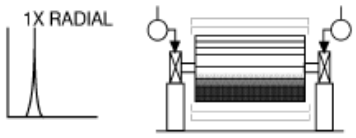
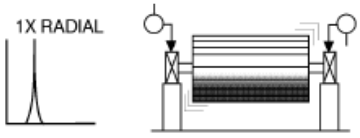
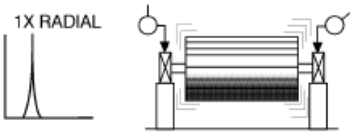
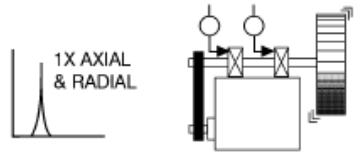
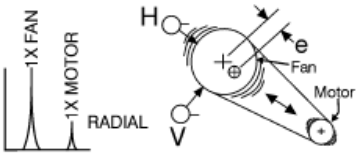
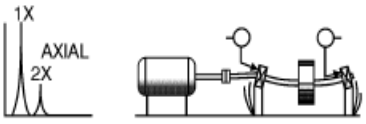
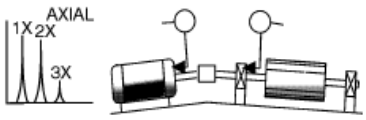
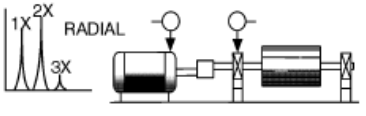
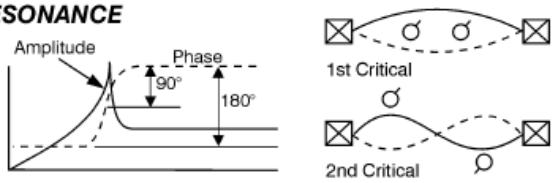
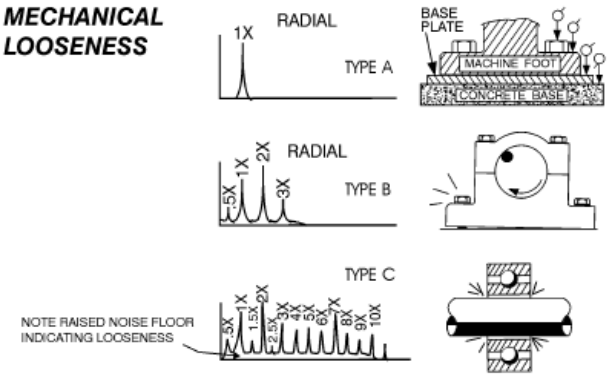
MASS UNBALANCE **A. FORCE UNBALANCE** 	در نابالانسی تک صفحه‌ای (Force unbalance) هم فاز و پایدار می باشد. دامنه ارتعاش زیر اولین سرعت بحرانی متناسب با مربع سرعت رشد می‌کند (افزایش سه برابری سرعت باعث رشد ۹ برابری ارتعاش می شود). 1RPM همیشه وجود دارد و معمولا در طیف شاخص است. تنها با قرار دادن یک وزنه اصلاحی در یک صفحه در مرکز ثقل روتور (CG) می توان عیب را برطرف نمود. بین جهت افقی بیرینگ های دو طرف شافت اختلاف فاز تقریبا صفر وجود دارد و به همین ترتیب در جهت عمودی دو بیرینگ دو طرف شافت. همچنین اختلاف فاز تقریبی ۹۰ درجه بین قرائت های جهت افقی و عمودی در طرف نابالانس شافت ایجاد می شود (±۳۰)
B. COUPLE UNBALANCE 	نابالانسی کوپل باعث اختلاف فاز ۱۸۰ درجه روی شافت می شود. 1RPM همیشه وجود دارد و معمولا در طیف شاخص است. دامنه ارتعاش زیر اولین سرعت بحرانی متناسب با مربع سرعت رشد می کند. باعث رشد ارتعاش محوری و شعاعی می شود. جرم اصلاحی حداقل باید در دو صفحه اعمال شود. بخاطر داشته باشید اختلاف فاز ۱۸۰ درجه بین جهت افقی بیرینگ های 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 قرائت های جهت افقی و عمودی در هر بیرینگ طرفین شافت نیز باید وجود داشته باشد (±۳۰)
C. DYNAMIC UNBALANCE 	نابالانسی دینامیکی شایع ترین نوع نابالانسی است و ترکیبی از نابالانسی کوپل و تک صفحه ای می باشد. 1RPM در طیف شاخص است، و اصلاح در دو صفحه را نیاز دارد. اختلاف فاز شعاعی بین بیرینگ های دو طرف شافت می تواند از صفر تا ۱۸۰ درجه باشد. با این حال، هنگامی که اندازه گیری از بیرینگ های دو طرف شافت انجام می شود، اختلاف فاز افقی باید نزدیک اختلاف فاز عمودی باشد (±۳۰) همچنین اگر نابالانسی زیاد باشد، اختلاف فاز بین قرائت های افقی و عمودی هر بیرینگ باید ۹۰ درجه باشد (±۴۰)
D. OVERHUNG ROTOR UNBALANCE 	نابالانسی روتور Overhung باعث 1RPM زیاد در جهات شعاعی و محوری می شود. قرائت های محوری تمایل دارند که هم فاز باشند. در حالیکه قرائت های فاز شعاعی ممکن است ناپایدار باشند. با این حال، اختلاف فازهای افقی معمولا نزدیک اختلاف فازهای عمودی روی روتور نابالانس می باشد (±۳۰). روتورهای Overhung هر دو نوع نابالانسی کوپل و تک صفحه ای را دارند، که هر کدام نیاز به اصلاح دارند. بنابراین، جرم های اصلاحی همیشه باید روی دو صفحه اعمال شوند تا هر دو نوع نابالانسی رفع شوند.
ECCENTRIC ROTOR 	خارج از مرکزی وقتی حادث می شود که مرکز دوران به موازات خط مرکز هندسی روتور باشد. بیشترین ارتعاش در 1RPM روتور خارج از مرکز در جهت خط مرکز دو روتور بوجود می آید. مقایسه قرائت های فاز افقی و عمودی معمولا اختلاف صفر یا ۱۸۰ را نشان می دهد. (در جهت خط حرکت ۱۸۰ درجه را نشان می دهد). تلاش برای بالانس روتور خارج از مرکز باعث کاهش ارتعاش شعاعی در یک جهت اما افزایش در جهت دیگر می شود (بستگی به میزان خارج از مرکزی دارد)
BENT SHAFT 	خمیده گی شافت باعث ارتعاش محوری زیادی می شود. همچنین اختلاف فاز ۱۸۰ درجه روی بیرینگ های دو طرف شافت در جهت محوری ایجاد می شود. اگر خمیده گی در نزدیکی وسط شافت باشد بیشترین ارتعاش در 1RPM است اما اگر نزدیک کوپلینگ باشد 2RPM شاخص است. (هنگام اندازه گیری زاویه فاز در صورتی که پروب را ۱۸۰ درجه برمی گردانید باید ۱۸۰ درجه به مقدار اندازه گیری شده اضافه کنید). برای تایید خمیده گی شافت از ساعت اندیکاتور استفاده نمایید.
MISALIGNMENT **A. ANGULAR MISALIGNMENT** 	عدم هم محوری زاویه ای با ارتعاش محوری زیاد و اختلاف فاز ۱۸۰ درجه دو طرف کوپلینگ شناخته می شود. معمولا دامنه زیاد ارتعاش 2RPM و 1 وجود دارد. اما وجود هارمونیک های 3RPM و ۲ و 1 نیز رایج است. البته این نشانه ها معرف خرابی کوپلینگ نیز می باشند. اگر شدت عدم هم محوری زیاد باشد هارمونیک های بیشتری از 1RPM تحریک می شوند. برخلاف لقی مکانیکی این هارمونیک ها عموما باعث رشد ارتعاش سطح (Floor) طیف نمی شوند.
B. PARALLEL MISALIGNMENT 	عدم هم محوری موازی همان نشانه های حالت زاویه ای را دارد، اما ارتعاش شعاعی زیاد است که در دو طرف کوپلینگ در جهت شعاعی ۱۸۰ درجه اختلاف فاز دارند. اغلب 2RPM بیشتر از 1RPM است، اما بزرگ تر بودن آن نسبت به 1RPM به نوع کوپلینگ و ساختار آن بستگی دارد. وقتی عدم هم محوری موازی یا زاویه ای شدید باشد هارمونیک های بالا (8x و 4x) نیز وجود دارند، یا حتی سری هارمونیک هایی نظیر لقی تا فرکانس های بالا ظاهر می شوند. هنگامی که عدم هم محوری شدید باشد اغلب نوع کوپلینگ و جنس آن اثر زیادی روی کل طیف دارند. اما عموما ارتعاش سطح (Noise Floor) طیف زیاد نمی شود.
C. MISALIGNED BEARING COCKED ON SHAFT 	عدم هم محوری بیرینگ و شافت نیز ارتعاش محوری قابل توجهی تولید می کند که باعث حرکت پیچشی با اختلاف فاز ۱۸۰ درجه نقطه بالا و پایین یا چپ و راست صفحه محوری هوزینگ بیرینگ می شود. تلاش برای هم محوری کوپلینگ یا بالانس روتور مشکل را حل نمی کند. معمولا باید بیرینگ را در آورد و بطور صحیح نصب کرد.

