Journal of New Achievements in Electrical, Computer and Technology
Vol 2, No 1, Mar-Jun 2022,(9-18)
WWW.JNAECT.IR

مجله دستاوردهای نوین در برق،کامپیوتر و فناوری
دوره ۲، شماره ۱، بهار ۱۴۰۱ (۱۸-۹)

جبران اثر پاشندگی در فیبرهای نوری با استفاده از روش پیش چرپ

امیرحسن طالبی [۱]

[۱] فارغ التحصیل دکتری مهندسی مخابرات نوری، رئیس گروه انرژی، کنترل و تله‌متری، شرکت آب و فاضلاب استان آذربایجان شرقی
talebi-a@abfaazarbaijan.ir

چکیده

پاشندگی یکی از عوامل اصلی محدود کننده‌ی حجم اطلاعات قابل ارسال و مسافت ارسال برای یک فیبر است. در واقع پس از تضعیف، مهمترین عامل محدودیت ارسال اطلاعات نوری پاشندگی است.
این مقاله پس از بررسی راهکارهای الکترونیکی روش‌های جبران پاشندگی، به معرفی روش پیش‌چرب برای جبرای پاشندگی در فیبرهای نوری پرداخته است. در واقع این روش یکی از روش‌های پیش جبران‌سازی محسوب می‌شود. در این روش قبل از وارد کردن پالس به فیبر، خواص آن به گونه‌ای اصلاح می‌شود که پهن‌شدگی ناشی از «پاشندگی سرعت گروه» به حداقل برسد که به آن اعمال چرپ به پالس ورودی می‌گویند. نتایج حاکی از آن است که استفاده از این گونه فیبرها برای جبران‌سازی در مسافت های کوتاه پارامترهایی از قبیل فاکتور Λ و FBG را به گونه مناسبی بهبود می بخشد.

واژه های کلیدی: جبران پاشندگی، روش پیش چرپ، طول موج پاشندگی صفر، فیبر کریستال فوتونی.

۱. مقدمه

طبق تعریف، تغییر پهنای پالس در حوزه‌ی زمان حین انتشار در محیط انتقال را پاشندگی می‌نامند. اگر این تغییر در جهت افزایش پهنا باشد، پاشندگی مثبت و اگر در جهت کاهش پهنای پالس باشد پاشندگی منفی است. مزیت اصلی فیبرهای تک مُد این است که پاشندگی مُدی[1] به دلیل انتقال توان دریک مُد حذف می‌شود، ولی این امر پاشندگی را به طور کامل حذف نمی‌کند و پاشندگی سرعت گروه[2] که ناشی از پاشندگی رنگی است، باقی می‌ماند. طول‌موجی که در آن مقدار پاشندگی ماده صفر است، طول‌موج پاشندگی صفر نامیده می‌شود و پاشندگی ماده برای طول‌موج‌های کمتر از این مقدار، منفی و برای طول‌موج‌های بیشتر از این مقدار، مثبت است. پاشندگی موجبر[3] برای فاصله‌ی طول‌موج ۰ تا ۱/۶ µm منفی است. مجموع پاشندگی ماده و موجبر، پاشندگی کل را تشکیل می‌دهد. پاشندگی موجبر باعث شیفت طول‌موج پاشندگی صفر به اندازه nm ۴۰-۳۰ می‌شود، به طوری که، طول‌موج پاشندگی صفر به نقطه‌ی ۱/۳۱ µm می‌رسد. مقدار پاشندگی کل فیبر در طول‌موج ۱/۵۵ µm که کمترین تلفات را به‌همراه دارد در محدوده ps/(nm.km) ۱۵-۱۸ قرار می‌گیرد. به دلیل تلفات کم فیبر در این طول‌موج کاهش پاشندگی در این طول‌موج برای سیستم‌های انتقال مطلوب می‌باشد [۱].

انتقال طول‌موج پاشندگی صفر به طول‌موج مربوط به کمترین تلفات با تغییر پارامترهای فیبر و لذا تغییر پاشندگی موجبری امکان‌پذیر است و به این نوع فیبرها، فیبرهای با پاشندگی شیفت داده شده گفته می‌شود. همچنین می‌توان هندسه‌ی فیبر و نمایه‌ی ضریب شکست را طوری طراحی کرد که فیبر در محدوده‌ی µm ۳/۶-۱/۱ پاشندگی ثابت و کمی داشته باشد. این نوع فیبرها را فیبرهای با پاشندگی مسطح می‌نامند. از پاشندگی موجبری برای طراحی فیبرهای با پاشندگی منفی استفاده می‌شود که برای جبران پاشندگی مسیر انتقال از این جبران‌کننده‌ها استفاده می‌شود. برای جبران پاشندگی راهکارهای مختلفی به کار رفته است که در یک تقسیم‌بندی کلی به راهکارهای پیش جبران‌سازی و پس جبران‌سازی مشهور هستند [۲].

