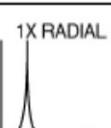
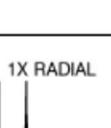
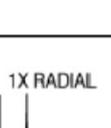
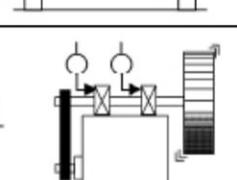
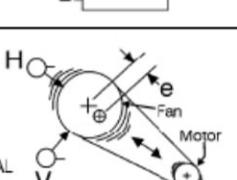
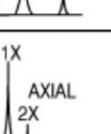
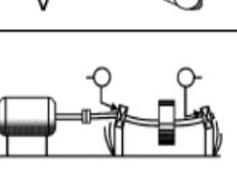
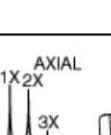
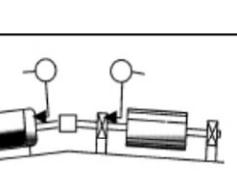
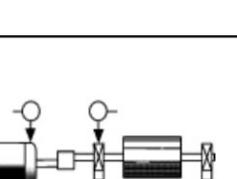
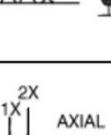
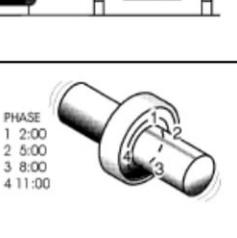
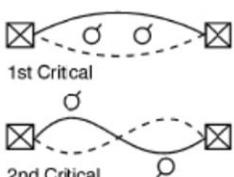
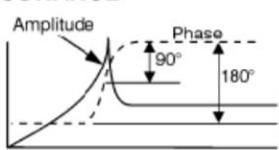
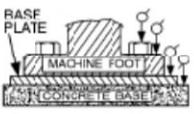
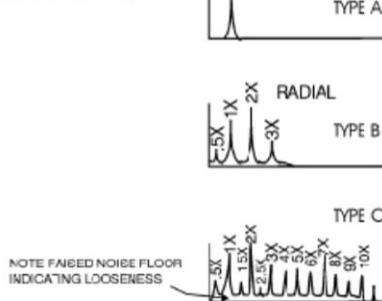




<b>MASS UNBALANCE</b> <b>A. FORCE UNBALANCE</b>	 	در نابالانسی تک صفحه‌ای (Force unbalance) هم فاز و پایدار می‌باشد. دامنه ارتعاش زیر اولین سرعت بحرانی متناسب با مربع سرعت رشد می‌کند (افزایش سه برابری سرعت باعث رشد ۹ برابری ارتعاش می‌شود). ۱RPM همیشه وجود دارد و معمولاً در طیف شاخص است. تنها با قرار دادن یک وزنه اصلحی در یک صفحه در مرکز نقل روتور (CG) می‌توان عیب را برطرف نمود. بین جهت افقی بیرینگ‌های دو طرف شافت اختلاف فاز تقریباً صفر وجود دارد و به همین ترتیب در جهت عمودی دو بیرینگ دو طرف شافت، همچنین اختلاف فاز تقریبی ۹۰ درجه بین قرات‌های جهت افقی و عمودی در طرف نابالانسی، شافت ایجاد می‌شود ( $\pm 30^\circ$ ).
<b>B. COUPLE UNBALANCE</b>	 	نابالانسی کوبیلینگ باعث اختلاف فاز ۱۸۰ درجه روی شافت می‌شود. ۱RPM همیشه وجود دارد و معمولاً در طیف شاخص است. دامنه ارتعاش زیر اولین سرعت بحرانی متناسب با مربع سرعت رشد می‌کند. باعث رشد ارتعاش محوری و شعاعی می‌شود. جرم اصلحی حداقل باید در دو صفحه اعمال شود. بخطار داشته باشید اختلاف فاز ۱۸۰ درجه بین جهت افقی بیرینگ‌های دو طرف شافت باید وجود داشته باشد و به همین ترتیب در جهت عمودی دو بیرینگ دو طرف شافت، همچنین اختلاف فاز تقریبی ۹۰ درجه بین قرات‌های جهت افقی و عمودی در هر بیرینگ طرفین شافت نیز باید وجود داشته باشد ( $\pm 30^\circ$ ).
<b>C. DYNAMIC UNBALANCE</b>	 	نابالانسی دینامیکی شایع ترین نوع نابالانسی است و ترکیبی از نابالانسی کوبیل و تک صفحه ای می‌باشد. ۱RPM در طیف شاخص است، و اصلاح در دو صفحه را نیاز دارد. اختلاف فاز شعاعی بین بیرینگ‌های دو طرف شافت می‌تواند از صفر تا ۱۸۰ درجه باشد. با این حال، هنگامی که اندازه گیری از بیرینگ‌های دو طرف شافت انجام می‌شود، اختلاف فاز افقی باید نزدیک اختلاف فاز عمودی باشد ( $\pm 30^\circ$ ). همچنین اگر نابالانسی زیاد باشد، اختلاف فاز بین قرات‌های افقی و عمودی هر بیرینگ باید ۹۰ درجه باشد ( $\pm 40^\circ$ ).
<b>D. OVERHUNG ROTOR UNBALANCE</b>	 	نابالانسی روتور Overhung باعث ۱RPM زیاد در جهات شعاعی و محوری می‌شود. قرات‌های محوری نزدیک دارند که هم فاز باشند. در حالیکه قرات‌های فاز شعاعی ممکن است ناپایدار باشند. با این حال، اختلاف فازهای افقی معمولاً نزدیک اختلاف فازهای عمودی روتور نابالانسی می‌باشد ( $\pm 30^\circ$ ). روتورهای Overhung هر دو نوع نابالانسی کوبیل و تک صفحه ای را دارند، که هر کدام نیاز به اصلاح دارند. نابالانسی، جرم‌های اصلحی همیشه باید روی دو صفحه اعمال شوند تا هر دو نوع نابالانسی رفع شوند.
<b>ECCENTRIC ROTOR</b>	 	خارج از مرکزی و قوتی حادث می‌شود که مرکز دوران به موازات خط مرکز هندسی روتور باشد. بیشترین ارتعاش در ۱RPM روتور خارج از مرکز در جهت خط مرکز دو روتور بوجود می‌آید. مقایسه قرات‌های فاز افقی و عمودی معمولاً اختلاف ۱۸۰ را نشان می‌دهد. (در جهت خط حرکت ۱۸۰ درجه را نشان می‌دهد). تلاش برای بالاتر روتور خارج از مرکز باعث کاهش ارتعاش شعاعی در یک جهت دیگر می‌شود (بستگی به میزان خارج از مرکزی دارد)
<b>BENT SHAFT</b>	 	خدمیده گی شافت باعث ارتعاش محوری زیادی می‌شود. همچنین اختلاف فاز ۱۸۰ درجه روی بیرینگ‌های دو طرف شافت در جهت محوری ایجاد می‌شود. اگر خمیده گی در نزدیکی سطح شافت باشد بیشترین ارتعاش در ۱RPM است اما اگر نزدیک کوبیلینگ باشد ۲RPM شاخص است. (هنگام اندازه گیری زاویه فاز در صورتی که پروف را ۱۸۰ درجه برمهی گردانید باید درجه به مقدار اندازه گیری شده اضافه کنید). برای تایید خمیده گی شافت از ساعت اندیکاتور استفاده نمایید.
<b>MISALIGNMENT</b> <b>A. ANGULAR MISALIGNMENT</b>	 	عدم هم محوری زاویه ای با ارتعاش محوری زیاد و اختلاف فاز ۱۸۰ درجه دو طرف کوبیلینگ شناخته می‌شود. معمولاً دامنه زیاد ارتعاش ۲RPM و ۱ وجود دارد. اما وجود هارمونیک‌های ۳RPM ۲ و ۱ نیز رایج است. البته این نشانه‌ها معروف خرابی کوبیلینگ نیز می‌باشد. اگر شدت عدم هم محوری زیاد باشد هارمونیک‌های بیشتری از ۱RPM تحریک می‌شوند. برخلاف لقی مکانیکی این هارمونیک‌ها عموماً باعث رشد ارتعاش سطح (Floor) طیف نمی‌شوند.
<b>B. PARALLEL MISALIGNMENT</b>	 	عدم هم محوری زاویه ای همان نشانه‌های حالت زاویه ای را دارد. اما ارتعاش شعاعی زیاد است که در دو طرف کوبیلینگ در جهت شعاعی ۱۸۰ درجه اختلاف فاز دارد. اغلب ۲RPM بیشتر از ۱RPM است، اما بزرگ تر بودن آن نسبت به ۱RPM به نوع کوبیلینگ و ساختار آن بستگی دارد. وقتی عدم هم محوری زاویه ای شدید باشد هارمونیک‌های بالا (۸x و ۴x) نیز وجود دارد، یا حتی سری هارمونیک‌هایی نظری لقی تا فرکانس‌های بالا ظاهر می‌شوند. هنگامی که عدم هم محوری شدید باشد اغلب نوع کوبیلینگ و جنس آن اثر زیادی روی کل طیف دارد. اما عموماً ارتعاش سطح (Noise Floor) طیف زیاد نمی‌شود.
<b>C. MISALIGNED BEARING COCKED ON SHAFT</b>	 	عدم هم محوری بیرینگ و شافت نیز ارتعاش محوری قابل توجهی تولید می‌کند که باعث حرکت پیچشی با اختلاف فاز ۱۸۰ درجه نقطه بالا و پایین یا چپ و راست صفحه محوری هوزینگ بیرینگ می‌شود. تلاش برای هم محوری کوبیلینگ یا بالانس روتور مشکل را حل نمی‌کند. معمولاً باید بیرینگ را در آورد و بطور صحیح نصب کرد.

