دانشکده علوم

پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد در رشته‌ی فیزیک- اپتیک ولیزر

عیب‌یابی تارهای نوری مخابراتی با استفاده از روش بازتاب‌سنج‌نوری در حوزه زمانی و محاسبه اتلاف آنها(OTDR)

به وسیله‌ی

اصغر سبزعلی‌زاده

استاد راهنما

پروفسور عبدالناصر ذاکری

بهمن ۱۳۹۰

بسم الله الرحمن الرحيم

به نام خدا

اظهارنامه

اینجانب اصغرسبزعلی‌زاده دانشجوی رشته فیزیک گرایش اپتیک و لیزر دانشکده علوم اظهار می‌کنم که این پایان‌نامه حاصل پژوهش خودم بوده و در مواردی که از منابع دیگران استفاده کرده ام نشانی دقیق و مشخصات آن را نوشته ام. همچنین اظهار می‌کنم که تحقیق و موضوع پایان‌نامه‌ام تکراری نیست و تعهد می‌نمایم که بدون مجوز دانشگاه دست‌آوردهای آن را منتشر ننموده یا در اختیار غیر قرار ندهم. کلیه حقوق این اثر مطابق با آئین‌نامه مالکیت فکری و معنوی متعلق به دانشگاه شیراز است.

نام و نام خانوادگی: اصغر سبزعلی‌زاده

تاریخ و امضاء: ۱۳۹۱/۳/۲۲

به نام خدا

عیب‌یابی تارهای نوری مخابراتی با استفاده از روش بازتاب‌سنج‌نوری در حوزه زمانی و محاسبه اتلاف آنها(OTDR)

به کوشش

اصغر سبزعلی‌زاده

پایان نامه

ارائه شده به تحصیلات تکمیلی دانشگاه به عنوان بخشی

از فعالیت های تحصیلی لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته ی:

فیزیک (اپتیک و لیزر)

از دانشگاه شیراز

شیراز

جمهوری اسلامی ایران

ارزیابی شده توسط کمیته پایان نامه با درجه: **عالی**

دکتر عبدالناصر ذاکری، استاد بخش فیزیک (رئیس کمیته).....

دکتر حمید نادگران، دانشیار بخش فیزیک .....

دکتر محمود حسینی فرزاد، استادیار بخش فیزیک .....

بهمن ۱۳۹۰

تقدیم به

پدر و مادر گوارم

و

خواهر مهربانم

سپاسگزاری

نخست، سپاس خدای را که اول است و پیش از او اولی نبوده و آخر است و پس از او آخری نباشد. در آغاز لازم می‌دانم از زحمات پدر و مادر گرامی‌ام آموزگارانی که برایم زندگی بودن و انسان بودن را معنا کردند و در دوران تحصیل همواره مشوق و پشتیبان من بوده‌اند کمال تشکر را بنمایم.

از استاد ارجمند جناب آقای دکتر عبدالناصر ذاکری که کلام و قلمشان همواره راهگشای اینجانب بوده، کمال تشکر و سپاسگزاری را دارم.

همچنین لازم می‌دانم از راهنمایی اساتید مشاور جناب آقای دکتر حمید نادگران و جناب آقای دکتر محمود حسینی‌فرزاد در تدوین و تکمیل نوشته حاضر و همچنین از راهنمایی جناب آقای دکتر حسن پاکارزاده سپاسگزاری نمایم.

چکیده

عیب‌یابی تارهای نوری مخابراتی و محاسبه اتلاف آنها با استفاده از روش بازتاب‌سنج-نوری در حوزه‌زمانی(OTDR)

