

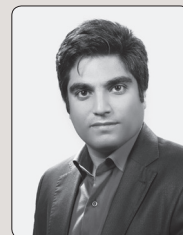
سنسورهای اندازه‌گیری ارتعاشات

بخش اول: سنسور ادی کارنت پراکسیمیتی پراب (Eddy Current Proximity Probe)

ارتعاشات



سعید کردی زاده
شرکت بهره‌برداری و تعمیراتی مپنا
Site@kordizade.com



سنسورهای اندازه‌گیری ارتعاشات

در گذشته، بررسی و تحلیل ارتعاشات دستگاه، معمولاً با ابزار ساده‌ای مانند گوشی طبی انجام می‌شد. این روش به شدت به شخصی که دستگاه را بررسی می‌کرد، بستگی داشت؛ به عنوان مثال در شکل ۴-۱ این شخص جهت بررسی شرایط یاتاقان این توربین 125 مگاواتی جنرال الکتریک از گوشی پزشکی (Stethoscope) استفاده می‌کند. واضح است که تفسیر این پدیده و شرایط یاتاقان، فقط در حیطه تخصصی و تجربی او امکان‌پذیر است؛ زیرا فقط این شخص در ماه‌های متوالی، ارتعاشات دستگاه را بررسی کرده است؛ در نتیجه می‌تواند در مورد تغییر صدای یاتاقان اظهارنظر کند و سالم یا معیوب بودن آن را مشخص نماید.



شکل ۴-۱ روش سنتی تحلیل ارتعاشات

اما امروزه از سنسورهای اندازه‌گیری ارتعاشات، جهت تحلیل و ارزیابی ارتعاش دستگاه‌ها استفاده می‌شود. در این مقاله مطالب کاربردی و جدیدی در مورد این سنسورها ارائه شده است.

این سنسورها (شکل ۴-۲) از دیدگاه نحوه عملکرد به سه گروه جابه‌جایی سنج یا ادی کارنت پراکسیمیتی پراب (Eddy Current Proximity Probe)، سرعت‌سنج یا سنسور پیکاپ سرعت (Velocity Pickup) و شتاب‌سنج یا سنسور شتاب‌سنج پیزو الکتریک (Piezoelectric Accelerometer) تقسیم می‌شود.

انواع سنسورها

ادی کارنت پراکسیمیتی پراب

پیکاپ سرعت

شتاب سنج پیزو الکتریک



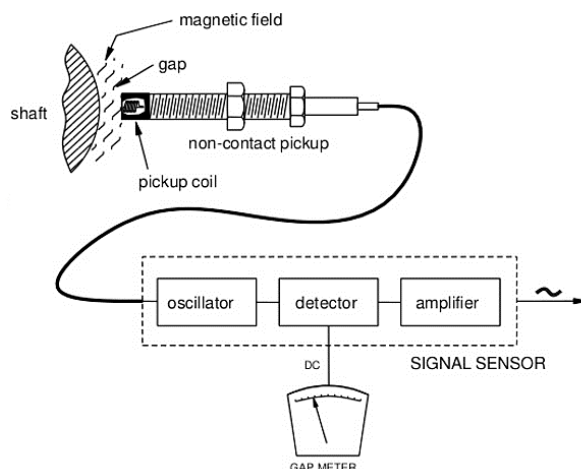
شکل ۴-۲ انواع سنسورهای اندازه‌گیری ارتعاشات از دیدگاه نحوه عملکرد

ما را با نام نشریه نگهداری و تعمیرات (NetsaNews.ir) در اینستاگرام دنبال نمایید.
تصاویر، ویدیو و ایده‌های خلاقانه خود را جهت به اشتراک گذاشتن در
اینستاگرام به آدرس ایمیل NetsaNews@gmail.com ارسال نمایید.

