

Univerza v Ljubljani  
Fakulteta za elektrotehniko



# ANTENE IN RAZŠIRJANJE VALOV

Založba  
FE

## MATJAŽ VIDMAR

# Antene in razširjanje valov

Matjaž Vidmar

Ljubljana, 2020

---

Kataložni zapis o publikaciji (CIP) pripravili v Narodni in univerzitetni knjižnici  
v Ljubljani

COBISS.SI-ID=26785027

ISBN 978-961-243-408-3 (pdf)

---

URL: <http://antena.fe.uni-lj.si/literatura/ar.pdf>

Recenzenta: prof. dr. Marko Munih, prof. dr. Tomaž Javornik

Založnik: Založba FE, Ljubljana

Izdajatelj: Fakulteta za elektrotehniko, Ljubljana

Urednik: prof. dr. Sašo Tomažič

1. elektronska izdaja

# Vsebina

1. Kaj je to radio?	strani 1.1-14
2. Krogelne koordinate	strani 2.1-8
3. Osnovni viri sevanja	strani 3.1-12
4. Brezvrvična zveza	strani 4.1-17
5. Meritve anten	strani 5.1-22
6. Žične antene	strani 6.1-17
7. Huygensov izvor	strani 7.1-14
8. Valovodni lijaki	strani 8.1-12
9. Umetni dielektriki	strani 9.1-13
10. Zbiralna zrcala	strani 10.1-15
11. Skupine anten	strani 11.1-25
12. Polarizacija valovanja	strani 12.1-19
13. Toplotni šum	strani 13.1-18
14. Uklon valovanja	strani 14.1-15
15. Odboj valovanja	strani 15.1-24
16. Zemeljsko ozračje	strani 16.1-26
17. Večpotje in presih	strani 17.1-26

## Zasnova učbenika

Še dobro se spomnim, kako sem pred mnogimi leti kot srednješolec na informativnem dnevu prvič obiskal Fakulteto za Elektrotehniko v Ljubljani. Takrat sem verjetno videl notranjosti več laboratorijev kot kdajkoli kasneje. Od vseh laboratorijev se mi je najbolj zameril prav laboratorij za antene čisto na vrhu novejšje zgradbe. Preveč računanja in preveč meritev za premalo pomemben rezultat? Takrat še nisem vedel, da bom končal prav v laboratoriju za antene in nazadnje postal celo njegov predstojnik...

Kot srednješolca in radioamaterja me je privlačila zahtevna obdelava signalov v elektroniki, še posebno pri visokih frekvencah. Ko bi bil danes, čez skoraj pol stoletja, še enkrat srednješolec, bi me najverjetneje še bolj privlačila zahtevnost programske opreme v sodobnih telekomunikacijah. Antena ostaja v očeh tehnično zagrizenega srednješolca kot tudi marsikaterega načrtovalca sodobne elektronike samo kos žice oziroma nujno zlo, da radijska zveza sploh deluje.

Nikola Tesla ni znal razlikovati med statičnimi pojavi in razširjanjem valovanja. Poljudnoznanstvena literatura tega ne pozna niti danes! Radioamaterske knjige so večinoma omejene na površne opise pojavov v ionosferi pri razmeroma nizkih frekvencah radijskega spektra. Kot srednješolca me je presenetilo periodično nihanje jakosti sprejema UKV med sprehodom po gozdu. O presihu večpotja pri razširjanju radijskih valov niti danes še vedno nič v poljudnoznanstveni niti radioamaterski literaturi.

Velikost in obliko radijske antene določajo strogi zakoni elektrodinamike. Računalniškim hekerjem in industrijskim oblikovalcem je težko dopovedati, da integracija antene v mikročip ni možna. Načrtovanje anten zahteva poznavanje matematike, kar med hekerji in oblikovalci ni priljubljeno niti spoštovano. Meritev anten zahteva predvsem dosti prostora, česar trgovci z merilno opremo ne znajo prodajati.

Snov anten in razširjanja valov se na marsikateri visoki šoli ne predava (več) navkljub naraščajočemu pomenu elektromagnetne združljivosti (EMC). Nepoznavanje anten in razširjanja valov se preslika v pripadajočo zakonodajo, ki strogo predpisuje, kaj sme pošiljati oddajnik v umetno breme in kaj sme loviti sprejemnik iz laboratorijskega signal generatorja. O tem, kako naj se isti oddajnik in sprejemnik obnašata takrat, ko sta priključena na resnične antene, predpisi največkrat molčijo.

Kot študent sem imel priložnost spoznati oboje. Profesor Jožko Budin nam je razlagal hudo teorijo anten. Zagrizeni merilec Stanko Gajšek, inženir pri Iskra Elektrozveze, nam je pokazal, kako sploh pravilno izmeriti kakšno

anteno. Prav slednjemu gre zahvala, da je teorija profesorjevih predavanj in številnih teoretskih knjig o antenah končno zaživela. Na prvi pogled nepomembne podrobnosti iz teorije omogočajo najrazličnejše meritve lastnosti anten.

