

مخابرات فیبر نوری

(ویرایش پنجم)

Fiber Optic COMMUNICATIONS

(FIFTH Edition)

نویسنده: جوزف سی. پالایس

Joseph C. Palais

ترجمه: دکتر فرامرز اسمعیلی سراجی

استادیار، پژوهشکده فناوری ارتباطات
پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات، تهران

چاپ اول

۱۳۸۸

سرشناسه: پالی، جوزف سی. Palais, Joseph C.

عنوان و نام پدید آورنده: مخابرات فیبر نوری / نویسنده جوزف سی. پالایی؛ ترجمه ی فرامرز اسمعیلی سراجی.

مشخصات نشر: تهران، پال، ۱۳۸۸.

مشخصات ظاهری: وزیری، ۵۶۸ ص: مصور، جدول، نمودار.

شابک: ۹۷۸-۹۶۴-۲۵۷۴-۱۸-۶ ۱۱۰۰۰۰ ریال

وضعیت فهرست نویسی: فیبا

یادداشت: عنوان اصلی: Fiber optic communications, 5th ed, c2005.

یادداشت: واژه نامه.

یادداشت: کتابنامه: ص. ۵۶۸.

موضوع: ارتباطات نوری.

موضوع: نورشناسی الیاف.

شناسه افزوده: اسمعیلی سراجی، فرامرز، ۱۳۳۷ - مترجم.

رده بندی کنگره: ۶۲۱/۳۷۵ TK ۵۱۰۳/۵۹ / پ ۲ م ۳ ۱۳۸۷

رده بندی دیویی: ۶۲۱/۳۷۵

شماره کتابشناسی ملی: ۱۶۰۱۵۵۰

« حق چاپ، برای ناشر محفوظ می باشد. »

مخابرات فیبر نوری

★ صفحه آرای: معصومه مولایی پارسا

★ مدیر تولید: محمد رمضانپور

★ لیتوگرافی: نقش آفرین

★ چاپ و صحافی: کهنمویی زاده

★ شابک: ۹۷۸-۹۶۴-۲۵۷۴-۱۸-۶

★ تألیف: فرامرز اسمعیلی سراجی

★ نوبت چاپ: اول ۱۳۸۸

★ شمارگان: ۱۲۰۰ نسخه

★ قیمت: ۱۱۰۰۰۰ ریال

★ ناشر: نشر دانشگاهی پال

مرکز پخش: پخش کتاب دانش روز، تلفن: ۶۶۴۶۲۵۵۳- همراه: ۰۹۱۲۱۳۲۶۷۷۲- انتشارات پال

تهران میدان انقلاب، خیابان منیری جاوید (اردیبهشت) بین روانمهرولیا فی نژاد پلاک ۳۸ طبقه ۳ واحد ۹

صندوق پستی: تهران ۱۱۷- ۱۳۱۴۵

تهران، میدان انقلاب، ابتدای خ ۱۲ فروردین، پ ۳۱۸، انتشارات سیمای دانش، تلفن: ۶۶۴۶۴۷۷۹



دکتر فرامرز اسمعیلی سراجی در سال ۱۳۳۷ در شهرستان قایم‌شهر (مازندران) متولد شد. دوره‌های کارشناسی و کارشناسی ارشد خود را در رشته مهندسی مخابرات به‌ترتیب در سال‌های ۱۹۸۳ و ۱۹۸۵ در کشور هندوستان به پایان رسانده و مدرک دکترا را در سال ۱۹۹۱ از انستیتو تکنولوژی هند (دهلی نو) با گرایش مخابرات و ادوات فیبرنوری اخذ کرده است. دکتر سراجی بیش از یک دهه در تولید و تحقیقات فیبرنوری فعالیت حرفه‌ای داشته و بیش از ۸۰ مقاله پژوهشی در زمینه فیبرنوری در داخل و خارج از کشور به چاپ رسانده و بالغ بر ۵۰ پایان‌نامه در مقطع‌های مختلف دانشگاهی را راهنمایی کرده است. در حال حاضر به‌عنوان استادیار در گروه مخابرات نوری، پژوهشکده فناوری ارتباطات، مرکز تحقیقات مخابرات ایران در زمینه مخابرات و ادوات فیبرنوری، فیبرهای کریستال فوتونی، ادوات فعال نوری فعالیت پژوهشی دارد. دکتر سراجی عضو انجمن اپتیک و فوتونیک ایران است.

