

شناسایی عیب لقی ماشین‌ها به کمک آنالیز ارتعاشات

واژه‌های کلیدی

لقی، آنالیز ارتعاشات



سعید کردی زاده
شرکت مدیریت تولید برق منتظر قائم
kordizade.s@gmail.com



مقدمه

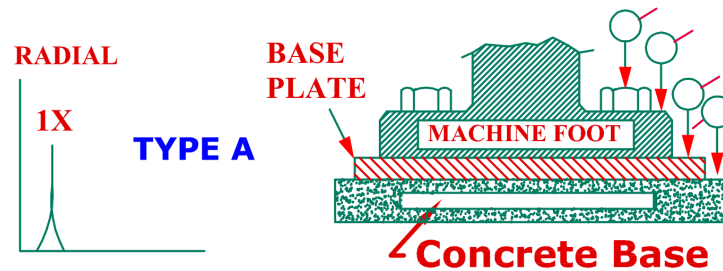
فاصله ناخواسته بین قسمت‌های درگیر ماشین، لقی^۱ نامیده می‌شود. لقی زیاد بیرینگ‌ها، پیچ‌های شل، قسمت‌هایی که خوب جفت نشده‌اند و ترک خوردگی پایه بیرینگ‌ها و سازه‌ها و لقی شفت یا اجزای متصل به آن، از عوامل ایجاد لقی هستند. ارتعاشات ناشی از لقی با نیروی محرک دیگری مثل آنبالانسی یا ناهم محوری، تحریک می‌شود. به عبارت دیگر، اگر این عیوب در ماشین وجود نداشته باشند، ماشین حتی با وجود عیب لقی، ارتعاشات ناچیزی دارد. شایان ذکر است، در صورت وجود لقی، ارتعاش جهت‌دار است (یعنی ارتعاش فقط در یک جهت خاص دامنه بزرگی دارد) زیرا معمولاً در یک جهت ضعف لقی وجود دارد و دامنه و فاز نسبت به تغییر سرعت ماشین تغییر چشمگیری نمی‌کنند. در پژوهش حاضر انواع لقی معرفی و راهکارهای شناسایی آنها به کمک آنالیز ارتعاشات بررسی می‌گردد.

^۱ Looseness

لقی سازه‌ای

اگر بین سطوح شاسی ماشین^۲، فونداسیون^۳ و سیمان پایه^۴ درگیری کامل برقرار نشود و نسبت به هم حرکت داشته باشند، لقی سازه‌ای^۵ پدید می‌آید. این نوع لقی معمولاً به علت فرسایش سیمان پایه، گروت و شکسته شدن آن و نیز لقی پیچ‌های پایه و تغییر شکل شاسی، رخ می‌دهد. در نتیجه لقی، ماشین در راستایی از فونداسیون که به خاطر این عیب ضعیف شده است، آزادی بیشتری برای ارتعاش پیدا می‌کند. همان گونه که در شکل (۱) مشاهده می‌کنید، در طیف فرکانسی عیب لقی، دامنه غالب در 1X و در راستای افقی اتفاق افتاده است که سازه بیشترین ضعف را دارد. شاید این پرسش برایتان پیش بیاید که در عیب آنبالانسی نیز، بیشترین دامنه در فرکانس 1X اتفاق می‌افتاد و چگونه این دو را از یکدیگر تشخیص دهیم؟ در پاسخ می‌توان گفت در صورتی که دامنه ارتعاشات شعاعی ماشین در جهت افقی، بیش از دو برابر جهت عمودی باشد، به احتمال زیاد، عیب ماشین لقی است.

ممکن است در اندازه‌گیری زاویه فاز، اختلاف فاز ۹۰ تا ۱۸۰ درجه را بین اندازه‌گیری‌های روی پیچ، پایه ماشین یا فونداسیون مشاهده کنید. همچنین چنانچه سنسور را در راستای عمود بر اتصالات پایه ماشین یا در راستای عمود بر پیچ‌ها و پایه‌های ماشین حرکت دهید، باید تغییرات فاز را مشاهده نمایید.



