سیستمها و قطعات الکترونیک نوری

جلد دوم

ترجمه:

دکتر محمود صیفوری

(عضو هیأت علمی دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی)

سر شناسنامه	: گوپتا، اس، سی Gupta, S.C-
عنوان و نام پدید آور	:سیستمها و قطعات الکترونیک نوری/[اس.سی.گوپتا] ; ترجمه محمود صیفوری
مشخصات نشر	: تهران؛ دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی،۱۳۸۹.
مشخصات ظاهری	: ج۲،۴۶۸ص.:مصور،نمودار.
شابک	: دوره:۶-۵۶-۲۶۵۱-۹۶۴-۹۷۸ ج۱: ۲-۵۴-۲۶۵۱-۹۶۴-۹۷۸ ج۲: ۹-۵۵-۲۶۵۱-۹۶۴-۹۷۸
وضعیت فهرست نویسی	: فیپا.
یادداشت	: عنوان اصلی :Optoelectronic Devices And System
یادداشت	: ج.۲ (چاپ اول: ۱۳۸۹)(فیپا)
موضوع	: الکترونیک نوری.
موضوع	: الکترونیک نوری - ابزار
شناسنامه افزوده	: صیفوری، محمود،۱۳۴۱ -، مترجم
شناسنامه افزوده	: دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی
رده بندی کنگره	: TA ۹س۹س/۱۷۵۰ ۱۳۸۹
رده بندی دیویی	: ۶۲۱/۳۸۰۴۵
شماره کتابشناسی ملی	: ۹۵۸۳۵۰۲

دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی

عنوان : سیستمها و قطعات الکترونیک نوری

مترجم : محمود صیفوری

نوبت چاپ : اول – بهار ۱۳۸۹

انتشارات : دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی

طرح جلد : دلربا جعفری

لیتوگرافی : چاپ و نشر شریف

چاپ : شریف

ناظرفنی : شهرام طهماسبی

شمارگان : ۱۰۰۰ جلد

قیمت : ۸۰۰۰تومان

شابک : ۹-۵۵-۲٦٥١-٩٦٤-٩٧٨

کلیهٔ حقوق این اثر برای مؤلفین و دانشگاه تربیت دبیر شهیدرجائی محفوظ است.

نشانی: تهران، لویزان – کد پستی ١٦٧٨٨ – صندوق پستی ١٦٣ – ١٦٧٨٥ – تلفن: ۹ – ۲۲۹۷۰۰٦۰

نمابر: ۲۲۹۷۰۰۰۳ پست الکترونیکی: sru@srttu.edu

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل ۱: سیستمهای ارتباطات نوری

۱-۱ نمودار بلوکی سیستمهای ارتباطات نوری..... ۱

۱-۲ مدولاسیون شدت مستقیم..... ۴

۱-۲-۱ مدولاسیون نوری مستقیم..... ۵

۱-۳ سیستم ارتباطات دیجیتال..... ۸

۱-۴ نمونه برداری..... ۹

۱-۴-۱ روش نمونه برداری..... ۱۰

۱-۴-۲ تبدیل آنالوگ به دیجیتال..... ۱۱

۱-۴-۳ عملکرد مبدل آنالوگ به دیجیتال..... ۱۲

۱-۴-۴ مدولاسیون و دیجیتال سازی..... ۱۸

۱-۴-۵ رمزگذاری سیگنالهای دیجیتال..... ۲۰

۱-۴-۶ طرح های رمزگذاری..... ۲۲

۱-۴-۷ تولید سیگنال نمونه برداری..... ۲۶

۱-۴-۸ کوانتیدن..... ۲۷

۱-۴-۹ رمزگذاری ۲۹
۱-۵ تسهیم گرهای دیجیتال ۳۱
۱-۶ AKS ، FSK ، PSK ۳۳
۱-۶-۱ کلید زنی انتقال دامنه ای (ASK) ۳۴
۱-۶-۲ کلید زنی انتقال فرکانس (FSK) ۳۵
۱-۶-۳ کلید زنی انتقال فازی (PSK) ۳۷
۱-۷ رمزگذاری خط ۳۹
۱-۷-۱ رمزگذاری برگشت به صفر (RZ) ۳۹
۱-۷-۲ رمزگذاری بدون برگشت به صفر (NRZ) ۴۱
۱-۷-۳ رمزگذاری بلوکی ۴۳
۱-۸ فرستنده های نیمه هادی لیزری ۴۵
۱-۸-۱ فرستنده لیزری Mb/S ۸ ..... ۴۹
۱-۹ مزایای لینک های مخابرات فیبر نوری ۵۱
۱-۱۰ نسل های لینک فیبر نوری ۵۳
۱-۱۰-۱ سیستم نسل اول ۵۳
۱-۱۰-۱ سیستم نسل دوم ۵۴
۱-۱۰-۲ سیستم نسل سوم ۵۵