پیشگفتار

پس از تولید فیبرهای نوری با تلفات پایین در سال ۱۹۷۰، مخابرات فیبرنوری توسعه چشم گیری یافته است به طوری که در حال حاضر سیستم های عملیاتی فیبرنوری بسیار متداول و سیستم های جدید به صورت روزافزون در حال نصب و راه اندازی هستند. انتظار می رود که این رشد برای سال های متعددی ادامه یابد.

به دنبال تحولاتی که تا کنون فناوری فیبرنوری داشته، کتاب های بی شماری نوشته و به چاپ رسیده که فهم اغلب آنها، به دلیل پرداختن به جنبه های تئوری و ریاضیات مربوطه، برای خوانندگان مبتدی آسان نبوده است. این کتاب به نحوی نوشته شده که خوانندگان بتوانند اطلاعات مربوط به طراحی، عملکرد و قابلیت های سیستم های فیبرنوری را آسان تر درک کنند. نتیجه های تئوری و ریاضی بدون پرداختن به اثبات طولانی آنها ارائه شده اند و در عین حال، تا جایی که امکان داشته با ارائه جدول ها و شکل ها، معنی فیزیکی نتیجه های به دست آمده، تشریح شده اند. برای درک بیش تر مفاهیم مورد بحث، مقدارهای عددی پارامترهای سیستم ها نیز ارائه شده اند.

زمانی که این کتاب در سال ۱۹۸۴ برای نخستین بار به چاپ می رسید، فیبرنوری برای انتقال پیام های تلفنی در سطح وسیعی در ایالات متحده و چندین کشور جهان به کار گرفته شده بود. در سال ۱۹۸۸، هنگامی که این کتاب برای بار دوم زیر چاپ می رفت، به کارگیری فیبرنوری در شبکه های مخابراتی راه دور تقریباً به پایان رسیده بود و نصب کابل های نوری زیر دریایی آغاز به کار کرده و شبکه های محلی فیبری در حال توسعه بودند. در زمان چاپ سوم این کتاب در سال ۱۹۹۲، بیش از ۱۰ میلیون کیلومتر فیبرنوری در سطح جهان نصب شد که در برگیرنده تعدادی بی شمار شبکه های فیبرنوری زیر دریایی بود و نصب شبکه های محلی رو به قزونی داشت. در سال ۱۹۹۸، زمان چاپ ویرایش چهارم کتاب، نصب کابل های فیبرنوری زیر دریایی با رشد بین قاره ای عرض و طول اقیانوس های آرام و اطلس را پوشش داده بودند. به علاوه، آزمایش های زیادی انجام شد تا فیبرنوری را برای خدمات عمومی تا در خانه ها نصب کنند. برای استمرار چنین توسعه ای در مخابرات فیبرنوری، مقدار زیادی فیبرنوری، تعداد بی شماری اجزاء و ادوات نوری و نیروی کار ماهر قابل توجهی، مورد نیاز است. در ویرایش پنجم این کتاب، به توسعه های جدید پرداخته

شده است. تقاضا برای پهنای باند انتقال، به‌ویژه برای اینترنت و کاربردهای تجاری، نیازمند به طراحی سیستم‌های پرسرعت با آهنگ بالای ترابیت در ثانیه است. شبکه‌های مترو بخش مهمی از صنعت فیبرنوری شدند و اتصال شبکه فیبرنوری به خانه‌ها هنوز به‌عنوان یک هدف اصلی ذهن طراحان شبکه را به خود مشغول کرده است، ولی ملاحظات اقتصادی توسعه این فناوری را کند کرده است.

استمرار در رشد و تکامل فیبرنوری و تقاضای برای پهنای باند گسترده ایجاب می‌کند تا چاپ جدید این کتاب ضروری به‌نظر برسد. هر چند مبانی تغییر نکرده اما برای حل مشکلات مخابرات، اجزا و روش‌های جدیدی معرفی شده‌اند تا فیبرنوری به‌طور مؤثرتری به‌کار گرفته شود.

کتاب حاضر، کتابی مقدماتی است. در فهم این کتاب، دانش فیبرنوری و یا مخابرات نوری ضرورتی ندارد، مگر در برخی موارد که برای درک مشخصات و ویژگی‌های سیستم‌های فیبرنوری، مفاهیم ساده جبر و مثلثات مورد نیاز است. مبحث‌های اپتیک، الکترونیک و مخابرات به تناسب موضوع در برخی موارد ارائه می‌شوند.