۲. روش پیش چرپ[4]

این روش یکی از روش‌های پیش جبران‌سازی محسوب می‌شود. در این روش قبل از وارد کردن پالس به فیبر خواص پالس طوری اصلاح می‌شود که پهن‌شدگی ناشی از پاشندگی سرعت گروه حداقل شود که به آن چرپ‌دار کردن پالس ورودی می‌گویند. از آنجا که این عملیات قبل از اعمال پالس به محیط انتقال صورت می‌گیرد به آن پیش چرپ می‌گویند. عیب این روش در پیاده‌سازی مشکل آن می‌باشد. در مدولاسیون مستقیم چرپ القا شده به پالس مثبت می‌باشد و افزایش پاشندگی سرعت گروه سبب بیشتر پهن شدن پالس می‌شود و بنابراین طول انتقال را کاهش می‌دهد. لذا از چرپ القا شده توسط مدولاسیون خارجی که می‌تواند چرپ منفی به پالس القا کند، استفاده می‌شود. این نوع چرپ می‌تواند باعث کم‌شدن عرض طیفی پالس شود. روشی ساده برای پیش‌چرپ در سال ۱۹۸۹ ارائه شد که در آن خروجی فرستنده به تقویت‌کننده‌ی نوری نیمه رسانا[5] در رژیم اشباع بهره اعمال می‌شود [۴،۳]. اشباع بهره منجر به تغییرات وابسته به زمان چگالی حامل می‌شود که به نوبه‌ی خود باعث تغییر ضریب شکست و القا چرپ در پالس تقویت شده می‌شود. کارآمدی این روش برای جبران پاشندگی در سال ۱۹۸۹، در یک آزمایش با انتقال سیگنال Gb/s ۱۶ در طول km ۷۰ فیبر با استفاده از لیزر نیمه‌هادی با کاواک خارجی، نشان داده شده است [۶]. استفاده از تقویت‌کننده‌ی نیمه‌هادی در رژیم اشباع طول انتقال را ۵ برابر می‌کند و این مزیتی است که باعث اهمیت بیشتر این روش برای جبران پاشندگی می‌شود.

---

[1] Modal Dispersion
[2] Group Velocity Dispersion
[3] Wave guide Dispersion
[4] Pre- Chirp
[5] Semiconductor Optical Amplifier

۲-۱- بررسی اعمال چرپ بر روی ضخامت فیزیکی لایه‌ها

با توجه به اینکه اعمال چرپ روی ضخامت لایه‌ها در مورد توری‌های فیبری براگ منجر به تغییر مشخصه‌ی تاخیر گروه شده و این ساختارها را به عنوان یکی از قطعات مناسب برای جبران پاشندگی مطرح کرده است. در این قسمت تاثیر اعمال چرپ بر روی ضخامت فیزیکی لایه‌ها را بر روی مشخصه تاخیر گروه ساختارهای مختلف بررسی می‌کنیم [۵]. بدین منظور تابع چرپ خطی انتخاب می‌کنیم.

$$C(z) = \frac{\alpha}{\beta} z + 1 \qquad (۱)$$

در رابطه‌ی (۱)، $\alpha = \pm 1$ و β ثابت و z محور نرمالیزه شده با طول ساختار است (z=-۱). اگر α را ۱+ انتخاب کنیم ضخامت لایه‌ها در راستای z افزایش می‌یابد و در صورتی که ۱- انتخاب شود، ضخامت لایه‌ها در راستای z کاهش می‌یابد. برای اینکه عمل جبران پاشندگی تحقق یابد، باید α را ۱- انتخاب کنیم. برای اعمال تابع چرپ به لایه‌ها از رابطه‌ی زیر استفاده می‌کنیم:

$$d_{A,B}(z) = d_{A0,B0} C(z) \qquad (۲)$$

که در آن $d_{A0,B0}$ ضخامت فیزیکی لایه‌های A و B بدون اعمال چرپ هستند.

