

سیستم‌های مخابراتی دیجیتال و آنالوگ

پدیدآورنده:

م. شانه‌وگام

دانشگاه ایالتی ویکتاری آمریکا

برگردان:

محمدرضا عارف

استاد مهندسی برق دانشگاه صنعتی شریف



دانشگاه صنعتی اصفهان
مرکز نشر

شماره کتاب ۸

گروه فنی و مهندسی ۲

سیستم‌های مخابراتی دیجیتال و آنالوگ

پدیدآورنده.....	سام. شانموگام
برگردان.....	محمدرضا عارف
حروف‌چین و صفحه‌آرا.....	زحل شیروانی
ناشر.....	مرکز نشر دانشگاه صنعتی اصفهان
لیتوگرافی، چاپ و صحافی.....	چاپخانه دانشگاه صنعتی اصفهان
چاپ.....	تابستان ۱۳۹۴
تیراژ.....	۲۰۰۰ جلد
شابک.....	۹۷۸-۹۶۴-۶۰۲۹-۰۸-۸
قیمت.....	۱۹۰۰۰۰ ریال

سرشناسه	shanmugam, K. Sam. ۱۹۴۳
عنوان و نام پدیدآور	سیستم‌های مخابراتی دیجیتال و آنالوگ/تألیف سام شانموگام: ترجمه محمدرضا عارف.
مشخصات نشر	اصفهان: دانشگاه صنعتی اصفهان، مرکز نشر، ۱۳۸۰.
مشخصات ظاهری	سبزه، ۱۵ ص. : مصرع، فول، نمودار.
فروست	دانشگاه صنعتی اصفهان - مرکز نشر شماره کتاب ۸ : گروه فنی و مهندسی؛ ۲.
شابک	9 3-964-6029-08-6
وضعیت فهرست‌نویسی	فاپا
یادداشت	عنوان اصلی: Digital and analog communication systems
یادداشت	چاپ قبلی: دانشگاه صنعتی اصفهان - مراکز اسرار، ۱۳۶۸، (بیست و سه، ۸۷۶ ص.).
یادداشت	چاپ نهم: ۱۳۹۰ (فپا).
یادداشت	کتابنامه
موضوع	مخابرات.
موضوع	ارتباطات رقیمی.
موضوع	نظریه اطلاعات.
موضوع	نظریه سیگنال‌ها.
شناسه افزوده	عارف، محمدرضا، ۱۳۳۰ -، مترجم
شناسه افزوده	دانشگاه صنعتی اصفهان. مرکز نشر
رده‌بندی کنگره	۱۳۸۰ ۹س ۲ش/TK5101
رده‌بندی دیویی	۶۲۱/۳۸
شماره کتابشناسی ملی	۸۸۰-۲۷۵۴۱

حق چاپ برای مرکز نشر دانشگاه صنعتی اصفهان محفوظ است.

اصفهان: دانشگاه صنعتی اصفهان - مرکز نشر - کدپستی ۸۳۱۱۱-۸۴۱۵۶، تلفن: ۰۳۱/۳۳۹۱۲۵۰۹-۱۰ (دورنگار: ۳۳۹۱۲۵۵۲/۰۳۱)
برای خرید اینترنتی کلیه کتاب‌های منتشره مرکز نشر می‌توانید به وبگاه <http://publication.iut.ac.ir> مراجعه و یا
مستقیماً از کتابفروشی مرکز نشر واقع در کتابخانه مرکزی دانشگاه صنعتی اصفهان (تلفن ۳۳۹۱۲۹۵۲) خریداری فرمایید.

پیشگفتار

با توجه به اهمیت روزافزون مخابرات دیجیتال، لزوم وجود یک کتاب درسی که جنبه‌های اصلی نظریه اطلاعات، روش‌های مدولاسیون گسسته و نظریه کدینگ را در سطح سال آخر دوره کارشناسی و با سال اول دوره کارشناسی ارشد بررسی کند محرز می‌گردد. هدف این کتاب عرضه متاماتی سیستم‌های مخابراتی آنالوگ و دیجیتال با تأکید روی سیستم مخابراتی دیجیتال می‌باشد.