این کتاب اساساً از روی مجموعه یادداشت‌ها و جزوه‌های نویسنده از کلاس‌های برگزار شده در زمینه مخابرات فیبرنوری، تدوین شده است. در میان شرکت کنندگان در این کلاس‌ها، از کارآموزهای مدرسه‌های فنی گرفته تا سطح دکترای مشاغل از قبیل طراحان صنعتی تا رییس دانشگاه‌ها دیده می‌شدند که اغلب دارای گرایش تحصیلی فیزیک، شیمی و رشته‌های مهندسی بوده‌اند. علاوه بر دوره‌های کوتاه آموزشی، محتویات این کتاب به بیش از ۱۵۰۰ دانشجوی مهندسی برق در مقاطع مختلف، تدریس شده است. این جزوه‌ها بیش از ۲۰ سال از طریق تلویزیون به علاقه‌مندان آموزش داده شد و در چند سال اخیر به‌صورت کلاس‌های اینترنتی تدریس شده است.

مهندسان طراح، برای انتخاب اجزا فیبرنوری و ارزیابی سیستم‌های مربوطه از این کتاب بهره زیادی می‌برند. افراد دیگری که به‌نحوی فعالیتشان با فیبر مرتبط است، مانند مهندسان رده بالای تصمیم‌گیری، مدیران طرح‌ها، کاربرها و عوامل فروش، می‌توانند از اطلاعات مفید مندرج در این کتاب استفاده کنند.

ترکیب بندی کتاب به شرح زیر است. در شروع کتاب، نمودارهای جعبه‌ای سیستم‌های فیبرنوری

ارائه شده‌اند با این هدف که انگیزه‌ای برای مطالعه فصل‌های بعدی در خواننده ایجاد شود. در فصل‌های ۲ و ۳ نتیجه‌های مهم در زمینه اپتیک و انتشار موج ارائه شده است. این نتیجه‌های اساسی برای درک سیستم‌ها و ادوات فیبر نوری، لازم است. اپتیک مجتمع در فصل ۴ آورده شده که در آن فناوری مجتمع سازی اجزای نوری بر روی یک بستر بررسی و مورد بحث قرار گرفته است. از فصل ۵ تا ۹ افزاره‌های اصلی سیستم فیبرنوری معرفی شده‌اند که شامل چشمه‌های نور، آشکارسازهای نور، جفتگرهای نوری و شبکه‌های توزیع است. ترکیب مدوله‌سازی، اثرات نوفه بر کیفیت پیام، و طراحی سیستم فیبرنوری در فصل‌های ۱۰ تا ۱۲ ارائه شده‌اند. در نهایت اطلاعات طراحی سیستم‌ها که در طول این کتاب ارائه شده‌اند، در فصل آخر برای نمونه‌هایی از سیستم‌های عملیاتی واقعی به کار گرفته شده‌اند.

انتظار می‌رود که خوانندگان بعد از مطالعه این کتاب بتوانند سیستم مخابرات فیبرنوری را طراحی کرده و اجزای مورد نیاز در سیستم، نظیر فیبرنوری، چشمه‌های نور، آشکارسازها و جفتگرها را انتخاب و ارزیابی کنند. زیرسیستم‌های موجود در بازار، مانند فرستنده‌ها و گیرنده‌ها، را نیز می‌توان با روش‌های ارائه شده در این کتاب، مورد ارزیابی قرار داد.

پیشرفت‌ها و توسعه صنعت فیبرنوری از زمان چاپ چهارم کتاب تا کنون در چاپ و ویرایش جدید مد نظر قرار گرفته و لحاظ شده‌اند. چون از نظر بنیادی این فناوری، تغییرات قابل ملاحظه‌ای نکرده، بنابراین تغییرات در چاپ جدید نیز چندان نبوده است. موضوع‌هایی که در چاپ جدید اضافه و یا گسترش یافته عبارتند از: تقویت‌کننده‌های رامان، تقویت‌کننده‌های اریومی، توری موجبر آرایه‌ای، مدوله‌سازهای الکتروجدبی، افزاره‌های میکرو-الکترو-مکانیکی (MEMS)، جبران‌سازی پاشش، چشمه‌های کوک‌پذیر نوری، پالایه‌های کوک‌پذیر، هم‌تافتگرهای تقسیم زمان نوری، هم‌تافتگرهای طول موج متراکم و نامتراکم، تأکید در استفاده از طیف نوری و مدوله‌سازی خارجی. جدول دسته‌بندی باند طیفی مورد استفاده در سیستم‌های فعلی ارائه شده است. اتصالگرهای کوچک و هم‌تافتن غیرچسبی توصیف شده‌اند. به علاوه، بحث در برخی بخش‌های کتاب اصلاح شد تا موضوع‌های ارائه شده برای درک آسان‌تر شوند.

