

Development of Gas Turbine Casing Displacement Measurement System Using Fiber Optic Sensors

Abstract

During the operation of gas turbine, thermal expansion and deformation due to internal loading by gas pressure cause gas turbine casing components to be located in new positions. By measuring gas turbine casing displacement and deformation in operation conditions, effects of thermal expansion on tip clearance and stress on connecting parts between inner and outer casings can be investigated. In this paper a measurement method for casing displacement measurement in axial direction during gas turbine operation using fiber optic sensors is developed. This method has accuracies of 0.25 mm in axial displacement measurements, respectively. Important aspects of this measurement system including the determination of optimum locations for sensor installation, sensor distribution to achieve maximum measurement accuracy, proper type of fiber optic sensing element, methods of signal modulation, demodulation, and processing, are presented.

Keywords: Fiber Optic Sensing Element, Casing Displacement Measurement, Gas Turbine.

توسعه سامانه اندازه گیری جابه جایی پوسته توربین گاز با استفاده از حسگرهای فیبر نوری

المیرا پارسا، کارشناس - گروه اندازه گیری و تست، شرکت توربوکمپرسور تک خاورمیانه، e.parsa@turbotec-co.com، ۰۲۱-۵۶۲۳۶۹۶۱
مجتبی پارسا، کارشناس - گروه اندازه گیری و تست، شرکت توربوکمپرسور تک خاورمیانه، m.parsa@turbotec-co.com
آرمان محسنی، مدیر پروژه - دانشکده مهندسی مکانیک و انرژی، دانشگاه شهید بهشتی، ar_mohseni@sbu.ac.ir
امیر خوشدل، مدیر گروه - گروه اندازه گیری و تست، شرکت توربوکمپرسور تک خاورمیانه، a.khoshdel@turbotec-co.com
بهنام رضایی، معاون طراحی-مهندسی - شرکت توربوکمپرسور تک خاورمیانه، b.rezaei@turbotec-co.com
هیوا خالدی، مدیرعامل - شرکت توربوکمپرسور تک خاورمیانه، h.khaledi@turbotec-co.com

چکیده

در هنگام کار توربین گاز، به دلیل انبساط حرارتی و تغییر شکل بدنه در اثر بارگذاری داخلی شامل فشار سیال، اجزای پوسته در موقعیت‌های جدید قرار می‌گیرند. با اندازه‌گیری جابه‌جایی و تغییر شکل پوسته در حین عملکرد موتور می‌توان نیروهای تکیه‌گاهی، تاثیر انبساط حرارتی پوسته در نشتی نوک پره و بار وارد بر اتصال‌های بین پوسته داخلی و خارجی موتور را مورد بررسی قرار داد. در این مقاله به توسعه یک سامانه اندازه‌گیری جابه‌جایی در دو راستای محوری موتور در حال کار با استفاده از فیبرهای نوری پرداخته می‌شود. با استفاده از این روش می‌توان جابه‌جایی در جهت محور موتور را با دقت $FS \pm 0.25\%$ اندازه‌گیری کرد. مباحث توسعه سیستم اندازه‌گیری با استفاده از فیبر نوری شامل تعیین موقعیت‌های بهینه نصب سیستم اندازه‌گیری، تعیین چیدمان حسگرهای فیبر نوری برای حصول به دقت بیشینه در اندازه‌گیری، تعیین نوع حسگر فیبر نوری مناسب برای اندازه‌گیری، تعیین روش تشخیص سیگنال و پردازش داده و تعیین روش‌های مناسب مدولاسیون می‌باشد که در این مقاله به آن پرداخته می‌شود.

واژه‌های کلیدی: حسگر فیبر نوری، اندازه‌گیری جابه‌جایی بدنه، توربین گاز.

مقدمه

اندازه‌گیری جابه‌جایی بدنه خارجی توربین گاز به هنگام کار می‌تواند اطلاعات ارزشمندی در اختیار طراحان قرار دهد از جمله تغییرات لقی بین پوسته کمپرسور و توربین و پره‌های آن که می‌تواند باعث افت بازده و توان آنها گردد. با اندازه‌گیری تجربی جابه‌جایی پوسته و ترکیب نتایج آن با مدلسازی‌های عددی، می‌توان تغییرات لقی در حین عملکرد موتور به علت انبساط حرارتی را تعیین نمود. از جمله اطلاعات مفید دیگری که از این اندازه‌گیری حاصل می‌شود، می‌توان به تعیین نیروهای تکیه‌گاهی موتور اشاره کرد. برای تحلیل آیرودینامیکی مسیرهای خنک‌کاری در شرایط کاری موتور، ابعاد کانال مسیرهای هوای ثانویه در هندسه گرم توربین حائز اهمیت است. کوچک شدن اندازه مسیرهای هوای خنک‌کاری در اثر جابه‌جایی بدنه و اجزای داخلی، می‌تواند موجب کاهش دبی هوای خنک‌کاری شود. برای بررسی مسیرهای هوای خنک‌کاری، ضروریست میزان جابه‌جایی دیواره این مسیرها در هنگام کار موتور تعیین شود. نیازمندی‌های فوق، اهمیت اندازه‌گیری جابه‌جایی پوسته خارجی توربین گاز را نشان می‌دهد.

