دانشکدهٔ مهندسی برق و کامپیوتر

گروه مهندسی الکترونیک

پایان‌نامه

برای دریافت درجهٔ کارشناسی ارشد در رشتهٔ مهندسی برق- الکترونیک (مدارات مجتمع نوری)

عنوان

سوئیچ تمام نوری مبتنی بر پلاریزاسیون

استادان راهنما

دکتر علی رستمی

دکتر کوزه کنانی

استاد مشاور

دکتر مروج فرشی

پژوهش‌گر

وحید زمان زاد قویدل

مهر ۸۷

تقدیر و تشکر

حمد و سپاس خداوند را که به نام او کار را آغاز کردیم و با یاریش به پایان رساندیم. در اینجا بر خود وظیفه می دانم تا از زحمات و راهنمایی های بی دریغ استادان راهنمای ارجمند جناب آقای دکتر علی رستمی و آقای دکتر کوزه کنانی که در تمام مراحل این تحقیق یاری گر و پشتیبان این جانب بودند، تشکر و قدر دانی نمایم.

همچنین از استاد مشاور محترم جناب آقای دکتر مروج فرشی به خاطر راهنماییهای گرانقدرشان کمال تشکر و قدر دانی را دارم.

از کلیه استادان بزرگوار گروه مهندسی الکترونیک دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه تبریز که در طول تحصیل در کلاس درس ایشان افتخار شاگردی را داشتم، قدردانی و تشکر می نمایم.

از پدر و مادر عزیزم هم که مرا در انجام این تحقیق بسیار یاری کرده اند و بنده در این مدت تحمل کرده اند قدر دانی و تشکر ویژه دارم و از خداوند منان خواستار طول عمر برای این دو عزیز را دارم.

از دوستان عزیزم جناب آقای دکتر حسن رسولی، جناب مهندس حامد باغبان و جناب مهندس امیر کریم پور که همواره مشوق من بوده اند، تشکر وقدردانی می کنم و از خدای متعال برای ایشان سعادت و بهروزی طلب می نمایم.

نام خانوادگی: **زمانزاد قویدل** نام: **وحید**

عنوان پایان نامه: **سوئیچ تمام نوری مبتنی بر تغییر پلاریزاسیون**

استادان راهنما: **دکتر علی رستمی و دکتر ضیاء الدین کوزه کنانی**

استاد مشاور: **دکتر مروج فرشی**

مقطع تحصیلی: **کارشناسی ارشد** رشته: **مهندسی الکترونیک** گرایش: **مدارات مجتمع نوری**

دانشگاه: **دانشگاه تبریز** دانشکده: مهندسی برق و کامپیوتر

تاریخ فارغ التحصیلی: مهر ۸۷ تعداد صفحه: **۹۵**

کلید واژه: نسبت کنتراست (CR)، تقویت کننده نیمه هادی اپتیکی (SOA)، مدل انتقال ماتریسی (TMM)، سیستم میکرو الکترومکانیکی (MEMS)، حلقه آینه ای غیر خطی (NOLM)، مدولاتور های گین عبوری (XGM)، مدولاتورهای فاز عبوری (XPM)

چکیده

در این طرح پژوهشی سعی شده است که نوع جدیدی از سوئیچ های تمام نوری معرفی شود که به نسبت سوئیچ های تمام نوری که تاکنون معرفی شده است دارای مزایای بسیاری است.

در این طرح سوئیچ معرفی شده دارای توان سوئیچ کردن سیگنالهایی با فرکانس در رنج تراهرتز را دارد،

در این طرح که ابتدا در یک سیستم اینتربند بررسی شده سیگنال پمپ دارای دامنه $۲/٤\times۱۰^{٦}\ V/m$ است، تغییرات ضریب شکست در حدود ۰/۰۳۵ تخمین زده شده نسبت کنتراست برای این حالت حدود ۵۰ به دست آمده است.

برای این سوئیچ زمان جهش برای ورودی پله یعنی زمانی که طول میکشد خروجی به ۹۰٪

خروجی برسد در حدود ۱۰۰ فمتو ثانیه بر آورد شده است.