**RESONANCE**

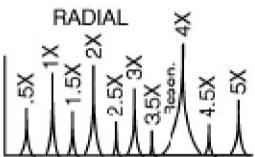
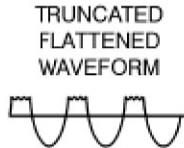
روزناس و قتی ایجاد می شود که فرکانس تحریک بر فرکانس طبیعی سیستم منطبق شود که می تواند باعث افزایش شدید ارتعاش شود که ممکن است باعث خرابی زودرس یا حتی خرابی های سنگین شود. فرکانس طبیعی ممکن است از روتور باشد، اما اغلب از شناسی، فونداسیون، گیربینکس یا حتی تسمه می باشد. اگر روتور نزدیک فرکانس طبیعی کار کند، بالا ن آن تقریباً غیر ممکن است جرا که تغییر فاز زیاد می باشد (عنی ۹۰ درجه در روزناس و ۱۸۰ درجه در گذر از آن)، لازم است فرکانس طبیعی جابجا شود. عموماً نمی توان با تغییر سرعت فرکانس تحریک را تغییر داد به نحوی که به ساده گی مشخصات آن تغییر یابد (مگر در ماشین های با بیرینگ بزرگ یا در روتورهایی که خیلی Overhung هستند).

**MECHANICAL LOOSENESS**

لقو مکانیکی معمولاً با سه نوع طیف ارتعاشی A, B و C شناخته می شود.  
نوع A به علت لقو یا ضعف پایه ماشین، base plate یا فونداسیون؛ همچنین فرسایش گروت، لقو پیچ های پایه، یا تغییر شکل شاسی با پایه (مانند Soft Foot) ایجاد می شود. آنالیز فاز ممکن است اختلاف فاز ۹۰ تا ۱۸۰ درجه را بین اندازه گیری های روی پیچ، پایه ماشین، یا base plate را نشان دهد.

نوع B عموماً ناشی از پیچ های قطعه نگهدارنده، ترک در شناسی، سازه یا نگهدارنده بیرینگ می باشد.

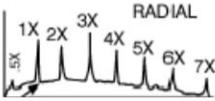
نوع C عموماً ناشی از لقو قطعات نصب شده روی هم می باشد که باعث ایجاد هارمونیک هایی ناشی از پاسخ غیر خطی قطعات شل به نیروهای دینامیکی روتور می باشد. باعث کوتاه سازی شکل موج زمان و افزایش noise floor طیف می شود. نوع C اغلب ناشی از لقو لاینر بیرینگ در درپوش (Cap)، لقو بیرینگ و چرخش آن روی شافت، لقو زیاد در Sleeve ساجمه ای، لقو پروانه روی شافت و غیره می باشد. در نوع C فاز اغلب نایابدار است و ممکن است از یک اندازه گیری تا اندازه گیری بعدی خیلی تغییر کند، خصوصاً اگر موقعیت روتور از یک استارت تا استارت بعدی تغییر کند. لقو مکانیکی اغلب خیلی جهت دار است و ممکن است باعث قرأت های خیلی متفاوتی شود وقتی اندازه ارتعاش در جهت شعاعی دور تا دور روی هوزینگ بیرینگ در هر ۳۰ درجه مقایسه شود رشد را نشان می دهد. همچنین، به خاطر داشته باشید لقو باعث Sub harmonic دقیقاً روی ۰.5X، 1.5X و غیره می شود.

