

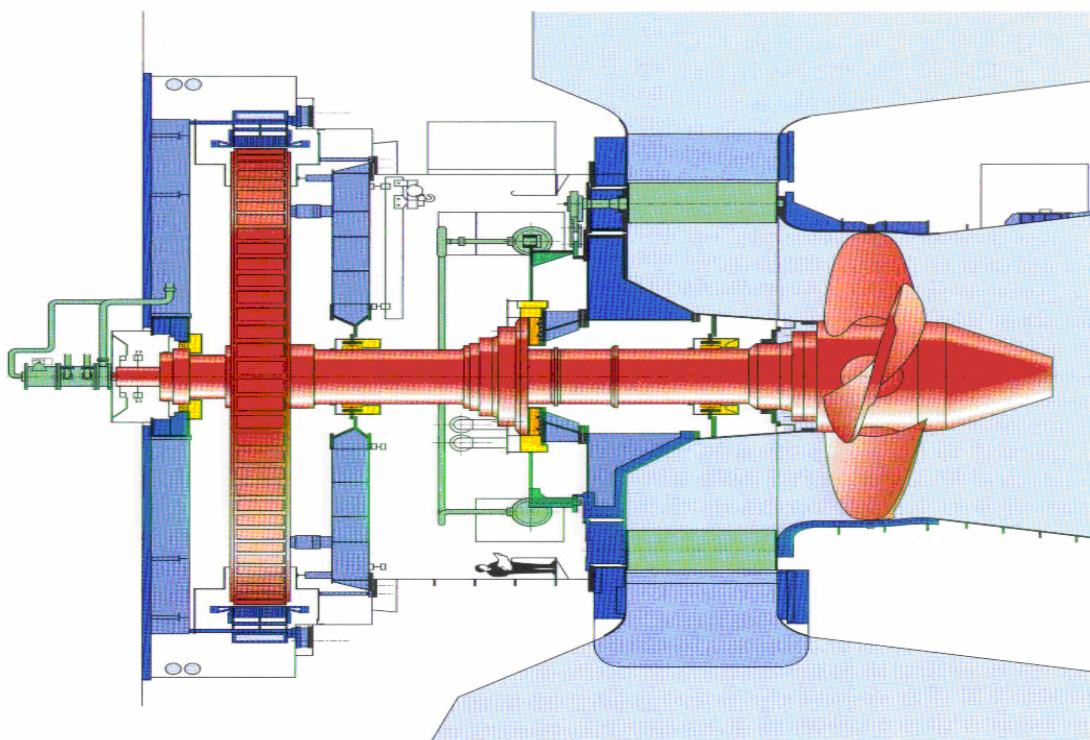
اداره آموزش شرکت پالایش نفت اصفهان

ارتعاشات

کاربردهای آن در آنالیز عیوب دستگاهها و ماشین آلات

و مقدمه ای بر

آنالیز صوت، آنالیز روغن، آنالیز حرارت



تهیه و تدوین:

مهندس مهدی نصر آزادانی

ویرایش اول = مردادماه ۱۳۸۷

فهرست مطالب

موضوع	صفحه
مقدمه	
مفاهیم و تعاریف نگهداری و تعمیرات	۶
اهداف سیستم های نگهداری و تعمیرات	
انواع سیستم های نگهداری و تعمیرات	
سیستم های مراقبت وضعیت Condition Monitoring	۱۶
مقدمه ای بر اندازه گیری و آنالیز ارتعاشات	۲۳
مشخصات یک حرکت ارتعاشی	
تجهیزات متداول برای اندازه گیری ارتعاشات	۳۴
جداول استاندارد سلامتی ماشین آلات	
سنسورهای اندازه گیر ارتعاشات Pickup	۴۳
دستگاه های آنالیز ارتعاشات Vibration Analyzers	۶۰
آنالیز ارتعاشات بر اساس منحنی های FFT	۶۸
عیوب متداول ماشین آلات و شناسائی آنها از طریق منحنی های FFT	۷۳
ارتعاشات ناشی از نابالانسی	
ارتعاشات ناشی از ناهم محوری Misalignment	۷۷
ارتعاشات ناشی از برینگ های بوشی Sleeve Bearing	۸۲
ارتعاشات ناشی از نیروهای هیدرولیکی و آیرودینامیکی	۸۶
ارتعاشات ناشی از مسائل جانبی یا تاقان های غلطکی	۹۲
ارتعاشات ناشی از مسائل چرخ دنده ها	۱۰۶
ارتعاشات ناشی از تسمه ها Drive Belt Problem	۱۱۱
ارتعاشات ناشی از مسائل برقی در الکتروموتورها Electrical Faults	۱۱۵
آنالیز ارتعاشات بر اساس اندازه گیری زاویه فاز ارتعاشات	۱۲۵
آنالیز ارتعاشات با استفاده از منحنی های Orbit	
مقدمه ای بر آنالیز روغن Oil Analysis	
اهداف و نتایج حاصل از آزمایشات آنالیز روغن	
ترموگرافی Thermography	
مقدمه ای بر بر ارتعاشات صوتی و آنالیز صوت	

بسمه تعالی
نون والقلم وما یسطرون

مقدمه

با پیشرفت علم و تکنولوژی در جهان صنعتی امروز در افزایش کمی و کیفی فرایندهای تولید یکی از مهمترین مسائل کاهش هزینه های تولید است. یکی از مهمترین شاخص های هزینه ها تعمیرات است که درصد زیادی از هزینه ها را به خود اختصاص می دهد که البته جهت اطمینان از کاردهی و سلامتی ماشین آلات امری بسیار ضروری و لازم نیز می باشد جهت جلوگیری از افزایش هزینه های ناشی از خرابی دستگاه ها و تعمیرات آنها و جلوگیری از توقف های ناگهانی و نامعلوم سیستم های تولید و هزینه های گزاف تعمیرات و خرابی های زود هنگام دستگاه ها به دلیل بازوبست های مکرر و غیر ضروری و مصرف زیاد قطعات یدکی و تعویض های نابجای قطعات یدکی و استفاده غیر صحیح و ناصولی از ماشین آلات و تبحر نا کافی تعمیرکاران و نقاط ضعف آموزشی آنها و توقف و راه اندازی های مکرر لرزوم نیاز به ابزارهایی برای کنترل و مراقبت های ویژه را طلب می کند.

