دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)

دانشکده مهندسی برق

پایان نامه کارشناسی ارشد- گرایش الکترونیک

طراحی و شبیه سازی کلیدهای چند طول موج نوری

نگارش: سید محمد جواد مقیمي

اساتید راهنما: دکتر حسن غفوری فرد
و دکتر علی رستمی

بهمن ۱۳۸۶

بسمه تعالي

تاريخ : .....
شماره : .....

فرم اطلاعات پايان نامه
كارشناسي ارشد و دكترا

دانشگاه صنعتي اميركبير
(پلي تكنيک تهران)

معاونت پژوهشي
فرم پروژه تحصيلات تكميلي ۷

مشخصات دانشجو

نام و نام خانوادگی :**سید محمد جواد مقیمی** دانشجوی آزاد ■ بورسیه □ معادل □

شماره دانشجویی:**۸۴۱۲۳۰۷۶** دانشکده : **مهندسی برق** رشته تحصیلی: **برق- الکترونیک**

نام و نام خانودگی استاد راهنما : دکتر حسن غفوری فرد

عنوان به فارسی: طراحی و شبیه‌سازی کلیدهای چند طول موج نوری

عنوان به انگلیسی: Design and Simulation of Multi-Wavelength optical Switch

نوع پروژه: کارشناسی ارشد کاربردی □ بنیادی □ توسعه ای □ نظری ■

تاریخ شروع: ۱۳۸۵/۶/۱ **تاریخ خاتمه : ۱۳۸۶/۱۱/۱۵** **تعداد واحد: ۶**

سازمان تامین کننده اعتبار :

واژه های کلیدی به فارسی : کلیدهای نوری، توری‌های براگ تحمیلی، اثر الکترو اپتیک

واژه های کلیدی به انگلیسی : Optical Switch, Superimposed Bragg Grating, Electro-optic Effect

---

نظرها و پیشنهادها به منظور بهبود فعالیت های پژوهشی دانشگاه:

استاد راهنما:

دانشجو:

امضاء استاد راهنما : **تاريخ:**

نسخه ۱: معاونت پژوهشي
نسخه ۲ : كتابخانه و به انضمام دو جلد پايان نامه به منظور تسويه حساب با كتابخانه و مركز اسنادومدارک علمي

چکیده- در این پروژه ابتدا کلیدهاي نوري به عنوان یکي از عناصر اصلي سیستمهاي مخابرات نوري مورد بررسي قرار خواهد گرفت و انواع مختلفي از آنها که امروزه مورد استفاده قرار مي‌گیرند معرفي خواهند شد. سپس کاربردهاي خطي و غیرخطي توری براگ تحمیلی شامل فیلتر و کلید نوري بیان شده و براي تحقق آن از اثر الکترو اپتیک استفاده شده است. جمع آثار ضرایب شکست با نمونه‌هاي پتانسیل الکتریکي اعمال شده از طریق نوارهاي فلزي روي یک موجبر فعال الکترواپتیکي، محقق شده و با استفاده از روش ماتریس انتقال به صورت عددي شبیه- سازي شده است. دستگاه پیشنهادي به طور کامل قابل کنترل با نمونه‌هاي پتانسیل الکتریکي اعمال شده است و مناسب براي نیازهاي سیستم تسهیم طول موج متراکم مي‌باشد. همچنین اثر توابع Apodization وchirp در براگ یک بعدي غیرخطي روي رفتار کلید مطالعه شده است و شیب و شدت مرزي کلید با این توابع کنترل شده است. یک روش جدید ساخت کلیدهاي نوري در براگهاي غیرخطي با ترکیب روش ماتریس انتقال و الگوریتم اجتماع ذرات براي محاسبه ضریب انعکاس ارائه شده و نشان داده شده که این روش بهینه‌سازي براي ساخت کلیدهاي نوري مناسب است. براي تغییر مسیر سیگنالهاي نوري بدون نیاز به تبدیل شدن به سیگنال الکتریکي یک طرح با استفاده از مواد فتو انکساری نیز پیشنهاد شده است. در پایان توانایي ساختارهاي شبه متناوب فیبوناچي غیرخطي به عنوان کلید تمام نوري نشان داده شده است.

فصل اول

مقدمه

۱-۱) سیستمهای مخابرات نوری و خواص آنها

از آنجاییکه در مدارات الکترونیک عامل انتقال جریان الکترون می‌باشد و به همین دلیل سرعت در چنین مداراتی نسبت به مدارهای نوری که عامل انتقال فوتون می‌باشد، خیلی پایین است و با توجه به ارائه پهنای باند بالا توسط فیبرهای نوری، که عنصر انتقال اطلاعات در مدارات نوری می‌باشند، امروزه در سیستمهای مخابراتی، مدارات مجتمع نوری دارای اهمیت و کاربرد بالایی هستند.

