بسم الله الرحمن الرحيم

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و
نوآوری های ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه
متعلق به دانشگاه رازی است.

دانشکده فنی مهندسی

گروه برق

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد رشته ی برق

گرایش الکترونیک

بررسی و شبیه سازی اثر مدولاسیون فاز متقابل در شبکه های نوری DWDM

استاد راهنما:

دکتر محمد مهدی کارخانه چی

نگارش:

کیانوش رحمت آبادی

بهمن ماه ۱۳۹۰

سپاسگزاری

در ابتدا از خداوند مهربان سپاسگزارم که همیشه و در همه مراحل زندگی یار و همراه من بوده است.

***

از حوزه پژوهشی مرکز تحقیقات مخابرات ایران بخاطر حمایت مالی از این پروژه تشکر و قدردانی می شود.

***

همچنین از استاد ارجمندم جناب آقای دکتر محمد مهدی کارخانه چی که در انجام این مجموعه ، تجربیات گرانقدر و ارزشمند خود را خالصانه در اختیار اینجانب قرار دادند و در تمام مدت انجام این کار مشوق و راهنمای من بودند ، صمیمانه سپاسگزارم.

***

در پایان از اساتید محترمی که در طول این مقطع از تحصیل در خدمتشان کسب علم نموده ام تشکر و سپاسگزاری می نمایم.

کیانوش رحمت آبادی

تقدیم به

کشور عزیز و پهناورم، ایران

همسر مهربان ، صبور و فداکارم، الهام

و فرزندان دلبندم، کورش و دیاکو

چکـیده

در دنیای مدرن امروزه نرخ ارسال داده بالاتر از ۱۰ Gb/s در حال تبدیل شدن به یک واقعیت است و کـاربران خواهان پهنای باند هایی که امکـان اسـتفاده آن در : کنفرانسـهای راه دور ، پزشـکی از راه دور و تلویزیونهـای بـا پروتکل اینترنت که در حال حاضر شروع به حضور خود را در بازار تجاری هستند می باشند . این پهنای باند در حال حاضر توسط ارتباطات نوری که در آن ، فیبرهای نوری قادرند از نظر تئوری پهنای باند نامحدودی را ارائـه نماینـد ، میسر است . به منظور برآوردن چنین نیازهایی، یکی از راه حل هایی که می توان بکار برد مفهـوم DWDM اسـت که شامل انتقال چندین طول موج با فاصله بسیار نزدیک به یکدیگر و در نتیجه بهره وری بالاتر در ارائه پهنای بانـد بیشتر است. در DWDM ، کانال های با طول موج بسیار به یکدیگر نزدیک ، حدود ۰/۴ نانومتر و یا کمتـر اسـت. در نتیجه طول موج های با فاصله نزدیک ، تداخل و اثرات مضر دیگری بوجود خواهند آورد. ایـن مفهـوم زمینـه ای برای این پایان نامه شده است که یک مدل تحلیلـی بـرای ارزیـابی عملکـرد سیسـتمهای نـوری فـراهم کنـد . در DWDM ، تاثیر توان بالای سیگنال یک طول موج بر روی طول موج ارسالی دیگری که بسیار به این طول مـوج نزدیک است مدولاسیون فاز را بوجود می آورد. مدولاسیون فـاز مـی توانـد بـه اخـتلال زمـانی (time jitter) کـه بواسطه پراکندگی رنگی در فیبر است منجر شود، و باعث کاهش عملکرد سیسـتمهای نـوری شـود. ظرفیـت حمـل اطلاعات در فیبر با بالا رفتن توان به میزان زیادی کاهش می یابد. در نرخ اطلاعات بالا ، ناگزیر به قبـول ایـن اثـر متقابل در توانهای بالا هستیم. این نوشته به دنبال بررسی عملکرد سیستم های نوری با وجود این اثرات مضر است. نتایج شبیه سازی عددی با نرم افزار ''opti wave'' مقایسه می شود.