البته در دنیای امروز با این همه پیشرفت علم و تکنولوژی دیگر زمان کاملاً پیش بینی شده ای برای تعمیرات وجود ندارد بلکه با مراقبت های ریزبینانه ای که بطور دائم از دستگاه ها و ماشین آلات انجام می شود بهترین شرایط عملیاتی را برای ادامه کار دستگاه بوجود می آورند و با انجام اقدامات پیشگیرانه شرایط کار دستگاه راحت کنترل درآورده و قبل از آنکه عیب روی دستگاه وارد مرحله بحرانی شود حتی در نطفه شناسائی و در یک شرایط کاملاً عادی مرتفع می گردد.

اساس این کاربر برنامه های نگهداری و تعمیرات Condition Monitoring استوار است که با استخراج منظم و مستمر اطلاعات از دستگاه های در حین کار عیوب احتمالی بالقوه را شناسائی کرده و با پیش دستی اقدامات مناسب ریشه کنی عامل مشکل مرتفع می شود. کمیت هایی که در شرایط کاری ماشین موثرند و اندازه گیری می شوند شامل ارتعاشات، روغن، درجه حرارت، خوردگی، صدا و..... است که مقادیر اندازه گیری شده و روند تغییرات مورد مطالعه و بررسی (آنالیز) بیشتر قرار می گیرند و اقدامات لازم در زمان مناسب با برنامه ریزی قبلی انجام می گردد.

در این مقوله به پارامترهایی نظیر ارتعاشات روغن و در فصل اخرنیز به صوت که حاوی اطلاعات زیادی از یک دستگاه هستند اشاره شده و در حد نیاز صنعتی مورد بحث و بررسی قرار گرفته اند که البته خالی از اشکال نیز نبوده و مشتاقانه منتظر دریافت نقطه نظرات و پیشنهادات کلیه دوستان و عزیزان هستیم تا انشاء..... در چاپ های بعدی مدنظر قرار دهیم. البته به دلیل تنوع عیوبی که روی یک ماشین ممکن است بوجود آید راه حل های زیادی نیز وجود دارد که باید و بینش قوی مهندس مراقب دستگاه امکان رسیدن به آن فراهم می گردد ولی به هر حال امید است مورد استفاده کلیه مهندسين و تکنسین های که به هر نحو مقتضی در امر نگهداری و تعمیرات فعالیت می نمایند و واقع گردد و بتوانیم قدمی هر چند کوچک در پیشرفت و تعالی میهن عزیزمان برداریم.

البته این مقوله خالی از اشکال نبوده و بی صبرانه منتظر دریافت نقطه نظرات کلیه دوستان و سروران گرامی هستیم تاانشاء...در چاپ های بعدی مدنظر واقع گردد. در پایان لازم می دانم از کلیه عزیزانی که در امر تهیه و تدوین این جزوه و جزوات دیگر بصورت تنگاتنگ همکاری نمودند بخصوص مسئولین محترم اداره آموزش شرکت پالایش نفت اصفهان که در همه عرصه ها در تهیه کتب و جزوات آموزشی مشوق اینجانب بوده اند صمیمانه تشکر و قدردانی نمایم و از درگاه ایزدمنان برای آنان و تمامی کسانی که در جهت اعتلا و آبادانی این مرز و بوم قدم برداشته و برمی دارند آرزوی توفیق روزافزون و زندگی همراه با موفقیت نمایم و امیدوارم توانسته باشم با این حرکت گامی هر چند کوچک در جهت آشنانمودن مهندسین و تکنسین های تعمیرات و عملیات برداشته باشم . اگر این مجموعه اجری داشته باشد آن را تقدیم روح ملکوتی امام راحل و شهدا و تمامی کسانی که در جهت پیشرفت، آبادانی و اعتلای این اب و خاک قدم برداشته اند و انانی که عزیزترین گوهر هستی خود را در طبق اخلاص تقدیم پروردگار خود نمودند و تلاش کرده اند تا ما امروز بتوانیم مفتخر و سر بلند زندگی کنیم می نمایم .

تعمیرات ماشینری شرکت پالایش نفت اصفهان

مهرماه ۱۳۸۷ هجری شمسی

مهدی نصر آزادانی

پیشگفتار

مقوله نگهداری و تعمیرات یابطوراختصارنت یکی ازمهمترین علل کاهش هزینه ها وپایین آمدن قیمت کالا در کشورهای پیشرفته است ولی متاسفانه در کشورهای جهان سوم ودرحال رشدهنوز جایگاه واقعی خودراپیدا نکرده وباعث افزایش هزینه های تعمیر ونگهداری وکاهش طول عمر تجهیزات وقطعات یدکی وبه هدررفتن میلیون ها دلارارز وواریزشدن آن به حساب های شرکت های خارجی شده است .

نگهداری و تعمیر درجهان تکنولوژی امروز به عنوان یک فن وابزار بسیار پیچیده ای که به عنوان کلیدورمز موفقیت مدیران صنعت امروز درآمده ودامنه بسیار گسترده ای دارد که روزه روزهم بردامنه گسترش آن افزوده می شود وهرچه دیدوشناخت مدیران نسبت به آن افزایش پیدا می کند و تحت حمایت های آنها تمره های بسیار خوبی دارد که هر روز نیز به دامنه آن اضافه می شود .

درجهان امروزی دیگر جای خطا و اشتباه و ریسک وجود ندارد آنقدر روی سیستم های کمی و کیفی نگهداری و تعمیر کنترل وجود دارد که به هیچ وجه حتی اجازه خراب شدن به ماشین آلات داده نمی شود وهرمشکلی که در آینده حتی دور بخواهد باعث از کار افتادن یک دستگاه ونتیجتا اختلال درسیستم تولید گردد درنطفه شناسائی وخفه خواهد شد وامکان خرابی های بعدی به صفر می رسد و براحتی می توان ادعا کرد که دقیقا همه چیز تحت کنترل وحساب و کتاب قرار می گیرد واز تعویض بی مورد قطعات وصرف وقت نیروهای انسانی و..... که باعث افزایش هزینه های تولید می گردد ممانعت به عمل می آید .

