

ТЕМА № 2 ЕЛЕМЕНТИ НА ОПТИЧНИТЕ ПРЕНОСНИ СИСТЕМИ

1. Характеристики на оптичните стъкла

Оптичните влакна могат да бъдат използвани като алтернатива на медните проводници за телекомуникация, защото са гъвкави и могат да бъдат свързани заедно в кабел. Влакната могат да бъдат направени както от прозрачна пластмаса, така и от стъкло, но в далекосъобщителните мрежи влакната са винаги от стъкло, заради по-ниските загуби от поглъщане.

Когато твърдотелни материали (преди всичко сплави на силиций) бъдат стопени и отново охладени, те не минават през фазов преход между течна и твърда фаза. Няма определена температура за този фазов преход. Когато такива материали се охладят те стават все по-вискозни и по-вискозни и никога не преминават през забележим преход към „твърдо“ състояние. Това е причината стъклата да се класифицират като силно вискозни течности, а не като твърди тела. Молекулите в късче стъкло са без конкретен порядък и са със случайно разпределение.

Най-важни са оптичните свойства на стъклата. Обикновените стъкла са прозрачни за видимата светлина. Разработени са специални композиции стъкла, прозрачни за ултравиолетовите и инфрачервените лъчи. Прозрачността се дължи на факта, че стъклата са хомогенни. При тях липсват нееднородности, които разсейват светлината.

Стъклото може да бъде произведено толкова чисто, че стотици километри стъкло остават прозрачни за инфрачервените вълни в кабелите с оптични влакна.

В оптичните стъкла обикновено се смесват (в определени пропорции) германиев диоксид (4 % до 10 %) и силиций, с което, при необходимост, се повишава коефициентът на пречупване. Коефициентът на пречупване може да бъде намален с добавяне на V_2O_5 . Други често използвани легиращи съединения, с които се повишава коефициентът на пречупване, са двуфосфорният пентаоксид (P_2O_5), титановият диоксид (TiO_2) и двуалуминиевият триоксид (Al_2O_3).

Използването на стъкла в съвременната оптика се определя основно от техните рефрактивни, дисперсионни и термооптични свойства, както и от прозрачността им в съответния спектрален диапазон. Днес за определени предназначения все по-често се прави замяна на оптичните стъкла с подходящи полимерни материали.

2. Оптични влакна

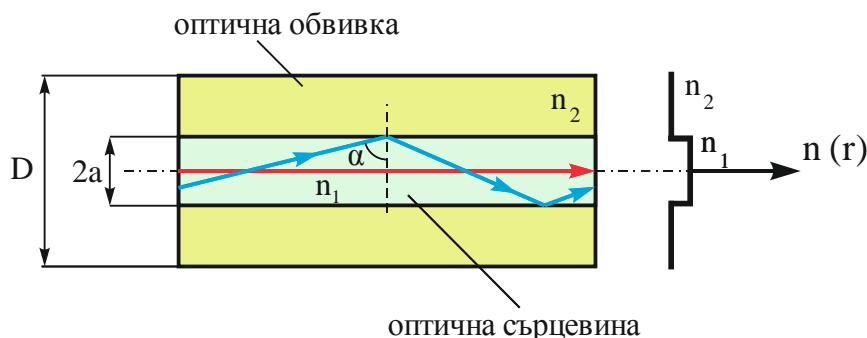
Оптичните влакна имат стандартизирани размери. В далекосъобщенията понастоящем е възприет диаметър 125.

Към днешна дата видовете оптични влакна могат да се разделят на две основни групи: многомодови и одномодови. Разликата е в диаметъра на сърцевината. При многомодовите диаметърът на сърцевината е 50 μm , а специално в САЩ е 62,5 μm . Използват се в системи за къси разстояния и в локални мрежи. При одномодовите размерът на сърцевината е около 9 μm . Те се използват главно за връзки на големи разстояния. Понастоящем тяхното производство е преобладаващо и поради своята масовост имат достатъчно ниски цени да се използват и в локалните мрежи.

От своя страна многомодовите се делят на многомодови със стъпален и градиентен профил, а одномодовите са повече видове, като техните свойства ще бъдат разглеждани подробно.