۲-۲- راهکارهای الکترونیکی

اگرسیگنال نوری به وسیله‌ی پاشندگی سرعت گروه تخریب شود، می‌توان فیبر را یک سیستم خطی در نظر گرفت و به صورت الکترونیکی، آثار پاشندگی را حذف کرد. در گذشته، که گیرنده‌های هیترودایین متداول بود، جبران پاشندگی آسان‌تر انجام می‌شد. در گیرنده‌ی هیترودایین ابتدا سیگنال نوری در یک فرکانس میانی ω_{IF} به سیگنال ماکروویو تبدیل می‌شد و اطلاعات دامنه و فاز را حفظ می‌کرد. یک فیلتر میان‌گذر سیگنال را به فرم اولیه‌ی آن برمی‌گرداند. در یک آزمایش انتقال در سال ۱۹۹۲ یک خط مایکرواستریپ به طول ۳۱/۵ cm به کار رفت. استفاده از این خط مایکرواستریپ، انتقال سیگنال با نرخ ۸ Gb/s در فیبر استاندارد به طول ۱۸۸ km و با پاشندگی ۱۸/۵ ps/(nm.km) را ممکن ساخت [۶]. با آزمایشی در سال ۱۹۹۳، این روش برای آشکارسازی همودایین به کار برده شد و سیگنال با نرخ بیت ۶ Gb/s، پس از انتشار در فیبر استاندارد به طول ۲۷۰ km، بازیابی شد [۷]. با پیشرفت‌هایی که در سیستم‌های مخابرات نوری به وقوع پیوست و حرکت به سمت سیستم‌های تمام نوری انواع دیگری از جبران‌کننده‌های پاشندگی معرفی شدند که جایگزین روش‌های الکترونیکی گردید [۲].

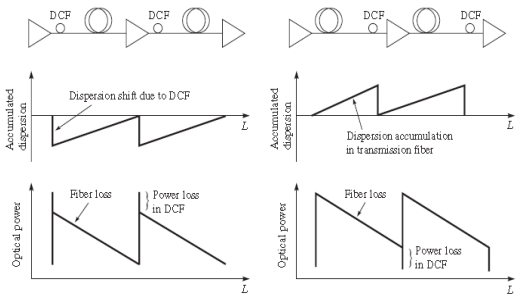
۲-۳- فیبرهای جبران ساز پاشندگی

هرچند روش‌های بررسی شده در سیستم‌هایی که پاشندگی اثر نامطلوب بر آنها دارد، طول انتقال را با ضریب ۲ یا بیشتر افزایش می‌دهند، ولی در سیستم‌های راه دور که نیاز به جبران پاشندگی در فواصل مساوی می‌باشد مناسب نیستند. در سیستم‌های انتقال راه دور، مدیریت پاشندگی توسط روش‌های تمام نوری مبتنی بر فیبر صورت می‌گیرد [۸]. یکی از روش‌های تمام نوری، فیبرهای جبران‌ساز پاشندگی[1] است که در صورت پایین بودن توان متوسط ورودی برای اجتناب از بروز آثار غیرخطی، می‌تواند پاشندگی سرعت گروه را از بین ببرد. این جبران‌کننده در واقع یک نوع فیبر است که دارای پاشندگی منفی بالا می‌باشد. در فیبرهای جبران‌ساز پاشندگی، کسر بیشتری از مُد در پوشش با ضریب شکست کم انتشار می‌یابد و تاثیر موجبر در پاشندگی

[1] Dispersion Compensation Fiber (DCF)

سرعت گروه عکس شده و به مقادیری در حدود (ps/(nm.km ۱۰۰- منجر می‌شود [۹]. DCF ها دارای تلفات زیادی هستند و (α=۰.۶-۰.۴ dB/km) و نسبت M=|D|/α به عنوان معیاری برای مقایسه انواع فیبرها و درجه‌بندی آنها به کار می‌رود [۱۰].