**ROTOR RUB**

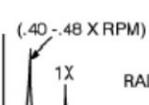
وقتی قطعات دور با قسمت های تاب تتماس می یابند سایش روتور طیفی مشابه لقو مکانیکی ایجاد می کند. سایش ممکن است جزئی یا با کل شافت باشد. که معمولاً سری از فرکانس ها تولید می کند. که یک چند هارمونیک را تحریک می کند. اغلب این فرکانس ها کسری از سرعت دوران می باشند ( $n/1, 2, 1/3, 1/4, 1/5, 1/6, 1/7$ ). که بستگی به موقعیت فرکانس های طبیعی روتور دارد. سایش روتور می تواند بسیاری از فرکانس های بالا را تحریک کند (مانند باند پهن نویزی که هنگام کشیدن گچ روی تخته سیاه ایجاد می شود). اگر علت آن تتماس باشد این اشکال ممکن است تواند خیلی جدی باشد. سایش حلقوی کامل در کل چرخش شافت می تواند تقدم معکوس (reverse precession) با چرخش روتور در سرعت بحرانی در جهت مختلف چرخش شافت ایجاد کند (نایابداری ذاتی که می تواند باعث خرابی سنگین شود).

**JOURNAL BEARINGS**  
**A. WEAR/CLEARANCE PROBLEMS**

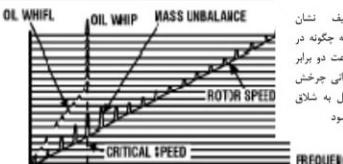
NOTE RAISED NOISE FLOOR INDICATING CLEARANCE/LOOSENESS.



مراحل بعدی سایش ژورنال بیرینگ معمولاً همراه است با وجود سری کامل از هارمونیک های دوران (تا ۲۰ یا ۲۰ هارمونیک). ژورنال بیرینگی که لقو کمی داشته باشد اغلب ارتعاش عمودی زیادی در مقایسه با جهت افقی ایجاد می کند اما تنها یک پیک قابل توجه در 1RPM ایجاد می شود. بیرینگ های ژورنال با لقو زیادی ممکن است باعث نابالانسی یا عدم هم محوری شود که سبب می شود ارتعاش بالایی ایجاد شود که در صورتیکه لقو به حد مجاز برگردانده شود کاهش ملاحظه ای می کند.

**B. OIL WHIRL INSTABILITY**

نایابداری چرخش رogen در ۰.۴ - ۰.۴۸ RPM ظاهر می شود و اغلب دقیق است. وقتی دامنه بیش از ۴۰٪ لقو بیرینگ باشد زیاد فرض می شود. چرخش رogen فیلم روغنی است که ارتعاش را تحریک کرده و ناشی از انحراف از شایط کارکرد نرمآل می باشد. (وضع زاویه و نسبت خارج از مرکزی) باعث می شود گوه روغن شافت را حول بیرینگ فشار دهد. نیروی موازن کشیده در جهت دوران حاصل این چرخش است (جلو افتادن تقدم forwards precession) چرخش روغن نایابدار است چرا که نیروهای گیری از مرکز را افزایش می دهد که نیروی چرخش نیز افزایش می یابد و می تواند باعث شود شافت بیشتر نگه داشته نشود و وقتی فرکانس چرخش منطبق با فرکانس طبیعی روتور شود نایابدار می شود. تغییرات در گرانبروی روغن، فشار روانکار و پیش بارهای بیرونی می توانند چرخش روغن را تحت تأثیر قرار دهد.

**C. OIL WHIP INSTABILITY**

نقشه طبق شناس

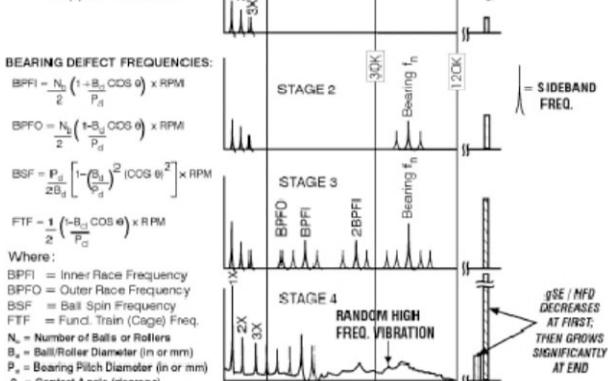
اگر ماشین در ۲ برابر یا بالاتر فرکانس بحرانی کار کند ممکن است شلاق روغن حادث شود. وقتی روتور بالاتر از دو برابر دور بحرانی برسد، چرخش روغن خیلی به فرکانس بحرانی روتور نزدیک می شود و ممکن است باعث ارتعاش زیادی شود که ممکن است فیلم روغن دیگر تاب تحمل شافت را نداشته باشد. سرعت چرخش بطور واقعی روی فرکانس بحرانی روتور قفل می شود و این پیک حتی با کذرا از آن و بالاتر بردن سرعت ماشین محو نخواهد شد. که باعث ایجاد پیشروعی به طرف افقی ارتعاش Sub harmonic در فرکانس بحرانی می شود. به طور ذاتی نایابداری می تواند باعث خرابی سنگین شود.



۴ مرحله خرابی بیرینگ های ساقمه ای

**ROLLING ELEMENT BEARINGS****(4 Failure Stages)**

$f_n$  = Natural Frequencies of Installed Bearing Components and Support Structure



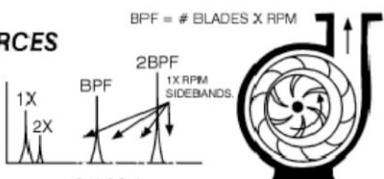
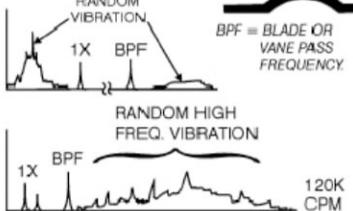
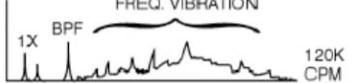
مرحله ۱: اوینس نشانه های خرابی بیرینگ در فرکانس های آلتراسونیک در محدوده 350KHz-350KHz ظاهر می شوند؛ همچنانکه سایش افزایش می یابد، معمولاً این محدوده فرکانسی به 60KHz-60KHz کاهش می یابد. اینها فرکانس های هستند که با انرژی ضربه اول ابتدا در حدود 0.25GSE باشد (مقدار واقعی بستگی به مکان اندازه گیری و سرعت ماشین دارد). اندازه گیری مرحله اول ابتدا در حدود 0.25GSE تایید می کند که آیا بیرینگ در مراحل اولیه خرابی قرار دارد یا خیر.

مرحله ۲: خرابی های جزئی بیرینگ با فرکانس های طبیعی اجزاء بیرینگ (fn) آغاز می شود که بطور قابل توجه در محدوده 30K-120 KCPM ظاهر می شوند. چنین فرکانس های طبیعی ممکن است همچنین باعث روزانه سازه بیرینگ نیز بشوند. فرکانس های مجاور (Sideband) (بالا و پایین پیک فرکانس طبیعی در پایان مرحله ۲ ظاهر می شوند. انرژی اسپایک کلی رشد می کند (ملاز 0.25 به 0.5GSE).

