

به نام خدا

پاشندگی در فیبرهای نوری تک مد استاندارد و روشهای جبران آن

استاد راهنما : جناب آقای دکتر گلمحمدی

پژوهشگر : لیلا مقرری

چکیده:

ما در این مقاله پس از توصیف مشکلات فیبرهای نوری در عرصه انتقال پالس و بیان مفهوم پاشندگی ، انواع آن و معادلات توصیفی هر کدام ، به بررسی روشهای جبران سازی ، چه در قسمت گیرنده ، چه در خط انتقال و چه در فرستنده می پردازیم و مزایا و معایب آنها را بیان خواهیم کرد .



عمده ترین مشکلات فیبرهای نوری در انتقال اطلاعات ، تلفات توان و ظهور اثرات غیرخطی و پاشندگی می باشد. با پیشرفتهایی که در زمینه تقویت کننده های نوری صورت گرفته است و با استفاده از تقویت کننده های نوری و نیز فیبرهای کم تلفات، دیگر تلفات نوری مشکل چندان مهمی در شبکه های نوری محسوب نمیشوند. زمانیکه پالس نوری ارسالی دارای انرژی زیاد می باشد فیبر از خود اثرات غیرخطی نشان می دهد ، مثلاً ضریب شکست با افزایش توان سیگنال افزایش می یابد ، ثابت انتشار به توان ورودی بستگی پیدا می کند و مدولاسیونهای غیرخطی فاز از قبیل SPM و XPM و یا پدیده ترکیب چهارموجه (Four Wave Mixing) اتفاق می افتد . اثرات غیر خطی نیز با تلاشهای صورت گرفته تا حد زیادی تعدیل گردیده است . مشکل عمده سیستمهای نوری جدید، پاشندگی است. برای حل مشکل پاشندگی ، چندین طرح مدیریت پاشندگی در طول دهه ۱۹۹۰ توسعه یافته است. در ادامه این روشها توضیح داده می شوند .

ضرورت جبران پاشندگی و مفهوم کلی آن :

پاشندگی نور پدیده ای است که به دلیل عدم یکسان بودن سرعت گروه مولفه های مختلف فرکانسی در فیبرهای نوری چند مد اتفاق می افتد. و چون مدهای مختلف با سرعت گروه مختلف حرکت می کنند در نتیجه پهن شدگی پالس ایجاد می شود این پدیده را Modal Dispersion یا پاشندگی چند مسیره می نامند.

با مطالعه مشخصه فیبرهای استاندارد تک مد متوجه می شویم که در طول موج $1.31\mu m$ مقدار پاشندگی برابر صفر می باشد که به آن طول موج پاشندگی صفر λ_{zd} می گویند. که البته مقدار پاشندگی مرتبه دوم در این طول موج برابر صفر می باشد و پاشندگی های مراتب بالاتر باز هم عملکرد سیستم را تحت تاثیر قرار خواهند داد. از طرف دیگر مقدار تلفات فیبر تک مد استاندارد در طول موج $1.55\mu m$ کمترین مقدار را دارد و پاشندگی موجود در این طول موج که حدوداً $16 \text{ ps}/(\text{km}.\text{nm})$ می باشد موجب پهن شدگی شدید پالس خواهد گردید. پس برای حذف اثر پاشندگی مرتبه دوم می بایست از فیبری استفاده گردد که طول موج پاشندگی صفر آن به $1.55\mu m$ انتقال یابد.

با توجه به مباحث فوق جبران پاشندگی در فیبر نوری تک مد استاندارد، با استفاده از تکنولوژیهای موجود امری اجتناب ناپذیر به نظر می رسد، چون :

- ۱- فیبرها در طول موج پاشندگی صفر ، اثرات غیرخطی شدیدی نشان می دهند.
- ۲- در این فیبرها هنوز هم نیاز به جبران سازی پاشندگی های مراتب بالاتر می باشد.

۳- از نظر اقتصادی تعویض بیش از پنجاه میلیون کیلومتر فیبرنوری شبکه جهانی با فیبرهای فوق الذکر، مقرون به صرفه نمی باشد.

علاوه بر موارد مذکور ، در نتیجه پاشندگی ، پالسهای ارسالی در سیستمهای مخابراتی ، دچار هم شنوایی میشوند و این پدیده روی انتقال بیت‌های بیشتر در واحد زمان محدودیتهای جدی روی عملکرد سیستمهای مخابراتی اعمال میکند .

عمده ترین روشهای جبران پاشندگی

جبران پاشندگی بر روی هر سه قسمت از شبکه (فرستنده ، خط انتقال و گیرنده) می تواند صورت گیرد. روشهای مورد استفاده در هر قسمت بطور مجزا مورد بررسی قرار خواهد گرفت . مثلاً دو روش عمده مورد استفاده در خط انتقال عبارتست از :

۱- فیبرهای جبران ساز

۲- فیبرهای Brag Grating

انواع پاشندگی :

۱- پاشندگی رنگی یا همان پاشندگی ماده

۲- پاشندگی موجبر

۳- پاشندگی بین مدی

۴- پاشندگی سرعت گروه

۵- پاشندگی پلاریزاسیون مد

پاشندگی رنگی :

پاشندگی رنگی یا پاشندگی ماده در نتیجه وابستگی ضریب شکست سیلیکا (ماده مورد استفاده برای ساخت فیبر نوری) به فرکانس می باشد . ریشه بنیادی این پدیده به خصوصیات فرکانسهای رزونانسی برمی گردد که در این فرکانسها ، ماده امواج الکترومغناطیسی را جذب می کند .

پاشندگی مدال :

در داخل فیبر مولفه های مختلف نور ، مسیرهای مختلفی را طی می کنند و این سبب تاخیر می شود. این پدیده را می توان در نتیجه حرکت مدهای مختلف ، با سرعتهای گروه متفاوت توجیه نمود . سرعت گروه به صورت عکس مشتق ضریب انتشار به فرکانس تعریف می شود:

$$V_g = \left(\frac{d\beta}{d\omega} \right)^{-1}$$

$$\beta = \bar{n} K_0 = \bar{n} \frac{\omega}{c}$$

با مشتق گیری از β نسبت به فرکانس مطابق رابطه زیر ، کمیتی بنام ضریب شکست گروه تعریف می شود و سرعت گروه را با استفاده از ضریب شکست گروه به صورت زیر تعریف می کنیم :

$$\frac{d\beta}{d\omega} = \frac{1}{c} \left(\omega \frac{d\bar{n}}{d\omega} + \bar{n} \right) \rightarrow \bar{n}_g = \bar{n} + \omega \left(\frac{d\bar{n}}{d\omega} \right) \rightarrow V_g = \frac{c}{\bar{n}_g}$$

با ظهور وابستگی سرعت گروه به ضریب شکست گروه ، وابستگی سرعت گروه به فرکانس مشخصاً پدیدار می شود ، این وابستگی پهن شدگی پالس را توجیه می کند چون که مولفه های مختلف طیفی پالس پهن شده ، با سرعتهای گروه متفاوتی در طول فیبر حرکت می کنند و همزمان به انتهای فیبر نمی رسند . می توان میزان پهن شدگی را از اختلاف مسیرهای بین کوتاهترین و طولانی ترین مسیر حرکت مولفه های نور محاسبه کرد . کوتاهترین مسیر برای مولفه ای از نور است که زاویه برخورد آن به سطح فیبر صفر درجه باشد و طولانی ترین مسیر نیز به ازای زاویه θ_i (زاویه بحرانی که برای زوایای بزرگتر از آن، نور داخل موجبر انتشار نخواهد یافت) قابل محاسبه است.

مقدار تاخیر زمانی بین این دو مولفه برابر است با :

$$\Delta T = \frac{n_1}{c} \left(\frac{L}{\sin \varphi} - L \right) = \frac{L n_1^2}{c n_2} \Delta$$

پاشندگی موجبر:

می دانیم که کمیت b (ثابت انتشار نرمالیزه) از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$b = \frac{\frac{\beta^2}{k_0^2} - n_2^2}{n_1^2 - n_2^2} = \frac{\frac{\beta}{k_0} - n_2}{n_1 - n_2} \times \frac{\frac{\beta}{k_0} + n_2}{n_1 + n_2} \simeq \frac{\frac{\beta}{k_0} - n_2}{n_1 - n_2}$$

پس میتوان نوشت :

$$\beta = \frac{\omega}{c} (n_2 + (n_1 - n_2)b(V))$$

که در آن V فرکانس نرمالیزه می باشد. واضح است که حتی اگر n_1 و n_2 وابستگی فرکانسی نداشته باشند، باز هم کمیت β از طریق b ، به فرکانس وابسته است چرا که b تابعی از V و پارامتر V تابعی از ω است. (رجوع گردد به کتاب (Nishihara, Optical Integrated Circuite)

با توجه به رابطه فوق و از آنجاییکه $\frac{d\beta}{d\omega}$ با عکس سرعت گروه رابطه دارد، ملاحظه که سرعت گروه حتی در غیاب پاشندگی ماده، به فرکانس وابسته می شود. این مکانیسم پاشندگی پالس را پاشندگی موجبر مینامیم که به صورت زیر قابل محاسبه است:

$$\frac{1}{V_g} = \frac{d\beta}{d\omega} = \frac{1}{c} (n_2 + (n_1 - n_2)b(V)) + \frac{\omega}{c} (n_1 - n_2) \frac{db}{dV} \cdot \frac{dV}{d\omega}$$

