av. Tibidabo, 39-43, 08035 Barcelona

Disseny: Manel Andreu

Realització editorial: Eureka Media, SL

Dipòsit legal: B-1.011-2012

Cap part d'aquesta publicació, incloent-hi el disseny general i la coberta, no pot ser copiada, reproduïda, emmagatzemada o transmesa de cap manera ni per cap mitjà, tant si és elèctric com químic, mecànic, òptic, de gravació, de fotocòpia o per altres mètodes, sense l'autorització prèvia per escrit dels titulars del copyright.

Introducció

Una invenció efectiva que no s'arriba a industrialitzar és una injustícia de la societat. El mèrit s'ha de traduir en èxit.

Thomas A. Edison

Teoria, fonaments físicomatemàtics, disseny, anàlisi, temes pràctics i aplicacions són els ingredients que formen aquesta obra que posa a l'abast de l'enginyer una introducció bàsica i general a les antenes.

El punt de partida més general del fenomen de la radiació electromagnètica es troba en les equacions de Maxwell (1831-1879), fruit no solament del científic escocès, sinó d'un ingent nombre de cèlebres físicomatemàtics, d'entre els quals destaquen Gauss, Ampère, Faraday, Coulomb, Lenz, Lorenz, etc. Aquestes equacions van ser demostrades experimentalment per Hertz (1857-1894), qui, a partir d'una antena de tipus fil com les estudiades en el tercer mòdul, va demostrar l'emissió i la recepció d'ones electromagnètiques.

La possibilitat de transmetre i rebre senyals electromagnètics va ser pronosticada pel físic català Francesc Salvà (1751-1828) en promulgar en un article científic (16 de desembre de 1795) que no era necessari cap cable per a transmetre senyals entre dos punts distants. Anys més tard, l'italià Marconi (1874-1937) ho va demostrar i va iniciar la revolució sense fil (*wireless*) mitjançant la transmissió transatlàntica entre Gal·les i Terranova.

Sigui com sigui, els treballs incipients de l'època han servit perquè avui dia les antenes es converteixin en un element indispensable per a la societat del benestar. Són molts els avenços tecnològics que requereixen una antena perquè funcionin correctament. La televisió, la ràdio, les comunicacions per satèl·lit, la telefonia mòbil, els lectors RFID, les connexions WI-FI, la radionavegació, la domòtica, etc. són algunes de les revolucions tecnològiques que incorporen antenes per a la transmissió i la recepció de senyals electromagnètics. Es tracta, per tant, d'un sector en evolució constant que lluita per satisfer les demandes estrictes del mercat. I això és només el principi d'una era que segur estarà marcada per la revolució sense fils.

A manera il·lustrativa, aquesta evolució s'aprecia significativament en les antenes de telefonia mòbil, les quals han passat de ser antenes externes de dimensions considerables a antenes internes totalment integrades en el terminal. Aquesta evolució no solament respon a qüestions funcionals i estètiques, sinó també a qüestions que representen un repte tecnològic com integrar un gran nombre de prestacions i serveis en plataformes de grandàries cada vegada més reduïdes. En aquest sentit, les exigències del mercat han forçat la necessitat que aquestes antenes abandonin el seu limitat comportament monoban-

da i es converteixin en antenes multibanda capaces de satisfer les especificacions de múltiples sistemes de comunicacions. Aquests avenços són un repte considerable per als dissenyadors d'antenes, els quals han de bregar amb les demandes dels usuaris quant a nombre de serveis, alhora que garanteixen la robustesa i la integració del sistema en plataformes caracteritzades per les seves reduïdes dimensions.

Aquesta obra, per tant, pretén dotar l'enginyer de la base teòrica i pràctica necessària per a analitzar i dissenyar antenes que s'adaptin a les necessitats tecnològiques del mercat.

