دانشكده مهندسي

پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی برق (مخابرات میدان)

بررسي، تحليل و طراحي يك سيستم OADM با استفاده از تداخل سنج ماخ زندر به روش انتشار اشعه نوري دو طرفه (Bi-BPM) جهت كاربرد در مخابرات نوري

به‌كوشش

عبدالله بیات

استاد راهنما

دکتر رحیم غیور

اسفندماه ۱۳۸۷

بسم الله الرحمن الرحيم

به نام خدا

بررسی، تحلیل و طراحی یک سیستم OADM با استفاده از تداخل سنج ماخ زندر به روش انتشار اشعه نوری دو طرفه (Bi-BPM) جهت کاربرد در مخابرات نوری

به کوشش

عبدالله بیات

پایان نامه

ارائه شده به تحصیلات تکمیلی دانشگاه به عنوان بخشی از فعالیت های انجام شده برای اخذ مدرک کارشناسی ارشد

در رشته

مهندسی برق مخابرات (میدان)

از دانشگاه شیراز

شیراز

جمهوری اسلامی ایران

ارزیابی شده توسط کمیته پایان نامه با درجه ی: عالی

دکتر رحیم غیور، استاد بخش مهندسی برق (رئیس کمیته) .....

دکتر حبیب الله عبیری، استاد بخش مهندسی برق .....

دکتر فرزاد مهاجری استادیار بخش مهندسی برق .....

اسفندماه ۱۳۸۷

به نام خدا

اظهارنامه

اینجانب عبدالله بیات (۸۴۰۸۰۲) دانشجوی رشته ی برق- مخابرات گرایش میدان دانشکده ی مهندسی اظهار می کنم که این پایان نامه حاصل پژوهش خودم بوده و در جاهایی که از منابع دیگران استفاده کرده ام، نشانی دقیق و مشخصات کامل آن را نوشته ام. همچنین اظهار می کنم که تحقیق و موضوع پایان نامه ام تکراری نیست و تعهد می نمایم که بدون مجوز دانشگاه دستاوردهای آن را منتشر ننموده و یا در اختیار غیر قرار ندهم. کلیه حقوق این اثر مطابق با آیین نامه مالکیت فکری و معنوی متعلق به دانشگاه شیراز است.

عبدالله بیات

سپاسگزاری

در آغاز برخود لازم مي‌دانم تا از كليه عزيزاني كه در طول تحصيل همواره راهنما و مشوق من بوده‌اند، تقدير و تشكر نمايم. از استاد راهنماي ارجمند، جناب آقاي دكتر رحيم غيور كه همواره مرا از دانش و اخلاق پسنديده خويش بهره‌مند ساخته‌اند و بدون راهنمايي ايشان پيمودن اين مسير ناممكن مي‌نمود، كمال امتنان را دارم. از زحمات اساتید مشاور گرانقدر جناب آقایان دکتر حبیب الله عبیری و جناب آقای دکتر فرزاد مهاجری سپاسگزاری می کنم.

از خانواده ام که در طول تحصیل همواره حامی من بودند قدردانی کرده و از خدای متعال آرزوی سعادت وسلامت برایشان دارم.

از دوستان بزرگواری که در طول تحصیل مرا مورد لطف خود قرار داده و از راهنمایی های ایشان استفاده کردم مخصوصاً آقایان علیرضا یاحقی و سهراب صفوی کمال تشکر را دارم.

چکیده

بررسي، تحليل و طراحي يك سيستم OADM با استفاده از تداخل سنج ماخ زندر به روش انتشار اشعه نوري دو طرفه (Bi-BPM) جهت كاربرد در مخابرات نوري

به کوشش

عبدالله بیات

روش انتشار نور (BPM) متداول بطور وسیعی در محاسبه انتشار میدان های نوری جلو رونـده بکـار بـرده شده است. هرچند این روش هنگامی که ضریب شکست بطور مناسبی به آهستگی در راستای انتشار تغییر کند آنچنانکه انعکاسات ایجاد شده قابل صرفنظر کردن باشند، قابل استفاده می باشد. امـا بسـیاری از ادوات نـوری شامل ناپیوستگی هايي از موجبرهای مختلف و ساختارهای grating در راستای انتشار میدان نوری خود مـی باشند. بنابراین یک روش دوطرفه که تزویج میان موج های رفت و برگشت را در نظر بگیرد مورد لزوم است. به این منظـور از روش Bi-BPM اسـتفاده مـی کنـیم. از تقریـب pade بـرای افـزایش سـرعت محاسـبات و از branch cut برای مدل سازی مودهای ناپایدار استفاده شده است.

