

# مدارهای مختبراتی برای سامانه های بی سیم

## نویسندگان

دکتر فروهر فرزانه

(استاد دانشگاه صنعتی شریف)

دکتر علی فتوت احمدی

(دانشیار دانشگاه صنعتی شریف)

دکتر محمود کمره ای

(استاد دانشگاه تهران)

مهندس علی نیکوفرد

مهندس محمد علمی

نیاز دانش

عنوان و نام پدیدآور	: مدارهای مخابراتی برای سامانه‌های بی‌سیم / مولفین فروهر فرزانه ... [و دیگران]
مشخصات نشر	: تهران: نیاز دانش، ۱۳۹۷
مشخصات ظاهری	: ۶۰۸ ص.: مصور، جدول، نمودار
شابک	: ۹۷۸-۶۰۰-۸۹۰۶-۳۶-۰
وضعیت فهرست‌نویسی	: فیپا
یادداشت	: مولفین فروهر فرزانه، علی فتوت‌احمدی، محمود کمره‌ای، علی نیکوفرد، محمد علمی
یادداشت	: کتابنامه
یادداشت	: نمایه
موضوع	: ارتباطات بی‌سیم
موضوع	: مخابرات -- سیستم‌های سیار
موضوع	: مدارهای میکروویو
شناسه افزوده	: فرزانه، فروهر، ۱۳۳۶
رده بندی کنگره	: TK۵۱۰۳/۲/م۴ ۱۳۹۷
رده بندی دیویی	: ۶۲۱/۳۸۲
شماره کتابشناسی ملی	: ۵۴۲۹۲۳۹
موضوع	: Wireless communication systems
موضوع	: Mobile communication systems
موضوع	: Microwave circuits



نام کتاب	: مدارهای مخابراتی برای سامانه‌های بی‌سیم
نویسندگان	: دکتر فروهر فرزانه (استاد دانشگاه صنعتی شریف) دکتر علی فتوت‌احمدی (دانشیار دانشگاه صنعتی شریف) دکتر محمود کمره‌ای (استاد دانشگاه تهران) مهندس علی نیکوفرد - مهندس محمد علمی
مدیر اجرایی - ناظر بر چاپ	: حمیدرضا محمد شیرازی - محمد شمس
ناشر	: نیاز دانش
صفحه‌آرا	: واحد تولید انتشارات نیاز دانش
نوبت چاپ	: اول - ۱۳۹۷
شمارگان	: ۵۰۰ نسخه
قیمت	: ۶۰۰۰۰۰ ریال

ISBN:978-600-8906-36-0

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۸۹۰۶-۳۶-۰

هرگونه چاپ و تکثیر (اعم از زیراکس، بازنویسی، ضبط کامپیوتری و تهیه‌ی CD) از محتویات این اثر بدون اجازه کتبی ناشر ممنوع است، متخلفان به موجب بند ۵ از ماده ۲ قانون حمایت از مؤلفان، مصنفان و هنرمندان تحت پیگرد قانونی قرار می‌گیرند.

کلیه حقوق این اثر برای ناشر محفوظ است.

آدرس انتشارات: تهران، میدان انقلاب، خیابان ۱۲ فروردین، تقاطع وحید نظری، پلاک ۲۵۵، طبقه ۱، واحد ۲

۰۲۱-۶۶۴۷۸۱۰۶-۶۶۴۷۸۱۰۸-۰۹۱۲۷۰۷۳۹۳۵

[www.Niaze-Danesh.com](http://www.Niaze-Danesh.com)

مشاوره جهت نشر: ۲۱۰۶۷۰۹ - ۰۹۱۲

تقدیم بہ

پدران و مادرانمان...



## پیش‌گفتار

با گسترش و نفوذ روزافزون تکنولوژی بی‌سیم در تمامی جنبه‌های زندگی ما، برنامه آموزشی دانشگاه‌ها باید همگام با این رشد سریع تدوین شوند و دانشگاه‌ها باید دانش‌آموختگان خود را به حد شایسته‌ای از مهارت و توانایی برسانند که برای ورود به این صنعت با رشد سرسام‌آور، آماده شوند. به ویژه، قشر وسیع دانشجویان مقطع کارشناسی باید در این حوزه آموزش مناسبی دریافت کنند. اما در بیشتر دانشگاه‌ها فراوانی نامطلوب تعداد دروس مانع از آموزش موثر در این حوزه می‌شود.

کتاب مدارهای مخابراتی برای سامانه‌های بی‌سیم با ارائه سرفصل‌های مرتبط و آموزش مدون آن‌ها به زبانی جذاب برای دانشجویان مقطع کارشناسی، پاسخگوی این نیاز مبرم است. این کتاب به طور هدفمند خواننده را در میان مباحث و مفاهیم راهنمایی می‌کند و با ارائه مثال‌های فراوان با جزئیات، درک مطالب را نهادینه می‌کند. در انتهای هر فصل، خواننده با حل مسائل به تمرین و تعمیق آموخته‌های خود خواهد پرداخت.