Metodologia de treball

L'assignatura es divideix en un total de sis mòduls:

- Al llarg del **mòdul 1** es fa una introducció al concepte d'antena i es presenten els diferents tipus d'antenes existents classificats segons la geometria i el comportament que tenen. De la mateixa manera, es descriuen i analitzen en profunditat els diferents paràmetres que permeten caracteritzar el comportament d'una antena i que són útils per a fer càlculs de radioenllaços formats per antenes.
- El **mòdul 2** aborda el càlcul dels camps radiats per estructures lineals. Es tracta d'un mòdul d'importància particular, ja que presenta les bases de la teoria electromagnètica i desenvolupa mecanismes de càlcul extensibles a qualsevol tipus d'estructures radiants que es puguin descompondre en fils de corrent. Les antenes dipol i espira són exemple d'estructures formades per fils. Al seu torn, també s'analitza l'efecte que un pla conductor produeix sobre la radiació d'aquestes antenes.
- El **mòdul 3** se centra a analitzar el mecanisme de radiació propi de les agrupacions d'antenes, que no són més que estructures radiants compostes per múltiples elements radiants que, disposats i alimentats d'una manera determinada, permeten solucionar les limitacions d'estructures compostes per un únic element. El mòdul proporciona les eines necessàries per a entendre com una agrupació d'antenes és capaç d'aconseguir focalitzar la radiació en una direcció determinada i aporta els coneixements necessaris per a sintetitzar una agrupació d'antenes partint d'una especificació de radiació desitjada.
- Seguint amb el còmput dels camps radiats, el **mòdul 4** descriu els mecanismes de radiació d'antenes d'obertura com les ranures i les antenes *microstrip*, que es caracteritzen per ser estructures planes. De la mateixa manera, introdueix els avantatges i les limitacions que presenten aquest tipus d'estructures respecte de les antenes analitzades en mòduls anteriors.

- El **mòdul 5** introdueix els conceptes d'antena miniatura i multibanda, alhora que permet conèixer el compromís existent entre grandària d'antena i prestacions. De la mateixa manera, es presenten els diferents mecanismes d'adaptació d'impedàncies segons el tipus d'antena en estudi i les característiques pròpies de la seva impedància d'entrada. Les tècniques d'adaptació d'impedància detallades en aquest mòdul transcendeixen a tot el temari, ja que moltes vegades cal recórrer a xarxes d'adaptació, bé per a transferir màxima potència del transmissor a l'antena i viceversa, bé per a augmentar el marge freqüència d'operació de l'antena.
- Finalment, el **mòdul 6** introdueix i permet modelitzar el comportament dels reflectors i les lents enllaçant conceptes d'òptica geomètrica amb el fenomen de la radiació electromagnètica.

Cada mòdul intercala una sèrie d'**exemples pràctics** resolts que us permetran assentar els coneixements descrits.

Al seu torn, cada mòdul incorpora una sèrie de **lectures obligatòries i complementàries**. Les lectures obligatòries estan enfocades a completar el temari descrit, mentre que les lectures complementàries permeten ampliar els continguts dels mòduls.

Objectius

Els objectius fonamentals d'aquesta assignatura són els següents:

1. Conèixer els diferents tipus d'antenes que hi ha i l'aplicació que tenen en funció del marge freqüencial d'operació (mòdul "L'antena en un sistema de telecomunicació").
2. Estudiar els paràmetres mitjançant els quals es caracteritza una antena, tant en transmissió com en recepció, per a poder determinar el balanç de potències d'un radioenllaç (mòdul "L'antena en un sistema de telecomunicació"). Aquest aspecte resulta de gran utilitat per a l'enginyer de radiofreqüència, que considera l'antena com un element d'un sistema de telecomunicació.
3. Analitzar els fonaments de radiació de les ones electromagnètiques per a entendre el procediment físicomatemàtic de la radiació (mòdul "Fonaments bàsics. Antenes de fil").
4. Examinar les antenes lineals bàsiques, saber modelitzar-les i entendre quines són les seves limitacions. Els principis matemàtics descrits per a analitzar aquest tipus d'antenes transcendeixen a tot el temari, atès que en termes generals les antenes poden ser descrites com a superposició d'elements lineals (mòdul "Fonaments bàsics. Antenes de fil").
5. Conèixer i saber modelitzar l'efecte del pla de massa (pla de terra) en el comportament d'una antena. L'entorn associat a moltes antenes de tipus fil, com les embarcades i les de radiodifusió, afecta la radiació. Per tant, és rellevant conèixer com el medi modifica les prestacions d'una antena per a abordar-ne, d'aquesta manera, el disseny tenint-ne en compte l'entorn (mòdul "Fonaments bàsics. Antenes de fil").
6. Analitzar les agrupacions d'antenes amb l'objectiu de poder modelitzar la radiació mitjançant la manipulació de l'excitació de cada element. Els radars d'aeroport són un exemple de sistema en el qual s'utilitzen agrupacions d'antenes com a ajuda a la radionavegació. Trobem també les agrupacions d'antenes en estacions base de comunicacions mòbils cel·lulars (mòdul "Agrupacions d'antenes").
7. Conèixer el funcionament, la utilitat i la modelització de les antenes planes, com les ranures i les antenes *microstrip*. Entendre el mecanisme de radiació a partir de camps en obertures (mòdul "Antenes planes: ranures i antenes *microstrip*").