به کوشش

اصغر سبزعلی‌زاده

پیشرفت و توسعه تارنوری باعث ایجاد انقلابی در صنعت ارتباطات راه دور شده است. با توجه به اینکه امروزه از تارهای نوری مخابراتی بطور وسیع استفاده می‌شود بررسی تارنوری به لحاظ عوامل میرائی و اتلاف انرژی بسیار حائز اهمیت است تا در صدد شناسایی و کاهش این عوامل برآییم تا محیطی که نور از آن عبور می‌کند دارای حداقل اتلاف انرژی باشد. یکی از این روش‌ها بازتاب‌سنج‌نوری‌در حوزه‌زمانی یا به اختصار OTDR می‌باشد. این یک روش مناسب برای عیب‌یابی تارهای نوری می‌باشد زیرا برخلاف روش‌های دیگر با داشتن فقط یکسر تارنوری می‌توان محل دقیق عیب را تعیین کرد و همچنین با استفاده از این روش می‌توان طول تارنوری، افت ابتدا تا انتهای تارنوری، میزان نور بازتابی و افت ناشی از عناصر مختلف را تشخیص دهد. OTDRهای پیشرفته می‌توانند محل و میزان افت ناشی از جوش‌ها و اتصالات را نیز تعیین کنند. در این پایان‌نامه با استفاده از این روش بصورت تجربی برای عیب‌یابی تارنوری چندمدی با ضریب‌شکست پله‌ای بکاربرده شد و با برپایی یک چیدمان OTDR، نور برگشتی از تارنوری ناشی از پراکندگی رایلی و بازتاب فرنل ثبت و از طریق آن محل دقیق عیب و نقص تعیین می‌شود و همچنین سرعت فاز بدست آمده از طریق این روش برابر با $v_p = 1.96\times10^8\ \mathrm{m/s}$ است. در نهایت نتایج تجربی بدست آمده با نتایج حاصل از تئوری مقایسه می‌شود.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه

۱-۱- سابقه تحقیق ۲

۱-۲- تاریخچه OTDR ۳

۱-۳- بهبود ویژگی ها، کارایی و عملکرد OTDR ۵

فصل دوم: مبانی تارنوری

۲-۱- مقدمه ۹

۲-۲- بازتاب داخلی کلی ۹

۲-۳- انواع تارنوری ۱۰

۲-۳-۱-تارنوری چندمدی ۱۱

۲-۳-۱-۱-تارنوری چندمدی با ضریب‌شکست پله‌ای ۱۱

۲-۳-۱-۲-تارنوری چندی با ضریب‌شکست ضریب تدریجی ۱۲

۲-۳-۲-تارنوری تک‌مدی ۱۲

۲-۴- روزنه عددی ۱۳

۲-۵- مدها و میدان‌های الکترومغناطیسی در تارهای نوری ۱۵

۲-۵-۱-میدان و مدهای عرضی در تارنوری با ضریب‌شکست پله‌ای ۱۷

۲-۶- عوامل اتلافی در تارهای نوری ۱۸

۲-۶-۱-جذب ۱۹

۲-۶-۲-پراکندگی رایلی ۲۰

۲-۶-۲-۱-محاسبه تابع موج، دامنه و سطح مقطع دیفرانسیلی موج پراکنده ۲۱

۲-۶-۲-۲-مدل بوکر و گوردن ۲۸

۲-۶-۲-۳-مدل گاوسی ۳۰

۲-۶-۳-پاشندگی ۳۱

۲-۶-۳-۱-پاشندگی مدی ۳۱

عنوان **صفحه**

۲-۶-۳-۲-پاشندگی رنگی ۳۳
۲-۶-۴-تلفات خمش ۳۶
۲-۶-۵-بازتاب فرنل ۳۶
۲-۷-نوفه فوتودیود ۳۷
۲-۷-۱-نوفه گرمایی ۳۷
۲-۷-۲-نوفه سفید ۳۸
۲-۸- جواب‌دهی و ضریب کوانتومی ۳۸

فصل سوم: بررسی نحوه‌ی کارOTDR

۳-۱- اصول کلی OTDR ۴۱
۳-۲- تشریح نظریه‌ی تجربی OTDR ۴۲
۳-۳- محاسبه دامنه مدهای موج پراکنده شده ۴۶
۳-۴- محاسبه شدت نور برگشتی با استفاده از تابع همبستگی ۵۰
۳-۵- محاسبه شدت نور برگشتی ۵۳
۳-۶- مشخصات OTDR ۵۸
۳-۶-۱-محدوده دینامیکی ۵۸
۳-۶-۲-ناحیه مرده ۵۹
۳-۶-۳-طول‌موج ۵۹
۳-۶-۴-پهنای پالس ۶۰