شکل ۱- لقی سازه‌ای

لقی نگهدارنده بیرینگ

لقی نگهدارنده بیرینگ معمولاً به دلیل شل شدن و ترک خوردن اتصالات یاتاقان پیش می‌آید. به عبارت دیگر، عواملی مانند شل شدن پیچ‌های نگه‌دارنده، ترک در شاسی، سازه یا نگهدارنده بیرینگ‌ها از نوع پیلو بلاک بیرینگ^۶ لقی نگهدارنده بیرینگ^۷ را باعث می‌شود. همان گونه که در شکل (۲) مشاهده می‌کنید، در ماشینی که دچار آسیب در پیلو بلاک بیرینگ و لقی شده است، دامنه غالب ارتعاشات، در فرکانس 2X رخ می‌دهد.

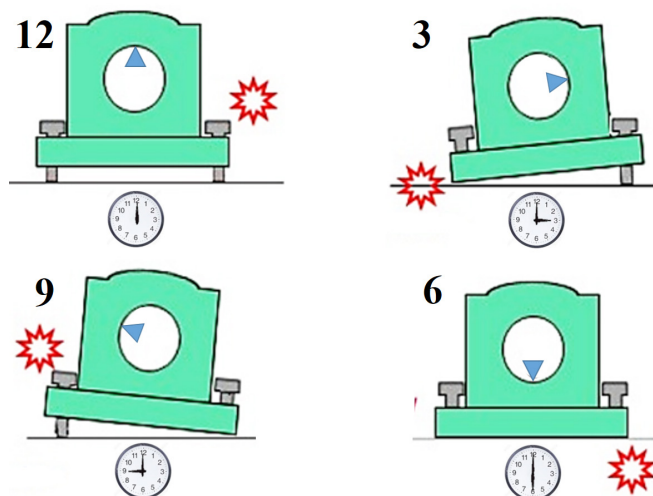


شکل ۲- لقی نگهدارنده بیرینگ

- 2 Machine Foot
- 3 Base Plate
- 4 Concret Base
- 5 Structural Looseness
- 6

- 6 Pillow Block Bearing
- 7 Loose Pedestal Bearings

برای تحلیل بهتر این موضوع، به شکل (۳) نگاه کنید. فرض کنید این شفت مقداری آنبالانسی دارد (مثلاً آبی‌رنگ) و درعین حال، از لقی بیرینگ نیز رنج می‌برد.



شکل ۳- آنبالانسی شفت و لقی نگهدارنده بیرینگ

تصور کنید این شفت، در جهت عقربه‌های ساعت، دوران می‌کند. وقتی قسمت سنگین شفت (مثلاً آبی) در موقعیت ساعت شش باشد، جهت نیروی آنبالانسی به سمت پایین است و بیرینگ را نیز به طرف پایه‌ها می‌راند. اما وقتی قسمت سنگین شفت در موقعیت ساعت دوازده قرار بگیرد، نیروی آنبالانسی به سمت بالا اعمال می‌شود و بیرینگ را به طرف بالا فشار می‌دهد و بلند می‌کند. همچنین وقتی قسمت سنگین به موقعیت ساعت سه و ساعت نه می‌رسد، نیروی آنبالانسی به طرف پهلو اعمال می‌شود و بیرینگ روی یکی از پایه‌ها می‌افتد. بنابراین در یک دور کامل شفت، دو بار به پایه بیرینگ نیرو وارد می‌شود و به همین دلیل، فرکانس ارتعاش $2X$ است. از آنجایی که ماشین پیوسته از فونداسیون جدا می‌شود و دوباره به فونداسیون برخورد می‌کند، در نتیجه همه هارمونیک‌های دور ماشین، تحریک می‌شود.

