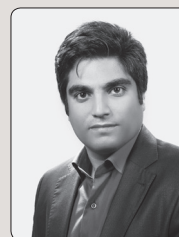


تکنیک‌های عیب‌یابی ماشین به کمک آنالیز ارتعاشات



سعید کردی زاده
نیروگاه سیکل ترکیبی زواره
kordizade.s@gmail.com



در این مقاله، به توضیح تکنیک‌های عیب‌یابی ماشین به کمک آنالیز ارتعاشات می‌پردازیم. آشنایی با تکنیک‌های عیب‌یابی، برای متخصصان حوزه پایش وضعیت، مساله بسیار مهمی است؛ زیرا هرچه از تکنیک‌های بیشتری در آنالیز ارتعاشات استفاده شود، بیان دلیل عیب ماشین، دقیق‌تر می‌شود.

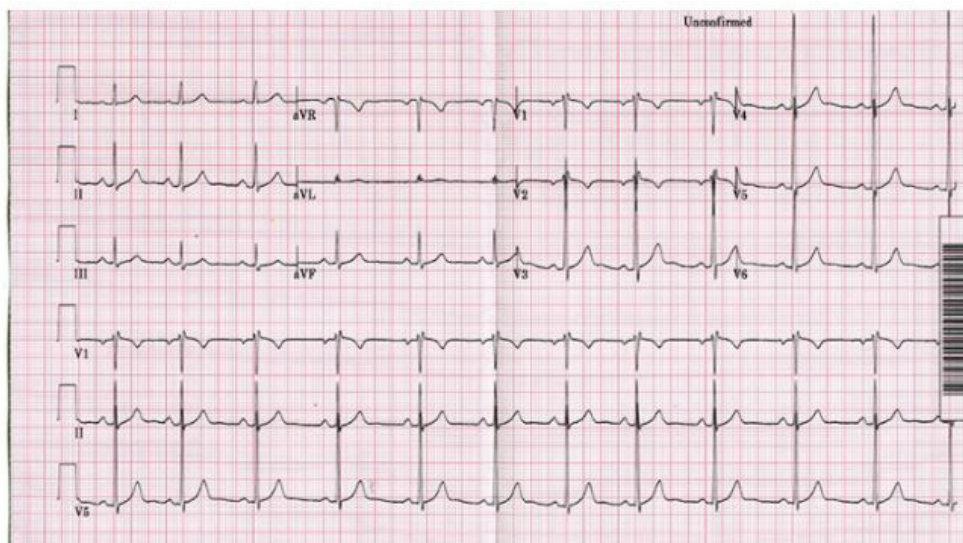


به طور کلی، ارتعاشات ماشین‌آلات دو دسته هستند؛ دسته اول ارتعاشات حالت پایدار و دسته دوم، ارتعاشات حالت گذرا هستند (یعنی ماشین‌های دور متغیر یا ماشین‌های دور ثابت هنگام استارت یا خاموش شدن). برای دسته اول، روش‌هایی مانند تحلیل مقدار کلی دامنه ارتعاش، آنالیز شکل موج یا سیگنال حوزه زمان، آنالیز فرکانسی و آنالیز فاز و برای دسته دوم، منحنی بود و نایکویست، منحنی قطبی و منحنی آبشاری، بیشترین کاربرد را دارند.

شکل ۱-۱ تکنیک‌های عیب‌یابی ماشین به کمک آنالیز ارتعاشات

سیگنال حوزه زمان

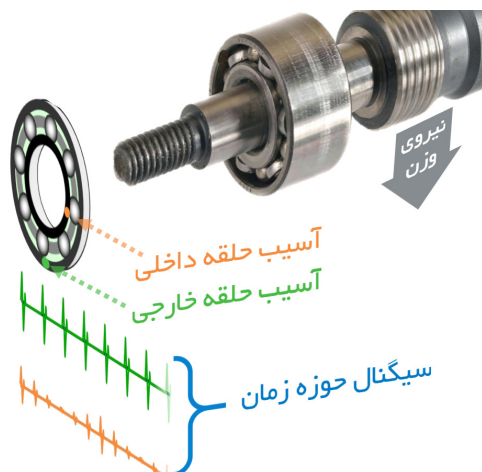
قدیمی‌ترین شکل داده‌برداری، سیگنال حوزه زمان است. سیگنال حوزه زمان^۱ را می‌توان با سیگنال‌برداری ECG قلب انسان مقایسه کرد. به عبارت دیگر، نوار قلب یک سیگنال حوزه زمان است که از هفت نقطه در اطراف قلب، برداشت می‌شود. برای مثال، بیماری تندپشی قلب^۲ (تپش قلب با فرکانسی بیش از ۱۰۰ بار در دقیقه)، با بررسی نوار قلب، تشخیص داده می‌شود.