به دلیل این که در مقطع های کارشناسی، برخی دانشکده ها در زمینه فیرنوری نیاز به کتاب درسی داشتند، در ویرایش دوم این کتاب یک مجموعه تمرین گنجانده شده که در این ویرایش، جدا از اضافه شدن تمرین های جدید برخی تمرین های قبلی اصلاح شده تا استفاده از آن ها در کلاس برای دانشجویان جذاب تر شود. برخی تمرین ها ساده و برخی دیگر نیاز به مطالعه منابع بیش تری دارند. پاسخ اکثر تمرین ها در پایان کتاب درج شده که می تواند حل المسائل جدیدی برای مریان باشد.

جدا از منابعی که در انتهای کتاب برای علاقه مندان به مطالعه بیش تر، درج شده، تعدادی کتاب های جدید نیز به فهرست قبلی اضافه شده است.

قابل ذکر است که هفت فصل اول کتاب را می توان در یک ترم پوشش داد که در آن اجزای اصلی سیستم به دانشجویان معرفی می شوند به طوری که بعد از پایان ترم دانش آموختگان به نحو مؤثری می توانند وارد صنعت و بازار فیرنوری شوند. پنج فصل باقی مانده که شامل موضوع های پیشرفته است، را می توان در ترم دوم تدریس کرد. برای ساده سازی ریاضیات و جذب دانشجویان بیش تر به سر کلاس ها، از چگونگی استخراج اکثر نتیجه های مندرج در این کتاب، اجتناب شده است. مریان دانشجویان سال آخر مهندسی برق در صورت علاقه مندی می توانند برای درک بیش تر دانشجویان اقدام به استخراج رابطه های ریاضی نمایند.

جوزف سی پالایس

دانشگاه ایالتی آریزونا

فهرست مطالب

فصل ۱..... ۱

سیستم‌های مخابرات فیبرنوری..... ۱

۱-۱- تاریخچه..... ۱

۱-۲- سیستم مخابراتی پایه..... ۳

۱-۲-۱- مبدا پیام..... ۴

۱-۲-۲- مدوله‌ساز..... ۵

۱-۲-۳- چشمه سیگنال حامل..... ۶

۱-۲-۴- جفتگر کانال..... ۸

۱-۲-۵- کانال اطلاعات..... ۹

۱-۲-۶- آشکارساز..... ۱۱

۱-۲-۷- پردازشگر سیگنال..... ۱۱

۱-۲-۸- پیام دریافتی..... ۱۳

۱-۲-۹- برخی واحدها..... ۱۳

۱-۲-۱۰- محاسبه سطح توان بر حسب دسی‌بل..... ۱۹

۱-۳- ماهیت نور..... ۲۳

۱-۳-۱- ماهیت موجی نور..... ۲۳

۱-۳-۲- ماهیت ذره‌ای نور..... ۲۳

۱-۴- مزیت‌های فیبرنوری..... ۲۷

۱-۵- کاربردهای مخابراتی فیبرنوری..... ۳۲

۱-۶- خلاصه و بحث..... ۳۸

تمرین‌ها..... ۴۲

مرجع‌ها..... ۴۵

فصل ۲..... ۴۷

مروری بر اپتیک..... ۴۷

۲-۱- تئوری پرتو و کاربردهای آن..... ۴۷

۲-۲- عدسی‌ها..... ۵۷

۲-۳- تصویرسازی..... ۵۷

۲-۴- گشودگی عددی..... ۶۱

۶۴	۵-۲- پراش
۶۸	۶-۲- خلاصه و بحث
۶۹	تمرین‌ها
۷۱	مرجع‌ها

فصل ۳

۷۳	مبانی موج نور
۷۳	۱-۳- موج‌های الکترومغناطیسی
۷۶	۲-۳- پاشش، اعوجاج پالس و آهنگ اطلاعات
۷۸	۱-۲-۳- پاشش ماده و اعوجاج پالس
۸۵	۲-۲-۳- سولیتون‌ها
۸۶	۳-۲-۳- آهنگ اطلاعات
۹۱	۳-۳- قطبش
۹۲	۴-۳- کاواک‌های تشدیدگر
۹۶	۵-۳- بازتاب در صفحه مرزی
۱۰۲	۶-۳- بازتابش زاویه بحرانی
۱۰۵	۷-۳- خلاصه و بحث
۱۰۷	تمرین‌ها
۱۰۹	مرجع‌ها

