

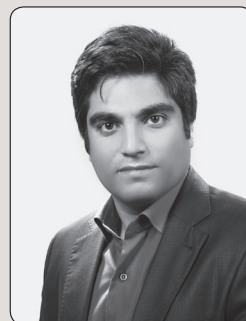


ویژگی‌های سیگنال ارتعاشی

آنانیز ارتعاشات



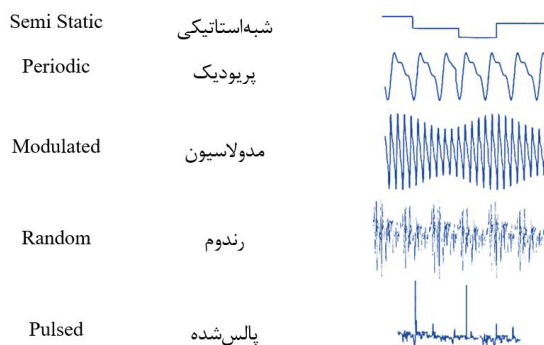
سعید کردی زاده
شرکت بهره‌برداری و تعمیراتی مینا
Site@kordizade.com



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.

◀ ویژگی‌های سیگنال ارتعاشی

پیش از اینکه به مباحث این مقاله پرداخته شود، از شما می‌خواهیم به شکل ۱-۲ نگاه کنید. این سیگنال‌ها مربوط به سیگنال زمانی گرفته‌شده از یک ماشین است. حال سعی کنید تشخیص دهید که هر کدام از این سیگنال‌های ارتعاشی، نشان‌دهنده چه عیبی در ماشین هستند.

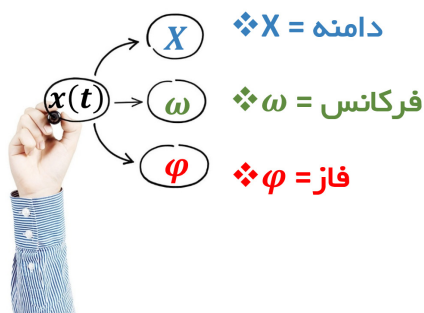


شکل ۱-۲ انواع سیگنال‌های ارتعاشی در حوزه زمان

تشخیص عیب ماشین از روی سیگنال ارتعاشی، کار دشواری است، مخصوصاً زمانی که سیگنال پیچیده‌تر می‌شود؛ سوال: فرض کنید ماشینی به کمک الکتروموتوری با ۳۰۰۰ rmp یا ۵۰ Hz می‌چرخد، چرا در داده‌برداری‌هایی که از ماشین انجام می‌دهیم فرکانس‌های مختلفی مشاهده می‌شود؟

علت این است که یک ماشین، آمیخته‌ای از عیوب است؛ و هر عیب، موج ارتعاشی مخصوص به خود را دارد. بنابراین موج ارتعاشی یک ماشین از چند موج ارتعاشی متفاوت است. حال آن عیبی از ماشین که از همه حادث‌تر است، دامنه بیشتری را به خود اختصاص می‌دهد و شدت بیشتری دارد. اگر ماشین مورد بررسی یک پمپ سانتریفیوژ باشد، سیگنال پریودیک که ترکیبی از دو سیگنال هارمونیک ساده است؛ می‌تواند به علت عیب ناهم‌محوری (Misalignment) ایجاد شود، سیگنال رندوم در اثر پدیده کاویتاسیون در پمپ و یا در جریان مغشوش در لوله‌کشی به وجود آید و سیگنال پالس‌شده، از خرابی چرخ‌دنده‌های یک گیربکس نشأت گیرد.

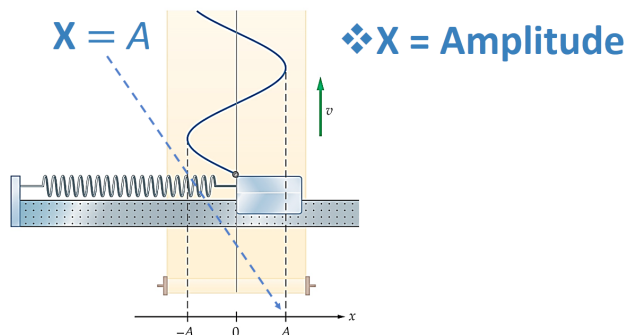
از آنجایی که سیگنال‌های ارتعاشی معمولاً ترکیبی از سیگنال‌های هارمونیک است، در این مقاله، مطالبی درمورد ساده‌ترین نوع سیگنال ارتعاشی، با شما خواننده گرامی، در میان گذاشته می‌شود؛ بدین منظور سیگنال هارمونیک ساده یا $X \sin(\omega t + \phi)$ که یک سیگنال به اصطلاح اتو کشیده است، برای شما انتخاب شده و به کمک این سیگنال به بررسی پارامترهای X یا دامنه، ω یا فرکانس و ϕ یا زاویه فاز به شیوه عملی و کاربردی پرداخته می‌شود. طی این سال‌ها به نیروگاه‌ها و صاحبان صنایع بزرگ در خصوص آنالیز ارتعاشات مشاوره داده‌ام؛ اما هیچ‌کدام از آن‌ها صرفاً به معادلات و روابط ریاضی حاکم بر ارتعاشات علاقه‌ای ندارند؛ پس تصمیم گرفتیم در نگارش مقاله حاضر، مفاهیم ریاضی را به کاربردهای عملی و واقعی تبدیل کنم و شما خواننده گرامی در پایان این مقاله، به صحت تاکید بر «عملی و کاربردی بودن» محتوای آموزشی پیش رو خواهید رسید.



