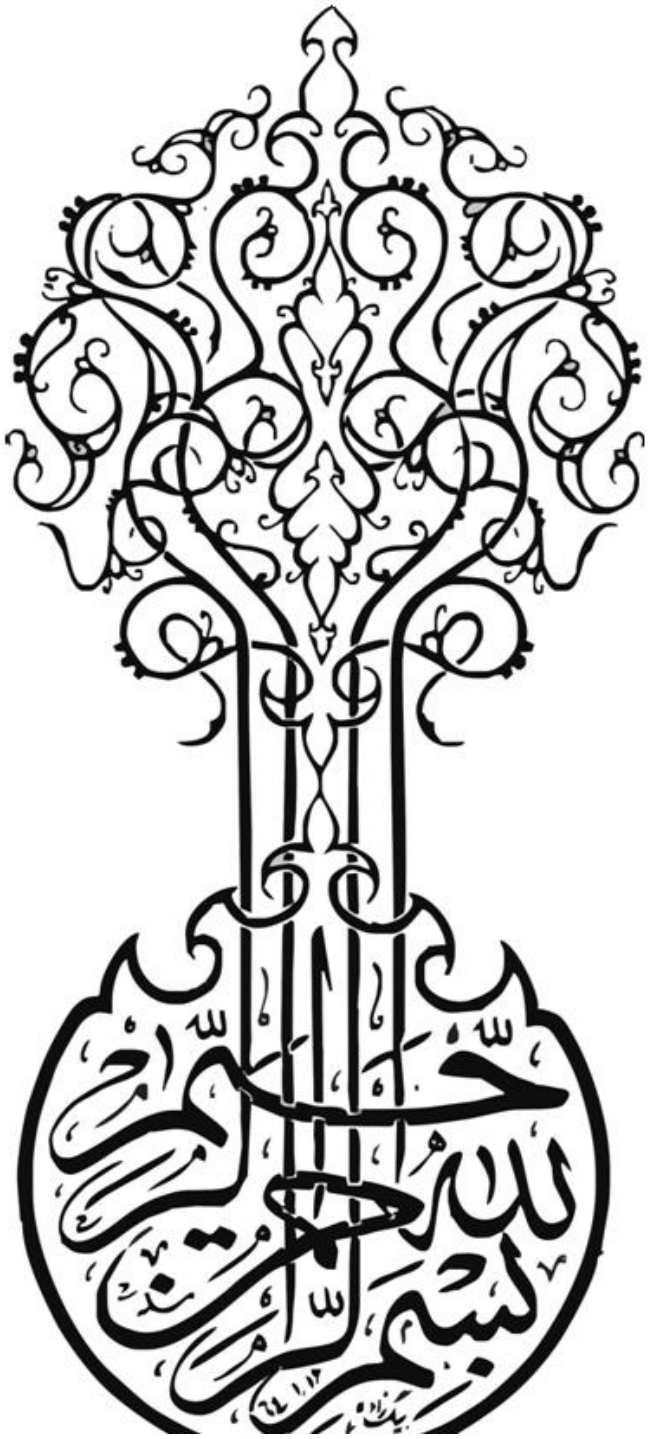

بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده فناوری های نوین

گروه نانو فوتونیک

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

عنوان

طراحی و ساخت سوئیچ نوری ماخ-زندر مبتنی بر مواد آلی

استاد راهنما

دکتر محبوبه دولتیاری

استاد مشاور

دکتر علی رستمی

پژوهشگر

ثمین موتمن فر

شهریور ۹۲

نام خانوادگی دانشجو: موتمن فر نام: ثمین

عنوان پایان نامه: طراحی و ساخت سوئیچ نوری ماخ-زندر مبتنی بر مواد آلی

استاد راهنما: دکتر محبوبه دولتیاری
استاد مشاور: دکتر علی رستمی

مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد رشته: مهندسی فوتونیک گرایش: نانوفوتونیک
دانشگاه: تبریز دانشکده: فناوری های نوین تاریخ فارغ التحصیلی: ۹۲/۶/۲۰ تعداد صفحه ۹۴

کلید واژه ها: سوئیچ نوری، تداخل سنج ماخ-زندر، مواد آلی

چکیده: در این پروژه، تحلیل تئوری ساختار ماخ-زندر را جهت استفاده درکلیدزنی نوری انجام می‌دهیم. اثر الکترواپتیکی را در مواد آلی بررسی کرده و ماده آلی با ضریب غیر خطی نوری بالا را جهت استفاده در طراحی مان انتخاب می کنیم. یک سوئیچ تداخل سنج ماخ-زندر برای استفاده در کلیدزنی نوری سیگنال طراحی کرده و از نظر سرعت پاسخ دهی، ابعاد و ولتاژ کلیدزنی بهینه سازی‌های لازم را انجام می‌دهیم. طراحی وشبیه سازی سوئیچ را گام به گام توسط نرم‌افزارOptic-BPMاجرا می‌کنیم .نتایج حاصل از شبیه سازی و تحلیل تئوری گویای زمان کلیدزنی ۱۶,۱۶Ps و ولتاژ کلیدزنی در حد ۶,۸۸V می باشد. به این ترتیب می توان اقدام به ساخت سوئیچ سرعت بالا و ولتاژ پایین نمود.