- 8.** Saber modelitzar i analitzar una antena com a element integrat en el sistema transmissor o receptor al qual va connectat, la qual cosa inclou descriure els mecanismes que proporcionen les eines necessàries per a adaptar, per exemple, impedàncies, o per a millorar paràmetres d'antena tan rellevants com l'amplada de banda (mòdul "Adaptació d'impedàncies i factor de qualitat").
- 9.** Determinar els efectes de càrrega (bobines, condensadors, línies de transmissió) sobre antenes, la qual cosa permetrà introduir les antenes miniatúra i multibanda (mòdul "Adaptació d'impedàncies i factor de qualitat").
- 10.** Entendre com es pot modificar la directivitat d'una antena mitjançant l'ús de reflectors i lents. Enllaçar conceptes d'òptica geomètrica amb radiació d'antenes (mòdul "Reflectors i lents").
- 11.** Proporcionar a l'estudiant la capacitat d'abstracció. Amb les eines presentades es disposa d'una base físicomatemàtica i tecnològica que permetrà afrontar problemes més complexos.

Continguts

Mòdul didàctic 1

L'antena en un sistema de telecomunicació

Aurora Andújar Linares i Jaume Anguera Pros

1. Introducció a les antenes
2. Paràmetres d'antena
3. L'equació de transmissió
4. Temperatura d'antena
5. Lectures obligatòries i complementàries

Mòdul didàctic 2

Fonaments bàsics. Antenes de fil

Aurora Andújar Linares i Jaume Anguera Pros

1. Mecanisme de radiació
2. Equacions de radiació
3. Dipols
4. Espires
5. Teoria d'imatges: monopols i dipols sobre plans conductors
6. Lectures obligatòries i complementàries

Mòdul didàctic 3

Agrupacions d'antenes

Aurora Andújar Linares i Jaume Anguera Pros

1. Factor d'agrupació
2. Distribucions canòniques
3. Efecte del diagrama de radiació sobre el factor d'agrupació
4. Agrupacions amb elements paràsits
5. Síntesi de diagrames
6. Lectures obligatòries i complementàries

Mòdul didàctic 4

Antenes planes: ranures i *microstrip*

Aurora Andújar Linares i Jaume Anguera Pros

1. Teorema d'equivalència
2. Ranures
3. Antenes *microstrip*
4. Lectures obligatòries i complementàries

Mòdul didàctic 5

Adaptació d'impedàncies i factor de qualitat

Aurora Andújar Linares i Jaume Anguera Pros

1. Factor de qualitat
2. Xarxes d'adaptació: concentrades i distribuïdes
3. Xarxes de banda ampla

4. Antenes carregades
5. Lectures obligatòries i complementàries

Mòdul didàctic 6

Reflectors i lents

Aurora Andújar Linares i Jaume Anguera Pros

1. Òptica geomètrica
2. Reflectors dièdrics
3. Reflectors parabòlics
4. Lents
5. Lectures obligatòries i complementàries

Bibliografia

Andújar, A.; Anguera, J.; Puente, C.; Pérez, A. (2009). "On the Radiation Pattern of the L-Shaped Wire Antenna". *Progress in Electromagnetics Research Magazine* (vol. 6, pàg. 91-105).

