

# **MODERNÍ RADIOTECHNIKA**



Josef Dobeš  
Václav Žalud

# **MODERNÍ RADIOTECHNIKA**

Praha 2006



**Doc. Ing. Josef Dobeš, CSc.**

obhájil dizertační práci v oboru mikroelektroniky na ČVUT v Praze v roce 1986. V letech 1986 až 1992 byl samostatným vědeckým pracovníkem TESLA VÚST, kde se podílel na vývoji simulátorů technologie výroby integrovaných obvodů CMOS. Od roku 1992 pracuje na Fakultě elektrotechnické ČVUT, v současné době je docentem katedry radioelektroniky. Zabývá se modelováním vysokofrekvenčních a mikrovlnných tranzistorů, vytvářením a zdokonalováním algoritmů pro analýzu a optimalizaci elektronických obvodů a konstrukcí komplexních programů pro návrh obvodů počítačem. Vyučuje základy radiotechniky, rádiové funkční bloky a návrh obvodů nástroji CAD.

**Doc. Ing. Václav Žalud, CSc.**

pracuje již delší dobu na Fakultě elektrotechnické ČVUT v Praze. Původně se zabýval radioelektronickými obvody a funkčními bloky a také technikou rádiových přijímačů a vysílačů. V posledních letech je zaměřen na problematiku radiokomunikačních systémů, zejména pak systémů pro pozemní mobilní komunikaci, včetně jejich technologického řešení. V centru jeho zájmů se nacházejí hlavně buňkové mobilní sítě (GSM, UMTS aj.), rádiové lokální sítě W-LAN a personální sítě W-PAN.

**\*\*\***

Lektoři:

kapitol 1, 2, 3 a 6

Ing. Jiří Cochlar, CSc. (kapitola 1)

Ing. František Straňák, CSc. (kapitola 2, čl. 2.1 až 2.4)

Doc. Ing. Boris Šimák, CSc. (kapitola 2, čl. 2.5)

Ing. Jan Slavík (kapitola 3 a kapitola 6)

kapitol 4 a 5

Prof. Ing. Dalibor Bielek, CSc.

cenné připomínky k finálnímu textu těchto kapitol poskytli

Ing. Ladislav Pospíšil, Ing. Pavel Puričer, Ing. Josef Špaček, Ing. Bacarreza Nogales,

Ing. Martin Kovář, Ing. Karel Mikuláščík, Ing. Krámský.

---

Josef Dobeš, Václav Žalud

## **MODERNÍ RADIOTECHNIKA**

Bez předchozího písemného svolení nakladatelství nesmí být kterákoli část kopírována nebo rozmnožována jakoukoli formou (tisk, fotokopie, mikrofilm nebo jiný postup), zadána do informačního systému nebo přenášena v jiné formě či jinými prostředky.

Autor a nakladatelství nepřejímají záruku za správnost tištěných materiálů. Předkládaná zapojení a informace jsou zveřejněny bez ohledu na případné patenty třetích osob. Nároky na odškodnění na základě změn, chyb, nebo vynechání jsou zásadně vyloučeny.

Veškerá práva vyhrazena.

© Doc. Ing. Josef Dobeš CSc. 2006

© Doc. Ing. Václav Žalud CSc. 2006

© Nakladatelství BEN – technická literatura, Věšínova 5, Praha 10

Josef Dobeš, Václav Žalud: Moderní radiotechnika

BEN – technická literatura, Praha 2006

1. vydání

**ISBN 80-7300-132-2**

# STRUČNÝ OBSAH

## MODERNÍ RADIOTECHNIKA

### 1. tematický celek

- 1 Rádiové signály a systémy**
- 2 Modulace a kódování**
- 3 Radioelektronické obvody a subsystémy**

### 2. tematický celek

- 4 Modely polovodičových prvků**
- 5 Algoritmy pro návrh elektronických obvodů**