روش متداول اندازه‌گیری جابه‌جایی پوسته، عکس‌برداری‌های متعدد از پوسته موتور در حین عملکرد آن می‌باشد که با نام روش فوتوگرامتری شناخته می‌شود. در این روش تصویرهای متعددی از موتور در زوایای مختلف گرفته می‌شود و با مقایسه این تصاویر با یکدیگر، جابه‌جایی سه بعدی پوسته محاسبه می‌شود. از آنجایی که این روش از لحاظ هزینه و زمان به صرفه نیست، سامانه اندازه‌گیری با استفاده از چیدمان حسگرهای فیبر نوری می‌تواند به صورت جایگزین این روش به کار رود (SIEMENS ENERGY, Dec. 3, 2015).

با اختراع لیزر در سال ۱۳۳۹ ه.ش، گرایش شدیدی به استفاده از سیستم‌های نوری برای ارسال اطلاعات، اندازه‌گیری و سایر کاربردها ایجاد گشت. سیستم‌های لیزری می‌توانند حجم بیشتری از اطلاعات را به نسبت ماکروویو و سایر سیستم‌های الکتریکی انتقال دهند (Thomas G. Giallorenzi, April 1982). در سال ۱۳۴۸ ه.ش. دانشمندان به این نتیجه دست‌یافتند که ناخالصی‌های موجود در فیبر نوری سبب از دست رفتن سیگنال در آن می‌گردد و با از بین بردن این ناخالصی‌ها، ساختن فیبرهای نوری با افت کمتر امکان‌پذیر می‌شود. به این ترتیب فیبر نوری چندحالتی با افتی کمتر از ۲۰ dB/km در سال ۱۳۴۹ ه.ش. ساخته شد. همچنین در سال ۱۳۵۱ ه.ش. فیبر نوری با هسته سیلیکا با افتی برابر با ۴ dB/km به بازار عرضه شد. در سال ۱۳۵۷ ه.ش. کن او هیل (Hill, 1978) تاثیر حساسیت ژرمانیوم اضافه شده بر فیبر نوری را کشف کرد (Fidanboyly & Efendioglu, 2009). قرار دادن فیبر نوری در اشعه ماوراء بنفش تاثیر قابل توجهی در خواص انعکاسی حسگر فیبر نوری ایجاد کرد. در گام بعدی با استفاده از این خواص و نگاشتن شبکه براگ^۱ بر فیبر نوری پیک طول موج‌های کوتاه را نیز منعکس کرد. طول موج این پیک‌ها هنگامی که تحت تغییرات دما قرار می‌گیرند و یا دچار کرنش می‌شوند تغییر می‌کند. اولین نمونه تجاری حسگرهای فیبر نوری شبکه براگ از سال ۱۳۷۴ ه.ش. وارد بازار شد (Hill, 1978). حسگرهای فیبر نوری یکی از بهترین انتخاب‌ها برای بررسی تغییرات محیطی می‌باشند و دارای مزایای بسیاری در مقایسه با حسگرهای مرسوم الکتریکی هستند. برخی از این مزایا عبارتند از: تداخل کمتر به علت سازه کوچک‌تر و هندسه استوانه‌ای، نارسنایی جریان الکتریکی، ایمنی در برابر تداخلات الکترومغناطیسی و امواج رادیویی، وزن اندک، قابلیت اطمینان و مقاومت زیاد در برابر محیط‌های نامساعد، حساسیت بالا، توانایی مالتی‌پلکس کردن برای ایجاد شبکه حسگرها، توانایی اندازه‌گیری چندمتغیری مانند کرنش، فشار، دما و غیره می‌باشند. حسگرهای فیبر نوری به صورت گسترده‌ای در اندازه‌گیری کمیت‌های فیزیکی استفاده می‌شوند (Lae-Hyong Kang, 2007).

