

Understanding Optical Communications

Harry J. R. Dutton

International Technical Support Organization

<http://www.redbooks.ibm.com>

SG24-5230-00

First Edition (September 1998)

Филтри

В комуникационните системи филтри се налага да се ползват рядко. Понякога те се ползват след полупроводникови светодиоди, за да намалят спектралната ширина на лъчението им, но рядко в други случаи. В прогнозираните бъдещи WDM-мрежи филтрите ще имат много и важни приложения.

--- Филтър, поставен пред некохерентен приемник, може да се ползва да селектира определен сигнал от многото пристигащи сигнали.

--- Прогнозирани са WDM-мрежи, които ползват филтри за контрол на това коя дължина на вълната по кой път в мрежата да се разпространява.

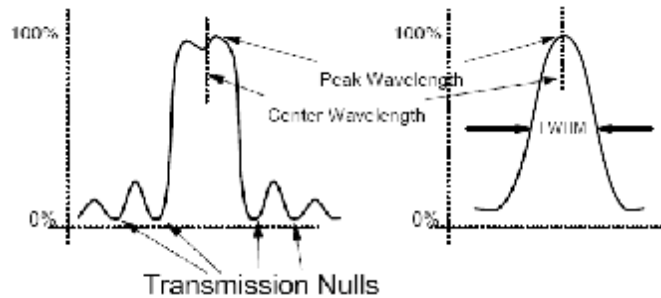
Има прогнозирани много принципи на филтриране и много различни типове устройства са построени в лабораториите. Резултатът е, че има много активни, пренастройваеми филтри, които ще са важни за WDM-мрежите. Те, както и лазерите, имат особеността, че колкото по-широка се прави ивицата на пренастройване, толкова по-бавно е времето за пренастройване. Важно е да се отбележи, че решетките всъщност са филтри. Наистина, влакнестите Брягови решетки (FBGs) са може би най-важните оптични филтри в света на комуникациите.

Характеристики на филтрите



Характеристики на пропускането на идеални филтри. Устройството отляво би пропускало без загуби определен интервал от дължини на вълните и би блокирало всички други дължини на вълните. Устройството отдясно би пропускало всички дължини на вълните, като би блокирало (поглъщало или отразявало) само определен спектрален интервал.

В един идеален свят филтрите биха имали характеристики, подобни на показаните на горната фигура. Но идеален свят няма. Реалните филтри почти винаги са доста по-различни от идеалните. Профилите на два реални филтъра са показани на следващата фигура.



Характеристики на пропускането на два реални филтъра. Лявата крива е за акустооптичен или електрооптичен филтър. Дясната крива е типична за Фабри-Перо-филтър с огледала с пропускане около 40%.

Важните характеристики на филтрите са следните:

Централна дължина на вълната – Това е средната дължина на вълната между двата края на спектралния интервал. Обикновено се цитира без прецизиране, но понякога е необходимо да се цитира разстоянието под пика, на което се мери централната дължина на вълната.

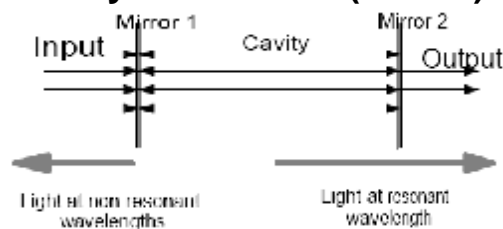
Дължина на вълната на пика – Тази е дължината на вълната, на която отслабването, внасяно от филтъра, е минимално (както е показано на фигурата).

Номинална дължина на вълната – Дължината на вълната, за която филтърът е бил предназначен от производителя. Това обикновено се отпечатва на корпуса на устройството. Реалната централна дължина на вълната понякога е различна.

Спектрална ширина – Лесно е да се види от формата на контура да десния филтър, че спектралната ширина на филтъра зависи силно от това къде я мерите. Спектралната ширина е разстоянието между крилата на филтъра (в nm), на предварително определено ниво под пика. Това разстояние винаги се цитира в dB. Обичайно е да се говори за спектрална ширина dB, 3 dB и дори 30 dB спектрална ширина.

Поляризацията тук е важен фактор. Както централната дължина на вълната, така и спектралната ширина често зависят от поляризацията, въпреки че величините обикновено се цитират предполагайки неполяризирана светлина. Понякога централната дължина на вълната и спектралната ширина се цитират като максимуми и минимуми, показващи границите на вариране на стойностите при промяна на поляризацията.

Филтър на Фабри-Перо (Еталон) Fabry-Perot Filter (Etalon)



Филтър на Фабри-Перо.

Един от най-простите принципи на филтрите се базира на интерферометъра на Фабри-Перо. Състои се от резонатор, ограничен от частично посребрени огледала. Ако огледалата могат да се преместват едно спрямо друго, устройството се нарича “интерферометър”. Ако огледалата са фиксирани (например с дистанционни елементи), устройството се нарича “еталон”.

--- Когато светлина с нерезонансна дължина на вълната достигне до огледалото, повечето от нея (в зависимост от отражението на огледалото) се отразява. Малка част от светлината преминава в резонатора и претърпява многократни отражения от огледалата, нов крайна сметка излиза през едно от огледалата или се поглъща.

--- Когато светлина с резонансна дължина на вълната достигне до входното огледало, тя преминава в резонатора без загуби! Този ефект е много интересен.

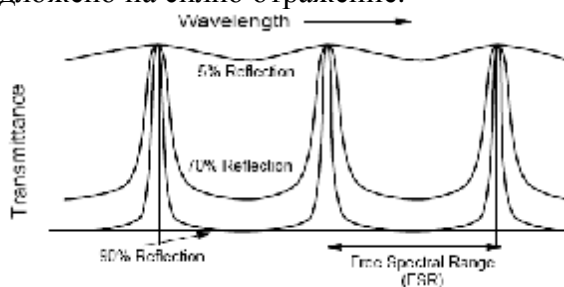
--- Приемайки, че в резонатора вече има лъчение с “правилната” дължина на вълната, пропорционална (малка) част от това лъчение ще се опита да напусне резонатора, защото огледалата са само частично отразяващи.

--- Пристигащата светлина с резонансна дължина на вълната и кохерентна с тази в резонатора ще се опита да се отрази (и повечето наистина ще се отрази).

--- Но между светлината с резонансна дължина на вълната, напускаща резонатора, и тази, кохерентна с нея, отразяваща се назад в резонатора от входното огледало, се получава деструктивна интерференция.

--- Резултатът е, че 100% от падащата резонансна дължина на вълната преминава през огледалото и навлиза в резонатора!

--- В допълнение, светлината с резонансна дължина на вълната, която вече е в резонатора, не може да излезе през това огледало (заради деструктивната интерференция с постъпващата светлина). 100% от нея се отразяват и, следователно, могат да напуснат резонатора само през противоположното огледало! Така само светлина с резонансната дължина на вълната постъпва в резонатора без загуби, докато лъчението с всички други дължини на вълните е подложено на силно отражение.



Характеристики на филтри на Фабри-Перо. Забележете тясната ивица на пропускане, когато отражението на огледалата е относително високо.

Възприетата мярка за това, доколко добър е един филтър на Фабри-Перо, е така наречения “финес” (Finesse). Той е отношението на енергията, запасена във филтъра, към енергията, преминаваща през него. Това е много близко до концепцията за Q-фактора. Колкото по-висок е финесът, толкова по-тясна е ивицата на пропускане и толкова по-резки са границите между пропускане и отражение. Главният фактор, който оказва влияние върху финеса, е коефициентът на отражение на огледалата. Колкото по-високо е отражението им, толкова по-висок е финесът. Поглъщането в устройството и особено в огледалата понижава рязкостта на пиковете на филтъра.

Разстоянието между пиковете се нарича свободен спектрален диапазон (Free Spectral Range, FSR) на Фабри-Перо филтъра:

$$FSR = \frac{1}{2nD},$$

където n е показателят на пречупване на материала между огледалата, а D е разстоянието между тях.

Финесът на филтъра е отношението на разстоянието между пиковете на пропускане (свободния спектрален диапазон) към ширината на всяка една спектрална линия (пълна ширина на полувисочина):

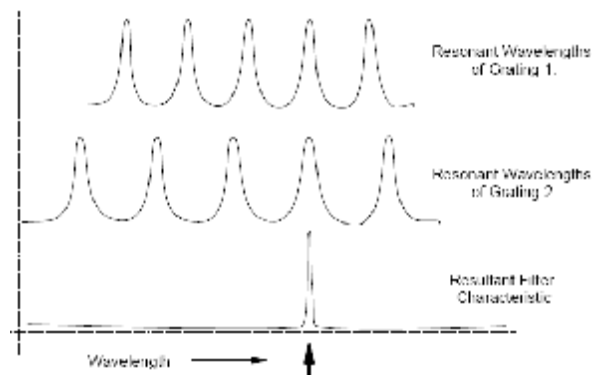
$$Finesse = FSR / FWHM .$$

Резонансната дължина на вълната се дава с:

$$l = 2Dn / m ,$$

където m е цяло число.