تکنیک OADM (Optical Add Drop Multiplexer) یکـی از اجـزاء حیـاتی و بسـیار مهـم بـرای توسعه سیستم WDM (Wavelength Division Multiplexing) در تکنولـوژی مخـابرات نـوری مـی باشد. ساختار OADM تحلیل شده در این پایان نامـه یـک سـاختار مـاخ زنـدری اسـت کـه در بازوهـای آن grating بطور متقارن قرار داده شده است. grating استفاده شده دارای یک پروفایل گوسی با مقدار dc صفر و dn=.0003 و ۳۵۰۰۰ پریود می باشد. با استفاده از این پروفایل، sidelobe ها در دو طـرف منحنـی تـوان بازگشتی حذف و همشنوايي به زیر ٤٠dB- می رسد که در مقایسه با نتایج منابع دیگر بهبود نسبتاً خـوبی را نشان می دهد.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه

۱-۱- ظرفیت فیبر نوری.....۲

۱-۲- OADM ۴

۱-۳- ساختارهای OADM ۵

۱-۴- موجبر صفحه ای.....۱۳

۱-۴-۱- معادلات ماکسول.....۱۴

۱-۵- معادلات موج.....۱۵

۱-۶- روش حل معادلات موج در ساختار های دی الکتریک.....۱۹

فصل دوم: تئوری مود تزویج شده

۲-۱- بدست آوردن معادلات مود تزویج شده بر اساس تئوری آشفتگی.....۲۵

۲-۲- کوپلر هم جهت.....۳۳

۲-۳- بدست آوردن ثابت تزویج کوپلر هم جهت.....۳۶

۲-۴- کوپلر غیر هم جهت.....۳۷

فصل سوم: روش اشعه نوری

۳-۱- روش انتشار اشعه نوری تفاضل محدود.....۴۴

۳-۱-۱- روش انتشار اشعه نوری عددی.....۴۵

۳-۱-۲- تحلیل زاویه باز با استفاده از عملگر تقریب pade.....۴۶

۳-۱-۳- روش چند مرحله ای.....۵۲

۳-۱-۴- محاسبه مستقیم میدان الکتریکی.....۵۵

۳-۱-۵- پیاده سازی روش FD-BPM برای ساختارهایی با زاویه بزرگ.....۶۲

۳-۲- روش انتشار اشعه نوری دو طرفه.....۶۵

۳-۲-۱- BPM بر اساس ماتریس انتقال.....۶۶

۳-۲-۱-۱- بدست آوردن ماتریس های انتقال و انتشار.....۶۷

۳-۲-۲- BPM بر اساس عملگر Scattering.....۷۱

۳-۲-۳- محاسبه ماتریس های L_j و P_j.....۷۶

۳-۳- مودهای محو شونده ۷۸
۳-۳-۱- branch cut ۸۰
۳-۳-۲- ضرایب pade اصلاح شده ۸۲
۳-۴- مرزهای جاذب ۸۳

فصل چهارم: نتایج تحلیل ادوات نوری

۴-۱- بررسی نرم افزار BPM ۹۰
۴-۱-۱-خم ۹۴
۴-۱-۲- S-bend ۹۶
۴-۱-۳- کوپلر ۹۸
۴-۱-۴- ماخ زندر ۱۰۱
۴-۲- بررسی نرم افزار Bi-BPM ۱۰۴
۴-۳- ویژگی های Bragg grating ۱۱۴
۴-۳-۱- قدرت grating ۱۱۴
۴-۳-۲- طول grating ۱۲۰
۴-۳-۳- پروفایل ضریب شکست grating ۱۲۲
۴-۳-۳-۱- پروفایل سینوسی ۱۲۳
۴-۳-۳-۲- پروفایل Sinc ۱۲۵
۴-۳-۳-۳- پروفایل Blackmann ۱۲۷
۴-۳-۳-۴- پروفایل گوسی ۱۲۹

۴-۳-۳-۵- پروفایل Kaiser ۱۳۱
۴-۳-۳-۶- مقایسه پروفایل ها ۱۳۳
۴-۴- طراحی OADM ۱۳۹
۴-۴-۱- طراحی grating ۱۳۹
۴-۴-۲- طراحی کوپلر۳dB ۱۴۵
۴-۴-۳- OADM ۱۴۶

فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات

۵-۱- نتیجه گیری ۱۵۶
۵-۲- پیشنهادات ۱۵۶

منابع و مراجع ۱۵۸

فهرست جداول

عنوان

صفحه

جدول۴-۱: مقایسه پروفایل های مختلف.....۱۳۶

فهرست شكلها و تصاوير

عنوان

صفحه

شكل ۱-۱: ساختار يك سيستمWDM [۱]..... ۳

شكل ۱-۲: ايده اصلي يك OADM..... ۴

شكل ۱-۳: ساختار يك grating-frustrated coupler..... ۶

شكل ۱-۴ : ساختار يك grating-assisted coupler..... ۶

شكل ۱-۵: ساختار يكOADM با grating در دو هسته كوپلر..... ۷

شكل ۱-۶: يك ساختار OADM با تداخل سنج ماخ زندر ودو BRAGG

GRATING[۲]..... ۷

شكل ۱-۷: ساختاري براي كاهش همشنوايي[۲]..... ۹

شكل ۱-۸: OADM با دو سيركولاتور[۲]..... ۱۰

شكل ۱-۹: يك سيركولاتور۶ پورتي با يك grating [۳]..... ۱۱

شكل ۱-۱۰: يك سيركولاتور۶ پورتي با دو grating[۳]..... ۱۱

شكل ۱-۱۱: رزوناتور ميكروررينگ[۲]..... ۱۲

شكل ۱-۱۲: موجبر صفحه‌اي سه لايه..... ۱۳

شکل ۱-۱۳: رسم f بر حسب b به ازای V=۴..... ۲۲

شکل ۱-۱۴: منحني آشفتگي براي مود TE..... ۲۳

شکل ۲-۱: نمايش سطح مقطع و فاصله موجبرهاي نوري تزويج شده..... ۲۵

شکل ۲-۲: توضيح ثابت تزويج C_{12} [۴]..... ۲۸

شکل ۲-۳: توزيع ضريب شکست N^2 موجبر تزويج شده، اختلاف توزيع ضريب

شکست $\left(N^2 - N_P^2\right)$ و توزيع ميدان الکتريکي E_P..... ۲۹

شکل ۲-۴: تغييرات توان نوري در کوپلر جهتي (الف) $F = 1$ ب) $F = 0.2$ [۴]..... ۳۵

شکل ۲-۵: کوپلر جهتي که شامل دو موجبر صفحه‌اي مي‌باشد..... ۳۶

شکل ۲-۶: موجبر نوري Bragg[۴]..... ۳۹

شکل ۲-۷: مشخصه انعکاس و انتقال موجبر Bragg با $K_G L = 2$..... ۴۲

شکل ۳-۱: مقادير واقعی وتقريبی $\sqrt{1+X}$..... ۵۹

شکل ۳-۲: طرح يک ساختار با چند ناپيوستگي[۱۶]..... ۶۶

شکل ۳-۳: نمايش انتشار ميدان جلورونده و بازگشتي در يك موجبر با چندين

ناپيوستگي..... ٦٧

شکل ۳-۴: نمايش محيطPML..... ۸۶

شکل ۴-۱: نتايج حاصل از BPM و تئوري براي مود اصلي موجبر صفحه اي..... ۹۱

شکل ۴-۲: ساختار دو کوپلر موازی..... ۹۲

شکل ۴-۳: نمايش توان خروجی نرماليزه شده تئوري و شبيه سازي دو کوپلر موازی براي طول

تزويج ثابت بر حسب طول موج..... ۹۳

شکل ۴-۴: نمايش توان خروجی نرماليزه شده تئوري و شبيه سازي دو کوپلر موازی

براي طول موج ثابت بر حسب طول کوپلر..... ۹۴

شکل ۴-۵: نتایج حاصل از شبیه سازي ساختار bend براي الف): $\theta = 8$ ب): $\theta = 4$ ۹۵
شکل ۴-۶: الف): ساختار ب): نمایش توزیع میدان الکتریکي براي s-bend..... ۹۷
شکل ۴-۷: ساختار یک کوپلر با s-bend..... ۹۸
شکل ۴-۸: الف): توزیع میدان الکتریکي کوپلر dB ۳ ب): نمایش میدان های ورودی و خروجی کوپلر dB ۳ ..... ۱۰۰
شکل ۴-۹: نمایش فاز میدان الکتریکي خروجی کوپلر dB ۳..... ۱۰۱
شکل ۴-۱۰: ساختار ماخ زندر..... ۱۰۲
شکل ۴-۱۱: الف): توزیع میدان الکتریکي ب): میدان های الکتریکی ورودی و خروجی ماخ زندر..... ۱۰۳
شکل ۴-۱۲: مقایسه BPM معمولی و $Bi-BPM$ ۱۰۴
شکل ۴-۱۳: شکل موج بازگشتی در ورودی کوپلر..... ۱۰۵
شکل ۴-۱۴: ساختار ارائه شده در[۲۵]..... ۱۰۶
شکل ۴-۱۵: بررسی نرم افزار Bi-BPM با دیگر روش ها الف): نرم افزار این پایان نامه ب): منابع دیگر[۲۵]..... ۱۰۷