¹ Bragg Gratings

انتخاب نوع فیبر سنسور مناسب برای اندازه‌گیری جابه‌جایی پوسته

قسمت اصلی هر نوع اندازه‌گیری به کمک فیبر نوری، خود فیبر است. قسمت میانی فیبر از سیلیکا تشکیل شده و هسته نامیده می‌شود. اطراف هسته یک لایه بازتابش^۲ وجود دارد که آن هم از سیلیکا تشکیل شده است. البته ضریب شکست لایه بازتابش کمتر از هسته است و شرایط بازتاب داخلی کلی را در طول فیبر فراهم می‌کند. در اطراف لایه بازتابش لایه‌ای وجود دارد که استحکام مکانیکی فیبر را فراهم می‌کند. فیبرهای شیشه به وسیله‌ی اکریلات، پلی آمید یا ORMOCER^۳ به منظور محافظت در برابر آب و هیدروژن پوشش داده می‌شوند.

در سیستم‌های اندازه‌گیری مبتنی بر فیبر نوری، نور در طول فیبر نوری عبور داده می‌شود و خواصی نظیر قطبیت، طول موج، فاز و شدت نور در پاسخ به شرایط محیطی تغییر می‌کند و این تغییرات مبنای اندازه‌گیری قرار می‌گیرد. سیگنال نوری که خواص آن تغییر یافته توسط یک آشکارگر دریافت می‌شود. اندازه‌گیری با ارزیابی تغییرات یک یا چند مورد از خواص سیگنال نوری صورت می‌گیرد. برخی از روش‌های اندازه‌گیری نوری در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱: انواع روش‌های اندازه‌گیری نوری

روش اندازه‌گیری	کمیت(های) قابل اندازه‌گیری
Fabry-Perot	دما، فشار
Fiber Bragg Grating (FBG)	دما، کرنش، فشار، شتاب، جابه‌جایی
Rayleigh	دما، کرنش
Brillouin	دما، کرنش
Raman	دما

با توجه به این موضوع که در این مقاله کمیت مورد اندازه‌گیری، جابه‌جایی پوسته‌ی موتور می‌باشد و رایج‌ترین حسگر فیبر نوری برای اندازه‌گیری جابه‌جایی و کرنش، حسگرهای فیبر نوری براگ یا FBG^۴ می‌باشند، در ادامه به صورت مختصر به آنها پرداخته می‌شود.

حسگرهای فیبر نوری FBG

حسگرهای فیبر نوری FBG، از جمله حسگرهایی هستند که به صورت متداول و گسترده در اندازه‌گیری‌ها به کار می‌رود. این حسگرها در برابر میدان‌های الکترومغناطیسی مقاوم هستند و اندازه آن‌ها به گونه‌ای است که اغلب موجب تغییر قابل توجه در ساختار سیستم نمی‌گردند. آرایه حسگرهای FBG می‌تواند با ایجاد شبکه‌های براگ به صورت پیاپی در طول یک فیبر نوری و آدرس‌دهی آنها با استفاده از فن‌آوری مالتی‌پلکس کردن ایجاد گردد. استفاده از حسگرهای FBG برای اندازه‌گیری کرنش و جابه‌جایی پوسته بسیار مناسب است، زیرا اندازه‌گیری آنها در نقاط مختلف پوسته تنها با استفاده از یک حسگر فیبر نوری قابل انجام است (G. Meltz, 1989).