ادی کارنت پراکسیمیتی پراب Eddy Current Proximity Probe

نحوه عملکرد سنسور ادی کارنت پراکسیمیتی پراب

عملکرد سنسور ادی کارنت پراکسیمیتی پراب به این صورت است که از یک منبع تغذیه یک ولتاژ مشخصی به ورودی سنسور ارسال شده و سنسور، با استفاده از ولتاژ دریافتی، توسط یک اسیلاتور، سیگنال فرکانس بالایی از مرتبه مگاهرتز تولید می‌نماید. این سیگنال از طریق یک کابل کوکسیال به داخل سیم‌پیچی (Coil) که در قسمت نوک سنسور است وارد می‌شود. سیم‌پیچ نیز انرژی دریافتی از این سیگنال را به صورت یک میدان مغناطیسی، در اطراف پخش می‌کند. وقتی یک جسم هادی مثلاً شفت توربین، این میدان مغناطیسی را قطع کند، داخل جسم هادی، جریان گردابی (Eddy Current) ایجاد می‌شود؛ این جریان گردابی با میدان مغناطیسی سیم‌پیچ مخالفت کرده و تضعیف میدان مغناطیسی سیم‌پیچ را سبب می‌شود؛ هرچه فاصله نوک سنسور از جسم هادی کمتر شود تلفات جریان گردابی بیشتر شده و سیگنال حامل ضعیف‌تر می‌شود. در پایان سنسور یک ولتاژ AC متناسب با نوسانات شفت توربین و یک سیگنال DC متناسب با فاصله نوک سنسور از شفت ایجاد می‌کند. تغییرات سیگنال حامل از طریق یک کابل به دستگاه آنالایزر ارتعاش منتقل می‌شود.



شکل ۳-۴ نحوه عملکرد سنسور ادی کارنت پراکسیمیتی پراب

مشخصات فنی سنسور ادی کارنت پراکسیمیتی پراب

محدوده دینامیکی (Dynamic Range)، ناحیه خطی سنسور است؛ یعنی سنسور در این محدوده می‌تواند ارتعاش‌های بسیار کوچک را دریافت کند و در اثر ارتعاشات بسیار بزرگ خراب نشود. از ویژگی‌های این سنسور، محدوده دینامیکی 500 به یک (500:1) می‌باشد؛ یعنی بزرگ‌ترین عددی که سنسور می‌تواند اندازه‌گیری کند نسبت به کوچک‌ترین عددی که می‌تواند آن را اندازه‌گیری نماید، 500 به یک است. جالب است بدانید هرچه قطر سنسور بزرگ‌تر باشد، محدوده دینامیکی آن بزرگ‌تر است. محدوده فرکانسی (Frequency Range) این سنسور DC تا 2kHz است. این سنسور تنها سنسوری است که می‌تواند فاصله استاتیکی مانند شفت‌های آسیاب‌های دور پایین و حتی فاصله تجهیزات ثابت را تشخیص دهد.

حساسیت (Sensitivity) این سنسور میلی ولت بر میکرومتر ($\text{mV}/\mu\text{m}$) می‌باشد. حساسیت سنسور با توجه به جنس شفت متفاوت است؛ به‌عنوان مثال حساسیت سنسور نسبت به فولاد 380mV/mm است و نسبت به فولاد 4140.4340 در حدود 250 mV/mm می‌باشد.

- اندازه گیری جابه جایی
- محدوده دینامیکی (Dynamic Range): ۵۰۰ به ۱
- محدوده فرکانسی (Frequency Range): DC تا 2kHz
- حساسیت (Sensitivity): میلی ولت بر میکرومتر ($\text{mV}/\mu\text{m}$)



شکل ۴-۴ مشخصات فنی ادی کارنت پراکسیمیتی پراب

فقط سنسور ادی کارنت پراکسیمیتی پراب می تواند فاصله استاتیکی تجهیزات ثابت را اندازه گیری کند.