مطالعه سیستم‌های مخابراتی جنبه‌های مختلفی را در برمی‌گیرد، از جنبه‌های محض ریاضی و آماری نظریات اطلاعات، نظریه مدولاسیون و نظریه کدینگ تا ملاحظات الکترونیکی در ساخت قالب‌های تابعی برای انجام پردازشهای مختلف سیگنال. در این کتاب تلاش شده است تا رفتار متعالی‌شکلی از این مباحث تلف سیستم‌های مخابراتی عرضه گردد.

در تمام کتاب، پردازش مخابراتی الکتریکی را به صورت مجموعه‌ای از عملیات پردازش سیگنال در نظر می‌گیریم. هر قالب تابعی در دسترس پردازش سیگنال خاصی را انجام می‌دهد. برای هر قالب تابعی، مقرونه ورودی - خروجی و پارامترهای در اختیار را تعریف می‌کنیم. عباراتی را برای ارتباط دادن پارامترهای هر قالب تابعی با کدهای آن به دست آورده و این عبارات را برای طراحی بهینه قالب تابعی به کار می‌بریم. اگرچه بعضی مثال‌هایی از قالب‌های فیزیکی (یا مدارات) که متناظر با قالب‌های تابعی مخصوصی هستند ارائه خواهیم داد، روی این جنبه از مسئله اهمیت کمتری قائل خواهیم شد. دلایل اصلی فراموش کردن این مسئله عبارتند از:

- ۱- شبکه‌ها و وسایل خاص به دلیل پیشرفت‌های سریع تکنولوژیکی در سرعت غیر مستعمل می‌گردند.
- ۲- طراحی مدارات را در درس طراحی شبکه بهتر از درس سیستم‌های مخابراتی می‌توان آموخت.

مطالب موجود در کتاب در سه زمینه مطالعاتی ارائه شده‌اند: بخش مقدمه، مطالعه سیستم‌های مخابراتی دیجیتال، و مطالعه سیستم‌های مخابراتی آنالوگ. بخش مقدمه (فصل‌های دوم و سوم) شامل مدل‌های سیگنال، تجزیه و تحلیل سیستم‌ها، متغیرهای تصادفی و فرآیندهای تصادفی می‌شود. در این بخش به روش‌های مدولاسیون و آشکارسازی و نسبت‌های سیگنال به اغتشاش اشاره‌ای می‌شود. این موضوع‌ها به طور مفصل در فصل‌های بعدی مطرح می‌گردند.

فصول چهارم، پنجم، هشتم و نهم در ارتباط با تجزیه و تحلیل و طراحی سیستم‌های مخابراتی دیجیتال می‌باشند. فصل چهارم، به بیان نظریه اطلاعات و استنباط‌های آن برای سیستم‌های مخابراتی دیجیتال می‌پردازد. شمای مدولاسیون با موج حامل و پالس گسسته در فصول پنجم و هشتم مورد بحث قرار می‌گیرند. بالاخره، ایده اصلی در نظریه کدینگ در فصل نهم مطرح می‌گردد. سیستم‌های مخابراتی آنالوگ در فصول ششم و هفتم مورد بحث قرار می‌گیرند. انتقال سیگنال آنالوگ باند پایه و روش‌های مدولاسیون یا موج پیوسته (CW) برای انتقال سیگنال آنالوگ در فصل ششم آورده می‌شوند. اثر اغتشاش در شمای مدولاسیون CW در فصل هفتم مورد بحث قرار می‌گیرد. این فصل همچنین شامل مقایسه‌ای بین شمای مختلف مدولاسیون CW می‌باشد.

بالاخره، فصل دهم در مورد روش‌های انتقال دیجیتال سیگنال‌های آنالوگ بحث می‌کند. نمونه بردار، چندی کردن و کد کردن سیگنال‌های آنالوگ برای انتقال توسط سیستم‌های دیجیتال را در این فصل تشریح می‌شوند.