انرژی پروب در حدود mev ۷۹۵ و انرژی پمپ هم در حدودmev ۷۸۵ است.

به منظور بهینه سازی سوئیچ و افزایش سرعت و کاهش تلفات این سوئیچ را سعی شده تا با سیستمهای اینترسابند سازگار شود که این امر موفقیت آمیز بود و نتایج گزارش شده بسیار چشمگیر بود.

در این حالت توانستیم با اعمال سیگنال کنترل در حدود $۱/۱\times۱۰^{۶} V/m$ توانستیم به تغییرات ضریب شکست قابل توجه در حدود ۰/۰۷ دست پیدا کنیم که یک نتیجه بسیار عالی وقابل توجه است زیرا هم توان سیگنال کنترل بیش از چهار برابر کم شده و هم میزان تغییرات ضریب شکست دو برابر شده است.

با توجه به اینکه زمان میرایی سیستم اینترسابند در مقایسه با سیستم اینتربند بسیار کمتر است، با تغییر تئوری سیستم به قدرت سوئیچ زنی بالا تری دست پیدا کنیم و پهنای پالسهای کنترل را به زیر ۲۰۰ فمتو ثانیه برسانیم و این به معنای افزایش سرعت سوئیچینگ است البته با بکار گیری این سیستم زمان میرایی هم برای ورودی پله کاهش یافته و در مقایسه با حالت قبل توانستیم زمان جهش را به بیش از نصف حالت قبل برسانیم.

