تاریخچه مخابرات نوری*

گردآوری: بهرام شمس

بخش دوم

نقاط ضعف فیبر نوری

محدودیت ها و نقاط ضعف فیبر نوری بسیار ناچیز و شامل موارد زیر بوده است:

۱- دقت کامل در هنگام نصب بسیار ضروری است.

۲- اگر زاویه انحنای رشته های فیبر از حد معینی بیشتر شود، (مثلاً قطر انحنای آن از ۳۰ سانتی متر کمتر شود) ممکن است بشکند.

۳- کشش وارده که مقدار آن برای کابل های با ظرفیت مختلف تفاوت می کند نباید از حد معینی بیشتر شود.

٤- کابل هایی که از داخل حوضچه ها عبور می کنند باید کاملاً حفاظت شده باشند و گروه های کابل کش باید با دقت متوجه این کابل ها باشند و به طریقی که هیچ نوع ضربه ای به این کابل ها وارد نشود.

تعاریف و قوانین نوری

۱- ضریب شکست[۱٦]

ضریب شکست یکی از پارامترهای نوری اجسام است. سرعت نور به دو عامل فرکانس(f) و طول موج(λ) بستگی دارد. $C= \lambda \times f$

وقتی نور به محیط عایق مثل شیشه وارد می شود، سرعت آن از سرعت نور در فضا کمتر شده برابر مقدار v می گردد. نسبت سرعت نور در فضا به سرعت نور در محیط جدید، بر اثر شکست آن محیط است. اگر ضریب شکست را با(n) نشان دهیم، خواهیم داشت:

$n= {}^{c}/_{v}$

n را همچنین می توان از رابطه $n= \sqrt{\varepsilon_r}$ بدست آورد.

ε_r ضریب نفوذ پذیری الکتریکی نسبی[۱۷] نامیده می شود.

مقدار n در محیط های مختلف متفاوت است. در جدول ۱ ضریب شکست بعضی از اجسام مشخص شده است:

جدول ۱.

اجسام	n
هوا	1
آب	1.33
کوارتز	1.46
شیشه	1.5

هرچه ضریب شکست محیطی بیشتر باشد، سرعت نور در آن محیط کمتر است. چون ضریب شکست به سرعت و سرعت نیز به طول موج بستگی دارد، در نتیجه ضریب شکست نیز بستگی به طول موج دارد. یعنی هرچه ضریب شکست کمتر شود، طول موج بیشتر می شود.

تغییرات طول موج نسبت به ضریب شکست برای شیشه خالص(Sio_2) در زیر آمده است:

طول موج	٦٠٠	٨٠٠	١٠٠٠	١٢٠٠	١٤٠٠	١٦٠٠	١٨٠٠
ضریب شکست	١/٤٥٨٠	١/٤٥٣٣	١/٤٥٠٤	١/٤٤٨١	١/٤٤٥٨	١/٤٤٣٤	١/٤٤٠٩

۲- زاویه پذیرش[۱۸] در فیبر نوری

زاویه پذیرش زاویه ای است که نور می بایستی در محدوده آن به فیبر نوری تابانده شود، به عبارت دیگر، زاویه ای است که نور تابیده شده به فیبر با محور طولی ایجاد می کند، به طوری که پس از ورود به فیبر در مرز مغزی[۱۹] و پوشش خارجی بشکند و تماماً به داخل فیبر منعکس شود. زاویه پذیرش را در فرمولهای محاسباتی با $\pm\theta_\alpha$ نمایش می دهند.

۳- مخروط پذیرش نور[۲۰]

مجموعه اشعه ای که در فیبر نوری قابل انتشار می باشند، در خارج از فیبر مخروطی را تشکیل می دهند که به آن مخروط قبولی نور یا پذیرش نور گویند.

٤- روزنه عددی[۲۱]

طبق تعریف، سینوس بیشینه زاویه پذیرش فیبر را "روزنه عددی" گویند.

$$N.A= Sin\ \theta_{\alpha\ (max)}$$

N.A یا روزنه عددی فیبر، بیانگر میزان توانایی گردآوری نور در فیبر نوری می باشد، یا به عبارت دیگر، مقدار توانی است که می تواند از منبع نور وارد فیبر شود.