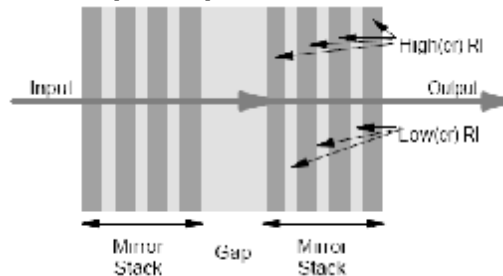
Филтърът на Фабри-Перо има в характеристиката си много пикове в смисъл, че има много ивици на пропускане. На практика, обаче, се ползва само един пик. С разстояние между пиковете (свободен спектрален диапазон) от само около 2 nm, този филтър не би бил особено полезен за възстановяване на сигнал от WDM-поток с ширина, да кажем, 20 nm. За да се увеличи свободния спектрален диапазон е необходимо да се намали разстоянието между огледалата.



Каскада от филтри на Фабри-Перо с различни свободни спектрални диапазони.

Когато филтрите се ползват в каскада, резултатното устройство работи като нов филтър. Ивицата му на пропускане е там, където съвпадат ивиците на пропускане на отделните Фабри-Перо-филтри. Ширината на ивицата на пропускане винаги е по-тесна. Финесът се подобрява значително, тъй като свободният спектрален диапазон се разширява до най-малкия общ множител на двата свободни спектрални диапазона на филтрите, които го изграждат. Ако в каскада се ползват два идентични филтъра на Фабри-Перо, получава се само стесняване на контура на пропускане. Ако двата филтъра са с два различни свободни спектрални диапазона, свободният спектрален диапазон на новия филтър е много по-широк.

Диелектрични филтри на Фабри-Перо



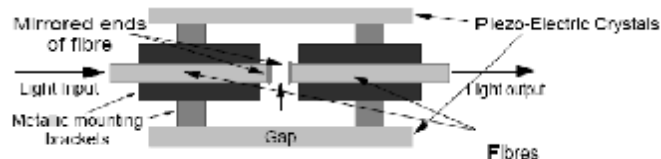
Филтър на Фабри-Перо с диелектрични огледала.

В микрооптичната технология филтри на Фабри-Перо често се правят, ползвайки многослойни диелектрични покрития от диелектрици с различни показатели на

пречупване. Ползват се много тънки слоеве ($1/4$ от дължината на вълната) от материали с алтернативни (висок и нисък) показатели на пречупване. Типично, тези слоеве се отлагат от SiO_2 ($n=1.46$) и TiO_2 ($n=2.3$), макар понякога да се ползват и други материали. Всеки слой от всеки материал има дебелина, точно равна на $1/4$ от най-голямата дължина на вълната, която трябва да бъде обработвана.

Пренастройваеми филтри на Фабри-Перо

Устройството може да бъде настроено като едното от огледалата се прикрепи към пиезоелектричен кристал и се променя напрежението, прилагано към кристала. Такъв кристал може да бъде контролиран с точност, при което промяната на положението на огледалото може да бъде фиксирана с чувствителност, по-малка от диаметъра на атом! Единственият проблем е в това, че обикновено е необходимо относително високо напрежение (300-500 волта), за да се постигне изискваната деформация на кристала. Реалните устройства се нуждаят от около 1 ms, за да завършат пренастройването, което е доста бързо за някои приложения, но е твърде бавно за прогнозираните приложения като превключване на оптични пакети.

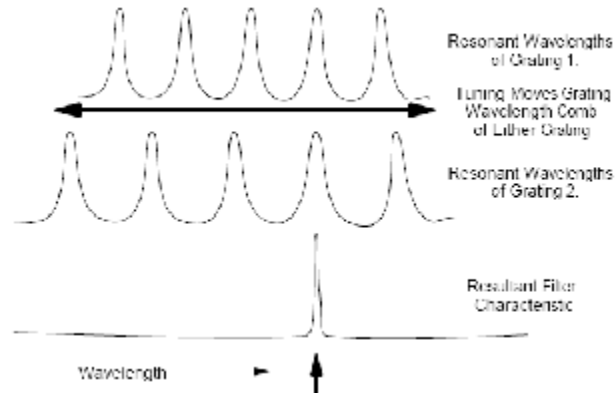


Пренастройваем филтър на Фабри-Перо.

Горната фигура показва находчива реализация на филтър на Фабри-Перо. Две парчета от влакно се ползват, като краищата им са полирани и посребрени. Влакната са позиционирани точно едно срещу друго, с точно измерена междина (това е трудната част...). Това спестява необходимостта от въвеждане и извеждане на светлината от и в “обичайния” филтър на Фабри-Перо. Така светлината пристига и напуска устройството по собственото си влакно. Показаното устройство е монтирано на два пиезоелектрични кристала. При прилагане на напрежение към кристалите можем да променяме разстоянието между краищата на влакната и, следователно, резонансната дължина на вълната.

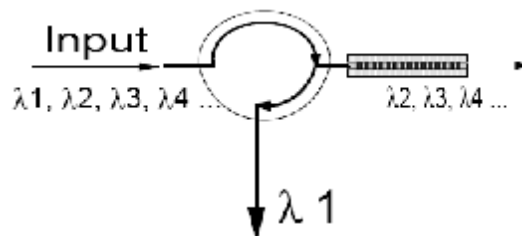
Пренастройваеми филтри на Фабри-Перо могат да бъдат построени и чрез поставяне на течнокристална среда в междината. Показателят на пречупване на течнокристалната среда може да бъде променен много бързо чрез пропускане на ток през течността. Има съобщения за времена на превключване на такива материали, които са около 10 μs , но теоретично достижимите времена трябва да са суб-микросекундни. Областта на пренастройване е 30-40 nm. Очаква се, че такива филтри ще бъдат евтини и ще изискват ниски напрежения.

Ако пренастройваеми филтри на Фабри-Перо се ползват в каскада, както е показано на следващата фигура, областта на пренастройване се разширява много и скоростта на пренастройване също се подобрява. Когато единият гребен се мести, той ще се “подравнява” с другия гребен, но на различни пикове. Следователно с малко преместване може да се достигне широк интервал на пренастройване.



Каскадни пренастройваеми филтри на Фабри-Перо с различни свободни спектрални интервали.

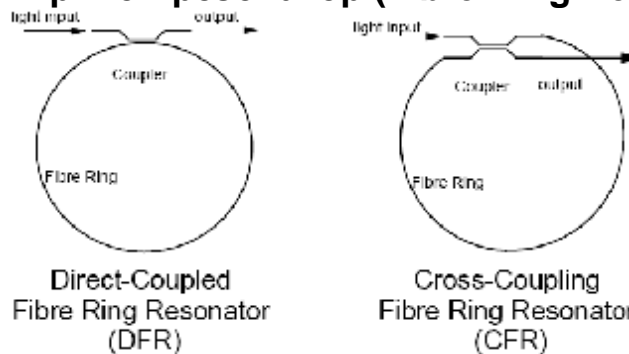
Филтри с Брягови решетки във влакна (In-Fibre Bragg Grating Filters)



Брягова решетка във влакно, ползвана като филтър.

Бряговите решетки във влакна са почти идеалните филтри. Но те имат един главен недостатък. Те, по природа, са отражателни, а не работят на пропускане. Влакнеста Брягова решетка премахва определена дължина на вълната от потока сигнали със смесени дължини на вълните като я отразява обратно към източника. За да се използва влакнеста Брягова решетка като филтър на пропускане, необходим ни е циркулятор. Това именно е показано на горната фигура.

Влакнест кръгов резонатор (Fibre Ring Resonators)



Влакнесты кръгови резонатори. Двата основни типа са влакнест кръгов резонатор с директна връзка (Direct-Coupling Fibre Ring Resonators, DFR) и влакнест кръгов резонатор с крос-връзка (Cross-Coupling Fibre Ring Resonators, CFR).

По принцип кръговите резонатори са много подобни на филтрите на Фабри-Перо. За разлика от филтъра на Фабри-Перо, нерезонансната дължина на вълната

преминава, а не се отразява обратно към източника. Резонансните дължини на вълните се поглъщат от загуби в устройството.