لقی دورانی

بخش‌هایی از ماشین که انطباق درستی ندارند، لقی دورانی^۸ را پدید می‌آورند. انواع شایع این نوع لقی عبارتند از:

- لقی رینگ خارجی بیرینگ در هوزینگ یا درپوش^۹ نگهدارنده بیرینگ.

- لقی رینگ داخلی بیرینگ روی شفت.

- لقی ساچمه.

- لقی پروانه روی شفت.

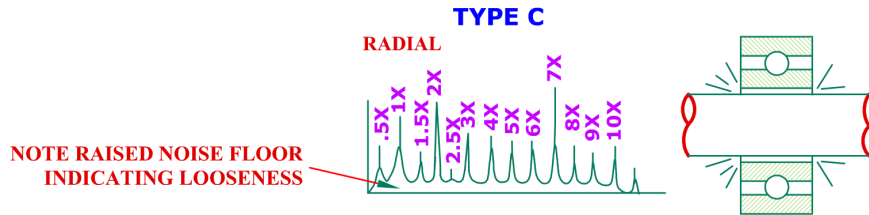
زاویه فاز در لقی‌های دورانی، بیشتر ناپایدار است و ممکن است در هر اندازه‌گیری، تغییر زیادی داشته باشد؛ به‌خصوص اگر موقعیت شفت، از یک استارت تا استارت بعدی عوض شود. همچنین لقی دورانی، اغلب بسیار جهت‌دار است و امکان دارد باعث خوانش‌های کاملاً متفاوتی شود. بنابراین پیشنهاد می‌کنیم اگر دستگاه آنالایزر ارتعاشات، می‌تواند زاویه فاز را به صورت زنده^{۱۰} نشان دهد، پایدار بودن یا نبودن زاویه فاز در نقاط مختلف ماشین، بررسی شود.

8 Rotating Looseness

9 Cap

10 Live Phase

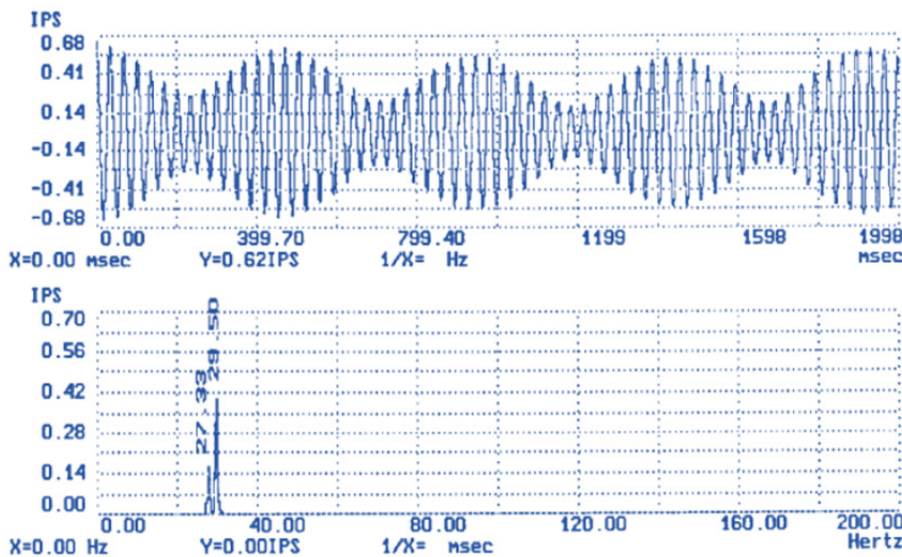
ضربه‌های حاصل از لقی دورانی در شکل موج زمانی، با واحد شتاب به خوبی دیده می‌شود و از این منظر، مشاهده سیگنال حوزه زمان، در تشخیص این عیب سودمند است. همچنین در صورت استفاده از تکنیک انولوپ، باید هارمونیک‌های 1X مشاهده شوند. شکل (۴) طیف فرکانسی لقی دورانی را نشان می‌دهد.