۱-۱۰-۳ سیستم نسل چهارم ۵۶

۱-۱۱ تشریح لینک مخابرات فیبر نوری Mb/S ۸ ..... ۵۹

۱-۱۱-۱ معماری سیستم ۶۰

۱-۱۱-۲ روشها و فناوری سیستم ۶۱

۱-۱۱-۳ معماری سخت افزار ۶۳

۱-۱۱-۴ مشخصات لینک مخابراتی فیبر نوری Mb/S ۸٫۴۴۸ ..... ۷۹

۱-۱۱-۵ انواع منابع لیزری استفاده شده در لینک نوری Mb/S ۸ ..... ۸۱

۱-۱۲ تشریح لینک مخابراتی فیبر نوری Gb/S ۲٫۵ ..... ۸۱

۱-۱۲-۱ مفهوم شبکه انتقال نوری ۸۲

۱-۱۲-۲ اتصال متقاطع نوری ۸۵

۱-۱۳ ملاحظات کلی شبکه محلی ۹۳

۱-۱۳-۱ استاندارد های LAN ۹۶

۱-۱۳-۲ استاندارد های دیگر ۹۷

۱-۱۳-۳ مُدل OSI و شبکه های محلی ۹۸

۱-۱۳-۴ لینک LAN فیبر نوری ۹۹

۱-۱۳-۵ سیستم لینک داده ۹۹

۱-۱۳-۶ اجزاء سیستم بزرگراه داده نوری ۹۹

۱-۱۴ سوییچینگ بسته بیتی نوری: در شبکه های آینده..... ۱۰۳
۱-۱۴-۱ همزمان سازی شبکه ها..... ۱۰۵
۱-۱۴-۲ شبکه های بدون شیار..... ۱۰۶
۱-۱۴-۳ بافرینگ نوری..... ۱۰۸
۱-۱۵ تشریح تقویت کننده های نوری..... ۱۱۴
۱-۱۵-۱ تقویت کننده های نوری..... ۱۱۵
۱ -۱۵-۲ تقویت کننده فیبر نوری آلاییده شده با اربیوم..... ۱۱۶
۱-۱۵-۳ تقویت کننده های نوری نیمه هادی..... ۱۱۹
۱-۱۵-۴ مدل سازی بهره در *EDFA*..... ۱۲۱
۱-۱۵-۵ انتقال *WDM*..... ۱۳۳
۱-۱۵-۶ شبکه بندی نوری شفاف - اتر نوری..... ۱۳۴
۱-۱۵-۷ زنجیره *EDFA* برای مسافت دور..... ۱۳۶
۱-۱۵-۸ مدل سیستم..... ۱۳۷
۱-۱۵-۹ راهنمای کار..... ۱۴۱
۱-۱۵-۱۰ برابر سازی غیر فعال با استفاده از صافی های نوری..... ۱۵۲
تمرین ها..... ۱۵۹
مراجع..... ۱۶۲

فصل ۲: حسگرهای فیبر نوری

۲-۱ حسگرهای فیبر نوری در بهداشت..... ۱۶۵

۲-۲ حسگرهای فیبر نوری: مبانی..... ۱۶۸

۲-۲-۱ رگ شناسی..... ۱۷۱

۲-۲-۲ مطالعه معده و روده..... ۱۷۳

۲-۲-۳ تومور شناسی..... ۱۷۴

۲-۲-۴ عصب شناسی..... ۱۷۶

۲-۲-۵ چشم پزشکی..... ۱۷۸

۲-۲-۶ پوست شناسی..... ۱۷۹

۲-۲-۷ دندان پزشکی..... ۱۸۰

۲-۳ توری های براگ فیبر نوری برای حسگر های دما و کرنش..... ۱۸۲

۲-۳-۱ ساخت و مشخصات توری..... ۱۸۳

۲-۳-۲ ساخت آرایه های FBG..... ۱۸۸

۲-۴ زلزله سنج در قسمتهای عمیق با دمای بالا با استفاده از حسگر جا به جایی فیبر نوری ۱۸۹

۲-۴-۱ پیکربندی حسگر..... ۱۹۰

۲-۴-۲ نتایج آزمایش..... ۱۹۴

۲-۵ حس جریان هوا چند جهته با استفاده از کُرنش سنج های فیبر نوری ۱۹۷
۲-۵-۱ طراحی و عملکرد حسگر ۱۹۹
۲-۵-۲ آزمایشات تونل بادی ۲۰۴
۲-۵-۳ پاسخ های زودگذر حسگر جریان ۲۰۵
۲-۶ حسگر فیبر نوری برای غلظت گلوکز ۲۰۶
۲-۶-۱ اصول ۲۰۷
۲-۶-۲ پیکربندی آزمایش ۲۰۷
۲-۶-۳ بحث و نتایج ۲۰۹
۲-۷ ژیروسکوپ فیبر نوری با استفاده از فیبر نوری نگهدارنده قطبش ۲۱۰
۲-۷-۱ پیکر بندی حسگر ۲۱۱
۲-۷-۲ داده های عملکرد ۲۱۳
۲-۷-۳ تثبیت بایاس ۲۱۳
۲-۷-۴ تثبیت ضریب مقیاس ۲۱۴
۲-۷-۵ گشت تصادفی ۲۱۵
۲-۷-۶ انواع گوناگون حسگرهای فیبر نوری ۲۱۶
۲-۸ سیستم حسگر فیبر نوری برای آشکار سازی آلاینده های آلی در خاک ۲۲۱
۲-۸-۱ روندهای فن آوری ۲۲۱

۲-۸-۲ پیکر بندی آزمایش FOS ۲۲۳
۲-۸-۳ نتایج ۲۲۵
۲-۹ یک حسگر غیر هجومی برای مونیتورینگ ضربان قلب جنین ۲۲۷
۲-۹-۱ پیکربندی آزمایش ۲۲۹
۲-۹-۲ بحث و نتایج ۲۳۰
۲-۱۰ حسگرهای فیبر نوری با ایجاد شکست دوگانه ۲۳۲
۲-۱۰-۱ پیکر بندی آزمایش ۲۳۳
۲-۱۰-۲ بحث و نتایج ۲۳۵
۲-۱۱ حسگر PH فیبر نوری مبنی بر رنگین های ایستا شده برای نواحی اسیدی و بازی ۲۳۸
۲-۱۱-۱ پیکر بندی آزمایش ۲۳۹
۲-۱۱-۲ بحث و نتایج ۲۴۲
۲-۱۱-۳ بررسی های SEM ۲۴۲
۲-۱۱-۴ پاسخ پراب برای رنگینه های نیل بلو و رُز بنگال بعنوان نشانگر PH ۲۴۳
۲-۱۱-۵ وابستگی پراب به دما ۲۴۵
۲-۱۲ حسگر دمای فیبر نوری با ساختارهای سرامیک پلیمری ۲۴۵
۲-۱۲-۱ مهیا سازی نمونه ۲۴۷
۲-۱۲-۲ پیکربندی آزمایش ۲۴۹