Оптичната мощност циркулира в пръстена тогава (и само тогава), когато дължината му е равна на цяло число пъти дължината на вълната. Смисълът да се построи влакнест кръгов резонатор е че пръстенът може да бъде много дълъг (в някои случаи до 1 km). Дълъг пръстен означава, че разстоянието между резонансите (т.е. свободният спектрален диапазон) е много малък. Това близко положение на резонансите силно ограничава приложимостта на влакнестите кръгови резонатори в обичайното филтриране на сигнали и при WDM-приложения. Но влакнести кръгови резонатори се ползват за много други приложения:

--- Спектрални анализатори (Близкото разположение на резонансите тук е от голяма полза).

--- Сензори.

--- Тесноивични филтри.

В леко различни форми влакнестите кръгови резонатори се ползват също и в;

--- Кръгови лазери

--- Интерферометри

--- Пасивни влакнести жирографи

Основната трудност с влакнестите кръгови резонатори е, че финесът им е ограничен от загубите в пръстена (включващи и загубите в съединителя). Тези загуби могат да бъдат доста високи и финесът (селективността) на устройството може да не е толкова добър, колкото е необходимо.

Едномодовият резонатор зависи в действието си от интерференчните ефекти в съединителя. За да работят тези ефекти по подходящия начин, са необходими 2 условия:

1. Пръстенът трябва да запазва състоянието на поляризацията. Иначе интерференчните ефекти в съединителя няма да протичат по подходящия начин.

2. Дължината на пръстена трябва да е по-малка от дължината на кохерентност на лазерния източник.

Ползват се и други типове кръгови резонатори, които са много дълги и при които спазването на тези условия не е необходимо, но те всъщност са кръгови оптични закъснителни линии, а не резонатори.

За да се настроят резонансните пикове там, където искаме да са, имаме нужда от метод за промяна на показателя на пречупване или на дължината на влакното. Така е, защото не можем да построим дълъг пръстен от влакно с дължина, която е прецизна до няколко nm. Просто настройващо устройство може да бъде направено, използвайки примка от влакно около сърцевина, която може да се разпъва (всъщност съвсем малко) чрез пиезоелектричен кристал. Това ще разпъва влакното и ще променя дължината на пръстена. Общото разпъване, което е необходимо, е по-малко от една дължина на вълната, т.е. необходимият ефект е доста фин. Действително, в практически използваемите устройства има нужда от механизъм, който да компенсира влиянието на промените на температурата.

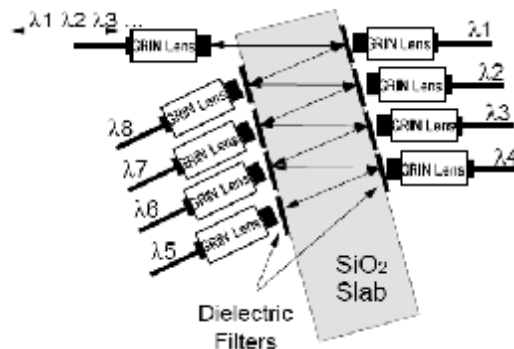
Един от методите за заобикаляне на проблема със загубите в ринга е в него да се включи ербиев влакнест усилвател (EDFA), който да усилва сигнала. Това повишава финеса, но въвежда един основен проблем. Влакнест пръстен с включен в него EDFA може да бъде лазер! (Всеки усилвател с обратна връзка може да загенерира.) Спонтанната емисия на EDFA може да доведе до генерация в областта на 1553 nm. Това е възможно, защото в рамките на ивицата на усилената спонтанна емисия на EDFA има резонансна дължина на вълната, защото резонансите са нагъсто разположени. За да се разреши този проблем е необходимо да се сложи влакнест интерферометър на Фабри-Перо за входната

дължина на вълната. Необходим е също и оптичен изолатор, за да предотврати формирането на генерация в обратно направление.

Планарни кръгови резонатори – Кръговите резонатори могат да се направят по планарна технология. В този случай те могат да са къси (няколко сантиметра) и, следователно, ивиците на пропускане могат да бъдат раздалечени повече една от друга, отколкото във влакнестите устройства.

Диелектрични филтри за WDM мултиплексиране и демултиплексиране

Диелектричният филтър действа на същия принцип, както и интерферометърът на Фабри-Перо. Разликата е в това, че той се прави чрез нанасяне на слоеве от диелектрични материали с контролирани дебелини. Повърхностите на материала формират огледалата на Фабри-Перо-филтъра. Както при всички филтри на Фабри-Перо, селектираната дължина на вълната се пропуска, всички други дължини на вълните се отразяват.



WDM мултиплексор/демултиплексор с диелектрични филтри.

Горното устройство показва кристал от прозрачен материал, върху който са нанесени серия от диелектрични филтри с различни дебелини. Всеки филтър позволява да се пропусне различна дължина на вълната, а всички останали се отразяват. От сноп, постъпващ в устройството, прогресивно ще се “отнемат” отделните снопове с различните им дължини на вълните. Големият проблем с тези устройства е, че на всеки етап на филтриране има и известно отслабване на сигнала. Така (виж фигурата) сигналът на дължина на вълната 5 е отслабен значително повече от сигнала на дължина на вълната 1. Разбира се устройството ще работи и в обратна посока и ще действа и като WDM мултиплексор.

Модулатори и Ключове (Modulators and Switches)

Много от оптичните източници, които бихме искали да ползваме за предаване на сигнали по оптични влакна, или не могат да бъдат модулирани, или проявяват нежелани характеристики, когато ги модулираме. Влакнестите лазери, например, не могат да бъдат модулирани чрез включване и изключване. Те се възбуждат със светлина от други лазери и прекарват сравнително дълго време във високоенергетично “метастабилно” състояние, преди да излъчат спонтанно или да загенерират. Това означава, че те не могат да откликнат на модулация, по-бърза от няколко килохерца. Полупроводниковите лазери (дори тези с разпределени Брягови отражатели и тези с разпределена обратна връзка) често променят дължината на вълната си, когато биват модулирани и имат горна граница на скоростта на

модулацията, определена от вътрешния капацитет на устройството и от скоростта на мигриране на носителите на заряд. Обаче и двата споменати вида лазери са много добри светлинни източници за влакнестооптичните комуникации. Отговорът на проблема е да се ползва лазер, който излъчва в непрекъснат режим и след като снопът напусне лазера, той да бъде модулиран.

Работата на модулятора е да пренесе модулацията на електричния сигнал върху оптичния. Интензитетът на светлината трябва да се променя в зависимост от някоя от характеристиките на електричния сигнал (напрежение или ток). За повечето приложения имаме нужда от цифрова модулация, така че имаме нужда сигналът да бъде превключван между състояния ON и OFF.

Общо казано, ползват се три подхода:

Електрооптичен и магнитооптичен ефекти – Има много материали (напр. калцит, кварц, литиев ниобат...) които променят оптичните си свойства в присъствие на електрично или магнитно поле (или и на двете). Обикновено се променя показателя на пречупване и най-често промяната е различна за лъчение с различна поляризация. Промяната на показателя на пречупване води до промяна на фазата на светлината, преминаваща през средата. Само фазова модулация от този тип не е особено полезна за нас. Но някои устройства (напр. интерферометър на Мах-Зендер) могат да се ползват да преобразуват фазовата разлика в промяна на амплитудата на сигнала. Повечето високоскоростни модулятори се строят на този принцип.

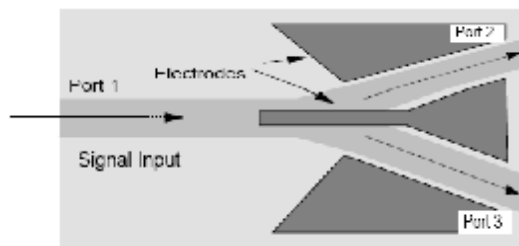
Електро-абсорбционен ефект – Идеалният прост модулатор би се състоял от материал, който има променливо поглъщане на светлината в зависимост от наличието на приложено електрично поле. За съжаление няма много такива материали. Но *p-n*-преходът в 3-5-полупроводници (като, например, галиев арсенид) се държи по този начин и този материал се ползва за направата на модулятори. Това е особено полезно тогава, когато искате да построите планарно устройство, интегриращо лазер и модулатор в едно устройство.

Акустични модулятори – Акустичните модулятори ползват много високочестотен звук, разпространяващ се в кристал или в планарен вълновод, за да отклонят светлината от едно направление в друго. Чрез контролиране на интензитета (силата) на звука може да се контролира каква част от светлината се отклонява и, следователно, да се конструира модулатор.

Превключватели (Switches)

Тъй като модуляторите, общо казано, включват и изключват сигнала, те са отлични превключватели. Наистина цифровият модулатор е просто много бърз превключвател. Но при някои типове модулятори бихме били удобни и с по-скромно действие, отколкото се нуждаем при ключовете. В някои ситуации, например, бихме се примирили с известно пропускане на светлина в състояние “изключен” на модулятора (особено ако е аналогов). Понякога може да сме готови да се примирим с повече паразитен сигнал в модулятора, отколкото в превключвателя, като всичко зависи от конкретното приложение. Често имаме нужда от превключватели, за да пренасочим изхода към една или две посоки, докато от модулятора обикновено искаме само да контролира интензитета в определено направление.