محتوای این کتاب به دقت و به گونه‌ای انتخاب شده است که بتوان آن را در یک نیمسال تحصیلی پوشش داد. این کتاب، به عنوان یک منبع جامع و غنی که خواننده را از منابع دیگر بی‌نیاز می‌سازد، می‌تواند به گونه‌ای مورد استفاده قرار گیرد که دانشجویان تمامی مطالب کتاب را، از ابتدا تا انتها بدون صرف نظر از بخش‌های اصلی، در طول یک نیمسال مطالعه کنند. این جنبه‌های آموزشی کتاب، استفاده از آن را برای دانشجویان و آموزش‌دهندگان آسان می‌سازد.

بهزاد رضوی

استاد دانشگاه کالیفرنیا، لس‌آنجلس

بهمن ۱۳۹۶



## مقدمه

رشد شگرف و سرسام‌آور مخابرات بی‌سیم در طول دو دهه گذشته، چنان تاثیر شگرفی بر زندگی انسان و جوامع داشته‌است که کسی نمی‌تواند حضور گسترده و بلامنازع آن را نه تنها در دنیای مهندسی امروزی، بلکه در تمامی جنبه‌های زندگی مدرن، نادیده بگیرد. امروزه دانشجویان مهندسی برق واحدهای درسی مختلفی از جمله سامانه‌های مخابرات بی‌سیم، مدارهای مخابراتی بی‌سیم و انتشار امواج الکترومغناطیسی را در دانشگاه‌ها می‌آموزند. نویسندگان این کتاب در طول سی سال گذشته در امر تدریس و پژوهش در زمینه مدارهای بی‌سیم، در موسسات و دانشگاه‌های مختلف ایران از جمله دانشگاه صنعتی شریف، دانشگاه تهران و گروه تحقیقات خدمات مخابراتی کاوشکام آسیا، به طور مستمر مشارکت داشته‌اند. در طی این سال‌ها، ما خلاصه منابع آموزشی جامعی که مباحث مورد نیاز در سطح کارشناسی مهندسی برق را پوشش دهد، احساس نموده‌ایم. علاوه بر این، به عنوان مهندسان پژوهشگر در موسسات تحقیقاتی، نیاز مبرم به مرجع آموزشی غنی را که به مهندسان مخابرات رادیویی در طراحی مدار فرکانس رادیویی و پیاده‌سازی آنها کمک کند، مشاهده نموده‌ایم. شمار قابل توجهی از مدارها و ایده‌های مطرح شده در این کتاب در طی سال‌ها تحقیق و توسعه مدارهای نوین فرکانس رادیویی و سامانه‌های مخابراتی بی‌سیم به منظور استفاده در مکان‌یابی یا کنترل ناوگان حمل و نقل زمینی، در شرکت کاوشکام آسیا حاصل شده‌اند.

اکثر مدارهای ارائه شده در این کتاب با نرم‌افزارهای شبیه‌سازی مدارهای فرکانس رادیویی مورد آزمایش و راستی‌آزمایی قرار گرفته‌اند تا عملکرد درست آنها مورد اطمینان واقع شود. بسیاری از مواد درسی که در کلاس‌های درس نویسندگان به خصوص درس مدارهای مخابراتی استفاده می‌شود، در این کتاب به کار گرفته شده‌است. این کتاب ماحصل تلاشی فشرده و متمرکز در طول زمانی بیش از سه سال بوده‌است. هدف ما این بوده‌است که این کتاب را به عنوان دستاورد سال‌ها تلاش و کوشش خود در زمینه مدارهای فرکانس رادیویی و مخابرات بی‌سیم، در ابعادی جهانی به جامعه مهندسی برق عرضه نماییم.

این کتاب به سه بخش اصلی تقسیم شده‌است. در بخش اول و فصل اول به سامانه‌های مخابرات بی‌سیم و بلوک‌های سازنده فرستنده-گیرنده‌های رادیویی مدرن پرداخته می‌شود. فصل دوم عملکرد و پیکربندی نوسان‌سازهای فرکانس رادیویی را تشریح می‌کند. در این فصل اصلی‌ترین ساختارهای نوسان‌ساز الکترونیکی مدرن به همراه مدل‌سازی سیگنال بزرگ و ارزیابی این مدارها ارائه شده‌است.