شکل ۲-۲ - پارامترهای سیگنال هارمونیک ساده

◀ دامنه سیگنال ارتعاشی

$$x(t) = X \sin(\omega t + \varphi)$$



شکل ۲-۲ X یا دامنه (Amplitude)

X یا دامنه (Amplitude) یک سیگنال، نشان دهنده شدت عیب ماشین است. به عبارتی دامنه سیگنال ارتعاشی مؤید میزان مخرب بودن ارتعاش است. اگر دامنه زیاد باشد یعنی وضعیت ماشین وخیم و ارتعاشات ماشین برای ماشین مضر است و دامنه ارتعاشات کوچک نشان دهنده شرایط مناسب تر است. دامنه معمولاً به صورت پیک تا پیک (Peak To Peak)، پیک (Peak) و یا جذر میانگین مربعات RMS (Root Mean Square) گزارش می شود.

دامنه سیگنال ارتعاشی، نشان دهنده «شدت عیب» ماشین است.

ممکن است این سوال برای شما پیش بیاید که چرا اساتید دانشگاه حین تدریس دروس ارتعاشات و یا متخصصان و مشاوران آنالیز ارتعاشات در صنعت، دامنه ارتعاش را با واحدهای متفاوتی مانند Peak To Peak و RMS گزارش می کنند؟ آیا امکان پذیر است که تمامی سیگنال های ارتعاشی با RMS بیان شود؟ آیا همگی این افراد قصد گیج کردن شما را داشته اند؟ پاسخ به این سوال با پاسخ شما به سوال بعدی مرتبط است:

چرا خودروساز از پیچ های گوناگونی در اجزای مختلف اتومبیل استفاده کرده است؟ آیا بهتر نبود تمامی پیچ ها از یک گونه واحد مثلاً دو سوی ساده بود تا اینکه از پیچ های آلن، چارسو، دوسو، سرخزینه و... استفاده شود؟ لطفاً قبل از اینکه ادامه مطالب این بخش را بخوانید، سعی کنید به این سوال پاسخ دهید.



شکل ۳-۲ پیچ های مختلف استفاده شده در اتومبیل

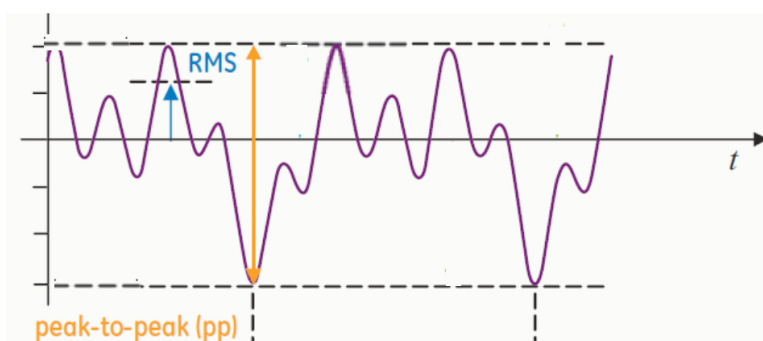
ما را با نام نشریه نگهداری و تعمیرات (NetsaNews.ir) در اینستاگرام دنبال نمایید. تصاویر، ویدیو و ایده های خلاقانه خود را جهت به اشتراک گذاشتن در اینستاگرام به آدرس ایمیل NetsaNews@gmail.com ارسال نمایید.

در پاسخ باید به شما بگویم که خودروساز می‌تواند با یکسان‌سازی تمامی پیچ‌ها، انجام عملیات تعمیرات را برای رانندگان راحت‌تر کند؛ با این حال با تغییر سرپیچ‌های حساس، دسترسی من و شما را که فقط راننده ماشین هستیم، نسبت به باز کردن قسمت‌های حساس اتومبیل محدود کرده است. مشابه این قضیه در مبحث آنالیز ارتعاشات مطرح شده است.

اگر هدف شما از آنالیز ارتعاشات، حفاظت ماشین (Protection) باشد، باید از سیگنال Peak To Peak استفاده کنید. مثلاً کاربران توربین گازی از میزان لقی پره‌های متحرک توربین تا پوسته اطلاع دارند. حال اگر مقدار جابه‌جایی شفت توربین توسط سنسور قرائت شود، این مقدار برای بهره‌برداران توربین معنادار بوده و می‌توان با تعیین حدود Peak To Peak برای توربین، محدوده مجاز ارتعاشی را تعریف نمود. لذا دامنه جابه‌جایی معمولاً به صورت Peak To Peak گزارش می‌شود. اما محاسبه RMS به کمک رابطه زیر انجام می‌شود.

$$X_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{n}(x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2)}$$

همان‌طور که مشاهده می‌کنید، تشابه این رابطه با رابطه سنتی انرژی جنبشی، یعنی $1/2 mv^2$ حاکی از این نکته مهم می‌باشد که سیگنال ارتعاشی با واحد RMS نماینده انرژی ارتعاش است. به همین علت اگر بخواهید حال عمومی ماشین را بررسی کرده و پایش وضعیت (Condition Monitoring) ماشین را انجام دهید، بهتر است از سیگنال RMS استفاده نمایید.



شکل ۲-۴ واحدهای مختلف دامنه سیگنال ارتعاشی

اگر بخواهید حال عمومی ماشین را بررسی کرده و پایش وضعیت ماشین را انجام دهید، بهتر است از سیگنال RMS استفاده نمایید.

لازم است با ارائه یک مثال واقعی، در مورد این مساله شفاف‌سازی شود؛ همان‌طور که در شکل ۲-۵ مشاهده می‌کنید، شرکت مپنا در مدرک Set Point List توربین گازی MGT 70 که در ایران به V94.2 معروف شده است، در مورد حد مجاز و بیره این توربین اظهارنظر کرده است. لطفاً به واحدهای ارتعاش توجه کنید.