Оптични превключващи елементи (Optical Switching Elements)

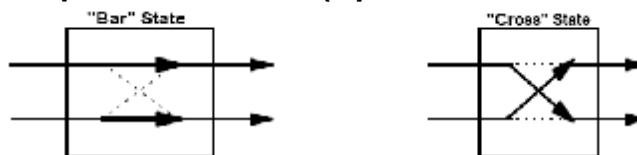


Цифров оптичен ключ (Digital Optical Switch, DOS) – Схема.

В почти всяка мрежа, в която комуникационните канали се превключват или пренасочват между възли по трасето, има нужда от превключване на един канал от едно трасе към друго. За щастие има много начини да се построят ефективни компоненти, които правят точно това.

Горната фигура показва една възможна конфигурация. Y-съединител е модифициран с добавяне на електроди, чрез които може да се приложи електрично поле върху материала на вълновода. В този случай материалът е литиев ниобат, който променя показателя си на пречупване под действие на електрично поле. Този елемент се нарича цифров оптичен ключ (Digital Optical Switch, DOS). Когато се приложи електрично поле, показателят на пречупване на LiNiO_3 в едното рамо на съединителя нараства, а в другото рамо намалява. Това пренасочва входната светлина от Порт 1 към един от двата изходни порта, в зависимост от показателя на пречупване по конкретното трасе (т.е. в зависимост от направлението на приложеното електрично поле). **Светлината се движи в канала, в който показателят на пречупване е по-висок!** Когато посоката на електричното поле се обърне, показателят на пречупване се променя наобратно и светлината се насочва към другия изходен порт на съединителя. Тази операция е с доста ниски загуби (1 или 2 dB) и са конструирани големи многопътни превключватели с превключващи елементи като в централна превключвателна станция (central switch fabric).

Оптични кръстосани превключватели (Optical Crossconnects, OXCs)



Оптичен кръстосан превключвател – функция.

Кръстосаният превключвател е много по-надежден превключващ елемент, отколкото двупозиционния превключвател с един входен канал, описан по-горе. Както е показано на горната фигура, кръстосаният превключвател има два входа и два изхода. В едното състояние (“право” или “bar”-състояние) двата входа са свързват направо със съответстващите им два изхода. В кръстосано състояние (“cross” state) всеки вход се насочва към противоположния изход. Кръстосаният превключвател може да заеме мястото на до четири прости двупозиционни превключвателя.

Кръстосаните превключватели могат да се реализират по оптична технология по много начини, два от които ще опишем тук:



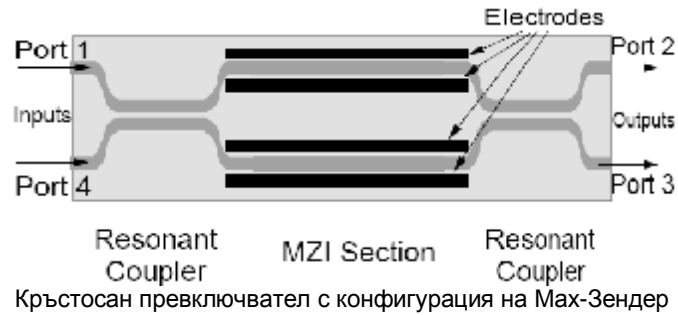
Кръстосан превключвател, ползващ резонансен съединител.

Кръстосан превключвател на базата на резонансен съединител – Устройството, показано на горната фигура, е резонансен съединител, реализиран върху електрооптичен материал като литиев ниобат. Електроди, поставени върху вълноводите, позволяват да се приложи напрежение по сечението им. В кръстосано състояние (“cross” state) не електродите не се подава напрежение. Дължината на свързване се подбира така, че оптичната мощност, постъпваща през Порт 1 да се прехвърли в другия вълновод и да излезе през Порт 3. Светлина, влизаща през Порт 4, се прехвърля обратно и излиза през Порт 2. Когато се приложи напрежение, се променя показателят на пречупване на материала и на двата вълновода. Това променя скоростта на разпространение на светлината във вълноводите. Понеже ефектът на свързване зависи от константите на разпространение на двата вълновода, светлина не може да се прехвърли между тях. Така, когато е приложено напрежение, светлината, влизаща през Порт 1, напуска устройството през Порт 2, а светлина, влизаща през Порт 4, излиза през Порт 3. Това е “правото” (“bar”) състояние.

Главната трудност при това устройство е, че при производството му е необходима извънредно висока точност. Дължината на свързване е критична и толерансът е съвсем малък. Показателят на пречупване на материала на вълновода също е критично важен. В дясната част на горната фигура е показана модификация на кръстосания превключвател, при която производствените толеранси са съществено по-малко критични. В този случай единият от електродите е направен на две секции. На всяка секция се прилага еднакво, но противоположно напрежение.

На пръв поглед тази конфигурация с електрод от две секции може да изглежда изненадваща. Ало на двете секции е приложено еднакво, но противоположно напрежение, на изхода фазата на постъпващата светлина остава непроменена. Наистина, ако това беше интерферометър на Мах-Зендер, принципът не би работил, но това устройство не е такъв интерферометър. В това устройство не се интересуваме от промяната на фазата на сигналите. Можем да третираме двата входни сигнала поотделно, като че те не си взаимодействат. Сигнал, разпространяващ се по единия вълновод, не може да се прехвърли в другия вълновод, ако фазовата му скорост в двата вълновода е различна. Това се постига като показателите на пречупване на двата вълновода се направят да са различни във всяка точка по дължината на съединителя. Нямам значение, че сумарното фазово закъснение в двата вълновода е еднакво, защото фазовите скорости по дължината на съединителя винаги са несинхронни.

Интерферометричен кръстосан превключвател от тип на Мах-Зендер (Mach-Zehnder Interferometric Crossconnect)



Когато светлина се вкара в Порт 1, тя се разделя поравно между двете рамена на интерферометъра. **Без приложено напрежение** светлината достига до 3-dB-съединителя във фаза, защото раменете на интерферометъра са с равни дължини. Вторият съединител действа като продължение на първия и цялата светлина излиза през Порт 3. По същия начин, светлина, влизаща през Порт 4, излиза през Порт 2. **Това е кръстосаното състояние.**

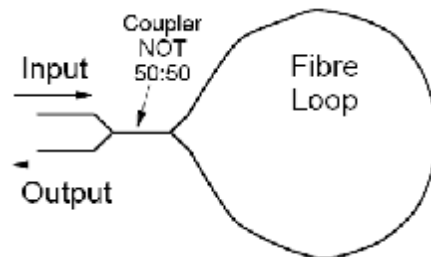
Когато на електродите се подаде напрежение, показателят на пречупване на всеки вълновод се променя. Нещата се правят така, че напрежението, което се подава, да осигурява светлината в двата канала да пристига на входа на втория съединител дефазирани на 180° (канал към канал). Интерференцията между каналите е деструктивна и светлината, влязла през Порт 1, излиза сега през Порт 2. Светлината, влизаща през Порт 4, излиза през Порт 3.

Оптично-контролирани превключватели

Нелинейно-оптично кръгово огледало (The Non-Linear Optical Loop Mirror, NOLM)

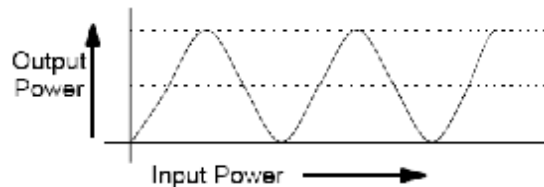
Нелинейно-оптичното кръгово огледало е много бърз оптичен ключ, който може да бъде ползван за много цели. В най-простата си форма той може да “изчисти” потока от импулси, премахвайки фоновия шум между импулсите. В по-усъвършенствана своя конфигурация то може да се ползва за демултиплексиране на поток от битове, мултиплексиран с времеделение.

Основната функция на нелинейно-оптичното кръгово огледало (NOLM) е да отслаби входния импулс с част, която е (нелинейно) зависима от интензитета на този импулс. В идеалния случай сигнал с високо ниво се пуска без отслабване, но сигнал с по-нисък интензитет претърпява по-значително затихване. Така високоинтензивният импулс преминава непроменен, а нискоинтензивният шум се премахва.