تقدیم به بزرگترین پشتوانه‌های زندگیم

پدر صبورم ، مادر دلسوزم و همسر مهربانم

تشکر و قدردانی

بدینوسیله مراتب احترام و تشکر خود را از تمامی عزیزانی که مرا در تهیه این پایان‌نامه یاری کرده اند، به‌ویژه جناب آقای **دکتر علی رستمی** و سرکار خانم **دکتر محبوبه دولتیاری**، که با حمایت‌ها و راهنمایی هایشان بود که توانستم این پایان‌نامه را آغاز کرده و به سرانجام برسانم، ابراز می دارم.

همچنین از استاد بزرگوار جناب آقای **دکتر قاسم رستمی** که داوری این رساله را تقبل فرمودند سپاسگزارم و از خداوند متعال توفیق روز افزون ایشان را خواستارم.

فهرست مطالب

۱ بررسی منابع ---------- ۱۱
۱-۱ سیستمهای مخابراتی نوری ---------- ۱۲
۱-۲ روش های هم تافتگری در شبکه های نوری ---------- ۱٤
۱-۳ کارآیی سیستمهای هم تافتگری تقسیم طول موجی ---------- ۱۷
۱-٤ سوئیچ های مدار مجتمع فوتونیکی ---------- ۱۹
۱-٤-۱ سوئیچ های مکانیکی ---------- ۲۰
۱-٤-۲ سوئیچهای تداخل سنج ماخ زندری ---------- ۲۱
۱-٤-۳ سوئیچ تزویج گر جهتی ---------- ۲۲
۱-٤-٤ سوئیچ مبتنی بر بازتابش کلی ---------- ۲۲
۱-٤-٥ سوئیچ انشعاب فرعی یا سوئیچ نوری دیجیتالی ---------- ۲۳
۱-٤-٦ سوئیچ با گیت تقویت کننده نوری نیمه هادی ---------- ۲٤
۱-٤-۷ سوئیچهای کریستال مایع ---------- ۲٥
۱-٤-۸ سوئیچ حبابی ---------- ۲٦
۱-٤-۹ سوئیچ صوتی-نوری ---------- ۲۷
۱-٥ اپتیک مجتمع و مواد پلیمری نوری غیر خطی ---------- ۲۸
۱-٥-۱ مواد و ضریب شکست آنها ---------- ۲۸
۱-٥-۲ مواد پلیمری نوری NLO ---------- ۲۹
۲ مواد و روشها ---------- ۳۱
۲-۱ تئوری موجبری ---------- ۳۱
۲-۲ موجبرهای نوری در کلیدزنی نوری ---------- ۳٥
۲-۲-۱ موجبرهای یک بعدی ---------- ۳٥
۲-۲-۲ موجبرهای دو بعدی ---------- ۳۹
۲-۲-۳ موجبرهای سه بعدی ---------- ٤۰
۲-۳ آنالیز تزویجگر نوری موجبری ---------- ٤۲
۲-٤ آنالیز سوئیچ بر پایه تداخل سنج ماخ-زندر غیر فعال ---------- ٤۷
۲-٥ ادوات فعال کلیدزنی و اصول عملکردشان ---------- ٥۳

٢-٦ تداخل سنج ماخ-زندر فعال الکترو-اپتیکی---------- ٥٤
٣ نتایج و بحث ---------- ٦٠
٣-١ اثر الکترو-اپتیکی در پلیمرها ---------- ٦٢
٣-٢ پارامترهای مولکول DANS قطبیده ---------- ٦٩
٣-٣ پیکربندی و آنالیز تئوری طرح---------- ٧٠
٣-٣-١ میدان الکتریکی ---------- ٧٣
٣-٣-٢ ماتریس انتقال توان و عمل کلیدزنی---------- ٧٤
٣-٣-٣ اتلاف الحاقی---------- ٧٦
٣-٣-٤ پاسخ در حوزه زمان ---------- ٧٧
٣-٤ مقادیر پارامترهای دستگاه و بهینه سازی ها ---------- ٧٩
٣-٤-١ ابعاد هسته---------- ٨٠
٣-٤-٢ ضخامت الکترودها و لایه بافر---------- ٨٠
٣-٤-٣ فاصله بین دو موجبر در تزویجگر ٣dB و دوبازوی MZI ---------- ٨٠
٣-٤-٤ طول ناحیه الکترو-اپتیکی---------- ٨١
٣-٥ طراحی سوئیچ نوری ماخ زندر ٢×٢ توسط نرم افزار Opti-BPM---------- ٨١
٣-٦ نتایج شبیه سازی سوئیچ نوری ماخ-زندر با ولتاژ اعمالی صفر ---------- ٨٣
٣-٧ نتایج شبیه سازی سوئیچ نوری ماخ-زندر با اعمال ولتاژ کلیدزنی---------- ٨٥
٣-٨ مشخصه پاسخ زمانی---------- ٨٨
٣-٩ نتیجه گیری---------- ٩٠