فصل چهارم: نتایج عددی و تجربی

۴-۱- چیدمان آزمایش عیب‌یابی تار با روش OTDR ۶۲
۴-۲- شرح آزمایش ۶۷
۴-۳- داده‌های تجربی ۷۱
۴-۴- نتایج عددی ۷۴
۴-۵- بحث و نتیجه‌گیری ۷۷

فهرست منابع و مأخذ ۸۱

پیوست ۸۴

فهرست شکل ها

عنوان **صفحه**

شکل (۱-۱) چیدمان آزمایشگاهی OTDR در تارهای چند مدی..... ۴
شکل (۱-۲) :اولین OTDR تجاری در ۱۹۸۱ توسط شرکتTektronix..... ۵
شکل(۱-۱) :روند رشد بازه پویایی OTDR در سال‌های بعد از اختراع و بکارگیری آن ۶
شکل(۱-۲):روند رو به رشد استفاده از تارهای نوری..... ۷
شکل (۲-۱): هدایت نور در موجبر تیغه‌ای با ضریب شکست هسته ۱۰
شکل(۲-۲): انواع تارهای نوری ۱۱
شکل(۲-۳): ساختمان تارنوری چند مدی ۱۱
شکل(۲-۴): تارنوری ضریب پله¬ای همراه با پالس ورودی و خروجی
و نمایه ضریب¬شکست و نمای سطح جانبی..... ۱۲
شکل(۲-۵): تار ضریب تدریجی همراه با پالس ورودی و خروجی و نمایه
ضریب شکست و نماس سطح جانبی..... ۱۲
شکل(۲-۶): ساختمان تارنوری تک مدی ۱۳
شکل(۲-۷): بیشترین زاویه‌ی که نور فرودی می‌تواند داشته باشد. ۱۴
شکل(۲-۸): شکست نور در داخل هسته ۱۴
شکل(۲-۹): بازتاب داخلی کلی در داخل هسته..... ۱۴
شکل(۲-۱۰): پراکندگی موج فرودی در اثر ذره یا ناخالصی به حجم V ۲۱
شکل(۲-۱۱): شکل هندسی از نقطه $\vec{r}'$ در داخل ذره و نقطه مشاهده $\vec{r}$ ۲۴
شکل(۲-۱۲): حجم پراکندگی δv توسط موج فرودی در راستای $\hat{i}$
و موج پراکنده در راستای $\hat{o}$ ۲۵
شکل(۲-۱۳): راستاهای انتشار موج فرودی و پراکنده‌شده..... ۲۶
شکل(۲-۱۴): راستای محور z در $\vec{k}_s$ ۲۸
شکل (۲-۱۵): :منحنی تضیعف ذاتی یک تار سیلیکایی با نمایش ناحیه تلفات پایین
و نمودار قرمز نشان¬دهنده حالت تجربی می‌باشد..... ۳۱