و نهایتاً با توجه به اینکه n_1 و n_2 را مستقل از فرکانس فرض کرده ایم با اعمال روابط زیر در رابطه بالا آنرا ساده می کنیم :

$$V = \frac{2\pi}{\lambda_0} a \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = \frac{\omega}{c} a \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

$$\begin{aligned} \frac{dV}{d\omega} = \frac{V}{\omega} &\Rightarrow \frac{1}{V_g} = \frac{1}{c} [n_2 + (n_1 - n_2)b(V)] + \frac{1}{c} (n_1 - n_2) V \frac{db}{dV} \\ &\Rightarrow \frac{1}{V_g} = \frac{n_2}{c} + \frac{n_1 - n_2}{c} \frac{d(bV)}{dV} \end{aligned}$$

τ مدت زمان طی طول L از فیبر به صورت زیر می باشد :

$$\tau = \frac{L}{V_g} = \frac{L}{c} n_2 \left[1 + \Delta \frac{d}{dV} (bV) \right]$$

مقدار پاشندگی موجبر برای یک منبع با پهنای طیفی $\Delta\lambda_D$ به صورت زیر است :

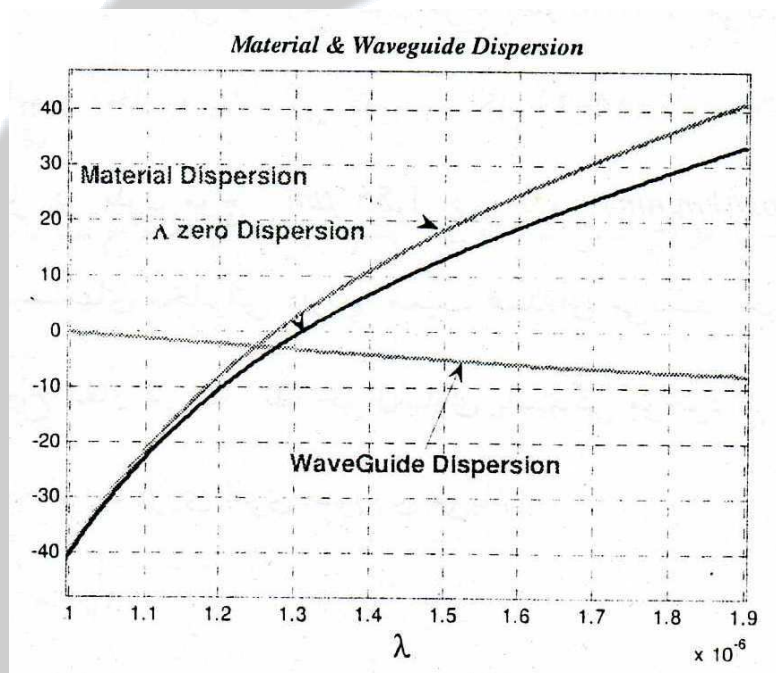
$$\Delta\tau_\omega = \frac{d\tau}{d\lambda_D} \Delta\lambda_D \simeq \frac{L}{c} n_2 \Delta \frac{d^2}{dV^2} (bV) \frac{dV}{d\lambda_D} \Delta\lambda_D$$

$$\Delta\tau_\omega \simeq -\frac{L}{c} n_2 \left(\frac{d\lambda_D}{\lambda_D} \right) \left(V \frac{d^2(bV)}{dV^2} \right)$$

$$\frac{dV}{d\lambda_D} = -\frac{V}{\lambda_D} \Rightarrow D_W \approx -\frac{n_2 \Delta}{3\lambda_D} \left[\Delta \frac{d^2(bV)}{dV^2} \right] \times 10^7 \text{ ps}/(\text{km.nm})$$

پاشندگی کل پالس با جمع کردن مقدار D_W با D_M بدست می‌آید.

تاثیر پاشندگی موجبر، بر روی پاشندگی ماده و محاسبه پاشندگی کل در شکل زیر را می‌توان دید :



پاشندگی پلاریزاسیون مد (PMD):

در عمل فیبر تک مد ، به صورت کاملاً تک مد عمل نمی کند و می تواند دو مد تبهگن را نیز انتقال دهد . خاصیت تبهگنی این است که دو مدی که روی دو محور عمود بر هم پلاریزه شده اند ، به هم کوپل نخواهند شد .

$$n_x = \frac{\beta_x}{K_0} n_y = \frac{\beta_y}{K_0}$$

در فیبرهای واقعی ، تقارن استوانه ای هسته کاملاً مطلوب نبوده و نسبت به حالت تقارن دارای انحرافات کوچکی است و فیبر به دلیل تنشهای ایجاد شده بر روی آن ، ناهمسانگرد می باشد ، در نتیجه خاصیت تبهگنی بین مدها شکسته می شود و ثابت انتشار β برای دو مدی که در راستای محورهای x و y انتشار یافته اند ، متفاوت می شود ، به این پدیده birefringence یا پدیده انکسار مضاعف گفته می شود و مدهای پلاریزه شده در مسیر خود ، ضریب شکستهای متفاوتی می بینند . به همین دلیل ، مولفه های پلاریزه شده با دو سرعت متفاوت درون فیبر حرکت می کنند .

محوری که در امتداد آن ، ضریب شکست کوچکتر است محور سریع و محوری که ضریب شکست بزرگتری دارد، محور کند می نامند . در اثر تغییرات تصادفی سرعت گروه دو مد پلاریزه ، پالس نوری در انتهای فیبر ، پهن می شود . این پدیده را پاشندگی پلاریزاسیون مد می نامند ، که بدلیل اثرات نامطلوبی که روی سیستمهای WDM دارد ، از دهه ۹۰ بطور جدی تر مطالعه شد . میزان تاخیر زمانی برای یک فیبر با طول L به صورت زیر است :

$$\Delta T = \left| \frac{L}{v_{gn}} - \frac{L}{v_{gf}} \right| = L\Delta\beta_1$$

در سیستمهای مخابراتی برای محاسبه تاخیر زمانی استفاده از ΔT بدلیل تغییرات نامنظم در مقدار ضریب انکسار مضاعف ، مناسب نمی باشد . در این سیستمها مقدار PMD را با استفاده از مقدار موثر کمیت تاخیر زمانی ΔT یا در واقع با متوسط گیری از آشفتهگیهای نامنظم به صورت زیر محاسبه می کنند :

$$\sigma_T^2 = \langle (\Delta T)^2 \rangle = 2(\Delta'L_c)^2 [\exp(-L/L_c) + L/L_c - 1]$$

که در این رابطه Δ' : کمیت پراکندگی ذاتی مد و L_c : طول همبستگی بین مدها می باشد (منظور از طول همبستگی، طولی از فیبر است که مولفه های دو مد پلاریزه ، در آن فاصله با یکدیگر هم بسته باقی می مانند) . مقادیر معمولی برای L_c در حدود ده متر می باشد ، فلذا با در نظر گرفتن مقادیر عملی فیبرها می توان رابطه فوق را به صورت زیر ساده کرد :

$$\sigma_T \cong \Delta' \sqrt{2L_c L} \equiv D_p \sqrt{L}$$

که در آن D_p پارامتر پاشندگی پلاریزاسیون مد می باشد . با توجه به رابطه بدست آمده ، میزان پهن شدگی پالس در اثر PMD به جذر طول فیبر وابسته است لذا اثر آن در پهن شدگی از پارامتر GVD کمتر می باشد . اما با این حال در فواصل طولانی و در حوالی طول موج λ_{zp} ، در انتقالهای با سرعت بالا ، اثرات نامطلوبی در سیستم پدید می آورد .

: Group Velocity Dispersion

اگر فیبر تک مدی با طول L داشته باشیم ، مولفه طیفی خاص با فرکانس ω ، خود را با تاخیر $T = \frac{L}{V_g}$ به انتهای فیبر می رساند ، V_g را سرعت گروه می نامیم و بدین صورت تعریف می شود :

$$V_g = \left(\frac{d\beta}{d\omega} \right)^{-1}$$

از طرفی داریم :

$$\beta = \bar{n} K_0 = \bar{n} \frac{\omega}{c}$$

$$\frac{d\beta}{d\omega} = \frac{1}{c} \left(\omega \frac{d\bar{n}}{d\omega} + \bar{n} \right) \rightarrow \bar{n}_g = \bar{n} + \omega \left(\frac{d\bar{n}}{d\omega} \right) \rightarrow V_g = \frac{c}{\bar{n}_g}$$

با توجه به معادلات فوق می بینیم که برای هر مولفه فرکانسی ، سرعت گروه متفاوت است . وابستگی سرعت گروه موجب پهن شدگی پالس می شود ، بدین صورت که مولفه های مختلف طیفی پالس با سرعت های گروه متفاوتی در طول فیبر حرکت می کنند و لذا همزمان به انتهای فیبر نمی رسند ، اگر در ابتدای فیبر ، پهنای طیفی پالس نوری $\Delta\omega$ باشد ، پس از طی مسیر به طول L ، میزان پهن شدگی پالس به صورت زیر محاسبه می شود :

$$\Delta T = \frac{dT}{d\omega} \Delta\omega = \frac{d}{d\omega} \left(\frac{L}{V_g} \right) \Delta\omega = L \frac{d^2\beta}{d\omega^2} \Delta\omega = L\beta_2 \omega$$

که پارامتر $\beta_2 = \frac{d^2\beta}{d\omega^2}$ پاشندگی سرعت گروه (GVD) می باشد و معیار مهمی برای مشخص کردن میزان پهن شدگی پالس می باشد .