### 3. tematický celek

- 6 Technika rádiového přenosu**

# PODROBNÝ OBSAH

PŘEDMLUVA .....	13
-----------------	----

## 1. tematický celek

### 1 RÁDIOVÉ SIGNÁLY A SYSTÉMY ..... 17

1.1	Rádiové signály a jejich klasifikace .....	18
1.1.1	Některé důležité signály spojité v čase .....	20
1.1.2	Signály nespojitě v čase .....	22
1.2	Rádiové systémy .....	23
1.2.1	Vlastnosti systémů .....	24
1.2.2	Reprezentace složitějších systémů .....	25
1.3	Lineární časově invariantní systémy .....	26
1.3.1	Spojité lineární časově invariantní systémy .....	26
1.3.2	Nespojitě lineární časově invariantní systémy .....	27
1.4	Reprezentace signálů ve frekvenční oblasti .....	28
1.4.1	Fourierova řada .....	29
1.4.2	Fourierova transformace .....	33
1.4.3	Diskrétní Fourierova transformace a rychlá Fourierova transformace .....	39
1.4.4	Krátkodobá Fourierova transformace a vlnková transformace .....	41
1.5	Hilbertova transformace a komplexní obálka signálů .....	42
1.5.1	Hilbertova transformace .....	42
1.5.2	Komplexní obálka pásmových modulovaných signálů .....	43
1.6	Korelace deterministických signálů .....	45
1.6.1	Korelační funkce deterministických signálů .....	45
1.6.2	Autokorelační funkce deterministických signálů .....	47
1.6.3	Činitel korelace .....	48
1.7	Náhodné signály .....	49
1.7.1	Základní pojmy .....	49
1.7.2	Funkce hustoty pravděpodobnosti, pravděpodobnostní distribuční funkce ..	51
1.7.3	Statistické průměry náhodných proměnných .....	52
1.7.4	Některé funkce hustoty pravděpodobnosti a distribuční funkce .....	54
1.7.5	Autokorelační a korelační funkce .....	56
1.7.6	Spektrální analýza náhodných signálů .....	58
1.7.7	Příklady náhodných signálů .....	59
1.7.8	Šum .....	62

### 2 MODULACE A KÓDOVÁNÍ ..... 69

2.1	Obecné schéma komunikačního systému .....	70
2.1.1	Vysílací část rádiového komunikačního systému .....	70
2.1.2	Přijímací část rádiového komunikačního systému .....	74
2.1.3	Kódované modulace a další vývoj Shannonova schématu .....	75

2.1.4	Reálný komunikační systém .....	76
2.1.5	Komunikační kanály .....	79
2.1.6	Teorém kanálové kapacity (Shannonův-Hartleyův vztah) .....	81
2.1.7	Referenční model OSI RM .....	84
2.1.8	Přehled a klasifikace modulací .....	86
2.1.9	Základní parametry modulací .....	93
2.1.10	Ochranné kanálové kódování .....	100
2.1.11	Zdrojové kódování (redukce bitové rychlosti) .....	103
2.2	Analogové modulace .....	108
2.2.1	Základní principy analogových modulací .....	108
2.2.2	Amplitudové modulace .....	109
2.2.3	Odvozené amplitudové modulace DSB, SSB, ISB, VSB a QAM .....	119
2.2.4	Frekvenční modulace FM a fázová modulace PM .....	133
2.2.5	Modulátory pro modulace FM a modulace PM .....	147
2.2.5	Demodulátory pro modulace FM a modulace PM .....	152
2.2.6	Vzájemné porovnání analogových modulací .....	163
2.3	Digitální modulace v základním pásmu .....	164
2.3.1	Přednosti digitálních modulací .....	164
2.3.2	Nekódovaná modulace PAM, vzorkovací teorém .....	166
2.3.3	Konverze vzorkovacích rychlostí .....	171
2.3.4	Vzorkování pásmových signálů .....	175
2.3.5	Pulzní kódovaná modulace PCM .....	177
2.3.6	Šum v systémech PCM .....	186
2.3.7	Odvozené pulzní kódované modulace DPCM, DM, ADM .....	191
2.3.8	Formáty signálů pro binární data, diferenciální kódování .....	194
2.3.9	Frekvenční filtrace pro nulové intersymbolové interference (Nyquistova strategie) .....	198
2.3.10	Frekvenční filtrace pomocí gaussovských dolních propustí .....	204
2.3.11	Frekvenční filtrace na principech přizpůsobeného filtru (korelační přijímač) .....	204
2.3.12	Frekvenční filtrace typu I&D (integrace a resetování k nule) .....	207
2.3.13	Ekvalizace .....	209
2.3.14	Korelační kódování .....	210
2.4	Digitální modulace (diskrétní modulace s nosnými vlnami) .....	216
2.4.1	Základní typy digitálních modulací .....	216
2.4.2	Klasifikace digitálních modulací .....	219
2.4.3	Některé aplikace digitálních modulací .....	224
2.4.4	Základní modulace FSK (2FSK, MFSK) .....	225
2.4.5	Základní modulace PSK (BPSK, D-BPSK, MPSK) .....	229
2.4.6	Čtyřstavová modulace QPSK a modulace DQPSK .....	236
2.4.7	Ofsetová modulace QPSK (O-QPSK) .....	240
2.4.8	Modulace $\pi/4$ -QPSK a modulace $\pi/4$ -DQPSK .....	242
2.4.9	Modulace CPM – obecné vlastnosti .....	245
2.4.10	Modulace MSK .....	249
2.4.11	Modulace GMSK .....	252
2.4.12	Modulace M-QAM (modulace s proměnnou obálkou) .....	259