عنوان **صفحه**

شکل(۲-۱۶): پاشندگی چند مدی ۳۲
شکل(۲-۱۷): تارهای ضریب تدریجی برای کاهش پاشندگی چند مدی ۳۲
شکل(۲-۱۸): پاشندگی ماده ۳۴
شکل(۲-۱۹): تغییر پهنای مد با طول‌موج. با افزایش طول‌موج، مقدار بیشتری از مد
در غلاف نفوذ می‌کند. ۳۵
شکل(۲-۲۰): تلفات خمش‌های بزرگ در تارنوری ۳۶
شکل(۲-۲۱): عدم هم‌راستایی زاویه‌ای، جانبی وطولی ۳۷
شکل(۳-۱): نورهای برگشتی از نقاط ناخالصی‌ها ۴۱
شکل(۳-۲): نور برگشتی در اثر پراکندگی رایلی ۴۲
شکل(۳-۳): ناحیه مرده ۴۵
شکل(۳-۴): پراکندگی رایلی که موج پراکنده در همه راستاها پراکنده می‌شود ۴۶
شکل(۳-۵): نمایش یک منبع موضعی در موجبر ۴۷
شکل(۳-۶) : دو منبع مجزا همراه با میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی ۴۸
شکل(۳-۷): نمودار سیستماتیک از پراکندگی در تارهای نوری ۵۰
شکل(۳-۸): ناحیه مرده ۵۹
شکل(۴-۱): چیدمان آزمایش عیب‌یابی تارهای نوری به روش OTDR ۶۲
شکل(۴-۲) : دیودلیزری ۶۳
شکل(۴-۳): دستگاه کنترل‌کننده دیودلیزری ۶۳
شکل(۴-۴): موازی ساز پرتو لیزر ۶۴
شکل(۴-۵): جداکننده نور لیزر ۶۴
شکل(۴-۶): فوتودیود Si PIN با ولتاژ تقویت‌کننده ۶۵
شکل(۴-۷): جفت‌کننده باریکه لیزر به داخل تارنوری ۶۵
شکل(۴-۸): فوتود دیودSi PIN ۶۶
شکل(۴-۹): مشاهده اطلاعات بر روی صفحه اسیلوسکوپ ۶۷
شکل(۴-۱۰): تابش بیشترین نور در ابتدای تارنوری ۶۸
شکل(۴-۱۱): کوپلاژ نور به داخل تارنوری ۶۸
شکل(۴-۱۲): مشاهده نور برگشتی بر روی صحفه اسیلوسکوپ ۶۹
شکل (۴-۱۳): پراکندگی رایلی و بازتاب فرنل ناشی از انتهای
تار روی صفحه اسیلوسکوپ(کانال ۱) را نشان می دهد. طول تار ۵۰ متر است. ۶۹

عنوان **صفحه**

شکل (۴-۱۴): پراکندگی رایلی و بازتاب فرنل ناشی از انتهای
تار روی صفحه اسیلوسکوپ(کانال ۱) را نشان می دهد. طول تار ۸۶ متر است. ۷۰
شکل (۴-۱۵): پراکندگی رایلی و بازتاب فرنل ناشی از انتهای
تار روی صفحه اسیلوسکوپ(کانال ۱) را نشان می دهد. طول تار ۱۰۰ متر است. ۷۰
شکل(۴-۱۶): داده تجربی برای طول تارنوری ۵۰ متر ۷۱
شکل(۴-۱۷): داده تجربی برای طول تارنوری ۸۶ متر ۷۲
شکل(۴-۱۸): داده تجربی برای طول تارنوری ۱۰۰ متر ۷۲
شکل(۴-۱۹): نتایج تجربی برای طول ۵۰ متر ۷۳
شکل(۴-۲۰): نتایج تجربی برای طول ۸۶ متر ۷۳
شکل(۴-۲۱): نتایج تجربی برای طول ۱۰۰ متر ۷۴
شکل(۴-۲۲): داده عددی برای طول تارنوری ۵۰ متر ۷۵
شکل(۴-۲۳): داده عددی برای طول تارنوری ۸۶ متر ۷۶
شکل(۴-۲۴): داده عددی برای طول تارنوری ۱۰۰ متر ۷۶
شکل (۴-۲۵): :بازتاب فرنل ناشی از اتصال‌دهنده‌ها و انتهای تار ۷۷
شکل(۴-۲۶): نور برگشتی از تار در اثر پراکندگی رایلی و بازتاب فرنل
برای تارهایی نوری با طول‌های مختلف. ۷۸
شکل (۴-۲۷): طول تار بر حسب زمان اندازه گیری شده برای قله ثانویه ۷۹
شکل(۴-۲۸): داده عددی برای طول تارنوری ۱۰۰۰ متر ۷۹

فصل اول

مقدمه

۱-۱- سابقه تحقیق

پیشرفت و توسعه تارنوری باعث ایجاد انقلابی در صنعت ارتباطات راه دور شده است. تارنوری به دلیل دارا بودن ویژگی‌هایی مانند: انتقال اطلاعات با سرعت و حجم بالا و کشف تارهای تک‌مدی، چندمدی و ویژگی‌های منحصربه فرد آن نقش بسیار مهمی در صنعت مخابرات ایفا کرده است.