البته لازم به توضیح است که اجرای این امر مهم اولاً نیاز به طراحی یک سیستم منطبق باشرايط کار وهمچنین نیاز به بستر سازی فرهنگی مناسب وایجاد انگیزه در کلیه سطوح کارکنان دارد که البته در اکثر کارخانجات کشور نیز کمابیش دراین زمینه ها اقداماتی انجام شده است ولی واقعیت این است که اولاً این کار فراگیر نشده وهمچنین کاملاً روزآمد نشده است که با وجود بستر فرهنگ ملی مذهبی غنی ای که در کشور ما وجود دارد و با حمایت های جدی مدیران ارشد انشاا..... این امر مهم در آینده بطور کامل میسر خواهد شد.

مفاهیم و تعاریف نگهداری و تعمیرات

هزینه های تعمیراتی بخش اعظمی از هزینه تمام شده همه کارخانجات و واحدهای تولیدی را در بر می گیرد و بسته به نوع صنعت هزینه های تعمیر و نگهداری بین ۱۵ تا ۶۰ درصد هزینه های تولید می باشد. و لذا این هزینه ها بسیار بالا بوده و بهبود آن می تواند تاثیرات بسیار زیادی روی منافع اقتصادی صنایع داشته باشد. بررسی های آماری نشان می دهد که حدود ۳۰ درصد کل هزینه های تعمیراتی ناشی از تعمیرات غیر ضروری یا ناصحیح است که ناشی از مدیریت های ناکارآمد تعمیراتی می باشد که عموماً ناشی از فقدان اطلاعات درست و کافی از نیازهای واقعی و برنامه ریزی برای تعمیر و نگهداری ماشین آلات است. در این بخش باتکنیک های تعمیر و نگهداری آشنا خواهید شد..

الف - نگهداری Maintenance

به مجموعه فعالیت هایی اطلاق می شود که بطور مشخص و معمولاً بصورت برنامه ریزی شده با هدف جلوگیری از خرابی های ناگهانی ماشین آلات و تاسیسات انجام می شود و با این کار قابلیت اطمینان و در دسترس بودن آنها افزایش پیدا می کند نگهداری گفته می شود که از اهمیت ویژه ای برخوردار است و تمامی سعی و تلاش ها در تقویت آن است.

ب - تعمیرات Repair

تعمیرات شامل مجموعه فعالیت هایی است که بر روی یک سیستم یا وسیله ای که دچار خرابی یا از کار افتادگی گردیده انجام می شود تا آن را به حالت آماده و قابل بهره برداری بازگرداند و در جهت انجام وظیفه ای که به آن محول شده است آماده گردد.

(ج) نگهداری و تعمیر (نت)

نگهداری و تعمیر به مجموعه فعالیت هایی اطلاق می شود که سبب افزایش طول عمر مفید دستگاه ها ماشین آلات و کاهش مصرف قطعات یدکی می شود و صرفه جوئی در انرژی و هزینه را نیز به دنبال دارد و همچنین باعث افزایش کارآرایی و راندمان عملی ماشین آلات می شود.

علل وجود نارسائی در امور نگهداری و تعمیرات در کارخانجات ایران

متأسفانه در سالهای گذشته در اکثر صنایع بخش نگهداری به فراموشی سپرده شده و بیشتر به بخش های تعمیراتی پرداخته شده است که باعث ایجاد خسارت های غیر قابل جبرانی شده که علل اصلی آن بطور خلاصه شامل موارد زیر است:

۱- قسمت اعظم کارخانجات ایران در فاصله ۳۵-۲۵ سال گذشته تاسیس و راه اندازی شده است (نوپا بودن صنایع) که خرابی ها پس از چندین سال پس از بهره برداری چشمگیر و زیان آور شده و در بعضی موارد غیر قابل جبران بوده است.

۲- در دسترس بودن و راحتی خرید قطعات یدکی باعث تعویض بی رویه قطعات بجای نگهداری و تعمیر آنها شده (به خصوص در اوایل دهه ۵۰) و نتیجتاً مسئولیت های نت به سمت تعویض قطعه بعد از خرابی متمایل شده است.

۳- سیاست های اقتصادی کشورهای صنعتی براساس فروش قطعات یدکی بوده است که سود بیشتری را برای آنها به ارمغان آورده است و همراه ماشین آلات فروخته شده تعداد زیادی قطعات یدکی نیز فروخته شده است که باعث غافل ماندن این کشورها از امور نگهداری شده است.

۴- وجود کارشناسان و سازندگان ماشین آلات در سال های اول تاسیس کارخانجات هنگام نصب و راه اندازی و عدم ارائه سیستم های نت باعث بی اهمیت شدن کارشناسان داخلی به این مسائل شده است.

۵- عدم رعایت استانداردهای مشخص در تهیه و خرید ماشین آلات صنعتی

۶- عدم تاسیس رشته های مهندسی صنایع و مدیریت صنعتی و دروسی نظیر نگهداری و تعمیرات در برنامه های درسی دانشگاه ها بخصوص قبل از انقلاب. که البته اخیرا این رشته ها در دانشگاه ها ارائه گردیده ولی متأسفانه آن طور که باید جای خود را در صنایع پیدا کرده است.

۷- نارسائی عوامل انسانی نظیر:

الف- پایین بودن کیفیت آموزشی بخصوص در سطح کارگران.

ب- علاقه به کاربرد روش سعی و خطا بجای روش های منطقی برای یافتن عیوب.

ج- بی دقتی در لحظات اتمام کارهای تعمیراتی و کم اهمیت شمردن جزئیات کار.

د- عدم وجود یک میراث صنعتی (الگو) در جامعه کارگری.

۸- عدم توجه به مسائلی نظیر فرآیندهای نگهداری، قیمت، نحوه دسترسی به قطعات یدکی، دستور العمل های سرویس، بازدید و تعمیر ماشین آلات.

۹- تأثیرات ناشی از جنگ تحمیلی که نیاز به تولید و تداوم بیشتر آن الزامی و به عنوان هدف اصلی بشمار می رفت.