SHARAN II COMBINED CYCLE POWER PLANT				
GT & Auxiliary System - Set Point List				
318	Y.LAGER.2MA	Bearing vibration	9.3 mm/s rms	Absolute vib. - Alarm for high bearing vibration (compressor and turbine)
319	Y.LAGER.2MAG	Bearing vibration	7.1 mm/s rms	Absolute vib. - Alarm for high bearing vibration (generator)
320	Y.LAGER.2MR	Bearing vibration	80 rpm pp	Relative vib. - Alarm for high bearing vibration (compressor and turbine)
321	Y.LAGER.2MRG	Bearing vibration	80 rpm pp	Relative vib. - Alarm for high bearing vibration (generator)
322	Y.LAGER.2SA	Bearing vibration	14.7 mm/s rms	Absolute vib. - Trip for too high bearing vibration (compressor and turbine)
323	Y.LAGER.2SAG	Bearing vibration	12 mm/s rms	Absolute vib. - Trip for too high bearing vibration (generator)
324	Y.LAGER.2SR	Bearing vibration	90 rpm pp	Relative vib. - Shut-down for too high bearing vibration (compressor and turbine)
325	Y.LAGER.2SRG	Bearing vibration	120 rpm pp	Relative vib. - Shut-down for too high bearing vibration (generator)

شکل ۲-۵- اظهارنظر مپنا در مورد حد مجاز و بیره توربین گازی MGT70

همان‌طور که می‌بیند این توربین‌ساز، ویبره نسبی (Relative Vibration) توربین را با واحد (P-P) Peak To Peak و ویبره مطلق (Absolute Vibration) را با RMS نشان داده است. حال ممکن است این سوال برای شما پیش بیاید که چرا در بعضی از ویبره‌های توربین (مثلاً ویبره‌های نسبی) از دامنه سیگنال جابه‌جایی استفاده شده است و چرا در بعضی دیگر (مثلاً ویبره مطلق) از دامنه سیگنال سرعت؟ یا به تعبیری دیگر، کدام واحد دامنه باید ملاک ارزیابی ارتعاشات توربین باشد؟ دامنه جابه‌جایی، دامنه سرعت یا دامنه شتاب؟

◀ کدام واحد دامنه ملاک ارزیابی است؟

برای پاسخ به این سوال فرض کنید می‌خواهید یک مفتول فولادی را با اعمال ارتعاشات شدید و خم و راست کردن مفتول، بشکنید. برای اینکه این کار را زودتر انجام دهید دو راه پیش روی شماست. راهکار اول افزایش دامنه خم کردن سیم و راه حل دوم این است که تعداد دفعات خم و راست کردن سیم را افزایش دهیم. در نتیجه «شدت» عمل خمش تابع «جابه‌جایی» سیم و تعداد دفعات خمش یا «فرکانس» می‌باشد.

از آنجایی که «سرعت»، هر دو مؤلفه «جابه‌جایی» و «فرکانس» را در دل خود جای می‌دهد، بنابراین دامنه سرعت معرف خوبی از «شدت» ارتعاش می‌باشد. در مواردی که شما با ماشین سروکار دارید که ارتعاشات آن افزایش یافته و در ماشین بلبرینگ یا چرخ‌دنده وجود دارد؛ پس می‌توان حدس زد که عیب ماشین ممکن است یک عیب با فرکانس بالا (High Frequency) باشد. پس در این حالت بهتر است سیگنال شتاب را تحلیل نمایید.

$$\text{❖ Displacement} = X \sin(\omega t + \varphi)$$

$$\text{❖ Velocity} = \overset{X\omega}{V} \sin\left(\omega t + \varphi + \frac{\pi}{2}\right)$$

$$\text{❖ Acceleration} = \overset{X\omega^2}{A} \sin(\omega t + \varphi + \pi)$$

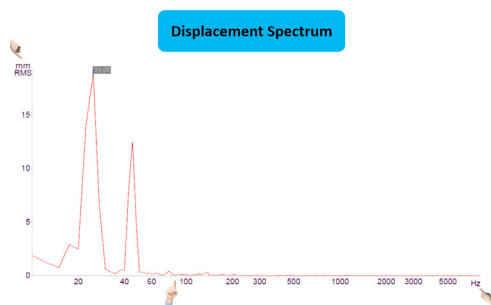
شکل ۲-۶ دامنه جابه‌جایی، سرعت و شتاب

از آنجایی که «سرعت»، هر دو مؤلفه «جابه‌جایی» و «فرکانس» را در دل خود جای می‌دهد، بنابراین دامنه سرعت معرف خوبی از «شدت» ارتعاش می‌باشد.

اینکه روی بدنه الکتروموتور دست گذاشتیم و ارتعاشی احساس نکردم، نتیجه نمی‌دهد که بیرینگ الکتروموتور به یقین سالم است. زیرا اگر بیرینگ خراب باشد خرابی از نوع فرکانس بالا بوده و دست انسان نمی‌تواند فرکانس‌های بالا را حس کند. همچنین ممکن است گفته شود الکتروموتور سروصدا ندارد پس سالم است. در اینجا هم باید بگویم صدای الکتروموتور نماینده ارتعاش نیست و ارتعاش باید به کمک دستگاه آنالیز ارتعاش اندازه‌گیری شود تا بتوانید تحلیل کنید. به‌عنوان یک قاعده کلی می‌بایست در نظر داشت:

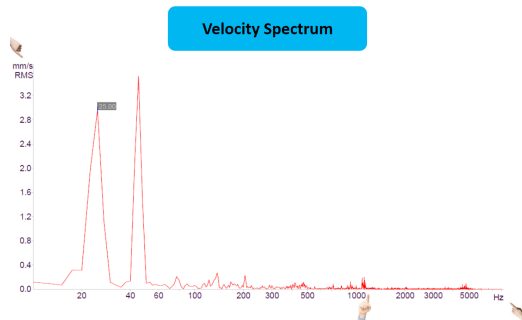
برای عیب‌یابی از ماشین‌هایی با دور کمتر از 600 rpm، از دامنه جابه‌جایی استفاده شود. برای ماشین‌هایی با دور 600 rpm تا 60000 rpm، از دامنه سرعت استفاده شده و در صورتی که دور ماشین بالاتر از 60000 rpm است، حتماً دامنه شتاب ماشین بررسی گردد. به عبارتی در دورهای بالاتر، شتاب نسبت به سرعت و سرعت نسبت به جابه‌جایی، قابلیت آشکارسازی عیوب بیشتری دارد. معمولاً به خاطر اینکه قسمت‌های عمده ماشین‌آلات دوار در سرعت‌هایی بین 006 rpm تا 00006 rpm کار می‌کنند، از سرعت برای اندازه‌گیری و آنالیز ارتعاشات استفاده می‌شود.

اما این قاعده کلی بوده و در همه جا قابل استفاده نیست. اجازه دهید با ارائه یک مثال واقعی، به شرح بیشتر این مطلب بپردازم؛ چند سال پیش به مورد کاوی زیبایی درباره علت افزایش ویبره یک توربین گازی برخورد کردم. ویبره توربین حد آلام خود را رد کرده بود و در ناحیه خطرناکی بهره‌برداری می‌شد. در آغاز، سیگنال اسپکتروم جابه‌جایی (Displacement Spectrum) از این توربین برداشت شد (در مورد اسپکتروم، در فصل شش به تفصیل صحبت می‌شود). همان‌طور که در شکل ۲-۷ مشاهده می‌کنید تا فرکانس 200 Hz، تغییراتی در دامنه ارتعاشات برداشت شده از این توربین مشاهده می‌شد که همگی آنها در محدوده مجاز بود. ولی در فرکانس بیشتر از 200 Hz، اتفاق خاصی در توربین دیده نمی‌شد.



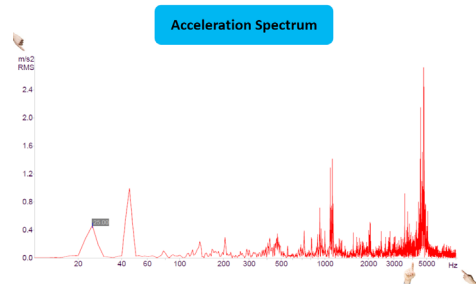
شکل ۲-۷ اسپکتروم جابه‌جایی (Displacement Spectrum)

در ادامه از همان توربین، سیگنال اسپکتروم سرعت (Velocity Spectrum) برداشت شد. این سیگنال نشان‌دهنده تغییرات دامنه سرعت در فرکانس‌های کمتر از 1000 Hz بود. (شکل ۲-۸)



شکل ۲-۸ اسپکتروم سرعت (Velocity Spectrum)

در نهایت از توربین، سیگنال اسپکتروم شتاب (Acceleration Spectrum) برداشت شد. سیگنال اسپکتروم شتاب نشان می‌داد که این توربین در فرکانس 5000 Hz، پیک بزرگی در دامنه شتاب دارد؛ پس اگر می‌خواستیم با سیگنال جابه‌جایی در مورد توربین تصمیم‌گیری کنیم، هیچ‌گاه نمی‌توانستیم عیوب 5000 Hz را به دست آوریم. نقش فرکانس در سیگنال شتاب، به علت ω^2 ، تقویت شده و به همین دلیل به خوبی از نویز جدا می‌شد. پس نگاه صحیح به سیگنال صحیح به عیب‌یابی شما از ماشین منجر می‌شود و اگر در انتخاب هرکدام از موارد گفته‌شده غفلت گردد عیب‌یابی ماشین به بیراهه می‌رود.



شکل ۲-۹ اسپکتروم سرعت (Velocity Spectrum)

اثر فرکانس در سیگنال شتاب، به علت ω^2 ، تقویت شده و به همین خاطر به خوبی از نویز جدا می شود.

در ویدئوی لینک زیر درخصوص «دامنه سیگنال ارتعاشی» توضیحات سودمندی ارائه کرده ایم پس برای مشاهده فیلم به لینک زیر مراجعه کرده یا بارکد را اسکن نمایید.

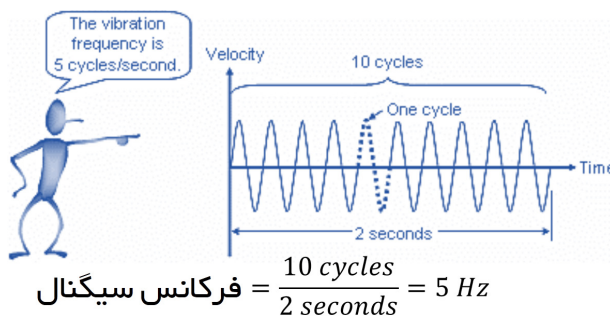
Www.Kordizade.Com/Amplitude



◀ فرکانس سیگنال ارتعاشی

اکنون از شما می خواهیم به فرکانس سیگنال ارتعاشی نگاهی بیندازید. در شروع این بخش نیز سیگنال هارمونیک ساده یا $X \sin(\omega t + \phi)$ برای شما انتخاب شده است.