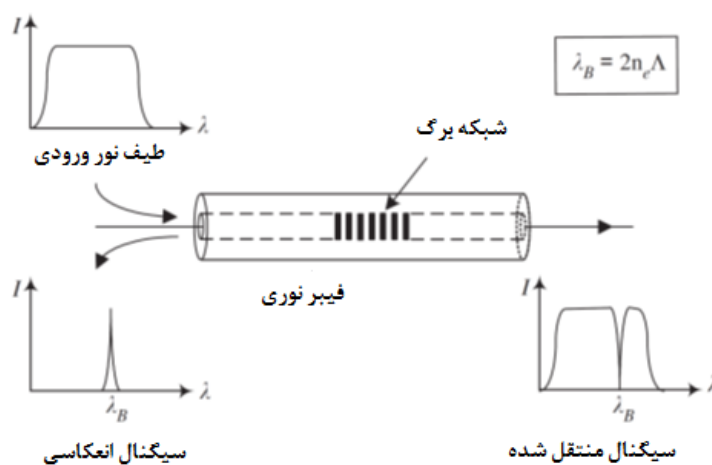
² Cladding

³ Organic Modulated Ceramic

⁴ Fiber Bragg Grating

FBGها نوعی فیلتر وابسته به طول موجی هستند، که به وسیلهی ایجاد تغییرات متناوب در ضریب شکست هسته‌ی فیبر نوری تشکیل می‌شوند. در قسمت کوتاهی از طول فیبر نوری ایجاد شده و می‌تواند طول موج‌های خاصی از نور را بازتابد و مابقی طول موج‌ها را از خود عبور دهد. زمانی که یک طیف نوری که از داخل فیبر عبور می‌کند به شبکه برخورد می‌کند، بخشی از آن بازتابش می‌یابد. سیگنال بازتابیده بر طول موج براگ منطبق است. هر تغییری که در فاصله‌ی تناوب‌ها در شبکه که توسط کرنش و یا تغییرات شکل ایجاد می‌شود می‌تواند موجب تغییر طول موج براگ شود. مشخصات موج براگ با استفاده از رابطه زیر تعیین می‌گردد:

$$\lambda_B = 2n_e \Lambda \quad (1)$$



شکل ۱: چگونگی انتقال سیگنال در عبور از شبکه براگ

در این رابطه λ_B طول موج براگ حسگر FBG، n_e شاخص بازتاب موثر هسته فیبر و Λ طول موج شبکه^۵ می‌باشد. این طول موج، که به عنوان شرایط براگ^۶ شناخته می‌شود، از قسمت‌هایی از فیبر که شبکه براگ در آن‌ها ایجاد شده منعکس می‌شود و از سایر قسمت‌ها عبور می‌کند و این خاصیتی است که در اندازه‌گیری استفاده می‌شود (Lae-Hyong Kang, 2007). تغییرات طول موج در FBG در اثر تغییرات دما و کرنش توسط معادله‌های (۲) و (۳) تعیین می‌گردد:

$$\Delta \lambda_B = \lambda_B (1 - p_e) \varepsilon + (\alpha_f + \varepsilon_f) \Delta T \quad (2)$$

$$p_e = \left(\frac{n_e^2}{2} \right) [p_{12} - \nu(p_{11} + p_{12})] \quad (3)$$

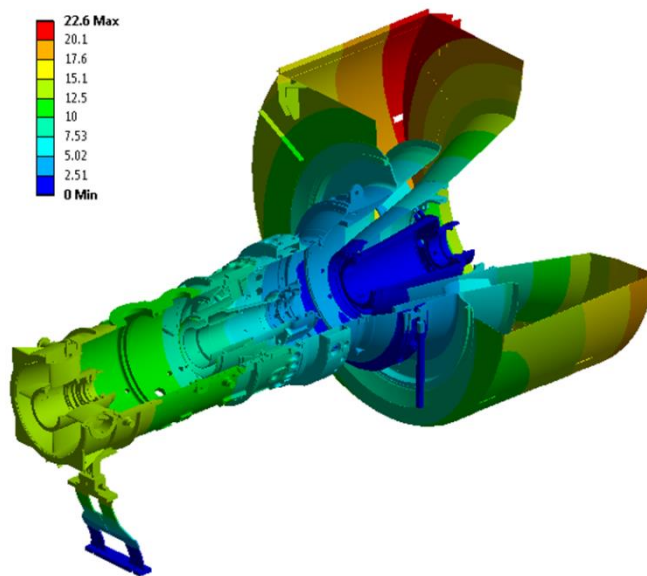
در این روابط $\Delta \lambda_B$ تغییر طول موج و λ_B طول موج اولیه، p_e ضریب کرنش نوری، ε کرنش جسم، α_f ضریب انبساط دمایی، ε_f ضریب دمای نوری و ΔT تغییرات دمایی، ν ضریب پواسون و p_{11} و p_{12} مولفه‌های تانسور کرنش نوری می‌باشند (Lae-Hyong Kang, 2007).