شکل ۴-۱۶: منحنی ضریب توان بازگشتی ساختار ارائه شده در[۲۵] برای درجات مختلف pade..... ۱۰۸
شکل ۴-۱۷: ساختار ارائه شده در[۲۶]..... ۱۰۹
شکل ۴-۱۸: نتایج حاصل از الف): BPM و ب): مقاله ارائه شده در[۲۶]..... ۱۱۰
شکل ۴-۱۹: توزیع میدان الکتریکي در ساختار شکل (۴-۱۷) در طول موج ۰/۸ میکرومتر الف): میدان کل ب): میدان بازگشتي ج): میدان جلو رونده..... ۱۱۱
شکل ۴-۲۰: موداصلي TE_0 یک موجبر نامتقارن..... ۱۱۲

شکل ۴-۲۱: نتایج حاصل از شبیه سازی T ، R و L بر حسب طول موج الف): *Bi – BPM* این پایان نامه و ب): [۲۷]..... ۱۱۳

شکل ۴-۲۲: اثر کاهش *dn* بر منحني توان بازگشتي بر حسب طول موج λ ۱۱۵

شکل ۴-۲۳: اثر کاهش *dl* بر روی ضریب توان انعکاسی بر حسب طول موج در ساختار ارائه شده در مرجع[۲۶]..... ۱۱۷

شکل ۴-۲۴: اثر تغییرات L_1 بر منحنی توان بازگشتی بر حسب طول موج در ساختار ارائه شده در مرجع [۲۵]..... ۱۱۸

شکل۴-۲۵: اثر تغییرات L_1 بر منحنی توان بازگشتی بر حسب طول موج در ساختار ارائه شده در مرجع [۲۶]..... ۱۱۹

شکل ۴-۲۶: اثر تعداد پریودها بر منحني توان انعکاسی بر حسب طول موج برای ساختار ارائه شده در [۲۵]..... ۱۲۱

شکل ۴-۲۷: اثر افزایش تعداد لایه ها بر منحني توان بازگشتي برای ساختار ارائه شده در[۲۶]..... ۱۲۲

شکل ۴-۲۸: الف): منحنی تغییرات ضریب شکست پروفایل سینوسی ب): منحني ضریب توان بازگشتی يك grating سینوسي بر حسب طول موج..... ۱۲۴

شکل ۴-۲۹: منحني تغییرات ضریب شکست پروفایل *Sinc* الف) با مقدار *dc* غیر صفر ب) با مقدار *dc* صفر..... ۱۲۵

شکل ۴-۳۰: منحني توان انعکاسی پروفایل *Sinc* با مقدارالف): *dc* غیر صفرب): *dc* صفر..... ۱۲۶

شکل ۴-۳۱: منحني تغییرات ضریب شکست پروفایل *Blackmann* با مقدار الف): *dc* غیرصفر ب): *dc* صفر..... ۱۲۷

شکل ۴-۳۲: منحني توان بازگشتي ضريب شكست پروفايل *Blackmann* با مقدارالف): *dc* غيرصفرب): *dc* صفر.....۱۲۸
شکل ۴-۳۳: منحني تغييرات ضريب شكست پروفايل گوسي الف): با مقدار *dc* غير صفرب): با مقدار *dc* صفر.....۱۲۹
شکل ۴-۳۴: منحني توان بازگشتي ضريب شكست پروفايل گوسي الف):با مقدار *dc* غير صفرب): با مقدار *dc* صفر.....۱۳۰
شکل ۴-۳۵: منحني تغييرات ضريب شكست پروفايل *Kaiser* با مقدارالف): *dc* غير صفرب): *dc* صفر.....۱۳۱
شکل ۴-۳۶: منحني توان بازگشتي ضريب شكست پروفايل *Kaiser* بر حسب طول با مقدار (الف): *dc* غير صفر(ب): *dc* صفر.....۱۳۲
شکل ۴-۳۷: مقايسه توان انعكاسی پروفايل ها با مقدار dc صفر.....۱۳۴
شکل ۴-۳۸: مقايسه توان انعكاسی (dB) پروفايل ها با مقدار dc صفر.....۱۳۵
شکل ۴-۳۹: بررسی تأثير تغيير *dn* بر منحنی توان بازگشتی پروفايل گوسی با مقدار dc صفر.....۱۳۷
شکل ۴-۴۰: بررسی تأثير تغيير تعداد پريود بر منحنی توان بازگشتی پروفايل گوسی با مقدار dc صفر.....۱۳۸
شکل ۴-۴۱: منحني توان بازگشتي براي *dn* متفاوت در ساختار پروفايل گوسی.....۱۳۸
شکل ۴-۴۲: منحنی ضريب توان بازگشتی برای مقادير متفاوت dn و np.....۱۳۹
شکل ۴-۴۳: منحني ضرايب توان بازگشتی و انتقالی grating با ۳۵۰۰۰ پريود و $dn = .0003$.....۱۴۰