شکل (۱) نشان می‌دهد که DCF را می‌توان هم در انتها (پس جبران‌سازی) و هم در ابتدای (پیش جبران‌سازی) یک فیبر انتقال که بین دو تقویت کننده کشیده شده است، قرار داد. انتخاب سوم قرار دادن فیبر جبران‌ساز در هر دو انتهای فیبر است. در روش پیش‌جبران‌سازی، DCF درست بعد از تقویت کننده و بنابراین قبل از فیبر انتقال قرار داده می‌شود، اما در روش پس‌جبران‌سازی فیبرهای جبران‌ساز بعد از فیبر انتقال و قبل از تقویت کننده نوری قرار داده می‌شود. در شکل (۱)، پاشندگی تجمعی و سطح توان به صورت تابعی از فاصله در طول فیبر نشان داده شده است. این منحنی‌ها به ترتیب نقشه‌ی پاشندگی و نقشه‌ی توان نامیده می‌شوند. همانطور که شکل (۱)الف نشان می‌دهد در پیش‌جبران‌سازی، فیبر جبران‌ساز پاشندگی باعث می‌شود پاشندگی به سرعت به یک مقدار منفی کوچک افت پیدا کند و در تقویت کننده نوری بعدی، از آنجا با افزایش فاصله به آهستگی به سمت صفر افزایش پیدا کند. این فرآیند پس از تقویت تکرار می‌شود. نقشه‌ی توان نشان می‌دهد که تقویت‌کننده‌ی نوری ابتدا سطح توان را به یک مقدار بالایی می‌رساند. از آنجا که فیبر جبران‌ساز پاشندگی یک حلقه‌ی فیبر است، همان‌طور که شکل (۱)ب نشان می‌دهد. قبل از ورود سیگنال به مسیر انتقال اصلی توان سیگنال افت پیدا می‌کند و سپس به صورت نمایی تا رسیدن به تقویت‌کننده‌ی بعدی تضعیف می‌شود [۱۱].



شکل (۱) روش‌های به کارگیری DCF برای جبران پاشندگی (الف) پیش‌جبران‌سازی (ب) پس‌جبران‌سازی

در پس‌جبران‌سازی نیز فرآیند مشابهی رخ می‌دهد. در هر حالت پاشندگی تجمعی پس از مسافتی به صفر نزدیک می‌شود تا اثرات پهن‌شدگی پالس حداقل شود. اما پاشندگی مطلق در تمامی نقاط فیبر غیر صفر است و این مسئله باعث عدم تطبیق فاز بین کانال‌های مختلف شده و امکان وقوع اختلاط چهار موج[1] را کاهش می‌دهد.

در سیستم‌های واقعی، نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهد، که ترکیبی از پس‌جبران‌سازی و پیش‌جبران‌سازی بهترین روش برای جبران پاشندگی است. در صورت استفاده کردن از DCF برای جبران‌سازی، از آنجا که فیبر مخصوص به کار رفته در DCF تلفات بیشتری نسبت به فیبر انتقال دارد، بایستی طول DCF تا حد ممکن کوتاه باشد. تلفاتDCF ها در حد dB/km ۰.۵ در ۱۵۵۰ nm می‌باشد در حالی که فیبر منطبق بر استاندارد G.655 در طول‌موج مذکور تلفاتی در حد dB/km ۰/۲۱ دارد. از آنجا که برای هر ۱۰ الی ۱۲ کیلومتر فیبر عملیاتی نیاز به km ۱ فیبر جبران‌ساز می‌باشد تلفات اضافی وارد شده توسط فیبرهای جبران‌ساز پاشندگی باید در طراحی لینک لحاظ شود. طول فیبر جبران‌ساز پاشندگی مورد نیاز برای جبران پاشندگی فیبر عملیاتی به طول L را می‌توان با استفاده از رابطه‌ی (۳) زیر به دست آورد [۱۱].

$$L_{DCF} = |D_{TX}/D_{DCF}| \times L \qquad (۳)$$

در رابطه‌ی (۱) L طول فیبر عملیاتی، D_{TX} پاشندگی فیبر عملیاتی و D_{DCF} پاشندگی DCF می‌باشد.

[1] Four Wave Mixing (FWM)

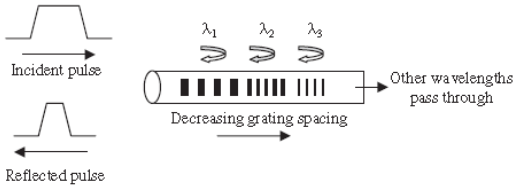
از مزیت‌های این روش می‌توان به ساختار ساده و قابلیت اطمینان بالای آن و همچنین امکان جبران‌سازی در بازه‌ی وسیعی از طول‌موج‌ها بدون نیاز به کنترل دقیق روی طول‌موج لیزرها اشاره کرد. هرچند با وجود این مزیت‌ها این روش به نظر روش جالبی می‌آید، ولی دارای محدودیت‌هایی می‌باشد.