⁵ Grating

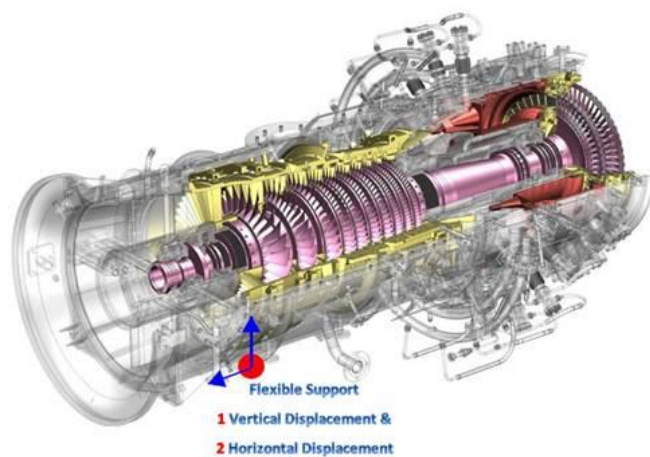
⁶ Bragg Condition

تعیین مکان بهینه نصب چیدمان سنسورهای فیبر نوری

مشابه با سایر انواع اندازه‌گیری بهترین مکان برای نصب حسگر فیبر نوری جابه‌جایی، نقاطی است که در آن بیشترین مقدار جابه‌جایی رخ می‌دهد و بحرانی‌ترین نقاط محسوب می‌شوند. تکیه‌گاه ثابت در موتور IGT25 مورد بررسی، زیر توربین توان می‌باشد. توزیع جابه‌جایی بدنه نسبت به نقطه ثابت در این موتور در شکل ۲ نشان داده شده است. همان‌طور که انتظار می‌رود، حداکثر مقدار جابه‌جایی در بیشترین فاصله از تکیه‌گاه ثابت، یعنی ورودی کمپرسور در سمت چپ تصویر و خروجی حلزونی در سمت راست تصویر، رخ می‌دهد. با توجه به محدودیت‌های نصب، مکان مناسب نصب حسگر در شکل ۳ نشان داده شده است.



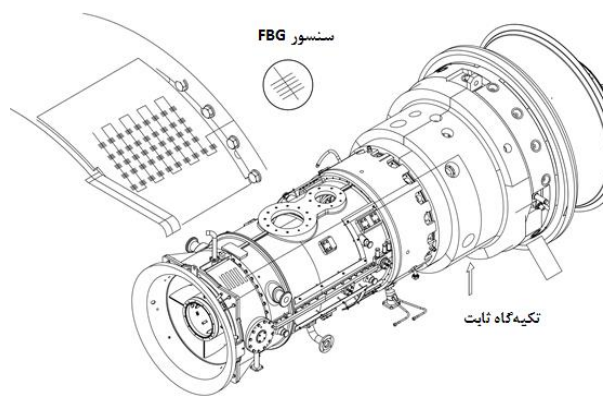
شکل ۲: چگونگی جابه‌جایی پوشته خارجی موتور IGT25



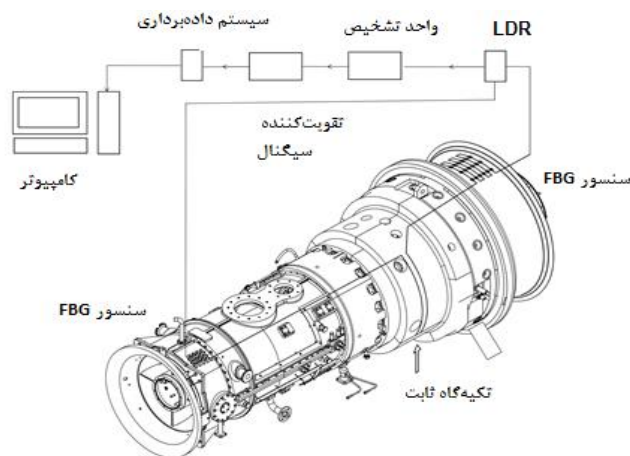
شکل ۳: مکان مناسب نصب حسگر اندازه‌گیری جابه‌جایی

نصب سامانه اندازه گیری روی پوسته موتور

یک نمونه از چیدمان حسگرهای FBG جهت اندازه گیری توزیع کرنش طولی و جابه جایی مطلق نسبت به تکیه گاه ثابت به صورت شماتیک در شکل ۴ و سامانه اندازه گیری مربوط به آن در شکل ۵ نشان داده شده است. در این روش آرایه ای از المان های FBG در طولی از فیبر که مقطع مورد نظر اندازه گیری می باشد، قرار می گیرند و فیبر نوری تا تکیه گاه ثابت ادامه یافته و به آن متصل می گردد. اطلاعات تغییر کرنش یا جابه جایی به یک مقاومت وابسته به نور^۷ ارسال شده و تغییرات آن توسط یک مدار الکترونیکی تشخیص داده می شود. از آنجایی که میزان تغییرات ایجاد شده کم است، سیگنال های ارسالی پس از عبور از یک تقویت کننده به بخش جمع آوری داده ارسال می گردد.