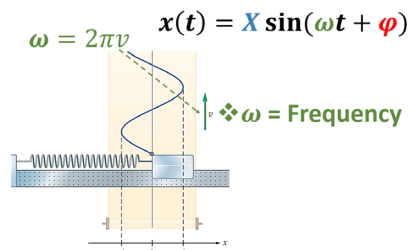
تعداد نوسانات یک سیگنال در یک ثانیه، ω فرکانس (Frequency) سیگنال نامیده شده و با واحد هرتز Hz بیان می شود. به عنوان مثال فرکانس سیگنال نشان داده شده در شکل ۲-۱۰، برابر با ۵ Hz است.



شکل ۲-۱۰ سیگنال با فرکانس ۵ Hz

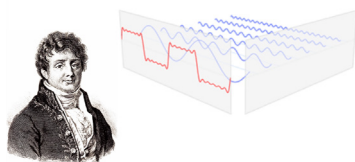
فرکانس نشان دهنده منشاء عیب ماشین است. به عنوان مثال اگر شما خواننده گرامی مقاله همین الان با دست خود ضرباتی با فاصله زمانی یک ثانیه روی میز بزنید؛ با اینکار یک حرکت ارتعاشی با فرکانس ۱ Hz ایجاد کرده اید. حال اگر یک سنسور دستگاه آنالایزر ارتعاشات، نزدیک دست شما و سنسور دوم دستگاه در فاصله ۱۰۰ متری شما به زمین وصل شده باشد، هردوی این سنسورها یک فرکانس را قرائت می کنند. با این تفاوت که سنسور نزدیک به دست شما، ارتعاشات با دامنه بزرگ تری را گزارش می نماید. بنابراین فرکانس ارتعاش در گذر از مسیر تغییر نمی کند و هردو سنسور، فرکانس ۱ Hz را شناسایی می کنند. این نکته زیبا در عیب یابی از تجهیزات دوار بسیار سودمند می باشد.

فرکانس ارتعاش نشان دهنده منشاء عیب ماشین است.

شکل ۱۱-۲ فرکانس ω (Frequency)

◀ قضیه فوریه

How the Vibration Spectrum is Created?



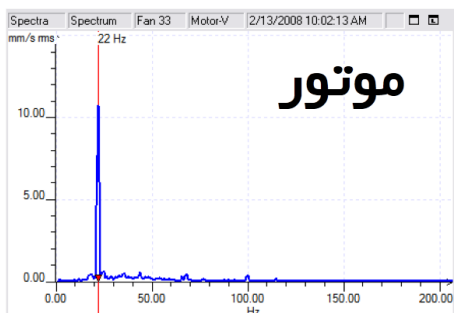
شکل ۱۲-۲ قضیه فوریه

یک دانشمند فرانسوی به نام فوریه، ثابت کرد که می‌توان یک سیگنال مرکب را به سیگنال‌های هارمونیک سازنده‌اش، تجزیه نمود. فوریه پیشنهاد داد به جای بررسی یک سیگنال پیچیده مرکب، سیگنال‌های هارمونیک سازنده‌اش را بررسی نمایید. هرکدام از این سیگنال‌های هارمونیک، یک فرکانس و یک دامنه مختص به خود دارند.

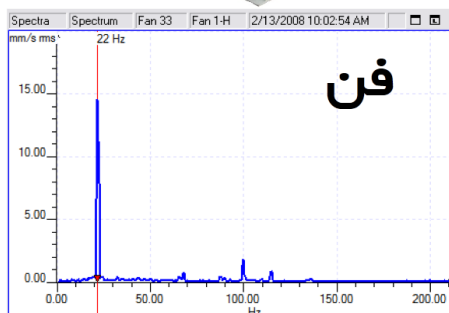
◀ عیب‌یابی فن سانتریفیوژ به کمک فوریه

فرض کنید یک فن سانتریفیوژ توان و گشتاور مورد نیازش را به کمک سیستم تسمه و پولی از یک الکتروموتور دریافت می‌کند. دور الکتروموتور ۱۵۰۰ rpm و دور فن ۱۳۲۰ rpm است. حال با یک دستگاه آنالایزر ارتعاشات و به کمک پرابی که یک‌بار روی فن و بار دیگر روی الکتروموتور می‌گذارید، دو طیف فرکانسی نشان داده در شکل ۲ - ۱۳ را برداشت می‌نمایید. اگر در سیگنال‌های گرفته‌شده از فن و الکتروموتور، افزایش شدید دامنه ارتعاشات در فرکانس ۲۲ Hz را مشاهده کنید؛ به نظر شما فن خراب است یا موتور؟ در پاسخ باید بگوییم از آنجایی که افزایش شدید دامنه ارتعاشات در فرکانس ۲۲ Hz اتفاق افتاده است، این مساله نشان‌دهنده وجود عیب در فن می‌باشد؛ زیرا دور فن ۱۳۲۰ rpm بوده و معادل فرکانس ۲۲ Hz می‌باشد. همان‌طور که قبلاً گفته شد؛ فرکانس ارتعاش در گذر از مسیر تغییر نمی‌کند؛ اما دامنه ارتعاش با فاصله گرفتن دستگاه اندازه‌گیری ارتعاش از محل عیب کاهش یافته و میرا می‌شود.