در بعضی از سیستمهای مخابراتی که اطلاعات به صورت نوری انتشار می‌یابند،کلیدهایی که داده را در مسیرهای متفاوت هدایت می‌کنند علائم کنترل الکتریکی را به کار می‌برند. این فرآیند مستلزم یک مبدل نوری به الکتریکی و یک مبدل الکتریکی به نوری می‌باشد [۱]. ولی بایستی به این نکته مهم توجه داشت که در این حالت نرخ داده به دلیل محدودیت سرعت در مدارات مجتمع متداول محدود می‌شود و از طرف دیگر هزینه انتقال اطلاعات بالا می‌رود. به همین دلایل در شبکه‌های مخابراتی که عمل انتقال اطلاعات را تا فاصله‌های دور انجام می‌دهند، اطلاعات به صورت نوری سوئیچ شده و در حوزه نوری سیر می‌کنند و به این ترتیب محدودیتهای اعمالی توسط مبدلهای نوری- الکتریکی از بین می‌رود و این نیز مستلزم داشتن تکنیکهای سوئیچینگ تمام نوری است بطوریکه با بکار بردن این تکنیکها، می‌توان از پهنای باند بزرگی که یک فیبر دارد که در حدود ۲۵ ترابیت بر ثانیه است، استفاده کرد[۱].

برای استفاده و بکارگیری پهناهای باند بالاتر در سیستمهای مخابرات نوری از تکنیکهای مختلفی استفاده می‌شود. اگر چند کانال نوری در امتداد یک فیبر هر کدام در طول موج متفاوتی انتشار یابند از روش تسهیم طول موج[1] استفاده کرده‌ایم و در صورتی که تعداد کانالهای نوری انتشاری در یک فیبر در سیستم تسهیم طول موج تعداد بالایی باشند از تسهیم طول موج متراکم[2] استفاده کرده‌ایم. همچنین می‌توانیم کانالهای متفاوتی را در طول موج یکسانی بکار ببریم که این نیز با شکافهای زمانی متفاوتی که داده در آن جریان دارد تفکیک می‌شود[3]. باید متذکر شد که جزء اصلی و لاینفک در هر یک از تکنیکهای بالا سوئیچینگ اطلاعات نوری می‌باشد که بطور مفصل در بخشهای بعدی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۱-۲) اتصالات متقاطع نوری

اتصال متقاطع یک کار کلیدی در سیستم‌های مخابراتی است. در سیستم‌های الکترونیک، اساس اتصالات متقاطع از مدارات پکپارچه فشرده‌ای ساخته شده است که قادر است هزاران کانال ورودی را به هزاران کانال خروجی اتصال دهد. در بسیاری از سیستم‌های مخابرات نوری نیز، به چنین عمل اتصال دهندگی نیاز است. بافت‌های سوئیچینگ را بر اساس سرعت سوئیچینگ و بلادرنگ بودن به سوئیچ‌های ایستا و نیمه ایستا (اتصال متقابل)، و سوئیچ‌های پویا تقسیم می‌کنند. اتصالات متقاطع، بر اساس کنترل از راه دور و یا جدول اتصال دهندگی از پیش تعیین شده قادرند هر ورودی را به هر خروجی متصل کنند. این سوئیچ‌ها به نسبت کند بوده و وقتی یک بار یک اتصال برقرار می‌گردد، ممکن است تا مدت زمان طولانی (از چند ساعت تا چند روز) تغییر نکند. کلیدهای پویا، بر اساس یک پروتکل اجرایی هر ورودی را به هر خروجی متصل کرده و این عمل به صورت پویا و همزمان با ساعت سیستم انجام می‌گیرد (اتصال ممکن است از

[1] WDM
[2] DWDM
[3] Optical Time Division Multiplexing

چند ثانیه تا چند دقیقه برقرار باشد). معمولاً اتصالات متقاطع الکترونیک برای فراهم کردن امکان برقراری اتصال برای نرخ بیتهای بالا به کار می‌روند، در صورتی که کلیدهای پویا نرخ بیتهای پایین را اتصال می‌دهد. در تسهیم طول موج متراکم به علت نرخ بیت بالا، کلیدها از نوع اتصالات متقاطع[1] هستند و در حال حاضر از کلیدهای پویا به جز برای نظارت سریع استفاده نمی‌شود. با این وجود بافتهای سوئیچینگ پویا و سریع نوری امکانات مقرون به صرفه و جدیدی را فراهم می‌کنند که در شبکه‌های نوری بسیار ارزشمند هستند. بافتهای سوئیچینگ را می‌توان به نوع بدون انسداد[2] و با انسداد نیز تقسیم کرد. در بافتهای با انسداد همیشه نمی‌توان هر ورودی را به هر خروجی متصل کرد. از آنجا که مدلهای آماری نشان می‌دهند همه مشتریان کانالها در آن واحد درخواست برقراری ارتباط نخواهند داشت، در نتیجه این سیستم‌ها تنها درصدی از کانال‌ها را به هم متصل می‌کنند (حالت بیش از ظرفیت اشتراک). برعکس، بافتهای بدون انسداد می‌توانند بین هر تعداد کانال اتصال متقابل برقرار کنند. اتصال متقاطع به دو طریق صورت می‌گیرد:

- روش تلفیقی: جریان داده‌های نوری به الکترونیک تبدیل شده، از تکنولوژی اتصال متقاطع[3] الکترونیکی استفاده شده و سپس جریان داده الکترونیکی به نوری تبدیل می‌شود.
- سوئیچینگ تمام نوری[4] : اتصال متقاطع کانال‌های نوری مستقیماً در حوزه نور صورت می‌گیرد.

در حال حاضر استفاده از روش تلفیقی در پهنای باندهای متوسط رایج است زیرا دانش ساخت بافت-های اتصال متقاطع الکترونیکی بدون انسداد چند کاناله با پهنای باند زیاد وجود دارد. در پهنای باندهای بالا که به چند ترابیت بر ثانیه بالغ می‌شود، و یا در حلقه‌های نوری کوچک فزود–فرود[5]، اتصال متقاطع

[1] OXC
[2] Non-blocking
[3] Cross connection
[4] All-optical Switching
[5] Add-drop

نوری کارایی بیشتری داشته و از نظر اقتصادی مقرون به صرفه‌ترند. با این حال هر چه تکنولوژی نوری پیشرفت کرده و هزینه‌ها پایین می‌آید، اتصال متقاطع نوری بیشتر جای همتای الکترونیک خود را بگیرد و اتصالات متقاطع الکترونیک تنها به استفاده در منطقه انتهایی شبکه الکترونیک محدود شوند.

فصل دوم

کلیدهای نوری

مقدمه

در این فصل در ابتدا منظور از سوئیچینگ نوری و چگونگی عملکرد آن توضیح داده خواهد شد. سپس ویژگیهای مطلوب در کلیدهای نوری اسم برده می‌شود. پس از آن شرح مختصری از چگونگی انجام سوئیچینگ در انواع کلیدهای نوری به همراه ساختار آنها نشان داده خواهد شد و در نهایت مقایسه‌ای بین انواع کلیدهای نوری بحث شده در این فصل را خواهیم داشت.

۲-۱) قوانین کلی سوئیچینگ

۲-۱-۱) روش‌های سوئیچ کردن یک سیگنال نوری

اساس یک کلید مخابراتی، توانایی تغییر کانال در امتدادی که اطلاعات جریان دارند می‌باشد و این کانالها درجات آزادی کلید می‌باشد. برای کلیدهای نوری، این درجات آزادی شامل شدت نور، موقعیت فضایی، فرکانس، قطبش، فاز، موقعیت زمانی پالس و مد فضایی (یعنی توزیع فضایی میدان) می‌باشد. همچنین امکان دارد که اطلاعات را به این روش کد گذاری کنیم که موقعیت زمانی یک پالس نوری در داخل یک پنجره زمانی داده شده از یک بیت را مشخص کنیم که آیا پالس نمایش داده شده در داخل این پنجره زمانی صفر یا یک است.

در بعضی مواقع این کانالها قادر هستند که با هم در امتداد یک فیبر انتشار یابند برای مثال تکنیکهای WDM[1] و TDM[2] از این نوع هستند و یا در بعضی از مواقع که فیبر به کار می‌رود با توجه به اینکه قطبش یک شعاع نوری به هنگام سیر در فیبر تغییر می‌کند پس به این ترتیب می‌توان از قطبش به عنوان یک وسیله تفکیک شده کانال استفاده کرد.

۲-۱-۲) روشهای موجود برای توانا سازی کلیدهای نوری

دو روش کلی برای کنترل سوئیچینگ به کار می‌رود که عبارتند از:

۱) سیگنال نوری ممکن است که آشکار و به یک سیگنال الکتریکی تبدیل شود و پردازش شده و سپس بعنوان یک سیگنال نوری جدید انتشار یابد که این روش به نوری-الکتریکی-نوری[3] مشهور است.

۲) سیگنال نوری در شکل نوری باقی می‌ماند ولی کانال آن ممکن است با به کار بردن سیگنال الکتریکی کنترل شده و مجدداً آدرس دهی شود.

۲-۱-۳) ویژگیهای مطلوب در یک کلید نوری

وظیفه اول کلیدهای نوری در شبکه های مخابراتی، آدرس دهی مجدد یا تسهیم /تقسیم جریانهای بیتی ورودی به کانالهای خروجی مناسب می‌باشد.