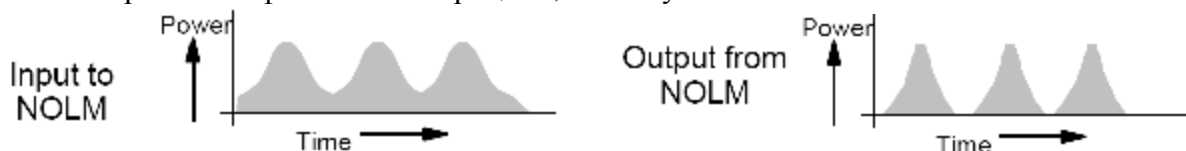
Нелинейно-оптичното кръгово огледало (Non-Linear Optical Loop Mirror; NOLM).

Както е показано на горната фигура, базовото устройство се състои от запоен влакнест съединител, на който две от рамената са свързани към непрекъсната намотка от оптично влакно. Сигнал, постъпващ на входа на съединителя се разделя на две и се пуска да обикаля двупосочно в намотката от влакно. Когато пристигне отново до съединителя, интерференчните ефекти определят амплитудата на изхода. Това изглежда странно, защото знаем, че двете компоненти на разделения сигнал трябва да изминат точно едно и също разстояние по периметъра на намотката и, следователно, ще пристигнат точно в един и същи момент! Секретът е в това, че се ползва нелинейния ефект на Кер (Nonlinear Kerr Effect). Светлината с висок интензитет причинява слаба промяна на показателя на пречупване на стъклото, така че груповата скорост на импулса нараства. Следователно високоинтензивните импулси се разпространяват по-бързо от нискоинтензивните. Ключът към механизма на действие тук е, че съединителят не е точно разклонител 50:50. Той може да разделя (например) в съотношение 45:55. Това води до факта, че в едното направление се разпространяват импулси с по-високи интензитети (и с по-висока групова скорост), отколкото импулсите в другото направление. Следователно те ще пристигнат отново при съединителя в съвсем слабо отличаващи се моменти и ще интерферират (конструктивно или деструктивно) един с друг. Наистина важното условие е нелинейността на ефекта на Кер. При нисък интензитет на светлината ефект на Кер не се наблюдава. Така, при нисък интензитет, и двете компоненти на импулса пътуват по затворения контур с една и съща групова скорост и пристигат при съединителя в един и същи момент от време. При висок интензитет се проявява ефектът на Кер и той причинява разлика в груповите скорости на импулсите, които пристигат при съединителя в съвсем слабо отличаващи се (но отличаващи се) моменти от времето. Това, което се получава, е фазова самомодулация ("Self Phase Modulation"; SPM).



Промяна на изходната мощност на нелинейно-оптичното кръгово огледало в зависимост от входната мощност.

Ефектът на нелинейно-оптичното кръгово огледало (NOLM), ползвано като прост филтър, е показано на долната фигура. На картинката за входния сигнал, между импулсите се вижда значителен фон от шумов сигнал. На изхода този шум е премахнат. Вероятно нежелан страничен ефект от този процес е, че импулсите малко се скъсяват.



Филтриране на шума от поток от информационни импулси чрез нелинейно-оптичното кръгово огледало.

Главното предимство на устройството е в това, че е извънредно просто и евтино. Нещо повече, то не изисква сложно настройване на дължината на оптичното влакно. Настройването е действително сериозен проблем в много други устройства, например като влакнестите интерферометри.

Недостатъкът на нелинейно-оптичното кръгово огледало за превключване на импулси е фактът, че двата ключови ефекта действат в противоположни посоки:

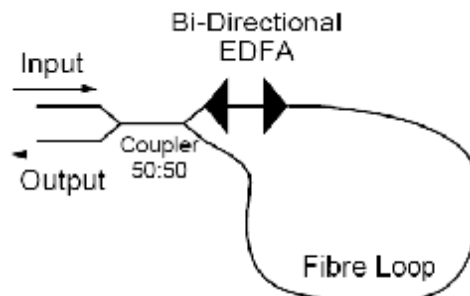
1. Коефициентът на превключване (отношението между амплитудата на импулса в състояние “включено” към сигнала в състояние “изключено”) не може да е 100%. Причинява се от факта, че трябва да ползваме асиметричен разделител. Двете компоненти на импулса (разпространяващи се в противоположни посоки) трябва да са различни по амплитуда. Следователно интерференцията никога не може да бъде с максимална дълбочина на модулацията. По тази причина искаме да ползваме разделители, които са колкото се може по-близки до 50:50.

2. Разбира се устройството няма да работи, ако разделянето е точно 50:50. Но ако ползваме сплитер, близък по коефициент на разделяне до 50:50, трябва да ползваме много дълга секция от оптично влакно, за да получим желанния ефект. Много дългата секция от оптично влакно внася редица нежелани ефекти. Едно решение на тази дилема е да се постави усилвател във влакнестата примка, с което се реализира NALM (виж по-долу).

Нелинейно усилващо оптичното кръгово огледало The Non-Linear Amplifying Optical Loop Mirror (NALM)

Нелинейното усилващо оптичното кръгово огледало (NALM) е модификация на нелинейно-оптичното кръгово огледало (NOLM), която позволява да се ползва разделяне 50:50 и, следователно, позволява достигане на пълно превключване. (НЕ се прехвърля никаква мощност при състояние OFF.)

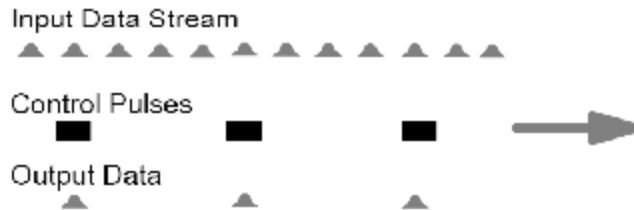
Идеята тук е да се постави двупосочен ербиев влакнест усилвател (EDFA) в единия край на примката от влакно. Критично важно е усилвателят да е по-близо до едното рамо на сплитера, отколкото до другото. В този случай самият сплитер може да е точно 50:50 (или толкова близо, колкото производителят позволява). Едната половина на импулса ще преминава по примката от влакно при ниска (неусилена) мощност, докато другата половина ще преминава по нея (в обратна посока) с висока (усилена) мощност. Обаче и двете половини на импулса пристигат обратно при сплитера с точно една и съща амплитуда.



Нелинейно усилващо оптичното кръгово огледало (Non-Linear Amplifying Optical Loop Mirror; NALM).

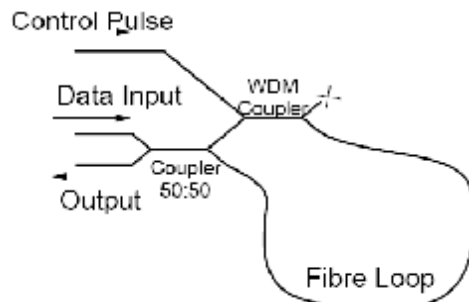
Разбира се наличието на ербиев влакнест усилвател усложнява простото устройство и добавя значителна цена, но позволява почти пълно превключване.

Нелинейно усилващо оптичното кръгово огледало като логически гейт.



Демултиплексиране на поток с данни с времево мултиплексиране. Контролен импулс се ползва да селектира поток от данни с по-ниска скорост от високоскоростния входен поток от данни.

В оптичното мултиплексиране с времеделение (OTDM) високоскоростен поток от импулси се съставя от няколко потока от данни с по-ниска скорост на предаване. Необходимо е (оптично) да се демултиплексира този поток от импулси – да се селектират и изведат тези, които принадлежат към по-нискоскоростния поток от данни. Логиката на тази операция е илюстрирана на горната фигура.



Нелинейно-оптичното кръгово огледало конфигурирано като логически гейт AND.

Действието е подобно на това на базовото нелинейно-оптичното кръгово огледало, описано по-горе, но все пак има редица критично важни разлики:

--- Входният импулс от данните се разцепва 50:50 и се разпространява двупосочно (противоположно) по примката.

--- На определено място, близо до края на примката от влакно времеви строб (clock (timing) pulse) се синхронизира с потока на входните данни и се въвежда в примката.

--- Когато контролният импулс съвпадне с импулс от данни се получава фазова крос-модуляция (вместо фазова самомодуляция, както е в базовото нелинейно-оптичното кръгово огледало). По същество, интензивният контролен импулс променя показателя на пречупване на стъклото и импулсът на данните, който се разпространява в същото направление, се ускорява, а импулсът от данни, който се разпространява в обратно направление, остава неповлиян.

--- Когато импулсите достигнат обратно до съединителя това създава фазова разлика и селектираният импулс се извежда към изхода.

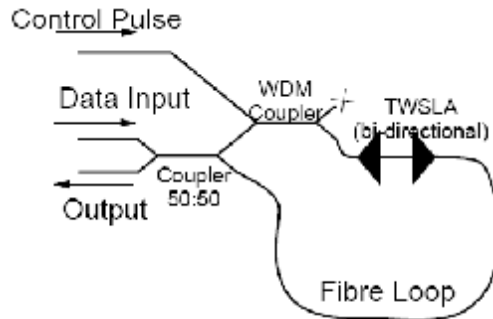
Това е един елегантен принцип, но е доста трудно да се реализира на практика.