فرض می‌شود که دانشجویان قبلاً با تجزیه و تحلیل مدارها و سیستم‌های خطی آشنایی دارند. آشنایی قبلی با تبدیل فوریه، متغیرهای تصادفی و فرآیندهای تصادفی مفید می‌باشد ولی الزامی نیست. این درس از، تنظیم و ارائه دروس مختلفی توسط این کتاب امکان پذیر است، اولاً این کتاب را می‌توان به ابرکامل در دو نیمسال در مورد سیستم‌های مخابراتی دیجیتال و آنالوگ تدریس نمود. همچنین می‌توان برای تدریس یک درس در مورد سیستم‌های مخابراتی دیجیتال و آنالوگ (در یک نیمسال) با مرور سریع فصول دوم و سوم و انتخاب موادی از فصول پنجم و ششم و هفتم و هشتم از آن استفاده نمود. بالاخره، به عنوان یک درس انتخابی در سیستم‌های مخابراتی دیجیتال می‌توان از مواد فصول چهارم، پنجم، هشتم و نهم و دهم استفاده نمود. بیان دوباره بعضی از مطالب در این کتاب به معلم انعطاف بیشتری را برای تنظیم مطالب درس‌ها می‌دهد.

تلاش زیادی شده است تا مطالب در یک سطح مناسب برای کاربر مفاهیم کلی، ملاحظات طراحی بدون وارد شدن به جزئیات پیچیده نظری تنظیم گردد. اثبات‌ها تنها فقط هنگامی ارائه می‌گردند که به اندازه کافی وارد مسئله مورد بحث بشوند. اثبات قضایای که به محاسبات و مطالب پیچیده‌ای در سطحی بالاتر از سطح مورد نظر در این کتاب نیاز دارند - حذف شده است. در این قبیل حالات، نکات عمده در اثبات و مراجع کافی برای کسانی که مایلند جزئیات را بدانند بیان شده است.

هر فصل شامل تعدادی مثال و مسئله برای حل می‌باشد. مثال‌ها و مسائل جنبه‌های عملی و نظری تجزیه و تحلیل و طراحی سیستم‌های مخابراتی را می‌پوشانند.

سام شانه‌موگام

به نام خدا

مقدمه مترجم

با توجه به پیشرفت روزافزون سیستم‌های مخابراتی دیجیتال و جایگزین شدن این سیستم‌ها به جای سیستم‌های آنالوگ، ضرورت داشتن کتابی به زبان فارسی در سطح دوره کارشناسی (لیسانس) هم جنبه‌های مهم سیستم‌های مخابراتی دیجیتال را به زبانی ساده و در عین حال که عمیق بیان کند کاملاً برپوش است.

کتاب حاضر علاوه بر آنکه می‌تواند به عنوان کتاب درسی برای تدریس مخابرات یک در برنامه مصوب دوره کارشناسی مهندسی برق مورد استفاده قرار گیرد، مناسب‌ترین کتاب برای تدریس مخابرات در مهندسی باقی‌مانده اگر چه کتب مناسب دیگری مانند کتاب *Communication Systems* تألیف B. Carlson برای تدریس مخابرات یک موجودند، به دلیل پوشش بهتر این کتاب و مهارت خاص در تلف درک دآوری مطالب مورد نیاز در تدریس مخابرات دو، این کتاب برای ترجمه انتخاب شده است.

درس مخابرات یک شامل فصول اول، دوم، قسمت از فصل سوم، ششم و هفتم و درس مخابرات دو شامل فصول سوم، چهارم، پنجم، هشتم و نهم و فصل دهم و فصل دهم می‌گردند. چنانچه دانشجو موفق به اخذ درس مخابرات دو در تدریس، بهتر است قسمتی از فصل دهم در برنامه درس مخابرات یک گنجانیده شود. امید است ترجمه این کتاب گامی هر چند کوچک در راه اهداف عالیه انقلاب فرهنگی به حساب آید.

در خاتمه لازم می‌دانم از آقای علی بایسته دانشجوی کارشناسی دانشکده مخابرات دانشگاه صنعتی شریف به خاطر اصلاحات کتاب و خانم زحل شیروانی به خاطر حرفه‌پژویی و صفحه‌آرایی تشکر نمایم.