RESONANCE



رزونانس وقتی 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 شاسی، فونداسیون، گیربکس یا حتی تسمه می باشد. اگر روتور نزدیک فرکانس طبیعی کار کند، بالانس آن تقریبا غیر ممکن است چرا که تغییر فاز زیاد می باشد (یعنی ۹۰ درجه در رزونانس و ۱۸۰ درجه در گذر از آن). لازم است فرکانس طبیعی جابجا شود. عموما 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 Overhung هستند).

MECHANICAL LOOSENESS



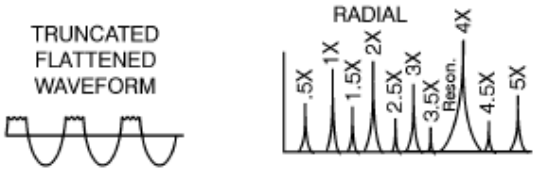
لقی مکانیکی معمولا با سه نوع طیف ارتعاشی A، B و C شناخته می شود.

نوع A به علت لقی یا ضعف پایه ماشین، base plate یا فونداسیون؛ همچنین فرسایش گروت، لقی پیچ های پایه، یا تغییر شکل شاسی یا 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 عموما ناشی از پیچ های قطعه نگهدارنده، ترک در شاسی، سازه یا نگهدارنده بیرینگ می باشد.

نوع C عموما ناشی از لقی 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 لقی لاینر بیرینگ در درپوش (Cap)، لقی بیرینگ و چرخش آن روی شافت، لقی زیاد در Sleeve یا بیرینگ ساچمه ای، لقی پروانه روی شافت و غیره می باشد. در نوع C فاز اغلب ناپایدار است و ممکن است از یک اندازه گیری تا اندازه گیری بعدی خیلی تغییر کند، خصوصا اگر موقعیت روتور از یک استارت تا استارت بعدی تغییر کند. لقی مکانیکی اغلب خیلی جهت دار است و ممکن است باعث قرائت 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 لقی باعث Sub harmonic دقیقا روی 0.5x ، 1.5x ، 2.5x و غیره می شود.