* تلفات الحاقی آن زیاد است (معمولاً بیش از ۰/۵ dB/km)، اگرچه این تلفات با افزایش بهره تقویت‌کننده جبران می‌شود، ولی افزایش بهره تقویت‌کننده منجر به افزایش نویز خودبخودی[1] می‌شود.
* به دلیل قطر مدی نسبتا کم، در صورت افزایش توان ورودی آثار غیر خطی زیاد می‌شود.
* با توجه به اینکه DCF ایجاد پاشندگی مُد قطبش می‌کند که باید در جبران پاشندگی مُد قطبش لحاظ شود.

مشکلات DCF ها تا حدود زیادی با استفاده از فیبرهای دو مدی حل شده‌است. این فیبرها از نظر تلفات با فیبر تک مُد استاندارد معادل هستند، ولی دارای پاشندگی منفی زیاد هستند. مقدار پاشندگی تاحدود (-۷۰۰ ps/(nm.km)) برای فیبرهای با هسته‌ی بیضوی اندازه‌گیری شده است، می‌توان ۱ کیلومتر از این فیبر را برای جبران پاشندگی فیبر معمولی به طول ۴۰ کیلومتر با صرفنظر از تلفات اتصال، به کار بُرد. در استفاده از DCF دو مُدی، برای تبدیل انرژی تک مُد به دو مُد، به مبدل مُد نیاز است. چندین قطعه‌ی تمام فیبری برای این کار به وجود آمده‌اند. ساختار تمام فیبری برای قطعه‌ی مبدل مُد، از نقطه نظر سازگاری با شبکه‌ی فیبر مهم است. به علاوه چنین قطعه‌ای تلفات الحاقی را کم می‌کند. تقریباً تمام مبدل‌های مُد از فیبر دو مدی با یک توری فیبر[2] استفاده می‌کنند که تزویج بین دو مُد را فراهم می‌کند. پریود توری، طوری انتخاب می‌شود که با اختلاف ضریب شکست دو مُد سازگار باشد، و مقدار نمونه‌ی آن در حدود ۱۰۰ میکرومتر است، این توری‌ها، توری‌های با پریود بلند خوانده می‌شوند [۱۲].

۴-۲- توری‌های براگ چرپ شده

روش دیگر برای جبران مسئله‌ی پاشندگی، در نظر گرفتن سرعت انتشار متفاوت برای طول‌موج‌های تشکیل دهنده‌ی پالس نوری است. وقتی یک پالس نوری در ناحیه‌ی پاشندگی مثبت یک فیبر منتشر می‌شود (که در آن DTX>0 است) طول‌موج‌های کوتاه‌تر (فرکانس‌های بالاتر) پالس سریع‌تر از طول‌موج‌های بلندتر (فرکانس‌های کمتر) حرکت می‌کنند[۱۱]. این اثر پاشنده‌ای است که پالس را پهن‌تر می‌کند. برای جبران تفاوت در زمان رسیدن مولفه‌های فرکانسی مختلف پالس، که از پاشندگی مثبت ناشی می‌شود می‌توان از توری‌های براگ چرپ شده[3] که می‌توانند پاشندگی منفی ایجاد کنند استفاده کرد. همان‌طور که در شکل (۲) نشان داده شده است در این جبران‌کننده‌ها پریود توری در طول فیبر تغییر می‌کند. تغییر خطی در پریود توری منجر به ایجاد شرط براگ در دامنه‌ای از طول‌موج‌ها و انعکاس آنها می‌شود. در ترکیب نشان داده شده، پریود توری در راستای فیبر کاهش می‌یابد که به معنی کاهش طول‌موج‌های براگ در طول توری است. در نتیجه مولفه‌های با طول‌موج کوتاه‌تر پالس قبل از منعکس شدن توسط توری مسافت بیشتری را طی می‌کنند و لذا طول‌موج‌های کوتاه‌تر نسبت به طول‌موج‌های بلند تاخیر بیشتری را تجربه می‌کنند.