شکل ۲-۱ نوار قلب یا سیگنال حوزه زمان

^۱ Time Waveform Signal

^۲ Tachycardia



شکل ۳-۱ سیگنال حوزه زمان و تفکیک عیوب بیرینگ

همان گونه که می بینید، اگر خرابی بیرینگ به آسیب رینگ داخلی مربوط باشد، زمانی که رینگ داخلی زیر بار^۳ (نیروی وزن شفت) می رود، دامنه سیگنال نارنجی رنگ افزایش می یابد و زمانی که بار از روی رینگ داخلی برداشته می شود، دامنه سیگنال نارنجی کاهش می یابد. اما اگر رینگ خارجی بیرینگ آسیب دیده باشد، نیروی وزن شفت در افزایش و کاهش دامنه سیگنال، بی تاثیر و در این حالت، سیگنال حوزه زمان، سبزرنگ است. پس به کمک سیگنال حوزه زمان، می توان عیوب بیرینگ را تشخیص داد و از یکدیگر تفکیک کرد. همچنین سیگنال حوزه زمان را می توان به صورت دیاگرام دورانی و بر اساس شکل ۴-۱ ترسیم کرد. این روش نمایش، در شناسایی خرابی های چرخ دنده ها سودمند است. برای مثال، اگر یک یا چند دندانه دچار سایش شده باشند، در دیاگرام دورانی به صورت نامتقارن ظاهر می شوند. همچنین مشاهده سیگنال حوزه زمان به صورت دیاگرام دورانی، در شناسایی عیوب رولربیرینگ ها و قسمت هایی از ماشین که سرعتشان با دور نامی ماشین متناسب است، می تواند سودمند باشد.



شکل ۴-۱ سیگنال حوزه زمان به صورت دیاگرام دورانی

برای تماشای فیلم «سیگنال حوزه زمان»، به آدرس زیر مراجعه یا بارکد را اسکن کنید.

www.kordizade.com/time-waveform



روش‌های حوزه زمان

روش‌های حوزه زمان شامل یک سری شاخص‌های آماری هستند که از سیگنال زمانی ارتعاشات استخراج می‌شوند. این شاخص‌ها میزان شدت خرابی را نشان می‌دهند و برای ارزیابی کلی عیب، مناسب هستند؛ اما در مشخص کردن محل خرابی، محدودیت دارند. مهم‌ترین شاخص‌های آماری عبارتند از:

- ریشه میانگین مربعات (RMS)
- قله تا قله
- قله
- ضریب تیزی^۵
- کشیدگی^۶

ضریب تیزی

ضریب تیزی حاصل نسبت مقدار قله به ریشه میانگین مربعات است و به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\text{Crest Factor} = \frac{\text{Peak}}{\text{RMS}}$$

بر اساس این رابطه، مقدار ضریب تیزی برای سیگنال سینوسی خالص، برابر با ۱/۴۱۴ است. برای مثال، بر اثر خرابی بیرینگ، اثرات ضربات در سیگنال زمانی ظاهر می‌شوند و همین امر، مقدار ضریب تیزی را افزایش می‌دهد. در بیشتر منابع، میزان قابل قبول ضریب تیزی، ۳/۵ آورده شده است. با این حال، مقدار ضریب تیزی تجهیز سالم، می‌تواند از ۲ تا ۶ باشد.

کشیدگی

سیگنال‌های ارتعاشی دارای منحنی چگالی احتمالی مشخص هستند. از این منحنی می‌توان برای پایش وضعیت تجهیزات دوار استفاده کرد. کشیدگی برای مشخص کردن ضربات غیرتکراری در سیگنال ارتعاشی، استفاده می‌شود. لازم به ذکر است، کشیدگی توزیع احتمالی را به شرح زیر توصیف می‌کند که در آن، s انحراف معیار است:

$$\text{Kurtosis} = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^4}{s}$$

خرابی بیرینگ‌ها یکی از عوامل ایجاد ضربات غیرتکراری است. مقدار کشیدگی توزیع نرمال برابر با ۳ و مقدار بالای کشیدگی، حاکی از توزیعی با قله‌های تیز است.