با آرزوی توفیق الهی در خدمت به اسلام و مسلمین

محمد رضا عارف

فهرست مطالب

پیشگفتار

مقدمه (مترجم)

۱	فصل اول : مقدمه
۲	۱-۱ مدل یک سیستم مخبرانی
۴	۲-۱ عناصر یک سیستم مخبرانی
۵	۱-۲-۱ منبع اطلاعات
۶	۲-۲-۱ کدکننده و دکدکننده منبع
۷	۳-۲-۱ کانال مخبرانی
۷	۴-۲-۱ مدوله کننده
۸	۵-۲-۱ آشکارساز
۹	۶-۲-۱ کدکننده و دکدکننده کانال
۱۰	۷-۲-۱ سایر قالب های تابعی
۱۱	۳-۱ تجزیه و تحلیل و طراحی سیستم های مخبرانی
۱۱	۱-۳-۱ تجزیه و تحلیل سیستم های مخبرانی
۱۲	۲-۳-۱ طراحی سیستم های مخبرانی
۱۳	۴-۱ سازمان کتاب

فصل دوم : تجزیه و تحلیل سیگنال ها و سیستم ها

۱۷	مقدمه
۱۸	۱-۲ سیگنال ها و سیستم ها
۱۹	۱-۱-۲ طبقه بندی سیگنال ها
۲۲	۲-۲ نمایش سیگنال ها با استفاده از سری فوریه

۲۲	۱-۲-۲ سری فوریه نمایی مختلط.....
۲۳	۲-۲-۲ بسط سری فوریه سیگنال‌های متناوب.....
۲۸	۳-۲ نمایش سیگنال با استفاده از تبدیل فوریه.....
۲۸	۱-۳-۲ تبدیل فوریه سیگنال‌های غیرمتناوب.....
۳۲	۲-۳-۲ تبدیل فوریه سیگنال‌های متناوب توان.....
۳۳	۳-۳-۲ قضایای تبدیل فوریه.....
۳۹	۴-۲ چگالی طیف توان.....
۴۳	۵-۲ پاسخ سیستم و فیلترها.....
۴۳	۱-۵-۲ پاسخ ضربه، پاسخ پله و تجزیه و تحلیل در حوزه زمان.....
۴۴	۲-۵-۲ تابع تبدیل و تجزیه و تحلیل در حوزه فرکانس.....
۴۶	۵-۲ ۱-۱ تابع تبدیل بر روی چگالی‌های طیفی.....
۴۶	۵-۲ ۱-۱ فیلترهای حقیقی و ایده‌آل.....
۴۹	۶-۲ تجزیه و تحلیل ریف مدولاسیون و آشکارسازی.....
۵۰	۱-۶-۲ تجزیه و تحلیل یک سیستم مدولاسیون خطی.....
۵۲	۷-۲ محاسبات و اندازه‌گیری‌های طیفی.....
۵۳	۱-۷-۲ تحلیل کنندگی.....
۵۴	۲-۷-۲ محاسبه عددی صواب سری فوریه.....
۵۷	۳-۷-۲ محاسبه عددی تبدیل فوریه.....
۵۸	۸-۲ خلاصه.....
۶۰	مراجع.....
۶۱	مسائل.....

فصل سوم : نظریه سیگنال تصادفی

۷۳	۱-۳ مقدمه.....
۷۵	۲-۳ مقدمه‌ای بر احتمالات.....
۷۵	۱-۲-۳ تعاریف.....
۷۵	۲-۲-۳ احتمال پیشامدهای تصادفی.....
۷۷	۳-۲-۳ احتمال‌های مشترک و شرطی.....
۷۹	۳-۳ متغیرهای تصادفی گسسته.....
۸۰	۱-۳-۳ توابع جرمی احتمال.....
۸۱	۲-۳-۳ متوسط‌های آماری.....
۸۲	۳-۳-۳ مثال‌هایی از توابع جرمی احتمال.....
۸۵	۴-۳ متغیرهای تصادفی پیوسته.....