البته در سال های قبل و بخصوص پس از اتمام جنگ قدم های بسیار موثری هم در صنایع و هم در دانشگاه ها برای ایجاد سیستم های نگهداری و تعمیرات برداشته شده است ولی هنوز به عنوان یک فرهنگ عمومی در نیامده است. به مثابه پیشگیری بهتر از درمان است نگهداری هم بهتر از تعمیر خواهد بود زیرا هر مکانیزی اول نیازه نگهداری دارد اگر خوب نگهداری نشود باید آن را تعمیر یا تعویض کرد کفشی که هر هفته واکس می خورد زیر نور شدید آفتاب و یا رطوبت زیاد قرار نمی گیرد یا به عبارت دیگر خوب نگهداری می شود به مراتب بیشتر از کفشی که نگهداری نشده است عمر می کند یا اتومبیلی که به موقع تنظیم موتور می شود روغنش به موقع عوض می شود باد چرخ هایش مرتب چک و تنظیم می شود به موقع آچار کشی می شود و..... به مراتب هزینه های تعمیراتی آن کمتر از اتومبیلی است که خوب نگهداری نمی شود. یک سوراخ کوچک روی بام یک منزل مسکونی که با هزینه ای بسیار کم قابل اصلاح است اگر به موقع مرتفع نشود می تواند بایک بارندگی خسارت های بسیار جبران ناپذیری را بوجود آورد و..... ولی در صورت نگهداری و مراقبت صحیح هزینه های تعمیر یا تعویض به طور سرسام آوری کاهش پیدا خواهد کرد.

برای دستگاه ها و ماشین آلات صنعتی که جز سرمایه های ملی محسوب می شوند نیازه نگهداری آنها یکی از وظایف مهم و خطیر تک تک ماست که برای انجام این کار نیاز به وجود یک سیستم مناسب و کار الزامی است.

معایب ناشی از نداشتن سیستم نگهداری و تعمیرات

- ۱- عدم اطمینان کامل از کارکرد مناسب دستگاه و خط تولید .
- ۲- افزایش هزینه های تعمیراتی و افزایش خسارت های وارده به ماشین آلات .
- ۳- کاهش طول عمر دستگاهها که قطعات یدکی آنها غالباً صرف هزینه های هنگفت ازخارج از کشور تهیه و تامین می شوند.
- ۴- اختلال در خط تولید بخصوص در مراکز صنعتی بزرگ (که گاهی خیلی بیشتر از هزینه های تعمیراتی است).
- ۵- احتیاج به تعویض سریع قطعات که در شرایط فعلی دسترسی به آنها مشکل بوده و قیمت آنها بطور مداوم روبه افزایش است .
- ۶- قابل محاسبه و پیش بینی نبودن هزینه ها و سود و زیان ها و - قابل برنامه ریزی نبودن کارهای تعمیراتی
- ۷- ایجاد خطرات جانی برای کارکنان .
- ۸- اثرات کمبود تولید در شرایطی که میزان عرضه و تقاضا متناسب نباشد باعث ایجاد نارضایتی و بازار سیاه می شود .
- ۹- پایین آمدن کیفیت محصولات ساخته شده .

دلایل مهم روند افزایشی امور نگهداری و تعمیرات

- ۱- بالا رفتن حجم سرمایه گذاری ها و سرعت تولید و در نتیجه بروز خسارت های زیاد به سیستم تولیدی در اثر رکود تولید به علت خرابی های اضطراری و غیرمنتظره.
- ۲- بالا رفتن قیمت قطعات یدکی و قیمت اولیه ماشین آلات که احتیاج به مدیریت صحیح و بهینه بردارائی های فیزیکی و کنترل سرعت استهلاک و هزینه های نگهداری و تعمیرات را الزامی می کند
- ۳- حرکت سریع صنایع در جهت اتوماسیون که در نتیجه احتیاج کمتری را به مهارت های امور تولید ایجاد نموده ولی احتیاج به مهارت بیشتر کارکنان نت و مدیریت فنی را در جهت توانائی در مراقبت و تعمیر تجهیزات الزامی می نماید
- به همین جهت از سالها قبل در کلیه صنایع کوچک و بزرگ بخش نگهداری بصورت سریع رشد کرده و جای تعمیرات را گرفته است و شعار نگهداری بجای تعمیرات

NO REPAIR MAINTENANCE

جامه عمل پوشیده است.

اهداف سیستم های نگهداری و تعمیرات (نت)

- ۱- ایجاد آرشیو مدارک فنی به عنوان بانک اطلاعاتی کارخانه
- ۲- بررسی و آنالیز اقتصادی نگهداری و تعمیرات انجام شده
- ۳- کاهش هزینه های انرژی مانند : برق ، آب ، بخار ، سوخت و
- ۴- ایجاد زمان توقف کمتر در مقابل تولید بیشتر (کاهش قیمت تمام شده محصول)
- ۵- کاهش هزینه های تعمیرات تکراری و متوالی و نتیجتاً استفاده بهتر از قطعات یدکی و نیروی انسانی

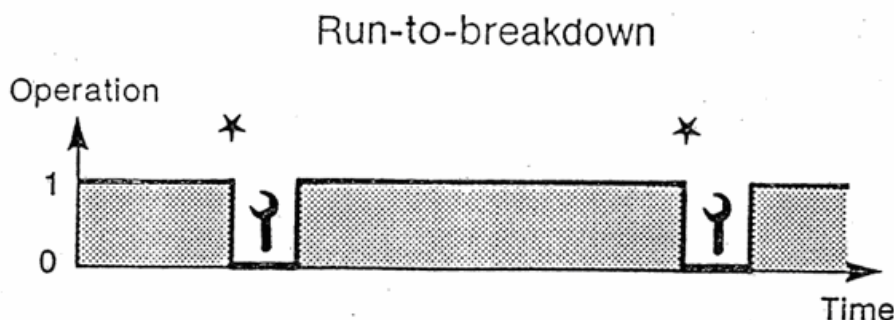
- ۶- افزایش کمیت و کیفیت تولید و جلوگیری از ضایعاتی که بر اثر خرابی ماشین آلات بوجود می آید .
- ۷- جلوگیری از صرف سرمایه گذاری های سنگین جهت جایگزینی ماشین آلات
- ۸- پایین آوردن هزینه های تولید با کاهش تعمیرات و توقف ماشین آلات
- ۹- ایجاد نظم و ترتیب در تعمیرات و استاندارد کردن کارهای تعمیراتی و زمان سنجی فعالیت های نت .
- ۱۰- تهیه دستورالعمل های ایمنی و حفاظت فردی در اجرای سیستم نگهداری و تعمیرات به منظور جلوگیری از خطرات احتمالی به کارکنان