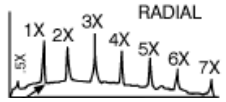
ROTOR RUB



وقتی قطعات دوار با قسمت های ثابت تماس می یابند سایش روتور طیفی مشابه لقی مکانیکی ایجاد می کند. سایش ممکن است جزئی یا با کل شافت باشد. که معمولا سری از فرکانس ها تولید می کند. که یک یا چند هارمونیک را تحریک می کنند. اغلب این فرکانس ها کسری از سرعت دوران می باشند (1/n..... و ۱/۴، ۱/۳، ۱/۲)، 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 تماس بابیت بیرینگ باشد این اشکال می 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 مخالف چرخش شافت ایجاد کند (ناپایداری ذاتی که می تواند باعث خرابی سنگین شود).

JOURNAL BEARINGS

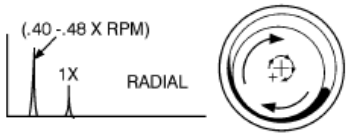
A. WEAR/CLEARANCE PROBLEMS



NOTE RAISED NOISE FLOOR INDICATING CLEARANCE/LOOSENESS.

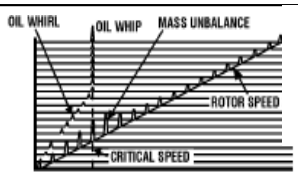
مراحل بعدی سایش ژورنال بیرینگ معمولا همراه است با وجود سری کاملی از هارمونیک های دوران (تا ۱۰ یا ۲۰ هارمونیک). ژورنال بیرینگی که لقی کمی داشته باشد اغلب ارتعاش عمودی زیادی در مقایسه با جهت افقی ایجاد می کند اما تنها یک پیک قابل توجه در 1RPM ایجاد می شود. بیرینگ های ژورنال با لقی زیادی ممکن است باعث نابالانسی یا عدم هم محوری شود که سبب می شود ارتعاش بالایی ایجاد شود که در صورتیکه لقی به حد مجاز برگردانده شود کاهش قابل ملاحظه ای می کند.

B. OIL WHIRL INSTABILITY



ناپایداری چرخش روغن در 0.48 RPM – 0.4 ظاهر می شود و اغلب دقیق است. وقتی دامنه بیش از ۴۰٪ لقی بیرینگ باشد زیاد فرض می شود. چرخش روغن فیلم روغنی است که ارتعاش را تحریک کرده و ناشی از انحراف از شرایط کارکرد نرمال می باشد. (وضع زاویه و نسبت خارج از مرکزی) باعث می شود گوه روغن شافت را حول بیرینگ فشار دهد. نیروی موازنه کننده در جهت دوران حاصل این چرخش است (جلو افتادن تقدم forwards precession) چرخش روغن ناپایدار است چرا که نیروهای گریز 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 ناپایدار می شود. تغییرات در گرانروی روغن، فشار روانکار و پیش بارهای بیرونی می تواند چرخش روغن را تحت تاثیر قرار دهد.

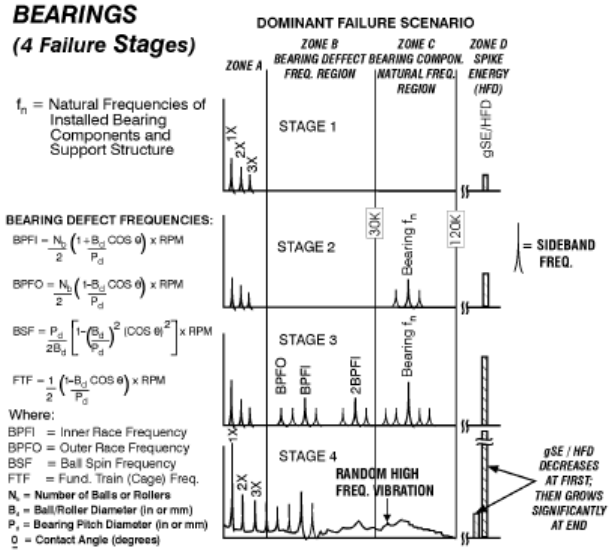
C. OIL WHIP INSTABILITY



نقشه طیف نشان می دهد که چگونه در گذر از سرعت دو برابر سرعت بحرانی چرخش روغن تبدیل به شلاق روغن می شود

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 گذر از آن و بالاتر بردن سرعت ماشین محو نخواهد شد. که باعث ایجاد پیشروی به طرف افقی ارتعاش Sub harmonic در فرکانس بحرانی می شود. به طور ذاتی ناپایداری می تواند باعث خرابی سنگین شود.

ROLLING ELEMENT BEARINGS
(4 Failure Stages)



۴ مرحله خرابی بیرینگ های ساچمه ای

مرحله ۱: اولین نشانه های خرابی بیرینگ در فرکانس های آلتراسونیک در محدوده 350KHz- 250 ظاهر می شوند؛ همچنانکه سایش افزایش می یابد، معمولا این محدوده فرکانسی به 60KHz- 20 کاهش می یابد. اینها فرکانس هایی هستند که با انرژی ضربه (GSE Spike Energy)، HFD(g) و Shock pulse(DB) اندازه گیری می شوند. مثلا، انرژی اسپایک ممکن است در مرحله اول ابتدا در حدود 0.25GSE باشد (مقدار واقعی بستگی به مکان اندازه گیری و سرعت ماشین دارد). اندازه گیری فرکانس بالا از پوش طیف (Envelop) تایید می کند که آیا بیرینگ در مراحل اولیه خرابی قرار دارد یا خیر.