فصل ۴

۱۱۱	موجبرهای اینتیک مجتمع
۱۱۲	۱-۴- موجبر تخت دی‌الکتریک
۱۱۳	۲-۴- مدهای موجبر تخت متقارن
۱۱۵	۱-۲-۴- وضعیت مد
۱۱۶	۲-۲-۴- قطبش‌های TE و TM
۱۱۶	۳-۲-۴- چارت مد TE
۱۱۸	۴-۲-۴- مدهای مرتبه بالا
۱۲۱	۵-۲-۴- چارت مد TM
۱۲۱	۶-۲-۴- نقش مد

۱۲۲	۳-۴- مدهای موجبر تخت نا متقارن
۱۲۴	۴-۴- تزویج نور به موجبر
۱۲۴	۴-۴-۱- تزویج لبه‌ای
۱۲۸	۴-۴-۲- تزویج منشوری
۱۳۱	۴-۴-۳- تزویج توری
۱۳۲	۴-۵- پاشش و اعوجاج در موجبر تخت
۱۳۳	۴-۵-۱- پاشش موجبر
۱۳۳	۴-۵-۲- اعوجاج چندمدی
۱۳۵	۴-۶- ادوات اپتیک مجتمع
۱۳۶	۴-۶-۱- ادوات غیر فعال
۱۳۸	۴-۶-۲- ادوات فعال
۱۴۱	۴-۶-۳- مدارهای مجتمع اپتوالکترونیکی
۱۴۱	۴-۷- خلاصه و بحث
۱۴۲	تمرین‌ها
۱۴۴	مرجع‌ها

فصل ۵..... ۱۴۷

موجبرهای فیبرنوری..... ۱۴۷

۱۴۸	۵-۱- فیبر ضریب پله‌ای
۱۵۲	۵-۲- فیبر ضریب تدریجی
۱۵۶	۵-۳- تضعیف
۱۵۷	۵-۳-۱- شیشه
۱۵۷	۵-۳-۲- جذب
۱۵۹	۵-۳-۳- پراکندگی رایلی
۱۶۰	۵-۳-۴- ناهمگنی
۱۶۱	۵-۳-۵- اثرات هندسی
۱۶۲	۵-۳-۶- تضعیف کل
۱۶۷	۵-۴- مدها و میدان‌ها در فیبر ضریب پله‌ای
۱۶۷	۵-۴-۱- مدها
۱۶۹	۵-۴-۲- اندازه لکه

۱۷۰	۵-۴-۳- انتشار تک مدی
۱۷۰	۵-۴-۴- دوشکستی و قطبش
۱۷۲	۵-۴-۵- میدان‌های الکتریکی در فیبر ضریب پله‌ای
۱۷۴	۵-۵- مد‌ها و میدان‌ها در فیبر ضریب تدریجی
۱۷۶	۵-۶-۱- اعوجاج پالس و آهنگ اطلاعات در فیبرهای نوری
۱۷۷	۵-۶-۱- اعوجاج در فیبرهای ضریب پله‌ای
۱۷۹	۵-۶-۲- اعوجاج در فیبرهای تک مد
۱۸۳	۵-۶-۳- اعوجاج در فیبرهای ضریب تدریجی
۱۸۴	۵-۶-۴- وابستگی طولی پهن‌شدگی پالس
۱۸۷	۵-۷- ساخت فیبرهای نوری
۱۸۷	۵-۷-۱- روش مستقیم - بوته دوتایی
۱۸۸	۵-۷-۲- روش مستقیم - میله در لوله
۱۸۹	۵-۷-۳- روش غیر مستقیم - سیلیکای رسوبی آلایده
۱۸۹	۵-۷-۴- رسوب دهی بیرونی
۱۹۰	۵-۷-۵- رسوب دهی محوری
۱۹۰	۵-۷-۶- رسوب دهی درونی
۱۹۱	۵-۷-۷- کشش فیبر
۱۹۳	۵-۷-۸- فیبرهای سیلیکایی غلاف پلاستیکی
۱۹۳	۵-۸- کابل‌های فیبرنوری
۲۰۲	۵-۹- خلاصه و بحث
۲۰۴	تمرین‌ها
۲۰۸	مرجع‌ها

فصل ۶..... ۲۱۱

جشمه‌های نوری..... ۲۱۲

۲۱۲	۶-۱- دیودهای نورگسیل
۲۱۶	۶-۲- مشخصه‌های کارکرد دیودهای نورگسیل
۲۲۳	۶-۳- اصول لیزر
۲۲۹	۶-۴- دیودهای لیزری
۲۳۱	۶-۵- مشخصه‌های کارکرد دیودهای لیزری