انواع سیستم های نگهداری تعمیرات و مزایا و معایب آنها

- ۱- تعمیر تا حد شکست و توقف دستگاه Break Down Maintenance
- ۲- تعمیرات دوره ای زمانی Time Based Maintenance
- ۳- تعمیرات پیشگیرانه Preventive Maintenance
- ۴- تعمیرات پیش بینانه Predictive Maintenance
- ۵- نگهداری و تعمیرات بهره ور فراگیر Total Productive Maintenance
- ۶- روش های نوین نگهداری و تعمیرات

تعمیر تا حد شکست و توقف دستگاه Break Down Maintenance

این روش یک روش قدیمی مربوط به یک قرن قبل است که همانطور که از اسمش پیداست تعمیرات وقتی انجام می شود که ماشین از کار بیفتد Run To Failure و اگر خراب نباشد کاری با آن نداشته باشیم. و لذا در این متدهزینه ای صرف نگهداری نمی شود. اتکاء به این روش از گران ترین مدیریت های تعمیراتی است و توسط هر مدیر صنعتی بکار گرفته شود به عنوان یک روش غیر کارا ، پرهزینه و مردود است .



البته لازم به توضیح است که در این روش نیز اقدامات پیشگیرانه پایه ای نظیر روانکاری تنظیمات و... انجام می شود ولی تازمانی که دستگاه کار می کندنه بازسازی می شود و نه تعمیرات اساسی روی آن انجام می شود.

معایب روش تعمیر تا حد شکست

- ۱- داشتن اطلاع قبلی پیش از خرابی تقریباً غیر ممکن است (خرابی های غیرمنتظره) به همین دلیل این نوع تعمیرات غیرمنتظره است و قابل برنامه ریزی نیست .
- ۲- وجود یک نقیصه در یک قطعه از ماشین می تواند باعث تسریع در خرابی ، توسعه و تسری خسارات به دیگر قطعات گردد (افزایش هزینه های تعمیراتی) .

۳- خرابی و توقف ناگهانی ماشین آلاتی که در یک مجموعه کار می کند بر کار دیگر ماشین آلات و قسمت های فعال اثر بازدارنده داشته و باعث اختلال در خط تولید می شود .

۴- نیاز به تهیه و تدارک قطعات یدکی مورد نیاز افزایش پیدامی کند و گردآوری افراد متخصص مربوط به منظور انجام سریع و اقتصادی تعمیرات پیش بینی نشده بسیار مشکل یا غیر ممکن است به عبارت دیگر نابسامانی در تدارکات قطعات یدکی و نیروی انسانی) .

۵- خسارات مالی ناشی از توقف دستگاه و وقفه در کار به میزان قابل توجهی بیش تر از خود هزینه تعمیر می باشد .

۶- بوجود آمدن خسارت ها و خرابی های بزرگ بخصوص برای دستگاه های گران قیمت و سنگین کمر شکن است.

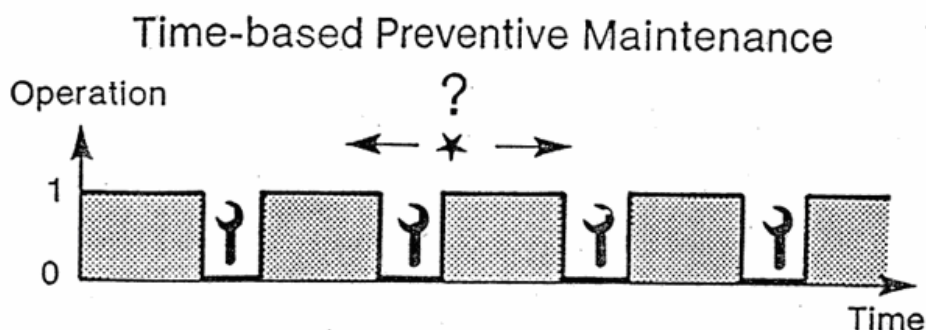
۷- کاهش تولید

۸- آمار نشان می دهد که هزینه های تعمیراتی این روش حدود سه برابر همان تعمیرات با تعمیرات برنامه ریزی و پیشگیرانه است.

البته این روش برای بعضی از ماشین آلات کوچک ارزان قیمت مثل لوازم خانگی و..... استفاده می شود بطور مثال حدود نصف مردم آمریکا تعمیرات و نگهداری لوازم خانگی و اتومبیل خود را بر اساس Run To Failure به انجام می رسانند یا اتومبیل هائی تولید می شود غیر قابل تعمیر و یک بار مصرفند که البته این روش در صورتی که هزینه های جایگزینی و هزینه های دیگری که به دنبال دارد کم باشد قابل قبول است ولی در صنایع بزرگ دنیا هیچ جایگاهی ندارد .

تعمیرات دوره ای زمانی Time Based Maintenance

مدیریت تعمیراتی این روش بر اساس گذشت زمان یا ساعت کارکرد یا دوره ای است . اساس کار این روش بر بازرسی ها و چک های روتین تعمیراتی است که معمولاً توسط کارخانه سازنده ماشین توصیه شده و یا بصورت تجربی بدست آمده است که در دوره های زمانی معین روزانه ، هفتگی ، ماهانه و..... انجام می شود.



و شامل :

۱- انجام تعمیرات های اساسی دوره ای (O/H) بر اساس ساعت کارکرد ماشین آلات.

۲- چک کردن فواصل , کلر نس ها , اندازه ها و..... قطعات طبق برنامه.

۳- تعویض روغن در زمان های مناسب.

- ۴-گریسکاری دوره ای قطعات.
- ۵-بازدیدها ی روتین از قسمت های مختلف.
- ۶-چک کردن نحوه کار دستگاه .
- ۷- آچار کشی قسمت های مختلف.
- ۸-تمیز کاری ماشین ومحیط اطراف آن.
- ۹-چک کردن لرزش و گرمای قسمت های مختلف.
- ۱۰-کالیبراسیون تجهیزات.
- ۱۱-بازرسی ها و.....