$\beta_1 = \frac{d\beta}{d\omega}$ پاشندگی مرتبه اول یا همان پاشندگی مدال است که میزان تاخیر مولفه های طیفی پالس را که با سرعت V_g در طول L حرکت می کنند نشان می دهد .

$\beta_3 = \frac{d^3\beta}{d\omega^3}$ پاشندگی مرتبه سوم است که در محاسبه پراکندگی پالس معمولاً از مشتقات مقادیر بالاتر β صرف نظر می شود .

روشهای جبران سازی :

روشهای جبران سازی در هر سه قسمت شبکه مخابرات ، یعنی در قسمت فرستنده ، خط انتقال و گیرنده مورد استفاده قرار می گیرند . در ادامه به توضیح روشهای مورد استفا ده در هر بخش و مزایا و معایب هر کدام خواهیم پرداخت.

روشهای جبران سازی در قسمت فرستنده

طرح پیش جبران سازی :

خصوصیات پالس ورودی را در قسمت فرستنده قبل از قبل از کوپل شدن به فیبر انتقال ، مورد تغییر قرار می دهند ، یعنی اگر طیف فرکانسی پالس نوری را در ورودی بتوانیم به طور مناسبی دستکاری کنیم ، می توان اثر حاصل از پاشندگی مسیر انتقال را از بین برد . معادله پالس در حین انتشار با در نظر گرفتن معادله شرودینگر و اعمال نظریه های مربوطه ، به صورت زیر می باشد :

$$A(z, t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} A(0, \omega) \exp\left(\frac{i}{2}\beta_2 z \omega^2 - i\omega t\right) d\omega$$

اثر کاهشی پدیده پاشندگی به علت وجود ترم $\exp\left(\frac{i}{2}\beta_2 z \omega^2\right)$ می باشد ، که موجب تغییر طیف فرکانسی پالس در حین انتشار در طول فیبر می شود و همه روشهای مورد استفاده در جبران سازی پاشندگی چه در قسمت فرستنده، چه گیرنده یا مسیر انتقال، سعی در حذف اثر این فاکتور فاز دارند . اگر بتوانیم در دامنه طیفی تغییری به صورت زیر ایجاد بکنیم :

$$A(0, \omega) \rightarrow A(0, \omega) \exp(-i\omega^2 \beta_2 L/2)$$

در این صورت GVD دقیقاً جبران می شود ، اما تحمیل این معادله به پالس ورودی در عمل مشکل است ، اما در شکل ساده ، پالس ورودی را می توان به طور مناسبی در فرستنده ، چرپ نمود تا اثر مربوط به پارامتر پاشندگی را بتوان کاهش داد . این روش را به دلیل اینکه ایجاد فرکانس چرپ ، در قسمت فرستنده صورت می گیرد ، پیش چرپ می نامند .

در صورتی به یک پالس گفته می شود چرپ شده است که فرکانس حامل آن با زمان تغییر کند ، تغییرات فرکانس پالس با مشتق فاز به صورت زیر است :

$$\delta\omega(t) = -\frac{\partial\varphi}{\partial t} = \frac{c}{T_0^2} t$$

که در آن φ فاز پالس در ورودی فیبر و $\delta\omega$ شیفت فرکانسی وابسته به زمان یا به عبارت دیگر، همان چرپ است.

روش پیش چرپ :

میدان یک پالس گوسین چرپ دار به صورت مقابل است :

$$A(0, t) = A_0 \exp \left[-\frac{1+iC}{2} \left(\frac{t}{T_0} \right)^2 \right]$$

که در آن C فرکانس چرپ و T_0 نصف پهنای زمانی پالس می باشد .

برای یک پالس چرپ نشده ، میزان پهن شدگی از رابطه $[1 + (z/L_D)]^{1/2}$ محاسبه می شود لذا پهنای آن با ضریب $\sqrt{2}$ در طول $L_D = z$ افزایش می یابد . اما یک پالس چرپ شده ، بسته به علامت $\beta_2 C$ در رابطه زیر :

$$Q(z) = 1 + (C - i)\beta_2 z/T_0^2$$

ممکن است در حین انتشار در طول فیبر ، پهن تر یا حتی فشرده تر شود . زمانی که هر دو پارامتر β_2 و C هم علامت باشند در اینصورت $\beta_2 C > 0$ می شود و پالس چرپ شده با سرعت بیشتری از پالس غیرچرپ پهن می گردد ، اما اگر $\beta_2 C < 0$ شود ، از دیدگاه فیزیکی ، پالس تا فاصله z_{min} کاهش و سپس افزایش می یابد .

در صورتیکه میزان پهن شدگی پالس با فاکتور $\sqrt{2}$ قابل قبول باشد، به ازای چنین تعریفی ($T_1/T_0 = \sqrt{2}$)

فاصله انتقال با رابطه $L = \frac{c + \sqrt{1+2C^2}}{1+C^2} L_D$ محاسبه می شود ، که در آن L_D طول پاشندگی نامیده می شود و از رابطه زیر محاسبه می شود :

$$L_D = T_0^2 / |\beta_2|$$

با توجه به اینکه افزایش C تا حد خاصی موجب افزایش L می شود و برای مقادیر بالاتر از آن ، L از L_D کوچکتر خواهد شد پس انتخاب پارامتر C بایستی به صورت حساب شده صورت پذیرد . بهترین حالت زمانی است که $C = 1/\sqrt{2}$ انتخاب شود ، فلذا تکنیک پیش چرپ نیازمند بهینه سازی دقیق می باشد .

در شکل زیر ایجاد پالس گوسین چرپ دار با ترکیب دو مدولاسیون FM و AM توسط مدولاتور خارجی نشان داده شده است :

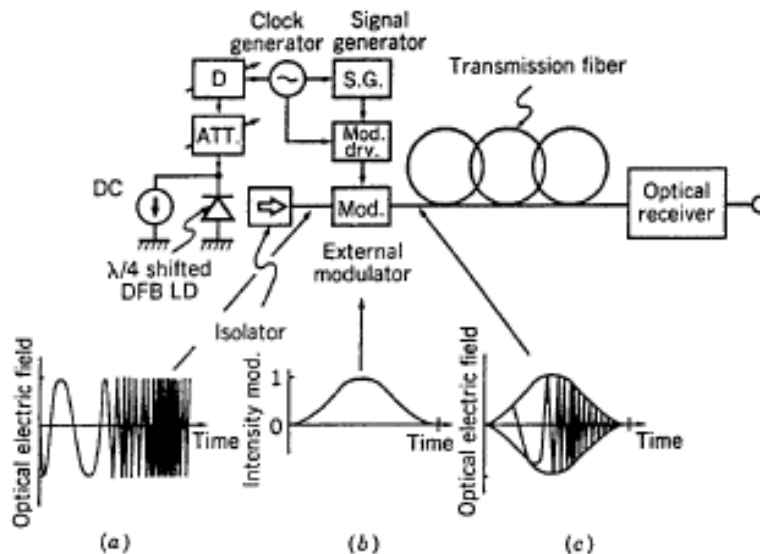


Figure 7.1: Schematic of the prechirp technique used for dispersion compensation: (a) FM output of the DFB laser; (b) pulse shape produced by external modulator; and (c) prechirped pulse used for signal transmission. (After Ref. [9]; ©1994 IEEE; reprinted with permission.)

: NOVEL CODING TECHNIQUES

در این روش بجای انجام دو مدولاسیون AM و FM برای جبران سازی از مدولاسیون سوئیچ زنی شیفت فرکانسی (FSK) استفاده می شود. با سوئیچ زنی طول موج لیزر بین بیت های صفر و یک ، با گام $\Delta \lambda$ سیگنال FSK ایجاد می شود. این سیگنال یک سیگنال سه سطحی است و در شکل دیده میشود که دارای سه سطح : ۱ و ۰ و -۱ می باشد. از روی این سیگنال ، در گیرنده با استفاده از یک انتگرال گیر و یک تصمیم گیرنده ، سیگنال ارسالی بازبازی می شود . در واقع به علت وجود پاشندگی در فیبر ، سیگنال FSK تبدیل به سیگنالی میشود که دامنه آن مدوله شده است.

با استفاده از روش دیگری بنام کدینگ doubinary می توان پهنای باند ارسال را نسبت به این روش تا ۵۰٪ کاهش داد و چون تضعیف GVD به پهنای باند وابسته است با استفاده از این روش فاصله انتقال را می توان تا

۳۰~۴۰KM افزایش داد . اگر روش doubinary با روش چرب ترکیب شود، فاصله انتقال به مراتب بهبود خواهد یافت .

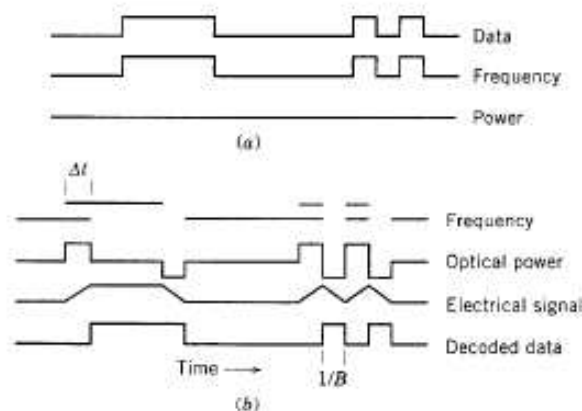


Figure 7.2: Dispersion compensation using FSK coding: (a) Optical frequency and power of the transmitted signal; (b) frequency and power of the received signal and the electrically decoded data. (After Ref. [13]; ©1994 IEEE; reprinted with permission.)