فهرست شکل ها

شکل ۱-۱ توپولوژی رایج در شبکه ---------- ۱۶
شکل ۱-۲ پنالتی‌های توان برای تعداد۱، ۱۰ و ۱۰۰ عنصر ایجادکننده همشنوایی ---------- ۱۸
شکل ۱-۳ سوئیچ مکانیکی MEMS ---------- ۲۱
شکل ۱-٤ سوئیچ بر پایه تداخل سنج ماخ زندر ---------- ۲۱
شکل ۱-٥ سوئیچ تزویجگر جهتی ---------- ۲۲
شکل ۱-٦سوئیچ بر پایه بازتابش کلی ---------- ۲۳
شکل ۱-۷ سوئیچ انشعاب فرعی یا سوئیچ نوری دیجیتالی ---------- ۲٤
شکل ۱-۸ سوئیچ با گیت تقویت کننده نوری نیمه هادی ---------- ۲٥
شکل ۱-۹ سوئیچ کریستال مایع ---------- ۲٦
شکل ۱-۱۰ سوئیچ حبابی ---------- ۲۷
شکل ۱-۱۱ سوئیچ صوتی- نوری ---------- ۲۸
شکل ۲-۱ پرتوهای منتشر شونده به وسیله بازتابش کلی در موجبر تیغه‌ای ---------- ۳۱
شکل ۲-۲ موجبر مسطح تیغه‌ای ---------- ۳٦
شکل ۲-۳ فرکانس نرمالیزه نسبت به ضخامت موثر نرمالیزه در یک موجبر تیغه‌ای مسطح لایه نازک ---------- ۳۷
شکل ۲-٤ سطح مقطع ساختارهای موجبر نواری ---------- ٤۰
شکل ۲-٥ ساختار موجبر کانالی ---------- ٤۱
شکل ۲-٦ تزویجگر جهتی متقارن و نا متقارن ---------- ٤۳
شکل ۲-۷ توزیع توان به صورت تئوری در تزویجگر متقارن ۲×۲ ---------- ٤٥
شکل ۲,۸ پاسخ طول موجی توان تزویج شده ---------- ٤٦
شکل ۲-۹ تداخل‌سنج ماخ زندر غیرفعال ---------- ٤۹
شکل ۲-۱۰ هم‌تافتگر طول موجی ٤ کاناله با المان‌های MZI ---------- ٥۲
شکل ۲-۱۱ مدولاتور فاز ساده با موجبر نواری ---------- ٥٦
شکل ۲-۱۲ مدولاتور تداخل‌سنجی انشعابی بر پایه MZI ---------- ٥۷
شکل ۳-۱ نمودارگردشی طراحی سوئیچ ---------- ٦۱
شکل ۳-۲ ساخت موجبر قطبیده با اعمال میدان بین دونوارالکترودی ---------- ٦٤

شکل ۳-۳ شماتیک فرآیند قطبیده کردن فیلم پلیمری ---------- ٦٥
شکل ۳-٤ مدولاتور دامنه بر پایه پلیمر و غیر حساس به قطبش ---------- ٦٦
شکل ۳-٥ a)نمای کلی b)نمای سطح مقطع با ولتاژ قطبش c)نمای سطح مقطع با ولتاژ عملیاتی در سوئیچ الکترو-اپتیک ماخ-زندر پلیمری ---------- ٧١
شکل ۳-٦ طرح سوئیچ نوری پلیمری ٢×٢ **بر پایه MZL، بدون الکترود**---------- ٨٢
شکل ۳-۷ طرح سوئیچ نوری پلیمری ٢×٢ **بر پایه MZL، با الکترود** ---------- ٨٢
شکل ۳-۸ نتایج شبیه سازی سوئیچ نوری MZL وقتی $v = ٠v$ **سیگنال نوری به طور کامل از** $Pin_١$ **به** $Pout_٢$ **کوپل می‌شود** ---------- ٨٣
شکل ۳-۹ نتایج شبیه سازی سوئیچ ماخ زندر وقتی $v = ٦.٨٨v$ **سیگنال نوری از** $Pin_١$ **به** $Pout_١$ **سوئیچ می‌شود** ---------- ٨٦
شکل ۳-۱۰ منحنی تغییرات توان‌های خروجی نسبت به زمان پاسخ ---------- ٨٩

فهرست جداول

جدول ۳-۱ پارامترهای بهینه در طراحی سوئیچ ---------- ۸۲

فصل اول

بررسی منابع

شبکه مخابراتی نسل جدید به سمت استفاده هر چه بیشتر از فیبرهای نوری به عنوان بستر انتقال دیتا پیش می رود. با ازدیاد بکارگیری فیبر در بخشهای اصلی شبکه مخابراتی پیداست که کلیدزنی فوتونیکی و پردازش سیگنال نوری شامل هم تافتگری نوری، نقش مهمی در تحول شبکه ها به سوی شبکه های تمام فوتونیکی ایفا می کنند.