معایب تعمیرات دوره ای

- ۱-بازوبسته کردن یک ماشین حساس هزینه های زیادی را دربردارد و باعث بیشترشدن ریسک های تعمیراتی خواهدشد.
- ۲-تعیین فاصله زمانی مناسب بین دو تعمیر کلی مشکل است.
- ۳-ماشین آلاتی که در شرایط خوبی مشغول به کارند ممکن است عملاً در نتیجه بازوبسته کردن کیفیت کارشان نزول کرده و یا دچار اشکالات دیگری شوند.
- ۴-پس از هر تعمیر کلی همواره خطر بروز خرابی های ناگهانی ناشی از نصب قطعات، شل بودن پیچ ها، و باقی ماندن اجسام خارجی در سیستم روغن و..... وجود دارد
- ۵- بسیاری از مسائل ماشین آلات در هنگام کار کردن آنها قابل تشخیص است و وقتی دستگاه از سرویس خارج است (در حین تعمیر) قابل تشخیص نیست.
- ۶-نیاز به اورهال های دوره ای الزامی است که باعث افزایش هزینه های تعمیراتی و صرف وقت بیشتری خواهدشد.
- ۷-نیاز به نفرات متخصص برای انجام کارهای تعمیراتی.
- ۸-در این روش یا تعمیرات غیر ضروری انجام می شود یا منجر به خرابی های سنگین روی ماشین می شود.

تعمیرات پیشگیرانه Preventive Maintenance

در این سیستم ایجاب می کند پس از دوره های زمانی معین بعضی از قطعات تعویض گردند و اساس آن براین است که هر قطعه طول عمر مشخصی دارد (که براساس یک عدد متوسط بیان می شود) بعضی از قطعات دارای طول عمر بیشتر و بعضی دارای طول عمر کمتری هستند (مثل بال بریگ ها و.....). طول عمر قطعات توسط سازندگان تخمین زده شده و سعی بر این است که قبل از خرابی قطعه و از کار افتادن ماشین قطعه مورد نظر تعویض شود و از کار افتادن ماشین جلوگیری می شود. البته این روش تعمیرهنوز برای ناوگان های هوایی و هواییما مورد استفاده قرار می گیرد ولی در صنایع دیگر کنار گذاشته شده است. ولی سازندگان قطعات یدکی بسیار علاقمند به این سیستم می باشند .

علی رغم این که تعمیرات پیشگیرانه برخی از معایب روش قبل را در خود ندارد در عین حال با طولانی شدن فاصله زمانی بین بازدیدها احتمال خرابی دستگاه در طول این فاصله زمانی افزایش می یابد در این

صورت مدیریت تعمیرات علاوه بر هزینه تعمیرات پیشگیرانه هزینه های خرابی پیش بینی نشده رانیز باید تحمل کند از طرف دیگر کوتاهتر نمودن فاصله زمانی بین دو بازدید با افزایش هزینه های تعمیراتی مواجه است . به هر حال مدیریت تعمیرات بر مبنای تجارب خود می تواند بهترین فاصله زمانی مناسب را برای بازدید ها و تعمیرات پیشگیرانه انتخاب کند .

مزایای تعمیرات پیشگیرانه

۱- افزایش طول عمر دستگاه و افزایش تولید و بالا رفتن ضریب ایمنی دستگاه.
۲- زمان و هزینه ها و حجم کارهای تعمیراتی قابل برنامه ریزی و تنظیم است .
۳- توقف های دستگاه طبق برنامه انجام می شود و کار در زمان مناسب انجام خود انجام می شود.
۴- قطعات یدکی با حداقل موجودی در انبار کنترل و نگهداری می شود و باعث راکد ماندن سرمایه نمی شود.

۵- کاهش توقفات اضطراری ماشین آلات.

۶- نیاز کمتر به تجهیزات یدکی و انبارداری .

۷- تسهیل در تقسیم کردن و مشخص کردن شرح وظایف نفرات در انجام کارها .

۸- آماده بودن واحد در برابر ایجاد واکنش ها .

برخی از معایب تعمیرات پیشگیرانه

۱- باز و بسته کردن قطعات به خودی خود می تواند باعث آسیب و فرسودگی شود .

۲- عدم دقت کافی در مراحل باز و بسته کردن قطعات منجر به آسیب دیدن و بروز عیوب بعدی می شود .

۳- تعمیرات زمانی می تواند منجر به تعویض قطعاتی شود که ممکن است هنوز بخش قابل توجهی از عمر مفید آنها باقی مانده باشد .

۴- چون اطلاعات دقیق درباره وضعیت قطعات مختلف در دسترس نیست مشکلات و عیوب ممکن است هنوز در سیستم باقی مانده باشد و در بین دو فاصله زمانی تعمیرات دوره ای بروز نماید .

۵- انجام تعمیرات دوره ای و پیشگیرانه بصورت کامل و دقیق برای یک مجموعه وسیع از ماشین آلات مستلزم صرف وقت و هزینه های بسیار سنگین است .

۶- در این روش عمدتاً بار تحمیل شده به ماشین که تحت تأثیرات مواد شیمیایی یا تشعشعی ، تأثیرات درجه حرارت ، بار زیاد ، عدم کاربرد صحیح و تغییر د رخط و در نظر گرفته نمی شود .

۷- در بیشتر موارد اشکالات پیش آمده ارتباط زیادی با انجام کارهای تعمیراتی دارد (به عبارت دیگر مونتاژ کردن غیر اصولی قطعات خود باعث اشکال می شود) .