طیف فرکانسی

ریاضی‌دانی فرانسوی به نام فوریه، در سال ۱۸۸۲ ثابت کرد که می‌توان هر سیگنال مرکب را به هارمونیک‌های سازنده‌اش تجزیه کرد. این نظریه به قضیه فوریه^۷ شهرت یافت. آنالیز طیف فرکانسی، ساده‌ترین روش تحلیل ارتعاشات در زمینه فرکانس به کمک تبدیل گسسته فوریه^۸ است. به عبارتی، تبدیل گسسته فوریه، سیگنالی ارتعاشی را به مجموعه‌ای از موج‌های سینوسی ساده تبدیل می‌کند. ما با استفاده از آن، به جای تفسیر یک سیگنال مرکب پیچیده در حوزه زمان، با مجموعه‌ای از سیگنال‌های هارمونیک ساده، در حوزه فرکانس سروکار داریم. بنابراین در طیف فرکانسی^۹ که به اسپکتروم معروف است، هرکدام از این سیگنال‌ها، دامنه و فرکانس جداگانه‌ای دارند و با توجه به این دامنه و فرکانس، می‌توان عیب ماشین را تشخیص داد.

^۵ Crest Factor

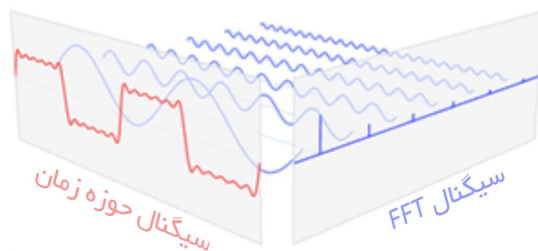
^۶ Kurtosis

^۷ Fourier Theory

^۸ Discrete Fourier Transform

^۹ Frequency Spectrum

محاسبه تبدیل فوریه به طور مستقیم، کار راحتی نیست و با توجه به تعداد نمونه‌های اندازه‌گیری شده، کاری زمان‌بر است. بنابراین الگوریتم تبدیل سریع فوریه^{۱۰} با بهره‌گیری از خاصیت تقارن در محاسبه تبدیل فوریه، زمان محاسبات را کاهش می‌دهد.



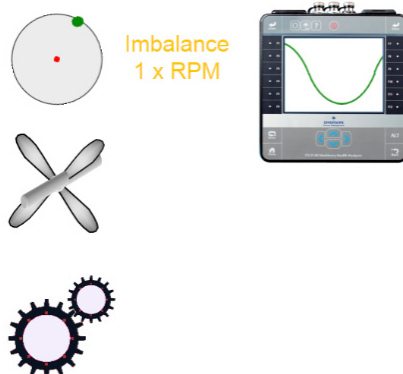
قضیه فوریه

شکل ۶-۱ تبدیل سیگنال حوزه زمان به طیف فرکانسی

برای درک بهتر طیف فرکانسی، تصور کنید در اتاقی، جلسه سخنرانی‌ای در حال برگزاری است و شما از کنار در اتاق می‌گذرید. اگر بخواهید به صدای همه افراد جلسه هم‌زمان گوش بدهید، موضوع سخنرانی را متوجه نمی‌شوید؛ ولی اگر به صدای یک نفر گوش کنید، می‌فهمید که در آن اتاق، درمورد چه چیزی صحبت می‌شود. ماشین‌ها نیز همین گونه هستند. آنها مؤلفه‌های گوناگونی دارند و به خاطر هریک از این مؤلفه‌ها، عیب‌های زیادی در ماشین‌ها پدید می‌آید. طیف فرکانسی به جای تفسیر یک سیگنال مرکب پیچیده در حوزه زمان، با مجموعه‌ای از سیگنال‌های هارمونیک ساده در حوزه فرکانس سروکار دارد و با شناسایی فرکانسی که بیشترین دامنه ارتعاشات را دارد، عیب اصلی ماشین را پیدا می‌کند.