: NONLINEAR PRECHIRP TECHNIQUES

در این روش با استفاده از تقویت کننده های نوری نیمه هادی (SOA) که در ناحیه اشباع گین عمل می کنند عمل پیش چرپ سیگنال صورت می گیرد اشباع گین منجر به ایجاد تغییرات وابسته به زمان در فرکانس کریپر و در نتیجه چرپ شدن پالس می گردد. SOA باعث ایجاد چرپ مثبت می شوند و با توجه به اینکه B_2 در 1.55μ علامتش منفی است پس جبران سازی صورت خواهد گرفت. با توجه به وابستگی ضریب شکست به شدت نور روش دیگر برای ایجاد چرپ غیرخطی، گذراندن سیگنال از یک محیط غیرخطی با طول مناسب است، که دامنه سیگنال عبارت می شود از:

$$A(0,t) = \pm \sqrt{p(t)} \exp(i \gamma L_M p(t))$$

در این رابطه، پارامتر $P(t)$ توان پالس ورودی و L_M طول محیط غیرخطی و γ پارامتر غیرخطی محیط است.

از آنجاییکه پارامتر غیرخطی برای فیبرهای نوری تک مد بزرگتر از صفر می باشد، لذا خود فیبرهای نوری به عنوان یک محیط غیرخطی می توانند برای چرپ کردن پالس استفاده شوند.

: POSTCOMPENSATION TECHNIQUES

می توانیم پاشندگی سیگنال را در مقصد نیز جبران کنیم و به شرطی که عملکرد خط انتقال ، خطی باشد امکان جبران سازی با روشهای اکترونیکی فراهم می شود . حتی اطلاعات فاز و دامنه سیگنال تضعیف شده هم ، قابل بازیابی می باشد . با استفاده از یک گیرنده Heterodyne در مقصد ، سیگنال نوری را به سیگنال میکروویو در فرکانس میانی W_{if} تبدیل می کند تا امکان بازیابی اطلاعات فاز و دامنه فراهم شود . اگر $H(w)$ پاسخ ضربه یک فیلتر میان گذر باشد با توجه به رابطه زیر پاشندگی ناشی از فاز را می توان از بین برد:

$$H(w) = \exp[-i(w-w_{if})^2 \beta_2 L/2]$$

اگر بجای آشکارساز هیترو دین از آشکارساز مستقیم استفاده شود بدلیل اینکه اطلاعات فاز سیگنال در پروسه آشکارسازی تماماً از بین می روند ، جبران پاشندگی با هیچ تکنیک متعادل کننده خطی امکان نخواهد داشت.

روشهای جبران سازی در مسیر انتقال :

تکنیکهای مورد استفاده در قسمت فرستنده و یا گیرنده با توجه به مشکلات و محدودیتهای خاص خودشان نمی توتند فاصله انتقال را چندان افزایش دهند. لذا در سیستم هایی که لازم است سیگنال نوری به فاصله دورتری انتقال داده شود ، لازم است که به صورت پریودیک ، پروسه جبران سازی در مسیر انتقال پیاده سازی شود. در ادامه چندین روش جبران ساز پاشندگی را که در مسیر انتقال استفاده می شوند توضیح می دهیم . مساله مهم این است که روش مورد استفاده ، ماهیت نوری سیگنال را تغییر ندهد و اساس آن با ساختار فیبر نوری سازگاری داشته باشد .

: DISPERSION-COMPENSATING FIBERS

استفاده از این فیبرها یک تکنیک تمام نوری برای جبران پاشندگی در مسیر انتقال است و زمانیکه می توان سیگنال ورودی چندان زیاد نباشد که اثرات غیرخطی پدیدآورد مناسب است بدین صورت که با ایجاد پاشندگی فیبر تک مد را از بین ببرد. اگر طول DCF ، L_2 و پاشندگی آن D_2 باشد و طول SMF ، L_1 و پاشندگی آن D_1 باشد شرط لازم برای جبران سازی پاشندگی عبارت است از:

$$D_1L_1 + D_2L_2 = 0$$

پس :

$$L_2 = -(D_1/D_2)L_1$$

در عمل معمولاً سعی بر این است که طول DCF نسبت به SMF خیلی کم باشد و این مستلزم این است که D_2 بسیار بزرگ باشد. از طرفی این فیبرها دو مشکل عمده دارند : اول اینکه تلفات آنها از $0.5 \frac{dB}{km}$ تجاوز می کند ، پس بایستی در کنار آنها از تقویت کننده های نوری استفاده کرد. ثانیاً بدلیل ساختار خاص آن ، پارامتر غیرخطی γ بسیار بزرگ می شود و اگر توان سیگنال بالا باشد اثرات غیرخطی شدیداً عملکرد سیستم را تحت تاثیر قرار خواهند داد . با این وجود ، فیبرهای جبران ساز از مهمترین روشهای جبران پاشندگی اند و با $6 \sim 8 km$ از DCF می توان $60 \sim 80 km$ از SMF را جبران سازی کرد. نمودار پاشندگی مربوط به این نوع فیبر در شکل زیر در قسمت b نشان داده شده است . با توجه به منفی بودن پارامتر پاشندگی در رنج وسیعی از طول موج ، استفاده از این روش برای سیستمهایی که در پهنای باند وسیعی نیاز به جبران سازی دارند (WDM) ، نقش مهمی دارد.

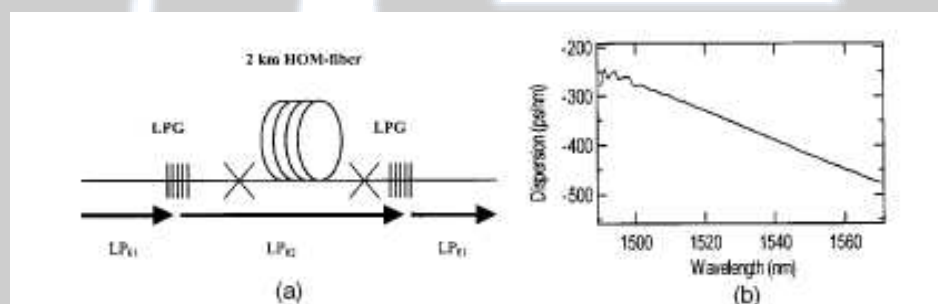


Figure 7.5: (a) Schematic of a DCF made using a higher-order mode (HOM) fiber and two long-period gratings (LPGs). (b) Dispersion spectrum of the DCF. (After Ref. [47]; ©2001 IEEE; reprinted with permission.)

: OPTICAL FILTERS

با توجه به طول زیاد DCF ها ، تلفات بالایی در مسیر انتقال ، انتظار می رود. برای همین چندین روش تماماً نوری دیگر در ادامه توضیح داده می شوند . این روشها با استفاده از فیلترهای متعادل کننده نوری صورت می گیرند. برای فهم عملکرد این فیلترها ، تابع تبدیل فیلترهای نوری مورد استفاده جهت جبران پاشندگی ، معادله زیر را مورد استفاده قرار می دهیم :

$$A(z, t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} A(0, \omega) \exp\left(\frac{i}{2}\beta_2 z \omega^2 - i\omega t\right) d\omega$$

GVD حاصل از طی مسیر بر روی طیف سیگنال با فاکتور فاز $\exp\left(\frac{i}{2}\beta_2 z \omega^2\right)$ نشان داده می شود و از این رو تابع تبدیل فیلتر باید رد جهت حذف این فاکتور فاز عمل نماید . فرض می کنیم یک فیلتر نوری با تابع تبدیل $H(\omega)$ بعد از فیبری به طول L قرار داده شده است . در این صورت دامنه سیگنال فیلتر شده به صورت زیر بیان می گردد :

$$A(L, t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} A(0, \omega) H(\omega) \exp\left(\frac{i}{2}\beta_2 L \omega^2 - i\omega t\right) d\omega$$

بسط تیلور فاز تابع $H(\omega)$ را تا جمله دوم می نویسیم ، در این صورت :

$$H(\omega) = |H(\omega)| \exp[i\varphi(\omega)] \approx |H(\omega)| \exp\left[i\left(\varphi_0 + \varphi_1 \omega + \frac{1}{2}\varphi_2 \omega^2\right)\right]$$

ثابت فاز φ_0 و تاخیر زمانی φ_1 شکل پالس را تحت تاثیر قرار نمی دهند و می توان از اثر آنها صرف نظر کرد . با انتخاب مقدار مناسب $\varphi_2 = -\beta_2 L$ ، می توان فاکتور فازی را که توسط فیبر ایجاد می شود حذف کرد . همانطور که در شکل زیر نیز دیده می شود تقویت کننده نوری و فیلتر را توأم در مسیر انتقال قرار می دهند تا امکان جبران سازی همزمان پاشندگی و تلفات فیبر فراهم شود . برای عملکرد یک فیلتر نوری به عنوان جبران ساز پاشندگی ، لازم است که فاز فیلتر به فرکانس وابسته باشد. این خصوصیت در تداخل سنج فبری پروت با رفت و برگشت فوتونها در بین دو آینه قابل دسترسی است . تابع تبدیل چنین فیلتری به صورت زیر است :

$$H_{FP}(\omega) = H_0 \frac{1 + r \exp(-i\omega T)}{1 + r \exp(i\omega T)}$$

H_0 : کل تلفات فیلتر

$|r|^2$: بازتابش نور توسط آینه مقابل آن

T : مدت زمان رفت و برگشت درون فضای خالی فیلتر فبری پروت

می بینیم که دامنه $H_{FP}(\omega)$ مستقل از فرکانس بوده و فاز آن توسط فیلتر تحت تاثیر قرار می گیرد. طیف فاز فیلتر FP ، تابعی پریودیک می باشد که پیک های آن در فرکانس های رزونانس اتفاق می افتد. در غیاب هر پیک ، فضای طیفی وجود دارد که تغییرات فاز آن تقریباً از درجه دوم می باشد. جمله دوم بسط تیلور به صورت زیر می باشد :

$$\varphi_2 = \frac{2T^2 r(1-r)}{(1+r)^3}$$

بطور مثال اگر $T=2\text{cm}$ و $r=0.8$ باشد ، $\varphi_2 = 2200\text{ps}^2$ خواهد شد و GVD در 110 km از SMF را جبران خواهد کرد .