3. Многомодови оптични влакна със стъпален профил

Профил на коефициента на пречупване се нарича зависимостта на коефициента на пречупване в сърцевината от разстоянието до оста на влакното.

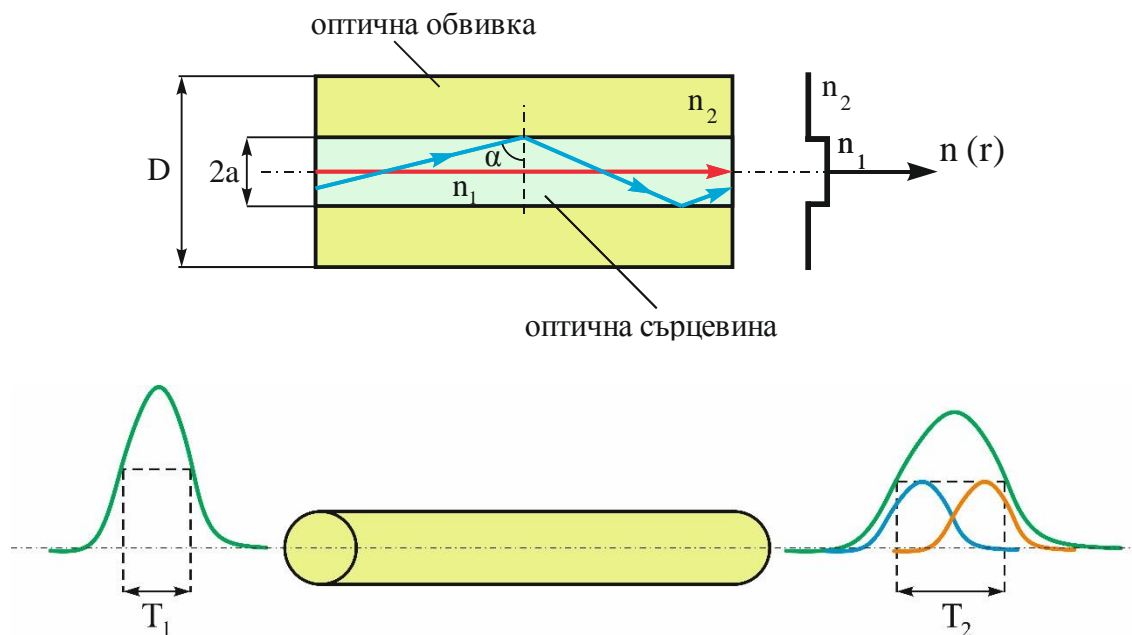


Фиг. 1

На Фиг. 1 е изобразен надлъжен разрез на многомодово оптично влакно със стъпален профил на коефициента на пречупване. На английски такова влакно се обозначава със SI MM (Step Index Multi Mode). В него лъчите са прави линии (електромагнитната вълна се разпространява праволинейно), защото коефициентът на пречупване n_1 е постоянен в сърцевината. Лъчите достигат граничната повърхност сърцевина – обвивка и след пълно вътрешно отражение се връщат в сърцевината. Поддържа много на брой лъчи

(модове), които имат различни ъгли спрямо оста на влакното (от 0 до θ_{\max}). При много-модовите вълноводи има понятие „квазистационарно модово мощностно разпределение“ което онагледява разпределението на мощностите по ъгли спрямо оста на влакното. Думата квазистационарно се дължи на непрекъснатото модово преобразуване, по време на разпространението, защото влакното никога не е идеален прав цилиндър, а непрекъснатото модово преобразуване, по време на разпространението, а непрекъсното има завои по пътя. При такива завои лъч, който се е движел успоредно на оста среща границата сърцевина-обвивка под определен ъгъл и продължава движението си под по-голям ъгъл спрямо оста и обратно.

При тези влакна се наблюдава значителна междумодова (модова) дисперсия. Така се нарича уширяването, предизвикано от различния геометричен път на оптичните лъчи в многомодовите оптични вълноводи.