فهرست مطالب

پیش گفتار.....۹

بخش اول: بررسی منابع ۱۳

فصل اول: مقدمه.....۱۳

۱-۱ مقدمه.....۱٤

۱-۲ کارهای پیشین انجام شده.....۱٦

فصل دوم: مرور اجمالی انواع سوئیچ های نوری.....۲۰

۲-۱ سوئیچینگ نوری.....۲۱

۲-۲ قوانین کلی سوئیچینگ.....۲۱

۲-۳ روشهای کنترل سوئیچینگ.....۲۱

۲-٤ ویژگیهای مطلوب در یک سوئیچ نوری.....۲۲

۲-۵ مقایسه سوئیچهای نوری.....۲۲

۲-۵-۱ سوئیچ های نوری-الکتریکی-نوری.....۲۲

۲-۵-۲ سوئیچ های نوری کنترل شده به صورت الکترونیکی.....۲۳

۲-۵-۲-۱ آینه های MEMS.....۲٤

۲-۵-۲-۲ کریستال های مایع ومواد شکست دهنده نور ۲۵

۲-۵-۳ سوئیچ های نوری کنترل شده به صورت نوری.....۲۵

۲-۵-۳-۱ سوئیچ های مرتبط.....۲۵

۲-۵-۳-۱-۱ سوئیچ های بر مبنای تولید پارامتر نوری.....۲۵

۲-۵-۳-۱-۲ آینه های حلقه ای نوری غیر خطی.....۲٦

۲-۵-۳-۱-۳ سوئیچ های مجازی (Virtual Switches).....۲۷

۲-۵-۳-۲ سوئیچ های غیر مرتبط.....۲۸

۲-۵-۳-۲-۱ SOA ها در آینه های حلقه ای فیبری.....۲۸

۲-۵-۳-۲-۲ موجبر های نیمه هادی.....۲۹

۲-۵-۳-۲-۳ سوئیچ های کنترل شده به صورت نوری نرمال.....۲۹

۲-۵-۳-۲-٤ سوئیچ های دو ثابتی (Bistable Devices).....۳۰

بخش دوم: مواد و روش ها.....۳۱

فصل سوم: تعیین روش سوئیچ زنی ویافتن ماتریس دانسیته.....۳۱

۳-۱ نحوه بدست آوردن ماتریس دانسیته.....۳۲

۳-۱-۱ ماتریس دانسیته برای سیستم دو ترازه.....۳٤

۳-۱-۲ سیستم دو ترازه.....۳٦

۳-۲ Optical wave mixing در سیستم دو ترازه.....٤۰

فصل چهارم: بدست آوردن روابط حاکم.....٤۲

٤-۱ حل ماتریس دانسیته در حضور پمپ و پروب.....٤۳

٤-۲ سوسپتیبیلیته غیر خطی ٤۷

٤-۳ سوئیچینگ تمام نوری.....٤۹

٤-۳-۱ قانون بقای انرژی.....۵۰

٤-۳-۲ قانون بقای اندازه حرکت.....۵۱

٤-۳-۳ بقای اندازه حرکت زاویه ای.....۵۲

٤-٣-٤ قانون بقای پاریته.....٥١

٤-٤ نحوه تعیین Selection rules برای سیگنال پمپ وپروب.....٥٥

بخش سوم: نتیجه گیری وبحث.....٥٧

فصل پنجم: شبیه سازی.....٥٧

٥-١ نتایج شبیه سازی.....٥٨

٥-٢ عدم همزمانی دو سیگنال پمپ وپروب.....٦٣

٥-٣ بررسی عملکرد سوئیچ محاسن ومعایب آن.....٦٦

فصل ششم: ارائه راهکارهای جدید ٦٩

٦-١ معرفی ماده GaN وبیان برخی از خواص آن.....٧٠

٦-١-١ ساختار جدید مبتنی بر GaN ٧٠

٦-٢ بررسی امکان پیاده سازی سیستم Interband معرفی شده در سیستم Intersubband.....٧١

٦-٣ نتایج حاصل از شبیه سازی.....٧٢

٦-٤ تعیین حداکثر فرکانس ورودی.....٧٢

٦-٥ اثر انحراف سیگنال پروب از مرکز ٧٤

٦-٦ راهکارهای بهبود سوئیچینگ وکاهش تلفات.....٧٥

٦-٧ تحلیل حالت گذرای سیستم به ازای ورودی مربعی.....٨١

فصل هفتم: نتیجه گیری و پیشنهادها.....٨٦

ارائه پیشنهاد برای کار های آینده.....٨٧

منابع ومراجع.....۸۹

فهرست شکل ها

شکل ۳-۱: ترکیب بندی سیگنال ورودی و تراز اتمی..... ۳۵

شکل ٤-۱: تراز های انرژی برای توصیف فرآیند اندرکنش چهار موج..... ٤۹

شکل ٤-۲: قاعده انتخاب برای سیستم توصیف شده interband..... ۵۳

شکل ۵-۱: مقایسه دامنه سیگنال ورودی و دامنه سیگنال پمپ با در نظر گرفتن عرض پالس..... ۵۹

شکل ۵-۲: نمودار تغییرات ضریب شکست..... ٦۰

شکل ۵-۳: تأثیرات تأخیر زمانی سیگنال پروب نسبت به پمپ..... ٦۱

شکل ۵-٤: تأثیرات دامنه سیگنال پمپ در نسبت کنتراست..... ٦۲

شکل ۵-۵: تأثیر میزان دی تیونینگ سیگنال پمپ نسبت به فرکانس رزونانس در تغییرات ضریب شکست سیستم..... ٦۳

شکل ۵-٦: نسبت سیگنال های پمپ و پروب و مقایسه خروجی..... ٦٤

شکل ۵-۷: تأثیر مستقیم تأخیر زمانی سیگنال پروب نسبت به پمپ در سیگنال خروجی..... ٦۵