فن خراب است یا موتور؟



موتور



فن

شکل ۱۳-۲ سیگنال‌های اسپکتروم فن و الکتروموتور

نکته مهم دیگری نیز وجود دارد: فرقی نمی‌کند که شما سیگنال جابه‌جایی (Displacement)، سیگنال سرعت (Velocity) یا سیگنال شتاب (Acceleration) را بخوانید، زیرا همان‌طور که در روابط شکل ۲-۱۴ مشاهده می‌کنید، هرکدام از این سیگنال‌ها فرکانس‌های یکسانی داشته و یک فرکانس را نشان می‌دهند.

$$\diamond \text{ Displacement} = X \sin(\omega t + \varphi)$$

$$\diamond \text{ Velocity} = V \sin\left(\omega t + \varphi + \frac{\pi}{2}\right)$$

$$\diamond \text{ Acceleration} = A \sin(\omega t + \varphi + \pi)$$

شکل ۲-۱۴ فرکانس جابه‌جایی، سرعت و شتاب

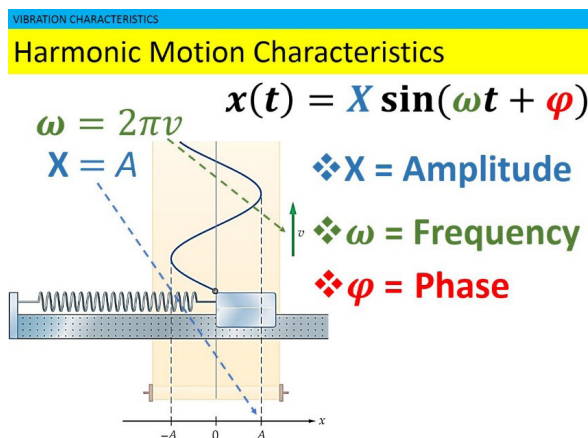
برای یادگیری بهتر «فرکانس سیگنال ارتعاشی» فیلمی رایگان را به شما معرفی می‌کنیم. برای مشاهده فیلم به آدرس Www.Kordizade.Com/Frequency مراجعه کرده و یا بارکد را اسکن نمایید.



فرکانس ارتعاش در گذر از مسیر تغییر نمی‌کند؛ اما دامنه ارتعاش با فاصله گرفتن دستگاه اندازه‌گیری ارتعاش از محل عیب کاهش می‌یابد و میرا می‌شود.

◀ زاویه فاز سیگنال ارتعاشی

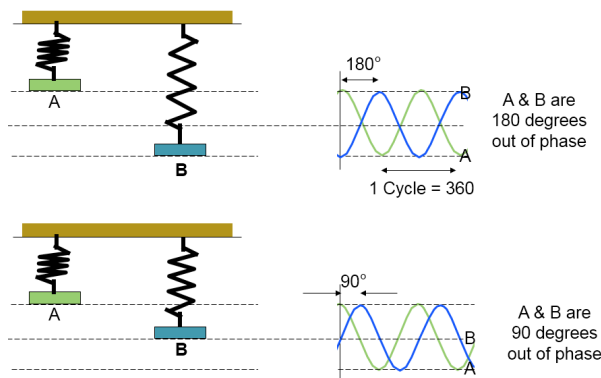
در این قسمت آخرین بخش از سیگنال $X \sin(\omega t + \varphi)$ یعنی زاویه فاز φ (Phase Angle) را برای شما انتخاب کرده و توضیح خواهیم داد.



شکل ۲-۱۵ زاویه فاز

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.

برای تعریف ϕ یا زاویه فاز به شکل ۲-۱۶ نگاه کنید. سیگنال آبی 180° درجه با سیگنال سبز اختلاف فاز دارد. ممکن است بپرسید: دانستن زاویه فاز چه کمکی به آنالیز ارتعاشات می‌کند؟ اینکه من بدانم اختلاف فاز سیگنال آبی و سبز 180° درجه است چه فایده‌ای دارد؟ به عبارتی دیگر چگونه مفهوم ریاضی زاویه فاز را به کاربرد و وسیله‌ای برای عیب‌یابی از ماشین تبدیل کنیم؟



شکل ۲-۱۶ اختلاف فاز سیگنال آبی با سیگنال سبز

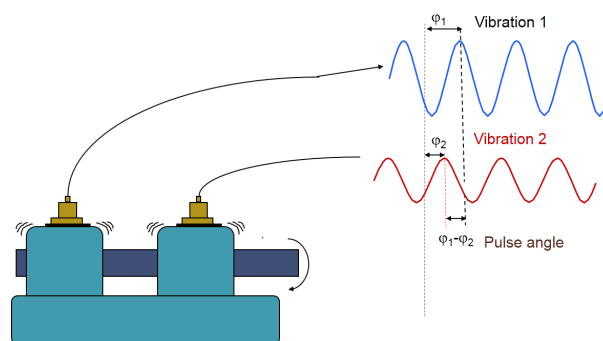
زاویه فاز توالی حرکت را نسبت به یک مرجع مشخص می‌سنجد و از این طریق تصور اینکه ماشین چگونه می‌لرزد، امکان‌پذیر می‌شود. وقتی دونقطه جدا از هم روی یک ماشین، هم‌فاز (In-Phase) باشند زاویه فاز یکسانی داشته و بدون دوران در فضا منتقل می‌شوند و زمانی که این دونقطه غیر هم‌فاز (Out-Of-Phase) باشند حرکت انتقالی خالص وجود ندارد. پس به کمک زاویه فاز، می‌توانید شکل ارتعاش را حدس بزنید؛ به عنوان مثال اگر از ماشینی به کمک دستگاه آنالایزر ارتعاشات داده‌برداری کنید؛ به کمک تحلیل ODS یا Operating Deflection Shape که از مازول‌های بعضی دستگاه‌های آنالایزر ویبره است، به خوبی تغییر شکل نقاط مختلف یک ماشین را مشاهده کنید و این تحلیل می‌تواند به عیب‌یابی ماشین کمک نماید.