شکل ۴- طیف فرکانسی لقی دورانی

پدیده ضربان به علت چرخش رینگ داخلی بیرینگ روی شفت

یکی از عیوب رایج در بیرینگ‌ها، عیب لقی بین رینگ داخلی بیرینگ و شفت است. این عیب به مرور زمان و بر اثر سایش بین اجزایی که با هم در تماسند و تغییر تلرانس‌ها ایجاد می‌شود و در نهایت، حرکت نسبی رینگ داخلی را نسبت به شفت در پی دارد. این حرکت نسبی می‌تواند به افزایش ارتعاش، سروصدا و لاغر شدن شفت منجر شود و خرابی‌های دیگری به بار بیاورد. برای مثال، یک فن سانتریفیوژ را تصور کنید که با شفتی با دو بیرینگ در دو انتها، مهار شده و در حال دوران است. همچنین رینگ داخلی یکی از این بیرینگ‌ها، روی شفت چرخش ناچیزی دارد. در تجهیزات دوار اگر بیرینگ روی شفت بچرخد، در نمودار طیف فرکانسی (شکل ۵)، دو فرکانس غالب دارد. فرکانس غالب اول، برابر فرکانس یک دور شفت یا 1X است و فرکانس غالب دوم، اندکی از 1X کمتر و در نتیجه، چرخش رینگ داخلی بیرینگ به وجود آمده است.



1X برابر 29.50 Hz و فرکانس کمتر از 1X، 27.33 Hz است. اختلاف بین این دو فرکانس یا AF، همان سرعت چرخش رینگ داخلی بیرینگ نسبت به شفت است. سیگنال زمانی نیز حاوی شکلی از پدیده ضربان به علت هم‌فاز و غیرهم‌فاز شدن این دو فرکانس است.

شکل ۵- طیف فرکانسی و سیگنال حوزه زمان پدیده ضربان

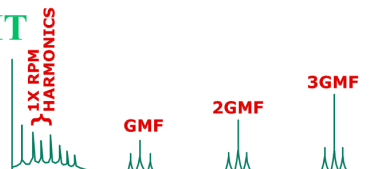
نکته قابل ذکر این است که زمانی که رینگ داخلی روی شفت لقی دارد، نشانه‌هایی شبیه آنبالانسی در طیف‌های فرکانسی دیده می‌شود. دلیل آنبالانسی این است که لقی رینگ داخلی بیرینگ روی شفت، سبب جابه‌جایی مرکز ثقل پروانه فن می‌شود و به همین دلیل، 1X در طیف فرکانسی دیده می‌شود. بنابراین اگر فقط نمودار طیف فرکانسی دیده شود، امکان دارد با عیب آنبالانسی اشتباه گرفته شود. بیشتر افراد سعی می‌کنند این مشکل را با بالانس کردن فن، حل کنند که چنین تلاش‌هایی، معمولاً موفقیت‌آمیز نیستند.

لقی بیرینگ‌های نگهدارنده چرخ‌دنده‌ها

چرخ‌دنده‌های ساییده شده و دارای لقی، باعث ایجاد باند وسیع نوپز سفید در قسمت بالای محور افقی در طیف فرکانسی خواهند شد. وجود این نوپز معمولاً بیانگر حرکت غیر قابل پیش‌بینی چرخ‌دنده‌ها است. در بعضی مواقع طیف فرکانسی می‌تواند حاوی پیک‌هایی با اختلاف فرکانسی سرعت چرخشی چرخ‌دنده لقی باشد. همچنین اگر در هنگام نصب، بیرینگ شفت در داخل هوزینگ خودش لقی داشته باشد، احتمال حضور هارمونیک چهارم دور شفت در طیف فرکانسی وجود خواهد داشت. این فرکانس می‌تواند به صورت یک فرکانس گسسته در طیف فرکانسی حاضر شده یا فرکانس درگیری دندانه¹¹ (GMF) را مدوله کند. فرکانس درگیری دندانه نشان‌دهنده یا فرکانسی است که در آن دندانه‌های چرخ‌دنده با هم درگیر می‌شوند. در چنین مواردی فرکانس چهار برابر دور شفت در سمت چپ پیک فرکانسی GMF و با فرکانس زیر (یعنی GMF - 1X) دیده خواهد شد.