کلید واژه ها:

Cross phase modulation (XPM), Return-to-zero (RZ) , Non-return-to-zero (NRZ),
Self phase modulation(SPM) , Dense wavelength division multiplexing (DWDM), time jitter

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول:مقدمه..... ۱

۱-۱- سیستمهای فیبر نوری..... ۳

۱-۲- دنیای MULTIPLEXING..... ۴

۱-۲-۱- TDM..... ۵

۱-۲-۲- FDM..... ۶

۱-۲-۳-WDM..... ۷

۱-۳- شکل موجهای مورد استفاده مدولاسیون در ارتباطات..... ۹

۱-۴- ابزار شبیه سازی..... ۱۲

۱-۵- هدف پایان نامه..... ۱۲

۱-۶- اهمیت و کاربرد نتایج این پایان نامه ۱۳

فصل دوم: ویژگی های فیبر نوری ،تلفات واثرات غیر خطی..... ۱۵

۲-۱- بررسی اجمالی..... ۱۶

۲-۲- انواع فیبر نوری..... ۱۷

۲-۳- تلفات و پراکندگی..... ۱۸

۲-۳-۱- پراکندگی کروماتیک..... ۲۳

۲-۴- اثرات غیر خطی فیبر نوری..... ۲۴

۲-۴-۱- اثر کِر..... ۲۴

۲-۴-۱-۱- ترکیب چهار موج (FWM)..... ۲۴

۲-۴-۱-۲- مدولاسیون فاز خودی (SPM)..... ۲۸

۲-۴-۱-۳- مدولاسیون فاز متقابل (XPM)..... ۳۰

۲-۴-۲- پراکندگی برانگیخته غیر الاستیک..... ۳۲

۲-۴-۲-۱- تحریک پراکندگی رامان (SRS)..... ۳۲

۲-۴-۲-۲- تجریک پراکندگی برلیون (SBS)..... ۳۴

۲-۵- نمودار چشمی..... ۳۵

فصل سوم:آنالیز و مدلسازی..... ۳۷

۳-۱- اعوجاج شکل موج بواسطه XPM..... ۳۸

۳-۲- مفهوم Walkoff..... ۴۱

۳-۳- رابطه تبدیل مدولاسیون فاز و مدولاسیون شدت..... ۴۲

۳-۴- اعوجاج شدت ناشی از XPM..... ۴۳

۳-۴-۱- تاثیر اعوجاج شدت..... ۴۴

۳-۵- time jitter ناشی از XPM..... ۴۵

فصل چهارم: شبیه سازی مدل..... ۵۰

۴-۱- اساس مدل optiwave ۵۳
۴-۱-۱- قسمت فرستنده ۵۴
۴-۱-۲- قسمت فیبر ۵۷
۴-۱-۳- قسمت گیرنده ۵۸
۴-۲- مدل RZ ۶۰
۴-۳- پیاده سازی مدل در MATLAB ۶۱
۴-۳-۱- بخش فرستنده ۶۲
۴-۳-۲- بخش مدلسازی XPM ۶۳
۴-۳-۲-۱- ایجاد مدولاسیون شدت ۶۳
۴-۳-۲-۲- ایجاد time jitter ۶۴
۴-۳-۳- بخش فیبر ۶۵
۴-۳-۴- بخش گیرنده ۶۵
۴-۴- آنالیز شکل موج RZ ۶۷
فصل پنجم: نتایج ۶۸
۵-۱- نتایج بررسی داده های کانال پراب ، به تنهایی ۶۹
۵-۲- مقایسه نمودار چشمی در سطوح مختلف توان کانال پمپ ۷۰
۵-۲-۱- مقایسه نمودار چشمی در توان کانال پمپ 5mw ۷۰
۵-۲-۲- مقایسه نمودار چشمی در توان کانال پمپ 15mw ۷۱
۵-۲-۳- مقایسه نمودار چشمی در توان کانال پمپ 25mw ۷۱
۵-۲-۴- مقایسه نمودار چشمی در توان کانال پمپ 40mw ۷۲
۵-۳- مقایسه مدل شبیه سازی شده با MATLAB و optiwave ۷۳
۵-۴- آنالیز سیگنال با فرمت NRZ ۷۴
۵-۴-۱- نمودار چشمی برای توان کانال پمپ 5mw ۷۵
۵-۴-۲- نمودار چشمی برای توان کانال پمپ 15mw ۷۵
۵-۴-۳- نمودار چشمی برای توان کانال پمپ 25mw ۷۶
۵-۵- مقایسه مدل شبیه سازی شده با MATLAB و optiwave برای فرمت NRZ ۷۶
۵-۶- آنالیز سیگنال با فرمت RZ ۷۷
۵-۶-۱- مقایسه نمودار چشمی در توان کانال پمپ 5mw ۷۸
۵-۶-۲- مقایسه نمودار چشمی در توان کانال پمپ 10mw ۷۹
۵-۶-۳- مقایسه نمودار چشمی در توان کانال پمپ 15mw ۸۰
۵-۶-۴- مقایسه نمودار چشمی در توان کانال پمپ 20mw ۸۰
۵-۶-۵- مقایسه نمودار چشمی در توان کانال پمپ 25mw ۸۱
۵-۷- مقایسه مدل شبیه سازی شده با MATLAB و optiwave برای فرمت RZ ۸۱
نتیجه گیری و کار در آینده ۸۳
منابع ۸۵