نتیجه: هرچه N.A بیشتر باشد، فیبر نوری، قابلیت جذب نورهای بیشتری را خواهد داشت.

مشخصات انتقال فیبرنوری

دو عامل مهم در ارزیابی سیستم های مخابراتی عبارتند از :

۱. تضعیف
۲. سیگنال و پهنای باند

که این دوعامل به جنس فیبر و روش ساخت بستگی داشته و تابع طول موج نور نیز می باشند.

۱. عوامل اصلی پدیده تضعیف یا تلفات

تضعیف در فیبر نوری یکی از عوامل در پهنای باند انتقال اطلاعات است که در میزان فاصله تکرار کننده ها اثر می گذارد. این پارامتر در تعیین حداکثر فاصله بین گیرنده و فرستنده نقش عمده ای را ایفا می کند. مقدار تضعیف در مقایسه با کابل مسی بسیار کم بوده و در نتیجه فواصل تکرار کننده بسیار زیاد شده و عامل مهمی را برای تعیین مقرون به صرفه بودن استفاده از سیستم های نوری بیان می کند.

در حال حاضر تضعیف در طول موج ۱۵۵۰ نانومتر به۰/۲ دسی بل برکیلومتر رسیده است. با این مقدار، چنانچه تضعیف مربوط به محدوده هر تکرار کننده را۴۰ دسی بل فرض کنیم، مقدار فاصله مجاز برای کابل کشی با این نوع کابل ۲۰۰ کیلومتر خواهد شد.

عوامل اصلی پدیده تضعیف یا تلفات فیبرنوری عبارتند از :

۱-۱ تلفات جذبی[۲۲]

۱-۲ تلفات پراکندگی به علت ناهمگونی ضریب شکست هسته[۲۳]

۱-۳ تلفات خمش یا تشعشع[۲٤]

۱-۴ تلفات اتصال و مفصل ها[۲۵]

۱-۵ تلفات در ورودی و خروجی فیبر

حال به توضیح مختصری درباره هریک از عوامل فوق می پردازیم:

۱-۱ تلفات جذبی:

این پدیده باعث تبدیل مقداری از انرژی نورانی به حرارتی می گردد. تلفات جذبی در اثر مواد تشکیل دهنده فیبر حاصل می شود.

۱-۲ تلفات پراکندگی:

تلفات پراکندگی علاوه بر مواد ساخت فیبر به نا یکنواختی ساختمان فیبر نیز بستگی دارد. این تلفات عمدتاً از عواملی نظیر تغییرات و نوسانات چگالی مواد و تغییرات جزئی در حجم و ترکیب مواد فیبر و ناهمگونی های ساختمانی فیبر نوری که در موقع ساخت آن به وجود می آید ناشی می شود.

۱-۳ تلفات خمش:

عبور نور از یک خمش تند با شعاع بسیار کوچک، موجب تلفات خمش یا تشعشع می گردد.

۱-۴ تلفات اتصال و مفصل:

جهت انتقال به فواصل دور لازم است که فیبرها را به یکدیگر وصل کرد. در این حالت همه نور خارج شده از فیبر اولی، وارد فیبر دومی نمی شود و باعث تلفات اتصال می گردد. تلفاتی که در اثر اتصال فیبرها ایجاد می شود، تابع دوعامل زیر است:

۱-۴-۱ تلفات در اثر تفاوت ساختاری و ذاتی بین دوفیبر.

۱-۴-۲ تلفات در اثر عوامل خارجی که ناشی از تکنیک کار و عملیات مفصل بندی است.

۲. پهنای باند

عامل مهم دیگر ارزیابی سیستم های مخابراتی " پهنای باند " است که ظرفیت انتقال فیبر را تعیین می کند. در این جا لازم است در مورد عامل محدود کننده پهنای باند در فیبر نوری به طور مختصر اشاره ای شود.

عامل مهمی که باعث محدودیت پهنای باند می گردد " پاشندگی یا اعوجاج سیگنال "[۲۶] می باشد. محدودیت پهنای باند فیبر تک مدی به خاطر پاشندگی ماده و موج بر می باشد. ولی محدودیت پهنای باند فیبرهای چند مدی، به علت تفاوت درسرعت های گروهی مدها می باشد.