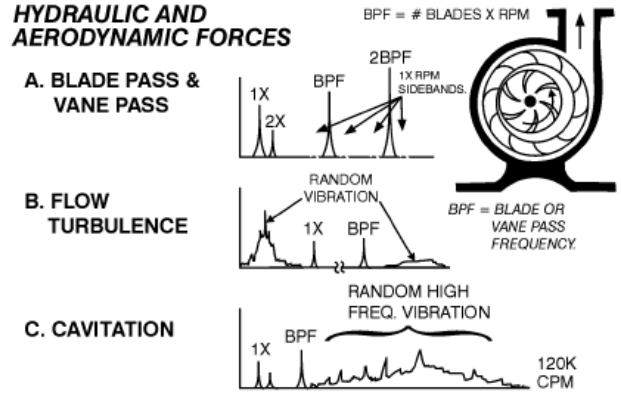
مرحله ۲: خرابی های جزئی بیرینگ با فرکانس های طبیعی اجزاء بیرینگ (fn) آغاز می شود که بطور قابل توجه در محدوده 120 KCPM- 30K ظاهر می شوند. چنین فرکانس های طبیعی ممکن است همچنین باعث رزونانس سازه بیرینگ نیز بشوند. فرکانس های مجاور (Sideband) بالا و پایین پیک فرکانس طبیعی در پایان مرحله ۲ ظاهر می شوند. انرژی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

مرحله ۳: وقتی سایش پیشرفت می کند فرکانس های خرابی بیرینگ و هارمونیک ها ظاهر می شوند، 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 (مثلا از 0.5 تا بیش از 1GSE). سایش اکنون قابل رویت است و ممکن است به پیرامون بیرینگ سرایت کند، خصوصا 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 کنید! (مستقل از دامنه فرکانس های خرابی بیرینگ در طیف ارتعاش).

مرحله ۴: در مراحل نهایی، دامنه 1RPM نیز تحت تاثیر قرار 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 ناپدید شدن و جایگزینی با فرکانس های بالای باند پهن راندومی نویز کف آغاز می شود. علاوه بر آن، هم دامنه های فرکانس های بالای نویز کف و انرژی اسپایک ممکن است در واقع کاهش یابد؛ اما درست قبل از خرابی، انرژی اسپایک و HFD معمولا تا دامنه های بالایی رشد می کند

HYDRAULIC AND AERODYNAMIC FORCES



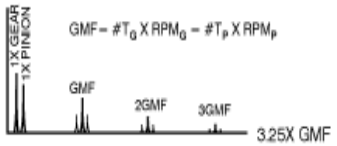
فرکانس گذر پره ها (BPF)= تعداد پره ها در دور. این فرکانس ذاتی پمپ ها، فن ها و کمپرسورها می باشد و در واقع خرابی نیست. با این حال اگر فاصله هوایی بین پره های دوار و دیفیوزرهای ثابت دور تا دور یکسان نباشد دامنه بزرگی از BPF و هارمونیک هایش می تواند بوجود آید. همچنین گاهی BPF و هارمونیک هایش می توانند بر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

توربولانس 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 توربولانس می شود که ارتعاش فرکانس پایین راندومی ایجاد می کند که محدوده آن از 50 تا 2000 CPM می باشد. اگر سرج در کمپرسورها حادث شود، ارتعاش فرکانس بالای باند پهنی ایجاد می شود. توربولانس زیاد همچنین می تواند فرکانس های بالای باند پهنی را تحریک کند.

کاویتاسیون انرژی فرکانس بالای، راندومی پهن باندی ایجاد می کند که برخی اوقات روی هارمونیک فرکانس گذر پره ها قرار می گیرد. بطور طبیعی نشانگر فشار مکش ناکافی (Starvation) می باشد. کاویتاسیون اگر اصلاح نشود می تواند اثر کاملا مخربی روی قسمت های داخلی پمپ داشته باشد. همچنین می تواند باعث خورده گی و تخلخل پروانه شود. اغلب صدایی شبیه جریان سنگریزه در پمپ دارد. کاویتاسیون معمولا بواسطه جریان ناکافی ورودی ایجاد می شود. می تواند گاهی وجود داشته باشد و گاهی نباشد (اگر تغییری در ولو مکش ایجاد شود

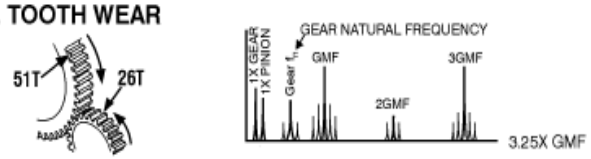
GEARS

A. NORMAL SPECTRUM



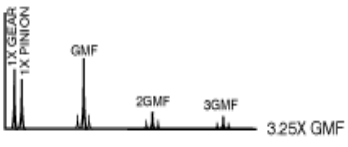
طیف نرمال سرعت های دنده و پینیون را نشان می دهد، در ادامه فرکانس درگیری چرخدنده ها (Gear Mesh Frequency) و GMF هارمونیک های کوچک آن وجود دارند. هارمونیک های GMF معمولا مجاورهایی به فاصله سرعت دوران دارند. همه پیک ها دامنه های کوتاهی دارند، و فرکانس های طبیعی دنده ها تحریک نشده است. وقتی تعداد دندانه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