مرحله ۳: وقتی سایش پیشرفت می کند فرکانس های خرابی بیرینگ و هارمونیک های بیشتری از فرکانس های خرابی ظاهر می شوند و تعدادی از مجاورها (Sideband) رشد می کنند، هم اطراف این فرکانس ها و هم فرکانس های طبیعی اجزاء بیرینگ، انرژی اسپایک کلی بطور پیوسته رشد می کند (ملاز 0.5 تا بیش از 1GSE). سایش اکنون قابل رویت است و ممکن است به پیرامون بیرینگ سرایت کند، خصوصاً وقتی برخی مجاورها همراه با هارمونیک های فرکانس های خرابی بیرینگ باشند.

فرکانس های بالای مدوله شده و پوش طیف (Envelop) به تایید مرحله ۳ کمک می کند. اکنون بیرینگ را تعویض کنیدا (مستقل از دامنه فرکانس های خرابی بیرینگ در طیف ارتعاش).

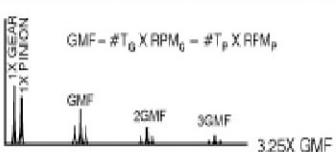
مرحله ۴: در مراحل نهایی، دامنه 1RPM نیز تحت تاثیر فرار می گیرد. رشد آن، بطور طبیعی باعث رشد هارمونیک های سرعت دوران می شود. توزیع خرابی بیرینگ و فرکانس های طبیعی اجزاء آن بطور واقعی با توانید شدن و جایگزینی با فرکانس های بالای باند پهنه راندمی نویز کف آغاز می شود. علاوه بر آن، هم دامنه های فرکانس های بالای نویز کفت و انرژی اسپایک ممکن است در واقع کاهش یابد؛ اما درست قبل از خرابی، انرژی اسپایک و HFD معمولاً تا دامنه های بالای رشد می کند.

**HYDRAULIC AND AERODYNAMIC FORCES****A. BLADE PASS & VANE PASS****B. FLOW TURBULENCE****C. CAVITATION**

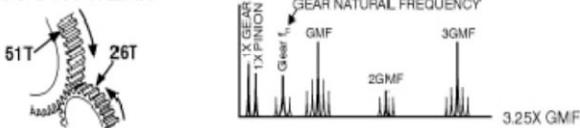
فرکانس گذر پره ها (BPF)= تعداد پره ها در دور. این فرکانس ذاتی پمپ ها، فن ها و کمپرسورها می باشد و در واقع خرابی نیست. با این حال اگر فاصله هواپی بین پره های دور و دیفویزورهای ثابت دور تا یکسان نباشد دامنه بزرگی از BPF و هارمونیک هایش می تواند وجود آید. همچنین گاهی BPF و هارمونیک هایش می توانند بر فرکانس طبیعی سیستم منطق شوند و ارتعاشات بالای ایجاد کنند. اگر رینگ سایش پروانه روی شافت گیر کند، یا اگر جوش های نگهدارنده پره های دیفویزور خراب شوند BPF های بالای ایجاد می شوند. همچنین بواسطه خم های ناگهانی لوله ها، مانع که باعث تلاطم جریان می شوند، تنظیم دریچه ها یا اگر روتور پمپ یا فن خارج از مرکز هو وزنگ باشد BPF ایجاد می شود.

توربولنس جریان اغلب در نتیجه تغییرات در فشار یا سرعت هوای عبوری از فن یا مسیر آن در دمنده ها اتفاق می افتد. این جدایی جریان باعث توربولنس می شود که ارتعاش فرکانس پایین راندمی ایجاد می کند که محدوده آن از 2000 تا 20000 CPM می باشد. اگر سرچ در کمپرسورها حادث شود، ارتعاش فرکانس بالای باند پهنه ایجاد می شود. توربولنس زیاد همچنین می تواند فرکانس های بالای باند پهنه را تحریک کند.

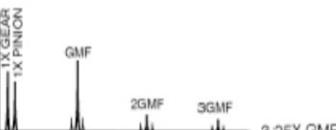
کاویتاپیون انرژی فرکانس بالای راندمی پهن باندی ایجاد می کند که برخی اوقات روی هارمونیک فرکانس گذر پره ها قرار می گیرد. بطور طبیعی شانگر فشار مکش ناکافی (Starvation) می باشد. کاویتاپیون اگر اصلاح نشود می تواند اثر کاملاً مخربی روی قسمت های داخلی پمپ داشته باشد. همچنین می تواند باعث خورده گی و تخلخل بپروانه شود. اغلب صدای شبیه جریان سینکربزه در پمپ دارد. کاویتاپیون معمولاً بواسطه جریان ناکافی و روودی ایجاد می شود. می تواند گاهی وجود داشته باشد و گاهی نباشد (اگر تغییری در ولو مکش ایجاد شود).

**GEARS****A. NORMAL SPECTRUM**

طیف نرمال سرعت های دنده و پینیون را نشان می دهد، در ادامه فرکانس درگیری چرخدنده ها (GMF) و GMF (Frequency) و GMF هارمونیک های کوچک آن وجود دارند. هارمونیک های GMF معمولاً مجاورهایی به فاصله سرعت دوران دارند. همه پیک ها دامنه های کوتاهی دارند، و فرکانس های طبیعی دنده ها تحریک نشده است. وقتی تعداد دندانه ها مشخص باشد، GMF حداقل 3.25 برابر  $F_{max}$  توصیه می شود ولی اگر سرعت دندانه ها نامعلوم است  $F_{max}$  را حداقل ۲۰۰ برابر دور هر شافت قرار دهدیم.

**B. TOOTH WEAR**

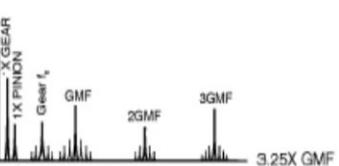
شاخص کلیدی سایش دندانه تحریک فرکانس طبیعی چرخدنده می باشد ( $f_1$ ). در اطراف آن مجاورهایی با فاصله سرعت دوران چرخدنده خراب قرار دارند. دامنه GMF ممکن است تغییر کند یا تغییر نکند، اگرچه وقتی سایش قابل توجه باشد، معمولاً تعداد دندانه های زیاد حول GMF حادث می شوند. مجاورها ممکن است شاخص های بهتری برای شناخت سایش باشند تا خود فرکانس GMF. حتی وقتی دامنه GMF قابل قبول باشد، معمولاً دامنه زیادی روی ۲ برابر یا سه برابر GMF (خصوصاً سه برابر) حادث می شود.

**C. TOOTH LOAD**

فرکانس های GMF اغلب حساسیت زیادی به بار دارند. دامنه های زیاد GMF ضرورتا مشخص کننده مشکل نیست، خصوصاً اگر فرکانس های مجاور دامنه کمی داشته باشند و هیچ فرکانس طبیعی تحریک نشده باشد. همه آنالیزها را باید با سیستم با حداکثر بار کارکرد انجام داد تا مقایسه طیف ها معنی دار باشد.