۲۳۱	۵-۶- مشخصه‌های کارکرد دیودهای لیزری
۲۴۰	۶-۶- دیودهای لیزری کوک‌پذیر با پهنای طیفی باریک
۲۴۰	۶-۶-۱- دیود لیزری بازخورد توزیعی
۲۴۱	۶-۶-۲- دیودهای لیزری کوک‌پذیر
۲۴۳	۶-۷- تقویت‌کننده‌های نوری
۲۴۴	۶-۷-۱- تقویت‌کننده نوری نیم‌رسانا
۲۴۴	۶-۷-۲- تقویت‌کننده فیبر اریومی
۲۴۶	۶-۷-۳- تقویت‌کننده موج‌بر اریومی
۲۴۷	۶-۷-۴- تقویت‌کننده رامان
۲۵۱	۶-۷-۵- عدد نوفه
۲۵۲	۶-۷-۶- کاربردهای تقویت‌کننده نوری
۲۵۳	۶-۸- لیزر فیبری
۲۵۴	۶-۹- دیود لیزری گسیل سطحی کاواک عمودی
۲۵۵	۶-۱۰- خلاصه و بحث
۲۵۶	تمرین‌ها
۲۶۰	مراجع

فصل ۷ ۲۶۱

۲۶۱	آشکارسازهای نوری
۲۶۲	۷-۱- اصول آشکارسازی نور
۲۶۳	۷-۲- فوتو افزونگر
۲۶۸	۷-۳- فوتو دیود نیم‌رسانا
۲۷۰	۷-۴- فوتودیود پین
۲۷۰	۷-۴-۱- طول موج قطع
۲۷۱	۷-۴-۲- مواد
۲۷۲	۷-۴-۳- مشخصه جریان- ولتاژ
۲۷۵	۷-۴-۴- سرعت پاسخ
۲۷۷	۷-۴-۵- مبدل جریان به ولتاژ
۲۷۸	۷-۴-۶- بسته‌بندی

۲۷۹	۵-۷- فوتودیود بهمنی
۲۸۱	۶-۷- خلاصه و بحث
۲۸۳	تمرین‌ها
۲۸۵	مرجع‌ها

فصل ۸ ۲۸۷

جفتگرها و اتصالگرها ۲۸۷

۲۸۸	۸-۱- اصول اتصالگر
۲۸۹	۸-۱-۱- ناهم‌راستایی جانبی
۲۹۳	۸-۱-۲- ناهم‌راستایی زاویه‌ای
۲۹۵	۸-۱-۳- آماده سازی انتهای فیبر
۲۹۷	۸-۱-۴- انتهای صاف و موازی
۲۹۸	۸-۱-۵- اتصال فیبرهای مختلف
۳۰۰	۸-۱-۶- بازتابش در محل اتصال
۳۰۱	۸-۲- آماده سازی انتهای فیبر
۳۰۴	۸-۳- هم‌بافت‌ها
۳۰۴	۸-۳-۱- هم‌بافت گذارشی
۳۰۵	۸-۳-۲- هم‌بافت چسبی
۳۰۸	۸-۳-۳- هم‌بافت سریع غیر چسبی
۳۰۹	۸-۳-۴- هم‌بافت نواری
۳۱۰	۸-۳-۵- تلفات اتصالگر و انتخاب
۳۱۰	۸-۴- اتصالگرها
۳۱۰	۸-۴-۱- الزامات اتصالگر
۳۱۱	۸-۴-۲- اتصالگرهای معمولی
۳۱۴	۸-۴-۳- اتصالگرهای SFF
۳۱۵	۸-۴-۴- اتصالگرهای هم‌پوشانی
۳۱۵	۸-۴-۵- اتصالگرهای عدسی‌دار
۳۱۷	۸-۴-۶- اتصالگرهای چندکاناله
۳۱۸	۸-۴-۷- تلفات اتصالگر

۳۱۹	۵-۸- تزویج چشمه
۳۱۹	۱-۵-۸- تلفات بازتابشی
۳۲۰	۲-۵-۸- تلفات ناهمسانی سطح مقطع
۳۲۰	۳-۵-۸- تلفات بسته‌بندی
۳۲۱	۴-۵-۸- تلفات گشودگی عددی
۳۲۶	۵-۵-۸- تزویج فیبر تک مد
۳۲۷	۶-۸- خلاصه و بحث
۳۲۷	تمرین‌ها
۳۲۹	مرجع‌ها