فهرست شکل ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱- مناطق عملکرد فیبر نوری ۳
شکل ۱-۲- روش TDM ۵
شکل ۱-۳- روش FDM ۶
شکل ۱-۴- روش WDM ۷
شکل ۱-۵- فرمت مدولاسیون RZ و NRZ ۱۰
شکل ۱-۶- مقایسه فرمت مدولاسیونRZ و NRZ ۱۰
شکل ۲-۱- فیبر تک مُد ۱۸
شکل ۲-۲- فیبر چند مُد تدریجی و پله ای ۱۸
شکل ۲-۳- تلفات هندسی ۱۹
شکل ۲-۴- پاشندگی مُدی ۱۹
شکل ۲-۵- پاشندگی ماده ای ۲۰
شکل ۲-۶- پاشندگی مُد پلاریزه ۲۰
شکل ۲-۷- پهن شدگی پالس ۲۳
شکل ۲-۸- رابطه تعداد کانال و تعداد عناصر FWM ۲۵
شکل ۲-۹- سیستم سه کاناله و FWM ۲۶
شکل ۲-۱۰- سطح موثر فیبر ۲۷
شکل ۲-۱۱- اثر اغتشاش فرکانسی در SPM ۲۹
شکل ۲-۱۲- تاثیر SRS بر طول موج ۳۳
شکل ۲-۱۳- نمودار چشمی ۳۶
شکل ۳-۱- SMF با طول L و تقسیم شدن به قسمتهای کوچک dz برای آنالیز ۴۶
شکل ۴-۱- شماتیک یک شبکه نوری با فرمت NRZ با نرم افزار optiwave ۵۳
شکل ۴-۲- سیگنال NRZ گوسی شکل ۵۴
شکل ۴-۳- ترکیب دو طول موج ۱۵۵۰،۲ و ۱۵۴۹،۸ نانومتر ۵۵
شکل ۴-۴- طول موج ۱۵۵۰،۲ و ۱۵۴۹،۸ نانومتر پس از عبور از فیلتر ذوزنقه ای ۵۶
شکل ۴-۵- پالس های عبوری از فیبر نوری ۵۷
شکل ۴-۶- پالس های خروجی فرمت NRZ شبکه نوری ۵۸
شکل ۴-۷- نمودار چشمی فرمت NRZ خروجی شبکه نوری ۵۹
شکل ۴-۸- پالس های خروجی فرمت RZ شبکه نوری ۶۰
شکل ۴-۹- نمودار چشمی خروجی فرمت RZ شبکه نوری ۶۰
شکل ۴-۱۰- شکل بلوکی مدل در MATLAB ۶۱
شکل ۴-۱۱- مبدل پلاریزه کننده ۶۲
شکل ۴-۱۲- نمودار چشمی متاثر از SPM و پاشندگی بدون فیلتر ۶۳