---Контролният импулс трябва да е високоинтензивен. Практически приложимите устройства ползват контролни импулси с мощности около 200 миливата!

---За да се осигури максимален ефект е необходимо специално влакно с минимум на дисперсията, много близък до дължината на вълната на сигнала от данни.

--- Контролният сигнал е необходимо да е много близък до сигнала на данните, но трябва да е достатъчно далеч от него, за да може да бъде разделен от данните на изхода.

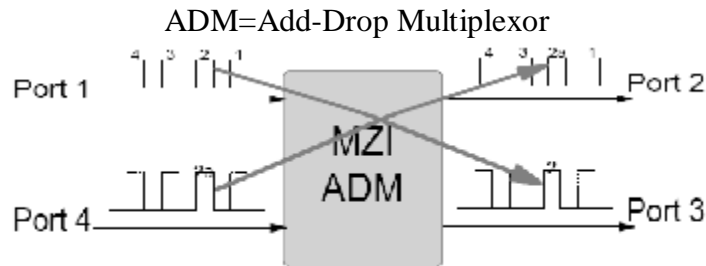
--- Разбира се контролният импулс трябва да бъде точно синхронизиран с входния поток от данни.



Логически гейт, изграден от нелинейно-оптичното кръгово огледало и силициев лазерен усилвател в режим на бягаща вълна (Travelling-Wave Silicon Laser Amplifier, TWSLA).

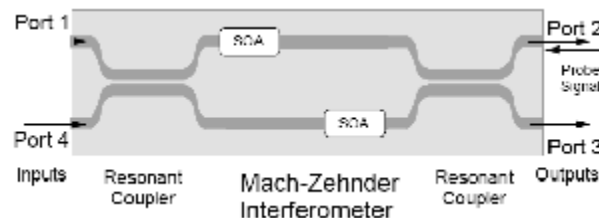
Значително подобро устройство може да бъде направено, ползвайки силициев лазерен усилвател в режим на бягаща вълна (TWSLA, Travelling-Wave Silicon Laser Amplifier) във влакнестата примка. Това е показано на горната фигура. Идеята е да се ползва фазовата крос-модуляция на съвместно разпространяващите се импулси в усилвателя в режим на бягаща вълна, а не в самата примка от оптично влакно. Това изисква значително по-къса влакнеста секция и много по-нискоинтензивни контролни импулси. Това устройство е сериозен съперник за ролята на демултиплексор в бъдещите оптични системи с времево мултиплексиране (OTDM).

Оптичен мултиплексор с добавяне/изваждане за оптични системи с времево мултиплексиране, ползвайки интерферометър на Мах-Зендер Optical ADM for OTDM using Mach-Zehnder Interferometer



Оптичен мултиплексор с добавяне/изваждане – функционална схема.

В оптичните системи с времево мултиплексиране (optical TDM systems) отделните канали се редуват последователно, на ниво битове. За да се получи (или замени) определен канал от останалите канали трябва да можем да имаме достъп до всеки един бит. Например, в една осемканална система един отделен канал може да се съдържа във всеки осми бит. Логическата операция, която трябва да се изпълни, е показана на горната фигура.



Мултиплексор с добавяне/изваждане на базата на интерферометър на Мах-Зендер.

Устройството, показано на горната фигура, е способно да замени (добави/извади) отделни битове от потока от битовете, без да оказва влияние на другите битове от поредицата. Както се вижда от фигурата, основното устройство е планарен интерферометър на Мах-Зендер с полупроводников оптичен усилвател, вграден във всяко рамо. Полупроводниковите усилватели са разделени един от друг от внимателно дефинирана междина. Действието почива на факта, че когато полупроводниковият оптичен усилвател се насити, плътността на носителите е напълно изчерпана и това води до промяна на показателя на пречупване, следователно и до фазово отместване на сигнала, който преминава през съответното рамо.

Действието се дължи на наличието на внимателно синхронизиран във времето, високоинтензивен импулс, постъпващ в устройството през Порт 2.

--- В състояние на пропускане (“pass through” state; the bar state) полупроводниковият усилвател се захранва, но не постъпва оптична мощност от пробния, настроен във времето, сигнал. Целият поток от данни, който пристига на Порт 1, излиза непроменен през Порт 2. Целият поток от данни, идващ на Порт 4, напуска непроменен устройството през Порт 3.

--- Ако постъпи пробен импулс, той навлиза в интерферометъра на Мах-Зендер през Порт 2 (при насрещно разпространение). Пробният импулс се подбира да е значително по-висока мощност от сигналните, така че да насити всеки полупроводников усилвател, когато мине през него. Понеже позициите на полупроводниковите усилватели са разместени, те се насищат в различни моменти от времето.

--- Когато един полупроводников оптичен усилвател е наситен, а другият не е, получаваме “кръстосано” състояние на превключвателя. Импулс, постъпващ през Порт 1, ще бъде превключен към Порт 3, а импулс, пристигащ през Порт 4, ще бъде превключен към Порт 2.

--- Ако пробният импулс е синхронизиран прецизно с потока от данните, това позволява един бит да бъде изведен от мултиплексирания поток от данни, а на негово място да бъде въведен друг бит. Тази е функцията добавяне/изваждане (the add/drop function).

--- Ако през Порт 4 не постъпва сигнал, устройството се превръща в едноканален демултиплексор.

Забележете, че действието на устройството е тясно обвързано с отместването между двата полупроводникови оптични усилвателя. Това значи, че скоростта на действие е обвързана с механичната конструкция на устройството. То ще работи правилно само върху поток от битове с предварително определена скорост на предаване. Потоци от битове с по-високи и по-ниски скорости няма да могат да бъдат обработвани.

Електроабсорбционни модулатори (Electro-Absorption Modulators)

Вече разгледахме характеристиките на *p-n*-прехода, ползван при светодиодите и лазерите. И в двете устройства преходът получава електрична енергия от ток, течащ през него, което е резултат от прилагане на напрежение в права посока.

Полупроводниковият преход, свързан в обратна посока със захранване, е силен поглъtitел на светлина. При нулево напрежение поглъщането е минимално. Електроабсорбционните модулатори ползват това свойство. Разбира се, дължината на вълната, която се поглъща, се определя от ширината на забранената зона на материала, от

който е изготвен прехода. Светлина се поглъща само, ако има енергия на фотоните, която е по-голяма от енергията на забранената зона на ползвания материал.

Важно е да се отбележи, че поглъщането в прехода се контролира от приложеното електрично поле, а не от тока, който протича през него. При отсъствие на попадаща отвън светлина обратен свързаният *p-n*-преход не пропуска никакъв ток (по-точно само минимален ток, генериран от термична йонизация). Когато се поглъдне светлина ток протича, но това е само страничен резултат от действието на устройството. Последствието от това е, че скоростта на модулацията зависи само от това колко бързо може да се промени електричното поле през прехода. Няма нужда да се чака мигрирането на токовите носители. Следователно, с електроабсорбционен модулатор може да се модулира с много по-висока скорост, отколкото това може да се прави, модулирайки запазващия ток на полупроводников лазер.

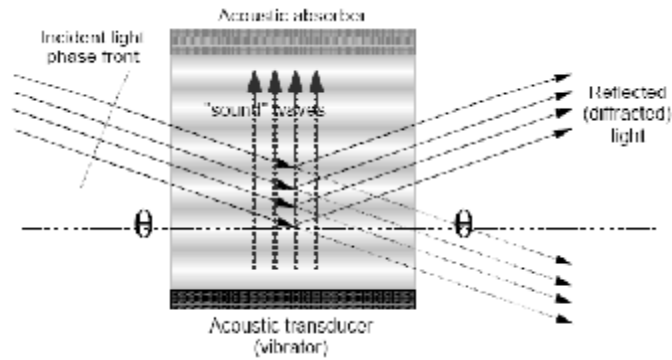
Като отделно устройство, модулаторът е много прост. По конструкция той е много подобен на светодиода, на лазер или на полупроводников оптичен усилвател. Светлината постъпва по входно оптично влакно, свързано с едното чело на устройството, и излиза през противоположната повърхност на устройството. Откликът на устройството е нелинеен и понастоящем е практически приложима само цифрова модулация (включено/изключено; on-off). Възможни са скорости на модулация до 10 GHz. За използване на дължина на вълната 1550 nm хетероструктурните устройства се правят от InGaAsP/InP.