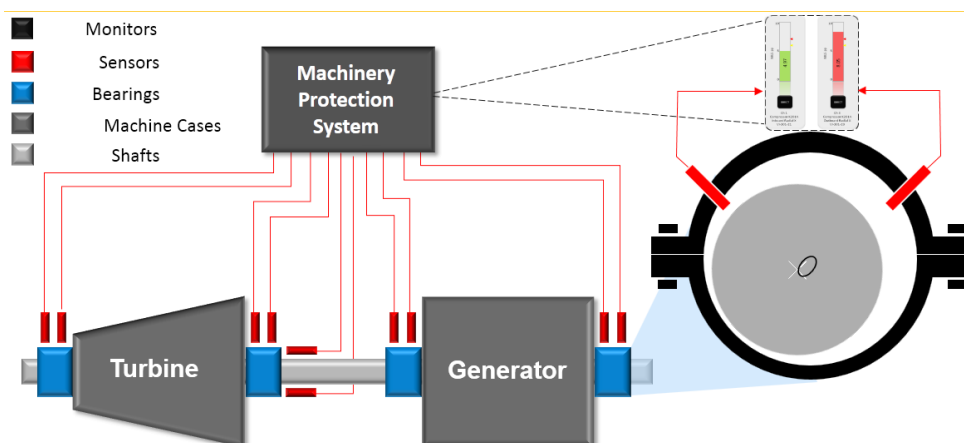
کاربردهای سنسور ادی کارنت پراکسیمیتی پراب

اندازه گیری جابه جایی

از کاربردهای این سنسور می توان به اندازه گیری جابه جایی (Displacement) اشاره کرد. سایر سنسورها مانند شتاب سنج ها روی پوسته یاتاقان توربین نصب می شوند و نمی توانند به کاربران توربین، تضمین قطعی بدهند که تماسی بین شفت و یاتاقان توربین اتفاق نیفتاده است؛ زیرا سنسور شتاب سنج، ارتعاشات پوسته یاتاقان را اندازه گیری می کند و نمی توان با بررسی ارتعاشات پوسته یاتاقان به نتیجه قاطعی رسید که شفت توربین در چه شرایطی است و تنها سنسور ادی کارنت می تواند این مورد را به طور کامل پایش نماید. به همین خاطر استاندارد API 670 سازندگان توربین را ملزم کرده است که در توربین از سنسور ادی کارنت استفاده کنند.

حرکت نسبی (Relative Motion) و خارج از مرکزی شفت (Shaft Eccentricity)

این سنسور می تواند حرکت نسبی (Relative Motion) و خارج از مرکزی شفت (Shaft Eccentricity) را تشخیص دهد. از طریق تعیین خارج از مرکزی شفت، منحنی اُربیت شفت (Shaft Orbit) ترسیم می شود.



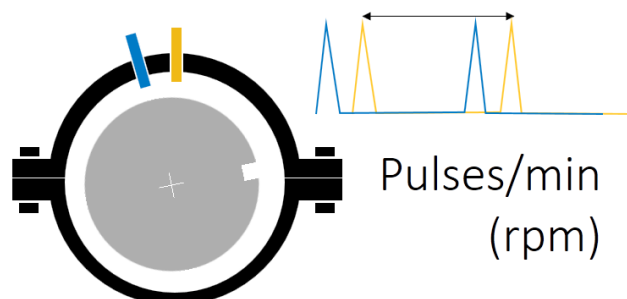
شکل ۴-۵ تعیین موقعیت شفت

به منظور تعیین سرعت دورانی شفت به کمک سنسور ادی کارنت پراکسیمیتی پراب، خروجی سیگنال DC این دو سنسور، وارد درگاه‌های X و Y یک اسیلوسکوپ می‌شود و مقدار جابه‌جایی واقعی شفت بزرگنمایی می‌گردد. خروجی فازنما (Key Phasor) می‌تواند وارد ماشه ورودی اسیلوسکوپ شده و حالت تقویتی برای سرعت X1 ایجاد نماید. معیار اندازه‌گیری، محلی است که به‌صورت فرورفتگی (Depression) مثل جای خار و یا برآمدگی (Projection) مانند خار (Key) باشد. صفحه براق پس از مدتی کثیف می‌شود و معیار مناسبی برای اندازه‌گیری نیست. در بعضی مواقع به جای ایجاد تنها یک فرورفتگی یا ناچ (Notch) روی شفت، از تعداد زیادی فرورفتگی که دورتادور شفت را به‌صورت دندانه‌های منظم پوشانده است، استفاده می‌شود. با این روش در موتور احتراق داخلی، علاوه بر تعیین موقعیت شفت می‌توان با تغییر فاصله بین موج‌ها، نوسانات پیچشی شفت را تشخیص داد.