Andújar, A.; Anguera, J.; Puente, C. (2010). "A Systematic Method to Design Broadband Matching Networks". *2010 Proceedings of the Fourth European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)* (12-16 d'abril, pàg. 1-5).

Anguera, J.; Daniel, J. P.; Borja, C.; Mumbrú, J.; Puente, C.; Leduc, T.; Laeveren, N.; Roy, P. van (2008, desembre). "Metallized Foams for Fractal-Shaped Microstrip Antennas". *IEEE Antennas and Propagation Magazine* (vol. 50, núm. 6, pàg. 20-38).

Anguera, J.; Montesinos, G.; Puente, C.; Borja, C.; Soler, J. (2003, abril). "An Under-Sampled High Directivity Microstrip Patch Array with a Reduced Number of Radiating Elements Inspired on the Sierpinski Fractal". *Microwave and Optical Technology Letters* (vol. 37, núm. 2, pàg. 100-103).

Anguera, J.; Pérez, A. (2008). *Teoria d'antenes*. Enginyeria La Salle ("Estudios Semipresenciales"). ISBN: 978-84-935665-4-8.

Anguera, J.; Puente, C.; Borja, C.; Font, G.; Soler, J. (2001, novembre). "A Systematic Method to Design Single-Patch Broadband Microstrip Patch Antennas". *Microwave and Optical Technology Letters* (vol. 31, núm. 3, pàg. 185-188).

Anguera, J.; Puente, C.; Martínez, E.; Rozan, E. (2003, gener). "The Fractal Hilbert Monopole: A Two-Dimensional Wire". *Microwave and Optical Technology Letters* (vol. 36, núm. 2, pàg. 102-104).

Baars, J. W. M. (2007). *The Paraboloidal Reflector Antenna in Radio Astronomy and Communications: Theory and Practice*. Springer.

Balanis, C. A. (1997). *Antenna Theory: Analysis and Design*. John Wiley.

Carver, K. R.; Mink, J. W. (1981, gener). "Microstrip Antenna Technology". *IEEE Transactions on Antennas and Propagation* (vol. 29, núm. 1, pàg. 2-24).

Chatterjee, R. (1998). *Advanced Microwave Engineering*. John Wiley & Sons.

Elliot, R. S. (2003). "Antenna Theory and Design". A: *The IEEE Press Series on Electromagnetic Wave Theory* (edició revisada). John Wiley & Sons.

Fanus, R. M. (1950, gener i febrer). "Theoretical Limitations on the Broad-Band Matching of Arbitrary Impedances". *Journal of the Franklin Institute* (vol. 249, pàg. 57-83 i 139-154).

Gustafsson, M.; Nordebo, S. (2006). "Bandwidth, Q Factor, and Resonance Models of Antennas". *Progress in Electromagnetics Research* (vol. 62, pàg. 1-20).

McLean, J. S. (1996, maig). "A Re-Examination of the Fundamental Limits on the Radiation Q of Electrically Small Antennas". *IEEE Transactions on Antennas and Propagation* (AP-44, pàg. 676).

Orfanidis, S. J. *Electromagnetic Waves and Antennas*.

Pues, H. F.; Capelle, A. R. van de (1989, novembre). "An Impedance-Matching Technique for Increasing the Bandwidth of Microstrip Antennas". *IEEE Transaction on Antennas and Propagation* (vol. AP-37, núm. 11, pàg. 1345-1354).

Stutzman, W. L.; Thiele, G. A. (1998). *Antenna Theory and Design*. John Wiley.

Yaghjian, A. D.; Best, S. R. (2005, abril). "Impedance, Bandwidth, and Q of Antennas". *IEEE Transaction on Antennas and Propagation* (vol. 53, núm. 4, pàg. 1298-1324).

Yang, T.; Davis, W.; Stutzman, W.; Huynh, M.-C. (2008). "Cellular-Phone and Hearing-Aid Interaction: an Antenna Solution". *IEEE Antennas and Propagation Magazine* (vol. 50, núm. 3, pàg. 51-65).