B. TOOTH WEAR



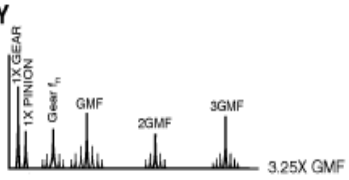
شاخص کلیدی سایش دندانه تحریک فرکانس طبیعی چرخدنده می باشد (f_n). در اطراف آن مجاورهایی با فاصله سرعت دوران چرخدنده خراب قرار دارند. دامنه GMF ممکن است تغییر کند یا تغییر نکند، اگرچه وقتی سایش قابل توجه باشد، معمولا تعداد زیادی مجاور با دامنه زیاد حول GMF حادث می شوند. مجاورها ممکن است شاخص های بهتری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

C. TOOTH LOAD



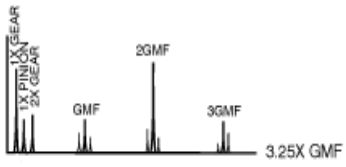
فرکانس های GMF اغلب حساسیت زیادی به بار دارند. دامنه های زیاد GMF ضرورتا مشخص کننده مشکل نیست، خصوصا اگر فرکانس های مجاور دامنه کمی داشته باشند و هیچ فرکانس طبیعی تحریک نشده باشد. همه آنالیزها را باید با سیستم با حداکثر بار کارکرد انجام داد تا مقایسه طیف ها معنی دار باشد.

D. GEAR ECCENTRICITY AND BACKLASH



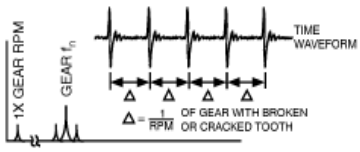
مجاورهای آشکار با دامنه زیاد حول هارمونیک های GMF اغلب نشانگر خارج از مرکزی چرخدنده، backlash، یا شافت های غیر موازی است که باعث می شود چرخش یک چرخدنده با دامنه GMF یا سرعت دوران چرخدنده دیگر مدوله شود. چرخدنده مشکل دار با فاصله فرکانسی مجاورها مشخص می شود. همچنین، دامنه 1RPM چرخدنده خارج از مرکز معمولا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

E. GEAR MISALIGNMENT



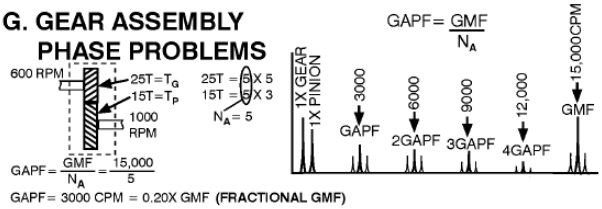
عدم هم محوری چرخدنده ها تقریبا همیشه هارمونیک دوم یا بالاتر GMF را تحریک می کند که با مجاورهایی با فاصله 1RPM احاطه شده اند. اغلب دامنه 1GMF را کوچک نشان می دهد، اما دامنه دو و سه برابر GMF را خیلی بیشتر نشان می دهد. مهم است که F_{max} به اندازه کافی باشد تا حداقل سه هارمونیک GMF قابل رویت باشند. همچنین،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

F. CRACKED/BROKEN TOOTH



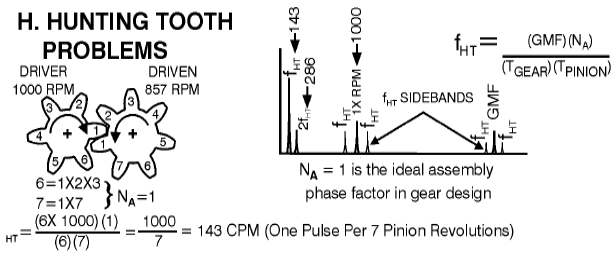
دندانه شکسته یا ترکدار باعث ارتعاش با دامنه زیاد در 1RPM چرخدنده تنها در شکل موج زمانی، می شود، علاوه بر آن باعث تحریک فرکانس طبیعی چرخدنده (f_n) می شود که با مجاورهایی با فاصله یک برابر دور محیط شده اند. بهترین حالت پیدا کردن مشکل در موج زمانی است که ضربه های شاخصی را نشان می دهد که هر بار که دندانه آسیب دیده می خواهد با دندانه چرخدنده مقابل تماس پیدا کند بوجود می آید. Δزمان بین ضربه ها. متناسب با 1/RPM چرخدنده آسیب دیده می باشد. دامنه ضربه ها در شکل موج زمانی اغلب ۱۰ تا ۲۰ برابر بیشتر از 1RPM در طیف FFT می باشند.

G. GEAR ASSEMBLY PHASE PROBLEMS



GAPF (Gear Assembly Phase Freq.) می تواند حاصل کسری از GMF باشد (بشرط N_A ‹› ۱) در معنای کلمه به کلمه T_G/N_A دنده چرخدنده با (T_P/N_A) پینیون تماس پیدا خواهند کرد و الگوی سایش N_A را ایجاد خواهد کرد. که N_A در یک معادله دنده داده شده برابر است با فاکتورهای درجه اول مشترک در تعداد دندانه روی چرخدنده و پینیون (N_A = عامل فاز نصب). GAPF (یا هارمونیک های آن) اگر مشکلات ساخت وجود داشته باشند 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 آلاینده از بین سطح تماس بوجود آمده است و باعث آسیب به دندانه در تماس لحظه برخورد هنگامی که دندانه ها تماس پیدا می کنند و جدا می شوند یا چرخدنده هایی که در مقابل بوده اند می شود.