بخش دوم کتاب به بلوک‌های اصلی مداری سازنده فرستنده-گیرنده‌های امروزی می‌پردازد. در فصل

سوم حلقه‌های قفل فاز، پیکربندی‌های مختلف حلقه قفل فاز، مدگردانی فرکانس و وامدگردانی فرکانس ارائه می‌گردد. فصل چهارم به مدارهای مختلف مخلوط‌کننده اختصاص می‌یابد. این فصل نوع‌های مختلفی از مخلوط‌کننده‌ها از مدارهای سویچ‌شونده تا ضرب‌کننده‌های آنالوگ را پوشش می‌دهد. مباحث مهمی از غیرخطسانی در مدارهای فرکانس رادیویی از جمله مولفه‌های فشرده‌گی و میان‌مدگردانی و نقطه تلاقی در این فصل معرفی شده‌اند. فصل پنجم به مدگردانی فاز و دامنه اختصاص دارد. این فصل با شیوه‌های آنالوگ مدگردانی دامنه آغاز می‌شود و سپس به مدگردانی‌های چندسطحی دیجیتال نوین فاز و دامنه می‌پردازد. فصل ششم محدودکننده‌ها و مدارهای کنترل خودکار بهره را شرح می‌دهد. مدارهای حذف و جبران‌ساز آفست و در پی آن شیوه‌های مختلف کنترل خودکار بهره در این فصل ارائه شده‌اند. آشکارسازهای دامنه و شیوه‌های افزایش پهنای باند بهره تقویت‌کننده‌ها نیز در این فصل تشریح می‌شوند.

بخش سوم کتاب به خطوط انتقال و مدلسازی مدارهای ریزموج، تقویت‌کننده‌های ریزموج و پارامترهای پراکندگی و در نهایت تقویت‌کننده‌های توان اختصاص یافته‌است. در فصل هفتم پایه‌های خطوط انتقال فرکانس رادیویی و مدارهای تطبیق امپدانس شرح داده می‌شوند. فصل هشتم به معرفی پارامترهای پراکندگی  $S$  به عنوان ابزاری مدرن در طراحی مدار تقویت‌کننده در گستره ریزموج‌ها می‌پردازد. فصل نهم تحلیل و طراحی تقویت‌کننده‌های ریزموج با استفاده از پارامترهای پراکندگی  $S$  را ارائه می‌دهد. مشکل پایداری در ساختارهای دودهانه با استفاده از پارامترهای پراکندگی  $S$  با جزییات مورد مطالعه قرار می‌گیرد. تطبیق مزدوج همزمان تقویت‌کننده با استفاده از پارامترهای پراکندگی  $S$  و همچنین طراحی تقویت‌کننده‌های کم نویز با استفاده از پارامترهای نویز در این فصل ارائه می‌گردند. در نهایت طراحی تقویت‌کننده‌های دوطبقه با استفاده از پارامترهای نویز و بهره تشریح می‌شوند. فصل دهم به تقویت‌کننده‌های توان اختصاص یافته‌است. کلاس‌های مختلف تقویت‌کننده‌های توان، نحوه عملکرد، بازدهی و قابلیت توان‌دهی آن‌ها در این فصل مورد مطالعه قرار می‌گیرد. همچنین شیوه‌های خطی‌سازی تقویت‌کننده‌های توان به عنوان ابزاری مدرن برای فرستنده‌های امروزی در این فصل ارائه شده‌اند.

در پایان از تمامی همکاران و دانشجویانی که نقشی سازنده و ضروری در تکوین مباحث این کتاب داشته‌اند و مشوق ما در تحقق این کتاب بوده‌اند، کمال تشکر و سپاسگزاری را داریم.

فروهر فرزانه، علی فتوت احمدی، محمود کمره‌ای

علی نیکوفرد، محمد علمی

مهرماه ۱۳۹۷



# فهرست واژگان اختصاری

۲G	Second Generation	ERP	Effective Radiated Power
۴G LTE	Fourth Generation, Long Term Evolution	EVM	Error Vector Magnitude
A/D	Analog to Digital (converter)	FFT	Fast Fourier Transform
AC	Alternating Current	FLL	Frequency-Locked Loop
ACPR	Adjacent Channel Power Ratio	FM	Frequency Modulation
ADC	Analog to Digital Converter	FSK	Frequency-Shift Keying
ADS	Advanced Design System (Software)	GBW	Gain Bandwidth Product
AGC	Automatic Gain Control	GF	Gaussian Filter
AM	Amplitude Modulation	GMSK	Gaussian Minimum Shift Keying
AMPS	Advanced Mobile Phone System	GPS	Global Positioning System
APG	Available Power Gain	GSM	Global System for Mobile communication (originally Groupe Spécial Mobile)
BiCMOS	Bipolar Complementary Metal Oxide	HPF	High-Pass Filter
BJT	Bipolar Junction Transistor	IF	Intermediate Frequency
BPF	Band-Pass Filter	IIP <sub>۳</sub>	Input third-order Intercept Point
BPSK	Binary Phase Shift Keying	IM	Intermodulation
BW	Bandwidth	IM <sub>۳</sub>	Third-order Intermodulation
C/I	Carrier to Intermodulation (Ratio)	IM <sub>۵</sub>	Fifth-order Intermodulation
CB (Amplifier)	Common-Base	IMD	Intermodulation Distortion
CC (Amplifier)	Common-Collector	IP <sub>۳</sub>	third-order Intercept Point
CD (Amplifier)	Common-Drain	IS-۹۵	Interim Standard ۹۵
CDMA	Code-Division Multiple Access	KCL	Kirchhoff's Current Law
CE (Amplifier)	Common-Emitter	KVL	Kirchhoff's Voltage Law
CG (Amplifier)	Common-Gate	LINC	Linear Amplification Nonlinear Components
CMOS	Complementary Metal Oxide Semiconductor	LNA	Low Noise Amplifier
CS (Amplifier)	Common-Source	LO	Local Oscillator
DAMPS	Digital Advanced Mobile Phone System	LPF	Low-Pass Filter
DC	Direct Current	LSB	Lower SideBand
DCS	Digital Cellular System	MOS	Metal Oxide Semiconductor
DDS	Direct Digital Synthesis	MOSFET	Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor
DFF	D Flip-Flop	NF	Noise Figure
DSBSC	Double-SideBand Suppressed Carrier	NMOS	N-channel Metal Oxide Semiconductor
DSP	Digital Signal Processing	NPR	Noise Power Ratio
DUT	Device Under Test	OIP <sub>۳</sub>	Output third-order Intercept Point
EER	Envelope Elimination and Restoration	OPG	Operational Power Gain
EIRP	Effective Isotropic Radiated Power		