◀ اندازه‌گیری زاویه فاز

اندازه‌گیری زاویه فاز به سه روش انجام می‌شود:

روش اول: دستگاه آنالایزر ارتعاشات دوکاناله

همان‌طور که در شکل ۲-۱۷ نشان داده شده، به منظور تعیین زاویه فاز به کمک آنالایزر دوکاناله، پراب اول را به قسمتی از ماشین متصل نموده و ثابت می‌کنیم. سپس با نصب پراب دوم در نقاط مختلف ماشین، اختلاف فاز محل نصب پراب‌ها به دست می‌آید. از مزایای این روش این است که دیگر به گذاشتن برچسب نیازی نیست؛ در نتیجه به توقف ماشین احتیاجی نمی‌باشد. همچنین اختلاف فاز در هر فرکانسی قابل محاسبه است.



شکل ۲-۱۷ اندازه‌گیری زاویه فاز به کمک آنالایزر دوکاناله

روش دوم: دورسنج

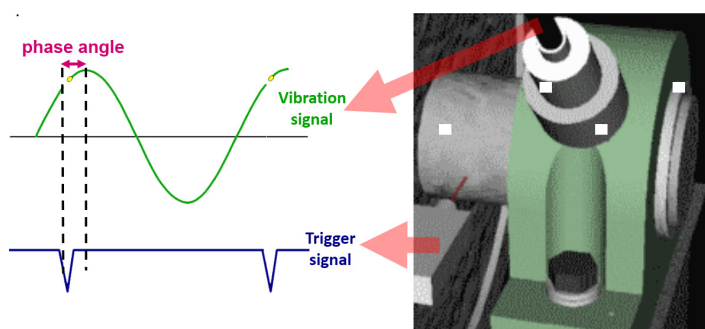
در این روش، یک شتابسنج وجود دارد که به دستگاه آنالیز متصل بوده و سیگنال مرکبی را از ماشین برداشت می‌کند؛ همچنین یک دورسنج یا تریگر (Trigger) که معمولاً لیزرین یا چراغ استریسکوپ (Stroboscope) است نیز وجود دارد که به کمک آن فرکانس دور ماشین یا فرکانس X1 برداشت می‌شود.

دستگاه آنالیز ارتعاشات به کمک تریگر، سیگنال X1 را تشخیص می‌دهد. سپس آنالیز، سیگنال مرکب دریافت شده از سنسور شتابسنج را به هارمونیک‌های تجزیه کرده و بدین ترتیب سیگنال X1 از سیگنال مرکب استخراج می‌شود. در پایان دامنه سیگنال X1 در موقعیت قله (Peak) با خروجی یک از تریگر، مقایسه می‌شود. اختلاف این دو از یکدیگر را «زاویه فاز» می‌گویند.

Step #1 - Mount Trigger

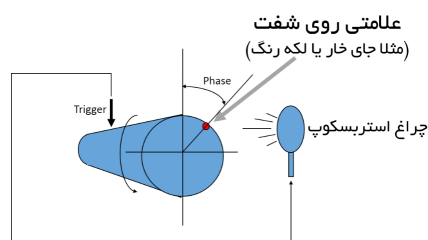
Step #2 - Mount Transducer

Step #3 - Instruct Analyzer to collect a phase measurement.



شکل ۱۸-۲ اندازه‌گیری زاویه فاز

همان‌طور که در شکل ۱۹-۲ مشاهده می‌نمایید، در تعیین زاویه فاز به کمک دورسنج و با استفاده از چراغ استریسکوپ، فرکانس فلش‌زنی را تا زمانی که علامت روی شفت ثابت شود، افزایش دهید (این علامت می‌تواند جای خار یا یک لکه رنگ یا خراش روی شفت باشد). در این روش از خطای دید شما استفاده شده و باعث می‌شود تا شفت دوار ماشین، ثابت به نظر بیاید. وقتی علامت ثابت شد یعنی دور شفت و فرکانس فلش‌زنی استریسکوپ یکی شده است. البته مراقب باشید؛ افزایش فرکانس فلش‌زنی را دقیق انجام داده تا از دور شفت بالاتر نروید. زیرا با دو برابر شدن فرکانس فلش‌زنی، باز هم علامت روی شفت را ثابت می‌بینید، اما محاسبات زاویه فاز اشتباه از آب درمی‌آید. در نهایت دستگاه آنالیز ارتعاشات، اختلاف لحظه‌ای که فلش می‌زند با لحظه‌ای که سنسور متصل به ماشین پیک می‌زند را به عنوان زاویه فاز محاسبه می‌نماید. در صورتی که بخواهید از لیزرین به جای چراغ استریسکوپ استفاده کنید، مجبور هستید برای چسباندن برچسب به شفت، دستگاه را متوقف نمایید. این توقف در توربین‌ها به معنی عدم تولید و صرف هزینه می‌باشد. از دیگر مشکلات ترند کردن زاویه فاز به کمک لیزرین، کثیف شدن صفحه براق است؛ در این صورت برای اندازه‌گیری زاویه فاز، باید ماشین را خاموش کرده و پس از توقف شفت، صفحه براق را تمیز نمایید. توقف‌هایی از این دست در ماشین‌های بزرگ مانند توربین‌ها بسیار پرهزینه است. بنابراین با ایجاد دندانه روی شفت توربین و شمارش دندانه‌ها توسط سنسور ادی کارنت پراکسیمیتی پراب، مشکل کثیف شدن صفحه براق، رفع شده است.



شکل ۱۹-۲ اندازه‌گیری زاویه فاز به کمک دورسنج

دستگاه آنالیز ارتعاشات، اختلاف لحظه‌ای که فلش می‌زند با لحظه‌ای که سنسور متصل به شفت پیک می‌زند را به عنوان زاویه فاز محاسبه می‌نماید.