Profesor Budin je napisal več vrhunskih učbenikov o antenah in razširjanju radijskih valov v slovenskem jeziku: Antene: teorija, naprave, merjenja (1968), Razširjanje radijskih valov (1975) in Poglavlja iz teorije anten (1979). Teorija iz teh učbenikov je popolnoma veljavna še danes. V pol stoletja so se spremenile zahteve za učbenik, predvsem naraščajoča nepotrpežljivost bralcev, ki zahtevajo privlačno besedilo in hiter rezultat. Hkrati se je področje snovi razširilo, kar zahteva žaganje suhih vej oziroma odstranjevanje neplodnih izpeljav.

Sodoben učbenik predvsem ne sme zamegliti fizikalne slike z dolgoveznimi matematičnimi izpeljavami. Pri tem mora biti pisec sodobnega učbenika še posebno previden, da pri poenostavljanju izpeljav ne pokvari matematične natančnosti niti fizikalne jasnosti. Fizikalno sliko anten in razširjanja valov lahko dodatno razjasnijo povezave z drugimi področji fizike, predvsem z optiko. Sodoben učbenik morajo popestriti in pritegniti pozornost bralcev številni praktično uporabni zgledi, ki jih je danes bistveno več kot pred pol stoletja. Končno učbenik vpeljuje številne nove slovenske izraze.

Profesor Budin je živel in delal v srečni dobi poštenih inženirjev. Ko si je inženir zamislil nekaj novega, je najprej sam izpeljal pripadajoče enačbe, izdelal in natančno izmeril prototip, novost patentiral in nazadnje objavil članek oziroma iz srca napisal knjigo. Delo inženirja je bilo cenjeno in spoštovano. Objavljenim člankom in knjigam je profesor Budin lahko slepo zaupal. Primer takšnega učbenika je John Kraus: Antennas, prvi izdaji leta 1950 so sledili številni ponatisi in dopolnjene inačice.

Danes živimo v mračni dobi člankometrije. Pogosto ni smiselno narediti nič novega, ker tržniki niti recenzenti novosti ne razumejo. Patenti so področje dela velikih odvetniških pisarn mednarodnih družb. Ni pomembno, kaj je objavljeno, pač pa kje je objavljeno. Ni pomembno, kdo in zakaj citira, pač pa kolikokrat citira. Delo inženirja ni cenjeno niti spoštovano.

Danes (2020) marsikdaj članki in knjige vsebujejo neskladne rezultate oziroma so skregani z osnovnimi zakoni fizike. Če tri ali več različnih objav navaja isti sumljiv rezultat, pogosto vse vsebujejo isto prepisano napako... Sestavljanje učbenika danes zahteva podrobno obnavljanje vseh izpeljav in strogo preverjanje rezultatov v laboratoriju.

Zgleda dobrega sodobnega učbenika z uravnoveženim naborom snovi iz anten in razširjanja valov ne poznam, zato se nanj ne morem sklicevati. Pri

izbiri nabora snovi novega učbenika sem se oprl predvsem na več desetletij lastnih izkušenj iz dela na tem področju. Nabor snovi sem omejil na uporabne zglede, ki se jih da v učbeniku v celoti izpeljati in v laboratoriju preveriti z meritvami. Poleg teorije profesorja Budina sem uporabil tudi številne praktične izkušnje inženirja Gajška, ki niso nikjer napisane oziroma so globoko zakopane v gorah druge snovi.

Področje, ki sem ga zaradi obsežnosti namenoma izpustil, je računalniška simulacija anten in razširjanja valov. Osnove iz novega učbenika so seveda nujno potrebne za razumevanje delovanja in rezultatov računalniških simulacij. Povsem samoumevno novi učbenik zahteva primerno predznanje matematike, fizike, osnov elektrotehnike, meritev in elektrodinamike. Visokofrekvenčne prenosne vode, osnovne vire sevanja in nekaj preprostih anten sem namenoma natančno opisal že v učbeniku Elektrodinamika.

Učbenik je napisan in narisani z odprtokodnim programom OpenOffice ter preveden v PDF, da je v računalniški obliki dosegljiv čim širšemu krogu bralcev. Vse risbe so barvne in večinoma v vektorski obliki, kar poleg visoke kakovosti in preglednosti omogoča računalniško iskanje pojmov. Oznake v matematičnih izrazih (vektorski znak) so enake tistim, ki jih lahko narišem na tablo, torej brez nejasnosti mastnega tiska.

Skladno s privzetimi nastavitvami OpenOffice so spremenljivke v ležeči pisavi, merske enote pa v pokončni pisavi. Med številsko vrednostjo in mersko enoto iste veličine ni presledka, da so mešani izrazi konstant in spremenljivk nedvoumni. Končno bralca nočem obremenjevati z nepotrebnimi formalizmi brez vsebine, kot so oštevilčenje enačb oziroma slik, ki samo kradejo površino papirja oziroma zaslona.

Nastajajoči učbenik so še pred uradnima recenzentoma pregledali in v njemu iskali napake študentje pri predmetu Antene in razširjanje valov ter mladi raziskovalec Peter Miklavčič. Vsem gre zahvala ne samo za najdene napake, pač pa tudi za nejasnosti v mojem izvornem besedilu.

\* \* \* \* \*