

Teoria de circuits

Antoni Pérez Navarro (coordinador)
Juan Antonio Martínez Carrascal
Olga Muñoz Medina

Revisió a càrrec de
Oriol González Llobet

PID_00153323

Material docent de la UOC



Universitat Oberta
de Catalunya

www.uoc.edu


Antoni Pérez Navarro

Doctor en Ciències Físiques per la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB). Va ser professor d'Electromagnetisme al Departament de Física de la UAB entre els anys 1996 i 2000. Entre els anys 2000 i 2005 va treballar a AURENSIS (SYGISA), en projectes de sistemes d'informació geogràfica (SIG). Des de 2003 col·labora amb la UOC, primer com a consultor i des de 2005, com a professor propi dels Estudis d'Informàtica, Multimèdia i Telecomunicació, on és responsable de les assignatures de Física i SIG, i director acadèmic del postgrau de SIG. Des de 2007 col·labora també amb l'Escola Universitària Salesiana de Sarrià com a professor de Física.


Juan Antonio Martínez Carrascal

Enginyer tècnic de Telecomunicacions i enginyer superior d'Electrònica per l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria i Arquitectura "La Salle" (Universitat Ramon Llull), on va cursar també estudis de postgrau en la branca de Teoria i tractament del senyal i la informació.

Professor de les assignatures de *Xarxes de computadors* i *Ampliació de xarxes*, ha estat també col·laborador de la UOC en programes de postgrau. Actualment treballa a la Universitat Autònoma de Barcelona com a responsable de projectes en l'àmbit de les tecnologies de la informació i la comunicació.


Olga Muñoz Medina

Enginyera de Telecomunicacions des de 1993 i doctora en Telecomunicacions des de 1998. Va començar a treballar com a professora universitària l'any 1994, primer com a professora associada i a partir de 2001 com a professora titular del Departament de Teoria del Senyal i Comunicacions, de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC).

Ha participat en diversos projectes, industrials per a empreses com a Alcatel Spacio SA, i d'investigació en l'àmbit de les comunicacions mòbils per a la Comunitat Europea. Des de 2005 col·labora amb la UOC com a autora de material docent i des de 2006, com a consultora.

Primera edició: setembre 2010

© Juan Antonio Martínez Carrascal, Olga Muñoz Medina

Tots els drets reservats

© d'aquesta edició, FUOC, 2010

Av. Tibidabo, 39-43, 08035 Barcelona

Disseny: Manel Andreu

Realització editorial: Eureka Media, SL

ISBN: 978-84-693-4277-0

Dipòsit legal: B-23.005-2010

Cap part d'aquesta publicació, incloent-hi el disseny general i de 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

L'electrònica analògica és tan present en la nostra vida quotidiana que gairebé passa desapercebuda: des d'una llanterna fins a un televisor, passant per un microones són exemples de sistemes electrònics.

Però la quotidianitat d'aquests sistemes no ens ha de fer perdre la perspectiva de la seva importància: no fa ni dos-cents anys que l'home s'il·lumina amb llums elèctrics, després de milers d'anys d'haver-ho fet amb foc. Una cosa tan simple com una llanterna resulta un prodigi de la tecnologia gairebé inimaginable a l'home del Renaixement.

Tanmateix, no per ser més quotidiana, l'electrònica és menys sorprenent, i en podem detectar en més sistemes dels que podem imaginar. Els sistemes electrònics s'agrupen sovint en cinc tipus:

- Sistemes de comunicacions
- Sistemes informàtics
- Sistemes de control
- Sistemes d'alimentació
- Sistemes de processament del senyal

Els **sistemes de comunicacions** són sistemes elèctrics implicats en la generació, la transmissió i la distribució d'informació. Un exemple d'ús habitual seria el telèfon. Veureu alguns exemples d'aquests sistemes al llarg de l'assignatura. En particular, descobrireu com funciona el marcatge telefònic o l'ADSL.

Els **sistemes informàtics** utilitzen senyals elèctrics per a processar la informació. Com a exemples tindríeu des d'una computadora d'última generació fins a una simple calculadora de butxaca. En aquesta assignatura no ens ocuparem directament d'aquests sistemes, però veureu els elements que els fan possibles.

Els **sistemes de control** utilitzen senyals elèctrics per a regular processos. Un exemple seria el termòstat, que regula la temperatura de les nostres llars.

Els **sistemes d'alimentació** no solament són capaços de generar energia elèctrica, sinó també de distribuir-la. En aquesta assignatura veureu què significa *línia d'alta tensió* o què són els aparells que es veuen a les centrals elèctriques.

Els **sistemes de processament de senyal** actuen sobre senyals elèctrics que contenen informació. Són capaços d'extreure'n la informació continguda i presentar-la a l'usuari d'una manera intel·ligible: seria, per exemple, el que fa un televisor.