شکل ۵-۸: میزان آزیموت برای سیستم..... ٦۵

شکل ۵-۹: میزان انتقال زمانی سیگنال پروب با اعمال پمپ..... ٦٦

شکل ٦-۱: شکل موج خروجی با در نظر گرفتن زمان میرایی..... ۷۳

شکل ٦-۲: شکل موج خروجی با در نظر گرفتن زمان میرایی..... ۷٤

شکل ٦-۳: تأثیر ایجاد تأخیر زمانی در میزان نسبت کنتراست خروجی..... ۷۵

شکل ٦-٤: ساختار جدید معرفی شده برای بهبود توان مصرفی و زمان میرایی..... ۷۷

شکل ٦-۵: تغییرات ضریب شکست در سیستم جدید معرفی شده..... ۷۸

شکل ٦-٦: مقایسه دامنه پروب در خروجی و دامنه ورودی..... ۷۸

شکل ٦-۷: تأثیر تأخیر زمانی پمپ وپروب در میزان کنتراست خروجی..... ۷۹

فهرست شکل ها

شکل ٦-٨: تأثیر دامنه سیگنال پمپ در میزان نسبت کنتراست خروجی..... ٨٠

شکل ٦-٩: تخمین میزان پاسخ خروجی به ورودی پله..... ٨٢

شکل ٦-١٠: مقایسه سیگنال خروجی با اعمال تغییر در زمان میرایی ٨٣

شکل ٦-١١: تأثیر تغییر فرکانس کاری سیستم در پاسخ پله..... ٨٤

شکل ٦-١٢:تغییرات ضریب شکست نسبت به زمان..... ٨٥

CR	Contrast Ratio
SOA	Semiconductor Optical Amplifier
TMM	Transfer Matrix Method
MEMS	Micro Electro Michanical System
NOLM	Nonlinear Optical Loop Miror
XGM	Cross Gain Modulator
XPM	Cross Phase Modulator

پیش گفتار

مقدمه

بی تردید سوئیچها نقش بسیار عمده ای در صنایع پیشرفته دارد و سرعت این سوئیچ دارای اهمیت بالا تری است و سریع تر شدن این سوئیچها باعث افزایش سرعت پردازش داده ها، سریع تر شدن انتقال داده ها از جایی به جای دیگر، افزایش تعداد کانالهای ارتباطی و بسیاری فواید دیگر می شود.

در این میان باید توجه داشت اصلی ترین کاربردی که برای یک سوئیچ می توان در نظر گرفت شاید ارتباطا ت باشد زیرا با افزایش روز افزون و باور نکردنی تقاضای پهنای باند نیاز به سوئیچ های بسیار سریعUltrafast بیش از گذشته احساس می شود.

در این میان باید توجه داشت که مصرف کم وقابلیت تبدیل شدن به یک Package از دیگر مشخصه های مورد نیاز برای امر مخابرات و ارتباطات است.

همانطور که گفته شد نیاز به سرعت بالا مهمترین مشخصه است که این مشخصه رفته رفته در میان ادوات الکترونیکی به چالشی بزرگ تبدیل شده است و ادوات الکترونیکی دیگر قابلیت تولید سرعت های بالا را ندارد بنابر این استفاده از در این میان استفاده از ادوات نوری راه گشا خواهد بود زیرا اصلی ترین مشخصه بارز و بسیار مهم ادوات نوری داشتن سرعت بالا ومیزان کم مصرف انرژی است.

حال در میان ادوات نوری که به دو نوع تمام نوری و الکترواپتیکی تقسیم می شود نوع الکتروپتیکی دارای ساختار نسبتاً ساده تری می باشد وتلفیقی از ادوات نوری و الکترونیکی است و دارای سرعت بالاتری است ولی بالطبع بدلیل حضور ادوات الکترونیکی دارای سرعت کمتری نسبت به ادوات تمام نوری می باشد و در کل دارای سرعت کمتری است و این مورد دلخواه ما

نیست ولی در مورد ادوات تمام نوری باید گفت که این ادوات به دلیل آنکه فقط از ادوات نوری استفاده می کند دارای سرعت های غیر قابل مقایسه با سیستم های الکترونیکی است.

در مورد انواع مختلف سوئیچ در بخش های آتی توضیحات کافی داده خواهد شد.سوئیچهای تمام نوری نیز به نوبه خود دارای مشکلاتی است که مهمترین آن پیچیدگی ساختار وفیزیک حاکم بر آن است از دیگر مشکلات آن می توان به نیاز به پالسهای بسیار تیز که تولید این پالسها نیز به نوبه خود دارای مشکلاتی است همچنین نیاز به پخش کننده های متناسب نیز یک مشکل عمده است پس می توان چنین نتیجه گرفت که تنها استفاده از سوئیچ سریع کارساز نیست وما به منابع پالس و نیز پخش کننده سریع نیز نیازمندیم.