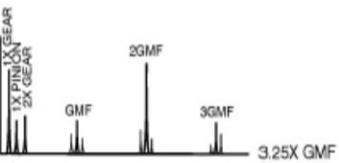


#### D. GEAR ECCENTRICITY AND BACKLASH



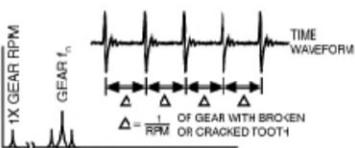
مجاورهای آشکار با دامنه زیاد حول هارمونیک های GMF اغلب نشانگر خارج از مرکزی چرخدنده، backlash. یا شافت های غیر موازی است که باعث می شود چرخش یک چرخدنده با دامنه GMF یا سرعت دوران چرخدنده مدلوله شود. چرخدنده مشکل دار با فاصله فرکانسی مجاورهای مشخص می شود. همچنین، دامنه 1RPM چرخدنده خارج از مرکز معمولاً بالا خواهد بود به شرطی که خارج از مرکزی مشکل بر جسته ای باشد. Backlash نادرست معمولاً فرکانس طبیعی چرخدنده و هارمونیک های GMF را تحریک می کند. که هر دو مجاورهایی با فاصله 1RPM 20 خواهد داشت. اگر مشکل ناشی از backlash باشد، دامنه GMF با افزایش بار اغلب کاهش می یابند.

#### E. GEAR MISALIGNMENT



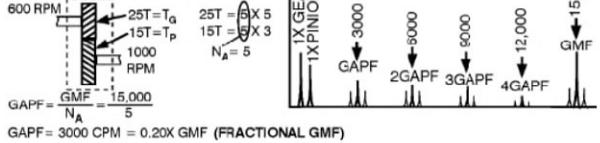
عدم هم محوری چرخدنده ها تقرباً همیشه هارمونیک دوم یا بالاتر GMF را تحریک می کند که با مجاورهایی با فاصله 1RPM احاطه شده اند. اغلب دامنه 1GMF را کوچک نشان می دهد، اما دامنه دو و سه برابر GMF را خیلی بیشتر نشان می دهد. مهم است که  $F_{max}$  به اندازه کافی باشد تا حداقل سه هارمونیک GMF قابل رویت باشند. همچنین، مجاورهای اطراف GMF 2GMF اغلب با فاصله 2RPM هستند. به خاطر داشته باشید که دامنه چب و راست چب و راست GMF و هارمونیک هایی به خاطر عدم هم محوری دندانه ها یکسان نیستند. در نهایت باعث الگوی سایش غیر یکنواخت می شوند.

#### F. CRACKED/BROKEN TOOTH



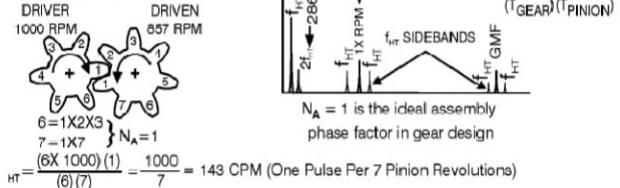
دندانه شکسته یا ترکدار باعث ارتعاش با دامنه زیاد در 1RPM چرخدنده تنها در شکل موج زمانی، می شود، علاوه بر آن باعث تحریک فرکانس طبیعی چرخدنده ( $f_n$ ) می شود که با مجاورهایی با فاصله یک برابر دور محيط شده اند. بهترین حالت پیدا کردن مشکل در موج زمانی است که ضربه های شاخصی را نشان می دهد که هر بار که هر دندانه آسیب دیده می خواهد با دندانه چرخدنده مقابل تماس پیدا کند بوجود می آید.  $\Delta$  زمان بین ضربه ها، متناسب با  $1/RPM$  چرخدنده آسیب دیده می باشد. دامنه ضربه ها در شکل موج زمانی اغلب ۲۰ تا ۴۰ برابر بیشتر از 1RPM در طیف FFT می باشند.

#### G. GEAR ASSEMBLY PHASE PROBLEMS



(Gear Assembly Phase Freq.) GAPF می تواند حاصل کسری از GMF باشد (پرشطی که  $N_A > 1$ ) در معنای کلمه به  $G/N_A$  دندنه چرخدنده با  $T_p/N_A$  پیشون تماس پیدا خواهد کرد و الگوی سایش  $N_A$  را ایجاد خواهد کرد. که  $N_A$  در یک معادله دندنه داده برابر است با فاکتورهای درجه اول مشترک در تعداد دندانه روى چرخدنده و پیشون  $N_A = \text{عامل فاز نسبت} \times (\text{یا هارمونیک های آن})$ . اگر مشکلات ساخت وجود جوود باشد درست از همان ابتدا آشکار هستند. همچنین، آشکار شدن ناگهانی آن در اندازه گیری ها می تواند نشانگر آسیبی باشد که در اثر گذر ذرات آلتینده از بین سطوح تماس بوجود آمد است و باعث آسیب بدنده هایی می شوند یا شدت تماس بروخود هنگامی که دندانه ها تماس پیدا می کنند و جدا می شوند یا چرخدنده هایی که در مقابل بوده اند می شود.

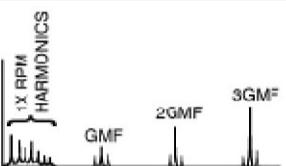
#### H. HUNTING TOOTH PROBLEMS



(Hunting Tooth Freq)  $f_{HT}$  هنگامی حادث می شود که خرابی روی هر دو چرخدنده و پیشون وجود داشته باشد که ممکن است در فرکانس های پایین عموماً کمتر از 600 CPM 600 چرخدنده حادث می شود، اغلب از چشم پنهان باعث ارتعاش بالایی شود، اما از آنجا که در فرکانس های پایین عموماً کمتر از 600 CPM 600 چرخدنده حادث می شود، این نقص می تواند می ماند. مجموعه چرخدنده ای با چنین دندانه هایی، باعث صدای «خرخ» از درون آن می شوند. حداقل اثر آن زمانی استکه دندنه خراب چرخدنده و پیشون در یک لحظه با هم تماس پیدا کنند (در برخی مجموعه ها این امر ممکن است در هر ۲۰ یا ۴۰ دور یک بار اتفاق بیافتد. که بستگی به فرمول  $f_{HT} = T_{pinion}/T_{gear}$  دارد)، به خاطر داشته باشید  $N_A$  تعداد دندانه آنها است. نیز  $f_{HT}$  که توضیح داده شد، اغلب GMF و RPM چرخدنده مدلوله خواهد شد.

