

به نام آنکه جان را فکرت آموخت

اصول و مبانی

سیستم‌های خبراتی

(ویراست جدید)

اصول و مبانی

سیستم‌های خبراتی

جان جی. پروکیس
مسعود صالحی

ترجمه:

سعید قاضی مغربی

(عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی تهران - واحد شهر ری)

میثم امیراحمدی



مجلس استانیس

سرشناسه	: پروکیس، جان - Proakis, John G
عنوان و نام پدیدآور	: اصول و مبانی سیستم‌های مخابراتی / جان جی. پروکیس، مسعود صالحی؛ ترجمه سعید قاضی مغربی، میثم امیراحمدی.
مشخصات نشر	: تهران: فدک ایساتیس، ۱۳۸۹.
مشخصات ظاهری	: ۶۷۰ ص: مصور؛ ۲۱×۲۱ س.م.
شابک	: ۱۲۰۰۰۰ ریال: ۰۰۵-۱۶۰-۶۰۰-۹۷۸
وضعیت فهرست نویسی	: فیبا
یادداشت	: عنوان اصلی: Fundamentals of communication systems, 2005
موضوع	: مخابرات
شناسه افزوده	: صالحی، مسعود
شناسه افزوده	: Salehi, Masoud
شناسه افزوده	: قاضی مغربی، سعید، ۱۳۴۲- مترجم
شناسه افزوده	: احمدی، میثم، ۱۳۶۳- مترجم
رده بندی کنگره	: ۱۳۸۹ الف۶/پ۴/TK۵۱۰۱
رده بندی دیویی:	: ۶۲۱/۳۸۲
شماره کتابشناسی ملی	: ۲۰۲۷۶۶۰

اصول و مبانی

سیستم‌های مخابراتی

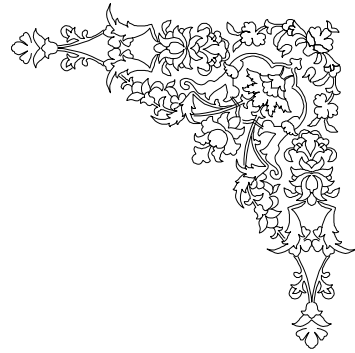
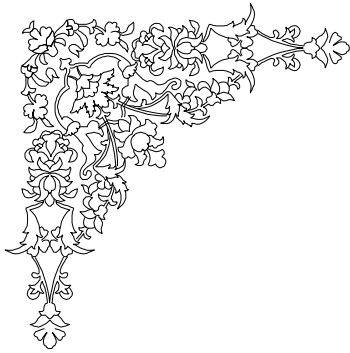


ترجمه	: سعید قاضی مغربی - میثم امیراحمدی
مدیر تولید	: مجیدرضا زروبی
حروفچینی و صفحه‌آرایی	: علی هدایتی
ویراستار ادبی	: عوض لطیفی خورشکی
نوبت چاپ	: اول - ۱۳۸۹
تیراژ	: ۲۰۰۰
لیتوگرافی	: مهران‌نگار
چاپ	: گنج‌شایگان
صحافی	: کیمیا
قیمت با جلد شومیز	: ۱۲۰۰۰۰ ریال
قیمت با جلد گالینگور	: ۱۴۰۰۰۰ ریال
شابک	: ۰۰۵-۱۶۰-۶۰۰-۹۷۸

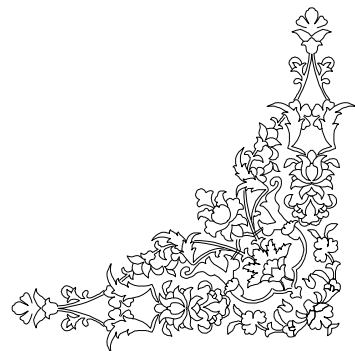
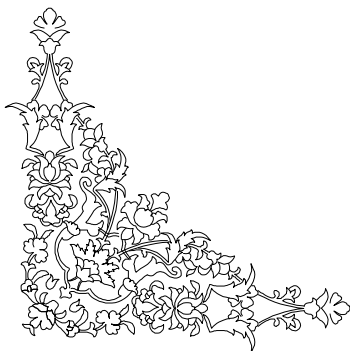
دفتر انتشارات : تهران - خیابان انقلاب - خیابان اردیبهشت - بین‌لبافی‌نژاد و جمهوری - ساختمان ۱۰ (۱۲۶ قدیم)
 تلفن: ۶۶۴۸۲۲۲۱ - ۶۶۴۸۱۰۹۶ - ۶۶۴۶۵۸۳۱
 نمایندگی تهران : خیابان انقلاب - نیش ۱۲ فروردین - پلاک ۱۳۱۲ - انتشارات صانعی
 تلفن: ۶۶۴۰۵۳۸۵ - ۶۶۴۰۹۹۲۴
 نمایندگی یزد: میدان آزادی (باغ ملی) - ابتدای خیابان فرخی - جنب مجتمع ستاره
 تلفن: ۶۲۲۶۷۷۲ - ۶۲۲۶۷۷۱ - ۶۲۲۷۴۷۵
 www.fadakbook.ir - Email: fadakbook@yahoo.com