با توجه به توضیحات بالا می توان چنین نتیجه گرفت که دست یابی به سیستم های تمام نوری با وجود داشتن مزایای زیاد دارای معایب و مشکلاتی است.

در حال حاضر سوئیچ های نوری متعددی معرفی گردیده که دارای ساختارهای بسیار متنوعی است و حتی نوع عملکرد و فیزیک حاکم بر آنها نیز متفاوت است ولی اکثر این سوئیچ ها بر پایه ایجاد تغییرات بر روی ضریب شکست[1] است به طوری که در صورت اعمال میدان الکترومغناطیسی قوی موسوم به pump تغییراتی بر روی ضریب شکست ایجاد می شود که این تغییرات مبنای انجام عمل سوئیچینگ است ،به طوری که در صورت حضور میدان pump سیگنال دیگری که موسوم به سیگنال probe است قابلیت عبور پیدا می کند ولی درصورت عدم حضور سیگنال پمپ نیز سیگنال پروب قابلیت عبور پیدا نمی کند و بلوکه می شود.

[1] Refractive Index

ساختار پایان نامه

این پایان نامه در سه بخش کلی طراحی شده است که هر کدام از این بخش ها شامل چندین فصل است که به صورت زیر می باشد.

دربخش اول یک بررسی اجمالی و گذرا در در مورد منابع وپژوهشهای پیشین انجام شده ارائه شده است. فصل اول شامل معرفی کاربرد ها سوئیچهای نوری و ارائه چکیده ای از مباحث سوئیچ زنی است معرفی برخی از انواع سوئیچ های نوری است. فصل دوم شامل توضیحات کلی و گذرا در مورد سوئیچ نوری و توضیح کلی و توضیح مختصری در مورد معایب و محاسن آن ارائه خواهد شد.در پایان این نیز مروری بر مهمترین منابع و پژوهش های انجام شده به عمل خواهد آمد.

بخش دوم مواد وروشهای استفاده شده در این کار تحقیقاتی را بیان می کند. بخش سوم شامل مباحث زیر است. در فصل سوم ابتدا توضیحاتی در مورد نحوه سوئیچ زنی البته با جزئیات بیشتر ارائه شده و سپس فرآیند به دست آوردن ماتریس دانسیته که در واقع نخستین قدم در مورد سوئیچ مورد نظر است توضیح داده شده است. در فصل چهارم با استفاده از نتایج فصل قبل اقدام به بدست آوردن روابط نهایی اداره کننده سوئیچ کرده ایم.

در بخش سوم با استفاده از نتایج فصول قبل اقدام به انجام شبیه سازی کل سیستم شده است و در طول این فصل نتایج حاصل از شبیه سازی برای چهار سیستم ارائه شده که سه سیستم از این چهار سیستم کاملاً جدید بوده و تاکنون چنین ساختار هایی معرفی نشده است. سیستم اول معرفی شده بر مبنای ساختار های اینتربند ارائه شده ولی با توجه به کمبود های موجود در ساختارهای اینتر بند اقدام به عملی ساختن سیستم در ساختارهای اینترساب بند نموده ایم. این

ساختارها دارای سه ویژگی عمده هستند که اولین ویژگی عمده سادگی تحلیل دوم زمان میرایی[۲] نسبتاً کم و سوم داشتن توان مصرفی بسیار کمتر است. در نهایت نیز پیشنهاداتی جهت پژوهش های آینده ارائه شده است.

[۲] Decay time

بخش اول

بررسی منابع

فصل اول

مقدمه

۱-۱ مقدمه

در این طرح پژوهشی سعی شده طرح پیشرفته ای از انواع سوئیچ های تمام نوری معرفی گردد. برای دست یابی به سوئیچ های بسیار سریع یا Ultrafast مطمئناً باید پدیده ای را بتوانیم اداره کنیم که در نوع خود دارای سرعت بالایی باشد یعنی زمان اتفاق افتادن این پدیده دارای زمان کوتاهی باشد بدین معنا که به طور مثال سوئیچ هایی وجود دارند که با وجود استفاده از سیستم های تمام نوری باز هم نمی توانند وارد حیطه سوئیچ های Ultrafast شوند ولی سوئیچ هایی وجود دارند که به دلیل استفاده از پدیده های بسیار سریع در این حیطه قرار دارند.