تعیین جهت چرخش شفت

سنسور ادی کارنت می‌تواند جهت چرخش شفت را مشخص نماید. در توربین‌های گازی احتمال چرخش برعکس شفت (Reverse Rotation) وجود دارد؛ در صورت وقوع این اتفاق، آسیب شدیدی به سیستم آب‌بندی (Dry Gas Seals) وارد می‌شود؛ بنابراین همان‌طور که در شکل ۴-۶ مشاهده می‌کنید، در صورتی که شفت در جهت حرکت عقربه‌های ساعت چرخش کند (Clockwise Direction) فرورفتگی روی شفت ابتدا توسط پراب آبی‌رنگ و سپس توسط پراب زردرنگ تشخیص داده می‌شود؛ بنابراین تا زمانی که سیگنال آبی از سیگنال زرد عقب‌تر است، شفت، چرخشی در جهت عقربه‌های ساعت دارد.

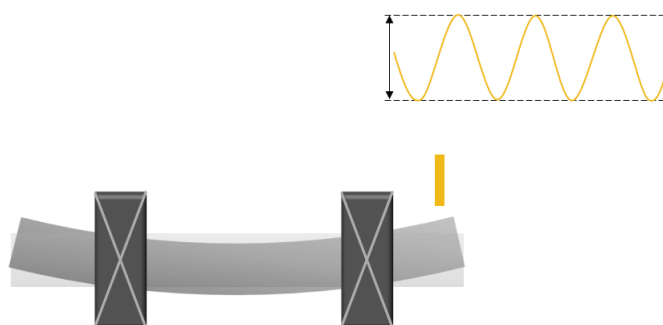
تعیین جهت چرخش شفت، از کاربردهای سنسور ادی کارت پراکسیمیتی پراب می‌باشد.



شکل ۴-۶ تعیین سرعت دورانی شفت

تشخیص خمیدگی شفت

از کاربردهای دیگر این سنسور می‌توان به تشخیص خمیدگی شفت (Shaft Bow) اشاره کرد (شکل ۴-۷). هرگونه افزایش دامنه سیگنال زردرنگ به معنای افزایش خمیدگی شفت است.



شکل ۴-۷ تشخیص خمیدگی شفت

میکروسوئیچ

سنسور ادی کارنت در فرکانس‌های پایین مثلاً 4Hz در نقش میکروسوئیچ عمل می‌کند. همان‌طور که در شکل ۴-۸ مشاهده می‌کنید، در اسکید گازوئیل توربین گازی (V94.2) MGT 70، از این سنسور به‌عنوان میکروسوئیچ در تشخیص باز یا بسته‌بودن ولوهای مسیر سوخت گازوئیل به محفظه احتراق توربین استفاده شده است.

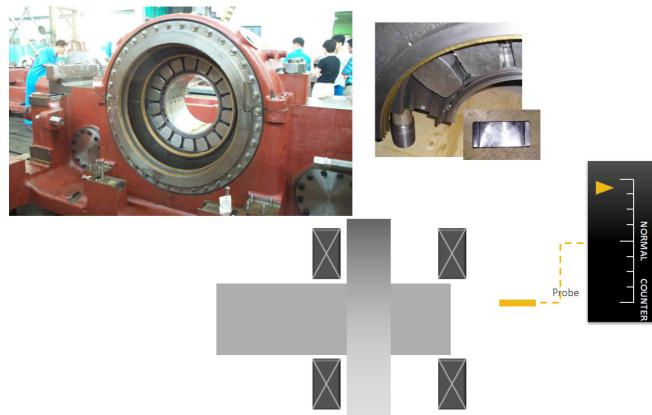


شکل ۴-۸ سنسور ادی کارنت پراکسیمیتی پراب در نقش میکروسوئیچ

تعیین موقعیت محوری شفت توربین

این سنسور می‌تواند موقعیت محوری (Axial Position) شفت توربین را تشخیص دهد؛ از طرفی تنها سنسوری است که می‌تواند ضخامت فیلم روغن را اندازه‌گیری کند.