کلیه حقوق و حق چاپ متن و عنوان کتاب که به ثبت رسیده است؛ مطابق با قانون حقوق مولفان و مصنفان مصوب ۱۳۴۸ محفوظ و متعلق به انتشارات فدک ایساتیس می‌باشد. هرگونه برداشت، تکثیر، کپی برداری به هر شکل (چاپ، فتوکپی، انتشار الکترونیکی) بدون اجازه کتبی از انتشارات فدک ایساتیس ممنوع بوده و متخلفین تحت پیگرد قانونی قرار خواهند گرفت.

معاونت حقوقی
 انتشارات فدک ایساتیس



ترجمه‌ی این اثر ارزشمند به رزمندگان تقدیم می‌شود
که با رشادت، فداکاری و ایثار جان خویش چنان
فضای آرام و امنی فراهم آورده‌اند که محققین و
پویندگان دانش قادر باشند دستاوردهای تحقیقاتی و علمی
خویش را در سراسر میهن اسلامی گسترش دهند.



مقدمه مترجمین

به انسان آنچه را نمی‌داند، آموخت (قرآن کریم، سوره‌ی علق)

خداوند متعال را به واسطه‌ی نعمت دانشی که بخشید و توفیق ادای زکات آن را عنایت فرمود، بسیار سپاسگذاریم. کتاب حاضر که ترجمه‌ی کتاب؛ *Fundamental of Communication Systems* است، توسط انتشارات Prentice Hall در سال ۲۰۰۵ چاپ و در اختیار متقاضیان قرار گرفت. کتاب حاضر نسبت به کتب مشابه ویژگی‌های قابل‌ی دارد و با توجه به تدریس کتب مختلف مخابرات در سنوات گذشته و کاستی‌های آن‌ها در تفهیم مطالب، این کتاب نسبت به کتب مشابه برای تدریس در رشته‌های مهندسی برق مناسب‌تر دیده شد؛ لذا مصمم بر ترجمه‌ی ویرایش جدید آن شدیم.

از آنجا که هدف از ترجمه‌ی کتاب حاضر، تدوین کتابی برای دروس مخابرات ۱ و مخابرات ۲ رشته‌های مهندسی برق است، لذا از ۱۳ فصل کتاب مرجع زبان اصلی، دو فصل آن که شامل موضوعات دروس مصوب نبوده، حذف شده است که حذف آن دو فصل، هیچ‌گونه خدشه‌ای بر موضوعات آموزشی نخواهد داشت.

با توجه به سرفصل مصوب شورای عالی برنامه‌ریزی پیشنهاد می‌شود که فصول ۱ لغایت ۶ به درس مخابرات ۱ و فصول ۷ لغایت ۱۱ به درس مخابرات ۲ اختصاص یابند.

در ترجمه‌ی کتاب سعی شده ضمن حفظ امانت و رعایت نکات فرهنگستان زبان و ادب فارسی از واژگانی استفاده شود که دانشجویان بیش‌تر با آن مأنوس هستند. قطعاً این ترجمه کامل نیست و نواقصی دارد، لذا بسیار خرسند خواهیم بود که از نقطه نظرات خوانندگان محترم بهره‌مند شویم تا در چاپ‌های بعدی اشکالات مرتفع شوند.

در خاتمه از آقای مجیدرضا زرویی مدیر محترم انتشارات فدک ایساتیس و کادر محترم آن مؤسسه خصوصاً از آقایان مهندس رضا کرمی شاهنده، علی هدایتی و سرکار خانم شبنم کارپسند که به ترتیب مسئولیت‌های نظارت، تایپ و صفحه‌آرایی و طراحی گرافیکی متن حاضر را برعهده داشتند، کمال تشکر و قدردانی به عمل می‌آید. همچنین از خانم‌ها سپیده قاضی مغربی و فاطمه قاضی مغربی که در غلط‌گیری و مقابله نمودن متون سعی کافی و وافیه به‌خرج داده‌اند، کمال تشکر را داریم.