#### GEARS (CONTINUED)

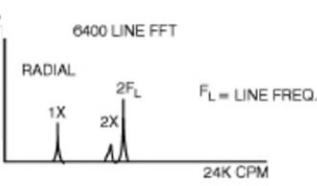
##### I. LOOSE BEARING FIT



لقو بیش از حد بیرینگ های نگهدارنده چرخدنده ها نه تنها می تواند سیاری از هارمونیک های سرعت دوران را تحریک کند، بلکه اغلب باعث دامنه های بالایی پاسخ ارتعاشی در GMF، 2GMF یا 3GMF را خواهد شد. این دامنه های بالایی واقع پاسخ به لقو درون بیرینگ های نگهدارنده چرخدنده هستند نه علت آن. چنین لقو های زیادی می تواند ناشی از سایش زیاد بیرینگ یا جاذبی نادست بیرینگ روتاتل هنگام نصب باشد. عدم توجه و اصلاح عیب می تواند باعث سایش زیاد چرخدنده و آسیب به قطعات دیگر باشد.

#### AC INDUCTION MOTORS

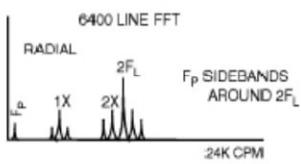
##### A. STATOR ECCENTRICITY, SHORTED LAMINATIONS OR LOOSE IRON



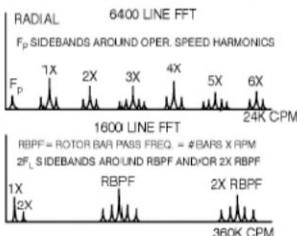
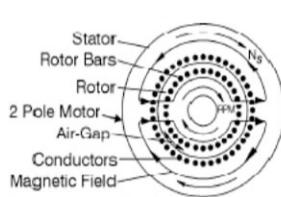
مشکلات استاتور ارتعاش زیادی در دو برابر فرکانس جریان برق (2FL) ایجاد می کند. خارج از مرکزی استاتور فاصله هوایی غیر همسانی بین روتور و استاتور ایجاد می کند که ارتعاش سیار جهت داری تولید می کند. اختلاف فاصله هوایی برای موتورهای القایی نایدیبیش از ۵٪ و برای موتورهای سنتکرون نایدیبیش از ۱۰٪ باشد. Soft Foot و تاب داری پایه ها می توانند باعث ایجاد خارج از مرکزی استاتور شود. لقو آهن سیم پیچ ناشی از ضعف نگهدارنده استاتور یا شلی آن است. اتصال کوتاه لایه های استاتور می تواند باعث گرمایانی غیر یکنواخت نقطعه ای شود که می تواند به خود استاتور آسیب بزند. این مشکل می تواند ارتعاشات ناشی از حرارت ایجاد کند که با افزایش زمان کارکرد رشد می کند و باعث انحراف استاتور و مشکلات فاصله هوایی استاتیک می شود.

##### B. ECCENTRIC ROTOR (Variable Air Gap)

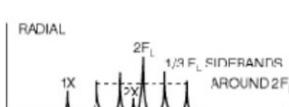
$$\begin{aligned} f_r &= \text{Electrical Line Freq.} \\ N_s &= \text{Synch. Speed} = \frac{120f_r}{P} \\ f_s &= \text{Slip Freq.} = N_s - \text{RPM} \\ f_p &= \text{Pole Pass Freq.} = f_s \times P \\ P &= \# \text{Poles} \end{aligned}$$



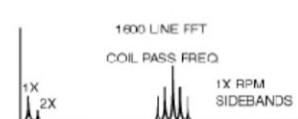
روتورهای خارج از مرکز فاصله هوایی متغیر دواری بین روتور و استاتور ایجاد می کند که ارتعاش نوسانی ایجاد می کند (معمولاً بین  $2F_p$  و نزدیک ترین هارمونیک سرعت دوران)، که اغلب نیاز به Zoom طیف برای جداسازی  $2F_p$  و هارمونیک های سرعت دوران دارد. روتورهای خارج از مرکز  $2F_p$  تولید می کنند که با مجاورهای فرکانس گذر قطب (Pole Pass Freq  $F_p$ ) محیط شده اند، همینطور مجاورهای  $F_p$  حول سرعت دوران موجود است. خود  $F_p$  در فرکانس پایین ظاهر می شود، (فرکانس گذر قطب = فرکانس نفرز  $\times$  تعداد قطب (ها)، مقادیر راچ  $F_p$  در محدوده ۲۰ تا ۱۲۰ CPM (0.3-2 Hz) قرار دارند). یا عدم Soft Foot هم محوری اغلب موجب فاصله هوایی متغیری می شود که حاصل تابیده گی می باشد (در این مشکل مکانیکی است؛ نه الکترونیکی).

**C. ROTOR PROBLEMS**

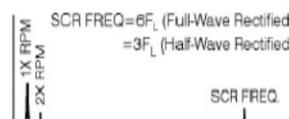
شکستگی یا ترک میله های روتور یا حلقه های اتصال کوتاه، اتصال نادرست بین میله های روتور و حلقه های اتصال کوتاه، یا ورقه های روتور اتصال کوتاه شده ارتتعاش بالایی در یک برابر دور ایجاد می کند که دارای مجاورهای  $F_p$  می باشند. علاوه بر آن، این مشکلات اغلب مجاورهای  $F_p$  حول دومین و سومین و چهارمین هارمونیک سرعت دوران ایجاد می کند. شلی یا باز بودن میله های روتور با دو برابر فرکانس جریان مشخص می شود. مجاورهای  $2F_L$  حول  $2RBPF$  (Rotor Bar Pass Freq)  $RBPB$  می شود. جرoge ایجاد شده بین میله های روتور شل و رینگ انتهایی اغلب دامنه های بالایی در  $2RBPF$  (با مجاورهای  $1RBPF$ ) می شود. جرoge ایجاد شده بین میله های روتور شل و رینگ انتهایی اغلب دامنه های بالایی در  $2RBPF$  (با مجاورهای  $2F_L$ ) می شود. اما افزایش کمی در دامنه  $1RBPF$  بوجود می آورد.

**D. PHASING PROBLEM (Loose Connector)**

مشکلات فاز حاصل از شلی یا شکستگی اتصالات می تواند باعث ارتتعاش زیادی در دو برابر فرکانس جریان  $2F_L$  شود.  $2F_L$  نیز مجاورهایی با فاصله  $1/3$  فرکانس جریان دارد. اگر مشکل حل نشود، دامنه  $2F_L$  می تواند تا بیش از  $1.0 \text{ in/sec}$  برسد. اگر خرابی اتصال به گونه ای باشد که گاه گاهی اتصالی کند، مشکلات موتور سنکرون همچنین ممکن است با پیک های خرابی سنتین چلوگیری شود.