۲-۱۲-۳ بحث و نتایج ۲۵۰

تمرین ها ۲۵۴

مراجع ۲۵۵

فصل ۳: محاسبات نوری

۳-۱ مفاهیم کامپیوتر نوری ۲۵۸

۳-۱-۱ حساب QSD دوباره رمزی شده ۲۶۰

۳-۱-۲ رمز گذاری متقارن ۲۶۲

۳-۱-۳ پیاده سازی الکترونیک نوری ۲۶۶

۳-۱-۴ پیشرفت های اخیر ۲۷۰

۳-۲ محاسبات نوری ۲۷۲

۳-۲-۱ شبکه عصبی مصنوعی ۲۷۳

۳-۲-۲ پیاده سازی شبکه عصبی ۲۷۴

۳-۲-۳ تشخیص هوشمند الگو با استفاده از حافظه ۲۷۷

۴-۲-۷ معماری نوری برای شرکت پذیری الگو ۲۷۷

۳-۳ دریچه های منطقی نوری ۲۸۲

۳-۴ گذرگاه ستون فقرات نوری در سیستم های محاسباتی مبتنی بر چند پردازشگر ۲۸۷

۳-۴-۱ گذر گاه ستون فقرات نوری با خطوط گذرگاه چندگانه..... ۲۹۱
۳-۴-۲ نتایج آزمایش..... ۲۹۳
۳-۴-۳ بررسی عملکرد سیستم ۲۹۷
۳-۴-۴ مزایا..... ۳۰۴
۳-۵ سلول حافظه دودویی و سوییچ نوری..... ۳۰۴
۳-۵-۱ عناصر دو پایا..... ۳۰۷
ضمیمه ۳-۱..... ۳۱۰
تمرین ها..... ۳۱۵
مراجع..... ۳۱۶

فصل ۴: کاربردهای لیزر

۴-۱ لیزر در تولید..... ۳۲۰
۴-۱-۱ لیزر برای پردازش مواد..... ۳۲۱
۴-۱-۲ فناوری برهمکنش لیزری مواد..... ۳۲۳
۴-۱-۳ مزایای پردازش مواد با لیزر ۳۲۴
۴-۲ برش لیزری مواد..... ۳۳۴
۴-۲-۱ فرآیند بُرش لیزری..... ۳۳۵

۴-۲-۲ مزایای برش لیزری ۳۳۸
۴-۲-۳ لیزرهای بُرنده ۳۴۰
۴-۲-۴ برش مواد با لیزر ۳۴۱
۴-۲-۵ پارامتر های تأثیر گذار در برش لیزری ۳۴۴
۴-۲-۶ روندهای جدید در برش لیزری ۳۴۶
۴-۳ علامت گذاری لیزری ۳۴۷
۴-۳-۱ اصول کار ۳۴۸
۴-۳-۲ انتخاب سیستم ۳۴۹
۴-۳-۳ آینده علامت گذاری لیزری ۳۵۱
۴-۴ کاربرد لیزر ها در ابزار های پزشکی ۳۵۲
۴-۴-۱ برهمکنش اشعه لیزر با بافتها ۳۵۳
۴-۴-۲ اصول کار دستگاه های لیزری ۳۵۶
۴-۵ فاصله یاب و جستجوگر هدف مشخص شده لیزری ۳۶۲
۴-۵-۱ سیستمهای هدایت لیزری ۳۶۵
۴-۶ تصویر سازی حرارتی: کاربردهای شناسایی و نظارتی ۳۷۸
۴-۶-۱ روبشگر مادون قرمز خط ۳۸۰
۴-۶-۲ واحد دیده بان مادون قرمز $(FLIR)$ ۳۸۷

۴-۶-۳ روبش لیزری ۳۹۰
۴-۶-۴ روشناساز پرتو لیزر ۳۹۳
۴-۶-۵ تکثیر کننده تصویر با پرتو لیزر $(LBIR)$ ۳۹۵
۴-۷ سیستمهای $IRLS$ و سیستمهای لیزری زمینی و هوابُرد ۳۹۶
۴-۷-۱ سیستمهای مادون قرمز نظامی ۳۹۷
۴-۷-۲ سیستمهای نظامی لیزری ۴۰۳
۴-۷-۳ دستگاه های هشدار دهنده لیزری ۴۰۸
۴-۸ کاربردهای مخابرات فیبر نوری ۴۱۱
۴-۸-۱ کاربردهای نظامی مخابرات فیبر نوری (OFC) ۴۱۴
۴-۹ کاربردهای OFC در محصولات مصرف کننده ۴۱۸
تمرین ها ۴۲۰
مراجع ۹۴۰
مسائل حل شده ۴۲۳

پیشگفتار

ایـن کتـاب موضـوعات مهمـی از قبیـل موجبرهـا و فیبرهـای نـوری، منـابع نـوری، المانهـای الکترواپتیکی، سه بُعد نگاری[1] و اپتیک فوریه، حسـگرهای فیبـر نـوری، رایانـه هـای نـوری و کوانتومی و کاربردهای دستگاه های الکترونیک نوری را مورد بحث قرار می دهد و به چهار فصل تقسیم شده و در خاتمهٔ هر فصل یک سری مسائل و مراجع ضـروری و مفیـد گنجانیـده شـده است.

فصل ۱ مفاهیم موجبرهای تخت دی الکتریکی و فیبر های نوری را بررسـی مـی کنـد. در ایـن فصل مُدها در موجبرهای تخت دی الکتریک متقارن و نا متقـارن، شـرط مُـد، قطـبش مُـد و الگوی مُد مورد بحث قرار می گیرد. همچنین در این فصل انتشـار و پراکنـدگی چنـد مُـدی در فیبر های نوری با شاخص پله ای و تدریجی تشریح می گـردد. تنـزل کیفیـت سـیگنال بـدلیل پراکندگی های گوناگون و تلفات همراه با ساخت وکشیدن فیبر نوری بـا شـکل هـای گونـاگون توضیح داده شده است. همچنین اتصال فیبر های نوری و تلفات مربوطه در ایـن فصـل تشـریح شده اند.

---

[1] Holography

فصل ۲ انواع گوناگون منابع نوری که در مخابرات نوری استفاده مـی شـوند را شـرح مـی دهـد. دیودهای نورگسیل با توان بالا و دیودهای لیزری که بطور مکرر در مخابرات استفاده مـی شـوند با شکل توضیح داده شده اند.

مشخصات ویژه پرتو افشانی لیزر و ضرایب آنیشتن آنها، بحـث شـده اسـت. همچنـین انواع مختلف لیزر های نیمه هادی و بسته ای سازی آنها تشریح شده است. آشکار سازهای نوری مانند PIN و فتودیودهای بهمنی با نمودار توصیف شده اند و پارامتر های مهم همراه با تحلیل کارآیی آشکار ساز به اثبات رسیده اند.