سعید قاضی مغربی

میثم امیراحمدی

پیشگفتار

این کتاب به عنوان یک کتاب درسی پیشرفته در زمینه‌ی سیستم‌های مخابراتی برای تمام شاخه‌های رشته‌ی مهندسی برق طراحی شده است. هدف اصلی این کتاب شناساندن روش‌های اساسی مورد استفاده در سیستم‌های مخابراتی و بیان اصول و ابزار اساسی مورد استفاده در تحلیل و طراحی چنین سیستم‌هایی است. اگرچه این کتاب در اصل به عنوان یک کتاب درسی برای سطح کارشناسی نوشته شده، اما می‌توان از آن به عنوان کتاب تمرین مهندسی مخابرات و یا خودآموز نیز استفاده کرد.

تأکید این کتاب روی سیستم‌های مخابرات دیجیتال است که به صورت کامل در فصل‌های ۷ لغایت ۱۱ شرح داده شده است. سیستم‌های مخابرات دیجیتال هم‌اکنون اسکلت اصلی سیستم‌های مخابرات پیشرفته‌ای همچون نسل‌های جدید سیستم‌های مخابرات بی‌سیم، سیستم‌های مخابرات ماهواره‌ای و شبکه‌های انتقال داده را تشکیل می‌دهند.

جزئیات کامل سیستم‌های مخابرات آنالوگ مرسوم در فصل‌های ۳، ۴ و ۶ ارائه شده است. ضمناً جزئیات کاملی به عنوان پیش‌نیاز این درس در دو فصل این کتاب ارائه شده است. یک فصل درباره‌ی تحلیل سیستم‌های خطی در حوزه‌ی فرکانس و استفاده از روش‌های فوریه (فصل ۲) و فصل دیگر (فصل ۵) درباره‌ی مطالعه‌ی احتمالات، متغیرهای تصادفی و فرآیندهای تصادفی است. اگرچه هر یک از این مباحث در اکثر دانشگاه‌ها به صورت مجزا در شاخه‌های مهندسی برق و به طور کامل پوشش داده می‌شوند، اما براساس تجربیات نویسندگان این کتاب، دانشجویان شدیداً نیاز به مرور مجدد این سرفصل‌ها در درس مخابرات دارند؛ زیرا این فصل‌ها به دانشجویان کمک زیادی در دسترسی سریع به نکات مورد نیاز می‌کنند.

در طراحی این کتاب فرض شده دانشجویانی که این درس را انتخاب نموده‌اند در جبر خطی، مدارهای الکتریکی ساده، نظریه‌ی سیستم‌های خطی، احتمال و فرآیندهای تصادفی، زمینه‌ی کافی را دارند. این دو موضوع آخر، در دو فصل این کتاب دوره خواهند شد.

ساختار کتاب

این کتاب با نگاهی مختصر و کوتاه به سیستم‌های مخابراتی در فصل اول شروع و با شیوه‌های نمایش سیگنال و تحلیل سیستم‌های خطی در حوزه‌ی زمان و حوزه‌ی فرکانس در فصل دوم ادامه می‌یابد. در این فصل بیشتر بر سری‌های فوریه و نمایش تبدیل فوریه سیگنال‌ها و استفاده از این تبدیل‌ها در تحلیل سیستم‌های خطی، تأکید شده است.

فصل‌های ۳ و ۴ به مسائل مربوط به مدولاسیون و دمدولاسیون سیگنال‌های آنالوگ پرداخته است. در فصل ۳ مدولاسیون دامنه (AM) و در فصل ۴ مدولاسیون فرکانس (FM) و مدولاسیون فاز (PM) شرح داده شده‌اند. موارد مربوط به پخش تلویزیونی و رادیویی و سیستم‌های مخابرات سلولی آنالوگ نیز در این فصل‌ها مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

در فصل ۵ نیز به مرور تعریف‌های اساسی و مفاهیم مربوط به احتمالات و فرآیندهای تصادفی پرداخته شده است. هم‌چنین در این فصل تأکید ویژه‌ای روی فرآیندهای تصادفی گوسی شده است؛ زیرا مدل‌هایی از نظر ریاضی قابل رهگیری را برای اغتشاشات ناشی از نویز جمع‌شونده ارائه می‌کنند. ضمناً در این فصل نمایش سیگنال‌های تصادفی هم در حوزه‌ی زمان و هم در حوزه‌ی فرکانس نشان داده شده است.

در فصل ۶، مباحث مربوط به اثر نویز جمع‌شونده در دمدولاسیون سیگنال‌های آنالوگ مدوله‌شده‌ی دامنه (AM) و سیگنال‌های آنالوگ مدوله‌شده‌ی فاز و فرکانس (FM, PM)، مطرح شده است. هم‌چنین در این فصل مقایسه‌ای بین مدولاسیون‌های سیگنال‌های آنالوگ برحسب نسبت عملکردی سیگنال به نویز آنها انجام شده است. موضوع دیگر در این فصل، مسأله‌ی تخمین فاز حامل با استفاده از حلقه‌ی قفل‌شده‌ی فاز (PLL) است و نهایتاً ویژگی‌های نویز حرارتی و اثرات تلفات انتقال در سیستم‌های مخابراتی مطالعه شده‌اند.