۸۵	۱-۴-۳ توابع چگالی احتمال و متوسط های آماری:
۸۶	۲-۴-۳ مثال هایی از توابع چگالی احتمال
۸۹	۳-۴-۳ تبدیلات متغیرهای تصادفی
۹۲	۵-۳ فرآیندهای تصادفی
۹۴	۱-۵-۳ تعاریف و علائم قراردادی
۹۶	۲-۵-۳ ایستانی، متوسط زمانی، ارگادیستی
۹۸	۳-۵-۳ چگالی طیف توان فرآیندهای تصادفی ایستان
۱۰۷	۴-۵-۳ دسته های مخصوص از فرآیندهای تصادفی
۱۰۹	۶-۳ سیستم ها و سیگنال های تصادفی
۱۱۰	۱-۶-۳ پاسخ سیستم های بدون حافظه
۱۱۱	۲-۶-۳ پاسخ سیستم های خطی و تغییرناپذیر با زمان
۱۱۴	۷-۳ اغتشاش در سیستم های مخابراتی
۱۱۵	۷-۳-۱ اغتشاش حرارتی
۱۱۸	۲-۷-۳ نمایش اغتشاش باند باریک در حوزه زمان
۱۲۶	۳-۷-۳ نسبت سیگنال به اغتشاش و احتمال خطا
۱۲۷	۴-۷-۳ پهنای باند مادل اغتشاش و درجه حرارت مؤثر اغتشاش و عدد اغتشاش
۱۳۴	۸-۳ خلاصه
۱۳۶	مراجع
۱۳۶	مسائل

فصل چهارم: اطلاعات و ظرفیت کانال

۱۴۷	۱-۴ مقدمه
۱۴۹	۲-۴ اندازه گیری اطلاعات
۱۴۹	۱-۲-۴ اطلاعات موجود در یک پیام
۱۵۱	۲-۲-۴ اطلاعات متوسط (آنتروپی) موجود در سمبل ها در دنباله های مستقل طولانی
۱۵۴	۳-۲-۴ اطلاعات متوسط موجود در سمبل ها در دنباله های وابسته طولانی
۱۵۵	۴-۲-۴ مدل آماری مارکف برای منابع اطلاعات
۱۵۹	۵-۲-۴ آنتروپی و میزان اطلاعات منابع مارکف
۱۶۵	۳-۴ کد کردن خروجی منبع
۱۶۶	۱-۳-۴ آلگاریتم کد کردن شانون
۱۷۱	۴-۴ کانال های مخابراتی
۱۷۳	۵-۴ کانال های مخابراتی گسسته

۱۷۷	۴-۵-۱ میزان اطلاعات انتقالی توسط یک کانال گسسته
۱۸۰	۴-۵-۲ ظرفیت کانال‌های گسسته و بدون حافظه (DMC)
۱۸۳	۴-۵-۳ کانال‌های گسسته با حافظه
۱۹۲	۴-۷ خلاصه
۱۹۲	مراجع
۱۹۳	مسائل

فصل پنجم: انتقال داده‌ها در باند پایه

۲۰۱	۵-۱ مقدمه
۲۰۵	۵-۲ سیستم‌های باینری
۲۰۶	۵-۲-۱ شکل دادن پالس‌های باند پایه
۲۰۹	۵-۲-۲ فیلترهای بهینه فرستنده و گیرنده
۲۱۴	۵-۲-۳ روش طراحی و مثال
۲۱۷	۵-۳ سیستم و باند PAM باند پایه
۲۱۸	۵-۳-۱ به در بردن کنترل شده در شمای دو باینری
۲۱۹	۵-۳-۲ فیلترهای بهینه فرستنده و گیرنده
۲۲۲	۵-۴ شمای M تایی 1'1
۲۲۴	۵-۴-۱ تجزیه و تحلیل و طراحی شمای M تایی
۲۳۲	۵-۴-۲ شمای باینری در مقابل شمای M تایی
۲۳۶	۵-۵ شکل دادن طیف سیگنال فرستنده
۲۳۷	۵-۵-۱ اثر کد کردن مقدماتی روی طیف سیگنال
۲۴۲	۵-۵-۲ شکل دادن پالس به روش‌های دیجیتال
۲۴۵	۵-۶ همسانسازی
۲۴۵	۵-۶-۱ همسانساز عرضی
۲۴۸	۵-۶-۲ همسانسازهای خودکار
۲۵۲	۵-۷ عناوین متفرقه
۲۵۲	۵-۷-۱ نمودار چشمی
۲۵۴	۵-۷-۲ همزمانی
۲۵۶	۵-۷-۳ مخلوط کننده و بازبنده
۲۵۹	۵-۸ خلاصه
۲۵۹	مراجع
۲۶۰	مسائل