برای بهبود این کارایی در مورد کلیدهای نوری، نیازهای زیر در مورد این وسیله بایستی بر آورده شود:

۱- سرعت بالا، برای کلید زنی و همچنین برای نرخ تکرار کلید زنی.

[1] Wavelength Devision Multiplexing
[2] Time Devsion Multiplexing
[3] OEO

۲- دامنه بزرگ برای تغییرات سیگنال، هم از نظر انرژی سیگنال و هم از نظر نسبت تغییرات آن.

۳- تأخیر کم.

۴- مصرف انرژی پایین و پراکنده سازی کم انرژی(تلفات).

۵- اندازه فیزیکی کوچک.

۶- عدم وابستگی به نتایج قبلی.

۷- قیمت کم.

۸- عملکرد و راه اندازی بدون نقطه بحرانی و بدون حساسیت.

۹- قابلیت مجتمع شدن با سیگنالهای ورودی، خروجی و کنترلی.

۱۰- جدا سازی خوب ورودی و خروجی.

همچنین کلیدها توسط اجزاء دیگر شبکه مانند فرستنده‌ها، گیرنده‌ها، انواع داده، رسانه‌ای که داده بین فرستنده و گیرنده از میان آن سیر می‌کند تحت فشار می‌باشند. به عنوان مثال فرستنده‌ها، با بکار بردن اجزای فعال نظیر لیزرهای پخش کننده با لبه[1] یا لیزرهای با فیدبک توزیعی[2]، توانایی تولید اطلاعات ۱تا۱۰ گیگا هرتز و حتی تا۴۰ گیگاهرتز با بکاربردن مدولاتورها را دارند، کلیدهای بکار رفته با یک چنین فرستنده‌هایی نیز بایستی قادر باشند یک چنین نرخ بیتهایی را جابجا کنند.

۲-۲)مقایسه کلیدهای نوری

۲-۲-۱) دستگاههای نوری- الکتریکی- نوری (OEO)

[1] Edge-emitting
[2] Distrubuted Feedback (DFB)

این مبدلها داده نوری را به الکتریکی و سپس به نوری تبدیل می‌کنند. کلیدهای نوری OEO شامل سه قسمت می باشند:(رجوع به شکل ۲-۱)

۱) یک گیرنده برای داده نوری که وارد کلید می‌شود سپس تبدیل آن به سیگنال الکتریکی، که معمولاً یک دیود نوری p- i-n و یا یک دیود نوری بهمنی می‌باشد.

۲) مدار الکترونیک برای پردازش اطلاعات و آماده سازی مسیر انتقال.

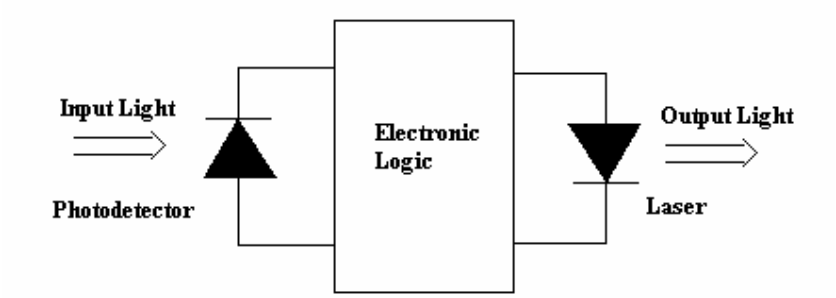
۳) فرستنده یا فرستنده‌هایی که سیگنال الکتریکی نهایی را به داده نوری تبدیل می‌کنند، و اینها لیزرهای حالت جامد پخش کننده یا لبه می‌باشند که یا مدوله کننده هستند و یا اینکه بطور مجتمع با مدولاتورهای خارجی قرار گرفته‌اند.

یکی از دلایلی که OEO ها امروزه بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرند اینست که آنها به دلیل استفاده از مدارات منطقی، دارای دقت بالایی می‌باشند. طی عمل سوئیچینگ پالس مجدداً شکل‌دهی و زمانبندی می‌شود که همه اینها با استفاده از منطق الکترونیک انجام می‌شود و سیگنال الکتریکی نهایی، سرانجام به صورت نوری انتشار می‌یابد. بعلاوه تا زمانیکه اطلاعات به فرم الکتریکی هستند می‌توانند تسهیم (یا تقسیم) زمانی[1] شوند و سپس در یک طول موج یا موقعیت فضایی مشخصی پخش شوند.

این محاسن در ازای محدود شدن سرعت این‌گونه کلیدها به سرعت مدارات الکترونیکی به دست می‌آید. نرخهای سوئیچینگ واقعی در اینها بین ۱ تا۱۰ گیگا هرتز می‌باشد و این مدارها برای عمل کردن در نرخ بیت منفرد طراحی شده‌اند. در کل OEO ها فقط داده‌هایی را که یک رقمی هستند کلید می‌زنند. یکی دیگر از معایب OEO ها قیمت آنها می‌باشد بطوریکه لیزرهای خروجی این وسیله دارای قیمت بسیار بالایی می‌باشند.