پهنای باند موثر تارهای نوری تک‌مدی به طول ۱۰۰۰۰کیلومتر حدود ۲۵ THZ است. با سرعت پیشرفت کنونی در زمینه تارنوری به زودی از تمام این ظرفیت استفاده خواهد شد.[۱]. همزمان با افزایش سرعت انتقال، به وسایلی برای آزمایش محیط عبور نور نیاز است. در این پایان‌نامه روی یکی از این وسایل آزمایش، یعنی بازتاب‌سنج‌حوزه‌ی‌زمان‌نور[1] تاکید می‌کنیم.

امروزه برای تشخیص صحت انتقال، تایید، نگهداری و بازیابی سامانه‌های تارنوری، وسایل تجاری خاصی ساخته شده است. مثلاً مجموعه‌ی افت‌سنج شامل ترکیب منابع نوری پایدار و توان‌سنج برای آزمایش میزان افت ابتدا تا انتهای تارنوری بکار می‌رود. دستگاه سنجش میزان افت برگشتی نور[2](ORL) دستگاه دیگری است که برای اندازه‌گیری مقدار نور برگشتی به فرستنده استفاده می‌شود. تشخیص دهنده‌ی مرئی عیب، نور یک لیزر یا LED مرئی را به درون تار نوری می‌فرستد و با تشعشع نور به خارج از تارنوری محل عیب یا خمیدگی تیز، تشخیص داده می‌شود. هر یک از این وسایل مزایا و ویژگی‌های خاص خود را دارند و هریک تنها برای آزمایش مجموعه‌ی محدودی از خواص تارنوری بکار می‌رود.

امروزه با افزایش تقاضا برای سامانه‌های سریع، علاوه بر آزمایش‌های معمول به آزمایش و تائید نرخ بالای سرعت در تارنوری نیاز است. با وجود این که تارهای نوری تک‌مدی پهنای‌باند زیادی دارند، نصب ادواتی نظیر اتصال‌ها، جوش‌ها و... می‌تواند این پهنای‌باند را بطور قابل ملاحظه‌ای کاهش دهد. یکی دیگر از این وسایل، دستگاه سنجش نرخ خطای بیت[3](BERT) است. این دستگاه یک رمز تصادفی کاذب به درون تار فرستاده و در سمت گیرنده، نسبت تعداد

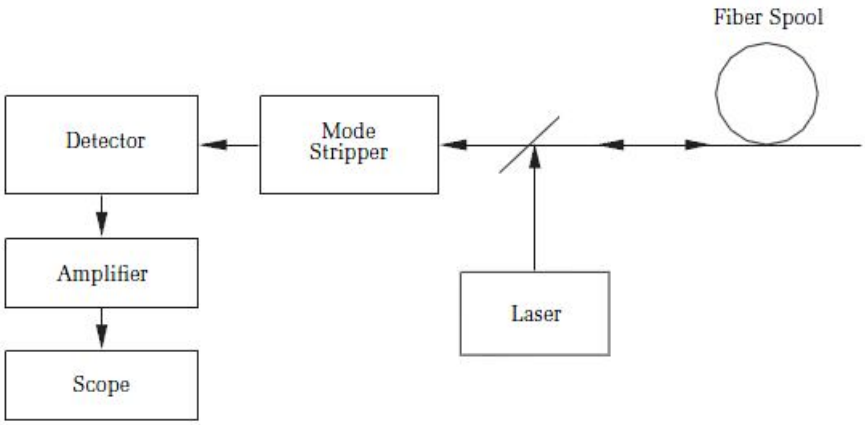
[1] Optical Time Domain Reflectometer: OTDR
[2] Optical Return Loss:ORL
[3] Bite-Error-Rate-Tester:BERT