Això només és una classificació i sovint trobem sistemes de diferents tipus combinats en un mateix aparell: pensem, per exemple, en el transbordador espacial, que conté sistemes de comunicació, ordinadors, sistemes de control capaços de governar la nau automàticament, sistemes d'alimentació autònoms i sistemes de processament capaços de captar informació de l'entorn i presentar-la als astronautes i científics.

En aquesta assignatura farem una primera incursió en aquest món dels sistemes electrònics. Com podeu comprendre, el camp és massa ampli perquè sigui possible abastar-lo tot amb detall; aquí només farem uns primers passos per a la comprensió d'aquest món. Això sí, una vegada estudiada i entesa l'assignatura, sereu capaços d'entreveure els fonaments de funcionament de la majoria de sistemes i, per tant, d'entendre una mica més bé el món que ens envolta.

Aquest text està dirigit a estudiants d'enginyeria amb coneixements de derivades, integrals, equacions diferencials, nombres complexos i transformades de Laplace i de Fourier. El seu objectiu principal és donar una visió general dels sistemes electrònics analògics.

L'assignatura s'estructura en cinc mòduls. De manera resumida, el contingut dels diferents mòduls és el següent:

En el mòdul "**Circuits elèctrics**" veurem l'element bàsic per a modelitzar l'electrònica, el circuit, i també estudiarem què és el que el fa funcionar: les fonts. En aquest primer mòdul, ens centrarem en les fonts de corrent continu, com la pila d'una llanterna. Introduïrem també el primer dels components electrònics que utilitzarem, la resistència, i veurem com es comporta en un circuit. També aprendreu les primeres regles per a entendre i resoldre circuits, la llei d'Ohm i les lleis de Kirchhoff; i com un circuit complex es pot substituir per un altre de molt més senzill.

En el mòdul "**Circuits RLC**" introduïrem tres elements nous, el condensador, la bobina i el díode, i veurem com es comporten en corrent continu. Per a això, serà imprescindible utilitzar equacions en derivades parcials. En aquest mòdul també aprendreu a resoldre circuits més complexos mitjançant els mètodes dels corrents de malla i de les tensions de node.

A continuació, en el mòdul "**Circuits dinàmics**", veurem com analitzar circuits mitjançant una eina fonamental: la transformada de Laplace. D'aquesta manera, podrem analitzar circuits molt complexos d'una forma molt més senzilla que simplement amb les eines vistes en els mòduls "Circuits elèctrics" i "Circuits RLC", especialment pel que fa a circuits amb condensadors i bobines. Apareixerà també un element clau per a l'estudi dels senyals: la **funció de transferència**, és a dir, la funció que caracteritza el circuit. En aquest mòdul, també veurem que els condensadors i les bobines tenen un comportament "peculiar", fins i tot en corrent continu, quan s'encén i s'apa-

ga l'interruptor. El mòdul "Circuits dinàmics" introdueix un aparell matemàtic que implica un salt qualitatiu respecte al que es veurà en els mòduls "Circuits elèctrics" i "Circuits RLC". Per aquest motiu, és fonamental tenir clara la transformada de Laplace, perquè les matemàtiques siguin un mitjà i no un obstacle per a comprendre els conceptes.

En el mòdul "**Circuits en corrent altern**" aplicarem tot el que hem après fins al moment al cas del corrent altern, que és el que arriba a les nostres llars. Veurem com es comporten les resistències, les bobines i els condensadors en aquest tipus de circuits; i encara més, veurem com gràcies a la transformada de Laplace, les tècniques apreses en els mòduls "Circuits elèctrics" i "Circuits RLC" continuen essent perfectament vàlides encara que tinguem bobines i condensadors en corrent altern. En aquest mòdul, s'introdueix també un component nou, el transformador, que permetrà entendre una mica millor com funcionen les xarxes de distribució d'electricitat.

Finalment, el mòdul "**Filtratge analògic**" aprofundeix en la funció de transferència, i en la caracterització dels circuits en el que s'anomena *el domini de freqüències*. També veurem com responen diversos sistemes a diferents tipus de senyal. Veurem com separar determinades freqüències d'un senyal (és el que fem quan sintonitzem una emissora en una ràdio) o com eliminar les interferències. Per a comprendre aquest mòdul és imprescindible conèixer i tenir clara la transformada de Fourier.

Com s'han d'estudiar els mòduls?

Al llarg de les explicacions veureu que aniran apareixent exemples. Aquests exemples poden perseguir dos objectius: 1) exemplificar l'explicació prèvia o 2) explicar un concepte nou, més fàcil d'exposar amb un exemple. Tant en un cas com en un altre, en arribar a un exemple hauríeu de seguir els càlculs amb tot detall i fins i tot intentar d'anar-los reproduint. Això us ajudarà a consolidar els nous conceptes apresos. Una vegada vist l'exemple, seria convenient que el féssiu sols, sense mirar. No heu de desmoralitzar-vos si no us surt en els primers intents, sinó al contrari, perseverar fins a comprendre'l del tot.