Фиг. 2

На **Фиг. 2** с червен цвят е изобразен лъч, чиято траектория е успоредна на оста на влакното, а със син – лъч, на който направлението сключва ъгъл θ , близък до граничния ъгъл на разпространение. Лъчите с малки ъгли θ (нисши модове) пристигат по рано в изходното чело на влакното, а лъчите с големи ъгли (висши модове) – по-късно. Така изходният импулс е с по-малка амплитуда и по-дълъг във времето. Честотната лента на съвременните влакна със стъпален профил на коефициента на пречупване е от порядъка

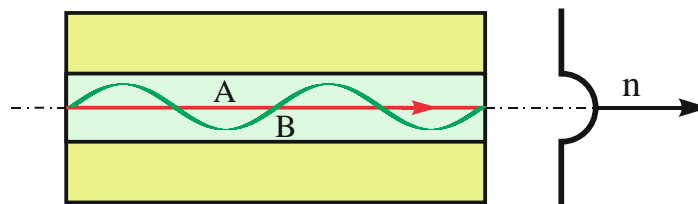
на 100 MHz.km. Тя се определя главно от диаметъра на сърцевината и числената апертура NA на влакното.

$$NA = \sin \theta_{\max} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (1)$$

4. Многомодови оптични влакна с градиентен профил

По-добра честотна лента имат така наречените градиентни многомодови оптични влакна.

При тях коефициентът на пречупване в сърцевината се изменя по квадратичен закон (най-голям е в сърцевината и спада пропорционално на квадрата на разстоянието до оста на влакното) и достига n_2 на границата на обвивката.



Фиг. 3

При тези влакна лъчът не е права линия, а завива винаги в посока на оста (по-големия коефициент на пречупване). При тях няма пълно вътрешно отражение на границата сърцевина-обвивка, а се наблюдава непрекъснато самофокусиране по време на разпространението. На английски съкращението е GI MM (Gradient Index Multi Mode).

Осъществява се изравняване на времената за преминаване, тъй като спираловидните или меридиалните лъчи, въпреки, че изминават по-голямо разстояние, по-голяма част от времето се разпространяват в области с по-малък коефициент на пречупване (т. В на фигурата), отколкото точно по оста на влакното, където той е n_1 (точка А от фигурата). Скоростта на разпространение на оптично лъчение във веществото е обратно пропорционална на коефициента на пречупване на веществото:

$$v = \frac{c}{n}, \quad (2)$$

където $c = 2,998.10^8$ m/s е скоростта на светлината във вакуум, а n е коефициентът на пречупване на веществото.

Честотната лента на съвременните влакна с градиентен профил на коефициента на пречупване е от порядъка на 1000 MHz.km. Тя се определя главно от неидеалния профил $n(r)$ на коефициента на пречупване.

Поради сравнително ниската честотна лента на многомодовите влакна се е стигнало и днес най-широко се използват одномодовите влакна.

5. Видове дисперсия

До тук беше разгледана модовата дисперсия (наблюдавана при многомодовите влакна), която се дължи на различния геометричен път на различните лъчи (модове) в сърцевината на влакното. Такава дисперсия липсва при одномодовите влакна. Там ограничението на честотната лента се дължи на хроматичната и зависи от поляризацията дисперсия.

Хроматичната дисперсия има две съставни части: материална и вълноводна.

Материалната дисперсия се нарича уширението на импулса, дължащо се на различната скорост, с която се разпространяват оптичните сигнали с различна дължина на вълната. Определя се от ширината на оптичния спектър $\Delta\lambda$ на излъчвателя (светодиод или лазерен диод).

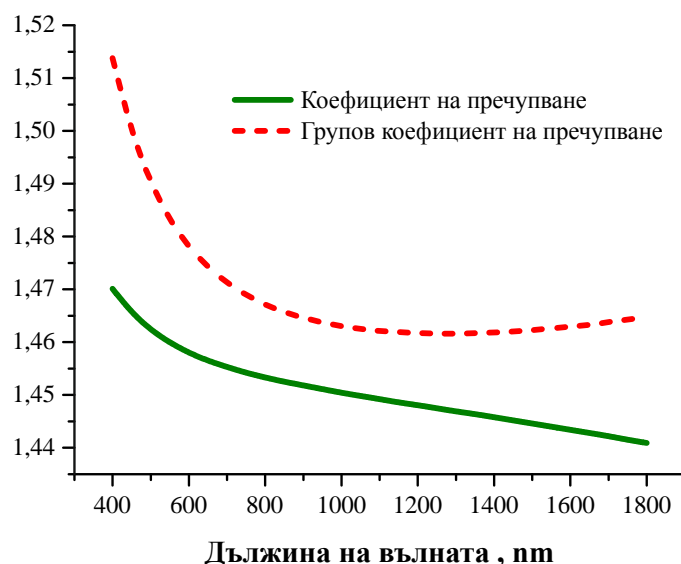
В областта около 1550 nm електромагнитните вълни с по-малка дължина на вълната се разпространяват по-бързо от вълните с по-голяма дължина на вълната. На **Фиг. 4** е показана зависимостта на коефициента на пречупване и на груповия коефициент на пречупване от дължината на вълната за кварц.