---

OQPSK	Offset Quadrature Phase-Shift Keying	S/P	Serial to Parallel (Converter)
PA	Power Amplifier	SMA	SubMiniature version A (Connector)
PAE	Power Added Efficiency	SNR	Signal-to-Noise Ratio
PAR	Peak to Average Ratio	S-parameter	Scattering Parameter
PCB	Printed Circuit Board	SSB	Single-SideBand
PCS	Personal Communications Service	SSBSC	Single-SideBand Suppressed Carrier
PD	Phase Detector	SWR	Standing Wave Ratio
PDF	Probability Density Function	TCXO	Temperature Compensated Crystal Oscillator
PDM	Pulse Deletion Modulation	TDMA	Time Division Multiple Access
PFD	Phase Frequency Detector	TEM	Transverse ElectroMagnetic
PLL	Phase-Locked Loop	THD	Total Harmonic Distortion
PM	Phase Modulation	T-line	Transmission line
PMOS	P-channel Metal Oxide Semiconductor	TPG	Transducer Power Gain
PSD	Power Spectral Density	TRX	Transceiver
PSK	Phase-Shift Keying	TX	Transmitter
PWM	Pulse Width Modulation	UHF	Ultra High Frequency
QAM	Quadrature Amplitude Modulation	USB	Upper SideBand
QPSK	Quadrature Phase-Shift Keying	VCO	Voltage Controlled Oscillator
RBSG	Random Bit Sequence Generator	VGA	Variable Gain Amplifier
RF	Radio Frequency	VSWR	Voltage Standing Wave Ratio
RFC	Radio Frequency Choke	WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access
RSSI	Received Signal Strength Indicator	WiFi	Wireless Fidelity
RX	Receiver	XOR	Exclusive-OR
S/N	Signal to Noise (Ratio)		

# فهرست مطالب

۱	دنیای اعجاب آور سامانه‌های بی سیم	۱
۱	۱-۱ مقدمه‌ای بر مدارهای مخابراتی	۱
۷	۲-۱ سطوح سیگنال و محو شدگی رایلی	۷
۸	۳-۱ محاسبه حساسیت در استانداردهای مختلف	۸
۹	۴-۱ ملاحظات در طراحی یک سیستم رادیویی	۹
۱۸	۵-۱ آشنایی مقدماتی با ترکیب‌کننده فرکانس رادیویی	۱۸
۲۳	۶-۱ نتیجه‌گیری	۲۳
۲۴	۷-۱ فهرست مراجع فصل	۲۴
۲۴	۸-۱ مسائل	۲۴
۲۹	نوسان‌سازها	۲۹
۲۹	۱-۲ مقدمه ای بر نوسان‌سازها	۲۹
۲۹	۲-۲ دیدگاه اول: پس‌خور مثبت	۲۹
۳۵	۳-۲ دیدگاه دوم: مقاومت/رسانایی منفی	۳۵
۳۸	۴-۲ توپولوژی‌های نوسان‌ساز	۳۸
۴۰	۱-۴-۲ مدار نوسان‌ساز امیتر مشترک	۴۰
۴۱	۲-۴-۲ مدار نوسان‌ساز بیس مشترک	۴۱
۴۱	۳-۴-۲ مدار نوسان‌ساز کلکتور مشترک	۴۱
۴۲	۴-۴-۲ دیدگاهی دیگر: نوسان‌سازهای خانواده کولپیتس و هارتلی	۴۲
۴۵	۵-۲ نوسان‌ساز کریستالی	۴۵
۵۰	۱-۵-۲ برگه اطلاعات یک کریستال	۵۰
۵۲	۶-۲ محاسبه فرکانس نوسان یک نوسان‌ساز با احتساب خازن‌های پارازیتی افزاره	۵۲
۵۲	۷-۲ ضریب کیفیت عناصر راکتیو	۵۲
۵۵	۸-۲ رفتار غیرخطی در تقویت‌کننده‌ها	۵۵
۵۹	۹-۲ یادآوری توابع بسط اصلاح شده از نوع اول	۵۹