فصل ۷ به تبدیل آنالوگ به دیجیتال اختصاص دارد. مباحث مربوط به نمونه‌برداری و روش‌های کوانتیزاسیون در ابتدا شرح داده شده و با شیوه‌های کدگذاری شکل‌موج مانند PCM، PPCM و DM دنبال می‌شوند. این فصل با بحث مختصری درباره‌ی روش کدگذاری صوت به روش LPC و استاندارد JPEG، در فشرده‌سازی تصویر، به پایان می‌رسد.

فصل ۸ به بحث درباره‌ی روش‌های مدولاسیون برای کانال‌های AWGN باند پایه پرداخته شده است. انواع مختلفی از روش‌های مدولاسیون دودویی و غیردودویی، بر اساس نمایش هندسی سیگنال‌ها توضیح داده شده و عملکرد آنها نیز برحسب احتمال خطای حاصل، محاسبه شده است. آخرین موضوع این فصل بر روش‌های همزمان‌سازی در سیستم‌های مخابرات دیجیتال تأکید شده است.

در فصل ۹ به بررسی مشکلات مخابرات دیجیتال در کانال‌های AWGN باند محدود پرداخته شده است. ضمن اینکه اثرات اعوجاج‌های کانال روی سیگنال ارسالی که موجب تداخل بین

سمبلی (ISI) می‌شوند، بررسی شده است. چگونگی طراحی متعادل کننده‌های وفقی برای حذف ISI نیز در این فصل توضیح داده شده است.

در فصل ۱۰، ارسال سیگنال دیجیتال توسط مدولاسیون حاملی توضیح داده شده است. این فصل شامل مدولاسیون دامنه‌ی پالس (PAM)، کلیدزنی جابه‌جایی فاز (PSK)، مدولاسیون دامنه‌ی تریبلی (QAM)، کلیدزنی جابه‌جایی فرکانس (FSK) و کلیدزنی تغییر پیوسته فرکانسی (CPFSK) است.

در فصل ۱۱، بررسی محدودیت‌های اساسی مخابراتی اطلاعات که دربرگیرنده مطالبی درباره‌ی محتوای اطلاعاتی منابع بدون حافظه و ظرفیت کانال AWGN است، پرداخته شده است. دو الگوریتم بسیار متداول در کدگذاری خروجی منابع دیجیتال به نام‌های الگوریتم کدگذاری هافمن و الگوریتم کدگذاری لمپل - زیو نیز در این فصل توضیح داده شده‌اند.

در سراسر این کتاب مثال‌های حل‌شده‌ی متنوعی وجود دارد که تأکیدی بر استفاده از روش‌های استفاده شده در مبانی و مسائل نظری ارائه شده است. انتهای هر فصل شامل مسائل زیادی با سطح‌های دشواری مختلف است. در این میان مجموعه‌ای برگزیده از مسائل رایانه‌ای وجود دارند که درباره‌ی شبیه‌سازی الگوریتم‌های مختلف ارائه شده در هر فصل به کمک نرم‌افزار MATLAB است. پاسخ این مسائل نرم‌افزاری در وب‌سایت اختصاصی Prentice Hall موجود است.

گزینه‌هایی برای روش‌های ارائه دوره

این کتاب را می‌توان به عنوان کتاب درسی در زمینه‌ی سیستم‌های مخابراتی در مدت یک یا دو نیم‌سال استفاده کرد. ملاحظه‌ای که در طراحی دوره‌ی آموزشی این درس باید به آن توجه شود این است که آیا دانشجویان در گذشته درسی تحت نام احتمالات و فرآیندهای تصادفی را به انجام رسانده‌اند یا خیر؟ ملاحظه‌ی دیگر در طراحی این دوره‌ی آموزشی این است که آیا شیوه‌های مدولاسیون و دمدولاسیون آنالوگ در دوره‌های قبل توسط دانشجویان فراگیری شده است یا خیر؟ در زیر سه سناریو برای تدریس این کتاب ارائه شده است. علاوه بر این گزینه‌ها، روش‌های دیگری نیز امکان‌پذیر هستند.