بیت‌های دریافتی غیر صحیح به کل بیت‌ها را مشخص می‌کند. در این روش میزان نوفه و بنابراین محدوده‌دینامیکی سامانه مشخص خواهد شد.
منابع نور، توان‌سنج‌ها، دستگاه‌هایORL، مجموعه BERT و روش cutback میزان افت شدت در داخل تارنوری را مشخص می‌کنند، اما نمی‌توانند محل عیب را تشخیص دهند. OTDR وسیله‌ای است که برای آزمایش قابلیت انتقال نور در تارها یا کابل‌های مخابراتی بکار می‌رود و بعلاوه می‌تواند محل عیب را نیز مشخص کند. امروزه OTDR به یک وسیله پر استفاده و چند کاره برای آزمایش تارنوری در زمان نصب، نگهداری و بازیابی مبدل شده است. OTDR می‌تواند طول تارنوری، افت ابتدا تا انتهای تارنوری، میزان نور بازتابی و افت ناشی از عناصر مختلف را تشخیص دهد. OTDRهای پیشرفته می‌توانند محل و میزان افت ناشی از جوش‌ها و اتصالات را نیز تعیین کنند. در میان همه‌ی وسایل تجربی موجود، OTDR حقیقتاً در ترکیب سه ویژگی محدوده‌دینامیکی بزرگ، سرعت دریافت بالا و قدرت تفکیک زیاد، منحصر به فرد است.

۱-۲- تاریخچه OTDR

اصل زیربنایی OTDR آشکارسازی و تحلیل نور پراکنده شده از ناخالصی‌ها و نواقص ریز در تارنوری است. پراکندگی رایلی[1] در تار سال‌هاست که شناخته شده است. اولین گزارش از دریافت نور برگشتی از تارهای‌نوری با استفاده از روش حوزه زمانی مربوط به سال ۱۹۷۶ است. این روش که یک روش مطمئن برای عیب‌یابی تارهای نوری می‌باشد، بطور مجزا توسط دو گروه در اواسط دهه ۱۹۷۰ مورد بررسی قرار گرفت:
پرسونیک[2] در آزمایشگاه تلفن بل
بارنوسکی[3] و ینسن[4] در آزمایشگاه هیوز[5]

[1] Rayleigh Scattering
[2] Personick
[3] Barnoski
[4] Jensen
[5] Hughes



شکل (۱-۱): چیدمان آزمایشگاهی OTDR در تارهای چند مدی

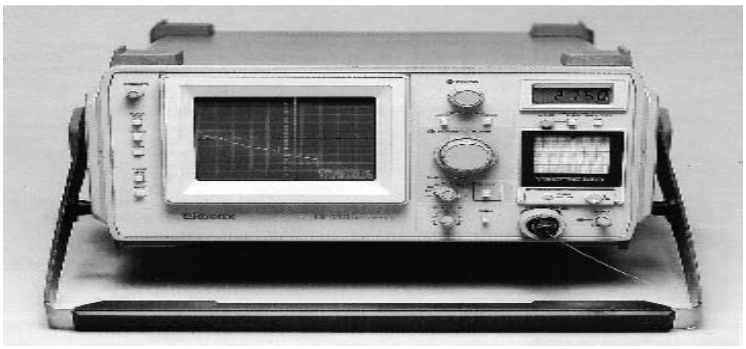
این روش، مشابه شیوه‌های کنونی است که در OTDRهای پیشرفته بکار می‌رود. در این روش مطابق شکل (۱-۱) یک باریکه نور به داخل تارنوری فرستاده شده، قسمتی از این نور که در طول تارنوری به عقب بر می‌گردد، از طریق یک جداکننده نور به درون یک آشکارساز هدایت می‌شود. این آشکارساز، نور را به جریان الکتریکی تبدیل می‌کند. این جریان، در مرحله بعد، تقویت شده و روی اسیلوسکوپ نمایش داده می‌شود. طول تارنوری بوسیله اختلاف زمانی تپ نوری فرستاده شده و دریافتی مشخص می‌شود.