- ۱۰-۲ هدایت انتقالی سیگنال بزرگ و تقویت‌کننده‌های تنظیم شده هارمونیکی . . . . . ۶۰
- ۱-۱۰-۲ حالت اول: تنظیم مدار تشدید روی اولین هارمونیک از فرکانس ورودی (حالت تقویت‌کننده تنظیم شده) . . . . . ۶۵
- ۲-۱۰-۲ حالت دوم: تنظیم مدار تشدید روی دومین هارمونیک از فرکانس ورودی (حالت ضرب کننده فرکانسی) . . . . . ۶۶
- ۱۱-۲ هدایت انتقالی سیگنال بزرگ در طبقه تفاضلی با ترانزیستورهای دوقطبی . . . . . ۷۱
- ۱۲-۲ مقسم‌های سلفی و خازنی (مبدل‌های امیدانسی) . . . . . ۷۴
- ۱-۱۲-۲ مبدل‌های امیدانس سلفی/خازنی سر وسط . . . . . ۷۵
- ۱۳-۲ تحلیل سیگنال بزرگ بهره حلقه در یک نوسان‌ساز . . . . . ۸۶
- ۱-۱۳-۲ افزایش ضریب کیفیت و پایداری فرکانس با استفاده از کریستال . . . . . ۹۰
- ۲-۱۳-۲ محاسبه هارمونیک‌های ولتاژ نوسان‌ساز . . . . . ۹۴
- ۱۴-۲ نوسان‌ساز کولپیتس با تغذیه مقاومتی در امیتر . . . . . ۹۵
- ۱۵-۲ هدایت انتقالی سیگنال بزرگ در طبقه ماسفت . . . . . ۹۷
- ۱۶-۲ هدایت انتقالی سیگنال بزرگ در طبقه تفاضلی ماسفت . . . . . ۱۰۰
- ۱۷-۲ نوسان‌ساز با استفاده از یک عنصر فرضی غیر خطی . . . . . ۱۰۵
- ۱۸-۲ یک نوسان‌ساز پیاده سازی شده با طبقه تفاضلی ماسفت . . . . . ۱۰۶
- ۱۹-۲ نوسان‌ساز کنترل شونده با ولتاژ . . . . . ۱۰۷
- ۱-۱۹-۲ انواع مختلف خازن متغیر و بایاس آن‌ها . . . . . ۱۰۸
- ۲۰-۲ مبحث ویژه: افزاره غیر خطی تغذیه شده با جریان سیگنال بزرگ سینوسی . . . . . ۱۱۹
- ۲۱-۲ ضمیمه . . . . . ۱۲۷
- ۲۲-۲ نتیجه‌گیری . . . . . ۱۳۱
- ۲۳-۲ فهرست مراجع فصل . . . . . ۱۳۱
- ۲۴-۲ مسائل . . . . . ۱۳۲
- ۳ حلقه قفل فاز، مدگردانی و وامدگردانی فرکانسی . . . . . ۱۴۵
- ۱-۳ مدگردانی فرکانسی . . . . . ۱۴۵
- ۲-۳ وامدگردانی فرکانسی . . . . . ۱۴۸
- ۱-۲-۳ آشکار ساز فاز . . . . . ۱۴۹
- ۲-۲-۳ سلول گیلبرت به عنوان آشکارساز فاز . . . . . ۱۴۹
- ۳-۲-۳ آشکار ساز فاز متعامد . . . . . ۱۵۴
- ۳-۳ اساس عملکرد حلقه قفل فاز و کاربرد آن به عنوان وامدگردان FM . . . . . ۱۶۲