[1] TDM

شکل کلی یک کلیدOEO در شکل(۲-۱) نشان داده شده است.



شکل(۲-۱). شکل کلی یک کلید OEO

۲-۲-۲) کلیدهای نوری کنترل شده به صورت الکترونیکی[1]

کلیدهایی که فعلاً رقابت شدیدی را با OEO ها عرضه می‌کنند، مدولاتورهای نوری کنترل شده بصورت الکترونیک می‌باشند. این گروه از وسایل با عناصر پخش کننده نوری فعال نظیر لیزرها بکار نمی‌روند. تأخیر و توان تلفی در آنها کاهش یافته و کلیدهای زمانی و یا فضائی هستند.

حال چند نوع از این کلیدها بهمراه اصول عملکرد و همچنین مشخصاتشان در زیر آورده می‌شوند:

الف) مدولاتورهای الکترواپتیک[2]

یکی از انواع خیلی معمول کلیدهای نوری کنترل شونده بصورت الکتریکی، مدولاتورهای الکترواپتیک می‌باشد. آنها دارای پیکربندی موجبری می‌باشند که ماخ- زندرهای تداخلی(متقارن یا نامتقارن) با کنترل یک بازویی یا دو بازویی که با موجبرها و کلید های متقاطع(کلیدهای X) کوپل شده‌اند از این نوعند. با وارد کردن یک شیفت فاز(که معمولاً π رادیان می‌باشد) در یکی از بازوهای کلید در مقابل دیگری، شدت نور باز ترکیبی در پورتهای خروجی کنترل می‌شود.

[1] Electronically–Controlled optical Switches
[2] Electro-Optic Modulators

یک روش برای تغییر فاز، اثر الکترواپتیک خطی پاکلز[1] یعنی استفاده از $\chi^{(2)}$ می‌باشد. یعنی تغییرات ضریب شکستی را با اعمال یک میدان الکتریکی بصورت زیر بکار می‌بریم:

$$\Delta n = \sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}}.\chi^{(2)}.\frac{E}{\varepsilon_1} = n^3 \times r \times \frac{E}{2} \qquad (۱-۲)$$

که در این رابطه r تانسور یا همان ضریب میدان می‌باشد.

– در اینجا لازم است توضیحی چند راجع به حساسیت χ داده شود: وقتی یک ماده تحت تأثیر میدان الکتریکی قرار می‌گیرد ممان دو قطبی‌های موجود در این ماده تغییر می‌کند که ممان هر یک از این دو قطبیها خواهد بود:

$$P_i = q.l \qquad (۲-۲)$$

یعنی میدان سبب قطبیده شدن اتمها می‌شود که برآیند این ممانها، همان قطبش خواهد بود:

$$\vec{P} = N.\vec{P_i} \qquad (۳-۲)$$

که N تعداد دو قطبیهای موجود در ماده می‌باشد.

در هنگام بیان آثار غیر خطی که در یک ماده وجود دارد قطبش یک موج الکترومغناطیسی یعنی P را که به وسیله یک میدان الکتریکی E در دو قطبیهای الکتریکی ایجاد شده است متناسب با حساسیت کاپا χ و به صورت زیر بیان می‌کنند:

$$P(E) = \varepsilon_0\left[\chi^{(1)}.E + \chi^{(2)}.E.E + \chi^{(3)}.E.E.E + \ldots\right] \qquad (۴-۲)$$

[1] Pockels effect

که ε_0 فاکتور نفوذ در خلاء می‌باشد.

برای یک ماده همسانگرد (یعنی ماده‌ای که یکنواخت بوده و دارای سازگاری در تمامی حجم خود از نظر شیمیایی، الکتریکی و مغناطیسی یا کریستالی می‌باشد)، قسمت درجه دوم یعنی $\chi^{(2)}$، رفتار خطی ماده را بیان می‌کند و قسمت درجه سوم و قسمتهای درجه بالاتر قابل صرفنظر می‌باشند. بدین ترتیب برای یک ماده همسانگرد رابطه بالا به صورت زیر ساده می‌شود:

$$P = \varepsilon_0 . \chi . E \qquad (۵-۲)$$

ولی در عمل ماده همسانگرد نداریم و همه مواد تحت شرایطی نا همسانگرد هستند در این مورد بایستی درجات بالاتر نیز در نظر گرفته شوند چون که اثرات غیر خطی، انتقال نور نهایی را تحت تأثیرخود قرار داده و محدود می‌کنند.

راجع به اثرات حاصل از این غیر خطیها روی ضریب شکست ماده نیز باید گفت که اگر تغییرات ضریب شکست ماده را در این حالت متناسب با غیرخطی مرتبه دوم و خود میدان در نظر بگیریم این اثر مشهور به اثر پاکلز می‌باشد.