فصل ۳، المانهای الکترواپتیکی که سهم قابل توجهی در حوزهٔ الکترونیک کوانتوم ایفاء کرده اند را تشریح می کند. اثرات گوناگون مانند کر[۱]، پوکلز[۲]، فارادی و سوییچینگ Q[۳] با دیاگرامهای علامت گذاری شده توصیف شده اند.

انواع گوناگون مُدوله کننده های نوری با اسـتفاده از دیاگرامهـا بطـور واضـح تشـریح شـده انـد. مُدوله سازی الکترو اپتیکی دامنه، مُدوله سازی فاز و مُدولاتور کر همراه با روش های روبـش و سویئچینگ تشریح شده اند. المانهای مغناطیس نوری[۴] و اثـر اکوسـتو اپتیـک[۵] بطـور واضـح بـا دیاگرامها تشریح شده اند. مفاهیم اپتیک غیر خطی که با تولید هارمونیک ها، جذب فوتونهـای متعدد و اثر $IDRI$ سر و کار دارد به تفضیل با شکل ها تشریح شـده انـد و معـادلات گونـاگون

---

[۱] Kerr
[۲] Pockels
[۳] Q-Switching
[۴] Magneto-Optic devices
[۵] Acousto-Optic effect

برای آگاهی دقیق موضوع اثبات شده اند تا دانشجویان مطالب را بطـور روشـن و واضـح متوجـه شوند. نتایج آزمایشات با نتیجه گیریهای منطقی، بررسی و تحلیل شده اند.

فصل ۴ سه بعد نگاری و اپتیک فوریه را پوشش می دهد. این فصل مفاهیم و ویژگیهای تبـدیل فوریه را توضیح می دهد.

انواع عناصر نوری سه بُعدنگاری، مواد ساخت، تکنیکهـای سـه بُعدنگاشـتی، تـداخل سنجی و سه بُعدنگاری استروبسکپی[۱] با کمک نمودارها تشریح شده اند. کاربردهای آزمایشگاهی سه بُعد نگاری در حوزه های مختلف و پارامترهای گوناگون مربوطه تشریح شده انـد. در خاتمـه این فصل، حافظه های رایانه سه بُعدنگاشتی مطرح شده است.

در جلد دوم، فصل ۱ با تکنیکهای مخابرات دیجیتال فیبر نوری سر و کار دارد. مُدوله سازی شدت مستقیم[۲] با آشکار سازی مستقیم بطور رایج در مخابرات آنالوگ در نـرخ هـای داده پایین استفاده می شود. در حالیکه مخابرات دیجیتال جایی که نرخ های انتقال داده خیلـی بـالا است مورد استفاده قرار مـی گیـرد. تکنیکهـای مُدولـه سـازی گونـاگون ماننـد ASK ، FSK و PSK با شکلها تشریح شده اند. تکنیک دیجیتال بر اساس نمونه برداری، کوانتـایی سـازی[۳] و رمزگذاری[۴] تشریح شده است. دیودهای نورگسیل دیجیتال و آنالوگ و همچنین فرستنده هـای لیزری با شکل مورد بحث قرار گرفته اند. تاریخچهٔ توسعه مخابرات فیبر نوری و کاربردهای آنهـا برای فواصل کوتاه و بلند تشریح شده است. سیستمهای ویژه مخابرات نوری کـه در Mb/S ۸ و Mb/S ۲٫۵ با موفقیت در دنیای امروز استفاده می شوند، توصیف مـی شـوند. سـوئیچینگ

---

[۱] Stroboscopic holography
[۲] Direct intensity modulation
[۳] Quantization
[۴] Encoding

بسته کوچک فوتونی[۱]، بافرینگ نوری[۲]، سوئیچینگ تکانه ای نوری[۳] با شکلها تشریح شده انـد. تقویت کننده های نوری و انتقالات *WDM* و شبکه سازی نـوری[۴]، بـرای مخـابرات راه دور بـا نتایج آزمایشگاهی بطور جامع مطرح شده است.

در فصل ۲ حسگرهای فیبر نوری کـه در حـوزه هـای پزشـکی، سـاخت پـل هـا و سـاختمانها، کرنش سنج های فیبر نوری[۵]، ژیروسکوپ های فیبر نوری[۶] و آشکار سازی آلاینده ها در بنزین، بنزین، مواد شیمیایی و آب مورد بهره برداری قرار می گیرند، تشریح شـده انـد. چنـد مثـال از حسگرهای *PH*، دستگاه کنترل ضربان خطرناک قلب، آشکار سـازی غلظـت گلـوکز و غیـره، همراه شکلها ارائه شده است.

فصل ۳ شامل محاسبات نوری و رایانه های کوانتومی است. این فصل بـا حسـاب *QSD* دوبـاره رمزشده[۷] و پیاده سازی و اجرای الکترونیک نوری شروع می شود. سپس شبکه عصبی مصـنوعی و پیاده سازی و اجرای نوری آن، محاسبات نوری و المانهای دیجیتال نـوری مـورد بحـث قـرار می گیرند. دیگر سوئیچینگ ها و حافظه هـای نـوری بـه کمـک شـکل هـای گونـاگون تشـریح می شوند.

فصل ۴ شامل مهمترین کاربردهـای دسـتگاه هـای الکترونیـک نـوری در ماشـین کـاری مـواد، علامت گذاری لیزری بر روی فلزات و غیر فلزات، فاصله یـابی و تعیـین هـدف لیـزری، روشـن

---

[۱] Photonic packet switching
[۲] Optical buffering
[۳] Optical burst switching
[۴] Optical networking
[۵] Optical fiber strain gauges
[۶] Fiber optical gyro
[۷] Recoded QSD arithmetic

سازی با لیزر، روبشگر مادون قرمز خط، سیستم دیده بان مادون قرمز[۱] دوباره ساز تصویر با پرتو لیزر[۲]، جراحی لیزری و لخته کننده لیزری خون می باشد. نویسنده اعتقاد دارد که این کتاب خیلی از حوزه های مهمی را که قبلاً بطور واضح تشریح نشده بودند، به تحریر در آورده است.