**AC SYNCHRONOUS MOTORS (Loose Stator Coils)**

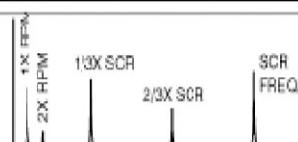
شلی سیم پیچ های استاتور در موتورهای سنکرون ارتتعاش خیلی زیادی در فرکانس گذر سیم پیچ (CPF) ایجاد می کند. برابر است با تعداد سیم پیچ های استاتور در دور (تعداد قطب ها  $X$  تعداد سیم پیچ ها  $1$  قطب). CPF با مجاورهای  $1\text{RPM}$  محیط شده اند. مشکلات موتور سنکرون همچنین ممکن است با پیک های دامنه بالا در حدود  $90 \text{ KCPM}$  تا  $90 \text{ KCPM}$  مشخص شوند که با مجاورهای  $2F_L$  همراه هستند. حداقل یک طیف تا  $90 \text{ KCPM}$  روی هر هو وزنگ بیرینگ داشته باشید.

**DC MOTORS AND CONTROLS**  
**A. NORMAL SPECTRUM**

بسیاری مشکلات کنترل و موتور DC را می توان با آنالیز ارتتعاشات پیدا کرد. موتورهای تمام موج یکسو شده  $(6SCR,s)$  سیگنالی در  $6F_L$  ایجاد می کنند ( $6F_L = 360 \text{ Hz} = 21.600 \text{ CPM}$ )؛ در حالیکه موتورهای DC نیم موج یکسو شده  $(3SCR,s)$   $3F_L$  ایجاد می کنند.  $3F_L = 180 \text{ Hz} = 10.800 \text{ CPM}$ .  $SCR$  Firing Frequency.

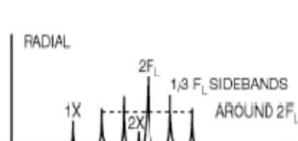
**B. BROKEN ARMATURE WINDINGS, GROUNDING PROBLEMS OR FAULTY SYSTEM TUNING**

وقتی طیف موتور DC پیک های بالایی در  $2SCR$  یا  $SCR$  2دارد، معمولاً نشانگر شکستگی سیم پیچ های موتور با نفس Tuning سیستم کنترل الکتریکی می باشد. اگر مشکلات کنترل بر جسته باشند Tuning به تهایی می تواند باعث ارتتعاش کمتری در  $0.04 \text{ in/sec}$  در  $1SCR$  و  $0.10 \text{ in/sec}$  در  $2SCR$  شود. دامنه های بالا در این فرکانس ها معمولاً بیش از حدود  $0.04 \text{ in/sec}$  در  $1SCR$  و  $0.10 \text{ in/sec}$  در  $2SCR$  Firing Freq می شود.

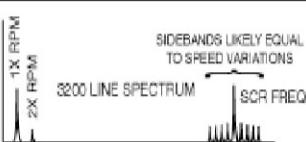
**C. FAULTY FIRING CARD OR BLOWN FUSE**

وقتی خراب شود،  $1/3$  توان هدر می رود، و می تواند باعث تغییرات لحظه ای سرعت در موتور شود. این امر می تواند باعث دامنه های بالای فرکانس  $1/3$  و  $2/3$   $SCR$  شود. برای نیم موج یکسو شده،  $2F_L$  برای  $1F_L = 1/3$   $SCR$  Freq تمام موج یکسو شده.

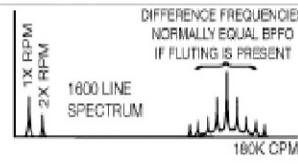
توجه: ساختار Card / SCR قبل از عیب یابی موتور باید شناخته شود (تعداد  $SCR,s$ ، تعداد Firing Cards، وغیره).

**D. PHASING PROBLEM (Loose Connector)**

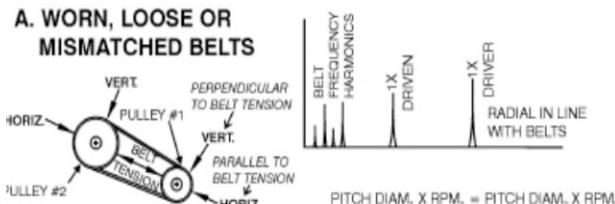
معقول، کارت های کنترل اتصال کوتاه و با اتصالات شل می تواند باعث پیک های قابل توجهی در چند ترکیب از  $F_L$  و فرکانس  $SCR$  Firing شود. معمولاً  $SCR$  بد می تواند باعث دامنه های بالای  $F_L$  و یا  $5F_L$  در موتورهای  $SCR$  6 شود. نکته قابل توجه اینکه نه  $F_L$ ،  $4F_L$ ،  $2F_L$ ، و نه  $5F_L$  تابید در طیف موتور DC موجود باشند.

**E. FAULTY COMPARATOR CARD**

Comparitor Card های ممیز باعث مشکلاتی در نوسان یا کم و زیاد شدن  $RPM$  می شوند. این امر باعث اضمحلان و تولید مجدد حوزه مغناطیسی می شود. این مجاورها اغلب حدود نوسان  $RPM$  هستند و FFT باوضوح بالا نیاز دارند تا قابل کشف باشند. چنین مجاورهایی می توانند حاصل تولید و تولید مجدد حوزه مغناطیسی باشند.

**F. ELECTRICAL CURRENT PASSAGE THRU DC MOTOR BEARINGS**

نوسانی که بصورت الکتریکی ایجاد شده است بطور معمول با یک سری از فرکانس های مختلف که اغلب فاصله ای به اندازه فرکانس خرابی race خارجی (BPFO) دارند مشخص می شوند. حتی اگر چنین نوسانی هم روی خارجی و هم روی race داخلی موجود باشد. آنها اغلب در محدوده ای که به مرکز حدود  $100K$  تا  $150$   $KCPM$  می باشد نشان داده می شوند. اندازه گیری طیفی با  $180$   $KCPM$  تا  $1600$  خط و اندازه گیری روی بیرینگ های OB و IB موتور DC توصیه می شود.

**BELT DRIVE PROBLEMS****A. WORN, LOOSE OR MISMATCHED BELTS**

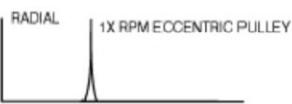
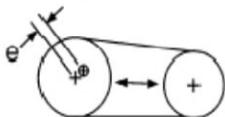
Belt Freq =  $\frac{3.142 \times \text{Pulley RPM} \times \text{Pitch Diam.}}{\text{Belt Length}}$

Timing Belt Freq = Belt Freq \* #Belt Teeth = Pully RPM \* #Pully Teeth

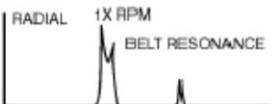
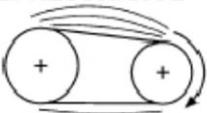
فرکانس های تسمه زیر  $RPM$  موتور یا ماشین متحرک هستند. وقتی تسمه ها ساییده، شل یا مناسب نباشند، باعث ایجاد ضربی  $3$  تا  $4$  برابر فرکانس تسمه می شوند. اغلب  $2$  برابر فرکانس تسمه پیک شاخص می باشد. دامنه ها معمولاً تا پایدار هستند، بعضی اوقات با دور  $RPM$  محرک یا متحرک نوسان می کنند. در تسمه های دنده دار (Timing), پولی ساییده شده یا عدم هم محور با دامنه های بالای فرکانس Timing تسمه شناخته می شوند. مشکلات واسطه های زنجیری در فرکانس گذر زنجیر که برابر با تعداد دندنه های خورشیدی  $RPMX$  می باشد شناخته می شوند.