منابع خارجی مثل ولتاژ، جریان، حرارت و یا نور برای تغییر مشخصه های انتشار نور در کلیدزنی نوری به کار می روند. برای مثال سوئیچ ۴×۴ نوری-حرارتی پلیمری با مصرف توان پایین در ۱۵۵۰ nm ایجاد شده است [۴۴]. و یا سوئیچ موجبری سیلیکا/سیلیکن حرارتی ۲×۲ با پاسخ دهی سریع و بر پایهٔ ماخ زندر نشان داده شده است که اثر حرارتی برای فعال کردن MZI بکار برده شده است [۴۵]. هم تافتگری و واتافتگری طول موجی کانالهایی به فاصلهٔ ۱۰۰GHZ از هم (۰,۸ nm فاصله گذاری در ۱۵۵۰nm) توسط دستگاهی بر پایهٔ MZI ارائه شده است [۸].

تکنولوژی کلیدزنی طول موجی فعال یکی از آخرین رویکردهای مخابرات فیبر نوری می باشد که توانسته است هم تافتگری تقسیم طول موجی (WDM) را با آگاهی به اینکه می تواند از حداکثر پهنای باند بزرگ فیبر نوری بهره برداری کند بدل سازد.

در این پروژه ابتدا به مفاهیم و اصول حاکم بر انواع ادوات نوری در قالب کلیدزنی نوری می پردازیم. تحقیق بر روی پارامتر هایی (از جمله β، ضریب شکست، عرض، طول، ابعاد، ماده) که در طراحی یک سوئیچ بهینه بکار می روند گام بعدی خواهد بود. طراحی سوئیچ نوری آلی بر پایهٔ MZI توسط نرم افزار BPM CAD و تحلیل آن در قالب افزایش سرعت کلیدزنی و کاهش توان مصرفی جزء اهداف این پروژه می باشند.

۱-۱- سیستم‌های مخابراتی نوری

در اوایل دهه ۷۰ میلادی و در سایه ابداع لیزر و فیبرهای شیشه‌ای، با اتلاف مطلوب ۲۰dB/km در آن زمان، شبکه‌های نوری به رقیبی مناسب برای شبکه‌های الکترونیکی بدل شدند. فرکانس‌های نوری مورد استفاده در این شبکه‌ها به طوریکه بسیار بزرگتر از پهنای باند سیگنال در شبکه‌های مخابراتی نوری در

مقایسه با همتایان الکتریکی خود هستند، برای جلب رضایت روزافزون تقاضا برای پهنای باند بسیار مناسب می باشند.

در دو دهه اخیر، مقادیر قابل توجهی لینک فیبری با تضعیف پایین به کار گرفته شده‌اند. در ابتدا این لینک‌ها، لینک‌های دیجیتالی شامل خطوط صوتی ۳۴ مگابایت بر ثانیه‌ای برای دکل‌های تلفن بودند. بعدها در نرخ بیت‌های بسیار بالاتر و تکنیک‌های انتقال پیچیده‌تری مورد توجه واقع شدند [۴۳] .

برای کاهش تعداد تکرارکننده‌ها[۱] و تقویت‌کننده‌های[۲] گران‌قیمت در شبکه‌های نوری، تضعیف سیگنال نوری باید تا جای ممکن کوچک باشد. از آنجا که کمترین تضعیف فیبر در طول موج‌های نزدیک به ۱۵۵۰ نانومتر رخ می‌دهد (۰,۱۵ dB/km)، پنجره طول موج ۱۵۵۰ nm نسبت به پنجره ۱۳۰۰ nmیی با پاشندگی صفر ترجیح داده می‌شود. در دسترس بودن تقویت کننده‌های فیبری آلائیده به عنصر اربیم[۳] جهت تقویت سیگنال در بازه طول موجی ۱۵۳۰ تا ۱۵۶۰ نانومتر مزیت دیگر استفاده از پنجره ۱۵۵۰nm می‌باشد.

پنجره طول موجی تقویت کننده فیبری آلاییده به اربیم پهنای باندی در حدود ۴GHz دارد و این مفهوم را می‌رساند که حامل سیگنال نوری در ۱۵۵۰ نانومتر به صورت تئوری حداکثر ظرفیت انتقالی در حدود ۸Tb/s خواهد داشت. پنجره طول موجی ۱۵۵۰nm که از پنجره تقویت کننده فیبری آلاییده به اربیم گسترده‌تر است به صورت تئوری حتی با داشتن حداکثر ظرفیت انتقال ۶ برابر (۵۰Tb/s~) قبل از تلفات فیبر نیز انتقال را محدود می‌کند.