فصل ۹..... ۳۳۱

۳۳۱	شبکه‌های توزیعی و اجزای فیبر نوری
۳۳۲	۱-۹- شبکه‌های توزیعی
۳۳۴	۱-۱-۹- شبکه دوسویه
۳۳۵	۲-۱-۹- شبکه T
۳۳۷	۳-۱-۹- شبکه ستاره‌ای
۳۴۰	۴-۱-۹- شبکه حلقوی
۳۴۱	۵-۱-۹- سیستم‌های توزیعی ترکیبی
۳۴۱	۶-۱-۹- سیستم‌های چندفیبری
۳۴۳	۲-۹- جفتگرهای جهتی
۳۴۹	۳-۹- جفتگرهای ستاره‌ای
۳۵۱	۴-۹- سوده‌ها
۳۵۴	۵-۹- عایق‌بندهای فیبر نوری
۳۵۸	۶-۹- هم‌تافتگری طول موج
۳۵۸	۱-۶-۹- اساس هم‌تافتگری طول موج
۳۶۱	۲-۶-۹- طراحی‌های هم‌تافتگر
۳۶۵	۳-۶-۹- آمیخت چهار موج
۳۶۷	۷-۹- توری براگ فیبری
۳۶۸	۸-۹- توری موجبر آرایه‌ای

۳۶۸	 ۹-۸-۱- کار افزاره
۳۶۹	 ۹-۸-۲- پیاده سازی راه یاب
۳۷۰	 ۹-۸-۳- ساخت توری موجبر آرایه ای
۳۷۱	 ۹-۸-۴- ویژگی های توری موجبر آرایه ای
۳۷۲	 ۹-۸-۵- کاربردهای توری موجبر آرایه ای
۳۷۲	 ۹-۹- سوده های میکرو الکترومکانیکی
۳۷۳	 ۹-۹-۱- سیستم میکرو الکترو مکانیکی
۳۷۳	 ۹-۹-۲- آینه های MEMS
۳۷۴	 ۹-۹-۳- پیکربندی سوده های MEMS
۳۷۶	 ۹-۹-۴- عملکرد سوده های MEMS
۳۷۷	 ۹-۹-۵- کاربردهای MEMS
۳۷۸	 ۹-۱۰- دیگر اجزاء: تضعیف کننده، چرخاننده نوری و کنترلگر قطبش
۳۷۸	 ۹-۱۰-۱- تضعیف کننده
۳۷۹	 ۹-۱۰-۲- چرخاننده نوری
۳۸۰	 ۹-۱۰-۳- کنترلگر قطبش
۳۸۰	 ۹-۱۱- خلاصه و بحث
۳۸۱	 تمرین ها
۳۸۶	 مرجع ها

فصل ۱۰..... ۳۸۹

۳۸۹	 مدوله سازی
۳۹۰	 ۱۰-۱- مدارها و مدوله سازی دیود نورگسیل
۳۹۰	 ۱۰-۱-۱- مدوله سازی آنالوگ
۳۹۴	 ۱۰-۱-۲- مدوله سازی دیجیتالی
۳۹۷	 ۱۰-۲- مدارها و مدوله سازی دیود لیزری
۳۹۸	 ۱۰-۲-۱- مدوله سازی آنالوگ
۳۹۸	 ۱۰-۲-۲- مدوله سازی دیجیتالی
۳۹۹	 ۱۰-۳- قالب های مدوله سازی آنالوگ
۴۰۰	 ۱۰-۳-۱- مدوله سازی دامنه/شدت سیگنال زیر حامل

۴۰۱	 هم‌تافتگری تقسیم بسامد
۴۰۲	 مدوله‌سازی بسامد/شدت سیگنال زیر حامل
۴۰۴	 قالب‌های مدوله‌سازی دیجیتال
۴۰۵	 ۱-۴-۱۰ مدوله‌سازی کد پالسی
۴۰۸	 ۲-۴-۱۰ دیگر قالب‌های مدوله‌سازی دیجیتال
۴۱۰	 ۳-۴-۱۰ هم‌تافتگری تقسیم زمانی (حوزه الکتریکی)
۴۱۲	 ۴-۴-۱۰ هم‌تافتگری تقسیم زمان (حوزه نوری)
۴۱۴	 ۵-۱۰ مدوله‌سازهای الکترومغناطیسی
۴۱۷	 ۶-۱۰ گیرنده‌های هتروداین نوری
۴۱۷	 ۱-۶-۱۰ آشکارسازی هتروداین
۴۲۱	 ۲-۶-۱۰ مدوله‌سازی بسامدی دیود لیزری
۴۲۳	 ۳-۶-۱۰ هم‌تافتگری تقسیم بسامد نوری
۴۲۴	 ۴-۶-۱۰ مزیت‌ها و نارسایی‌های آشکارسازی هتروداین
۴۲۵	 ۷-۱۰ خلاصه و بحث
۴۲۷	 تمرین‌ها
۴۳۰	 مرجع‌ها