نویسنده از هیئت مدیره پرنتیس- هال هند برای بازبینی انتقادی، حمایت و همکاری بسیار سپاسگذار است. تشکر ویژه خود را به اعضای فامیل خودم برای کمک کردن بی درنگ و پیوسته و تشویق و دلگرمی در دوران آماده سازی نسخه دست نویس تقدیم می کنم. از پروفسور آر.جی.گاپتا[۳]، پروفسور پی اِن کاپور[۴]، پروفسور آ.ک.میترا[۵]، دکتر آخیلش داس[۶] بخاطر دلگرمی و انگیزش، بسیار قدر دانی می کنم.

همچنین نویسنده از آقای آر.ام.گارگ[۷] بخاطر پشتیبانی و همکاری تشکر می کند.

اِس.سی.گاپتا [۸]

---

[۱] Forward looking infrared system
[۲] Laser beam image reproducer
[۳] R.G.Gupta
[۴] P.N.Kapoor
[۵] A.K.Mittra
[۶] Akhilesh Das
[۷] R.M.Garg
[۸] S.C.Gupta

سیستمهای عملی قرار داده شوند. اما، مشخصه غیر خطی سریع آنها، این نوع ادوات را برای یک تعداد کاربردها مانند پردازش سیگنال نوری، تبدیل طول موج، تولید مجدد، واتسهیم زمانی[۱]، تشخیص الگو و بازیابی ساعت بسیار مطلوب می سازد. چنین عملکردهای تمام نوری برای شبکه های نوری پرظرفیت، ضروری است.

تقویت کنندهای رامان

پیشرفت های اخیر در فناوری توری[۲] و توسعه لیزرهای پمپ دیودی با توان بالا، علاقه به تقویت کننده های فیبر نوری رامان را دوباره زنده کرده است. پراکندگی رامان یک فرآیند بدون تشدید است و بنا بر این تقویت کننده های رامان می توانند تقویت در هر دو پنجره μm ۱٫۳ و μm ۱٫۵ را فراهم سازند. آنها از ویژگیهای غیر خطی مکانیزم پراکندگی رامان به منظور تولید بهره، استفاده می کنند. بهره های بیش از dB ۴۰ و توان های خروجی بیش از dB ۳۰+ قابل دستیابی است، ولیکن توان های پمپاژ خیلی بالا نیاز است و همچنین سطح نویز می تواند بالا باشد. تقویت کننده های رامان بعنوان پیش تقویت کننده ها، تقویت کننده های قدرت و تقویت کننده های توزیعی در یک تعدادی از آزمایشات انتقال (تکه کاناله / WDM) دیجیتال و آنالوگ با موفقیت استفاده شده اند.

تقویت کننده های بریلوئن

فرآیند فیزیکی در این تقویت کننده ها برهمکنش نور با امواج صوتی است. تقویت بریلوئن با توان پمپاژ کم، حدود mW ۱، اتفاق می افتد، بنا بر این حساسیت گیرنده می تواند افزایش یابد. پهنای خط باریک نیمرخ بهره-بریلوئن[۳] می تواند بعنوان یک تقویت کننده باند باریک به منظور

[۱] Time demultiplexing
[۲] Grating
[۳] Brillouin - gain profile

تقویت کردن و مُدوله زدایی همزمان سیگنال های FSK تا سرعت بیتی Mb/s ۲۵۰ استفاده شود.

مدل سازی راهبردهای بهره و نویز تقویت کننده فیبر نوری آلاییده شده با اربیوم

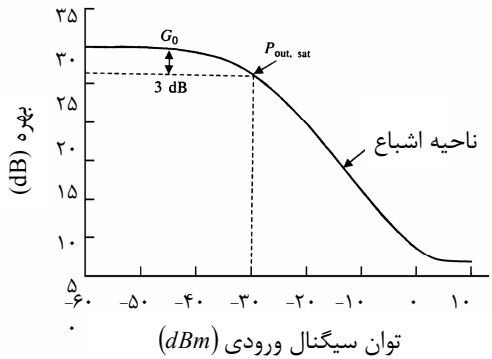
ما در اینجا عبارات تحلیلی برای سیگنال خروجی و توان پمپ در $EDFA$ها که در نوار nm ۱۴۸۰ پمپ می شوند را ثابت می کنیم. با این عبارات، سطوح توان خروجی را می توان با حل کردن یک معادله غیر جبری تعیین کرد. درک کامل مشخصات خروجی و ورودی یک تقویت کننده فیبر نوری با هر طولی را می توان با اندازه گیری منحنی های جذب تک رنگی یک فیبر نوری مشابه، بدست آورد. درصورتی نتایج معتبر هستند که جذب حالت برانگیخته شده وجود نداشته و اشباع بهره به دلیل نویز گسیل خود به خود را بتوان نادیده گرفت.

۱-۱۵-۴ مدل سازی بهره در $EDFA$

ساهه[۱] فقط مورد یک سیستم دو سطحی با یک تعداد دلخواه باریکه های ورودی را شرح می دهد. یک $EDFA$ دو سطحی از ترازهای $^4I_{15/2}$ و $^4I_{13/2}$ اتمهای اربیوم استفاده می کند. وقتی این ترازها که ساختار فیزیکی دارند در یک فیبر نوری شیشه ای مدفون می شوند، در نوارهایی که بطور همگن پهن شده اند، کاملاً پهن می شوند. این اجازه پمپاژ در یک طول موج نزدیک به nm ۱۴۸۰ را می دهد تا بهره در رنج nm ۱۵۶۰ – ۱۵۲۵ را فراهم سازد. شکل (۱-۴۴) یک نیمرخ بهره نوعی $EDFA$ را نشان می دهد.

یک تقویت کننده به طول L با چگالی اتم های فعال p در یک حجم فعال با مساحت سطح مقطع A را فرض کنید. N تعداد باریکه ها با طول موج λ_K و توان $P_K(z,t)$ در جهت P_K از میان تقویت کننده عبور می کنند. در اینجا، باریکه های سیگنال و پمپ یکسان هستند.

[۱] Saheh



شکل ۱-۴۴: وابستگی نوعی بهره تک گذار بر توان ورودی نوری برای یک بهره سیگنال کوچک $G_o = ۳۰\ dB$ (یک بهره ۱۰۰۰).