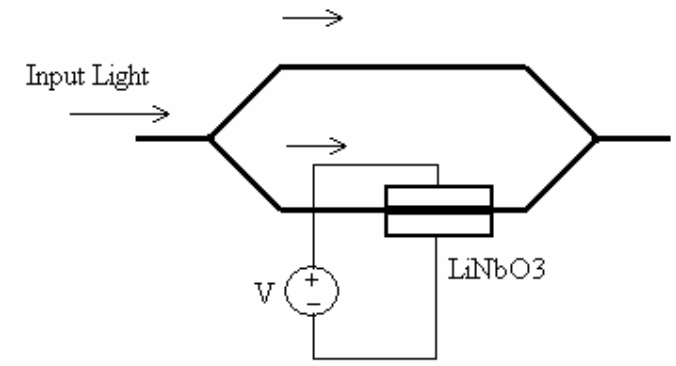
در صورتیکه تغییرات ضریب شکست ماده را متناسب بامجذور میدان در نظر بگیریم(که در این حالت غیر خطی مرتبه سوم وارد می شود($\chi^{(3)}$)این اثر به اثر کر[1] مشهور می‌باشد. حال به ادامه بحث قبلی می پردازیم: در بعضی کلیدها روشهای دیگری نیز برای کنترل فاز نسبی به صورت الکتریکی بکار می‌رود. در صورتیکه قسمت $\chi^{(2)}$ در مقایسه با قسمت $\chi^{(3)}$ کوچک باشد در اینصورت با استفاده از اثر کر خواهیم داشت:

[1] Kerr effect

$$\Delta n = \sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}}.\chi^{(3)}.\frac{E^2}{\varepsilon_1} \qquad (۶-۲)$$

که این حالت ممکن است برای نمونه در کریستالهای متقارن مرکزی یا در حضور میدانهای الکتریکی بزرگ اتفاق بیفتد. نتیجتاً تغییر در ضریب شکست متناسب با E^2 است.

در شکل (۲-۲)، یک کلید موجبر تداخلی کنترل شده به صورت الکتریکی نشان داده شده است. پالس نوری ورودی ابتدا در شاخه Y شکل سمت چپ به دو پالس نوری مجزا تقسیم می‌شود تغییر ولتاژ در شاخه پایین، فاز پالس انتشاری این شاخه را نسبت به فاز پالس نوری شاخه بالایی تغییر می-دهد به طوریکه وقتی در قسمت دیگر این دو پالس با هم ترکیب می‌شوند یا با هم، هم فاز[1] می‌باشند و یا اینکه غیر هم فاز[2] با اختلاف بالا می‌باشند.



شکل(۲-۲). یک کلید موجبر تداخلی کنترل شده به صورت الکتریکی

سه نوع از موادی که برای کلیدهای الکترو اپتیک به کار می‌روند عبارتند از:

۱) دی الکتریک (عایق)　　۲) نیمه هادی　　۳) پلیمر و یا مواد آروماتیک آلی

[1] In-Phase
[2] Out of Phase

برای کلیدهای بر مبنای اثر پاکلز، میدان الکتریکی E که موجب شیفت فاز π کـه وابـسته بـه ضـریب غیرخطیr ماده می‌باشد، مورد نیاز است.

مواد عایق نظیر($LiNbO_3$)، نوعاً دارای ضریب الکترواپتیک نسبتاً بزرگی هستند (تقریباً ۳۰ پیکومتر بر ولت).

این مقدار آفست، لیکن به همراه ضریب شکست کوچک n و ثابت دی الکتریک بـزرگ ε، سـرعت سوئیچینگ وسیله را کاهش می‌دهد. بعضی از پلیمرهای آلی بطور مشابه ضرایب الکترواپتیک بزرگـی ناشی از تأثیر بالای مولکولهای دو قطبی دارند. مواد پلیمـری الکترواپتیـک بـه طـور بـالقوه، توانـایی مدولاسیون با سرعتهای بالا را در ولتاژهای معقول دارند ودارای مزیت ساخت به صورت مجتمـع بـا استاندارد مدارات الکترونیک می‌باشند ولی عملکرد با توان بالا، سبب تخریب پلیمر و یا حلقه بنزنـی می‌شود.

سیستمهای با مواد نیمه هادی نظیـر GaAs/InGaAsP/InP,AlGaAs, InGaAs/InAlAs, r کـوچکی دارند(مثلاً ۱/۴ پیکومتر بر ولت برای GaAs).