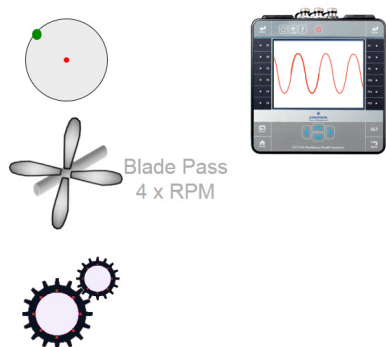
در تحلیل فرکانسی، معمولاً دامنه ارتعاش در فرکانس‌های مشخصی بررسی می‌شوند. از رایج‌ترین این فرکانس‌ها، می‌توان به فرکانس یک برابر دور ماشین یا X_1 اشاره کرد. فرکانس معمولاً با واحد هرتز گزارش می‌شود؛ اما گاهی به صورت ضریب سرعت دوران نیز، بیان می‌شود. در این حالت، فرکانسی را که برابر حاصل ضرب دور ماشین در عدد یک است، X_1 و اولین هارمونیک نیز نامیده می‌شود. فرکانس X_1 در طیف فرکانسی، می‌تواند نشان‌دهنده وجود آنبالانسی در سیستم باشد. شدت آنبالانسی به دامنه ارتعاش در فرکانس X_1 بستگی دارد. به عبارت دیگر، دامنه متناظر با فرکانس X_1 ، بیانگر سهم آنبالانسی در ارتعاش و ایجاد پاسخ ارتعاشی سیستم است که با سنسور اندازه‌گیری می‌شود.

برای مثال، فرض کنید (شکل ۷-۱) ماشین دچار عیب آنبالانسی باشد. اگر به کمک دستگاه آنالایزر ارتعاشات، از این ماشین داده‌برداری شود، به دلیل مشکل آنبالانسی، سیگنالی با فرکانس X_1 یا یک برابر دور ماشین، تولید می‌شود. سیگنال حوزه زمان آن، با رنگ سبز نشان داده شده است.



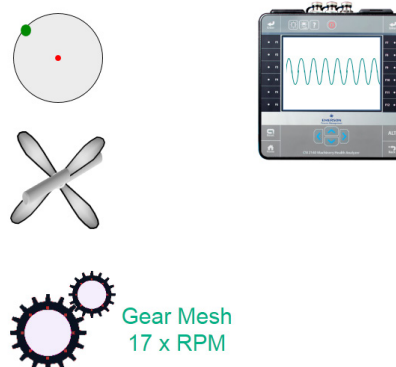
¹⁰ Fast Fourier Transform (FFT)

شکل ۷-۱ سیگنال حوزه زمان در آنبالانسی

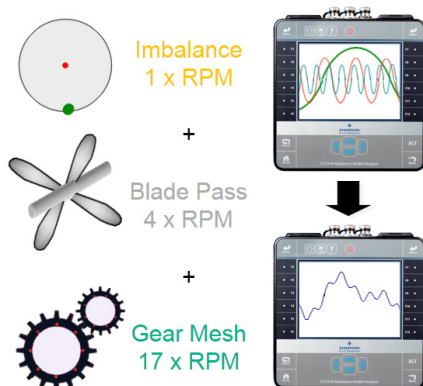


شکل ۸-۱ سیگنال حوزه زمان و فرکانس گذر پره

اگر در همین ماشین، چرخ‌دنده‌ای ۱۷ دندانه داشته باشد، فرکانس درگیری چرخ‌دنده‌ها، ارتعاشی با فرکانس $X17$ ایجاد می‌کند. سیگنال حوزه زمان آن، با رنگ آبی در شکل ۹-۱ نشان داده شده است.



شکل ۹-۱ سیگنال حوزه زمان و فرکانس درگیری چرخ‌دنده



شکل ۱۰-۱ سیگنال مرکب در حوزه زمان

از ترکیب سیگنال‌های سبز، قرمز و آبی، سیگنالی مرکب با رنگ بنفش تولید می‌شود (شکل ۱۰-۱). اما پرسش اساسی این است که چگونه می‌توانیم این سیگنال مرکب پیچیده را تحلیل و به کمک آن، عیب ماشین را پیدا کنیم؟ در این مواقع، سیگنال حوزه زمان نمی‌تواند در عیب‌یابی ماشین، سودمند باشد.

برای بررسی مفصل موضوع طیف فرکانسی، فیلم آموزشی رایگانی را در لینک زیر قرار داده‌ایم. پیشنهاد می‌کنیم این فیلم را حتماً تماشا کنید.

www.kordizade.com/FFT



¹¹ Blade Pass Frequency
¹² Gear Mesh Frequency



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.