شکل (۲) روش جبران پاشندگی توسط توری براگ چرپ شده

[1] Amplified Spontaneous Emission Noise (ASE)
[2] Fiber Grating
[3] Chirped Fiber Bragg Gratings (CFBG)

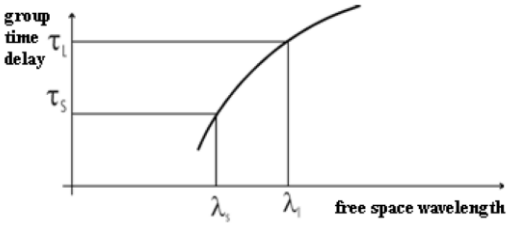
تاخیر نسبی القا شده به وسیله‌ی توری، بین مولفه‌های فرکانسی مختلف پالس، بر خلاف تاخیر ایجاد شده به وسیله‌ی فیبر است. این امر منجر به جبران پاشندگی و لذا فشرده کردن پالس می‌شود. پاشندگی یک قطعه مخابرات نوری طبق تعریف شیب تابعی است که تاخیر گروه را به طول‌موج در فضای آزاد ربط می‌دهد.

$$D = \frac{\partial T(\lambda)}{\partial \lambda} \quad (۴)$$

یکی از کاربردی‌ترین واحدهای پاشندگی، ps/nm است. در بسیاری از مقاصد، خطی در نظر گرفتن تابع تاخیر گروه T نسبت به λ، حداقل به صورت موضعی کافی است. در این صورت D در بازه‌ی طیفی مورد نظر ثابت است و می‌توان آنرا از نسبت رشد تاخیر گروه T(λ) به رشد λ در بازه مورد نظر محاسبه کرد[۱۳]:

$$D = \frac{T_L - T_S}{\lambda_L - \lambda_S} \quad (۵)$$

که در آن همان‌طور که در شکل (۳) نشان داده شده است λ_L و λ_S به ترتیب دو طول‌موج بلند و کوتاه به کار رفته در محاسبه است.



شکل (۳) تاخیر گروه یک قطعه نسبت به طول موج در فضای آزاد

حال پاشندگی ناشی از یک توری براگ فیبری[1] که به طور خطی چرپ شده است را محاسبه می‌کنیم. راهبرد ما در این کار محاسبه λ_L و λ_S و T_L و T_S و قرار دادن آنها در رابطه فوق می‌باشد. قطعه‌ای را به طول L با پریود مرکزی $\Lambda^{(FBG)}$ و چرپ $ch^{(FBG)}$ (شیب تابع پریود بر حسب nm/cm) در نظر بگیرید. تابع پریود توری براگ فیبری یک عبارت ساده‌ی خطی است:

$$\Lambda^{(FBG)}(x) = \Lambda^{(FBG)} + x \times ch^{(FBG)} \quad (۶)$$

که در آن مبدا x واقع در مرکز توری براگ فیبری است. پریود در یک انتهای توری براگ فیبری برابر است با:

$$\Lambda_S{}^{(FBG)} = \Lambda^{(FBG)} - \frac{L}{2} \times ch^{(FBG)} \quad (۷)$$

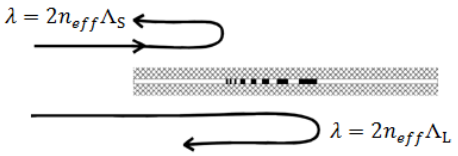
و در انتهای دیگر برابر است با:

$$\Lambda_L{}^{(FBG)} = \Lambda^{(FBG)} + \frac{L}{2} \times ch^{(FBG)} \quad (۸)$$

با توجه به روابط (۵) و (۶) می‌توان برای $ch^{(FBG)}$ رابطه‌ی زیر را به دست آورد.

$$ch^{(FBG)} = \frac{\Lambda_L{}^{(FBG)} - \Lambda_S{}^{(FBG)}}{L} \quad (۹)$$

نور به وسیله‌ی قسمتی از توری براگ فیبری منعکس می‌شود که در آن شرط براگ ارضا شود.



شکل(۴)انعکاس طول موج‌های منطبق بر شرط براگ از ابتدا و انتهای FBG چرپ شده

[1] Fiber Bragg Gratings (FBG)

فرض می‌شود نور همان‌طور که در شکل (۴) نشان داده شده است از سمتی که پریود کوتاه‌تری دارد وارد شود. اگر طول‌موج این نور برابر با طول‌موج زیر باشد بلافاصله هنگام ورود به توری براگ فیبری منعکس می‌شود [۱۳].

$$\lambda_S = 2n_{eff}\Lambda_S{}^{(FBG)} = 2n_{eff}(\Lambda^{(FBG)} - \frac{L}{2} \times ch^{(FBG)}) \quad (۱۰)$$

و اگر با طول‌موج زیر برابر باشد، در انتهای دیگر منعکس می‌شود.

$$\lambda_L = 2n_{eff}\Lambda_L{}^{(FBG)} = 2n_{eff}(\Lambda^{(FBG)} + \frac{L}{2} \times ch^{(FBG)}) \quad (۱۱)$$