شکل ۴: مکان نصب آرایه حسگرهای FBG در ورودی کمپرسور



شکل ۵: شماتیک سامانه اندازه گیری جابه جایی به کمک حسگر فیبر نوری

⁷ Light Dependent Resistance

دقت اندازه‌گیری با استفاده از سنسور FBG

دقت سنسورهای FBG مناسب برای اندازه‌گیری جابه‌جایی وابسته به شرکت سازنده سنسور می‌تواند تغییر کند، به عنوان مثال نمونه‌ای از فیبر سنسورها که قابلیت تحول دما تا ۳۰۰ درجه سانتیگراد را داشته و برای اندازه‌گیری روی دیفیوزر خروجی موتورهای صنعتی نیز مناسب است دارای دقت اندازه‌گیری در حدود $FS \pm 0.25\%$ را دارا می‌باشند با توجه به این موضوع که ماکزیمم جابه‌جایی پوسته موتور نمونه (IGT25) مطابق با شکل ۲ برابر با $22/6$ میلی‌متر می‌باشد، می‌توان به دقتی در حدود 0.05 میلی‌متر در این اندازه‌گیری دست یافت. دقت اندازه‌گیری سیستم‌های اندازه‌گیری FBG با توجه به روش مالتی‌پلکس کردن می‌تواند تغییر کند. در جدول ۲ مقایسه بین سیستم‌های اندازه‌گیری و فیلتر لبه ارائه گشته است. این مقایسه شامل تعداد حسگرهای قابل پشتیبانی، دقت اندازه‌گیری و جبران‌سازی دمایی می‌باشد.

جدول ۲: مقایسه‌ی سیستم‌های اندازه‌گیری WDM، TDM و فیلتر لبه

شاخص مقایسه	سیستم WDM	سیستم TDM	سیستم فیلتر لبه
تعداد حسگرهای قابل پشتیبانی	۱ تا ۶۲۰	۱ تا ۵۰۰۰۰	۱ تا ۱۶
دقت اندازه‌گیری	$\pm 0.02\%$	$\pm 0.1\%$	$\pm 0.1\%$
جبران‌سازی دمایی	اکتیو و پسیو	اکتیو و پسیو	پسیو

داده‌برداری

سیستم‌های اندازه‌گیری با فیبر نوری به دو دسته‌ی کلی تقسیم می‌شوند:

۱- سیستم‌های مالتی‌پلکس کننده،

۲- سیستم تک حسگر.

سیستم‌های مالتی‌پلکس کننده^۸ چند حسگر FBG را در یک فیبر پشتیبانی می‌کنند، در حالی که سیستم‌های تک حسگر ظرفیت پشتیبانی از یک FBG را در هر فیبر نوری دارا می‌باشند. سیستم‌های مالتی‌پلکس کننده جهت اندازه‌گیری تغییرات پدیده‌های فیزیکی از سازوکارهای WDM،^۹ SDM^{۱۰} یا TDM^{۱۱} و یا ترکیبی از آنها استفاده می‌کنند. در سازوکار WDM گستره‌ی طول موج به قسمت‌های مختلفی تقسیم می‌شود و هر قسمت به یک حسگر تخصیص داده می‌شود و تغییرات ایجاد شده در هر قسمت مبین تغییرات در پدیده فیزیکی در حسگر متناظر می‌باشد. برای دو سازوکار دیگر نیز به همین منوال می‌باشد. در ادامه به بررسی این سیستم‌های اندازه‌گیری و مزایا و معایب آنها پرداخته می‌شود.

منبع نور و واحد شناسایی، اجزای اصلی سیستم‌های مالتی‌پلکس کننده را تشکیل می‌دهند. با توجه به عملکرد این اجزا، سیستم اندازه‌گیری فیبر نوری بر مبنای یکی از سازوکارهای فوق عمل می‌کند. در حالت کلی، WDM با استفاده از ۳ سازوکار کلی که براساس منبع نور قابل تنظیم^{۱۲}، المان پخش‌کننده^{۱۳} و یا فیلتر قابل تنظیم^{۱۴} به اندازه‌گیری جابه‌جایی یا کرنش

⁸ Multiplexing

⁹ Wavelength Division Multiplexing

¹⁰ Spatial Division Multiplexing

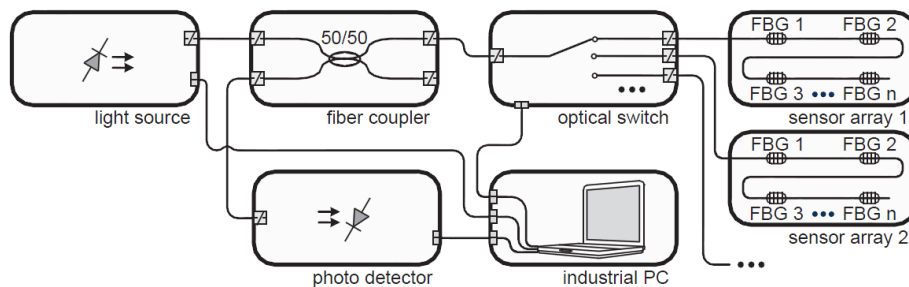
¹¹ Time Division Multiplexing

¹² Tunable

¹³ Dispersive Element

¹⁴ Tunable Filter

می‌پردازند، پیاده‌سازی می‌شود. TDM می‌تواند با استفاده از یک منبع نور پالسی^{۱۵} پیاده‌سازی شود (Kersey, 1997). SDM با استفاده از یک کلید نوری که در شکل ۶ آمده است، پیاده‌سازی می‌شود و با WDM و TDM قابل ترکیب است (Schmid, Muller, & Koch, 2015).