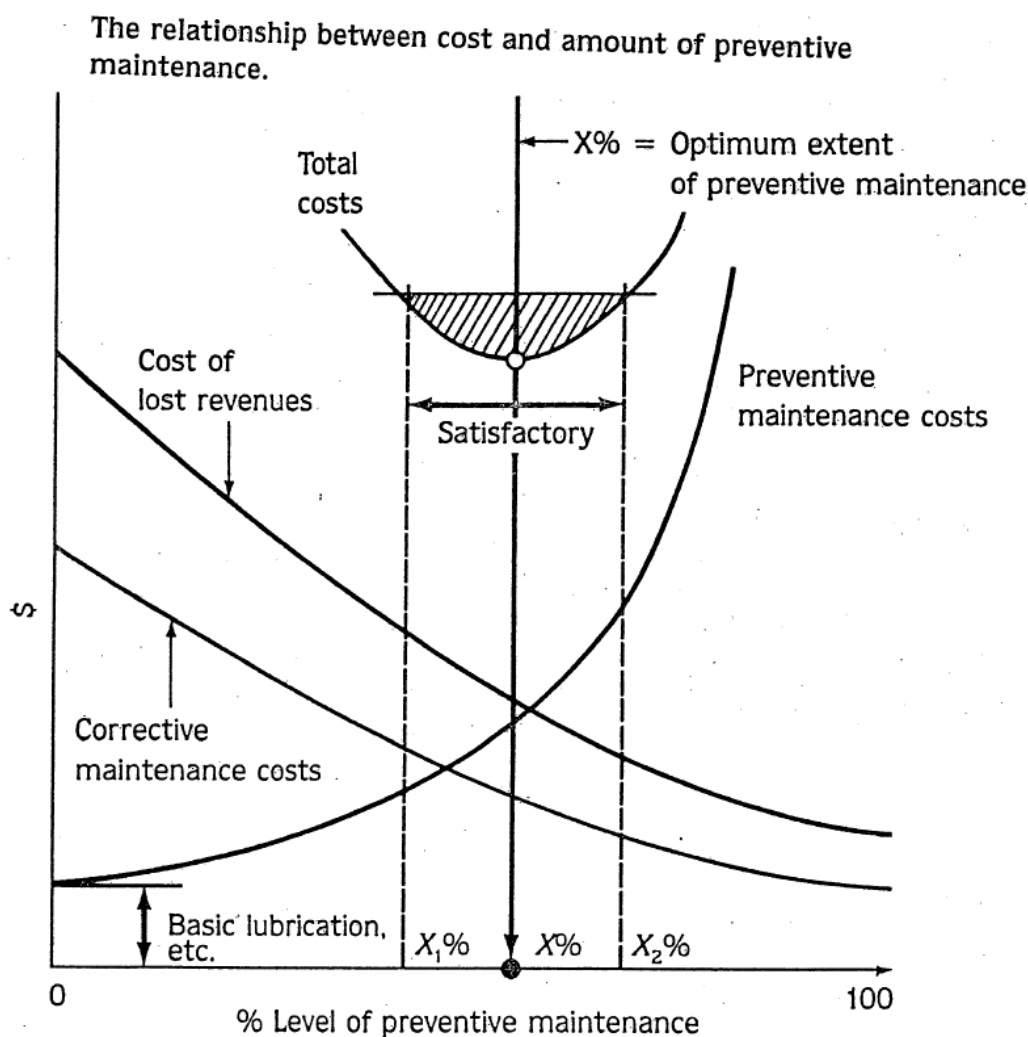
۸- نیاز به برنامه ریزی دقیق است.

۹- هزینه های اولیه و قطعات مصرفی افزایش پیدا می کند .

۱۰- نیاز به نظارت و سرکشی بیشتر الزامی است .

۱۱- نیاز به توقف ماشین در حین کاربرای انجام اقدامات تعمیراتی پیشگیرانه لازم است.

در منحنی های زیر رابطه بین هزینه ها و انجام کارهای تعمیراتی نشان داده شده است. محور افقی میزان درصدی اقدامات پیشگیرانه و محور عمودی مبین هزینه های کارهای تعمیراتی انجام شده است. که همینطور که ملاحظه می شود در یک برآیند کلی اقدامات پیشگیرانه در یک محدوده (قسمت هاشور خورده) مناسبی کمترین هزینه را در بر دارد و در صورتی که از این محدوده فراتر رود باعث افزایش هزینه های تعمیراتی خواهد شد که البته پیدا کردن این محدوده ایتیمم به این راحتی هم نیست.

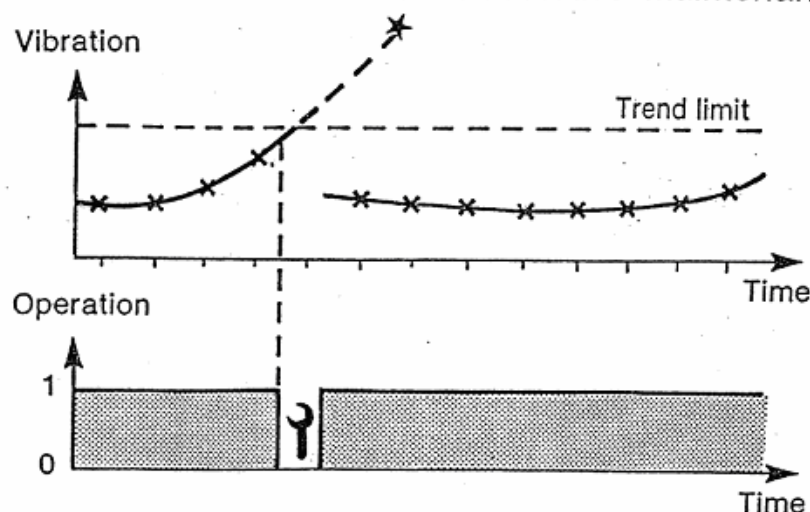


تعمیرات پیش بینانه Predictive Maintenance

اصول کار روش تعمیرات پیش بینانه یا تعمیرات براساس شرایط کار دستگاه Condition Based Maintenance براساس زیر نظر داشتن مستمر ماشین با ابزارها و تجهیزات مخصوص برای بدست آوردن علائم و نشانه های صحت و سلامت از وضعیت ماشین آلات در حین کار است تا دستگاه بتواند در یک شرایط ایمن مناسب و اقتصادی به کار ادامه دهد و در زمان مناسب یا زمانی که باید تعمیر شود مورد تعمیر واقع شود. به عبارت دیگر تعمیرات پیشگیرانه شامل مونیتورینگ پارامترهایی نظیر ارتعاشات، روغن، درجه حرارت

خوردگی و... به منظور کشف عیوب بوجود آمده روی دستگاه در مراحل اولیه و انجام اقدامات اصلاحی برای اصلاح آن برای جلوگیری از پیشرفت خرابی است.