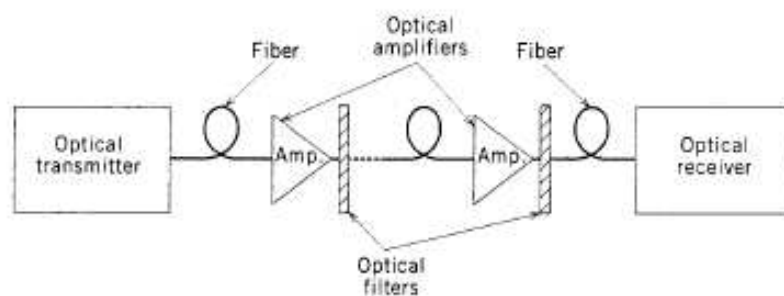


Figure 7.6: Dispersion management in a long-haul fiber link using optical filters after each amplifier. Filters compensate for GVD and also reduce amplifier noise.

در شکل بالا نقش فیلترهای نوری ، کاهش نویز است . ضمناً توجه داشته باشید که پهنای باند فیلتر نسبت به پهنای باند تقویت کننده ، می بایست کوچکتر باشد .

علاوه بر تداخل سنج FP ، تداخل سنجهای MZ (Mach-Zehnder) می توانند بعنوان یک فیلتر نوری عمل کنند . در روی شکل زیر نشان داده شده که با اتصال سری دو عدد کوپلرنوری 3dB ، امکان ساخت یک تداخل سنج MZ تمام نوری وجود دارد .

کوپلر اول سیگنال ورودی را به دو قسمت یکسان تقسیم می کند که در صورت متفاوت بودن طول بازوها ، شیفت فازی متفاوتی بر روی هر بخش ایجاد خواهد شد .

تابع تبدیل این فیلتر عبارتست از :

$$H_{MZ}(\omega) = \frac{1}{2} [1 + \exp(i\omega\tau)]$$

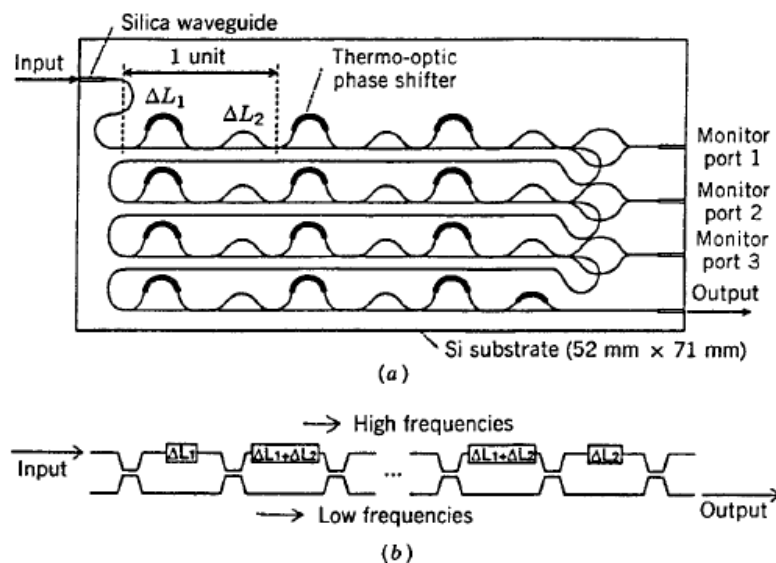


Figure 7.7: (a) A planar lightwave circuit made using of a chain of Mach-Zehnder interferometers; (b) unfolded view of the device. (After Ref. [56]; ©1996 IEEE; reprinted with permission.)

البته تداخل سنج MZ به تنهایی بعنوان فیلتر نوری عمل نمی کند، اما زنجیره ای بهم پیوسته از این تداخل سنجها ، می تواند باعث ایجاد یک فیلتر نوری با کیفیت بسیار شود که امکان ساخت آنها بصورت مدار مجتمع مسطح نوری نیز وجود دارد.

جهت کنترل تاخیر ایجاد شده بر روی مولفه های فرکانسی ، از یک شیفت فاز حساس به حرارت ، بر روی یکی از بازوهای تداخل سنج ، استفاده شده است . البته مقدار تاخیر ایجاد شده را با استفاده از اعمال ولتاژ به یکی از بازوهای فیلتر و در نتیجه ، ایجاد تغییر در مقدار ضریب شکست ، کنترل کرد . بنابراین حسن چنین روشی در این است که با تغییر طول بازوها و یا با کنترل دما یا ولتاژ اعمالی می توان خصوصیات جبران سازی این نوع فیلترها را تغییر داد . در توضیح روش عملکرد این وسیله در جبران سازی پاشندگی ، می توان چنین گفت که طراحی آن طوری صورت گرفته است که مولفه های فرکانسی بالاتر که دارای سرعت بالاتری هستند ، از بازویی که دارای طول بیشتری می باشد ، عبور کنند . لذا تاخیر زمانی بیشتری بر روی این مولفه های فرکانسی نسبت به مولفه های فرکانس پایین ایجاد می شود . با توجه به عکس بودن تاخیر ایجاد شده توسط این تداخل سنجها در مقایسه با تاخیر ایجاد شده در اثر پاشندگی فیبرهای نوری ، می توان اثر پاشندگی فیبر را با این روش جبران نمود . فیلتر Mach-Zehnder با طول 1cm می تواند پاشندگی ناشی از 50 km از فیبر SMF را جبران سازی کند .

: Fiber Bragg Gratings

گریتینگها در واقع محیطهای پریودیک یا شبه پریودیکی هستند که ضریب شکست در طول محیط آنها تغییر می کند و به اصطلاح ضریب شکست در آنها مدوله می شود .

یک FBG به عنوان فیلتر نوری عمل می کند که دارای باند ممنوعه بوده و فرکانسهای آن ناحیه را به عقب برمی گرداند . این باند ممنوعه در مرکز طول موج برگ λ_B با رابطه زیر قرار می گیرد :

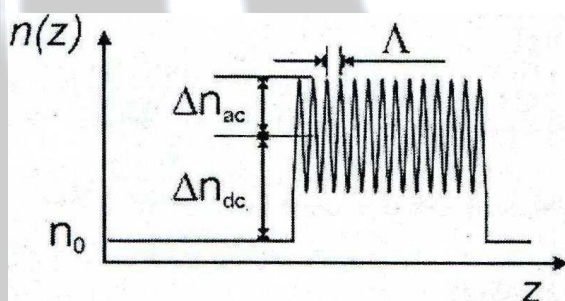
$$\lambda_B = 2n\Lambda$$

استفاده از این روش برای جبران سازی در سال ۱۹۸۰ پیشنهاد شد و تکنولوژی ساخت آن از دهه ۹۰ توسعه یافت .

: Uniform-period gratings

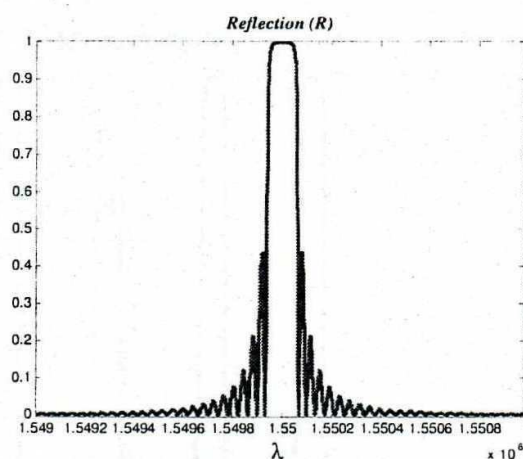
اولین ساختار گریتینگ که عملکرد آن را در جبران پاشندگی بررسی می کنیم ، گریتینگ با پریود یکنواخت می باشد . پروفایل ضریب شکست آن از رابطه زیر بدست می آید :

$$n = n_0 + \Delta n_{dc} + \Delta n_{ac} \cos\left(\frac{2\pi}{\Lambda} z + \varphi\right)$$