فصل ششم: انتقال سیگنال آنالوگ

۲۶۷	۱-۶ مقدمه
۲۶۸	۱-۱-۶ ضرورت مدولاسیون
۲۶۹	۲-۱-۶ انواع مدولاسیون‌های آنالوگ
۲۷۰	۲-۶ انتقال سیگنال آنالوگ در باند پایه
۲۷۱	۱-۲-۶ اعوجاج سیگنال در انتقال باند پایه
۲۷۲	۲-۲-۶ اعوجاج خطی
۲۷۳	۳-۲-۶ همسانسازی
۲۷۴	۴-۲-۶ اعوجاج غیرخطی و کامپندینگ
۲۷۵	۳-۶ شمای مدولاسیون خطی CW
۲۷۶	۱-۳-۶ مدولاسیون با دو باند جانبی
۲۸۱	۲-۳-۶ مدولاسیون دامنه (AM)
۲۸۶	۳-۳-۶ مدولاسیون با باند جانبی حذف شده
۲۹۲	۴-۳-۶ تبدیل فرکانس (احتلاط فرکانس)
۲۹۵	۴-۶ مدولاسیون زوویه
۲۹۶	۱-۴-۶ سیگنال‌های مدولاسیون شده زاویه
۲۹۷	۲-۴-۶ طیف سیگنال‌های مدولاسیون شده زاویه
۳۰۱	۳-۴-۶ توان و پهنای باند سیگنال ای FM
۳۰۴	۴-۴-۶ تولید سیگنال‌های FM
۳۰۸	۵-۴-۶ آشکارسازی سیگنال‌های FM
۳۱۰	۶-۴-۶ حلقه‌های قفل فاز
۳۱۶	۵-۶ مولتی پلکس با تقسیم فرکانس
۳۱۹	۶-۶ پخش تجارتي
۳۱۹	۱-۶-۶ پخش و دریافت رادیو AM
۳۲۱	۲-۶-۶ پخش و دریافت رادیو FM
۳۲۳	۳-۶-۶ پخش و دریافت TV تجارتي
۳۳۲	۷-۶ خلاصه
۳۳۳	مراجع
۳۳۴	مسائل

فصل هفتم: اغتشاش در سیستم‌های مخابراتی آنالوگ

۳۴۹	۱-۷ مقدمه
۳۵۰	۲-۷ اغتشاش در سیستم‌های باند پایه
۳۵۰	۱-۲-۷ مدل سیستم و پارامترها

۳۵۱	۲-۲-۷ نسبت سیگنال به اغتشاش در خروجی یک سیستم باند پایه
۳۵۳	۳-۲-۷ بهبود نسبت سیگنال به اغتشاش با استفاده از فیلترهای پیش تأکید و جبران تأکید
۳۵۸	۱-۳-۷ مدل و پارامترهای سیستم
۳۶۰	۲-۳-۷ اغتشاش در سیستم‌های DSB و SSB
۳۶۳	۳-۳-۷ اغتشاش در سیستم‌های AM
۳۷۰	۴-۷ اغتشاش در سیستم‌های مدولاسیون زاویه
۳۷۷	۱-۴-۷ نسبت سیگنال به اغتشاش خروجی در سیستم‌های مدولاسیون زاویه
۳۷۷	۲-۴-۷ پدیده آستانه در سیستم‌های مدولاسیون زاویه
۳۸۰	۳-۴-۷ گسترش آستانه در سیستم‌های FM
۳۸۱	۵-۷ فیلترهای پیش تأکید و جبران تأکید در سیستم‌های مدولاسیون
۳۸۶	۶-۷ تبدیل در مدولاسیون CW
۳۸۶	۱-۶-۷ تداخل در مدولاسیون CW
۳۸۷	۲-۶-۷ تداخل در مدولاسیون خطی
۳۸۷	۱-۶-۷ تداخل در مدولاسیون زاویه
۳۸۸	۷-۷ مقایسه سیستم‌های مدولاسیون CW
۳۹۱	۸-۷ خلاصه
۳۹۲	مراجع
۳۹۳	مسائل