شکل ۶- سیستم مالتی پلکس کننده اندازه‌گیری FBG با استفاده از روش‌های WDM، TDM و SDM و با ترکیبی از آن‌ها

یک نمونه از سیستم تک حسگر مبتنی بر فیلتر لبه^{۱۶} در شکل ۷ نشان داده شده است. بازتاب براگ، دو دیود نوری^{۱۷} را روشن روشن می‌کند. واحد پردازش سیگنال، تغییرات طول موج را به یک سیگنال الکتریکی تبدیل می‌کند. فرآیند تبدیل پیوسته و تقریباً خطی می‌باشد.

یک سامانه اندازه‌گیری منبع نور قابل تنظیم یا اسپکترومتر^{۱۸} در گستره‌ی طبیعی ۱۵۵۰nm بیش از ۱۰۰nm را پوشش می‌دهد. برای گستره‌ی طول موج ۵nm این سیستم ۲۰ حسگر FBG را برای هر حسگر فیبر نوری پشتیبانی می‌کند. (گستره‌ی ۱۰۰nm را می‌توان به ۲۰ قسمت با اندازه‌ی ۵nm تقسیم نمود و هر قسمت را به یک حسگر با گستره‌ی طول موج ۵nm تخصیص داد). گستره‌ی طول موج^{۱۹} کمتر این تعداد را افزایش می‌دهد. سیستم TDM در حدود ۱۰۰ حسگر FBG را برای هر فیبر پوشش می‌دهد که البته به توان منبع نور و بازتاب‌پذیری FBG‌ها وابسته می‌باشد. همچنین ترکیب TDM و WDM تا ۲۰۰۰ حسگر را برای هر فیبر پوشش می‌دهد. با استفاده از سوئیچ نوری نیز می‌توان تعداد حسگرها بر سیستم اندازه‌گیری را افزایش داد. هر سوئیچ نوری از چند پورت تشکیل شده است و هر یک از پورت‌های آن یک فیبر حسگر را پشتیبانی می‌کند. لذا به عنوان مثال یک سوئیچ نوری با ۳ پورت موجب افزایش تعداد فیبرهای قابل پشتیبانی از ۱ به ۳ می‌شود.

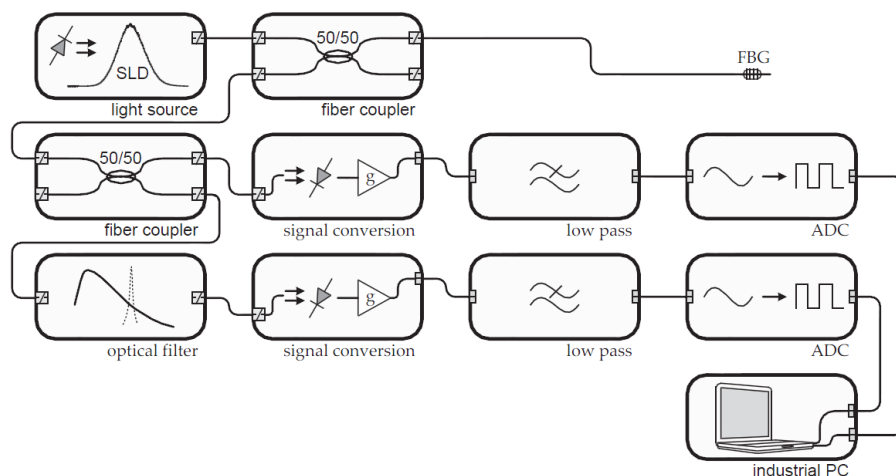
¹⁵ Pulsed

¹⁶ Edge

¹⁷ Photodiode

¹⁸ Spectrometer

¹⁹ Wavelength Spectrum



شکل ۷- سیستم اندازه‌گیری FBG مبتنی بر فیلتر لبه

سیستم اندازه‌گیری فیلتر لبه تنها یک FBG را در هر فیبر پوشش می‌دهد. این روش مشابه حسگرهای کرنش الکتریکی متداول به همراه یک تقویت‌کننده برای هر حسگر می‌باشد. جهت کاربردهایی با تعداد FBGهای بیشتر، می‌توان از موازی‌سازی این سیستم استفاده نمود. به دلیل پاسخ زمانی طولانی سوئیچ‌های نوری، استفاده از آن‌ها در سیستم‌های مبتنی بر فیلتر لبه مناسب نمی‌باشد.