در حالیکه نور منعکس شده از ابتدای توری براگ فیبری تاخیری را تجربه نمی‌کند ($T_S=0$) نور منعکس شده از انتهای دیگر، تاخیر زمانی T_L را تجربه می‌کند.

$$T_L = \frac{2L}{v} \quad (۱۲)$$

ضریب ۲ در صورت کسر، برای لحاظ کردن رفت و برگشت نور به کار رفته است. در اینجا v سرعت گروه است، زیرا، انتقال و انعکاس پالس‌های حامل اطلاعات مورد علاقه‌ی ماست. از آنجا که سرعت گروه و فاز خیلی نزدیک به هم هستند می‌توانیم از تفاوت آنها صرف‌نظر کنیم. بنابراین رابطه‌ی فوق برای T_L را می‌توانیم به صورت زیر بازنویسی کنیم.

$$T_L = \frac{2L}{c/n_{eff}} \quad (۱۳)$$

با در دست بودن λ_L و λ_S و T_L و T_S اکنون می‌توانیم پاشندگی را محاسبه کنیم.

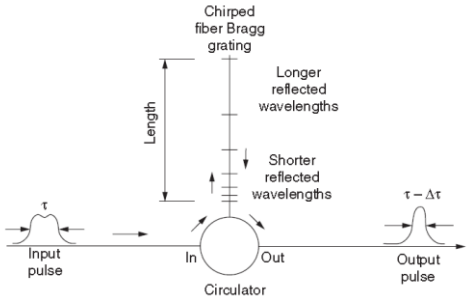
$$D = \frac{T_L - T_S}{\lambda_L - \lambda_S} = \frac{T_L}{\Delta\lambda^{(FBG)}} = \frac{1}{c \times ch^{(FBG)}} \quad (۱۴)$$

ملاحظه می‌شود که L و n_{eff} از رابطه‌ی پاشندگی حذف می‌شوند.

قبل از سال ۲۰۰۰، محدودیت‌های موجود در ساخت باعث محدود شدن طول توری‌ها به ۱۰ cm می‌شد. اگر برای مثال پاشندگی فیبر G.655 در یک مسافت ۱۰۰ کیلومتری به ۵۰۰ ps/nm برسد، برای استفاده از توری براگ چرپ شده ده سانتی‌متری برای جبران این مقدار پاشندگی، این توری باید بر روی پهنای باند بسیار باریکی کمتر از ۱ nm اعمال شود [۱۱]. این بدین معنی است که توری‌های کوتاهی که قبل از سال ۲۰۰۰ ساخته می‌شدند در سیستم WDM تنها برای جبران یک طول‌موج می‌تواند استفاده شود.

امروزه ساخت توری‌های براگ چرپ شده به طول ۲ m با پهنای باند بیش از ۳۰ nm و تلفات الحاقی در حدود ۱ dB و شیب تاخیر ۱.۱ ps/nm.nm- ممکن است. این نوع از توری‌های براگ چرپ شده قطعات چند کانالی هستند و می‌توانند پاشندگی رنگی را در تمامی کانال‌های C-band یا L-band بر روی یک فیبر جبران کنند. فناوری توری‌های براگ چرپ شده اکنون به مرحله‌ی تکامل رسیده است و با وجودDCF، انتخاب نخست برای جبران پاشندگی محسوب می‌شود. اگر بخواهیم بطور خلاصه ویژگی‌های این قطعه را ذکر کنیم می‌توانیم به موارد زیر اشاره کنیم [۱۴].

* مزیت عمده این فناوری تنظیم پذیری آن است.
* تلفات الحاقی کمی دارد.
* ظرفیت انتقال توان‌های بالا بدون ایجاد آثار غیر خطی را دارد.
* باعث ایجاد پاشندگی مُد قطبش می‌شوند.



شکل (۵) استفاده از توری براگ چرپ شده به منظور جبران پاشندگی

در شکل (۵) نحوه‌ی استفاده از توری‌های براگ چرپ شده برای جبران پاشندگی نشان داده شده است.

۳- نتیجه گیری

مزیت اصلی فیبرهای تک مُد این است که پاشندگی مُدی به دلیل انتقال توان دریک مُد حذف می‌شود، ولی این امر پاشندگی را به طور کامل حذف نمی‌کند و پاشندگی سرعت گروه که ناشی از پاشندگی رنگی است، باقی می‌ماند.