شکل ۴-۱۳- نمودار چشمی متاثر از SPM و پاشندگی و کانال پمپ 25mw ۶۴
شکل ۴-۱۴- نتیجه شکل ۴-۱۲ پس از عبور از فیلتر ۶۵
شکل ۴-۱۵- نتیجه شکل ۴-۱۳ پس از عبور از فیلتر ۶۶
شکل ۴-۱۶- شماتیک مدل شبیه سازی شده در MATLAB ۶۶
شکل ۴-۱۷- نمودار چشمی فرمت RZ ۶۷
شکل ۵-۱- نمودار چشمی تک کانال ۶۹
شکل ۵-۲- نمودار چشمی با پاشندگی D=2.7ps/nm-km و توان پمپ 5mw ۷۰
شکل ۵-۳- نمودار چشمی با پاشندگی D=2.7ps/nm-km و توان پمپ 15mw ۷۱
شکل ۵-۴- نمودار چشمی با پاشندگی D=2.7ps/nm-km و توان پمپ 25mw ۷۲
شکل ۵-۵- نمودار چشمی با پاشندگی D=2.7ps/nm-km و توان پمپ 40mw ۷۲
شکل ۵-۶- تاثیر توان بر مقدار time jitter و مقایسه نتایج مدل optiwave با مدل MATLAB ۷۳
شکل ۵-۷- نمودار چشمی فرمت NRZ برای پاشندگی D=17ps/nm-km و توان پمپ 5mw ۷۵
شکل ۵-۸- نمودار چشمی فرمت NRZ برای پاشندگی D=17ps/nm-km و توان پمپ 15mw ۷۵
شکل ۵-۹- نمودار چشمی فرمت NRZ برای پاشندگی D=17ps/nm-km و توان پمپ 25mw ۷۶
شکل ۵-۱۰- تاثیر توان بر مقدار time jitter در فرمت NRZ و مقایسه نتایج مدل optiwave با مدل MATLAB ۷۷
شکل ۵-۱۱- نمودار چشمی فرمت RZ برای پاشندگی D=2.7ps/nm-km و توان پمپ 5mw ۷۹
شکل ۵-۱۲- نمودار چشمی فرمت RZ برای پاشندگی D=2.7ps/nm-km و توان پمپ 10mw ۷۹
شکل ۵-۱۳- نمودار چشمی فرمت RZ برای پاشندگی D=2.7ps/nm-km و توان پمپ 15mw ۸۰
شکل ۵-۱۴- نمودار چشمی فرمت RZ برای پاشندگی D=2.7ps/nm-km و توان پمپ 20mw ۸۰
شکل ۵-۱۵- نمودار چشمی فرمت RZ برای پاشندگی D=2.7ps/nm-km و توان پمپ 25mw ۸۱
شکل ۵-۱۶- تاثیر توان بر مقدار time jitter در فرمت RZ و مقایسه مدل optiwave با مدل MATLAB ۸۲

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۲-۱- مقایسه SBS و SRS ۳۵
جدول ۲-۲- اصطلاحات نمودار چشمی ۳۶
جدول ۵-۱- پارامترهای سیستم ، در آنالیز فرمت NRZ ۷۴
جدول ۵-۲- پارامترهای سیستم ، در آنالیز فرمت RZ ۷۸