۱. با عنوان درسی مخابرات آنالوگ و دیجیتال که در طول یک نیم‌سال تدریس شود. در این شیوه می‌توان بخش‌هایی از فصل ۲ و ۵ را به عنوان یادآوری و تمام فصل‌های ۴، ۶، ۷ و ۸ و گزینه‌های از فصل ۱۱ را انتخاب کرد.
۲. با عنوان درسی مخابرات که در طول یک نیم‌سال تدریس شود. در این شیوه می‌توان بخش‌هایی از فصل ۲ و ۵ را به عنوان یادآوری و فصل‌های ۱۱-۷ را برای تدریس انتخاب کرد.
۳. با عنوان درسی مخابرات آنالوگ و دیجیتال در مدت دو ترم متوالی ارائه شود. در این شیوه
 - در ترم اول فصل‌های ۲ تا ۶ برای تدریس انتخاب شوند.
 - در ترم دوم نیز فصل‌های ۷ تا ۱۱ برای تدریس انتخاب شوند.

فهرست مطالب

فصل اول	مقدمه	۱
۱.۱	مرور تاریخی ۳	
۲.۱	اجزای یک سیستم مخابراتی الکتریکی ۷	
۱.۲.۱	سیستم‌های مخابرات دیجیتال ۹	
۲.۲.۱	تلاش‌های انجام‌شده در مخابرات دیجیتال ۱۲	
۳.۱	کانال‌های مخابراتی و مشخصه‌های آنها ۱۵	
۴.۱	مدل‌های ریاضی برای کانال‌های مخابراتی ۲۲	
۵.۱	مطالعه‌ی بیشتر ۲۴	
فصل دوم	سیگنال‌ها و سیستم‌ها	۲۵
۱.۲	مفاهیم پایه ۲۷	
۱.۱.۲	عملیات اصلی روی سیگنال‌ها ۲۸	
۲.۱.۲	دسته‌بندی سیگنال‌ها ۲۹	
۳.۱.۲	بعضی سیگنال‌های مهم و خواص آنها ۳۷	
۴.۱.۲	دسته‌بندی سیستم‌ها ۴۴	
۵.۱.۲	تحلیل سیستم‌های LTI در حوزه زمان ۴۸	
۲.۲	سری فوریه ۵۰	
۱.۲.۲	سری فوریه و خواص آن ۵۰	
۲.۲.۲	پاسخ سیستم‌های LTI به سیگنال‌های متناوب ۶۰	
۳.۲.۲	رابطه‌ی پارسوال ۶۳	
۳.۲	تبدیل فوریه ۶۵	
۱.۳.۲	از سری فوریه تا تبدیل فوریه ۶۵	
۲.۳.۲	خواص اصلی تبدیل فوریه ۷۱	
۳.۳.۲	تبدیل فوریه‌ی سیگنال‌های متناوب ۸۵	
۴.۳.۲	انتقال از طریق سیستم‌های LTI ۸۸	
۴.۲	طراحی فیلتر ۹۲	
۵.۲	توان و انرژی ۹۶	
۱.۵.۲	سیگنال‌های انرژی ۹۷	
۲.۵.۲	سیگنال‌های توان ۱۰۰	
۶.۲	تبدیل هیلبرت و خواص آن ۱۰۳	
۷.۲	سیگنال‌های پایین‌گذر و میان‌گذر ۱۰۶	
۸.۲	مطالعه‌ی بیشتر ۱۰۹	
	مسائل ۱۱۰	
	مسائل رایانه‌ای ۱۱۹	

مقدمه‌ای بر مدولاسیون ۱۲۴	۱.۳
مدولاسیون دامنه (AM) ۱۲۵	۲.۳
مدولاسیون دامنه باندجانبی دوگانه با حامل محذوف ۱۲۵	۱.۲.۳
مدولاسیون دامنه‌ی متداول ۱۳۳	۲.۲.۳
AM تک‌باندجانبی ۱۳۸	۳.۲.۳
AM باندجانبی اثری ۱۴۱	۴.۲.۳
پیاده‌سازی مدولاتورها و دمدولاتورهای AM ۱۴۳	۳.۳
مالتی پلکس سیگنال ۱۵۰	۴.۳
مالتی پلکس تقسیم فرکانسی ۱۵۱	۱.۴.۳
مالتی پلکس حامل تربیعی ۱۵۲	۲.۴.۳
پخش رادیویی AM ۱۵۳	۵.۳
مسائل ۱۵۸	
مسائل رایانه‌ای ۱۶۳	

نمایش سیگنال‌های FM و PM ۱۶۸	۱.۴
مشخصه‌های طیفی سیگنال‌های مدوله‌شده‌ی زاویه ۱۷۲	۲.۴
مدولاسیون زاویه‌ی سیگنال پیام سینوسی ۱۷۲	۱.۲.۴
مدولاسیون زاویه‌ی یک سیگنال پیام دلخواه ۱۷۷	۲.۲.۴
پیاده‌سازی مدولاتورها و دمدولاتورهای زاویه ۱۷۸	۳.۴
پخش FM رادیویی و تلویزیونی ۱۸۶	۴.۴
پخش FM رادیویی ۱۸۶	۱.۴.۴
پخش تلویزیونی ۱۸۸	۲.۴.۴
سیستم‌های تلفن بی‌سیم همراه ۱۹۸	۵.۴
مطالعه‌ی بیشتر ۲۰۰	۶.۴
مسائل ۲۰۱	
مسائل رایانه‌ای ۲۰۴	