دستگاههای نوری–حرارتی[1] کنترل شده به صورت الکتریکی همچنین جزء ایـن نـوع از مـدولاتورها می‌باشند. در اینجا، یک جریان کاری از میان یک مقاومت که نزدیک به قـسمتی از مـوجبر مـی‌باشـد عبور می‌کند و همانطوریکه جریان افزایش می‌یابد دمای مقاومت بالا می‌رود. فاز نور عبوری از میـان آن بازو ازموجبر به خاطر انبساط ماده تغییر می‌کند و یک تغییر وابسته به حرارت در ضریب شکست، به وجود می‌آید. مشکل اصلی در مورد این نوع از کلیدها، پریود بزرگ مورد نیاز بـرای گـرم و سـرد

[1] Thermo-Optical

شدن مقاومت می‌باشد(از مرتبه میلی ثانیه). همچنین کلیدهای نوری–حرارتی ولتاژهای پایین را به کار می‌برند.

مشخصات سرعت سوئیچینگ عموماً بـه وسـیله ثابـت زمـانی مـدار RC وسـیله و بعـلاوه بـا زمـان استراحت ماده[1] (یعنی مدت زمانی که بعد از تحریک طول می‌کـشد تـا مـاده بـه حالـت اولیـه خـود برگردد) محدود می‌شود. کلیدهای تداخلی کنترل شده به صورت الکتریکی، نوعاً دستگاههای مـوجبر هستند. این کلیدها می‌توانند هر دو کار مدولاسیون یک شعاع و کلید آن را بـه طـور فیزیکـی از یـک مسیر به دیگری انجام دهند. مشخصه قابل توجه دیگر در این نوع کلیدها، سوئیچینگ ناخواسـته کـم در آنها می‌باشد.

ب)مدولاتورهای جذب کننده الکتریکی[2]

نوع دیگری از کلیدهای نوری کنترل شده به صورت الکتریکی می‌باشـند کـه یـک میـدان الکتریکـی، جذب دستگاه و در نتیجه میزان انتقال جریان نوری را در اینها تغییر می‌دهد. و در نتیجه شعاع، نیازی به جدا شدن و دوباره ترکیب شدن ندارد(همانطوری که در نوع تداخلی انجام شـد). ایـن دسـتگاهها یک دیود P-i-n در بایاس معکوس می‌باشند که ناحیه ذاتی از چاههای کوانتمی[3] ساخته مـی‌شـود کـه در چنین حالتی اثر اشتارک مکانیزم سوئیچینگ را تولید می‌کند. طراحی فیزیکی ایـن نـوع از کلیـدها، خیلی انعطاف پذیرتر از موجبرهای تداخلی می‌باشد.

مشخصات: محدودیتهای کلیدهای جذب کننده الکتریکی خیلـی کمتـر از کلیـدهای تـداخلی کـه در بخش (الف) به آنها اشاره شده می‌باشد. ثابت زمانی RC ی کلید و مدار راه انداز، سرعت را محـدود

[1] Relaxation time
[2] Electro-absorption Modulators
[3] Quantom Well

کرده و انرژی کلید زنی را افزایش می‌دهد. انرژی مورد نیاز برای بدست آوردن سوئیچینگ کامل در اینها، به طور چشمگیری کمتر از دستگاههای الکترواپتیک است. اگر چه تلفات گرما ممکن است در این نوع از کلیدها بیشتر تأثیر گذار باشد و در مجموع هیچ رفتار نوسانی و ناپایداری را در این نوع از کلیدها، با افزایش انرژی کلید زنی نخواهیم داشت و انرژی کنترلی دارای حوزه پویایی مجاز بزرگتری می‌باشد در حالیکه در دستگاههای الکترواپتیک، به کاربردن یک میدان خیلی بزرگ، سبب یک شیفت فاز بزرگتر از π می‌شود که این باعث کاهش عمق مدولاسیون می‌شود.

ج) کلیدهای دیگر کنترل شونده با ولتاژ

کلیدهای دیگر کنترل شده بصورت الکتریکی، شامل آینه های MEMS و مدولاتورهای کریستال مایع است.

ج-۱) آینه‌های MEMS[1]

اصول عملکرد این کلیدها به اینصورت است که یک ولتاژ کنترلی سبب چرخش یا بالا و پایین رفتن آینه‌های موجود در کلید می‌شود و در نتیجه این آینه‌ها، طول موجهای مشخصی را در مسیرهای مشخص کلید می‌زنند. آینه های MEMS معمولاً به صورت نوارهای پهن می‌باشند و می‌توانند همه کانالهای طول موجی را که ممکن است در نور تابیده شده وجود داشته باشد منعکس کنند.