Al final de les explicacions de cada mòdul trobareu un apartat de problemes resolts. Aquests problemes, a diferència dels exemples, estan pensats perquè pugueu fer-los directament sense mirar-ne la resolució. En aquest cas, la manera de procedir seria a l'inrevés que en el cas dels exemples: primer hauríeu d'intentar fer el problema sols i mirar-ne la resolució, únicament quan us quedeu encallats o una vegada resolt el problema, bé per a verificar la vostra resolució, o bé per a descobrir una manera alternativa de resoldre'l. Una vegada més, tingueu en compte que és fàcil que us costi resoldre els problemes en els primers intents i que, en alguns casos, us costarà fins i tot plantejar algun problema sense mirar la resolució. En aquest cas, la manera de procedir seria com

en el cas dels exemples: perseverar fins a arribar a comprendre tant el plantejament com la resolució de cada problema.

Finalment, en l'apartat d'"Exercicis d'autoavaluació", teniu un conjunt de preguntes amb la solució (que no la resolució). Amb aquestes qüestions podreu avaluar fins a quin punt heu entès els conceptes. Convé que feu aquestes preguntes, ja que gràcies a elles podeu descobrir conceptes que no us han quedat del tot clars.

És important que tingueu en compte que aquesta assignatura no consisteix només a assegurar i estudiar, sinó també a pensar i reflexionar, i a utilitzar paper i llapis. Per aquest motiu és fonamental que sapiguen resoldre tots els exemples i problemes proposats i que sapiguen respondre correctament totes les preguntes plantejades.

Objectius

L'objectiu principal d'aquesta assignatura és oferir a l'estudiant una visió general de l'electrònica analògica i introduir-lo en el treball del domini freqüencial.

Els objectius generals es poden concretar en els següents:

- 1.** Conèixer un circuit analògic i les lleis que el regeixen.
- 2.** Saber com es comporten en un circuit (sense analitzar-ne les característiques físiques):
 - una resistència
 - un díode
 - un condensador
 - una bobina
 - un transformador
- 3.** Aprendre a analitzar un circuit en el domini del temps.
- 4.** Aprendre a analitzar un circuit en el domini freqüencial mitjançant la transformada de Laplace.
- 5.** Conèixer el comportament i la resposta dels circuits davant de diversos tipus de senyals d'entrada.
- 6.** Distingir elements actius i passius.
- 7.** Conèixer algunes aplicacions pràctiques dels elements explicats.

Continguts

Mòdul didàctic 1

Circuits elèctrics

Juan Antonio Martínez Carrascal

1. Magnituds fonamentals dels circuits elèctrics
2. L'alimentació del circuit
3. La llei d'Ohm
4. Associació d'elements bàsics
5. Les lleis de Kirchhoff
6. Eines bàsiques d'anàlisi
7. Problemes resolts

Mòdul didàctic 2

Circuits RLC

Juan Antonio Martínez Carrascal

1. El condensador
2. La bobina
3. Resolució general de circuits RLC
4. El díode
5. Problemes resolts

Mòdul didàctic 3

Circuits dinàmics

Olga Muñoz Medina

1. Anàlisi de circuits en el domini transformat de Laplace
2. Funció de xarxa
3. Components de la resposta en circuits amb memòria
4. Estabilitat
5. Resposta lliure o natural
6. Resposta forçada
7. Problemes resolts

Mòdul didàctic 4

Circuits en corrent altern

Olga Muñoz Medina

1. Anàlisi en corrent altern
2. Impedància i admitància en AC
3. Potència en AC
4. Transformador
5. Màxima transferència de potència. Adaptació d'impedàncies
6. Problemes resolts

Mòdul didàctic 5

Filtratge analògic

Olga Muñoz Medina

1. Representació freqüencial de senyals
2. Filtratge
3. Filtres
4. Problemes resolts

Annexos

Juan Antonio Martínez Carrascal, Olga Muñoz Medina

1. Unitats i conversió d'unitats
2. Lletres gregues
3. Revisió de la transformada de Laplace
4. Nombres complexos

Bibliografia

Carlson, A. B. (2001). *Ingeniería, conceptos y análisis de circuitos eléctricos lineales*. International Thomson.

Hayt, W. H.; Kemmerly, J. E. Jr; Durbin, S. M. (2002). *Análisis de circuitos en ingeniería* (6a. ed.). Mèxic DF: McGraw-Hill.

Millman, J.; Halkias, C. C. (1979). *Electrónica: fundamentos y aplicaciones*. Barcelona: Hispano Europea.

Nilsson, James W.; Riedel, Susan A. (2005). *Circuitos eléctricos* (7a. ed.). Madrid: Pearson Prentice-Hall.

Thomas, R. E.; Rosa, A. J. (2002). *Circuitos y señales: introducción a los circuitos lineales y de acoplamiento*. Barcelona: Reverté.