با این حال، در دستگاه‌های نوری امروزی رسیدن به چنین نرخ بیت بسیار بالا غیرممکن است، زیرا تقریبا تمام دستگاه‌های نوری در حال استفاده، مانند مدولاتورها و آشکارسازها[۴]پهنای باند کمتر از ۲۰GHz

[۱] Repeater
[۲] Amplifier
[۳] Erbium Doped Fiber Amplifier
[۴] Detectors

دارند [۲۰]. یکی از راه‌های استفاده حداکثری از پهنای باند قابل دسترس شبکه‌های نوری با ادوات فعلی استفاده از روش‌های هم تافتگری[۵] است.

۱-۲- روش‌های هم تافتگری در شبکه های نوری

ظرفیت انتقال شبکه‌های نوری می‌تواند با نصب فیبرهای اضافی افزایش یابد. (هم‌تافتگری تقسیم فضا[۶]) از آنجا که این روش بسیار پرهزینه است روش‌های دیگری برای استفاده کارآمدتر از پهنای باند قابل دسترس در شبکه فیبر موجود به کار گرفته شده‌اند.

روش اول کاهش نرخ بیت[۷] در شبکه است که نیازمند ادوات الکترونیکی سرعت بالا در گره‌های شبکه می باشد. بسیاری از سیر داده‌های[۸] سرعت پایین با هم تافتگری تقسیم زمانی[۹] می‌توانند به یک سیر داده سرعت بالا هم تافت شوند، به طوریکه هر کانال ورودی انتقال داده خود را در شکاف زمانی[۱۰] مختص به خود انجام می‌دهد. این تخصیص‌دهی توسط یک سوئیچ هم تافتگر[۱۱] سریع صورت می‌گیرد. مسیریابی سیر داده‌های مختلف در انتهای لینک هم تافتگر تقسیم زمانی توسط سوئیچ و یک واتافتگر سریع [۱۲]انجام می‌شود.

همانطور که سرعت داده ها بالاتر و بالاتر می‌رود، برای قطعات الکترونیکی (سوئیچها) در سیستم، رسیدگی صحیح به داده‌ها مشکل‌تر می‌شود. این مشکل با مسیریابی داده‌ها در حوزه نور تحت عنوان

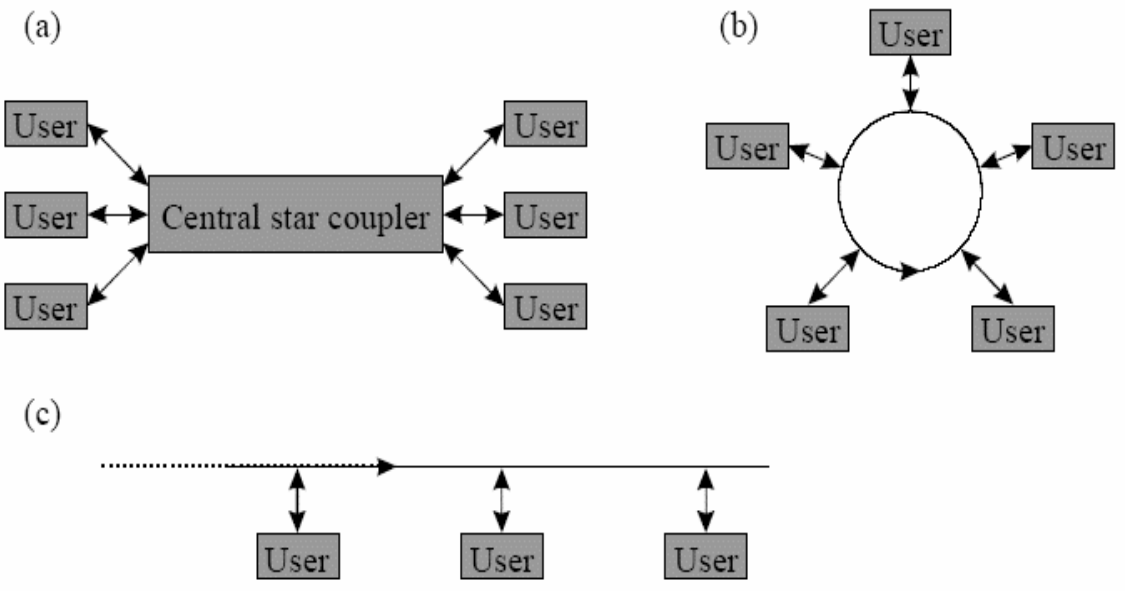
---

[۵] Multiplexing
[۶] SDM , Space Division Multiplexing
[۷] Bit Rate
[۸] Data Stream
[۹] TDM ,Time Division multiplexing
[۱۰] Time slot
[۱۱] mux ,Multiplexer switch
[۱۲] demux ,Demultiplexer

هم‌تافتگری تقسیم زمانی نوری[۱۳] قابل حل است. سرعت سیستم‌های هم‌تافتگری تقسیم زمانی نوری تجربی در حال‌حاضر مرتبه‌ای از ۱۰۰Gb/S (تک کاناله) است و عمدتا در اثر سرعت عناصر غیرخطی و تحت‌تاثیر آثار فیزیکی مانند پاشندگی رنگی[۱۴] روی پالس‌های نوری داخل فیبر محدود می‌شوند [۳۷-۳۵] .