۱۶۴	۱-۳-۳	تابع تبدیل حلقه قفل فاز مرتبه اول
۱۷۳	۴-۳	کاربردهای دیگری از حلقه قفل فاز
۱۷۸	۱-۴-۳	مدگردانی فرکانس به کمک حلقه قفل فاز
۱۸۱	۲-۴-۳	کاربرد حلقه قفل فاز در ترکیب‌کننده فرکانس و تابع تبدیل آن
۱۸۴	۵-۳	مبحث پیشرفته: حلقه قفل فاز نوع دوم
۱۸۸	۶-۳	نتیجه‌گیری
۱۸۹	۷-۳	فهرست مراجع فصل
۱۸۹	۸-۳	مسائل
۱۹۳	۴	مخلوط‌کننده
۱۹۳	۱-۴	اصول مبنایی عملکرد مخلوط‌کننده‌ها
۱۹۳	۱-۱-۴	اصول عملکرد مخلوط‌کننده‌های تک دیودی
۱۹۵	۲-۱-۴	استفاده از یک مدار غیر خطی به عنوان مخلوط‌کننده
۱۹۶	۲-۴	میان‌مدگردان مرتبه سوم در یک تقویت‌کننده غیرخطی
۱۹۸	۱-۲-۴	ویژگی‌های میان‌مدگردان مرتبه سوم و شیوه اندازه‌گیری
۲۰۰	۳-۴	میان‌مدگردان مرتبه سوم در مخلوط‌کننده‌ها
۲۰۳	۱-۳-۴	انسداد کانال مطلوب با مولفه میان‌مدگردان مرتبه سوم
۲۰۴	۲-۳-۴	مبحث ویژه: میان‌مدگردان در هر مدار غیر خطی به عنوان مخلوط‌کننده
۲۰۷	۴-۴	مخلوط‌کننده فعال با ترانزیستور دوقطبی
۲۱۱	۵-۴	دسته بندی مخلوط‌کننده‌ها بر مبنای مدار سویچ شونده
۲۱۲	۱-۵-۴	بهره تبدیل و نشستی نوسان‌ساز محلی
۲۲۳	۶-۴	تطبیق در مخلوط‌کننده‌ها
۲۲۳	۷-۴	محاسبه نقطه تقاطع مرتبه سوم در تقویت‌کننده غیرخطی
۲۲۶	۱-۷-۴	نقطه فشردگی و $IP_3$ در یک مخلوط‌کننده غیر خطی هدایت انتقالی
۲۳۰	۲-۷-۴	$IP_3$ در تقویت‌کننده زوج تفاضلی
۲۳۳	۸-۴	شیوه‌های خطی سازی مخلوط‌کننده‌ها
۲۴۱	۹-۴	محاسبه نقطه تقاطع ورودی مرتبه سوم در طبقات متوالی
۲۴۱	۱-۹-۴	ولتاژ نقطه تقاطع مرتبه سوم ورودی طبقات متوالی برحسب ولتاژ نقطه تقاطع تک طبقه
۲۴۲	۲-۹-۴	ترکیب تقویت‌کننده و مخلوط‌کننده
۲۴۵	۱۰-۴	نکته ای مهم در شبیه سازی مدارهای فرکانس رادیویی
۲۴۵	۱۱-۴	نتیجه‌گیری

۲۴۶	۱۲-۴	فهرست مراجع فصل
۲۴۷	۱۳-۴	مسائل
۲۵۷	۵	مدگردانی و وامدگردانی دامنه و فاز
۲۵۷	۱-۵	مدگردانی دامنه، AM
۲۵۹	۲-۵	وامدگردانی دامنه
۲۶۰	۳-۵	تولید سیگنال‌های با مدگردانی دامنه، AM
۲۶۴	۴-۵	تولید مدگردانی سیگنال حامل حذف شده با طیف دو طرفه و یک طرفه
۲۶۷	۵-۵	آشکارسازی هم‌آهنگ سیگنال AM
۲۷۰	۱-۵-۵	آشکار سازی هم‌آهنگ دامنه (با استخراج حامل)
۲۷۱	۶-۵	کاربردهای مدار گیلبرت
۲۷۱	۷-۵	مدگردانی‌های پرکاربرد امروزی
۲۷۲	۱-۷-۵	مدگردانی شیفت گسسته دودویی در فاز، BPSK
۲۷۳	۲-۷-۵	مدگردانی شیفت گسسته متعامد در فاز، QPSK
۲۷۴	۳-۷-۵	مدگردانی دامنه متعامد ۱۶ گانه، 16-QAM
۲۷۵	۴-۷-۵	مدگردانی دامنه متعامد ۶۴ گانه، 64-QAM
۲۷۵	۵-۷-۵	تولید سیگنال شیفت گسسته دودویی در فاز
۲۷۷	۶-۷-۵	تولید و آشکار سازی سیگنال شیفت گسسته متعامد در فاز
۲۷۸	۸-۵	اثر عدم تقارن دامنه و فاز بر منظومه سیگنال
۲۸۱	۱-۸-۵	بهبود در بازده پهنای باند
۲۸۹	۹-۵	نتیجه گیری
۲۸۹	۱۰-۵	فهرست مراجع فصل
۲۹۰	۱۱-۵	مسائل
۲۹۷	۶	محدودکننده‌ها و کنترل خودکار بهره
۲۹۷	۱-۶	محدودسازی در مقایسه با کنترل خودکار بهره
۲۹۷	۱-۱-۶	مدارهای محدودساز
۲۹۸	۲-۱-۶	تقویت‌کننده‌های کنترل کننده خودکار بهره (AGC)
۲۹۹	۲-۶	پهنای باند کل در تقویت‌کننده‌های چندطبقه
۳۰۲	۳-۶	مدارهای حذف کننده ولتاژ آفست
۳۰۵	۱-۳-۶	فرکانس قطع پایین در تقویت‌کننده با حلقه جبران ولتاژ آفست
۳۰۶	۴-۶	کنترل خودکار بهره