2.4.13	Další varianty modulací s proměnnou obálkou .....	262
2.4.14	Modulační formáty s více nosnými vlnami MCM, ortogonální frekvenční multiplex OFDM .....	264
2.4.15	Obnova referenční nosné vlny (CR) a časování symbolů (STR) .....	278
2.4.16	Grafické zobrazení signálů používaných u diskretních modulací .....	283
2.4.17	Vzájemné porovnání diskretních modulací .....	283
2.5	Kódování kanálu – detekce a korekce chyb .....	289
2.5.1	Základní principy kódování FEC, hlavní ochranné kódy .....	291
2.5.2	Tvrdé a měkké rozhodování .....	299
2.5.3	Kanálové detekční kódy s paritními bity .....	304
2.5.4	Kanálové blokové kódy .....	305
2.5.5	Kanálové konvoluční kódy .....	310
2.5.6	Řetězové kódy .....	319
2.5.7	Turbo kódy .....	320
2.5.8	Adaptivní modulace a kódování .....	322
2.5.9	Rádiové systémy s automatickým opakováním přenosu ARQ .....	325
2.5.10	Prokládání (interleaving) .....	329
2.5.11	Ekvalizace .....	331
2.5.12	Diverzitní rádiové komunikační systémy .....	341
2.5.13	Systémy MIMO s prostorově časovou diverzitou .....	350
2.5.14	Kódované modulace .....	354
2.5.15	Porovnání ochranných kanálových kódů .....	359

### **3 RADIOELEKTRONICKÉ OBVODY A SUBSYSTÉMY .. 363**

3.1	Dvojbrany v radioelektronice .....	364
3.1.1	Admitanční parametry a rozptylové parametry dvojbranů .....	364
3.1.2	Vstupní a výstupní admitance, činitelé odrazu a stabilita .....	368
3.1.3	Napět'ové zesílení a výkonová zesílení .....	374
3.1.4	Šumové vlastnosti .....	380
3.1.5	Frekvenční a nelineární zkreslení .....	387
3.1.6	Dynamický rozsah .....	391
3.1.7	Aktivní lineární dvojbrany (tranzistory BJT a FET) .....	394
3.2	Vysokofrekvenční a mikrovlnné zesilovače .....	404
3.2.1	Úzkopásmové tranzistorové zesilovače .....	405
3.2.2	Obecný postup návrhu úzkopásmových zesilovačů .....	411
3.2.3	Širokopásmové tranzistorové zesilovače .....	415
3.2.4	Výkonové pásmové tranzistorové zesilovače .....	426
3.2.5	Konverze AM-AM a AM-PM u výkonových zesilovačů .....	437
3.2.6	Určení systémových parametrů vícestupňové kaskády .....	441
3.3	Nelineární obvody .....	444
3.3.1	Směšovače .....	444
3.3.2	Modulátory .....	454
3.3.3	Oscilátory .....	461
3.3.4	Fázový závěs PLL .....	466