با وجود نرخ بیت بالا که با روش هم‌تافتگری تقسیم زمانی نوری به دست می‌آید، تنها بخش محدودی از پهنای باند موجود در پنجره‌های مخابراتی ۱۵۵۰ mm توسط کانال هم‌تافتگری تقسیم زمانی نوری مورد استفاده قرار می‌گیرد. اگر همراه با داده در این تک کانال، داده‌های اضافی دیگری با طول موج‌های حامل مختلف از همان فیبر منتقل شود، استفاده بهتری از پهنای باند بزرگ فیبر می‌شود. به این سیستم، هم تافتگری تقسیم طول موجی[۱۵] می‌گویند که حداکثر تعداد کانال در چنین سیستمی به وسیله عملکرد فیلترهای میان‌گذری که در دو طرف اتصالات هم‌تافتگری تقسیم طول موجی به کار می‌روند (فاصله گذاری کانال[۱۶]- نسبت سیگنال به نویز[۱۷]) و نیز آثار غیرخطی در فیبر تعیین می‌شوند. شبکه‌های هم‌تافتگری تقسیم طول موجی با به کارگیری ساختار مسیریابی به جای ساختار پخش همگانی[۱۸] و سپس انتخاب مسیر، تا حد زیادی بهبود یافته‌اند. مسیریابی در گره‌هایی از شبکه اجرا می‌شود که قادر به مسیریابی طول موج‌های مختلف در یک پورت ورودی خاص به یکی از خروجی‌های متعدد هستند. مسیریابی طول موجی در این شبکه‌ها توسط هم تافتگرهای فزود- فرود نوری[۱۹] و اتصالات صلیبی[۲۰] نوری انجام می‌شود. هم تافتگرهای فزود- فرود نوری برای افزودن یک طول موج به کانال و همچنین حذف یک طول موج از کانال‌های خط هم‌تافتگری تقسیم طول موجی استفاده می‌شود و دومین مورد برای انتقال سیر داده‌ها به عنوان مثال از یک شبکه حلقوی به شبکه دیگر به کار می‌رود (شکل ۱.۱) .

[۱۳] OTDM ,Optical Time Division Multiplexing
[۱۴] Chromatic Dispersion
[۱۵] WDM ,Wavelength Division Multiplexing
[۱۶] Channel spacing
[۱۷] Signal to noise ratio
[۱۸] Broadcast
[۱۹] Optical add-drop multiplexer
[۲۰] Cross connects



شکل ۱.۱ ۳ نوع توپولوژی رایج در شبکه [۶] ۱) ستاره ای (پخش همگانی و انتخاب شبکه)
۲) حلقوی
۳) باس یا گذرگاه عمومی

برای به دست آوردن یک شبکه قابل اعتماد، باید توجه ویژه‌ای به پیشگیری از خرابی نمود. در روش‌های نگهداری و محافظت فعلی دستگاه‌های مسیریابی (سوئیچ) در صورت خرابی برای مسیردهی مجدد ترافیک به کار می‌روند. مدت زمان مجاز برای ترمیم خرابی در مقیاس میلی ثانیه می‌باشد. در صورتیکه مکانیزم کلیدزنی بسته‌ای در شبکه نوری به کار رفته باشد سوئیچ‌های فضایی[۲۱] بسیار سریع‌تری با سرعتی در مقیاس نانو ثانیه مورد نیاز است.