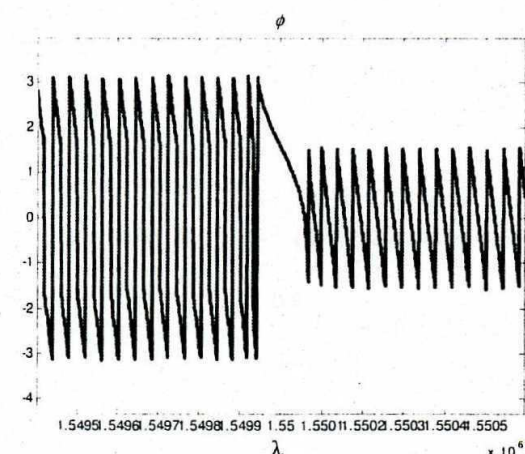


پروفایل ضریب شکست برای گریتینگ با پریود یکنواخت

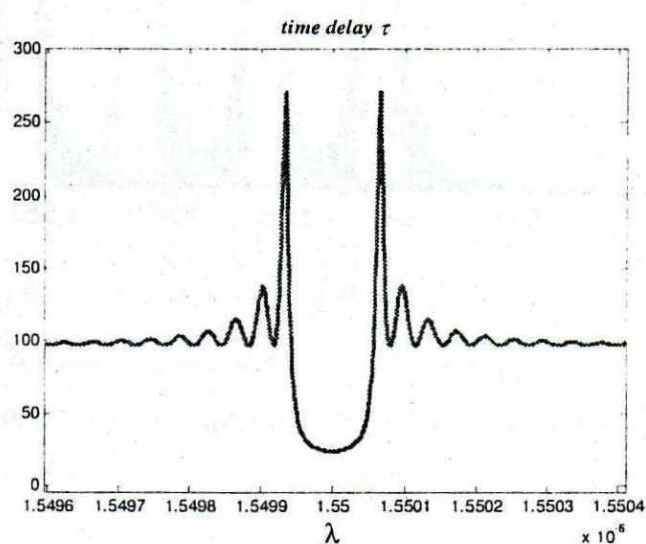
برای بدست آوردن مشخصه مربوط به تاخیر زمانی و پاشندگی یک گریتینگ لازم است که ابتدا با در دست داشتن تابع طیفی بازتابش ، فاز آن را محاسبه می کنیم . از آنجایی که مشتق فاز نسبت به فرکانس ، تاخیر زمانی را بدست می دهد ، پس بدین طریق می توان مشخصه تاخیر زمانی مربوط به مولفه های مختلف فرکانسی را بدست آورد و سپس با مشتق گیری از تاخیر زمانی گریتینگ نسبت به طول موج ، پارامتر پاشندگی گریتینگ مشخص خواهد شد ؛ جهت جبران سازی از مشخصه انعکاس استفاده می کنیم .



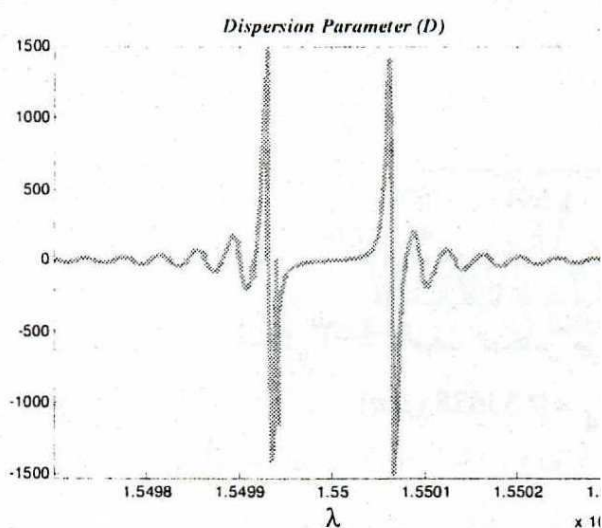
الف



ب



ج



د

با توجه به شکل (ج) می بینیم که جهت تقعر منحنی پس از انعکاس از طول موج برگ ، تغییر می کند و موجب تغییر علامت در مشخصه پاشندگی گریتینگ می شود. اما در شکل د می بینیم که پاشندگی فیبر در حوالی طول موج $1.55\mu m$ دارای مقداری مثبت است ، پس برای حذف اثر آن لازم است با ایجاد پاشندگی منفی ، فیبر را جبران سازی کنیم ، پس کل بازه انعکاس ، جهت جبران قابل استفاده نیست ، تنها سمت چپ آن که دارای پاشندگی منفی است برای منظور ما مناسب است .

$$\left(\frac{T_1}{T_2}\right)^2 = 1 + \frac{\beta_{2f}}{T_0^2} z + \frac{\beta_{2g}}{T_0^2} L_g$$

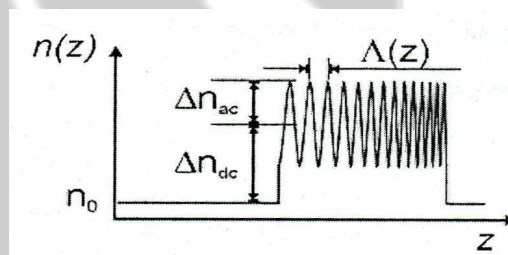
$$\beta_{2f} L_f = \beta_{2g} L_g$$

$$D_f L_f = D_g L_g$$

البته side lobe های موجود در مشخصه بازتابش گریتینگ در نزدیکی باند انعکاس ، باعث می شود که استفاده عملی از گریتینگ برای جبران سازی امکان پذیر نباشد ، لذا تا آنجا که ممکن است بایستی این نوسانات حذف شود. تکنیک های اپودایزیشن در حل این مشکل نقشی اساسی ایفا می کنند .

: Chirped Fiber Gratings

گریتینگ چرپ دار، گریتینگی است که در طی تغییرات طول ، پریود گریتینگ عوض می شود ، با توجه به اینکه $\lambda_B = 2\bar{n}_{eff}\Lambda$ ، لذا تغییرات پریود در طول گریتینگ باعث می شود که λ_B در هر نقطه از نقطه دیگر متفاوت باشد، بنابر این پریود نوری گریتینگ چرپ شده، Λ ، ثابت نمی باشد . البته می شود که پریود ساختار ثابت بماند.



پروفایل گریتینگ با پریود چرپ دار

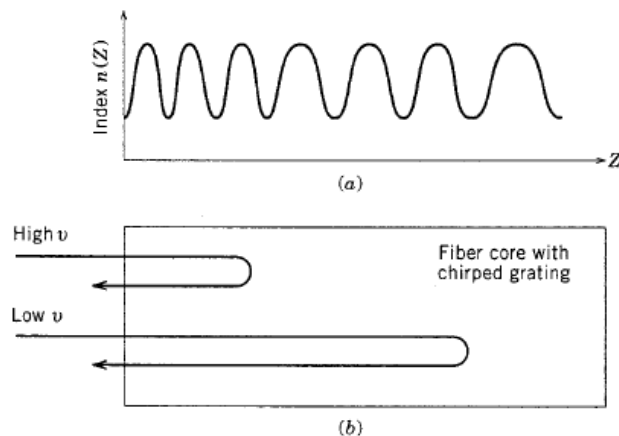
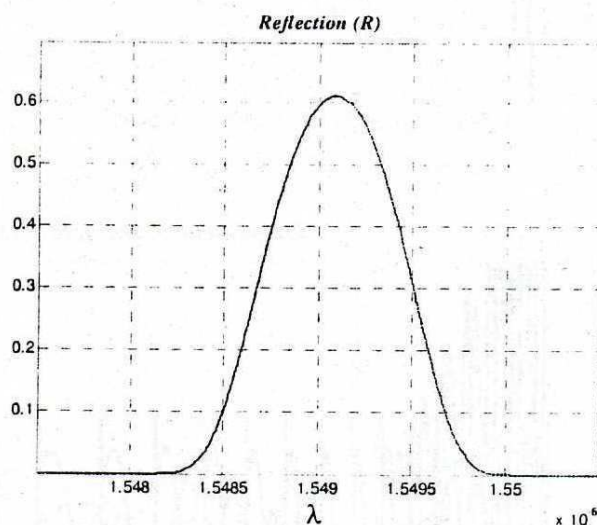
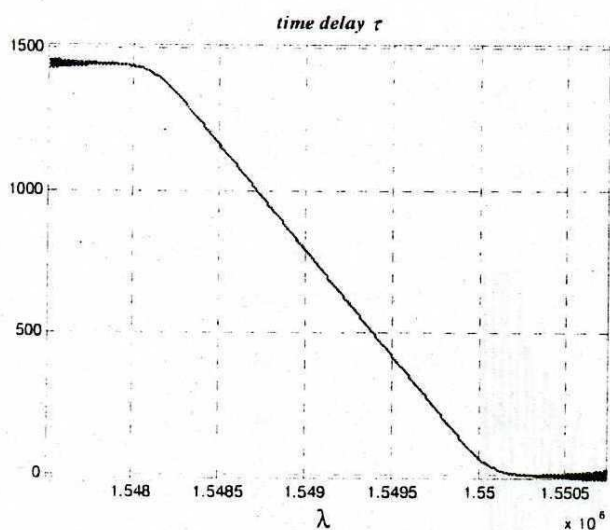


Figure 7.11: Dispersion compensation by a linearly chirped fiber grating: (a) index profile $n(z)$ along the grating length; (b) reflection of low and high frequencies at different locations within the grating because of variations in the Bragg wavelength.

و تغییر در پریود نوری گریٹینگ از طریق ایجاد تغییر در \bar{n}_{eff} صورت می گیرد و در این حالت گوییم گریٹینگ مورد نظر، اپودایز شده است. اپودایز کردن علاوه بر از بین بردن side lobe باعث کاهش پهنای باند و کاهش ماکزیمم مقدار انعکاس می شود، اما با حذف نوسانات موجود در منحنی های پاشندگی و تاخیر زمانی، منجر به خطی تر شدن این مشخصه ها و عملکرد بهتر گریٹینگ چرپ می شود.

در طراحی گریٹینگ چرپ شده جهت جبران پاشندگی SMF می بایستی:

- ۱- فاکتور متغیر چرپ را برای داشتن شیب بالا در مشخصه تاخیر زمانی و در نتیجه مقادیر زیاد پاشندگی، حداقل امکان کوچک می گیریم.
- ۲- طول گریٹینگ را برای داشتن تاخیر زمانی بالا و پهنای باند زیاد، بزرگتر می گیریم.
- ۳- برای داشتن حداکثر انعکاس، اختلاف ضریب شکست لایه ها را تا حد ممکن بزرگ می گیریم.