فصل ۱

مقدمه

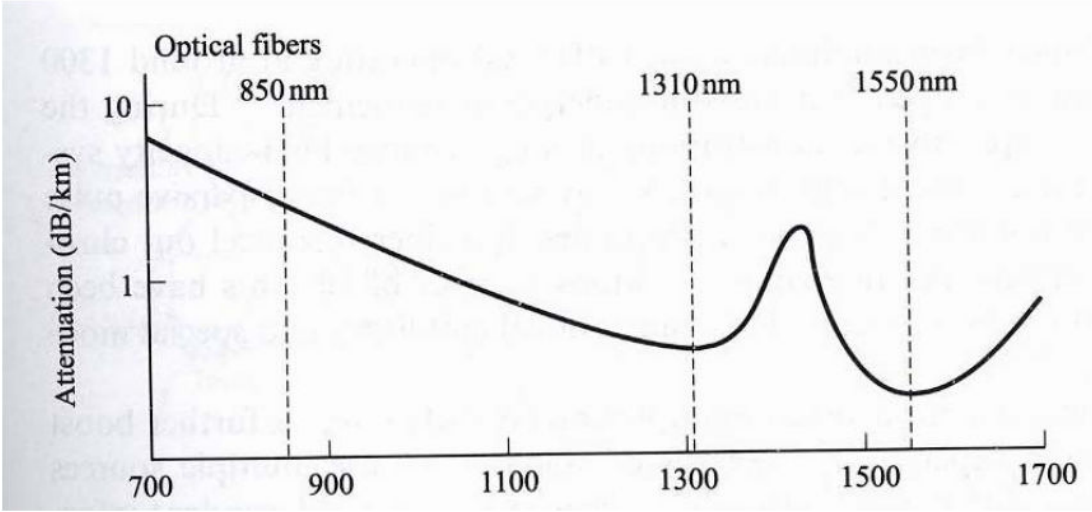
پیشگفتار

از روزگاران کهن ، همواره نیاز به برقراری ارتباط وجود داشته است و این نیاز همـواره راه را بـرای اختـراع فناوری هایی ، که به مردم اجازه برقراری ارتباط در مسافت های طولانی را بدهد، بوجود آورده است. همراه بـا ایـن نیاز ، نیاز به ارسال اطلاعات بیشتر در سطوح بالاتر اجتناب ناپذیر شد . با اختراع ارتباطات الکتریکـی بـرآوردن ایـن نیازها امکان پذیر شده است. در سیستمهای مخابرات الکتریکی اطلاعات یا داده ها با قرار گرفتن بر روی یک مـوج الکترومغناطیسی سینوسی به نام حامل در کانال مخابراتی انتقال می یابند. اندازه اطلاعـاتی کـه مـی تـوان فرسـتاد بستگی مستقیم به فرکانس حامل دارد. افزایش فرکانس حامل از نظر تئوری ، پهنای باند انتقـال موجـود را افـزایش می دهد و بنابراین ظرفیـت اطلاعـاتی بزرگتـری را فـراهم مـی کنـد. بنـابراین در سیـستمهای مخـابراتی تـدریجاً فرکانسهای بالاتر (طول موج های کوتاهتر) بکار گرفته شدند تا پهنای باند یا ظرفیت اطلاعات بیشتری بدست آیـد. که این طول موج دوره ارتباطات نوری را به ارمغان می آورد که از طریق آن مقدار زیادی از اطلاعات با نرخ ارسـال بسیار بالا داده ها ، همچون ۱۰ Gb/s را می توان به دست آورد.

۱-۱- سیستمهای فیبر نوری

اگرچه نرخ انتقالهای بزرگ تا ۱۰۰Mb/s بدست آمد ، اما فاصله تکرار دردسر ساز شد. که محدودیت های ناشی از تکرار فاصله با اختراع لیزر و فیبرهای نوری حل شد. با وجود این ، استفاده از فیبرهای نوری باعث تلفاتی بزرگ تا ۱۰۰۰ dB/Km می شد . سپس مشخص شد که تلفات می تواند به کمتر از ۲۰ dB/Km برسد، چنانچه در ناحیه طول موج ۱ میکرومتر بکار گرفته شود. بنابراین ترکیبی از منابع لیزری و دست یافتن به فیبرهای با تلفات کم ، دنیای ارتباطات نوری امکان پذیر و جذاب ساخت.

سه منطقه عملکرد اصلی در فیبرهای نوری وجود دارد که در شکل ۱-۱ نشان داده شده است.



شکل ۱-۱- مناطق عملکرد فیبر نوری

فیبرهای نوری نسل اول در ۸۵۰ نانومتر عمل می کردند ، استفاده از GaAs اساس کار منابع نوری ، آشکارساز نوری سیلیکون و فیبرهای چند حالته[1] بود. اما ظرفیت آنها به علت پراکندگی ماده ای[2] و تلفات فیبر، محدود بود. ظرفیت آنها در محدوده ۴۵ - ۱۴۰ مگا بایت بر ثانیه و تکرارکننده با فاصله ۱۰ کیلومتر بود. بنابراین تلفات پایین ، پاشندگی پایین پنجره ۱۳۰۰ نانومتر در ارتباطات تلفنی با حجم زیاد در مسافت های طولانی انتقال و تکرار کننده کمتر، بیشتر استفاده می شود.که نرخ بیت ۲،۵ Gb/s و تکرار کننده های با

[1] multimode
[2] intermodal

فاصله ۴۰ کیلومتر بوجود می آورد. در مورد شبکه LAN ، هر دو حالت تک مود[3] و فیبرهای چند حالته استفاده می شود که فراهم کردن ظرفیت ۱۰ تا Mb/s ۱۰۰ بیش از ۵۰۰ متر تا ده ها کیلومتر سبب می شود [۲]. کمترین تضعیف در فیبر در ۱۵۵۰ نانومتر ارائه شده ، اما در این حالت پراکندگی سیگنال زیاد است. حل این مشکل توسط فیبرهای با پاشندگی انتقال یافته انجام شد. بنابراین برای بالا بردن ظرفیت لینک های راه دور و لینک های انتقال زیر دریا ، این طول موج عامل بسیار مناسبی بود [۳]. که نرخ انتقال بدست آمده Gb/s ۱۰ است. علاوه بر این ، تقویت کننده های نوری نقش مهمی برای افزایش ظرفیت ایفا کردند. EDFA به طور گسترده ای در ۱۵۵۰ نانومتر استفاده می شود. با WDM[4] می توان ظرفیت انتقال فیبر نوری را باز هم افزایش داد . در این روش از منابع متعدد نور که طول موج هریک اندکی با دیگری تفاوت می کند برای انتقال چند سیگنال مختلف بر روی همان فیبر استفاده می شود.