<b>4</b>	<b>MODELY POLOVODIČOVÝCH PRVKŮ .....</b>	<b>471</b>
4.1	Model polovodičové diody .....	476
4.1.1	Charakteristika modelu .....	476
4.1.2	Parametry modelu .....	477
4.1.3	Statická část modelu .....	479
4.1.4	Dynamická část modelu .....	481
4.1.5	Teplotní závislosti .....	483
4.1.6	Šumový model .....	485
4.1.7	Model programu CIA .....	486
4.1.8	Identifikace modelu .....	486
4.2	Model bipolárního tranzistoru .....	489
4.2.1	Charakteristika modelu .....	489
4.2.2	Parametry modelu .....	491
4.2.3	Statická část modelu .....	496
4.2.4	Dynamická část modelu .....	503
4.2.5	Teplotní závislosti .....	508
4.2.6	Šumový model .....	510
4.2.7	Model programu CIA .....	511
4.2.8	Identifikace modelu .....	513
4.3	Model JFET .....	521
4.3.1	Charakteristika modelu .....	521
4.3.2	Parametry modelu .....	522
4.3.3	Statická část modelu .....	524
4.3.4	Dynamická část modelu .....	525
4.3.5	Teplotní závislosti .....	526
4.3.6	Šumový model .....	527
4.3.7	Model programu CIA .....	528
4.3.8	Identifikace modelu .....	529
4.4	Model MOSFET .....	531
4.4.1	Charakteristika modelů .....	531
4.4.2	Parametry modelů .....	534
4.4.3	Statická část modelů .....	540
4.4.3a	Statická část semiempirického modelu .....	541
4.4.3b	Statická část modelu BSIM .....	545
4.4.4	Dynamická část modelů .....	547
4.4.4a	Dynamická část semiempirického modelu .....	549
4.4.4b	Dynamická část modelu BSIM .....	553
4.4.5	Teplotní závislosti .....	556
4.4.6	Šumový model .....	558
4.4.7	Model programu CIA .....	560
4.4.8	Identifikace modelu .....	563
4.5	Model MESFET .....	568
4.5.1	Charakteristika modelu .....	568

4.5.2	Parametry modelu .....	570
4.5.3a	Statická část Sussman-Fortova, Hantganova a Huangova modelu .....	573
4.5.3b	Statická část Statzova modelu .....	574
4.5.4a	Dynamická část Sussman-Fortova, Hantganova a Huangova modelu .....	575
4.5.4b	Dynamická část Statzova modelu .....	578
4.5.5	Teplotní závislosti .....	580
4.5.6	Šumový model .....	581
4.5.7	Model programu CIA .....	582
4.5.8	Identifikace modelu .....	583
4.5.9	Kmitočtová disperze parametrů modelu .....	586
4.6	Vytváření přesných modelů polovodičových prvků umělými neuronovými sítěmi .....	587
4.6.1	Modelování polovodičových prvků exkluzivními neuronovými sítěmi .....	588
4.6.2	Modelování polovodičových prvků korekčními neuronovými sítěmi .....	591
4.6.3	Určení optimální struktury neuronové sítě .....	592
4.6.4	Nestandardní výstupy modelování neuronovými sítěmi .....	593

## **5 ALGORITMY PRO NÁVRH ELEKTRONICKÝCH OBVODŮ ..... 595**

5.1	Implicitní integrace algebro-diferenciálních rovnic a citlivostní analýza v časové oblasti .....	597
5.1.1	Prediktor .....	598
5.1.2	Korektor .....	599
5.1.3	Automatické určení délky integračního kroku a řádu interpolačního mnohočlenu .....	604
5.1.4	Statická varianta algoritmu .....	606
5.1.5	Příklad řešení statického systému .....	606
5.1.6	Příklad řešení dynamického systému .....	609
5.1.7	Citlivostní analýza .....	613
5.1.8	Statická varianta citlivostní analýzy .....	614
5.1.9	Příklad řešení citlivostí statického systému .....	615
5.1.10	Příklad řešení citlivostí dynamického systému .....	616
5.1.11	Teoretické základy algoritmu .....	617
5.2	Řešení rozsáhlých řídkých soustav lineárních rovnic a citlivostní analýza v kmitočtové oblasti .....	620
5.2.1	LU rozklad .....	620
5.2.2	Výběr hlavních prvků .....	622
5.2.3	Uspořádání LU rozkladu pro zvýšení jeho efektivity .....	622
5.2.4	Řešení soustav lineárních rovnic s trojúhelníkovou maticí soustavy .....	624
5.2.5	Citlivostní analýza v kmitočtové oblasti .....	624
5.2.5a	Standardní citlivostní analýza v kmitočtové oblasti .....	625
5.2.5b	Šumová citlivostní analýza v kmitočtové oblasti .....	626
5.2.5c	Analyticky řešený příklad šumové citlivostní analýzy v kmitočtové oblasti .....	626
5.2.5d	Citlivostní analýza šumového čísla .....	629