۳۰۷	۱-۴-۶	روش‌های کنترل بهره
۳۱۰	۵-۶	آشکارسازهای دامنه
۳۱۲	۱-۵-۶	نشان گر لگاریتمی سطح سیگنال
۳۱۳	۶-۶	پیاده سازی مدار تقویت کننده کنترل کننده بهره، بر مبنای ضرب کننده‌ها
۳۱۵	۷-۶	روش‌های افزایش پهنای باند
۳۱۵	۱-۷-۶	استفاده از ترانزیستورهای سرعت بالا
۳۱۶	۲-۷-۶	افزایش فرکانس بهره جریان واحد
۳۱۷	۳-۷-۶	استفاده از بار سلفی (قله زنی موازی)
۳۱۹	۴-۷-۶	کاهش خازن ورودی با استفاده از پس خور سری
۳۲۱	۸-۶	نوسان در طبقه‌های محدود ساز
۳۲۲	۹-۶	نتیجه گیری
۳۲۲	۱۰-۶	فهرست مراجع فصل
۳۲۳	۷	خطوط انتقال و تطبیق امپدانس
۳۲۳	۱-۷	مقدمه ای بر تقویت کننده‌های فرکانس رادیویی در گیرنده‌ها
۳۲۴	۱-۱-۷	خط انتقال
۳۲۶	۲-۷	معادلات انتشار موج در خط انتقال به ازای $R = \infty$ و $G = \infty$
۳۳۰	۱-۲-۷	معادلات عمومی انتشار موج در خطوط انتقال دارای اتلاف
۳۳۳	۳-۷	امپدانس مشخصه خط
۳۳۴	۱-۳-۷	خط انتقال بی اتلاف
۳۳۶	۴-۷	خط انتقال پایان یافته
۳۴۱	۵-۷	حالات خاص خط انتقال پایان یافته
۳۴۱	۱-۵-۷	ختم شدن به امپدانس مشخصه خط انتقال
۳۴۳	۲-۵-۷	امپدانس بار اتصال کوتاه
۳۴۴	۳-۵-۷	امپدانس بار مدار باز
۳۴۶	۶-۷	عدم تطبیق در بار و منبع برای خط بی اتلاف
۳۵۰	۷-۷	میدل امپدانس مبتنی بر خط انتقال $\lambda/4$ (معکوس کننده امپدانس)
۳۵۰	۱-۷-۷	تولید سلف و خازن با استفاده از خط انتقال
۳۵۱	۸-۷	نسبت ایستایی موج ولتاژ (VSWR)
۳۵۲	۹-۷	تطبیق امپدانس: روش شبکه L
۳۵۷	۱-۹-۷	تعریفی دیگر از ضریب کیفیت

۳۷۱	۱۰-۷ نگاشت اسمیت
۳۷۷	۱-۱۰-۷ چند قانون ساده کاربردی در هنگام استفاده از نگاشت اسمیت
۳۸۹	۱۱-۷ نتیجه گیری
۳۸۹	۱۲-۷ فهرست مراجع فصل
۳۹۰	۱۳-۷ مسائل
۳۹۹	۸ پارامترهای پراکندگی S
۳۹۹	۱-۸ نمایش شبکه‌های دو دهانه
۳۹۹	۱-۱-۸ پارامترهای مرسوم برای شبکه دو دهانه
۴۰۱	۲-۱-۸ پارامترهای پراکندگی S
۴۰۸	۲-۸ مباحث ویژه: اندازه‌گیری پارامترهای پراکندگی S توسط تحلیل‌گر شبکه
۴۰۹	۱-۲-۸ عملکرد یک تحلیل‌گر شبکه
۴۱۰	۲-۲-۸ کالیبراسیون توسط تاخیر الکتریکی
۴۱۰	۳-۲-۸ مدار نقطه کار
۴۱۰	۴-۲-۸ کالیبراسیون تک-دهانه و دو-دهانه در حالات اتصال کوتاه، مدار باز و امپدانس مشخصه
۴۲۳	۳-۸ تبدیل شبکه ماتریس‌ها
۴۲۵	۴-۸ نتیجه گیری
۴۲۵	۵-۸ فهرست مراجع فصل
۴۲۵	۶-۸ مسائل
۴۳۱	۹ تقویت‌کننده‌ها
۴۳۱	۱-۹ طراحی تقویت‌کننده با استفاده از پارامترهای پراکندگی
۴۳۱	۲-۹ مشخصه تقویت‌کننده‌ها
۴۳۴	۳-۹ پارامترهای عملکرد تقویت‌کننده
۴۳۴	۱-۳-۹ پایداری
۴۳۹	۲-۳-۹ بیشینه بهره توان قابل دسترس
۴۴۷	۴-۹ دوایر بهره توان
۴۴۷	۱-۴-۹ دوایر با بهره توان عملیاتی ثابت برای تقویت‌کننده‌های دو سویه پایدار مطلق
۴۵۶	۲-۴-۹ دوایر بهره توان قابل دسترس در تقویت‌کننده‌های دو سویه با پایداری مشروط
۴۵۷	۵-۹ رفتار نویز در یک شبکه دو دهانه
۴۵۷	۱-۵-۹ نویز در یک شبکه دو دهانه
۴۶۲	۶-۹ دوایر عدد نویز ثابت