ـــ پاشندگی (اعوجاج سیگنال)

اگر جسمی دارای ضریب شکست n باشد و n تابعی از طول موج باشد آن جسم " پاشنده " است.

از آن جا که مواد فیبر از دو ضریب شکست متفاوت n1,n2 (به ترتیب مربوط به هسته و پوشش) تشکیل یافته است لذا فیبر نوری یک محیط پاشنده است، به طور کلی هرچه اعوجاج یا پاشندگی کمتر باشد پهنای باند بیشتر است.

اعوجاج سیگنال، باعث پهن شدن سیگنال پالس نوری در طول موج فیبر می شود. پهن شدن باند ارسالی (ارسال سیگنال آنالوگ) و پهن شدن پالس (ارسال سیگنال دیجیتال) در طول فیبر نوری، باعث تداخل اطلاعات و اعوجاج و بالاخره " عدم تشخیص " آن در مقصد می شود.

انواع اعوجاج

۱. پاشندگی درون مدی[۲۷]
۲. اعوجاج بین مدی[۲۸]

۱ـ پاشندگی یا اعوجاج درون مدی:

پهن شدن یک پالس که توسط یک مد حمل می شود را اعوجاج درون مدی و اغلب به نام اعوجاج کروماتیک می خوانند. این پدیده در نتیجه وابستگی سرعت گروهی به طول موج به وجود می آید.

۲ـ پاشندگی یا اعوجاج بین مدی:

این پاشندگی مربوط به مقادیر مختلف تأخیر گروهی برای مدهای متفاوت در یک فرکانس معین است. یعنی تعداد زیادی مد می تواند در طول فیبر منتشر شود. بنابراین مدهای مختلف، مسافت های متفاوتی را در فیبر طی کرده و در نتیجه در زمان های مختلف به انتهای دیگر می رسند. این اختلاف زمان بین شعاع های نوری منتشر شده از

مسیرهای مختلف با طول های متفاوت به وجود می آید و این تغییرات زمان، باعث پهن شدن پالس، که گسترش یا پاشندگی[۲۹] نامیده می شود، می گردد.

فیبر نوری و ساختمان آن

فیبر نوری یک موج بر عایق است که در فرکانس های نوری کار می کند و به شکل استوانه می باشد. انرژی الکترومغناطیس به صورت نور در بین سطوح آن هدایت شده و نور موازی با محور فیبر منتشر می گردد.

خصوصیات انتقال در یک موج بر نوری، به مشخصات ساختمانی آن بستگی دارد. به عبارت دیگر ساختمان فیبرنوری تعیین کننده ظرفیت اطلاعات و همچنین میزان اعوجاج فیبر است.

ساختمان فیبر نوری:

۱. هسته[۱۹]: رشته بسیار نازک استوانه ای شکل، جامد و عایق به شعاع α و ضریب شکست $n1$ که مغزی فیبر نامیده می شود و معمولاً از شیشه ساخته می شود.
۲. پوشش[۲۰]: هسته فیبر توسط یک لایه جامد و عایق به نام پوشش یا ضریب شکست n_2 و قطر(d) احاطه می شود، به طوری که $n_1 > n_2$ است. پوشش را غلاف فیبر نیز می نامند.

پوشش یا غلاف باعث می شود که: تلفات پراکندگی ناشی از پیوستگی های مغزی، کاهش پیدا کرده و ثانیاً تحمل مکانیکی فیبر افزایش یابد و ثالثاً از ورود و جذب عوامل خارجی به سطح هسته جلوگیری به عمل آید.

۳. روکش محافظ[۳۰]: برای حفاظت فیبر در مقابل تنش های مکانیکی و ممانعت از تغییر شکل فیبر و جلوگیری از خراشیدگی سطح فیبر، آن را در یک حفاظ پلاستیکی به نام " روکش محافظ " قرار می دهند.