فصل هشتم: شماهای مدولاسیون دیجیتال

۴۰۱	۱-۸ مقدمه
۴۰۳	۲-۸ گیرنده بهینه برای شماهای مدولاسیون دیجیتال
۴۰۳	۱-۲-۸ توصیف شماهای باینری ASK، FSK و PSK
۴۰۵	۲-۲-۸ احتمال خطا
۴۰۸	۳-۲-۸ تابع تبدیل فیلتر بهینه
۴۱۵	۳-۸ شماهای ASK باینری
۴۱۷	۱-۳-۸ ASK همزمانی
۴۲۰	۲-۳-۸ ASK غیرهمزمانی
۴۲۵	۴-۸ شماهای PSK باینری
۴۲۶	۱-۴-۸ PSK همزمانی
۴۲۷	۲-۴-۸ PSK تفاضلی همزمانی (DPSK)
۴۳۱	۵-۸ شماهای FSK باینری
۴۳۳	۱-۵-۸ FSK همزمانی
۴۳۵	۲-۵-۸ FSK غیرهمزمانی
۴۳۷	۶-۸ مقایسه سیستم‌های مدولاسیون دیجیتال
۴۳۷	۱-۶-۸ پهنای باند مورد نیاز

۴۳۸	۲-۶-۸ توان مورد نیاز
۴۴۰	۳-۶-۸ مصونیت در مقابل خرابی های کانال
۴۴۰	۴-۶-۸ پیچیدگی تجهیزات
۴۴۱	۷-۸ شماهای مدولاسیون M -تایی
۴۴۱	۱-۷-۸ PSK همزمانی M -تایی
۴۴۷	۲-۷-۸ سیستم M -تایی $DPSK$
۴۵۰	۳-۷-۸ شما M -تایی FSK با عرض وسیع
۴۵۵	۸-۸ روش های همزمانی
۴۵۷	۹-۸ خلاصه
۴۵۷	مراجع
۴۵۸	مسائل

فصل نهم. کدهای کنترل خطا

۴۶۷	۱-۹ مقدمه
۴۶۹	۱-۱-۹ مثالی از کد برای کنترل خطا
۴۷۱	۲-۱-۹ روش های کنترل خطا
۴۷۲	۳-۱-۹ انواع خطاها
۴۷۳	۴-۱-۹ انواع کدها
۴۷۳	۲-۹ کدهای قالبی خطی
۴۷۴	۱-۲-۹ نمایش ماتریسی کدهای قالبی خطی
۴۷۹	۲-۲-۹ قدرت تصحیح و تشخیص خطا در کدهای قالبی خطی
۴۸۰	۳-۲-۹ کدهای همینگ با قدرت تصحیح یک رقم خطا
۴۸۳	۴-۲-۹ آشکارسازی جستجو در جدول با استفاده از جدول میانه
۴۸۶	۳-۹ کدهای گردش باینری
۴۸۶	۱-۳-۹ ساختمان جبری کدهای گردش
۴۹۱	۲-۳-۹ کد کردن با استفاده از یک شیفت رجیستر $(n-k)$ بیتی
۴۹۲	۳-۳-۹ محاسبه علامت مشخصه، تشخیص خطا و تصحیح خطا
۴۹۵	۴-۳-۹ دسته مخصوصی از کدهای گردش: کدهای BCH
۴۹۸	۴-۹ کدهای تصحیح خطای قطاری
۵۰۰	۵-۹ کدهای تصحیح خطای قطاری و تصادفی
۵۰۳	۶-۹ کدهای کانولوشن
۵۰۳	۱-۶-۹ کدکننده برای کدهای کانولوشن
۵۰۵	۲-۶-۹ آشکارساز برای کدهای کانولوشن: روش جستجوی فراگیر