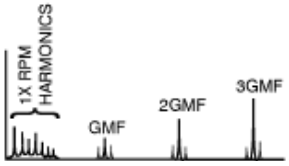
H. HUNTING TOOTH PROBLEMS



فرکانس نوسان دندانه (Hunting Tooth Freq F_{HT}) هنگامی حادث می شود که خرابی روی هر دو چرخدنده و پینیون وجود داشته باشد که ممکن است در فرآیند ساخت حادث شده باشند، یا هنگام نقل و انتقال یا در محل. این نقص می تواند باعث ارتعاش بالایی شود، اما از آنجا که در فرکانس های پایین عموما کمتر از 600 CPM حادث می شود، اغلب از چشم پنهان می ماند. مجموعه چرخدنده ای با چنین دندانه هایی، باعث صدای « خرخر» از درون آن می شوند. حداکثر اثر آن زمانی استکه دنده خراب چرخدنده و پینیون در یک لحظه با هم تماس پیدا کنند (در برخی مجموعه ها این امر ممکن است در هر ۱۰ یا ۲۰ دور یک بار اتفاق بیافتد، که بستگی به فرمول F_{HT} دارد). به خاطر داشته باشید T_{Gear} و T_{pinion} تعداد دندانه آنها است. N_A نیز که توضیح داده شد. اغلب GMF و RPM چرخدنده مدوله خواهند شد.

GEARS (CONTINUED)

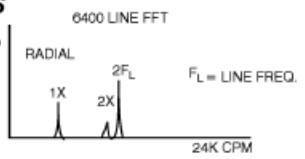
I. LOOSE BEARING FIT



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

AC INDUCTION MOTORS

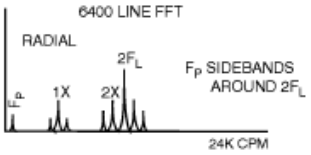
A. STATOR ECCENTRICITY, SHORTED LAMINATIONS OR LOOSE IRON



مشکلات استاتور ارتعاش زیادی در دو برابر فرکانس جریان برق ($2F_L$) ایجاد می کند. خارج از مرکزی استاتور فاصله هوایی غیر همسانی بین روتور و استاتور ایجاد می کند که ارتعاش بسیار جهت داری تولید می کند. اختلاف فاصله هوایی برای موتورهای القایی نباید بیش از ۵٪ و برای موتورهای سنکرون نباید بیش از ۱۰٪ باشد. Soft Foot و تاب داری پایه ها می تواند باعث ایجاد خارج از مرکزی استاتور شود. لقی آهن سیم پیچ ناشی از ضعف نگهدارنده استاتور یا شلی آن است. اتصال کوتاه لایه های استاتور می تواند باعث گرمازایی غیر یکنواخت نقطه 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.

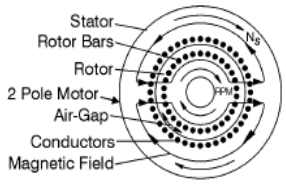
ECCENTRIC ROTOR (Variable Air Gap)

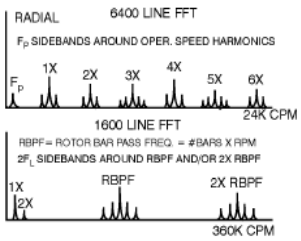
F_L = Electrical Line Freq.
N_s = Synch. Speed = $\frac{120F_L}{P}$
F_s = Slip Freq. = N_s - RPM
F_p = Pole Pass Freq. = F_s X P
P = #Poles



روتورهای خارج از مرکز فاصله هوایی متغیر دواری بین روتور و استاتور ایجاد می کند که ارتعاش نوسانی ایجاد می کند (معمولا بین $2F_L$ و نزدیک ترین هارمونیک سرعت دوران) که اغلب نیاز به Zoom طیف برای جداسازی $2F_L$ و هارمونیک های سرعت دوران دارد. روتورهای خارج از مرکز $2F_L$ تولید می کنند که با مجاورهای فرکانس گذر قطب (F_P Pole Pass Freq) 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 لغزش x تعداد قطب ها). مقادیر رایج F_P در محدوده ۲۰ تا 120 CPM (2 Hz -0.3) قرار دارند. Soft Foot یا عدم هم محوری اغلب موجب فاصله هوایی متغیری می شود که حاصل تابیده گی می باشد (در واقع مشکل مکانیکی است؛ نه الکتریکی).

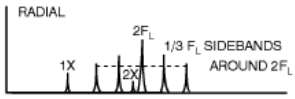
C. ROTOR PROBLEMS





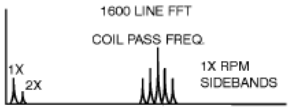
شکستگی یا ترک میله های روتور یا حلقه های اتصال کوتاه؛ اتصال نادرست بین میله های روتور و حلقه های اتصال کوتاه؛ یا ورقه های روتور اتصال کوتاه شده ارتعاش بالایی در یک برابر دور ایجاد می کند که دارای مجاورهای F_P می باشند. علاوه بر آن، این مشکلات اغلب مجاورهای F_P حول دومین و سومین و چهارمین و پنجمین هارمونیک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

D. PHASING PROBLEM (Loose Connector)



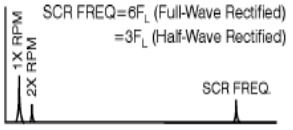
مشکلات فاز حاصل از شلی یا شکستگی اتصالات می تواند باعث ارتعاش زیادی در دو برابر فرکانس جریان $2F_L$ شود. $2F_L$ نیز مجاورهایی با فاصله1/3 فرکانس جریان دارد. اگر مشکل حل نشود، دامنه $2F_L$ می تواند تا بیش از1.0 in/sec نیز برسد. اگر خرابی اتصال به گونه ای باشد که گاه گاهی اتصالی کند، مشکل حاد می شود. اتصالات شکسته یا شل باید تعمیر شوند تا از خرابی سنگین جلوگیری شود.