در تراست بیرینگ‌ها مقداری فاصله جزئی یا لقی (Clearance) به منظور تشکیل فیلم روغن بین بیرینگ و دیسک‌ها (Guide Collar) در نظر گرفته می‌شود؛ برای مثال لقی بیرینگ‌های تراست در توربین‌های بخار معمولاً بین 2/0 mm تا 3/0 mm بوده و در توربوکمپرسورها بین 4/0 mm تا 6/0 mm می‌باشد. به علت اهمیت این موضوع در توربین بخار E-Type SIEMENS جابه‌جایی محوری توربین توسط سنسور ادی کارنت کنترل می‌شود؛ در صورتی که جابه‌جایی محوری این توربین از محدوده ± 0.5 mm بیشتر شود، موجب آلارم می‌شود و در صورتی که این مقدار به ± 1 mm افزایش یابد، خاموشی توربین بخار را در پی خواهد داشت.



شکل ۴-۹ تشخیص موقعیت محوری شفت توربین

مزایا و معایب سنسور ادی کارنت پراکسیمیتی پراب

سبب مزایا:

از مزایای این سنسور، بدون تماس بودن (Non Contacting) است که در پروژه‌های آزمایشگاهی و شفت‌های سبک، بسیار کاربردی می‌باشد؛ از طرفی این سنسور فاقد قطعات متحرک است؛ به همین علت بدون سایش و با عمر طولانی قابل استفاده می‌باشد. این سنسور با ولتاژ DC کار می‌کند؛ بنابراین قادر است موقعیت شفت بدون ارتعاش را نیز تعیین نماید. این ویژگی مختص این نوع سنسور می‌باشد.

سبب معایب:

از معایب این سنسور می‌توان به تاثیرپذیری آن از میدان مغناطیسی شفت اشاره کرد. طبق استاندارد API باید شرایط مغناطیسی شفت توربین در موقعیت نصب سنسور، قبل و بعد از انجام تعمیرات چک شود و ثابت بماند. همچنین این سنسور جهت استفاده، به کالیبره محلی (Local Calibration) نیازمند است؛ یعنی اگر این سنسور در یک توربین دچار آسیب شود، مجبور هستید که توربین را خاموش کرده و منتظر بمانید شفت توربین متوقف شود تا بتوانید فیلرگیری لازم را انجام دهید و با میزان فاصله بین سنسور تا شفت توربین را از طریق ولتاژ خروجی سنسور اندازه‌گیری کرده و موقعیت سنسور را کالیبره نمایید.

هندسه شفت می‌تواند در خروجی سنسور اثر منفی داشته باشد؛ مثلاً اگر نقطه‌ای از شفت دچار آسیب موضعی و خراش سطحی شده باشد، با هر مرتبه عبور این خراش از مقابل سنسور، ادی کارنت پراکسیمیتی پراب این خراش را به عنوان یک ویبره خیلی زیاد تشخیص می‌دهد. از دیگر معایب این سنسور، محدوده دینامیکی پایین آن است.

در توربین گازی V94.2، فاصله نوک سنسور ادی کارنت از شفت توربین را در محدوده‌ای قرار می‌دهیم که ولتاژ خروجی سنسور، 8/5 ولت شود.



مزایا

- تماس ندارد
- قطعه متحرک ندارد
- سایش ندارد
- با DC کار میکند



معایب

- تاثیرپذیری از میدان مغناطیس شفت
- نیازمند کالیبره محلی
- تاثیر پذیری از شکل نامتقارن شفت
- دینامیک رنج پایین

شکل ۴-۱۰ مزایا و معایب سنسور ادی کارنت پراکسیمیتی پراب

نکات مهم در نصب سنسور ادی کارنت پراکسیمیتی پراب

سازنده‌های سنسور ادی کارنت پراکسیمیتی پراب، در کاتالوگ سنسور در مورد روش نصب صحیح آن اظهارنظر کرده‌اند؛ در صورتی که این نکات ساده و مهم رعایت نشود، عملکرد سنسور مختل می‌گردد؛ به عنوان مثال فاصله سر سنسور از شانه شفت (Shaft Shoulder) و همچنین فاصله خود سنسورها از یکدیگر فوق‌العاده مهم است.