5.2.5e	Příklad citlivostní analýzy šumového čísla .....	630
5.3	Přesná analýza pólů a nul přenosových funkcí rozsáhlých systémů .....	631
5.3.1	Redukce zobecněné úlohy charakteristických čísel na standardní tvar .....	632
5.3.2	Příklad redukce zobecněné úlohy charakteristických čísel na standardní tvar .....	633
5.3.3	Výběr klíčových prvků .....	636
5.3.4	Zpřesnění redukce aritmetikou s volitelnou délkou mantisy a exponentu .....	637
5.3.5	Řešení standardní úlohy charakteristických čísel algoritmem QR .....	638
5.3.6	Příklad řešení standardní úlohy charakteristických čísel algoritmem QR ..	639
5.3.7	Algoritmus QR s posunem počátku .....	640
5.3.8	Příklad analýzy pólů a nul přenosové funkce .....	642
5.3.9	Analýza pólů a nul přenosové funkce číslicových filtrů .....	645
5.3.9a	Příklad analýzy nul přenosové funkce číslicového filtru FIR .....	645
5.3.9b	Příklad analýzy pólů a nul přenosové funkce číslicového filtru IIR .....	646
5.4	Určení ustálené periodické odezvy neautonomních a autonomních obvodů s dlouhými přechodnými ději .....	648
5.4.1	Určení ustálené periodické odezvy lineárních obvodů analytickým řešením .....	649
5.4.2	Určení ustálené periodické odezvy nelineárních obvodů $\epsilon$ -algoritmem .....	650
5.4.3	Příklad určení ustálené periodické odezvy autonomního obvodu .....	653
5.5	Optimalizace v časové a kmitočtové oblasti .....	656
5.5.1	Zobecněná metoda nejmenších čtverců .....	657
5.5.2	Normalizace vektoru odchylek a Jacobiovy matice .....	658
5.5.3	Příklad identifikace parametrů modelu zobecněnou metodou nejmenších čtverců .....	659
5.5.4	Levenbergova-Marquardtova metoda .....	663
5.5.4a	Empirická volba přepínače optimalizačních metod .....	663
5.5.4b	Exaktní volba přepínače optimalizačních metod .....	665
5.5.5	Kontrola a řízení konvergence optimalizace .....	666
5.5.6	Příklad identifikace čtyř pólů a jedné nuly přenosové funkce modelu operačního zesilovače .....	667
5.5.7	Teoretický základ algoritmu .....	669
5.6	Odhad intermodulačních a harmonických produktů pomocí Volterrových řad .....	671
5.6.1	Charakteristika kvazilineární analýzy .....	671
5.6.2	Příklad kvazilineární analýzy .....	673
5.6.3	Omezení kvazilineární analýzy .....	677
5.7	Rychlá Fourierova transformace .....	677
5.7.1	Diskrétní Fourierova transformace .....	678
5.8	Analýza nejhoršího stavu .....	682
5.8.1	Účel a charakteristika algoritmu .....	682
5.8.2	Příklad analýzy nejhoršího stavu .....	685
5.9.	Použití nestandardních typů analýz pro efektivní návrh mikrovlnných obvodů .....	686
5.9.1	Analýza mikrovlnného oscilátoru s rozprostřeným zesílením .....	687

5.9.2	Analýza mikrovlnného zesilovače s rozprostřeným zesílením .....	687
5.9.3	Analýza čtyřkvadrantové mikrovlnné násobičky .....	689