Дискретни (самостоятелни, free standing) устройства от този вид не се разглеждат като перспективни устройства за комерсиално приложение. Така е поради високите загуби в устройството (между 9 dB и 12 dB във включено състояние). Тази форма на модулатора обаче става все по-популярна като част на интегрално устройство. В този случай лазерът и модулаторът се изграждат заедно, на един и същи чип, като изходът на лазера директно е подаден към модулатора. В тази конфигурация допълнителните загуби, причинени от модулатора, са само от около 1 dB. Ключов елемент в конструкцията е, че трябва да конструирате огледало и електрична изолационна бариера между устройствата. Огледалото разбира се е необходимо като изходно огледало на лазера. Електричната изолация е нужна, за да се намалят нежеланите електрични взаимодействия. Комерсиални лазери с интегрирани модулатори за ивицата около 1550 nm съществуват на пазара за честоти на действието до 2.5 Gbps.

Акустични модулатори (Acoustic Modulators)

Ако в един материал има механични вибрации, те водят до периодични зони на компресиране и на разтягане на материала. В повечето материали това води до промяна на показателя на пречупване. Периодична структура от променен показател на пречупване е дифракционна решетка. Следователно ако в оптична среда (например кристал) се създадат високочестотни вибрации, можем да накараме светлината да дифрагира от така създадената структура. Можем да контролираме много точно амплитудата на тези вибрации, защото те са генерирани по електричен път. Контролирайки амплитудата на звука, можем да контролираме частта от дифрагиращата светлина.

На пръв поглед това може да ни се струва противно на интуицията. Звуковата вълна е движеща се вълна, каквато е и светлината. Ключов момент тук е, че светлината се разпространява много по-бързо от звука и сякаш звукът е “застинал”.



Акустичен модулатор – Брягова дифракция.

Ползваните тук акустични честоти разбира се са на много порядъци по-ниски от оптичните честоти. За да се формира решетка ние имаме нужда от периодичност на решетката, която да е сравнително малко цяло число пъти по-дългопериодична от оптичната дължина на вълната. В този случай множител между 20 и 200 е подходящ. Това се осъществява, защото разликата между скоростите на светлината и на звука е много голяма. Въпреки че честотата на звука е на много порядъци по-ниска от честотата на светлинната вълна, разликата в дължините на вълните не е чак толкова голяма. За звуковата вълна се ползват честоти, които са много високи за звукова вълна (50-100 MHz е типично, но, при някои условия, могат да се ползват честоти до 3 GHz). Така ние сме в състояние да конструираме акустична решетка с период, който е само малко число пъти по-голям от оптична дължина на вълната. Тук “малко” има смисъла на множител, по-малък от 100.

Бряговата дифракция има две важни свойства:

1. Ъгълът на падане е равен на ъгъла на дифракция (или отражение).
2. Оптичната и акустичната вълна са свързани със съотношение, което да гарантира, че акустичната вълна трябва да се усилва от оптичната вълна. За това е необходимо да е изпълнено съотношението

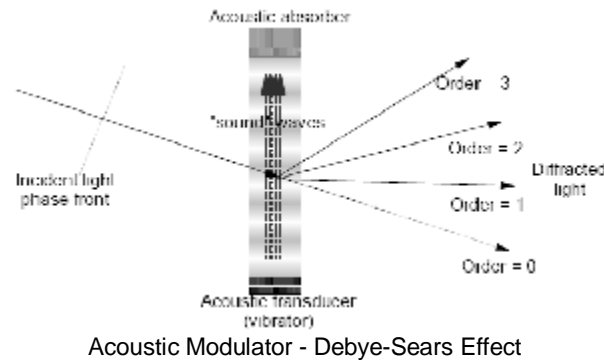
$$\sin \Theta = \frac{n\lambda}{2\Lambda},$$

където Θ е ъгълът на падане (и отражение), както е показано на фигурата, λ е оптичната дължина на вълната, Λ е дължината на вълната на акустичната вълна, а n е цяло число. От горното се вижда, че ъгълът на дифракция в типичния случай е много малък (по-малък от 1 градус).

Интересно свойство на устройството е, че с него можете да модулирате едновременно с няколко различни дължини на вълните, при това – независимо. Ако ползваме само една акустична честота, ще дифрагира само една оптична вълна. Ако просто смесим втора акустична вълна с първата, можем да направим нещата такива, че втора оптична вълна да бъде модулирана почти независимо с втората акустична вълна. На практика, **можем да имаме голям брой насложени една върху друга акустични вълни и да модулираме съответен брой оптични дължини на вълните!** Това свойство понастоящем не се използва с това устройство, но е много важно в пренастройваемия акустооптичен филтър, който ще бъде описан по-късно.

Имам два различни режима, в които може да действа акустичният модулатор – Брягова дифракция и режим на Дебай-Сийрс (“Debye-Sears” effect). В реалните устройства най-често се ползва режимът на Брягова дифракция. Разликата между двата модулатора е само в ширината на звуковата вълна. Ако тя е много широка, получаваме само един

дифракционен порядък (отражение) на определен ъгъл (Брягова дифракция). Ако звуковата вълна е по-тясна, получаваме набор от дифракционни порядъци, както е показано на по-долната фигура. При Брягова дифракция енергетичната ефективност на дифракцията е пропорционална на интензитета на звуковата вълна. Частта от светлината, която не е дифрагирала, преминава през кристала по прва линия.



При ефекта на Дебай-Сиърс звуковата вълна действа като фазова дифракционна решетка на пропускане. Светлината се пренасочва в множество различни изходни снопове (дифракционни порядъци). И при двата ефекта максималната скорост на модулацията значително се влияе от ширината на акустичната вълна. Това сякаш е предимство за устройствата, работещи в режима на Дебай-Сиърс. Въпреки това преобладаващото количество от практически приложимите модулатори и превключватели ползват Брягова дифракция.

И в режима на Бряг, и в режима на Дебай-Сиърс, в дифрагиралата светлина се получава честотно отместване. Това се дължи на Доплеровия ефект. Когато светлинният сноп е в едно и също направление с акустичната вълна, пречупената вълна (но не преминалата вълна) се измества по честота. Новата оптична честота е сума на първоначалната оптична честота и честотата на звуковата вълна. Ако оптичният сноп и звуковата вълна се разпространяват в противоположни направления, новата оптична честота е разна на началната оптична честота минус честотата на акустичната вълна. Тъй като честотата (и дължината на вълната) се променят, ние променяме и енергетичното състояние. За да повишим честотата (да скъсим дължината на вълната) оптичната вълна трябва да погълне енергия. За да се намали честотата (да се увеличи дължината на вълната) оптичната дължина на вълната трябва да отдаде енергия. Отдаваната или погълтаната енергия от звуковата вълна се отдава или поглъща във формата на фонони (вibrации на решетката). За много приложения това честотно отместване не е значимо, за да създаде проблем.

Важно е да се отбележи, че модулацията на акустичната честота не модулира оптичния сигнал. Ако акустичната честота се промени, променя се нейната дължина на вълната. Дължината на вълната е също и периодът на решетката. Когато се промени периодът на решетката, се променя и ъгълът, на който дифрагира светлинната вълна. Казано просто, ако се промени честотата на акустичната вълна, устройството престава да работи (както е конструирано-бел.прев.)!

Предимствата на акустичните модулатори могат да се резюмират както следва:

1. Могат да издържат на и да действат при доста висока оптична мощност (няколко вата) и, следователно, са подходящи за ползване при мощни газови лазери.

2. Отразената светлина е линейно пропорционална на интензитета на акустичната вълна, така че е възможна аналогова модулация на интензитета.

3. Могат да модулират едновременно лъчение с няколко различни оптични дължини на вълните.

4. Доплеровото отместване може да бъде ползвано умишлено за отместване на дължини на вълните.

Има и някои **ограничения** за акустичната модулация за комуникационни приложения:

--- Внасят се относително големи загуби (затихване).

--- Необходим е доста висок захранващ ток, т.е. енергетичната ефективност не е особено висока).

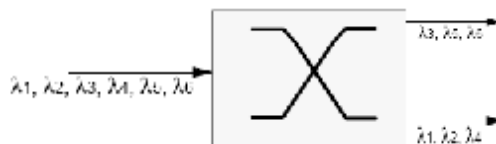
--- максималната скорост на модулацията е значително по-ниска от тази при други съществуващи техники. Максималната скорост на модулацията трябва да е малко по-малка от ползваната акустична честота. Не можете да модулирате амплитудата на един сигнал по-бързо, отколкото честотата му.

Досега повечето комерсиално достъпни модулатори са ограничени до по-малко от 100 MHz, въпреки че се очаква да може да се достигне до 1 GHz.