۴۶۶	طراحی یک تقویت‌کننده تک طبقه کم نویز	۷-۹
۴۷۰	طراحی تقویت‌کننده دو طبقه	۸-۹
۴۷۶	نتیجه‌گیری	۹-۹
۴۷۶	فهرست مراجع فصل	۱۰-۹
۴۷۷	مسائل	۱۱-۹
۴۸۷	تقویت‌کننده توان	۱۰
۴۸۸	۱-۱-۱۰ مشخصات تقویت‌کننده توان	۱۰-۱
۴۸۹	۱-۱-۱۰ بازده در تقویت‌کننده توان	۱۰-۱-۱
۴۹۰	۲-۱-۱۰ توان خروجی در تقویت‌کننده توان	۱۰-۱-۲
۴۹۳	۳-۱-۱۰ نویز باند گیرنده	۱۰-۱-۳
۴۹۴	۴-۱-۱۰ بهره در تقویت‌کننده توان	۱۰-۱-۴
۴۹۵	۵-۱-۱۰ ملاحظات خطسانی در تقویت‌کننده توان	۱۰-۱-۵
۵۰۶	۶-۱-۱۰ ملاحظات پایداری تقویت‌کننده توان	۱۰-۱-۶
۵۰۶	۲-۱۰ پیکربندی‌های مختلف تقویت‌کننده توان	۱۰-۲
۵۰۶	۱-۲-۱۰ تقویت‌کننده توان کلاس A	۱۰-۲-۱
۵۰۹	۲-۲-۱۰ تقویت‌کننده کلاس B	۱۰-۲-۲
۵۱۲	۳-۲-۱۰ تقویت‌کننده توان کلاس AB	۱۰-۲-۳
۵۱۳	۴-۲-۱۰ تقویت‌کننده کلاس C	۱۰-۲-۴
۵۱۵	۵-۲-۱۰ مقایسه میان تقویت‌کننده‌های توان کلاس A، B، AB و C	۱۰-۲-۵
۵۱۶	۶-۲-۱۰ تقویت‌کننده کلاس D	۱۰-۲-۶
۵۱۹	۷-۲-۱۰ تقویت‌کننده کلاس E	۱۰-۲-۷
۵۲۰	۸-۲-۱۰ تقویت‌کننده کلاس F	۱۰-۲-۸
۵۲۱	۹-۲-۱۰ تقویت‌کننده کلاس S	۱۰-۲-۹
۵۲۳	۱۰-۲-۱۰ مقایسه عملکرد تقویت‌کننده‌های توان	۱۰-۲-۱۰
۵۲۳	۳-۱۰ شیوه‌های خطی سازی در تقویت‌کننده‌های توان	۱۰-۳
۵۲۴	۱-۳-۱۰ عقبگرد از بیشینه توان	۱۰-۳-۱
۵۲۵	۲-۳-۱۰ پیش-اعوجاج سیگنال ورودی	۱۰-۳-۲
۵۲۶	۳-۳-۱۰ پس خور مدگردان قطبی	۱۰-۳-۳
۵۲۸	۴-۳-۱۰ پس خور مدگردان کارترین	۱۰-۳-۴
۵۲۸	۵-۳-۱۰ روش پیش خور	۱۰-۳-۵

۵۲۹ . . . . .	۶-۳-۱۰ تقویت خطی با استفاده از عناصر غیر خطی (LINC)
۵۳۱ . . . . .	۷-۳-۱۰ حذف و بازسازی پوش
۵۳۲ . . . . .	۸-۳-۱۰ مدگردانی دامنه و عرض پالس
۵۳۲ . . . . .	۹-۳-۱۰ زنجیره تقویت‌کننده‌های سویچ شونده موازی
۵۳۳ . . . . .	۴-۱۰ نتیجه‌گیری
۵۳۴ . . . . .	۵-۱۰ فهرست مراجع فصل
۵۳۵ . . . . .	۶-۱۰ مسائل
۵۳۹	واژه‌نامه انگلیسی به فارسی
۵۵۱	واژه‌نامه فارسی به انگلیسی
۵۶۳	نمایه