منحنی انعکاس و تاخیر زمانی برای گریٹینگ با پریود چرپ دار

Chirped Mode Couplers (کوپلرهای چرپ دار) :

این ابزار فیبری به دو شکل مورد استفاده واقع می شود ، که با اندکی تفاوت ، اساس کار یکسانی دارند. ایده کار بسیار ساده است . در شکل زیر هر دو ی این ابزارها نشان داده شده اند:

کوپلر شکل a همانند مبدل مد عمل می کند ، پریود گریٹینگ به صورت خطی در طول فیبر تغییر می کند؛ بوسیله گریٹینگ، سیگنال از مد اساسی به مد مرتبه بالاتر منتقل می شود. مولفه های مختلف فرکانسی ، به خاطر طبیعت چرپی گریٹینگ ، که دو مد را به هم کوپل می کند، قبل از منتقل شدن ، طول متفاوتی را طی می کنند. با افزایش طول کوپلر، پریود گریٹینگ نیز افزایش می یابد و کوپلر می تواند GVD را جبران کند.

اساس کار کوپلر شکل b نیز همانند کوپلر شکل a می باشد، با این مزیت که با موجبرهای نیمه هادی ساخته می شوند و به صورت فشرده (مدار مجتمع نوری) قابل ساخت می باشند.

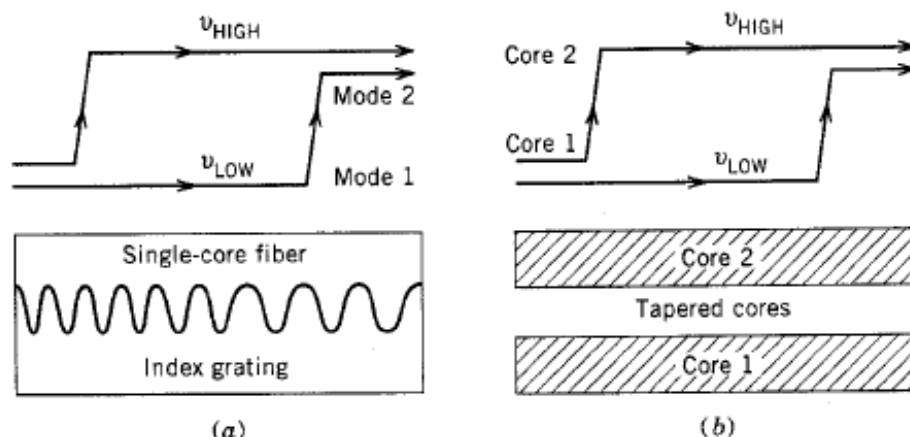


Figure 7.13: Schematic illustration of dispersion compensation by two fiber-based transmission filters: (a) chirped dual-mode coupler; (b) tapered dual-core fiber. (After Ref. [77]; ©1994 IEEE; reprinted with permission.)

: Optical Phase Conjugation

تکنیک OPC یک روش غیر خطی برای جبران سازی پاشندگی می باشد ، در این مورد از شکل مزدوج مختلط معادله شرودینگر استفاده می کنیم :

$$\frac{\partial A^*}{\partial z} - \frac{i\beta_2}{2} \frac{\partial^2 A^*}{\partial t^2} - \beta_3 \frac{\partial^3 A^*}{\partial t^3} = 0$$

با توجه به معادله موج انتشاری میبینیم که مزدوج گیری از میدان با دامنه $A(z,t)$ سبب انتشار نور با علامت منفی برای β_2 می گردد. در این صورت اگر فاز میدان نوری را در نیمه اول فیبر مزدوج مختلط نماییم ، می توان پاشندگی حاصل از نیمه دوم را کاملاً جبران سازی کرد . از آنجایی که علامت پارامتر β_3 در طی پروسه مزدوج گیری از فاز تغییر نمی کند ، لذا OPC قادر به جبران سازی پاشندگی مرتبه سوم نخواهد بود . در این روش ، میدان نوری می تواند در انتهای فیبر کاملاً بازیابی شود . با توجه به اینکه طیف میدان سیگنال خروجی ، تصویری آینه ای از طیف ورودی می باشد ، لذا روش OPC به تکنیک معکوس گر میانی طیف معروف است .

برای بکارگیری این روش در جهت جبران پاشندگی ، نیاز به ایجاد شکل مزدوج مختلط سیگنال ورودی در وسط فیبر می باشد . روش معمول برای تولید این سیگنال ، استفاده از پدیده FWM یا پدیده ترکیب چهارموجه در محیط غیرخطی است .

شکل زیر بیانگر چگونگی استفاده از OPC برای جبران سازی پارامتر GVD می باشد . فیلتر میان گذر ، سیگنال دارای فاز مزدوج مختلط را از سیگنال پمپ شده جدا می کند .

جهت استفاده از تکنیک OPC برای جبران سازی در فواصل طولانی ، بایستی متناوباً از تقویت کننده های نوری و نیز اعمال سیگنال با فاز مزدوج مختلط استفاده شود . در صورت استفاده از چنین روشی ، می توان پاشندگی مربوط به فیبرهای نوری با پاشندگی شیفته یافته با طولی بیش از ۱۵ هزار کیلومتر را جبران سازی کرد .

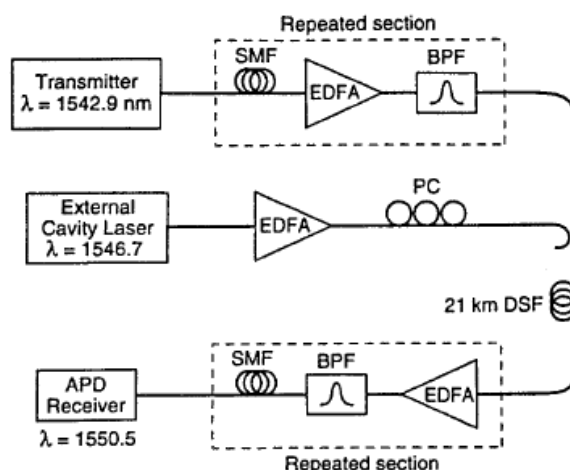


Figure 7.14: Experimental setup for dispersion compensation through midspan spectral inversion in a 21-km-long dispersion-shifted fiber. (After Ref. [83]; ©1993 IEEE; reprinted with permission.)

لیزر خارجی سیگنال نوری با فرکانس مرکزی ω_p تولید می کند که مقدار آن به اندازه بسیار کوچکی از فرکانس سیگنال ، ω_s ، شیفته پیدا کرده است . خاصیت غیر خطی فیبر ، باعث تولید سیگنالی با فرکانس ω_c که برابر است با : $\omega_c = 2\omega_p - \omega_s$ در حالت برقراری شرایط تطبیق فاز $K_c = 2K_p - K_s$ می شود که پارامتر K بیانگر عدد موج سیگنال مورد نظر می باشد .

: Long-haul Light wave Systems

در انتقال سیگنال به فواصل طولانی ، تکنیک جبران سازی به صورت پریودیک مورد نیاز می باشد . در صورتیکه بتوانیم سیگنال نوری را در فواصل ۱۰۰ الی ۲۰۰ کیلومتری به صورت مناسب بازیابی کنیم ، می توان پاشندگی مربوط به مسافت های طولانی را نیز جبران سازی کرد .، اما اگر ماهیت پالس نوری در طی حرکت در طول فیبر ، از حوزه نور به حوزه دیگری برده نشود ، در این صورت اثرات غیرخطی مانند SPM و XPM و FWM به شدت عملکرد سیستم را تحت تاثیر قرار خواهند داد . در صورتی می توان سیگنال پهن شده را در بخش گیرنده بطور کامل بازیابی کرد که اثرات غیرخطی روی آن ظاهر نشده باشد .

این اثرات غیر خطی در اثر اندرکنش پالسهای انتقالی در یک فیبر با همدیگر و با پالسهای انتقالی فیبرهای مجاور تشدید می گردد. اما در صورت، عدم بازیابی سیگنال در فواصل مشخص، برهمکنش های غیر خطی میان پالس های انتقالی از یک کانال و نیز بین پالسهای انتقالی از کانالهای مجاور، چنان کیفیت سیگنال را تحت تاثیر قرار می دهد که دیگر امکان بازیابی سیگنال وجود ندارد. یک راه حل برای رهایی از چنین مشکلی استفاده از تکنیک جبران سازی به صورت پریودیک می باشد. برای این منظور فیبرهای SMF را با طول مناسبی از فیبرهای دارای GVD نرمال چنان ترکیب می کنند که پاشندگی حاصل در هر پریود به صفر برسد.