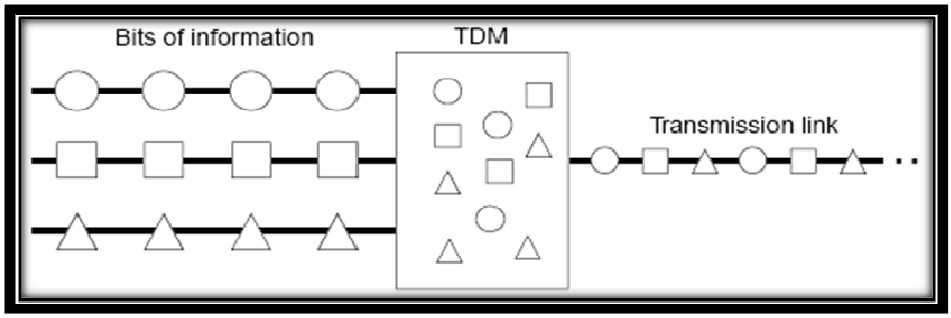
۱-۲- دنیای Multiplexing

بمنظور بهبود و بررسی مزایای استفاده از ظرفیت بالای ارائه شده توسط سیستم های ارتباطی نوری ، Multiplexing متشکل از ترکیب چند طول موج که بر روی یک فیبر در ناحیه ۱۳۰۰-۱۶۰۰ نانومتر از طیف نوری است بوجود می آید. با اختراع لیزر با پهنای بسیار باریک ، کانالهای بیشتری را می توان بر روی همان فیبر انتقال داد که پایه ای برای DWDM[5] شده است.از اجزای اصلی سیستم DWDM ، Multiplexer در نقطه پایان ارسال و Demultiplexer در نقطه شروع دریافت هستند. درMultiplexer طول موج های مختلف با هم ترکیب و پس از ارسال با دریافت Demultiplexer از هم جدا می شوند .در زیر روش های مالتی پلکسینگ نوری بطور خلاصه بیان شده است:

[3] single mode
[4] Wavelengh Division Multiplexing
[5] Dense Wavelength Division Multiplexing

TDM[6]-۱-۲-۱

TDM روشی است که برای افزایش ظرفیت خطوط انتقال صدا (خطوط تلفن) ایجاد شد. تا پیش از ایجاد این روش هر تماس تلفنی نیاز به خط واسط مخصوص به خود داشت و بنابراین کار، بسیار پر هزینه و غیر قابل گسترش می نمود.با ایجاد این روش و پیاده سازی آن امکان بر قراری چند تماس همزمان بر روی یک خط واسط بوجود آمد. TDM به این صورت است که در آن هر بازه از زمان انتقال به قطعات کوچک تقسیم شده و هر کدام از این قطعات به انتقال داده ی مربوط به یکی از خطوط اختصاص می یابد. این روش به صورت شماتیک در شکل ۱-۲ ، نشان داده شده است.



شکل ۱-۲- روش TDM

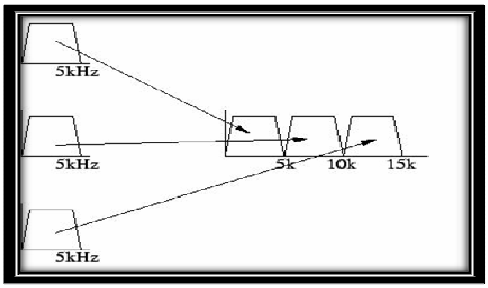
برای استفاده از TDM بایستی سیگنال ها را با استفاده از ادوات الکترونیکی مالتی پلکس کرد و این امر ما را دچار محدودیت سرعت کلاک در مدارهای الکترونیکی خواهد نمود. در حال حاضر سرعت کلاک های ۱۰Gbps و ۴۰Gbps، سرعت های دست یافتنی در ادوات الکترونیکی هستند که دومی گران بوده و دارای محدودیت های زیادی نیز می باشد. بنابر این در یک ظرفیت انتقال پایین محدود خواهیم شد که به هیچ وجه در اندازه های توانایی انتقال بالای

[6] Time Division Multiplexing

یـک فیبـر نـوری نیـست. بـه ایـن ترتیـب سـرعت هـای انتقـال بـالاتر از ایـن، یعنـی Gbps ۱۶۰ و بیـشتر از عهده TDM خارج است.