شکل ۴-۴۴: منحني ضرایب توان بازگشتی و انتقالی(dB) grating با ۳۵۰۰۰ پریود و $dn = .0003$ ۱۴۱
شکل ۴-۴۵: نمایش شکل میدان های ورودی، بازگشتی و انتقالی grating با ۳۵۰۰۰ پریودو $dn = .0003$ در طول موج Bragg ۱۴۲
شکل ۴-۴۶: نمایش میدان الکتریکی در کل ساختار در طول موج Bragg ۱۴۳
شکل ۴-۴۷: نمایش شکل میدان های ورودی، بازگشتی و انتقالی grating با ۳۵۰۰۰ پریود و $dn = .0003$ در طول موج گذر ۱۴۴
شکل ۴-۴۸: نمایش میدان الکتریکی در کل ساختار در طول طول گذر ۱۴۵
شکل ۴-۴۹: نمایش میدان الکتریکی ساختار ماخ زندر با بازوهای طولانی ۱۴۶
شکل ۴-۵۰: ساختار OADM ماخ زندری ۱۴۷
شکل ۴-۵۱: ضریب توان پورت های خروجی وDrop بر حسب طول موج ۱۴۸
شکل ۴-۵۲: نمایش عمل Drop در طول موج ۱/۵۵ میکرومتر ۱۴۹
شکل ۴-۵۳: نمایش میدان های جلو رونده برای عملDrop ۱۵۰
شکل ۴-۵۴: نمایش میدان های بازگشتی برای عمل Drop ۱۵۱
شکل۴-۵۵: نمایش عبور سیگنال از بازوهای ماخ زندر و رسیدن به پورت Output در طول موج خارج از باند غیر گذار grating ۱۵۲
شکل۴-۵۶: نمایش عمل Add در طول موج ۱/۵۵ میکرومتر ۱۵۳

فصل اول

مقدمه

سير تاريخي ارتباطات نوري

نور از هزاران سال پيش براي ارتباطات ديد مستقيم مورد استفاده قرار گرفته است. با افزايش جمعيت كره زمين و پيشرفت علم، دانشمندان بر آن شدند كه محيط انتقال مناسب با نيازها را فراهم نمايند، لذا در سال ۱۹۶۰ ليزر اختراع گرديد و بعد اولين فيبرنوري با تلفات زير ۲۰db/km در آمريكا توسط corning glass ساخته شد. در ادامه پيشرفتهاي نوري، در سال ۱۹۷۶ دانشمندان موفق شدند ليزر با طول عمر بالا را معرفي نمايند كه به اين ترتيب سيستمهاي مخابرات نوري به طور جدي مطرح شد. بعد از آن سالهاست كه سيستمهاي نوري به طور تجاري مورد استفاده قرار گرفتند و روز به روز گسترش پيدا كردند.

۱-۱- ظرفيت فيبرنوري

مهمترين مزيتي كه سيستمهاي نوري را از ديگر سيستم ها متمايز مي كند ارسال اطلاعات با سرعت بالا توسط اين سيستمها مي باشد. ايجاد ظرفيت حدود ۱۷۰۰ ترابيت بر ثانيه (۱/۷ ميليون گيگابيت بر ثانيه) توسط يك كابل نوري خيلي دور از انتظار نيست. براي رسيدن به چنين ظرفيتي به تكنولوژي بسيار فشرده DWDM[1] با تعداد كانال نزديك به ۱۰۰۰ احتياج داريم كه نرخ ارسال داده آن در هر كانال در حدود ۴۰Gb/s يا بيشتر بوده و علاوه بر اينها بايستي امكان ارسال راه دور و ضريب اطمينان بالا فراهم باشند. DWDM شامل عمل مولتي

[1] DWDM: Dense Wavelength Division Multiplexer