تغییر توان در باریکه K^{th} توسط معادله زیر داده شده است:

$$\frac{\partial P_K}{\partial z}(z,t) = P\mu_K\Gamma_K\left[\left(\partial_K^e + \partial_K^a\right) N_2(z,t) - \partial_K^a\right] P_K(z,t) \qquad (۲۶-۱)$$

پس از اصلاحات داریم:

$$P_K^{out} = P_K^{in}\ e_K^{-\alpha L}\ e^{(P_{in}-P_{out})/P_K^{IS}} \qquad (۲۷-۱)$$

که P_K^{in} و P_K^{out} توان های ورودی و خروجی K^{th} باریکه هستند

و

$$P_{in} = \sum_{J=1}^{N} P_J^{in}$$

و

$$P_{out} = \sum_{J=1}^{N} P_J^{out}$$

به ترتیب کل توان های ورودی و خروجی هستند. برای $\mu_K = +۱$، به ترتیب P_K^{in} و P_K^{out} توان در $z = ۰$ و $z = L$ هستند و حال آنکه برای $\mu_K = -۱$، مکان باریکه های ورودی و خروجی معکوس می شوند.

معادله (۱-۲۶) را می توان به معادله زیر کاهش داد:

$$P_{out} = \sum_{J=1}^{N} A_K \; e^{-B_K \; P_{out}} \qquad (۱-۲۸)$$

که

$$A_K = P_K^{in} \; e^{-\alpha_K L} \; e^{P_{in} / P_K^{IS}} \qquad \text{و} \qquad B_K = \frac{1}{P_K^{IS}}$$

چون A_K و B_K ثابت های معلوم هستند، پس درصورتیکه توان های ورودی، α_K و P_K^{IS} معلوم باشند، این معادله را می توان برای P_{out} حل کرد. وقتی این معادله حل شد، نتیجه آن را می توان در معادله (۱-۲۷) استفاده کرد تا توان خروجی P_K^{out} در هر طول موج، بطور مستقیم محاسبه شود.

دو پارامتر مستقل از طول برای هر طول موج ضریب تضعیف سیگنال کوچک α_K و توان اشباع ذاتی P_K^{IS} است. این پارامترها را می توان از یک اندازه گیری ساده جذب تک رنگی تعیین کرد. این پارامترها مشخصات فیبرهای آلاییده شده با اربیوم را تعیین می کنند:

۱- چون در معادلات (۱-۲۷) و (۱-۲۸)، μ_K نیست، پس بهره و مشخصه اشباع آن بستگی به جهت حرکت باریکه های پمپ ندارد.

۲- اشباع بهره در یک تقویت کننده با یک طول موج سیگنال (با $K = S$ علامت گذاری شده است) و یک طول موج پمپ (مثلاً $K = P$) را در نظر بگیرید. توان اشباع سیگنال خروجی تقویت کننده P_S^{sat} که با آن، بهره سیگنال با یک ضریب e یا $(۴/۳۴ \; dB)$ از مقدار سیگنال کوچکش افت می کند را می توان بصورت زیر تعیین کرد:

$$P_s^{sat} = P_s^{in} + P_s^{IS} + P_{P,0}^{out} \left[1 - e^{-P_s^{IS} / P_P^{IS}}\right] \cong P_{P,0}^{out} \left[1 - e^{-P_s^{IS} / P_P^{IS}}\right] \qquad (۱-۲۹)$$

که $P_{P,\circ}^{out}$ توان خروجی پمپ بدون سیگنال ورودی است. وقتی توان پمپ قوی است

$P_{P,\circ}^{out} \cong P_P^{in}$ توان اشباع خروجی سیگنال متناسب با توان پمپ است.

دوباره با استفاده از معادله (۱-۲۷)، می توان مشاهده کرد که توان آستانه پمپ ورودی P_P^{TH} که در آن بهره سیگنال واحد است (یعنی $P_s^{out} = P_s^{in}$) مستقل از سطح توان سیگنال است.

$$P_P^{TH} = \frac{\alpha_s \; L \; P_s^{IS}}{\left[1 - e^{\left(\alpha_s \; P_s^{IS} / P_P^{IS} - \alpha_P\right)L}\right]} \qquad (۱-۳۰)$$

فرض بر آن است که هیچگونه جذب حالت برانگیخته برای $EDFA$ هایی که در ۹۸۰ و ۴۸۰ نانومتر پمپ می شوند، معتبر نیست. در یک تقویت کننده با بهره بالا، نویز گسیل خود به خود تقویت شده، بهره سیگنال را اشباع خواهد کرد.

این مدل جعبه سیاه مبنی بر داده های تجربی ورودی - خروجی یک واحد تقویت کننده مشخص است و نیاز به دانستن جزئیات داخلی تقویت کننده نیست. در اینجا، ویژگیهای تقویت کننده از دیدگاه سیستم تشریح می شود و مُدل پیشنهاد شده مبنی بر تابع نوسان بهره و نویز ASE معادل آلان میچل[۱] و زنگ[۲] تشریح شده است. در این مدل فقط سیگنال ورودی - تغییر کرده و توان پمپ و طول فیبر نوری آلاییده شده ثابت می ماند. در اینجا، درصورتیکه بهره سیگنال کوچک در طول موج های ۱۵۶۵ – ۱۵۳۰ نانومتر و اعداد نویز برای دو سیگنال ورودی اشباع شده در هر طول موجی معلوم باشند، بهره کاملاً مشخص می شود.

مشخصات اشباع شده بهره و رفتار عدد نویز مترادف با توان سیگنال ورودی توسط دو معادله تجربی زیر تشریح می شوند:

$$G = \frac{G_0}{1 + \left[\frac{P_{in}}{P_{sat}}\right]^{\alpha}} = \frac{G_0}{1 + \left[\frac{G_0 \; P_{in}}{P_{\max}}\right]^{\alpha}} \qquad (۱-۳۱)$$

[۱] Alan Mitchel
[۲] zhang

و

$$F = F_0 + K_1(\lambda)\, e_2^{K(\lambda)}\left(G_0^{dB} - G^{dB}\right) \qquad (۳۲-۱)$$