FDM[7] -۲-۲-۱

در سیـستم هـای انتقـال سـیمی و رادیـویی ، یکـی از روش هـای مـالتی پلکـس کـردن کـه بـسیار مـورد اسـتفاده اسـت، روش FDM اسـت. در ایـن روش پهنـای بانـد فرکانـسی خـط انتقـال بـه چنـدین بـازه تقـسیم شـده و در هـر کـدام از ایـن بـازه هـا یکـی از سـیگنال هـا قـرار داده مـی شـود. ایـن روش بـه شکل ساده ای در شکل ۱-۳، نمایش داده شده است :



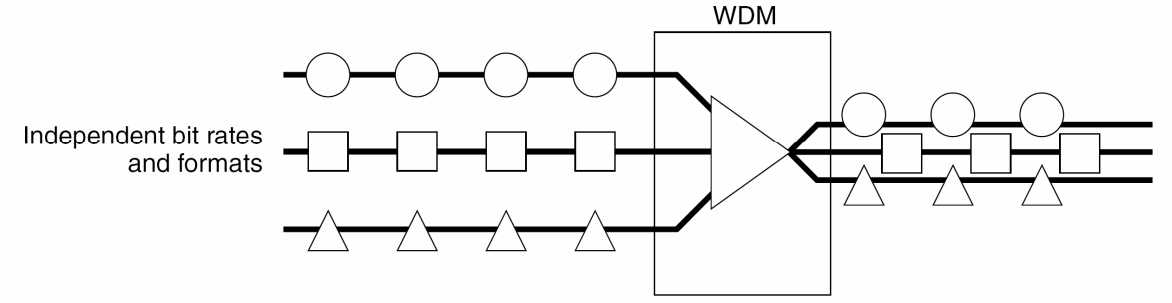
شکل ۱-۳- روش FDM

امـا از آنجاییکـه در مهندسـی فیبـر نـوری در حـوزه فرکـانس بیـشتر از اصـطلاح طـول مـوج بـه جـای فرکـانس بهـره گرفتـه مـی شـود، بنـابراین بـه مـالتی پلکـس حـوزه فرکـانس، مـالتی پلکـس طـول موج می گویند.

[7] **Frequency Division Multiplexing**

WDM -۳-۲-۱

در این روش، به هر یک از سیگنالهای نوری ورودی ، یک طول موج و یا یک فرکانس خاص داده می‌شود و سپس تمام سیگنال‌ها بر روی یک فیبر ارسال می‌شوند. از آنجا که هر یک از این طول موج‌ها مستقل از دیگری هستند و بر روی هم هیچ گونه تأثیری ندارند، این امکان را به ISP ها می‌دهند تا از امکانات موجود شبکه به طور بهینه بهره بگیرند و بتوانند از تکنولوژی‌های مختلف استفاده کنند. در واقع WDM ، چندین سیگنال نوری را ترکیب می‌کند و آنها را به‌صورت یک مجموعه، تقویت و ارسال می‌کند که این امر موجب افزایش ظرفیت خواهد شد. هر یک از این سیگنالها می‌توانند سرعت‌های مختلف و فرمت‌های گوناگونIP، ATM و SONET را داشته باشند. شکل ۱-۴ ، نمای شماتیک سیستم WDM را نشان می دهد.



شکل ۱-۴- روش WDM

اما آنچه که WDM را این چنین پرارزش و مفید ساخته است، تقویت‌کننده‌هایی هستند که سیگنال نوری را بدون تبدیل به سیگنال الکتریکی تقویت می‌کنند. این تقویت‌کننده‌ها پهنای باند مشخصی دارند و در این پهنای باند می‌توانند تا ۱۰۰ طول موج را تقویت کنند.

تقویت‌کننده‌های EDFA[8] از جملهٔ این تقویت‌کننده‌ها هستند که به ترتیب در باند طول موجی ۱۵۶۰- ۱۵۳۰ و ۱۵۲۸-۱۶۱۰ نانومتر استفاده می‌شوند.