В литературата се среща и показател на пречупване за коефициент на пречупване.

Коефициентът на пречупване n определя фазовата скорост, а груповият коефициент на пречупване n_{gr} - груповата скорост – линейната скорост, с която се разпространяват оптичните сигнали в оптичните влакна.

$$n_{gr} = n - \lambda \frac{dn}{d\lambda}. \quad (3)$$

Вълноводната дисперсия се дължи на различната скорост на разпространение на лъчението в сърцевината на влакното, където коефициента на пречупване е n_1 и в обвивката, където той е n_2 . Проникването на част от лъчението в обвивката зависи от дължината на вълната и е по-голямо при по-дългите вълни.

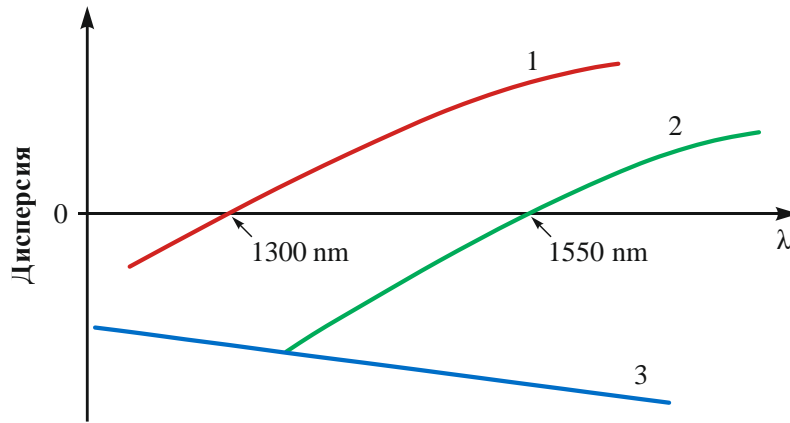


Фиг. 4

Едновременното влияние на материалната и вълноводната дисперсия се обединяват и се въвежда термин хроматична дисперсия. За обикновените влакна около 1310 nm е точката с нулева дисперсия, а пък за дължина на вълната около 1550 nm тези влакна имат коефициент на дисперсия около 20 ps/(nm.km). Разработени са специални влакна с изместена точка на нулева дисперсия около 1550 nm.

Дължината на вълната λ_0 при която хроматичната дисперсия изчезва се нарича дължина на вълната с нулева дисперсия. На **Фиг. 5** е показана кривата на дисперсията на оптично влакно с преместена точка на дължината на вълната с нулева дисперсия при 1550 nm.

Хроматичната дисперсия се характеризира с коефициент, който има размерност ps/(nm.km) и се отнася за 1 km влакно. С увеличаване на дължината на линията тази дисперсия нараства право пропорционално. Наличието на nm в знаменателя означава, че тази дисперсия зависи от спектъра на електромагнитното лъчение на излъчвателя (светодиод LED или лазерен диод LD).