۵۱۰	۳-۶-۹ کارآیی کدهای کانولوشن.....
۵۱۱	۷-۹ کارآیی کدهای قالبی - تصحیح خطا.....
۵۱۵	۸-۹ کارآیی کدهای قالبی - تشخیص خطا.....
۵۱۶	۱-۸-۹ روش ارسال توقف و انتظار.....
۵۱۸	۲-۸-۹ روش ارسال پیوسته.....
۵۲۱	۹-۹ خلاصه.....
۵۲۱	مراجع.....
۵۲۲	مسائل.....

فصل دهم: انتقال دیجیتال سیگنال‌های آنالوگ

۵۲۹	۱-۱۰-۱ مقایسه.....
۵۳۱	۱-۱۰-۲ نمونه برداری و تمرین.....
۵۳۱	۱-۱۰-۲-۱ نظریه نمونه برداری.....
۵۳۳	۱-۱۰-۲-۲ نمونه برداری ایده آل و بازسازی سیگنال‌های پایین‌گذر.....
۵۳۶	۱-۱۰-۲-۳ نمونه برداری ایده آل و بازسازی سیگنال‌های میان‌گذر.....
۵۳۷	۱-۱۰-۲-۴ قضیه نمونه برداری برای سیگنال‌های تصادفی.....
۵۴۰	۱-۱۰-۲-۵ نمونه برداری برای سیگنال‌های تصادفی.....
۵۴۲	۱-۱۰-۳-۱ چندی کردن سیگنال‌های آنالوگ.....
۵۴۵	۱-۱۰-۳-۲ چندی کردن یکنواخت.....
۵۴۸	۱-۱۰-۳-۳ چندی کردن غیریکنواخت.....
۵۵۲	۱-۱۰-۳-۴ چندی کردن تفاضلی.....
۵۵۴	۱-۱۰-۴-۱ ارسال کد شده سیگنال‌های آنالوگ.....
۵۵۷	۱-۱۰-۴-۲ سیستم PCM.....
۵۵۹	۱-۱۰-۴-۳ پهنای باند مورد نیاز PCM.....
۵۵۹	۱-۱۰-۴-۴ اغتشاش در سیستم‌های PCM.....
۵۶۴	۱-۱۰-۴-۵ سیستم‌های PCM تفاضلی.....
۵۶۵	۱-۱۰-۴-۶ سیستم‌های مدولاسیون دلتا.....
۵۶۹	۱-۱۰-۴-۷ اغتشاش در سیستم‌های مدولاسیون دلتا.....
۵۷۲	۱-۱۰-۴-۸ مقایسه سیستم‌های PCM و DM.....
۵۷۴	۱-۱۰-۴-۹ سیستم‌های PCM تفاضلی Q-سطحی.....
۵۷۵	۱-۱۰-۵-۱ مولتی پلکس با تقسیم زمانی.....
۵۷۶	۱-۱۰-۵-۲ سیستم تلفنی "TDM-PCM".....
۵۷۹	۱-۱۰-۵-۳ مقایسه TDM و FDM.....

۵۸۰	TDM ۳-۵-۱۰ غیرهمزمان
۵۸۲	۶-۱۰ مقایسه روش‌های مختلف برای ارسال سیگنال‌های آنالوگ
۵۸۲	۱-۶-۱۰ PCM در مقابل مدولاسیون آنالوگ
۵۸۴	۱۰-۶-۲ مقایسه سیستم‌های مخابراتی: مبادله توان - پهنای باند
۵۹۱	۱۰-۷ خلاصه
۵۹۱	مراجع
۵۹۲	مسائل

ضمیمه الف

۶۰۱	تاریخچه ارتباطات الکتریکی
	ضمیمه ب
۶۰۳	باند بزرگ فرکانس پخش
	ضمیمه ج
۶۰۵	اتحادهای مثالی و جداول فوریه
	ضمیمه د
۶۰۹	احتمالات گوسی
	ضمیمه هـ
۶۱۱	فهرست سمبل‌ها، علائم قراردادی و اتم اختصاری