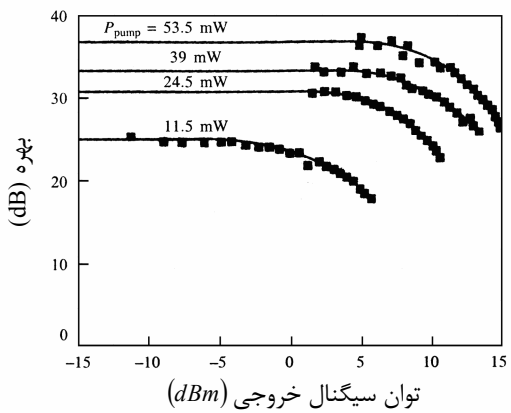
که G_0 و G به ترتیب بهره سیگنال کوچک و بهره اشباع شده برای یک توان سیگنال ورودی داده، P_{in}، است. α و P_{sat} دو پارامتر نا معلوم بوده که اشباع بهره را مشخص می کنند. از معادله (۳۱-۱)،

$$P_{\max} = G_0\, P_{sat}$$

F_0 و F اعداد نویز متناظر با بهره سیگنال کوچک G_0 و بهره اشباع شده هستند. $GK_1(\lambda)$ و $GK_2(\lambda)$ دو پارامتر نا معلوم هستند که رفتار عدد نویز را با توان سیگنال ورودی مشخص می کنند.

$$P_{\max}^{(1)} = P_{\max}^{(0)} \left[\frac{\lambda_0}{\lambda_1}\right] \qquad (۳۳-۱)$$

که $P_{\max}^{(1)}$ حداکثر توان در λ_1 و $P_{\max}^{(0)}$ حداکثر توان در λ_0 است. α در تمام طول موج های nm ۱۵۶۵ – ۱۵۳۰ ثابت است. رفتار بهره $EDFA$ بعنوان تابعی از توان سیگنال خروجی در شکل (۱-۴۵) نشان داده شده است.



شکل ۱-۴۵: رفتار بهره یک $EDFA$ بعنوان تابعی از توان سیگنال خروجی برای سطوح پمپ مختلف

محاسبه ضریب بهره توسط روش نوسان بهره دینامیکی[۱]

این بر اساس اندازه گیری طیفی جذب و بهره است.

با این اندازه گیری ها می توان DGT که از آن ضریب بهره حاصل می شود را محاسبه کرد.

اندازه گیری ضریب تضعیف

ضریب جذب $\alpha(\lambda)$ با اندازه گیری تضعیف با روش برش به عقب، تعیین می شود. یک منبع نوری سفید $(۴۰\ dBm)$ و یک تحلیل گر طیف نوری یک اندازه گیری قابل اطمینان با دقت و حساسیت بالایی را تضمین می کند.

دقت اندازه گیری ضریب جذب با استفاده از چندین طول و از میان بردن اتلاف پس زمینه می تواند بهتر شود.

اندازه گیری ضریب بهره

ضریب بهره با دو روش اندازه گیری می شود:

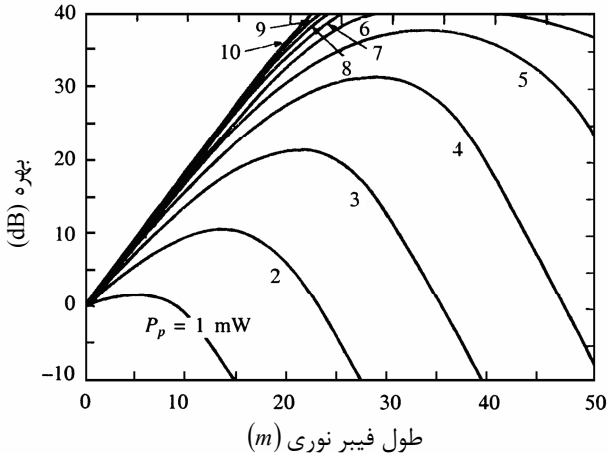
۱- اندازه گیری گسیل به اندازه گیری های طیف های گسیل بستگی داشته که فرض بر آن دارد که توزیع توان پمپ طولی یکنواخت و طول های انتخاب شده فیبر نوری صحیح می باشند. محاسبات بهره بر طول فیبر نوری در شکل (۱-۴۶) نشان داده شده است.

۲- مک کامبر[۲] از یک رابطه به منظور تولید یک ضریب بهره که به ضریب جذب مرتبط است، استفاده می کند.

هر دو روش اطلاعات طیفی خوبی را مهیا می سازند، اما محدودیت در دقت مربوط به مقیاس بندی نسبی طیف های $\alpha(\lambda)$ و $g^*(\lambda)$ است.

یک روش رفع کردن مشکل مقیاس بندی، بهینه سازی طول موج تقاطعی با استفاده از

[۱] Dynamic gain tilt technique
[۲] Mc - cumber



شکل ۱-۴۶: محاسبات وابستگی بهره *EDFA* بر طول فیبر نوری و توان پمپ برای پمپ nm ۱۴۸۰ و سیگنال nm ۱۵۵۰

مدل سازی عددی است. ضرایب بهره با استفاده از تئوری نوسان بهره دینامیکی از بهره های اندازه گیری شده در طیف های، استنتاج می شوند.

تئوری نوسان بهره[۱]

بطور نوعی، DGT از دو طیف بهره اندازه گیری شده $g_2(\lambda)$ و $g_1(\lambda)$ برای یک طول مشخص فیبر نوری در دو سطح مختلف سیگنال و یا پمپ با استفاده از رابطه زیر، حاصل می شود.

$$DGT(\lambda)=\frac{\Delta g(\lambda)}{\Delta g(\lambda_{ref})} \qquad (۳۴-۱)$$

که $\Delta g(\lambda)=g_2(\lambda)-g_1(\lambda)$ اختلاف بهره اندازه گیری شده است و λ_{ref} طول موج مرجع برای DGT است. DGT بصورت نسبت تغییر در بهره در یک طول موج λ_{ref} داده، تعریف می شود. همچنین DGT را می توان بصورت تابعی از ضریب جذب و گسل تعریف کرد.