مشخصات: ابعاد آینه‌هایMEMS از μm ۱۵×۱۵ برای دستگاههای آشکارکننده تا μm ۵۰۰×۵۰۰ برای کلیدهای متقاطع[2] متفاوت می‌باشد با توجه به ولتاژ بالای کلیدها (حدود ۱۰۰ولت)، انرژیهای سوئیچینگ بالایی (حدود ۴۰۰۰ پیکو ژول) را خواهیم داشت. زمان سوئیچینگ در اینها از مرتبه

[1] Micro-electronic-mechanical systems
[2] Cross-bar

میلی ثانیه می‌باشد. بعضی از آینه هایMEMS بر مبنای تغییر یک شبکه یا ساختار تشدید، به جای حرکت کلی آینه به منظور تغییر شعاع، می‌توانند نرخهای سوئیچینگ در حد مگاهرتز داشته باشند. از طرف دیگر، اگر چه اینها برای سوئیچینگ بیتهای تکی کند می‌باشند ولی ممکن است برای سوئیچینگ بسته‌های بزرگ داده‌ها به کار روند. و در اینها سوئیچینگ دارای شکل مستقلی بوده و تلفات کم و القای ناچیز موج به کلید مجاور[1] و اسکلت بندی در آرایه های دو بعدی از مشخصه‌های بارز این نوع از کلیدها می‌باشد.

ج-۲) کریستالهای مایع و مواد شکست دهنده نور

مولکولها در یک کریستال مایع هر کدام دو قطبیهایی دارند و به این ترتیب وقتیکه یک میدان الکتریکی از میان آنها عبور می‌کند می‌چرخند و در نتیجه ضریب شکست و اثرات قطبش کریستال تغییر می‌کند و این تغییرات ممکن است در انواع روشهای سوئیچینگ نوری بکار برده شود. در اینجا بایستی به این نکته توجه شود که مواد غیر همجنس[2] ضریب شکست متفاوتی را در جهت‌های مختلف دارند به این ترتیب، وقتیکه یک شعاع نورانی تک رنگ غیر قطبیده از میان آن ماده عبور می‌کند شکست متفاوتی را در جهات مختلف، بدلیل ضرایب شکست متفاوت ارائه می‌دهد یعنی وقتیکه یک پرتو غیر قطبیده وارد ماده می‌شود در داخل ماده به دو پرتو تقسیم می‌شود که هر کدام قطبش مختلفی را دارند و دارای ثابتهای انتشار متفاوتی نیز می‌باشند که این دو پرتو یکی به نام پرتو معمولی[3] و دیگری بنام پرتو فوق معمولی[4] می‌باشند که این خاصیت در کریستالهای غیر همجنس به

[1] Cross-talk free
[2] Anisotropic
[3] Ordinary
[4] Extra Ordinary

نام دو شکستی[1] می‌باشد که نمونه‌هایی از این کریستالها عبارتند از فلوریـد منیـزیم(MgF_2)، کـوارتز، میکا و $CaCO_3$ دو شکستی در فیبرهای انتقالی نامطلوب می‌باشـد چونکـه ایـن خاصـیت، قطـبش و مشخصات انتشار سیگنال انتقالی را تغییر مـی‌دهـد در حالیکـه گیرنـده انتظـار دریافـت یـک قطـبش مشخصی را دارد. به همین دلیل برای حداقل کردن تأثیر دو شکستی در فیبرهـا، از روش بـازنگری و کنترل قطبش گیرنده به وسیله تغییر قطبش گیرنده یا به وسیله بکار بردن فیبرهای نگهدارنده قطـبش، استفاده می‌شود.

حالا بعد از این توضیح کوتاه به ادامه بحثمان درباره کلیدهای کریستال مایع برمی‌گردیم.

در کریستال بدون اعمال میدان الکتریکی، مولکولها در جهت های تصادفی قرار می‌گیرند و ضریب شکستی را که متوسط مقدار ضرایب معمولی و غیر معمول ماده می‌باشد تولید می‌کنند(n_o,n_e). وقتی که یک میدان الکتریکی اعمال می‌شود مولکولها خودشان را جهت‌یابی می‌کنند و بدین ترتیب ضریب شکست برای نور تابیده شده معمولاً n_o می‌شود.

این تغییر در ضریب شکست با میدان می‌تواند برای نمونه، برای درست کردن یک آینه بر پایه ضریب شبکه[2]، که یک منعکس کننده قوی در یک حالت یا عبور دهنده الکتریکی و سپس با کنترل یک میدان دوم عمود بر اولی، جهت مولکولها تغییر می‌کند و به این ترتیب یک قطبشگر کنترل شده به صورت الکتریکی درست می‌شود. که وقتی با قطبشگرهای خارجی غیرفعال ترکیب شود می‌تواند به عنوان یک وسیله مؤثر برای جهت دهی نور خروجی، به کار برده شود.

مشخصات: به طور کلی کریستالهای مایع، زمانهای سوئیچینگ بین میکرو ثانیه تا میلی ثانیه را دارند که این محدودیت به خاطر مدت زمانی می‌باشد که طول می‌کشد تا مولکولها تحت تأثیر یک میدان

[1] Double Refractive
[2] Index-grating-based mirror