[۲۱] Space Switches

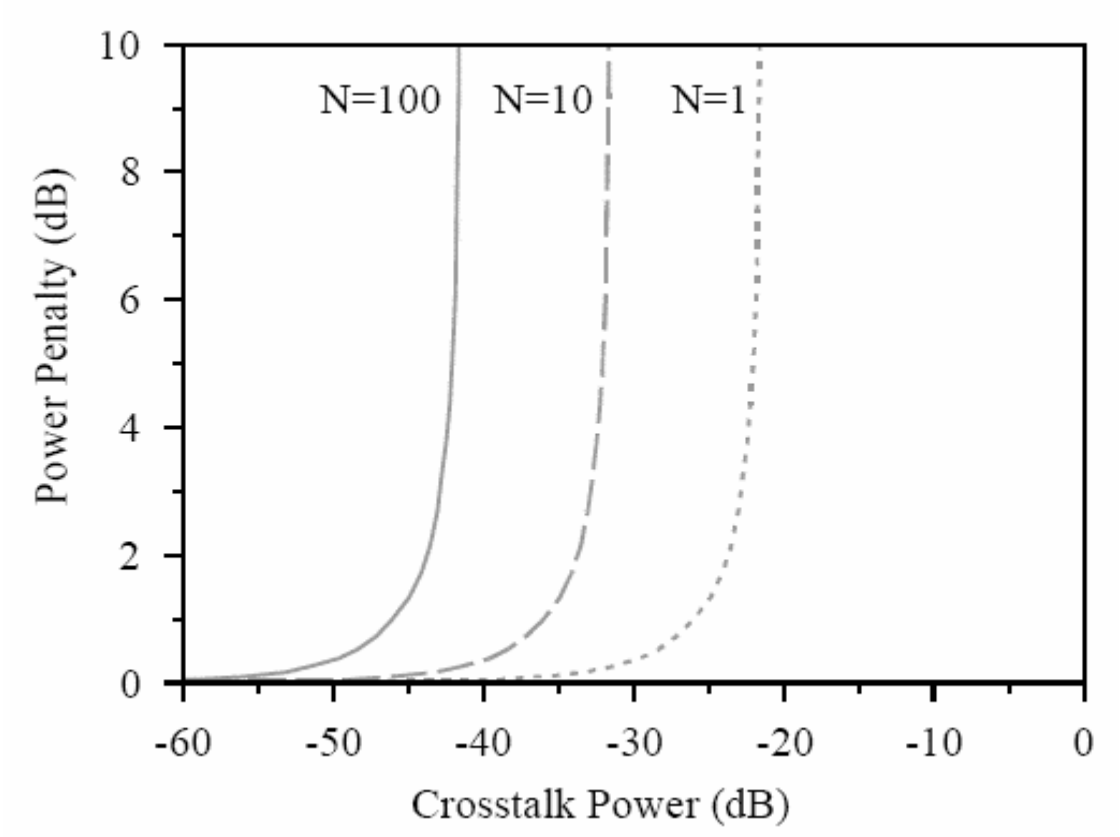
۱-۳-کارآیی سیستم‌های هم‌تافتگری تقسیم طول موجی

در یک سیستم دیجیتال با کیفیت بالا، لایه فیزیکی، محیطی که پهنای باند موردنیاز را تعیین می‌کند، باید انتقال قابل‌اعتماد بیت‌ها را از منبع به مقداری بالاتر از پنالتی توان موردنیاز برای بهبود نرخ خطای بیت تضمین کند به طوریکه روی عملکرد سیستم یا کاهش کارآیی آن تاثیر نگذارد.

کاهش همشنوایی[۲۲] در سوئیچها را میتوان با روش‌هایی که موجب افزایش تلفات سوئیچ می‌شود، به دست آورد. برای دانستن اینکه آیا واقعا چنین روشی عملکرد شبکه را بهبود می‌بخشد یا نه، باید رابطه بین کاهش هم شنوایی و افزایش تلفات مجاز را مورد بررسی قرار داد. این رابطه با محاسبه پنالتی توان به صورت تابعی از سطح هم‌شنوایی عنصر شبکه (به عنوان مثال سوئیچ) به دست می‌آید. نتایج این محاسبات به شدت به تنظیمات سیستم (به عنوان مثال نوع فرستنده و گیرنده و طول فیبر به کار رفته) و مدل‌های ریاضی اجزای مختلف و آثار آنها روی سیستم بستگی دارند.

از آنجا که ارزیابی تمام تنظیمات به همراه محاسبات دقیق فراتر از محدوده این تحقیق است، پنالتی توان به موجب همشنوایی (همدوس[۲۳]) در شبکه فقط برای یک توپولوژی ساده و کلی محاسبه شده است. در شکل ۲.۱ پنالتی توان به عنوان تابعی از توان هم شنوایی داخل کانال برای تعداد منابع هم‌شنوایی ۱، ۱۰ و ۱۰۰ رسم شده است. در صورت وجود فقط یک عنصر ایجادکننده هم شنوایی که نیاز به پنالتی توان ۱dB دارد میزان این هم‌شنوایی در اکثر شبکه‌ها ۲۶dB- خواهد بود. وقتی تعداد عناصر ایجادکننده همشنوایی افزایش می‌یابد میزان همشنوایی نیازمند به پنالتی توان ۱dBبسرعت افزایش می‌یابد، با توجه به این مدل اگر تنها ۱۰ عنصر ایجادکننده همشنوایی یکسان در شبکه موجود باشند سطح هم‌شنوایی داخل کانال باید کمتر از ۳۶dB- باشد. این مشاهدات را می‌توان با اندازه‌گیری تایید کرد.

[۲۲] Cross talk
[۲۳] coherent



شکل ۱,۲ پنالتی‌های توان برای تعداد۱، ۱۰ و ۱۰۰ عنصر ایجادکننده همشنوایی به عنوان تابعی از سطح هم شنوایی هر عنصر در شبکه با فرض اینکه تمام عناصر همشنوایی را در توان‌های یکسان ایجاد می‌کنند [۶].