انواع فیبرهای نوری:

با تغییر در ترکیب مواد مربوط به هسته دو نوع فیبر ساخته می شود:

۱. فیبرهای نوری با ضریب شکست پله ای[۳۱]

۲. فیبرهای نوری با ضریب شکست مرحله ای [۳۲]

فیبرهای نوری با توجه اشعه ای که از آن ها عبور می کند نیز به دو بخش تقسیم می شوند:

۱. فیبرهای نوری تک مدی
۲. فیبرهای چند مدی

ـ فیبر های نوری تک مدی، فیبرهایی هستند که تنها یک شعاع نورانی را از خود عبور می دهند.

ـ فیبرهای نوری چندمدی، فیبرهایی هستند که قادر به انتقال یک دسته اشعه نوری می باشند.

با توجه به دو نوع تقسیم بندی فوق (از نظر نوع هسته و از نظر نوع اشعه عبوری) فیبرها به چهار دسته اصلی و کلی تقسیم می شوند:

۱. فیبرهای نوری تک مدی با ضریب شکست پله ای
۲. فیبرهای نوری چند مدی با ضریب شکست پله ای
۳. فیبرهای نوری تک مدی با ضریب شکست مرحله ای
۴. فیبرهای نوری چند مدی با ضریب شکست مرحله ای

که عملاً حالت سوم یعنی فیبرهای نوری تک مدی با ضریب شکست مرحله ای، کاربردی در مخابرات ندارد و ساخته نمی شود.

در سیستم مخابرات ایران از فیبرهای نوع اول یا فیبرهای نوری تک مدی با ضریب شکست پله ای استفاده می شود.

خواص مواد مورد استفاده در ساخت فیبر نوری:

موادی که برای ساخت فیبر نوری انتخاب می شوند باید دارای خواص زیر باشند:

۱. امکان ساخت فیبر دراز و نازک با قابلیت انعطاف زیاد با آن ها ممکن باشد.
۲. در طول موج نور مورد نظر، کاملاً شفاف باشند تا بتوانند نور را با بازده مناسب هدایت کنند.
۳. بتوان با افزودن مقدار کمی از مواد مشابه دیگر، ضریب شکست آن را برای هسته و غلاف به طور فیزیکی تغییر داد.

خواص فوق عمدتاً در ماده شیشه قابل دستیابی است

تا کنون شیشه های اکسیدی که کاملاً شفاف هستند برای ساخت فیبر بیشتر از همه استفاده شده اند و معمول ترین این اکسیدها، اکسید سیلیسیم Sio_2 است که ضریب شکست آن در طول موج ۰/۸۵ میکرون، برابر ۱/۴۵۸ می باشد. ضمناً این ماده، یکی از ثابت ترین مواد از نظر شیمیایی است و دارای نقطه ذوب بسیار زیادی بوده و از ضریب انبساط حرارتی کم برخوردار است. دارای قدرت مکانیکی کافی بوده و روش های سریعی برای تولید آن وجود دارد و قیمت آن نسبتاً کم است.

تنها عیب این ماده، نارسایی های پدیده جذب است.

برای تولید فیبر، دوماده مشابه که ضریب شکست آن ها قدری باهم تفاوت داشته باشد لازم اند. درصدی از مواد دیگر که مواد افزودنی نام دارند نظیر فلوئور (F) و یا اکسیدهای مختلف مانند اکسید بور (B_2O_3)، اکسید ژرمانیوم (Geo_2)، اکسید فسفر (P_2O_5) و اکسیدهای دیگر به سیلیس اضافه می گردد. اضافه شدن Geo_2 و P_2O_5 ، موجب افزایش ضریب شکست و تزریق فلوئور یا B_2O_3 موجب کاهش آن می شود.

مواد افزودنی را " مواد تراز کننده " یا دوپونت[۳۳] نیز می گویند.

پانویس ها:

16-Refractive Index
17-Premitivity
18-Acceptance Angle
19-Core
20-Acceptance Cone
21-Numerical Aperture
22-Absorption Losses
23-Scattering Losses
24-Bend or Radiation Losses
25-Joint and Splices Losses
26-Dispersion
27-Intra modal Dispersion
28-Inter modal Dispersion
29-Modal
30- Buffer Jacket
31- Step Index Fiber Optic
32- Graded Index Fiber Optic
33- Dupont