مروری بر احتمالات و متغیرهای تصادفی ۲۰۹	۱.۵
فضای نمونه، رخدادها و احتمال ۲۰۹	۱.۱.۵
احتمالات شرطی ۲۱۰	۲.۱.۵
متغیرهای تصادفی ۲۱۳	۳.۱.۵
توابعی برحسب متغیر تصادفی ۲۲۰	۴.۱.۵
متغیرهای تصادفی چندگانه ۲۲۳	۵.۱.۵

مجموع متغیرهای تصادفی ۲۲۸	۶.۱.۵
فرآیندهای تصادفی - مفاهیم اصلی ۲۲۸	۲.۵
متوسطهای آماری ۲۳۲	۱.۲.۵
فرآیندهای ایستان با تسامح ۲۳۴	۲.۲.۵
فرآیندهای تصادفی چندگانه ۲۳۵	۳.۲.۵
فرآیندهای تصادفی و سیستم‌های خطی ۲۳۶	۴.۲.۵
چگالی طیف توان فرآیندهای ایستان ۲۳۹	۵.۲.۵
چگالی طیف توان فرآیند مجموع ۲۴۳	۶.۲.۵
فرآیندهای گوسی و سفید ۲۴۴	۳.۵
فرآیندهای گوسی ۲۴۴	۱.۳.۵
فرآیندهای سفید ۲۴۶	۲.۳.۵
فرآیندهای نویز فیلترشده ۲۴۸	۳.۳.۵
مطالعه‌ی بیشتر ۲۵۳	۴.۵
مسائل ۲۵۴	
مسائل رایانه‌ای ۲۶۱	

تأثیر نویز بر سیستم‌های مدولاسیون دامنه (AM) ۲۶۷	۱.۶
تأثیر نویز بر سیستم باندپایه ۲۶۸	۱.۱.۶
تأثیر نویز بر DSB-SC AM ۲۶۸	۲.۱.۶
تأثیر نویز بر SSB AM ۲۷۰	۳.۱.۶
تأثیر نویز بر مدولاسیون AM متداول ۲۷۲	۴.۱.۶
تأثیر نویز بر مدولاسیون زاویه ۲۷۶	۲.۶
اثر آستانه در مدولاسیون زاویه ۲۸۵	۱.۲.۶
فیلترکردن پیش‌تأکید و واناکید ۲۸۸	۲.۲.۶
مقایسه‌ی سیستم‌های مدولاسیون آنالوگ ۲۹۱	۳.۶
تخمین فاز حامل از طریق حلقه‌ی قفل‌شده فاز (PLL) ۲۹۳	۴.۶
اثر نویز جمع‌شونده در تخمین فاز ۲۹۷	۱.۴.۶
اثرات تلفات انتقال و نویز در سیستم‌های مخابرات آنالوگ ۳۰۲	۵.۶
توصیف منابع نویز حرارتی ۳۰۳	۱.۵.۶
دمای مؤثر نویز و عدد نویز ۳۰۴	۲.۵.۶
تلفات انتقال ۳۰۷	۳.۵.۶
استفاده از تکرارکننده‌ها در ارسال سیگنال ۳۰۹	۴.۵.۶
مطالعه‌ی بیشتر ۳۱۲	۶.۶
مسائل ۳۱۳	
مسائل رایانه‌ای ۳۱۶	

نمونه برداری از سیگنال‌ها و بازسازی سیگنال از نمونه‌ها ۳۲۲	۱.۷
قضیه‌ی نمونه برداری ۳۲۲	۱.۱.۷
کوانتیزاسیون ۳۲۷	۲.۷
کوانتیزاسیون عددی ۳۲۷	۱.۲.۷
کوانتیزاسیون برداری ۳۳۵	۲.۲.۷
کدگذاری ۳۳۷	۳.۷
کدگذاری شکل موج ۳۳۸	۴.۷
مدولاسیون کد پالس (PCM) ۳۳۹	۱.۴.۷
مدولاسیون کد پالس تفاضلی (DPCM) ۳۴۳	۲.۴.۷
مدولاسیون دلتا (DM) ۳۴۵	۳.۴.۷
روش‌های تحلیل و سنتز ۳۴۸	۵.۷
ارسال صوت دیجیتال و ضبط صوت دیجیتال ۳۵۱	۶.۷
صوت دیجیتال در سیستم‌های ارسال تلفنی ۳۵۲	۱.۶.۷
ضبط دیجیتالی صدا ۳۵۴	۲.۶.۷
استاندارد کدگذاری تصویر JPEG ۳۵۸	۷.۷
مطالعه‌ی بیشتر ۳۶۲	۸.۷
مسائل ۳۶۳	
مسائل رایانه‌ای ۳۶۷	