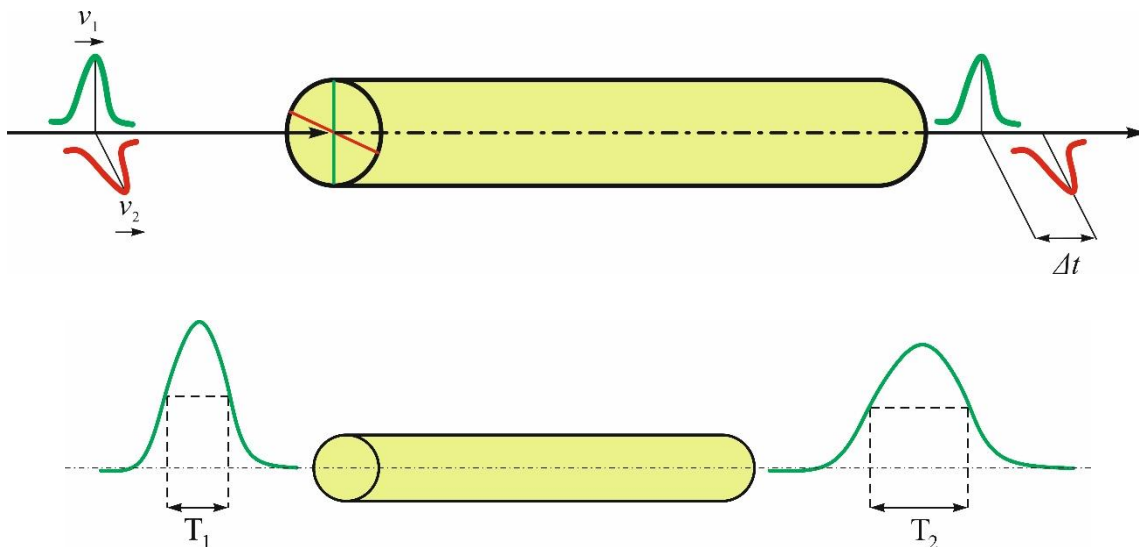
Фиг. 5

1 – материална дисперсия; 2 – хроматична дисперсия; 3- вълноводна дисперсия.

6. Поляризационно зависеща дисперсия

На следващата фигура са показани оптичните импулси, разпространяващи се с поляризация по оста Ох и по оста Оу достига края на влакното малко по-рано от този с поляризация от оста Ох. В резултат на това входния импулс се намалява по амплитуда и се уширява като дълготрайност на изхода на влакното.

Тази дисперсия е пропорционална на корен квадратен от дължината на линията и има размерност ps/\sqrt{km} . Тази дисперсия не може да бъде компенсирана. Тя е сравнително малка и се взема предвид само при строителството на изключително дълги линии с големи разстояния между регенераторите, каквито са например презокеанските оптични линии.



Фиг. 6

Видовете оптични влакна са подробно класифицирани от между народната организация ITU (International Telecommunication Union) под формата на Препоръки.

G.652	Характеристики на одномодови оптични кабели и влакна.
G.653	Характеристики на одномодови оптични влакна и кабели с изместена дисперсия.
G.654	Характеристики на одномодови оптични влакна и кабели с ниски загуби при 1550 nm.
G.655	Характеристики на одномодово влакно с изместена нулева дисперсия.
G.656	Характеристики на одномодово влакно с изместена ненулева дисперсия за широколентов достъп.
G.657	Характеристики на одномодови влакна и кабели за употреба в мрежи за достъп с малки допълнителни загуби от огъвания

Тук трябва да разгледаме една от важните характеристики на оптичното влакно – V параметър или нормирана характеристична честота. Той зависи от радиуса на оптичната сърцевина a , числената апертура NA и дължината на вълната λ .

$$V = \frac{2\pi a(NA)}{\lambda} \quad (4)$$

V параметърът е без дименсия (размерност).

Ако V параметърът на влакната със стъпален профил на коефициента на пречупване се намали под стойността 2,405:

$$V \leq 2,405 \quad (5)$$

във влакното се разпространява само основния мод LP_{01} . Такъв тип влакно се нарича едномодово.

Изчислената дължина на вълната λ , която кореспондира с граничната стойност V_c се нарича гранична дължина на вълната λ_c :

$$\lambda_c = \pi \frac{2a}{V_c} NA \quad (6)$$

За всички дължини на вълните по-големи от λ_c в това специфично оптично влакно може да се разпространява само един мод. Това влакно е едномодово оптично влакно за работа над дължината на вълната λ_c . За съвременните едномодови влакна тази гранич-

на дължина на вълната е около 1289 nm. Т. е. влакното не е едномодово винаги, а само за 1310 nm и 1550 nm. По-прецизно е да се каже, че при такива дължини на вълните работи в едномодов режим. За 850 nm и 632 nm това влакно не е едномодово.