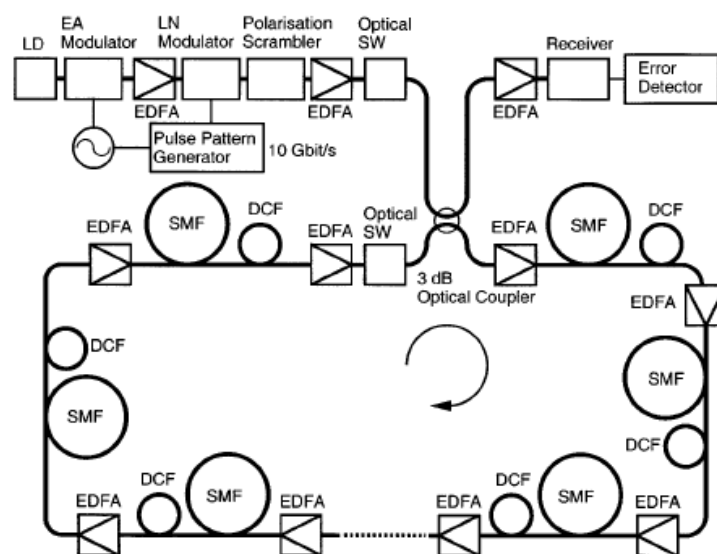


Figure 7.15: Recirculating fiber loop used to demonstrate transmission of a 10-Gb/s signal over 10,000 km of standard fiber using a DCF periodically. Components used include laser diode (LD), electroabsorption (EA) modulator, optical switch (SW), fiber amplifier (EDFA), single-mode fiber (SMF), and DCF. (After Ref. [135]; ©2000 IEEE; reprinted with permission.)

: Higher-Order Dispersion Management

در صورتی که نرخ ارسال بیت یک کانال اطلاعاتی از مقدار $40(Gb/s)$ فراتر رود، پاشندگیهای مراتب بالاتر از جمله β_3 ، کیفیت سیگنال را تحت تاثیر قرار خواهد داد. پس در این لازم است که پارامترهای β_2 و β_3 ، بطور همزمان جبران سازی شود. ساده ترین روش برای برآوردن این شرایط استفاده از فیبرهای جبران ساز با شیب منفی پاشندگی می باشد. لذا در سیستمی که شامل هر دو نوع فیبر با طولهای L_1 و L_2 می باشد. شرایط زیر برای جبران سازی پاشندگی بایستی برقرار شود:

$$\beta_{21}L_1 + \beta_{22}L_2 = 0$$

$$\beta_{31}L_1 + \beta_{32}L_2 = 0$$

پس این فیبرهای جبران ساز ، هم پاشندگیشان و هم شیب پاشندگیشان دارای مقداری عکس نسبت به فیبرهای استاندارد می باشد .

با توجه به خاصیت کنترل پذیر بودن تاخیر زمانی مربوط به یک تداخل سنج MZ ، می توان از آن برای جبران سازی پارامتر β_3 استفاده کرد .

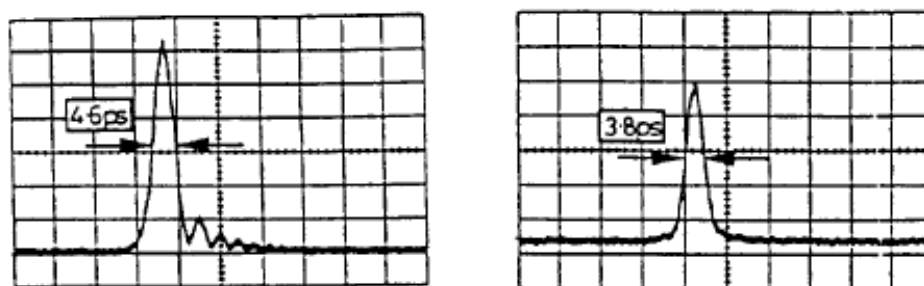


Figure 7.19: Pulse shapes after a 2.6-ps input pulse propagated over 300 km of dispersion-shifted fiber ($\beta_2 = 0$). Left and right traces compare the improvement realized by compensating the third-order dispersion. (After Ref. [169]; ©1996 IEE; reprinted with permission.)

PMD (پاشندگی پلاریزاسیون مد):

در ابتدای بحث ، در معرفی پاشندگی پلاریزاسیون مد ، مشکل ناشی از این پاشندگی مطرح شد . برای رفع این پاشندگی ، فیبرهایی طراحی شده است که حالت‌های پلاریزاسیون مدها را تغییر نمی دهند ، به آنها نگهدارنده حالت پلاریزاسیون گویند . در این فیبرها ، به صورت عمدی و با در نظر گرفتن پارامترهای طراحی مقادیر بالایی از ضریب انکسار مضاعف (Birefringence) ، برای فیبر معرفی می شود تا نوسانات کوچک ضریب انکسار مضاعف ذاتی فیبر ، پلاریزاسیون مدها را تحت تاثیر قرار ندهد . در این فیبرها ، هسته به صورت بیضوی ساخته می شود . در این فیبرها لازم است که قبل از اعمال پالس نوری ، محورهای سریع و کند ، شناسایی گردند چون تنها در صورتی پلاریزاسیون نور اعمالی حفظ خواهد شد که بر راستای یکی از این دو محور منطبق گردد . اگر نسبت به این محورها زاویه دار اعمال شود ، پلاریزاسیون به صورت پریودیک در طول فیبر تغییر خواهد کرد . برای برآوردن این هدف در قسمت روکش فیبر ، پخ خوردگی چنان ایجاد می کنند که سطح مسطح شده ، با محور کند فیبر ، موازی گردد .

روش دیگر جبران این نوع پاشندگی ، روش الکتریکی می باشد. در این روش ، در فواصل خاصی از سیگنال نمونه برداری شده و سپس روی سیگنال نمونه برداری شده تاخیر τ ایجاد می گردد. این نمونه ها با وزن C_i

با همدیگر جمع می گردند و سیگنال $y(t)$ را تولید می کنند. از آنجائیکه سیگنال مقصد را می دانیم ، با مقایسه $y(t)$ با سیگنال مقصد ، جبران سازی صورت می گیرد.

$$y(t) = \sum_{m=0}^{N-1} c_m x(t - m\tau)$$

دو روش مذکور ، در شکل های زیر توضیح داده شده اند .

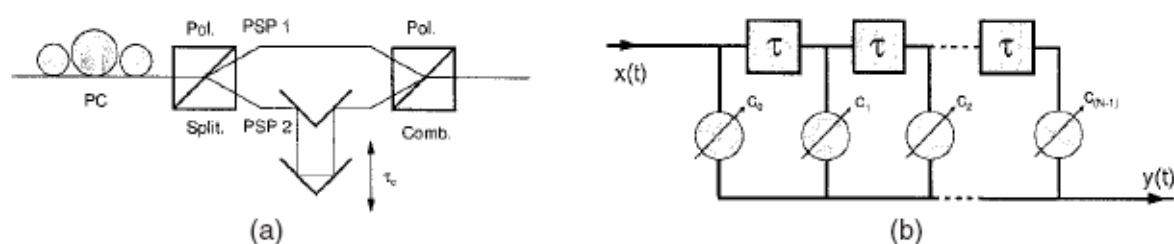


Figure 7.20: Schematic illustration of (a) optical and (b) electrical PMD compensators. (After Ref. [210]; ©2000 Elsevier; reprinted with permission.)

نتیجه گیری :

ملاحظه گردید که پدیده پاشندگی بعنوان یک عامل مهم در ایجاد محدودیت ، برای داشتن سیستمهایی با ظرفیت و سرعت ارسال بالا می باشد ، بطوریکه در اثر این پدیده ، پالس های نوری دچار چنان پهن شدگی می گردند که دیگر امکان بازیابی بیت های صفر و یک ارسالی از یکدیگر ، درگیرنده وجود نخواهد داشت و نیز با بررسی مبسوط دلایل اقتصادی گفتیم که جبران پاشندگی امری ضروری می باشد و برای این منظور روشهای مختلفی توصیف شد و معایب هرکدام بیان شد گفتیم که روش های پیش جبران ساز در مسافتهای کوتاه استفاده می شود ، جبران سازی درگیرنده تنها بشرط عملکرد خطی سیستم امکانپذیر است ، فیبرهای جبران ساز نیز به دلیل تلفات بالا و اثرات غیرخطی در توانهای بالا روش جامعی محسوب نمی شوند اما فیبرهای برگ گریتینگ با توجه به ویژگیهای خاصشان ، ابزار جبران سازی بسیار مناسبی می باشند چرا که :

۱- اساس ساختار آنها ، همان خود فیبر می باشد و از اینرو روشی تمام نوری محسوب می شوند

۲- امکان ساخت نسبتاً آسان ،

۳- ارزان بودن

۴- حساس نبودن به پلاریزاسیون میدانهای نوری

۵- و امکان جبران سازی همزمان پاشندگیهای مرتبه دوم و سوم

گریتینگ ها را به عنوان یک گزینه مناسب در امر جبران سازی معرفی می کند.

مزایای دیگر آنها عبارتند از :

کاربرد در سیستمهای باند وسیع و سیستمهای انتقال داده در مسافتهای طولانی و انعطاف پذیری برای طراحی ساختارهای مختلف مورد نیاز.

مراجع :

- ۱- پایان نامه کارشناسی ارشد- دانشگاه تبریز - علیرضا رحیمی راشد - طراحی و شبیه سازی جبران سازه های پاشندگی فیبر نوری با استفاده از فیبرهای برگ گریتنینگ - ۱۳۸۵
- ۲- *Fiber-Optic Communications Systems, Third Edition. Govind P. Agrawal, 2002 John Wiley & Sons, Inc.*
- ۳- A. Gnauck and R. Jopson, in *Optical Fiber Telecommunications III, Vol. A, I. P. Kaminow and T. L. Koch, Eds., Academic Press, San Diego, CA, 1997, Chap. 7.*
- ۴- T. L. Koch and R. C. Alferness, *J. Lightwave Technol.* **3**, 800 (1985).
- ۵- N. Henmi, T. Saito, and T. Ishida, *J. Lightwave Technol.* **12**, 1706 (1994).