مهمترین کاربرد سوئیچ‌ها، کلیدزنی حفاظتی است، که این سوئیچ‌ها برای تغییر مسیر اولیه سیر داده‌ها از طریق یک فیبر ثانویه در صورتیکه فیبر اولیه دچار خرابی شده باشد، استفاده می‌شوند. از آنجا که این سوئیچ‌ها تنها در صورت خرابی به کار می‌آیند، سرعت کلیدزنی در مقیاس یک میکروثانیه تا یکصد میکروثانیه کفایت می‌کند. کلیدزنی بسته‌ای، نیاز شدیدتری به زمان کلیدزنی مسیریاب‌ها را به شبکه نوری تحمیل می‌کند. بسته‌ها[۲۴] به طور جداگانه توسط دستگاه مسیریابی سوئیچ می‌شوند که البته زمان کلیدزنی

[۲۴] packets

باید بسیار کوچک‌تر از طول زمانی بسته باشد. در شبکه‌های امروزی، کلیدزنی بسته‌ای در ترکیب با تکنولوژی هم‌تافتگری تقسیم طول موجی نقش مهمی ایفا می‌کند.

اکثر اجزای شبکه‌های نوری معمولا در فرم مدارهای مجتمع فوتونیکی[۲۵] ساخته می‌شوند که بسیار کوچک‌تر از همتایان الکتریکی خود هستند و این موضوع ساخت آنها را ساده‌تر می‌کند. مزیت دیگر مدارات مجتمع فوتونیکی، امکان مجتمع کردن اجزای مختلف روی یک تراشه واحد است که خود باعث جلوگیری از اتصالات پیچیده می‌شود و نیز ساخت مدارات پیچیده کوچک‌تر و ارزان‌تر را ممکن می‌سازند. قابلیت مجتمع‌سازی یک مولفه به اندازه[۲۶] آن و تعداد قطعات اضافی که می‌توان روی همان بستر[۲۷] ساخت بستگی دارد. از آنجا که انتظار می‌رود دستگاه‌های کلیدزنی تعداد ورودی و خروجی زیادی داشته باشند مقیاس‌پذیری[۲۸] (گسترش‌پذیری) سوئیچ‌ها ویژگی مهمی به حساب می‌آید. برای عملکرد بهتر اجزای سازنده در شبکه‌های نوری شفافیت، نرخ بیت بالا و مصرف توان پایین مورد نیاز است. خطای ساخت اندک و قابلیت ساخت‌پذیری بالا ، ساخت آسان اجزای مختلف را با بازده بالا تضمین می‌کند [۱].

۱-۴- سوئیچ های مدار مجتمع فوتونیکی

در طی زمان انواع مختلفی از سوئیچ‌های مدار مجتمع های فوتونیکی توسعه یافته‌اند که از ابعاد و نوع ماده به کار رفته در ساخت شان قابل دسته‌بندی هستند. برای بخش قابل توجهی ابعاد سوئیچ توسط اثر فیزیکی‌ای که در کلیدزنی استفاده می‌شود، تعیین می‌گردد. کاربرد سوئیچ‌های مختلف به شدت به

[۲۵] PIC ,Photonic Integrated Circuits
[۲۶] On chip size
[۲۷] substrate
[۲۸] integrability

ویژگی‌های آن نوع سوئیچ مثل سرعت کلیدزنی بستگی دارد. در زیر شرح مختصری از انواع اصلی سوئیچ داده شده است.

۱-۴-۱ سوئیچ های مکانیکی

در سوئیچ مکانیکی دستکاری نور توسط جابه‌جایی فیبر یا موجبر یا بازآرایی آینه‌ای است که در مسیر پرتوی نور در فضای آزاد قرار گرفته است. یکی از پرکاربردترین این سوئیچ‌ها، سوئیچ‌های MOEMS [۲۹]است که از محرک الکتریکی برای چرخش آینه در جهات مختلف استفاده می‌کند. در واقع آینه‌های MEMS با اعمال سیگنال الکتریکی تغییر مسیر مکانیکی پیدا می‌کند به طوریکه قالب داخلی درون قاب بیرونی بالا و پایین می‌رود یا می‌چرخد (شکل۱.۳) [۳۸].

این سوئیچ‌ها از ویژگی‌هایی چون سطح هم‌شنوایی پایین (کمتر از dB ۵۰-) و تلفات (وابسته به قطبش) پایین بهره می‌برند و به علت کم اتلاف بودنشان می‌توان در ساختارهای کلیدزنی بزرگ از آنها استفاده کرد. معایب اصلی این سوئیچ‌ها سرعت پایین (حدوداً ۱۰ms)، حساسیت به ارتعاشات، سایش مکانیکی و قابلیت مجتمع‌سازی پایین با سایر ادوات نوری می‌باشد.

[۲۹] میکروسیستم مکانیکی الکترونوری