در اوایل سال ۱۹۷۶، استوارت پرسونیک، در آزمایشگاه بل، ساخت وسیله‌ای را که از روی زمان رفت و برگشت تپ نوری، طول تارنوری و تضعیف در طول آن را اندازه گیری کند، تعقیب نمود.

پرسونیک از روی آزمایش‌های عملی مشاهده نمود، که شدت سیگنال برگشتی با افزایش زمان در حال کاهش است. پرسونیک فهمید که این سیگنال اساساً در اثر پراکندگی رایلی، شکل نمایی به خود گرفته است. از آنجایی که تقویت کننده‌ی لگاریتمی این شکل را به صورت خطی در خواهد آورد، پرسونیک از این تقویت کننده‌ی لگاریتمی استفاده کرد و توانست از روی آن، پراکندگی تارنوری را مستقیماً بر پایه‌ی تغییرات سیگنال‌های پس پراکندگی بدست آورد.

۱-۳- بهبود ویژگی ها، کارایی و عملکرد OTDR

نتایج کار پرسونیک، در یک مقاله در مجله تخصصی بل، تحت عنوان " کاوشگر فوتون توسط بارتاب سنج حوزه زمان " منتشرشد.[۲]. این مقاله سر آغاز تولید OTDRهای پیشرفته بود.
علاوه بر کارهای پژوهشی متعدد، چندین گروه در آمریکا و اروپا شروع به طراحی وسایل تجاری آزمایش طول تارنوری و افت مربوطه کردند. در آن روزها همه سامانه‌های تارنوری چندمدی و منبع فرستنده، یک LED با طول موج ۸۵۰ یا ۱۳۱۰ نانومتر بود. به علت دردسترس بودن فوتودیودهای سیلیکونی و اسیلوسکوپ‌های سریع پیوسته، OTDRهای اولیه ساخته شدند. اولین تولید کننده تجاری OTDR، بطور سریع ابزاری برای تست کردن تارها به بازار جهانی ارائه داد. این وسیله در شکل (۱-۲) نشان داده شده است.



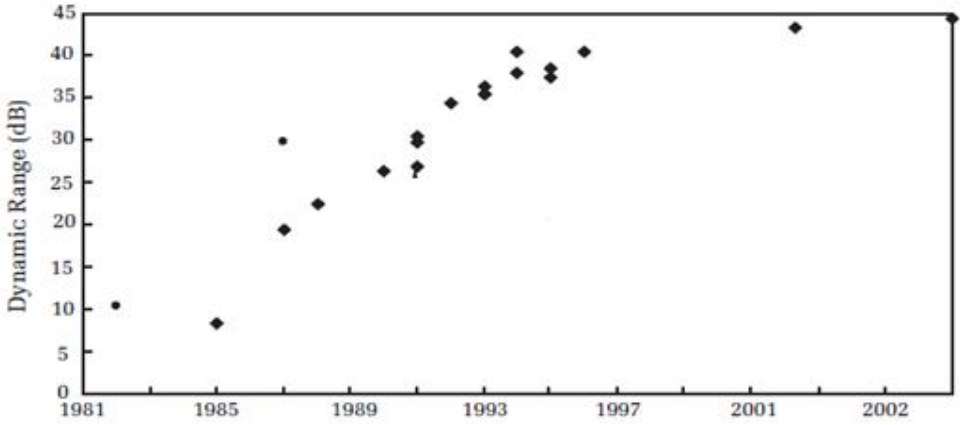
شکل (۲-۲): اولین OTDR تجاری در ۱۹۸۱ توسط شرکتTektronix