به این مطلب توجه داشته باشید که اگر در فرکانس GMF - 1X پیک فرکانسی داشته باشیم، نشان از **خاج** از مرکز بودن دنده است. به طور معمول بیرینگ درون هوزینگ خود لق شده و مشکل لقی را پدید می‌آورند. در مواقعی که ساید باند در هر دو طرف GMF وجود داشته باشد، وقوع همزمان عیوب لقی و خاج از مرکزی محتمل خواهد بود. اگر چرخ‌دنده خارج از مرکز باشد، فاز میان GMF و خارج از مرکزی ثابت خواهد ماند و در نتیجه فرکانس چهار برابر دور شفت به فرکانس GMF اضافه خواهد شد. از سوی دیگر اگر چرخ‌دنده لقی باشد، فاز مربوطه تغییر خواهد کرد و در نتیجه فرکانس چهار برابر دور از فرکانس GMF کاسته خواهد شد. لقی بیش از حد بیرینگ‌های¹² نگهدارنده شفت چرخ‌دنده‌ها، نه تنها می‌تواند بسیاری از هارمونیک‌های 1X را تحریک کند، بلکه معمولاً باعث دامنه‌های غالب پاسخ ارتعاشی در GMF، 2GMF و یا حتی 3GMF می‌شود. این دامنه‌های غالب GMF، به علت لقی درون بیرینگ‌ها ایجاد می‌شود. چنین لقی‌های زیادی می‌تواند به دلیل سایش زیاد بیرینگ یا نصب نادرست یا تاقان زورنال روی شفت باشد. بی‌توجهی و تعمیر نکردن این عیب به سایش زیاد چرخ‌دنده‌ها منجر می‌شود.

I. LOOSE BEARING FIT



شکل ۶- لقی بیرینگ‌های نگهدارنده

در جعبه‌دنده‌هایی که در صنعت استفاده می‌شوند، بیرینگ‌های دو سمت هر یک از شفت‌های میانی، از یک نوع است و به همین دلیل، در صورت خراب شدن یکی از بیرینگ‌ها، تعیین موقعیت بیرینگ معیوب، به خاطر یکسان بودن فرکانس‌های خرابی دو بیرینگ، دشوار است. این مشکل زمانی که امکان دسترسی به تجهیز برای جابه‌جایی مکان داده‌برداری میسر نباشد، حادتر می‌شود.

منابع

- [1] Victor Wowk. machinery vibration: measurement and analysis, mcgraw-hill, 1991.
- [2] Xu, Peng, Ahmad Ghasemloonia, and Qiao Sun. "Automatic band selection algorithm for envelope analysis." Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science 233.5, 1641-1654, 2019.
- [۳] آسمانی، یاسر «تشخیص عیوب جعبه‌دنده‌ها با استفاده از آنالیز طیف فرکانسی ارتعاشی»، ماهنامه علمی تخصصی فن آوری سیمان، تیر ۱۳۹۵.
- [۴] مهربابیان، محمدجواد، پاک‌بین، مهران، «تشخیص لقی در نشیمنگاه بیرینگ موتور مدیوم ولتاژ از طریق آنالیز فرکانسی روتور»، چهارمین کنفرانس تخصصی پایش وضعیت و عیب‌یابی، تهران، دانشگاه صنعتی شریف اسفند ۱۳۹۲.

11 Gear Mesh Frequency

12 Loose Bearing Fit