AC SYNCHRONOUS MOTORS (Loose Stator Coils)



شلی سیم پیچ های استاتور در موتورهای سنکرون ارتعاش خیلی زیادی در فرکانس گذر سیم پیچ (CPF Coil Pass Freq) ایجاد می کند. CPF برابر است با تعداد سیم پیچ های استاتور در دور (تعداد سیم پیچ های استاتور = تعداد قطب ها x تعداد سیم پیچ ها \ قطب). CPF با مجاورهای 1RPM محیط شده اند. مشکلات موتور سنکرون همچنین ممکن است با پیک های دامنه بالا در حدود 60K تا 90 KCPM مشخص شوند که با مجاورهای $2F_L$ همراه هستند. حداقل یک طیف تا 90 KCPM روی هر هوزینگ بیرینگ داشته باشید.

DC MOTORS AND CONTROLS
A. NORMAL SPECTRUM

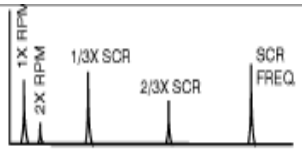


بسیاری مشکلات کنترل و موتور DC را می توان با آنالیز ارتعاشات پیدا کرد. موتورهای، تمام موج یکسو شده (6SCR,s) سیگنالی در $6F_L$ ایجاد می کنند (6FL= 360 Hz= 21.600 CPM)؛ در حالیکه موتورهای DC نیم موج یکسو شده (3SCR,s) $3F_L$ ایجاد می کنند. (3FL= 180 Hz = 10.800 CPM). SCR Fining Frequency معمولا در طیف موتور DC وجود دارد، اما با دامنه کم. به فقدان دیگر پیک های مضرب F_L توجه داشته باشید.

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

وقتی طیف موتور DC پیک های بالایی در SCR یا 2SCR دارد، معمولا نشانگر شکستگی سیم پیچ های موتور یا نقص Tuning سیستم کنترل الکتریکی می باشد. اگر مشکلات کنترل برجسته باشند Tuning به تنهایی می تواند باعث ارتعاش کمتری در SCR و 2SCR شود. دامنه های بالا در این فرکانس ها معمولا بیش از حدود 0.10 in/sec در 1SCR و حدود 0.04 in/sec در 2SCR Firing Freq می شود.

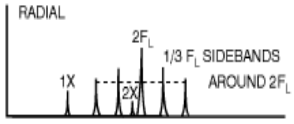
C. FAULTY FIRING CARD OR BLOWN FUSE



وقتی Firing Card 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 SCR 2/3 شود (1FL = 1/3 SCR Freq برای نیم موج یکسو شده، و $2F_L$ برای SCR تمام موج یکسو شده).

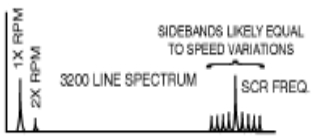
توجه: ساختار SCR / Card قبل از عیب یابی موتور باید شناخته شود (تعداد SCR,s ، تعداد Firing Cards و غیره).

D. PHASING PROBLEM (Loose Connector)



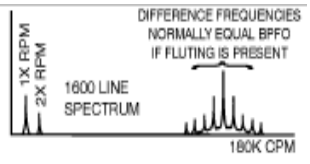
SCR,s معیوب، کارت های کنترل اتصال کوتاه و یا اتصالات شل می تواند باعث پیک های قابل توجهی در چند ترکیب از F_L و فرکانس SCR Firing شود. معمولا SCR بد می تواند باعث دامنه های بالای F_L و یا $5F_L$ در موتورهای SCR 6 شود. نکته قابل توجه اینکه نه F_L، $2F_L$، $4F_L$، و نه $5F_L$ نباید در طیف موتور DC موجود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

E. FAULTY COMPARITOR CARD



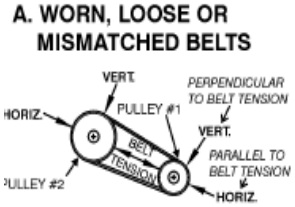
Comparitor Card های معیوب باعث مشکلاتی در نوسان یا کم و زیاد شدن RPM می شوند. این امر باعث اضمحلال و تولید مجدد حوزه مغناطیسی می شود. این مجاورها اغلب حدود نوسان RPM هستند و FFT با وضوح بالا نیاز دارند تا قابل کشف باشند. چنین مجاورهایی می تواند حاصل تولید و تولید مجدد حوزه مغناطیسی باشد.

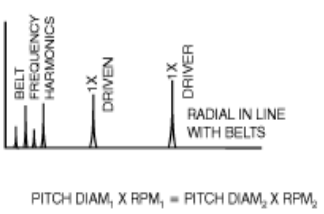
F. ELECTRICAL CURRENT PASSAGE THRU DC MOTOR BEARINGS



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 race 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 با ۱۶۰۰ خط و اندازه گیری روی بیرینگ های OB و IB موتور DC توصیه می شود.