همان‌طور که در شکل ۴-۱۱ مشاهده می‌کنید، سازنده این سنسور، کمترین فاصله مجاز بین سنسور تا شانه شفت را $1/4$ برابر قطر سنسور تعیین نموده و در صورتی که بخواهید سنسور را در غلاف فلزی نصب کنید، باید قطر غلاف، دو برابر قطر پراب سنسور باشد. بنابراین در زمان سوراخ‌کاری باید این مساله مدنظر قرار دهید.

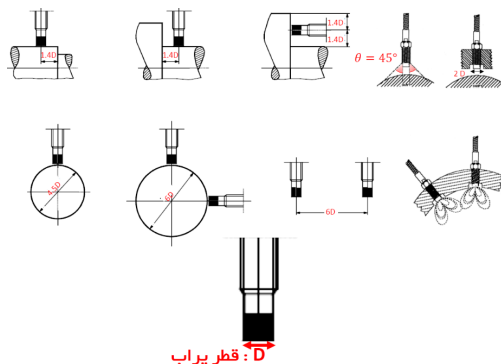
سور، بدون تماس بودن (Non Contacting) است که در پروژه‌های آزمایشگاهی و شفت‌های سبک، بسیار کاربردی می‌باشد؛ از طرفی این سنسور فاقد قطعات متحرک است؛ به همین علت بدون سایش و با عمر طولانی قابل استفاده می‌باشد. این سنسور با ولتاژ DC کار می‌کند؛ بنابراین قادر است موقعیت شفت بدون ارتعاش را نیز تعیین نماید. این ویژگی مختص این نوع سنسور می‌باشد.

سبب معایب:

از معایب این سنسور می‌توان به تاثیرپذیری آن از میدان مغناطیسی شفت اشاره کرد. طبق استاندارد API باید شرایط مغناطیسی شفت توربین در موقعیت نصب سنسور، قبل و بعد از انجام تعمیرات چک شود و ثابت بماند.

همچنین این سنسور جهت استفاده، به کالیبره محلی (Local Calibration) نیازمند است؛ یعنی اگر این سنسور در یک توربین دچار آسیب شود، مجبور هستید که توربین را خاموش کرده و منتظر بمانید شفت توربین متوقف شود تا بتوانید فیلرگیری لازم را انجام دهید و با میزان فاصله بین سنسور تا شفت توربین را از طریق ولتاژ خروجی سنسور اندازه‌گیری کرده و موقعیت سنسور را کالیبره نمایید.

به عنوان مثال در توربین گازی V94.2، فاصله نوک سنسور از شفت توربین را در محدوده‌ای قرار می‌دهیم که ولتاژ خروجی سنسور، $8/5$ ولت شود. لازم به ذکر است در این شرایط بایستی شفت توربین کاملاً متوقف بوده و پمپ‌های جکینک توربین و ژنراتور که وظیفه بلند کردن شفت را به عهده دارند، خاموش باشند.



شکل ۴-۱۱ نصب سنسور ادی کارنت پراکسیمیتی پراب

برای مشاهده فیلم «ادی کارنت پراکسیمیتی پراب» کافیست به لینک زیر مراجعه کرده و یا بارکد را اسکن نمایید.

Www.Kordizade.Com/Vibration-Eddy-Current



ما را با نام نشریه نگهداری و تعمیرات (NetsaNews.ir) در اینستاگرام دنبال نمایید.
تصاویر، ویدیو و ایده‌های خلاقانه خود را جهت به اشتراک گذاشتن در
اینستاگرام به آدرس ایمیل NetsaNews@gmail.com ارسال نمایید.