می‌توان گفت که تکامل OTDR به چهار مرحله تقسیم می شود: مرحله اول شامل اختراع OTDR و بهبود اولیه آن است. مرحله دوم، مرحله تجاری کردن OTDRهای آزمایشگاهی و اصلاح تدریجی آن است. در مرحله سوم، این وسیله از حالت اسیلوسکوپ اصلاح شده به یک وسیله‌ی که به طور خاص برای آزمایش تارنوری بکار می‌رود، تبدیل شد و مرحله چهارم شامل کوچک کردن و قابل حمل کردن آن بود.
در نیمه ی اول دهه ۸۰، استفاده از تارهای نوری تک‌مدی به تدریج در مخابرات راه دور گسترش یافت.[۳]. به این ترتیب تارهای چندمدی استفاده محدودتری پیدا کردند و کاربرد عمده آنها به شبکه‌های محلی[1] محدود شد. بنابراین برای آزمایش تارهای‌نوری تک‌مدی، نیاز به OTDR مناسب، ضروری به نظر می‌رسید. با توجه به افت کمتر نور درتارهای تک‌مدی، این OTDRها، بایستی محدوده‌دینامیکی بیشتری می‌داشتند. در OTDRهای چندمدی از آشکارسازهای فوتودیود بهمنی نوع سیلیکونی استفاده می‌کنند. در حالی که در OTDRهای

[1] Local Area Network

تک‌مدی، بهترین آشکارساز، فوتودیود ژرمانیوم یا InGaAs است که درمحدوده ۱۳۱۰ تا ۱۵۵۰ نانومتر پاسخگو می‌باشند.

نتیجه‌ای این تغییرات، افزایش بازه پویایی OTDR است که روند رشد آن در شکل(۱-۳) آورده شده است.



شکل (۲-۳): روند رشد بازه پویایی OTDR در سال‌های بعد از اختراع و بکارگیری آن

بعد از کشف تارهای‌نوری تک‌مدی و لیزرهای پرتوان به تدریج استفاده از OTDRهای چندمدی کاهش یافت و جای خود را به OTDRهای تک‌مدی داد. دلیل آن به خاطر استفاده از تارهای نوری تک‌مدی در فواصل طولانی بود.

در نیمه دوم دهه ۱۹۹۰ پیشرفت OTDR وارد مرحله تکاملی شد که این مرحله را مرحله سیستم‌های هوشمند[1] می‌نامند. در طول دهه ۱۹۹۰ از OTDR برای سنجش تارها در هنگام نصب، نگهداری و بازیابی استفاده کردند. به همین خاطر، دستگاه OTDR بطور چشمگیر مورد استفاده همه تکنیسین‌ها، برای سنجش تارهای‌نوری قرار گرفت. آنها می‌توانند با بدست آمدن شکل موج ناشی از نورهای برگشتی می‌توانند موقعیت نقاط عیب و نقص و نوع اتلاف (ناشی از جوش ها و اتصالات و...)، همچنین میزان اتلاف در این نقاط و طول تار را تعیین نمایند.[۴].

با توجه به افزایش روزافزون استفاده از تارهای نوری در مخابرات نوری در دنیا که در شکل (۱-۴) نشان داده شده است، روش OTDR نسبت به روش‌ها و ابزارهایی دیگری که برای بررسی میزان اتلاف بکار می‌رود، مزایائی دارد که عبارتند از: الف) فقط به یک سر تارنوری نیاز داریم ب) همچنین موقعیت عیب را تعیین می‌کند. پس OTDR یک روش مناسب برای عیب‌یابی تارهای نوری می‌باشد.

[1] Expert systems

شکل (۲-۴): روند رو به رشد استفاده از تارهای نوری

بطوری که امروزه از OTDR برای نظارت و دیده بانی[1] لوله‌های گاز و نفت[۵-۷]، خوردگی و زنگ‌زدگی لوله‌ها، سلامتی سازه‌ها، سدها، پل‌ها ، تونل‌ها و همچنین برای پیدا کردن ترک‌ها و آتش‌سوزی‌ها استفاده می‌شود.[۸-۹].

[1] Monitoring

فصل دوم