**B. BELT/PULLEY MISALIGNMENT**

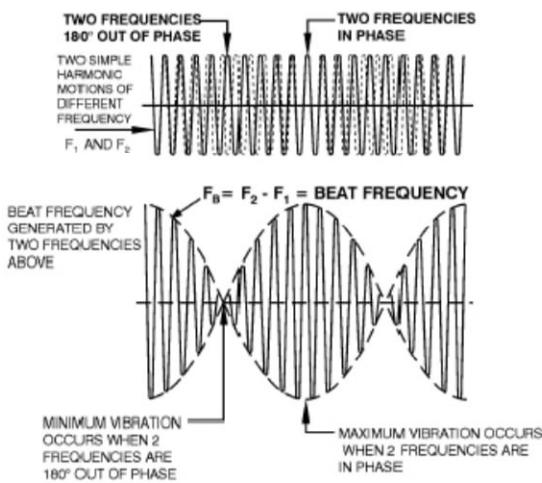
عدم هم محوری پولی ارتعاش زیاد قابل توجهی در 1RPM در جهت محوری ایجاد می کند. نسبت دامنه RPM محرک به متحرک بستگی به جای اندازه گیری دارد، به همین نسبت به جرم و سختی شاسی در پولی های غیر هم محور اغلب، بیشترین ارتعاش محوری روی موتور در فرکانس RPM فن خواهد بود، یا بر عکس. می توان با اندازه گیری فاز و تنظیم فیلتر روی RPM پولی با بیشترین دامنه جهت محوری آنرا تایید کرد؛ سپس فاز این فرکانس خاص را با مقابله آن روی هر روتور در جهت محوری مقایسه کرد.

**C. ECCENTRIC PULLEYS**

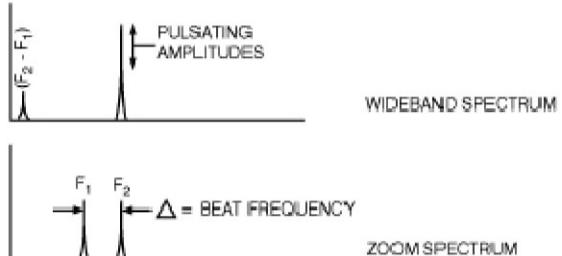
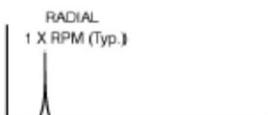
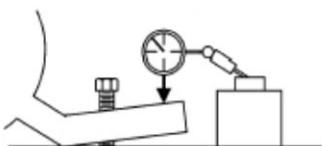
پولی های خارج از مرکز باعث ایجاد دامنه بالا در 1RPM پولی خارج از مرکز می شوند. بیشترین دامنه معمولاً در امتداد تسمه می باشد، و باید هم روی بیرونیگ های محرک و هم متحرک دیده شود. گاهی اوقات می توان پولی های خارج از مرکز را با افزودن واشر به پیچ های قفل کن پولی بالائنس کرد. با این حال، حتی اگر بالائنس شود، باز هم خارج از مرکزی ایجاد ارتعاش و تنش های خستگی معکوس روی تسمه می کند. خارج از مرکزی پولی را می توان با آنالیز فاز تایید کرد که اختلاف فاز افقی و عمودی را ۰ یا ۱۸۰ درجه نشان می دهد.

**D. BELT RESONANCE**

اگر فرکانس طبیعی تسمه نزدیک، یا منطبق بر RPM موتور یا متحرک باشد، رزونانس تسمه باعث ایجاد ارتعاش زیادی می شود. فرکانس طبیعی تسمه را می توان با تغییر کشش تسمه، طول تسمه یا سطح مقطع تسمه تغییر داد این مشکل را می توان با کشیدن تسمه و آزاد کردن آن در حالی که پاسخ ارتعاشی پولی و بیرونیگ ها اندازه گیری می شود کشف کرد. با این حال، هنگام کار، فرکانس های طبیعی تسمه تمایل دارند در طرف سفت تر کمی بالاتر و در طرف شل کمتر باشند.

**BEAT VIBRATION**

فرکانس ضربان حاصل دو فرکانس نزدیک به هم است که به تابب با هم هماهنگ می شوند. طیف باند پهن معمولاً یک پیک با نوسان را نشان می دهد. وقتی روی این پیک بزرگنمایی شود (طیف پایین)، دو پیک خیلی نزدیک به هم ملاحظه خواهد شد. اختلاف این دو پیک ( $F_2 - F_1$ ) فرکانس ضربان است که در طیف پهن ظاهر می شود. فرکانس ضربان معمولاً در محدوده فرکانس اندازه گیری عادی ملاحظه نمی شود چرا که ذاتاً فرکانس پایینی دارد، معمولاً محدوده آن از حدود 100 CPM تا نیز زمانی حادث می شود که دو فرکانس ۱۸۰ درجه اختلاف فاز داشته باشند.

**SOFT FOOT, SPRUNG FOOT AND FOOT-RELATED RESONANCE**

Soft Foot (پایه فنری) می تواند باعث تغییر شکل شاسی شود، که باعث افزایش ارتعاش، نیرو و تنش در شاسی، هوزینگ بیرونیگ و غیره می شود. این مسئله وقتی حادث می شود که با نیروی زیاد سعی کنیم پیچ پایه را سفت کنیم تا پایه هم سطح شود.

Sprung Foot (پایه فنری) می تواند باعث تغییر شکل شاسی شود، که باعث افزایش ارتعاش، نیرو و تنش در شاسی، هوزینگ بیرونیگ و غیره می شود. این مسئله وقتی حادث می شود که با نیروی زیاد سعی کنیم پیچ پایه را سفت کنیم تا پایه هم سطح شود.

رزونانس مربوط به پایه می تواند باعث افزایش زیاد از ۱۵ تا ۲۰٪ ایجاد شود که پیچ (یا ترکیبی از پیچ ها) در حد سفت کردن با دست شل شوند. وقتی این پیچ سفت شود تغییر قابل ملاحظه ای در فرکانس طبیعی پایه یا شاسی ماشین ایجاد می شود.

Soft Foot، پایه فنری یا رزونانس مربوط به پایه اغلب ارتعاش 1RPM را تحت تأثیر قرار می دهد. اما می تواند ۰.2RPM و ۰.3RPM دو برابر فرکانس جریان، فرکانس گذر پره و غیر را نیز تحت تأثیر قرار دهد. (خصوصاً رزونانس مربوط به پایه).