### 3. tematický celek

## 6 TECHNICA RÁDIOVÉHO PŘENOSU ..... 695

6.1	Multiplex a mnohonásobný přístup .....	696
6.2	Frekvenční multiplex FDM .....	699
6.2.1	Základní koncepce frekvenčního multiplexu .....	699
6.2.2	Interference v systémech frekvenčního multiplexu .....	701
6.3	Časový multiplex TDM .....	703
6.3.1	Základní koncepce časového multiplexu .....	703
6.3.2	Struktura signálů v multiplexu TDM .....	705
6.4	Kódový multiplex CDM .....	706
6.4.1	Systém DS SS s přímým rozprostíráním .....	706
6.4.2	Systém FH SS s frekvenčním skákáním .....	717
6.5	Systémy s mnohonásobným přístupem, protokoly MAP .....	719
6.5.1	Protokoly s deterministickým přístupem .....	720
6.5.2	Protokoly se stochastickým přístupem .....	721
6.5.3	Protokoly s kódovým dělením CDMA .....	728
6.6	Dva základní typy sítí pro přenos dat (CSDN a PSDN) .....	730
6.6.1	Datové sítě s přepojováním okruhů CSDN .....	730
6.6.2	Datové sítě s přepojováním paketů PSDN .....	731
6.7	Synchronní a asynchronní přenosový mód ATM .....	733
6.8	Různé provozní režimy rádiového přenosu .....	738
6.9	Různé formy rádiového vysílání .....	741
6.10	Energetická bilance rádiového spojení .....	742
6.10.1	Radiokomunikační rovnice .....	742
6.10.2	Systémový zisk .....	747
6.10.3	Úrovňový diagram .....	748

## LITERATURA ..... 751

## REJSTŘÍK ..... 760

## KNIHY NAKLADATELSTVÍ BEN – TECHNICKÁ LITERATURA ..... 765

# PŘEDMLUVA

V roce 2000 vydalo nakladatelství BEN – technická literatura v Praze, knižní monografii s názvem „Moderní radioelektronika“. Kniha se setkala s příznivým ohlasem čtenářů a po poměrně krátké době byla zcela vyprodána. Proto je nyní předkládána čtenářům tematicky podobně zaměřená, avšak obsahově prakticky úplně nová publikace „Moderní radiotechnika“. Jak již z názvu vyplývá, jsou v této nové knize poněkud omezeny náročné teoretické partie a hlavní pozornost je věnována aplikované teorii a technické praxi daného oboru.

První kapitola shrnuje teoretické základy moderní radiotechniky. Oproti předchozí práci je rozsah kapitoly celkově redukován, navíc jsou zde však zařazeny nové aktuální partie, například vlnková transformace, podrobněji se také probírají některých specifické otázky šumových dvojbranů. Druhá kapitola pojednává o modulacích a o kanálovém kódování. Jsou v ní výrazně zkráceny části zaměřené na analogové modulace a na některé méně používané digitální modulace. Naopak zde jsou nově zpracovány poznatky o moderních metodách vzorkování analogových signálů (konverze vzorkovacích rychlostí, vzorkování pásmových signálů) a o různých progresivních metodách filtrace v digitální komunikaci (metoda I&D, tj. integrace s resetováním atd.). Zvýšená pozornost je potom věnována adaptivním modulacím, které spolu s adaptivním kódováním pronikají v široké míře do digitální radiokomunikace. Detailně je také probírána ortogonální frekvenční multiplex OFDM, který se řadí mezi nejperspektivnější přenosové formáty především v dynamicky se rozvíjející pozemní komunikaci. Výrazná modernizace se uplatnila také v článcích věnovaných ochrannému kanálovému kódování. Zde jsou především rozšířeny partie o klasických blokových a konvolučních kódech, včetně kódů punkturovaných. Nově jsou potom zpracovány články o řetězových kódech a turbo kódech, které již umožňují reálným systémům velmi těsně se přiblížit v účinnosti kódování k teoretickému Shannonovu limitu. Právě tyto kódovací formáty přispěly v nedávných letech k významným úspěchům ve zkoumání vzdáleného kosmu, nezastupitelnou úlohu však sehrají i v nastupujících systémech mobilní komunikace třetí a vyšších generací. Do knihy jsou také zařazeny nové partie pojednávající o systémech ochrany ARQ, založené na opakovaném vyslání. Podrobněji se probírají rovněž různé formy diversity, včetně prostorově časové diversity MIMO, která se stává nejen účinným prostředkem k potlačení úniků při rádiovém přenosu, ale nabízí i extrémní zvýšení spektrální účinnosti komunikačních systémů. Třetí kapitola se zabývá popisem radioelektronických obvodů a subsystémů. Je zde prohloubena obecná teorie dvojbranů, náležitá pozornost je dále věnována zesilovačům a některým nelineárním dvojbranům používaným v radiotechnice.