Акустични превключватели (Acoustic Switches)

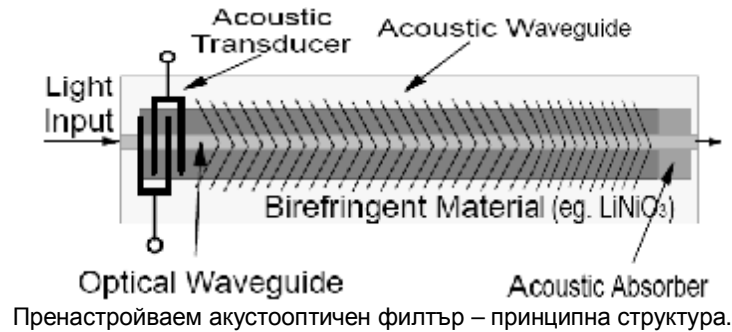
Обсъжданите по-горе акустични модулатори са отлични превключватели. Те могат да бъдат ползвани като прости ключове “включено/изключено” (on/off devices). Алтернативно, могат да бъдат ползвани за да превключат един входен канал към два възможни изхода. Ако падащата светлина съдържа много дължини на вълните (WDM-поток), бихме могли да изберем сигнал на една дължина на вълната и да го пренасочим към друга крайна цел, без да влияем на другите WDM-канални на сигнала. Това е така, защото ефектът е избиращ по дължини на вълните.

Пренастройваеми акустооптични филтри Acoustooptic Tunable Filters (AOTFs)



Превключваща функция със селективност по дължините на вълните.

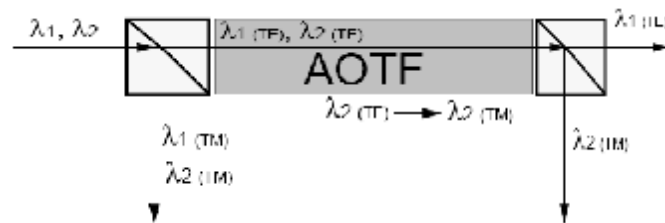
Пренастройваеми акустооптични филтри съществуват от много години, но напоследък събудиха значителен интерес поради потенциала си да са селективни по дължини на вълните ключове. В тази си роля имат една много привлекателна характеристика: Могат да превключват няколко (произволни) дължини на вълните по едно и също време. Например ако имате превключвател с два изходни порта и имате входен поток от данни на 5 дължини на вълните (1, 2, 3, 4, 5, 6), акустооптичният пренастройваем филтър може да насочи канали 3, 5 и 6 към един изход, а останалите канали (1, 2, 4) – към различен изход. Всяка комбинация от дължини на вълните може да бъде превключена в една единствена стъпка! В това устройство акустичната и оптичната вълна се разпространяват или в една и съща посока, или в противоположни посоки. Принципът на устройството е показан на следващата фигура.



От предишните ни обсъждания за влакнестите Брягови решетки във влакна бихме могли да очакваме, че това устройство просто отразява селектираната дължина на вълната. Наистина това е, което се случва, когато акустичната дължина на вълната е същата или малък брой пъти (2-3 пъти) по-къса от оптичната дължина на вълната. Нещата стават много по-интересни, когато акустичната дължина на вълната е значително по-дълга (да кажем – 30 пъти) от оптичната дължина на вълната.

From earlier discussions of the in-fibre Bragg grating we might expect this device to simply reflect the selected wavelength. Indeed this is just what happens when the acoustic wavelength is either the same or a very small multiple (2 or 3 times) the optical wavelength. Отражението се прекратява и акустичната вълна кара оптичната вълна да смени мода си. В илюстрираната вълноводна конфигурация би могло да стимулира преминаване към ортогонално състояние на поляризацията. Когато условията са подходящи, светлина с едната поляризация може перфектно да бъде променена в ортогоналната. В този случай “правилните” условия включват:

- Поляризирана входна светлина.
- Двувълчепречупваща вълноводна среда: Вълноводната среда трябва да има различни показатели на пречупване за двете различни (ортогонални) поляризации.
- Отношението на оптичната дължина на вълната и на акустичната дължина на вълната трябва да е точно правилното. Това е необходимо, защото с преминаването от едно в друго поляризационно състояние става и промяна на енергията. Оптичната вълна трябва или да получава, или да отдава енергия от/на акустичната вълна. Нивата на енергията трябва да са подходящи.
- Дължината на връзката (в устройството) трябва да е точно нужната.



Акустооптичен пренасройваем филтър – действие (1).

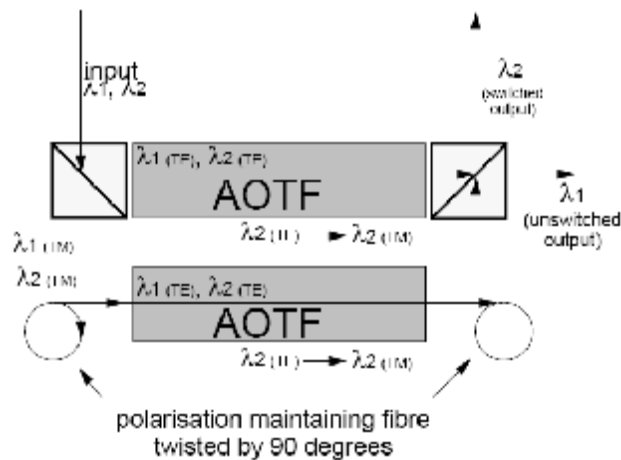
Базовото устройство е показано на горната фигура.

--- Неполаризирана светлина (в този пример – с две различни дължини на вълните) влиза в устройството отляво и се разделя на двете си ортогонално поляризиращи компоненти чрез светоделителна призма. Модът TE (Transverse Electric) продължава напред и навлиза в акустооптичния пренасройваем филтър (AOTF), а TM-модът (Transverse Magnetic mode) се отразява навън.

--- При преминаването си през пренастройваемия акустооптичен филтър дължината на вълната λ_2 е резонансна с акустичната вълна и поляризацията ѝ се обръща в ТМ-мод. Дължината на вълната λ_1 остава неповлияна.

--- Когато светлината достигне до втората светоделителна призма, светлината с дължина на вълната λ_1 преминава, а светлината с дължина на вълната λ_2 се отразява от призмата.

Следователно дължините на вълните се оказват разделени. Разбира се това не е особено ефективен процес за обикновените влакнести мрежи, защото поляризацията в стандартните влакна се променя случайно и бихме губили не само (средно) по 3 dB от мощността на сигнала, но и бихме въвеждали поляризационно-зависим шум. В практическите устройства трябва да обработваме и двете състояния на поляризацията.



Акустооптичен пренастройваем филтър – действие (2).

Това е показано на фигурата по-горе. ТМ-поляризацията, която се отразява навън от първия светоделител се вкарва във влакно, запазващо поляризацията, което после се усуква на 90 градуса. Това преобразува ТМ поляризацияния мод в поляризациянен мод ТЕ. След това светлината се пропуска през втори акустооптичен пренастройваем филтър, идентичен с първия. Сега става същото: поляризацията на дължина на вълната λ_2 се променя от ТЕ (новата ТЕ) в ТМ. През усукано поляризационно-запазващо влакно лъчението се подвежда към втората светоделителна призма, която рекомбинира състоянието на поляризацията и разделя йаналите.

Смисълът на този подход (промени на поляризиациите) е, че промяната на ТЕ в ТМ поляризация поглъща енергия и (слабо) намалява дължината на вълната. Преходът от ТМ в ТЕ прави обратното. Ние не искаме да имаме проблеми с рекомбиниране на светлина на различни дължини на вълните!

Главното **предимство** на пренастройваемия акустооптичен филтър е в неговата пренастройваемост в широк интервал от дължини на вълните и в способността му да превключва много канали паралелно (чрез наслагваме на няколко акустични вълни).

Ограниченията не изглеждат да са твърде тежки:

1. Максималният брой на каналите, които могат да се превключат едновременно, е ограничено от максималната мощност на акустичния преобразувател.

2. Формата на спектъра на мощността, която се превключва, е далеч от квадратната характеристика, която бихме искали да имаме. За да се подобри тази характеристика,

устройството трябва да бъде “аподизирано”. Това става с просто понижаване на силата на акустооптичното взаимодействие около ъглите на областта на взаимодействието.

3. Максималната скорост на пренастройване (превключване) е ограничена от времето, необходимо на акустичната вълна да премине от единия край на областта на взаимодействието до другия. На практика това време е около 10 μ сес.

4. Най-добрата разделителна способност по дължини на вълните (разстояние между WDM-каналите), която може да се постигне (в LiNiO_3) е около 1 nm. То се ограничава от максималната възможна дължина на взаимодействието.

Понастоящем комерсиалните пренастройваеми акустооптични филтри не са подходящи за WDM-приложения, но се очаква, че подходящи версии за приложения ще се появят на пазара в близко бъдеще.