جبران‌سازی دما

حسگرهای FBG به کرنش و دما وابسته می‌باشند. به همین دلیل هنگام اندازه‌گیری‌های مربوط به کرنش، تأثیرات دما منجر به ایجاد خطا و کاهش دقت می‌گردد که می‌بایستی جبران گردد. برای جبران‌سازی دمایی سیستم‌های اندازه‌گیری FBG دو روش غیرفعال^{۲۰} و فعال^{۲۱} به کار برده می‌شود. روش غیرفعال از یک ساختار مکانیکی انتقال کرنش استفاده می‌کند. در این ساختار، دمایی که باعث تغییر در کرنش اندازه‌گیری شده در جسم می‌گردد و همچنین تغییراتی دمایی که خود حسگر سبب ایجاد آن می‌شود، جبران‌سازی می‌گردد.

برای جبران‌سازی تأثیر دما با استفاده از روش‌های فعال، از یک FBG که از لحاظ گرمایی متصل و از لحاظ مکانیکی مجزا می‌باشد، جهت اندازه‌گیری تأثیرات دما استفاده می‌شود که خروجی‌های آن در مرحله‌ی پردازش سیگنال به کار برده می‌شود. کیفیت جبران‌سازی به اتصال گرمایی بین حسگر کرنش و حسگر دما بستگی دارد. از این روش اغلب برای سیستم‌های اندازه‌گیری مالتی‌پلکس‌کننده استفاده می‌شود (Schmid, Muller, & Koch, 2015).

²⁰ Passive

²¹ Active

نتیجه‌گیری

در این مقاله به توسعه یک روش نوین اندازه‌گیری جابه‌جایی پوسته خارجی یک نمونه توربین گاز صنعتی با استفاده از حسگرهای فیبر نوری پرداخته شده است. از میان انواع مختلف حسگرهای فیبر نوری، حسگرهای FBG به دلیل توانمندی در اندازه‌گیری کرنش و جابه‌جایی، همچنین توانایی در مالتی‌پلکس کردن تعداد کثیری از حسگرها به عنوان حسگر فیبر نوری مناسب در اندازه‌گیری انتخاب گشته است. چیدمان حسگرهای فیبر نوری با توجه به مکان و چگونگی ماکزیمم جابه‌جایی تعیین گردیده است. در نمونه توربین گاز مورد بررسی، بیشترین جابه‌جایی در بیشترین فواصل نسبت به تکیه‌گاه و در ورودی کمپرسور و دیفیوزر موتور رخ می‌دهد. اندازه‌گیری توسط مقاومت‌های وابسته به نور و مدارات موردنیاز جهت داده‌برداری صورت می‌پذیرد. همچنین استفاده از حسگرهای فیبر نوری که قابلیت جبران‌سازی دما را دارا می‌باشند ارجحیت دارد.

مراجع

- Fidanboylyu, K., & Efendioglu, H. S. (2009). FIBER OPTIC SENSORS AND THEIR APPLICATIONS.
- G. Meltz, W. M. (1989). Formation of Bragg gratings in optical fibers by a transverse holographic method. *Opt. Lett*, 14, 823–825.
- Hill, K. O. (1978). Photosensitivity in optical fiber waveguides. *Appl. Phys. Lett*, 647–649.
- Kersey, A. D. (1997). Fiber Grating Sensors. *Journal of Lightwave Technology*, 1442-1463.
- Lae-Hyong Kang, D.-K. K.-H. (2007). Estimation of dynamic structural displacements using fiber Bragg grating strain sensors. *Science Direct Journal of Sound and Vibration*, 534–542.
- Schmid, M. J., Muller, M. S., & Koch, A. W. (2015). Fiber Bragg Grating Measurement Technology in Industry. *AMA Conferences*, (pp. 545-549).
- SIEMENS ENERGY, I. (Dec. 3, 2015). *Patent No. US 2015/0345324 A1*. Orlando, FL (US).
- Thomas G. Giallorenzi, J. B. (April 1982). (Optical Fiber Sensor Technology). *IEEE Journal of Quantum Electronics*, Vol QE-18, no. 4.,