[۱] Gain tilt theory

$$DGT(\lambda)=\frac{\alpha(\lambda)+g^*(\lambda)}{\alpha(\lambda_{ref})+g^*(\lambda_{ref})} \qquad (۳۵-۱)$$

که $\alpha(\lambda)$ و $g^*(\lambda)$ ضرایب جذب و بهره هستند و λ_{ref} طول موج مرجع DGT است. برای $g^*(\lambda)$ داریم:

$$g^*(\lambda)=\frac{DGT(\lambda)\ [\alpha(\lambda)g^*(\lambda)]}{\alpha(\lambda_{ref})+g^*(\lambda_{ref})} \qquad (۳۶-۱)$$

یا

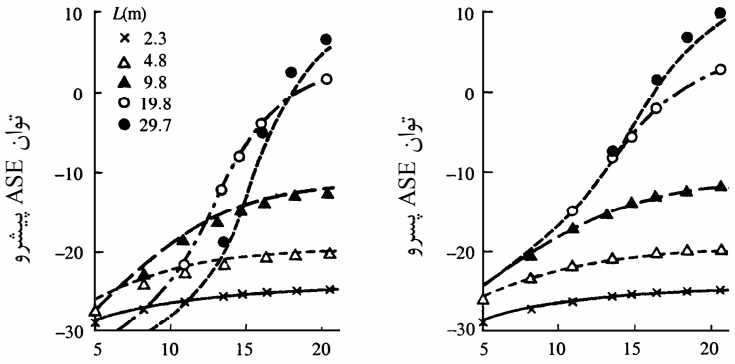
$$g^*(\lambda)=\frac{2DGT(\lambda)\ [\alpha(\lambda_{x0})-\alpha(\lambda)]}{DGT(\lambda_{x0})} \qquad (۳۷-۱)$$

که $DGT(\lambda_{x_\circ})$، DGT را در تقاطع مشخص می کند، جایی که ضریب بهره با ضریب جذب برابر است. طول موج تقاطعی بطور نوعی در رنج nm ۱۵۲۷ – ۱۵۲۰ است و به طول موج قطع بستگی ندارد. این روش را می توان به $EDFA$ها با نوار مرسومی اعمال کرد، اما این روش مخصوصاً برای $EDFA$ها با طول موج بلند مفید می باشد، جایی که اندازه گیری دقیق ضرایب بهره مشکل تر است.

مُدل جعبه سیاهی که توسط اوجنی[۱]، پرسون[۲] و جاکابسن[۳] ایجاد شد، از جمع آثار دو بهره طیفی اندازه گیری شده و یا از منحنی های ASE که با دو شرط اشباع مختلف اندازه گیری شده اند، استفاده کرده تا بهره و عدد نویز تقویت کننده در یک سیستم WDM را تخمین بزند. شکل (۱-۴۷) توان های نویز ASE در مقابل انرژی پمپ ورودی را نشان می دهد.

در اینجا بهره و نویز تقویت کننده را می توان توسط معادلات تحلیلی ساده با استفاده از توابع

[۱] Evgeny
[۲] Persson
[۳] Gacobsen



شکل ۱-۴۷: توان های نویز *ASE* نظری و تجربی در مقابل توان پمپ ورودی برای طول های مختلف *EDFA* که از (الف) پمپاژ هم جهت (پیشرو) و (ب) پمپاژ در جهت مخالف (پسرو) حاصل شده اند.

نوسانی طیفی[۱] تخمین زد، که مستقل از شرط اشباع تقویت کننده هستند. این مدل مبنی بر فرضیه اشباع همگن تقویت کننده است. پس بهره طیفی تقویت کننده کاملاً توسط توزیع متوسط وارونگی جمعیت تعیین می شود. وارونگی جمعیت در فیبر فعال به دلیل تراز بین پمپاژ نوری تشدید[۲] و خنثی سازی یون های اربیوم حفظ می شود. پس یک بهره طیفی یکسان تقویت کننده را می توان با ترکیب های طیفی مختلف سطوح پمپ و مقادیر توان طیفی سیگنال نوری ورودی بدست آورد. این نشان می دهد که بهره طیفی سیگنال *WDM* ورودی فقط با یک کمیت مستقل از طول موج، تعیین می شود. پس می توان آن را از دو منحنی بهره طیفی که با دو شرط اشباع مختلف اندازه گیری شده اند، بدست آورد. در یک عبارت تحلیلی داریم:

[۱] Spectral tilt functions

[۲] Resonance optical pumping

$$G^{dB}(\lambda)=T(\lambda,\lambda_{ref})\cdot G^{dB}(\lambda_{ref})+R(\lambda,\lambda_{ref}) \qquad (۳۸-۱)$$

در برداری اجزاء نوری غیر فعال با اتلاف وابسته به طول موج، در هر مکان در امتداد فیبر نوری آلاییده شده با اربیوم، فقط عبارت $R(\lambda,\lambda_{ref})$ را اصلاح می کند و هیچگونه اثری بر روی بهره طیفی ندارد.

در معادله (۱-۳۸) بهره در طول موج مرجع λ_{ref} بعنوان یک کمیت مستقل از طول موج در نظر گرفته شده که وارونگی جمعیت در تقویت کننده را تعریف می کند. توابع نوسان طیفی $T(\lambda,\lambda_{ref})$ و $R(\lambda,\lambda_{ref})$ به وارونگی جمعیت بستگی نداشته و شکل طیفی بهره را توصیف می کند. همچنین مدل جعبه سیاه تحلیلی را می توان برای مشخص کردن عدد نویز طیفی نیز استفاده کرد،

$$NF(\lambda)=\frac{\lambda^3 S_{ASE}(\lambda)/hc^2+1}{G(\lambda)} \qquad (۳۹-۱)$$

که از بهره طیفی و چگالی توان خروجی گسیل خود به خود تقویت کننده[۱] $S_{ASE}(\lambda)$، (ASE) محاسبه می شود. در موارد عملی، چگالی طیفی توان خروجی را می توان با تقویت سیگنال نویز ورودی معادل، $S_{eq}(\lambda)$، تخمین زد و بنا بر این، چگالی توان طیفی ASE، $S_{ASE}(\lambda)=G(\lambda).S_{eq}(\lambda)$. با چنین روشی، چگالی توان طیفی (برحسب دسی بل) که برابر است با:

$$S_{ASE}^{dB}=10\log\left(\lambda^3 S_{ASE}(\lambda)/nc^2\right)$$

توسط معادله زیر نشان داده می شود:

$$S_{ASE}^{dB}=T(\lambda,\lambda_{ref})\cdot S_{ASE}^{dB}(\lambda_{ref})+R_{ASE}(\lambda,\lambda_{ref}) \qquad (۴۰-۱)$$

که

[۱] Amplifier spontaneous emission