BELT DRIVE PROBLEMS
A. WORN, LOOSE OR MISMATCHED BELTS

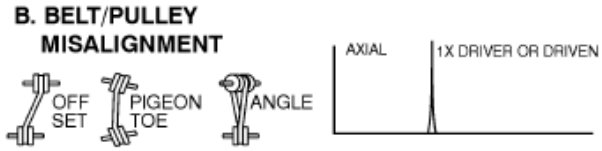




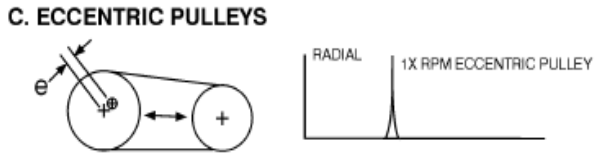
$$\text{Belt Freq} = \frac{3.142 * Pulley\ RPM * Pitch\ Diam.}{Belt\ Length}$$

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 ضرایب ۳ تا ۴ برابر فرکانس تسمه می شوند. اغلب ۲ برابر فرکانس تسمه پیک شاخص می باشد. دامنه ها معمولا ناپایدار 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 دندانه های خورشیدی RPMX می باشد شناخته می شوند.

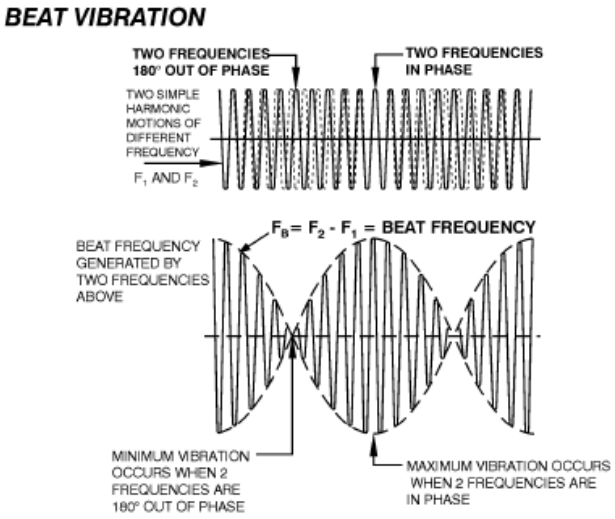


عدم هم محوری پولی ارتعاش زیاد قابل توجهی در 1RPM در جهت محوری ایجاد می کند. نسبت دامنه RPM محرک به متحرک بستگی به جای اندازه گیری دارد، به همین نسبت به جرم و سختی شاسی. در پولی های غیر هم محور اغلب، بیشترین ارتعاش محوری روی موتور در فرکانس RPM فن خواهد بود، یا برعکس. می توان با اندازه گیری فاز و تنظیم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

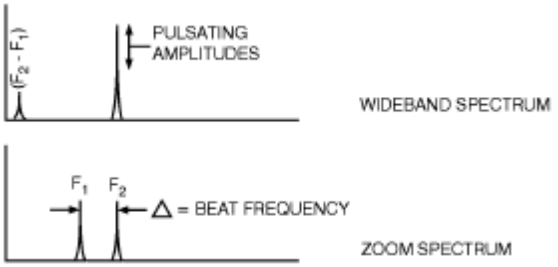


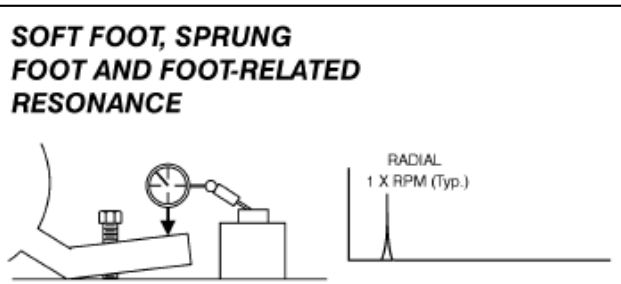
پولی های خارج از مرکز باعث ایجاد دامنه بالا در 1RPM پولی خارج از مرکز می شوند. بیشترین دامنه معمولا در امتداد تسمه می باشد، و باید هم روی بیرینگ های محرک و هم متحرک دیده شود. گاهی اوقات می توان پولی های خارج از مرکز را با افزودن واشر به پیچ های قفل کن پولی بالانس کرد. با این حال، حتی اگر بالانس شود، 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 0 یا 180 درجه نشان می دهد.

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 بیرینگ 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.



فرکانس ضربان حاصل دو فرکانس نزدیک به هم است که به تناوب با هم هماهنگ می شوند. طیف باند پهن معمولا 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 معمولا در محدوده فرکانس اندازه گیری عادی ملاحظه نمی شود چرا که ذاتا فرکانس پایینی دارد، معمولا محدوده آن از حدود 5 تا 100 CPM می باشد. حداکثر ارتعاش وقتی حادث می شود که شکل موج زمانی فرکانس F_1 هم فاز فرکانس دیگر F_2 شود. حداقل ارتعاش نیز زمانی حادث می شود که دو فرکانس ۱۸۰ درجه اختلاف فاز داشته باشند.





Soft Foot زمانی حادث می شود که شاسی یا پایه هنگامی که پیچ آن در حد سفت کردن با دست شل شود تغییر شکل بدهد، و باعث شود پایه بیش از حدود 0.002 – 0.003 اینچ بالا بیاید. این مشکل همیشه باعث افزایش ارتعاش نمی شود. با این حال، اگر هم محوری یا هم مرکزی فاصله هوایی موتور را تحت تاثیر قرار دهد می تواند باعث ارتعاش با دامنه زیاد شود.

Sprung Foot (پایه فنری) می تواند باعث تغییر شکل شاسی شود، که باعث افزایش ارتعاش، نیرو و تنش در شاسی، هوزینگ بیرینگ 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 ۵ تا ۱۵ برابر یا بیشتر از زمانی 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 تاثیر قرار می دهد. اما می تواند 2RPM، 3RPM و دو برابر فرکانس جریان، فرکانس گذر پره و غیر را نیز تحت تاثیر قرار دهد.(خصوصا رزونانس مربوط به پایه).