در این مقاله روش‌های مختلف جبران پاشندگی بررسی شده است. با توجه به این مهم که جبران پراکندگی رنگی برای دستیابی به عملکرد بالاتر سیستم‌های فیبر نوری و افزایش حداکثر فاصله انتقال بسیار مهم و حیاتی است، بر این اساس توصیه می‌شود به جای استفاده از فیبرهای جبران‌ساز پاشندگی، از توری‌های براگ فیبری، جهت کاهش آثار پاشندگی استفاده شود.

۴- مراجع

1. Varshney, S.K., Singh, M.P., and Sinha, R.K., 2007, Propagation characteristics of photonic crystal fibers, Adv. Studies Theory. Phys., vol 1, pp. 75-85.
2. Agrawal, G. P., 2002, Fiber-Optic Communications Systems, USA, John Wiley & Sons, Inc, pp.281-282.
3. Agrawal, G. P., and Olsson N. A., 1989a, Amplification and compression of weak picoseconds optical pulses by using semiconductor-laser amplifiers, Optics Lett., vol. 14, no 10, pp. 500.
4. Agrawal, G. P., and Olsson N. A., 1989b, Self-phase modulation and spectral broadening of optical pulses in semiconductor laser amplifiers, J. Quantum Elec., vol. 25, pp. 2297-2306.
5. Golmohammadi, S., MoravvejFarshi, M. K., Rostami, A. and Zarifkar, A., 2008, Dense Wavelength-Division Multiplexing Dispersion Compensators Based on Chirped and Apodised Fibonacci Structures: CA-FC(j,n), Applied Optics, vol. 47, no. 35, pp. 6477-6487
6. Takachio, N., Norimatsu, S., and Iwashita, K., 1992, PSK synchronous heterodyne detection transmission experiment using fiber chromatic dispersion equalization, IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 4, pp. 278-280.
7. Yonenaga, K., and Takachio, N., 1993, A fiber chromatic dispersion compensation technique with an optical SSB transmission in optical homodyne detection systems, IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 5, pp. 949-951.
8. Lin, C., Kogelnik, H., and Cohen, L. G., 1980, Optical-pulse equalization of low-dispersion transmission in single-mode fibers in the 1.3-1.7-um spectral region, Opt. Lett., vol. 5, pp.476.

9. Olsson, N. A., Agrawal, G. P., and Wecht, K.W., 1989, 16 Gbit/s, 70 km pulse transmission by simultaneous dispersion and loss compensation with 1.5 μm optical amplifiers, IEEE Elec. Lett., vol. 25, pp. 603-605.
10. Antos, A. J., and Smith, D.K., 1994, Design and characterization of dispersion compensating fiber based on the LP01 mode, J. Lightwave Technol., vol. 12, pp. 1739-1745,
11. Keiser, G., 2003, Optical Communications Essentials, USA, McGraw-Hill Professional, pp. 250-253.
12. Ramachandran, S., 2001, All-fiber grating-based higher order mode dispersion compensator for broad-band compensation and 1000-km transmission at 40 Gb/s, IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 13, pp. 632-634.
13. StockerYale, Inc., 2009, Chromatic Dispersion: Introduction and Mathematical Description, http://www.stockeryale.com/o/lasiris_pm/faqs.htm
14. Chomycz, B., 2009, Planning Fiber Optic Networks, USA, McGraw-Hill, pp. 125,170-174

Using the Pre-Chirp Method for Compensation of the Dispersion Effect on Optical Fibers

Amirhassan Talebi

PhD in Optical Telecommunication Engineering, Director of Energy Control and Telemetry, Water and Wastewater Co., East Azarbaijan, Tabriz, Iran, talebi-a@abfaazarbaijan.ir

Abstract

Scattering is one of the main factors limiting the amount of information that can be sent and the distance sent to a fiber. In fact, after attenuation, the most important factor limiting the transmission of optical information is scattering.

In this paper, after reviewing the electronic solutions of scattering compensation methods, the pre-grease method for scattering compensation in optical fibers has been introduced. In fact, this method is one of the pre-compensation methods. In this method, before applying the pulse to the fiber, its properties are modified in such a way that the propagation due to "group velocity scattering" is minimized, which is called applying grease to the input pulse. The results show that the use of such fibers for short distance compensation compensates for parameters such as factor Λ and FBG.

Keywords: Scattering compensation, pre-chirp method, zero scattering wavelength, photonic crystal fiber