فصل ۱۱..... ۴۳۱

نوفه و آشکارسازی..... ۴۳۱

۴۳۲	 ۱-۱۱ نوفه‌های گرمایی و پرتاب
۴۳۲	 ۱-۱-۱۱ نوفه گرمایی
۴۳۴	 ۲-۱-۱۱ نوفه پرتاب
۴۳۶	 ۲-۱۱ نسبت سیگنال به نوفه
۴۳۷	 ۱-۲-۱۱ توان ثابت
۴۴۱	 ۲-۲-۱۱ نوفه اضافی فوتودیود بهمنی
۴۴۳	 ۳-۲-۱۱ توان معادل نوفه
۴۴۴	 ۴-۲-۱۱ نسبت سیگنال به نوفه مدوله‌سازی آنالوگ
۴۴۶	 ۵-۲-۱۱ نسبت سیگنال به نوفه آشکارسازی هتروداین
۴۴۷	 ۳-۱۱ آهنگ‌های خطا

۴۴۷	 ۱-۳-۱۱- آهنگ خطای محدود به نوفه گرمایی
۴۵۰	 ۲-۳-۱۱- آهنگ خطای محدود به نوفه پرناب
۴۵۵	 ۴-۱۱- دیگر انواع نوفه‌ها
۴۵۶	 ۱-۴-۱۱- نوفه مدی
۴۵۷	 ۲-۴-۱۱- نوفه مد منفرد
۴۵۸	 ۳-۴-۱۱- نوفه تقویت‌کننده الکترونیکی
۴۶۱	 ۴-۴-۱۱- نوفه تقویت‌کننده نوری
۴۶۲	 ۵-۴-۱۱- نوفه لیزر
۴۶۴	 ۶-۴-۱۱- جیتر و الگوی چشمی
۴۶۶	 ۵-۱۱- دیگر چشمه‌های نوفه
۴۶۶	 ۱-۵-۱۱- نوفه جریان
۴۶۶	 ۲-۵-۱۱- نوفه پس زمینه
۴۶۶	 ۶-۱۱- طراحی مدار گیرنده
۴۶۷	 ۱-۶-۱۱- تقویت‌کننده‌های ترانزیستوری فت و دو قطبی
۴۶۸	 ۲-۶-۱۱- تقویت‌کننده امپدانس بالا
۴۶۹	 ۳-۶-۱۱- تقویت‌کننده ترامپدانس
۴۷۰	 ۴-۶-۱۱- پیش‌تقویت‌کننده آشکارساز مجتمع
۴۷۱	 ۵-۶-۱۱- مازول‌های گیرنده هیبرید
۴۷۱	 ۷-۱۱- خلاصه و بحث
۴۷۲	 تمرین‌ها
۴۷۶	 مرجع‌ها
۴۷۹	 فصل ۱۲
۴۷۹	 طراحی سیستم
۴۷۹	 ۱-۱۲- طراحی سیستم آنالوگ
۴۸۰	 ۱-۱-۱۲- مشخصات سیستم
۴۸۰	 ۲-۱-۱۲- بودجه توان
۴۸۲	 ۳-۱-۱۲- بودجه پهنای باند
۴۸۴	 ۲-۱۲- طراحی سیستم دیجیتال
۴۸۴	 ۱-۲-۱۲- مشخصات سیستم

۴۸۵	 ۱۲-۲-۲- بودجه زمان خیز
۴۸۸	 ۱۲-۲-۳- بودجه توان
۴۸۸	 ۱۲-۲-۴- حساسیت گیرنده محدود به نوفه کوانتومی
۴۹۱	 ۱۲-۲-۵- حساسیت گیرنده محدود به نوفه حرارتی
۴۹۲	 ۱۲-۲-۶- حساسیت گیرنده تعمیم یافته محدود به نوفه حرارتی
۴۹۶	 ۱۲-۳- خلاصه و بحث
۴۹۷	 تمرین‌ها
۴۹۸	 مرجع‌ها
۵۰۱	 پاسخ سنوال‌ها
۵۱۵	 منابع
۵۲۵	 واژه نامه انگلیسی- فارسی
۵۳۷	 واژه نامه فارسی- انگلیسی