گام بعدی افزایش ظرفیت، استفاده همزمان از دو روش WDM و TDM است. در روش TDM، افزایش ظرفیت با افزایش سرعت بر روی یک خط ارتباطی انجام می‌شود. در حالی که در روش WDM ، این کار با استفاده از طول موجهای مختلف و در واقع افزایش خطوط ارتباطی صورت می‌گیرد. بنابراین با ترکیب این دو روش، می‌توان به ظرفیت بالاتر بر روی یک فیبر دست یافت و این امکان را همواره فراهم آورد تا با پیشرفت تکنولوژی ساخت قطعات الکترونیکی ، آن را به طور موثری در افزایش سرعت شبکه های نوری به کار گرفت.

- اهمیت WDM در سیستمهای مخابراتی

اگر نگاهی به مشکلات فعلی صنعت مخابرات، به خصوص در زمینهٔ سرویس‌دهی به کاربران بیندازیم، به اهمیت WDM بیشتر پی خواهیم برد. اولین چالش پیش روی صنعت مخابرات، افزایش روز افزون تقاضا برای سرعت‌های بالاتر و در نتیجه پهنای باند بیشتر است. دومین چالش اساسی موجود، تکنولوژی‌های گوناگونی است که برای عملیاتی کردن و استفاده از انواع شبکه به کار می‌روند IP ، ATM و SONET از جملهٔ این موارد هستند که به طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند و هر یک مزایای خاص خود را دارا هستند؛ اما هر یک به تجهیزاتی برای تبدیل به یکدیگر نیاز دارند.با استفاده از شبکه‌های نوری و روش WDM می‌توان تا حد زیادی این مشکلات را برطرف کرد. با استفاده از این روش، می‌توان به پهنای باندی تا ۱۶۰۰ گیگابیت در ثانیه دست یافت که با استفاده از این پهنای باند، می‌توان بیش از ۳۰ میلیون

[8] **Erbium Doped Fiber Amplyfier**

تمـاس تلفنـی را فقـط بـا اسـتفاده از یـک فیبـر منتقـل کـرد و مـشکل تکنولـوژی‌هـای متفـاوت نیـز بـه راحتـی حـل مـی‌شـود. بـا توجـه بـه اینکـه اطلاعـات بـر روی فیبـر بـا اسـتفاده از روش WDM بـر روی طول موج‌های مختلفـی ارسـال مـی‌شـود کـه مـستقل از یکـدیگر عمـل مـی‌کننـد، لـذا مـی‌تـوان بـه راحتـی انـواع مختلـف تکنولـوژی را در ایـن زمینـه مـورد اسـتفاده قـرار داد و خـدمات مختلفـی نظیـر صـوت، تصویر، اطلاعات و مولتی مدیا را به کاربران ارایه کرد.

۱-۳- شکل موج های مورد استفاده در ارتباطات

رایج ترین اشکال بیت نوری فرمت NRZ[9] و RZ[10] می باشـد. فرمـت NRZ یـا "بـدون بازگـشت بـه صفر" ، که در آن "۱" ها توسط یـک سـطح نماینـدگی و "۰" هـا توسـط سـطح دیگـر نماینـدگی مـی شـوند. همانطور که در شکل ۱-۵ مشاهده می شود در نوع RZ هر پالس نوری که بیت "۱" را نشان می دهد کوتاهتر از فاصله بیت بوده و دامنه پالس قبل از پایان یافتن زمان بیت به صفر بـر مـی گـردد[۱۸] . ولـی در نـوع NRZ پالس نوری تا پایان زمان بیت ثابت مانده و دامنـه آن در فاصـله بـین بیـت هـا نمـایش دهنـده "۱" بـه صـفر بـر نمی گردد. از مزیت های NRZ کم بـودن پهنـای بانـد پالـسی (نـصف RZ) اسـت. شـکل ۱-۶ نیـز مقایـسه دیگری از ایـن دو فرمـت میباشـد.فرمـت NRZ بـا خـصوصیات سـاده ، هزینـه کـم و رانـدمان طیفـی بـالا در سیستمهای SDH و DWDM استفاده می شود . اما بطور نامطلوبی تحت تاثیر اثرات غیرخطـی مـی باشـد. امـا با توسعه تکنولوژی انتقال ظرفیت بالا در مسافت های طولانی و درخواستهای روزافزون برای نـرخ سـیگنال و فاصله های انتقال بیشتر ، با توجه به شروع استفاده از سیستم انتقـال DWDM نیـاز بـه تکنولـوژی مدولاسـیون نوری جدیدی بود .

[9] Non-Return-to-Zero
[10] Return-to-Zero