فصل هشتم مدولاسیون دیجیتال در کانال باند پایه با نویز سفید گوسی جمع‌شونده ۳۶۹

نمایش هندسی شکل موج سیگنال ۳۷۲	۱.۸
مدولاسیون پالس دودویی ۳۷۶	۲.۸
مدولاسیون دامنه‌ی پالس (PAM) دودویی ۳۷۶	۱.۲.۸
مدولاسیون مکان پالس (PPM) دودویی ۳۷۸	۲.۲.۸
گیرنده‌ی بهینه برای سیگنال‌های مدوله‌شده‌ی دودویی در حضور نویز گوسی سفید جمع‌شونده ۳۸۱	۳.۸
دمدولاتور نوع مدار همبستگی ۳۸۳	۱.۳.۸
دمدولاتور نوع فیلتر منطبق ۳۸۹	۲.۳.۸
عملکرد آشکارساز بهینه برای سیگنال‌های دودویی ۳۹۷	۳.۳.۸
مدولاسیون پالس M تایی ۳۹۹	۴.۸
مدولاسیون دامنه‌ی پالس M تایی ۴۰۱	۱.۴.۸
سیگنال‌های متعامد M تایی ۴۰۳	۲.۴.۸
سیگنال‌های متعامد دوگانه ۴۰۵	۳.۴.۸
شکل موج‌های سیگنال ساده ۴۰۸	۴.۴.۸
شکل موج‌های سیگنال کدشده‌ی دودویی ۴۰۹	۵.۴.۸
گیرنده‌ی بهینه برای سیگنال‌های M تایی در حضور نویز AWGN ۴۱۲	۶.۴.۸

احتمال خطای مدولاسیون پالس M تایی ۴۲۳	۵.۸
احتمال خطای مدولاسیون دامنه‌ی پالس M تایی ۴۲۳	۱.۵.۸
احتمال خطا برای سیگنال‌های متعامد M تایی ۴۲۷	۲.۵.۸
کران واحد برای احتمال خطا ۴۲۹	۳.۵.۸
احتمال خطای سیگنال‌های متعامد دوگانه M تایی ۴۳۳	۴.۵.۸
احتمال خطای سیگنال‌های ساده‌ی M تایی ۴۳۴	۵.۵.۸
احتمال خطای سیگنال‌های گذشته‌ی دودویی ۴۳۶	۶.۵.۸
مقایسه‌ی روش‌های مدولاسیون پالس دیجیتال ۴۳۶	۷.۵.۸
همزمان‌سازی سمبل ۴۳۷	۶.۸
همزمان‌کننده‌های گیت تقدم - تأخر ۴۳۸	۱.۶.۸
روش حداقل میانگین مربع خطا ۴۴۰	۲.۶.۸
روش حداکثر شباهت ۴۴۲	۳.۶.۸
روش طیف خطی ۴۴۳	۴.۶.۸
مطالعه‌ی بیشتر ۴۴۶	۷.۸
مسائل ۴۴۷	
مسائل رایانه‌ای ۴۵۴	

فصل نهم انتقال دیجیتال از طریق کانال‌های AWGN باند محدود ۴۶۱

ارسال دیجیتال از طریق کانال‌های باند محدود ۴۶۳	۱.۹
ارسال PAM دیجیتال از طریق کانال‌های باندپایه‌ی باند محدود ۴۶۸	۱.۱.۹
طراحی سیگنال برای کانال‌های باند محدود ۴۷۰	۲.۹
طراحی سیگنال‌های باند محدود برای حالت ISI صفر - معیار نایکویسیت ۴۷۲	۱.۲.۹
طراحی سیگنال‌های باند محدود با ISI کنترل شده - سیگنال‌های پاسخ جزئی ۴۷۸	۲.۲.۹
احتمال خطا در آشکارسازی PAM دیجیتال ۴۸۱	۳.۹
احتمال خطا در آشکارسازی PAM دیجیتال همراه با ISI صفر ۴۸۱	۱.۳.۹
آشکارسازی سمبل به سمبل داده‌های با ISI کنترل شده ۴۸۲	۲.۳.۹
احتمال خطای آشکارسازی سمبل به سمبل برای سیگنال‌های پاسخ جزئی ۴۸۶	۳.۳.۹
آشکارسازی دنباله‌ی با حداکثر شباهت برای سیگنال‌های پاسخ جزئی ۴۸۹	۴.۳.۹
طراحی سیستم در حضور اعوجاج کانال ۴۹۱	۴.۹
طراحی فیلترهای فرستنده و گیرنده برای کانال معلوم ۴۹۳	۱.۴.۹
متعادل‌سازی کانال ۴۹۵	۲.۴.۹
مطالعه‌ی بیشتر ۵۱۳	۵.۹
مسائل ۵۱۴	
مسائل رایانه‌ای ۵۱۹	