یکی از این پدیده ها پدیده ای بنام اثر استارک نوری[۳] است [۲،۱].

در این پایان نامه سوئیچی که معرفی شده است بر پایه اثر استارک نوری است و سرعتی که برای این سوئیچ تخمین زده شده است در حدود ۱۰۰-۲۰ فمتو ثانیه است که در مقایسه با سوئیچ های الکترونیکی دارای سرعت بسیار بالاتری است، در این نوع سوئیچ ابتدا ما باید اصول کلی حاکم برآن را در یابیم بعد از یافتن این مسیر و اصول کلی آن باید تغییرات ضریب شکست را در اثر اعمال میدان را بیابیم که این تغییر را با استفاده از معادله شرودینگر و یافتن ماتریس دانسیته وپلاریزاسیون[٤] خطی و غیر خطی بدست می آید که بعد از یافتن بردار پلاریزاسیون می توانیم χ^{3} وضریب شکست را بیابیم حال پس از یافتن این فرآیند و اصول کلی آن باید فرآیند دیگری را تعریف کنیم که بر پایه این فرآیند عمل سوئیچ زنی انجام گیرد[٤،۳].

در این طرح که با استفاده از اثر استارک نوری انجام گرفته ابتدا سعی می کنیم روابط حاکم بر اثر استارک را بررسی کنیم و تغییراتی که سیگنال پمپ بر ماده دارد را مورد مطالعه قرار

---

[۳] Optical Stark effect
[٤] Polarization

دهیم و تغییر ضریب شکست را محاسبه کنیم به فرض در این طرح سیگنال پمپ دارای پلاریزاسیون σ^+ است و سیگنال پروب نیز دارای پلاریزاسیون خطی در جهت x است و باید به یاد داشت که هر سیگنال با پلاریزاسیون خطی را می توان به صورت مجموع دو سیگنال با پلاریزاسیون σ^+ و σ^- در نظر گرفت ،در صورت اعمال همزمان دو سیگنال پروب و پمپ با توجه selection rule هایی که دو جزء سیگنال پروب نسبت به سیگنال پمپ دارند میزان تغییراتی سیگنال پمپ بر روی قسمت σ^+ ایجاد می کند با تغییراتی که بر روی قسمت σ^- ایجاد می کند برابر نیست واین مبنای انجام عمل سوئیچینگ است به این معنا که سیگنال پروب که تنها در جهت x دارای مولفه است با اعمال سیگنال پمپ دارای مولفه ای در جهت y نیز می شود که اگر از یک پلارایزر استفاده کنیم مولفه y به عنوان خروجی قابل استفاده است البته باید اشاره کرد که سیگنالهای پمپ وپروب دارای فرکانسهای near resonance است والبته سیگنال پمپ به اندازه ۶-۱۶ mev زیر فرکانس رزونانس است و سیگنال پروب نیز حدود ۳- ۶mev زیر فرکانس رزونانس است که این ترکیب بندی به ازای detuning های مختلف دارای نتایج مختلفی است ولی باید گفت که هر چه میزان این detuning ها کمتر باشد میزان تغییرات ضریب شکست واضح تر است با یافتن میزان تغییرات ضریب شکست در اثر اعمال پمپ در داخل QW می توان این تغییرات رابه ازای چاههایی که وجود دارد تعمیم داد یعنی یعنی در این طرح ما چنین در نظر گرفته ایم که بیش از ۴۰ لایه پریودیک متشکل از چاه و بریر[۵] است که میزان انعکاس از این لایه ها وپلاریزاسیون این انعکاس ها برای ما به عنوان پاسخ خروجی است که یافتن میزان انعکاس از این لایه ها با استفاده از روشهای مختلف قابل حصول است که یکی از این روشها روش TMM[۶] است[۵] که یافتن میزان انعکاس فرکانس کاری پروب راه حل مطمئن و قابل اعتمادی است و در

[۵] Barrier
[۶] Transfer Matrix Method