Počítačová analýza a optimalizace obvodů používaných v radiotechnice je podrobně definována ve čtvrté a páté kapitole – jde o témata, která v původní monografii z roku 2000 nebyla vůbec zařazena. Čtvrtá kapitola je věnována modelům polovodičových prvků používaných ve vysokofrekvenční technice. Z tohoto důvodu je důraz kladen nejenom na precizní reprezentaci naměřených stejnosměrných průběhů, ale i na přesné charakterizování dynamických vlastností prvků včetně kmitočtové disperze parametrů. Definice modelů obsahuje řadu odvození i praktických ukázek identifikací parametrů, čímž se zásadně odlišuje od manuálů programů. Kromě toho jsou v kapitole demonstrována i četná originální vylepšení standardních modelů. Kapitola je doplněna demonstracemi moderního trendu v modelování vysokofrekvenčních prvků, kterým je použití neuronových sítí. Pátá kapitola obsahuje definice

standardních i originálních algoritmů pro návrh elektronických obvodů počítačem. Některé principy jsou definovány ve stylu publikací matematického charakteru, na rozdíl od nich jsou však aplikace metod demonstrovány pomocí mnoha praktických úloh radiotechniky. V závěru kapitoly je předvedeno využití originálních nestandardních metod pro získání více komplexnějších údajů o analyzovaných obvodech než bývá obvyklé u standardních programových prostředků.

Šestá kapitola je zaměřena na různé metody rádiového přenosu. Zkoumají se zde základní techniky multiplexování FDM, TDM a CDM a v návaznosti jsou dále popisovány příslušné metody mnohonásobného přístupu. Zvýšená pozornost je věnována zejména přístupu s kódovým dělením CDMA, který se stává hlavním přenosovým formátem například u mobilních systémů 3. generace, kde již konvenční přístupy FDMA/TDMA s klasickými modulacemi s jedinou nosnou vlnou (GMSK ap.) nevyhovují. Zkoumají se rovněž stochastické přístupové metody (Aloha, CSMA aj.), které výrazně zvyšují propustnost radiokomunikačních kanálů. Tyto přenosové formáty jsou rovněž velice perspektivní v pozemní fixní i mobilní komunikaci, ale také v komunikaci družicové. Další části se zabývají některými specifickými otázkami rádiových datových sítí s přepojováním okruhů CSDN a s přepojováním paketů PSDN. Jsou zde probírány otázky různých provozních módů v těchto sítích (STM, ATM), rozličné formy duplexního spojení (FDD, TDD, CDD) apod. V závěru celé publikace je naznačen výpočet energetické bilance ideálního rádiového spoje.

Tato kniha se zabývá obecnými otázkami moderní radiotechniky. Jednotlivá témata jsou ilustrována řadou konkrétních příkladů. Příslušné aplikace budou probírány ve volně navazujícím druhém dílu. Tento druhý díl bude zaměřen již na nejrůznější konkrétní systémy moderní rádiové komunikace, jako jsou veřejné mobilní sítě třetí generace UMTS, neveřejné svazkové systémy TETRA, některé družicové systémy, rádiové lokální sítě W-LAN apod.

Dotazy nebo připomínky k věcnému obsahu i k formální podobě knihy mohou čtenáři zasílat buď vydavatelství BEN – technická literatura, Praha, nebo přímo na e-mailové adresy autorů: [dobes@fel.cvut.cz](mailto:dobes@fel.cvut.cz), [zalud@fel.cvut.cz](mailto:zalud@fel.cvut.cz).

Josef Dobeš  
Praha 4 – Lhotka

Václav Žalud  
Malé Horky 2