فصل دهم انتقال اطلاعات دیجیتال از طریق مدولاسیون حاملی ۵۲۵

سیگنال‌های دیجیتال مدوله‌شده‌ی دامنه ۵۲۷	۱.۱۰
--	------

دمدولاسیون و آشکارسازی سیگنال‌های مدوله‌شده‌ی دامنه ۵۳۱	۱.۱.۱۰
سیگنال‌های دیجیتال مدوله‌شده‌ی فاز ۵۳۴	۲.۱۰
دمدولاسیون و آشکارسازی سیگنال‌های مدوله‌شده‌ی فاز ۵۳۹	۱.۲.۱۰
مدولاسیون و دمدولاسیون تفاضلی فاز ۵۴۴	۲.۲.۱۰
احتمال خطای مدولاسیون PSK همدوس فاز ۵۴۶	۳.۲.۱۰
احتمال خطای DPSK ۵۵۱	۴.۲.۱۰
سیگنال‌های دیجیتال مدوله‌شده‌ی دامنه‌ی تریبیعی ۵۵۳	۳.۱۰
دمدولاسیون و آشکارسازی سیگنال‌های مدوله‌شده‌ی دامنه‌ی تریبیعی ۵۵۷	۱.۳.۱۰
احتمال خطای QAM ۵۶۰	۲.۳.۱۰
سیگنال‌های دیجیتال مدوله‌شده‌ی فرکانس ۵۶۵	۴.۱۰
دمدولاسیون و آشکارسازی سیگنال‌های مدوله‌شده‌ی فرکانس ۵۶۷	۱.۴.۱۰
احتمال خطای آشکارسازی ناهمدوس سیگنال‌های FSK ۵۷۴	۲.۴.۱۰
FSK با فاز پیوسته (CPFSK) ۵۷۷	۳.۴.۱۰
مقایسه‌ی روش‌های مدولاسیون ۵۸۸	۵.۱۰
همزمان‌سازی سمبل برای سیگنال‌های مدوله‌شده‌ی حاملی ۵۹۲	۶.۱۰
مطالعه‌ی بیشتر ۵۹۲	۷.۱۰
مسائل ۵۹۴	
مسائل رایانه‌ای ۵۹۹	

مدل‌سازی منابع اطلاعات ۶۰۸	۱.۱۱
اندازه‌گیری اطلاعات ۶۱۰	۱.۱.۱۱
آنتروپی توام و شرطی ۶۱۳	۲.۱.۱۱
اطلاعات متقابل ۶۱۶	۳.۱.۱۱
آنتروپی تفاضلی ۶۱۶	۴.۱.۱۱
قضیه کدگذاری منبع ۶۱۸	۲.۱۱
الگوریتم‌های کدگذاری منبع ۶۲۱	۳.۱۱
الگوریتم هافمن برای کدگذاری منبع ۶۲۱	۱.۳.۱۱
الگوریتم کدگذاری منبع لمپل - زیو (LEMPERL - ZIV) ۶۲۶	۲.۳.۱۱
مدل‌سازی کانال‌های مخابراتی ۶۲۸	۴.۱۱
ظرفیت کانال ۶۳۰	۵.۱۱
ظرفیت کانال گوسی ۶۳۵	۱.۵.۱۱
کران‌های مخابراتی ۶۳۸	۶.۱۱
مطالعه‌ی بیشتر ۶۴۲	۷.۱۱
مسائل ۶۴۳	
مسائل رایانه‌ای ۶۴۹	
فهرست الفبایی ۶۵۱	

مقدمه

مرور تاریخی	۳	۱.۱
اجزای یک سیستم مخابراتی الکتریکی	۷	۲.۱
سیستم‌های مخابرات دیجیتال	۹	۱.۲.۱
تلاش‌های انجام‌شده در مخابرات دیجیتال	۱۲	۲.۲.۱
کانال‌های مخابراتی و مشخصه‌های آنها	۱۵	۳.۱
مدل‌های ریاضی برای کانال‌های مخابراتی	۲۲	۴.۱
مطالعه‌ی بیشتر	۲۴	۵.۱