روش سوم: اسیلوسکوپ

به کمک اسیلوسکوپ نیز می‌توان زاویه فاز را اندازه گرفت. کافی است به این نکته توجه داشته باشیم که زمان تناوب حرکت ارتعاشی (T) معادل با 360° درجه یا 2π رادیان می‌باشد. لذا با اندازه‌گیری فاصله قله ارتعاشات از سیگنال مرجع (که در اسیلوسکوپ معمولاً به صورت یک نقطه در شکل موج ظاهر می‌شود)، می‌توان با یک عملیات ریاضی ساده، تبدیل حوزه زمان به حوزه فاز را انجام داده و زاویه فاز را اندازه‌گیری نمود.

◀ پنج نکته مهم در اندازه‌گیری زاویه فاز

در اندازه‌گیری و تحلیل روند تغییرات زاویه فاز، رعایت این پنج نکته در تناوب‌های اندازه‌گیری ضروری می‌باشد:

اول اینکه محل برچسب براق که موقعیت آن به کمک لیزرین تشخیص داده می‌شود، باید ثابت باشد.

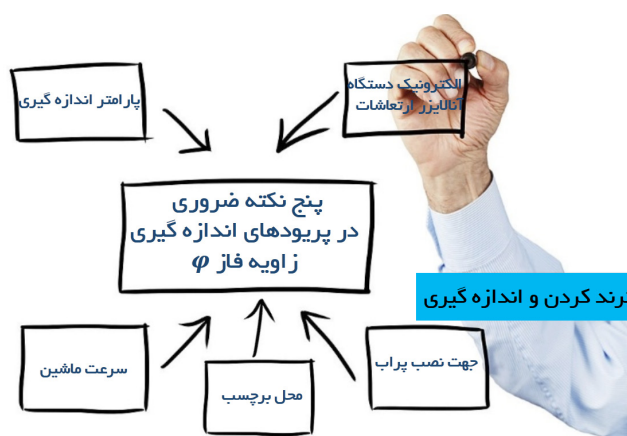
دومین مورد، واحدهای اندازه‌گیری استفاده شده در دستگاه آنالایزر ارتعاشات است. در تمامی اندازه‌گیری‌های زاویه فاز همواره باید یکی از واحدهای سرعت یا شتاب، استفاده شود؛ مثلاً اگر در مهرماه زاویه فاز ماشین را با سیگنال سرعت، محاسبه کرده‌اید، دیگر مجاز نیستید که در دی‌ماه زاویه فاز را با واحد شتاب اندازه‌گیری نمایید.

سومین نکته، الکترونیک و فیلترهای دستگاه می‌باشد. در تمامی زمان‌های اندازه‌گیری زاویه فاز یک ماشین، باید فیلترهای یکسانی را در تنظیمات دستگاه لحاظ کرده باشید. در غیر این صورت مقایسه زاویه فازهای محاسبه شده نادرست می‌باشد.

نکته چهارم این است که باید پراب در جهت‌های یکسان (Same Orientation) نصب شود؛ به عنوان مثال اگر جهت نصب پراب 180° درجه عوض شود، زاویه فاز نیز 180° درجه تغییر می‌کند.

نکته پنجم و آخرین نکته این است: در زمان‌های مختلف اندازه‌گیری زاویه فاز، سرعت ماشین باید یکسان باشد.

در بیشتر مواقع زاویه فاز در ماشین سالم، ثابت و بدون تغییر است. اما زاویه فاز ماشین سالم در تناوب‌های مختلف اندازه‌گیری می‌تواند در محدوده $\pm 2.5\%$ تغییر نماید؛ لذا در صورت مشاهده اختلاف بالاتر از $\pm 2.5\%$ در ترند زاویه فاز، به احتمال زیاد ماشین دچار مشکل شده است.



شکل ۲-۲۰ پنج نکته مهم در اندازه‌گیری زاویه فاز

◀ کاربردهای اندازه‌گیری زاویه فاز

اندازه‌گیری زاویه فاز به‌طور جدی در تشخیص نابالانسی کاربرد دارد. از دیگر کاربردهای زاویه فاز بررسی یکپارچگی (Integrity) شفت می‌باشد. شفتی که یکپارچگی خودش را از دست داده و ترک خورده، به علت ترک، سختیش (K) دچار تغییر شده است. از طرفی زاویه فاز با سختی شفت مرتبط بوده و به همین دلیل با ترک خوردن شفت زاویه فاز نیز عوض می‌شود.

لازم به ذکر است ترک شفت باید خیلی رشد کند تا بتواند در دامنه ارتعاش تغییر ایجاد نماید. بنابراین ترک‌های مویی و مراحل اولیه (Early Stage) شروع ترک به کمک ترند کردن دامنه ارتعاش قابل تشخیص نیست. اما شروع ترک بلافاصله خودش را در زاویه فاز نشان می‌دهد. البته ترند کردن زاویه فاز معمولاً در صنایع انجام نمی‌شود. زیرا همان‌طور که گفته شد، صفحه براق با گذشت زمان کثیف شده و از طرفی توقف شفت و طبیعتاً توقف تولید، جهت برچسب‌گذاری و اندازه‌گیری زاویه فاز در عمل توجیه اقتصادی ندارد. اما در بعضی موارد مانند توربین گازی V94.2 به کمک دندانه‌های موجود روی شفت میانی توربین و ژنراتور، ترند کردن زاویه فاز قابل انجام است.

- عیب یابی
- بالانس کردن
- یکپارچگی شفت



شکل ۲-۲۱ کاربردهای اندازه‌گیری زاویه فاز

از طریق لینک زیر می‌توانید به سادگی آموزش ببینید که زاویه فاز سیگنال ارتعاشی چطور اندازه‌گیری شده و چه نکاتی باید در حین اندازه‌گیری رعایت شود.

www.kordizade.com/phase