On-condition Maintenance – Predictive Maintenance



مزایای عمده تعمیرات پیش بینانه

- ۱- متوقف کردن ماشین برای رفع عیب می تواند برای زمان معین و مناسب برنامه ریزی شود .
- ۲- از بروز خسارات کلی به ماشین و در نتیجه بروز خرابی ناگهانی جلوگیری می شود .
- ۳- زمان تعمیر به حداقل ممکن محدود خواهد شد .
- ۴- برنامه کار، تعمیر لوازم یدکی، ابزار و نیروی انسانی می تواند قبل از توقف برنامه شده ماشین تدارک دیده شود
- ۵- تلف نشدن سرمایه و زمان برای تعمیر کلی ماشین .
- ۶- کاهش خرابی های اضطراری .
- ۷- کاهش هزینه های تعمیراتی .
- ۸- فقط ماشین آلاتی که وضعیت نامطلوب دارند تحت تعمیر قرار می گیرند و از انجام تعمیرات روی ماشین های سالم اجتناب می شود .
- ۹- تعمیرات در صورت بروز اشکال های مشخص انجام می شود .
- ۱۰- ماشین ها بخوبی بیش از دوره های تعمیرات اساسی که معمولاً تعیین می شود بازدهی دارند و بکار خود ادامه می دهند (افزایش فاصله زمانی بین O/H ها) .
- ۱۱- در بعضی موارد اشکالاتی در شروع کار ماشین پیدا می شود که می توان با انجام تعمیرات اولیه از اشکالات جدی بعدی جلوگیری نمود و از هزینه های بعدی کاست .
- ۱۲- قابل پیش بینی بودن قطعات مصرفی و حجم کارهای تعمیراتی .
- ۱۳- جلوگیری از Shut Down های غیر منتظره .

۱۴- کاهش هزینه ها، مصرف قطعات و زمان تعمیرات .

۱۵- بالابردن کیفیت محصول و ضریب اطمینان .

۱۶- برنامه ریزی بهترو بالانس کردن حجم زیاد کارهای تعمیراتی.

۱۷- کم شدن نیاز به دستگاه های یدک.

در مدیریت تعمیرات پیشگیرانه از تکنیک های مختلف مونیتورینگ که شامل مونیتورینگ ارتعاشات مونیتورینگ روغن مونیتورینگ حرارت سنجی مونیتورینگ پارامترهای عملیاتی مونیتورینگ خوردگی و بازدیدهای چشمی است استفاده می شود. این پارامترها در فواصل زمانی خاص یا بصورت پیوسته اندازه گیری و با مقادیر مجاز یا مقادیر قبلی مقایسه می شود. در صورتی که از حد مجاز یا مقادیر قبلی بیشتر باشد نسبت به تجزیه و تحلیل آنها اقدام و مشکل شناسائی و اقدامات اصلاحی مورد نیاز روی دستگاه انجام خواهد شد. در این مقوله موارد فوق مورد بحث و بررسی قرار خواهد گرفت. در شکل زیر شمائی از این شیوه نشان داده شده است



سیستمهای مراقبت وضعیت Condition Monitoring

مکانیزم ها و دستگاه های صنعتی به دو صورت تحت مراقبت سیستم های Condition Monitoring قرار می گیرند :

الف - سیستم های پیوسته On Line Condition Monitoring

ب- سیستم های ناپیوسته Off Line Condition Monitoring

سیستم های پیوسته On Line Condition Monitoring

در این روش وضعیت ماشین به طور مداوم و پیوسته تحت نظر و مراقبت قرار می گیرد و در صورتی که پارامتر مورد اندازه گیری از حد طراحی یا استاندارد کارخانه سازنده فراتر رود باعث تحریک سیستم Alarm شده و هشدار لازم برای اقدامات اصلاحی را متذکر می گردد و در صورتی که فراتر از محدوده مجاز قرار گیرد با قطع منبع انرژی سیستم Driver باعث از سرویس خارج شدن دستگاه می گردد و از ایجاد خسارت های سنگین روی دستگاه جلوگیری می نماید اکثر این سیستم ها مجهز به سیستم ثبات یا Recorder هستند و تغییرات پارامتر مورد نظر قابل ردیابی و پیگیری است.

سیستم های ناپیوسته Off Line Condition Monitoring

در این روش پارامتر مورد نظر به صورت دوره ای و در پریود های معین اندازه گیری می شود و در صورتی که نسبت به دفعات قبل دچار تغییراتی شده باشد مشکل با روش ها و متدهای مربوط به این روش آنالیز و شناسایی می گردد و اقدامات اصلاحی لازم در مورد آنها انجام می شود. البته این روش نسبت به روش قبل از دقت کمتری برخوردار است زیرا ممکن است در فاصله زمانی بین پریودهای اندازه گیری برای ماشین مشکلی بوجود آید (سگته) و خسارت هائی وارد شود که این سیستم قادر به پیشگویی آنها نباشد.

بیشترین کاربرد آن برای دستگاه های کوچک و متوسط ارزان قیمت است زیرا سیستم های On Line Condition Monitoring قیمت های بالائی دارند و بسته به نیاز و نوع مراقبت از دستگاه انتخاب و مورد استفاده قرار می گیرند.

سیستم های CM در مراکز صنعتی و دستگاه ها و ماشین آلات برای پارامترهای از قبیل ارتعاشات، روغن، درجه حرارت، خوردگی، فشار و دیگر پارامترهای عملیاتی مورد استفاده قرار می گیرند.

روش های متداول Condition Monitoring

۱- اندازه گیری و آنالیز ارتعاشات Vibration Monitoring & Analysis

۲- آنالیز روغن Oil Analysis

۳- اندازه گیری میزان خوردگی Corrosion Monitoring

۴- آنالیز درجه حرارت Thermography

۵- اندازه گیری سرو صدا Noise Analysis

۶- اندازه گیری پارامترهای عملیاتی Process Monitoring

۷- تعیین عملکرد دستگاه Performance Monitoring

۸- بازرسی فیزیکی چشمی Visual Inspection

مراحل اجرایی سیستم های Condition Monitoring

الف- جمع آوری اطلاعات و تشکیل بانک های اطلاعاتی .

ب- مقایسه اطلاعات جمع آوری شده بامقادیر مجاز ارائه شده توسط کارخانه سازنده یا استاندارد ها .

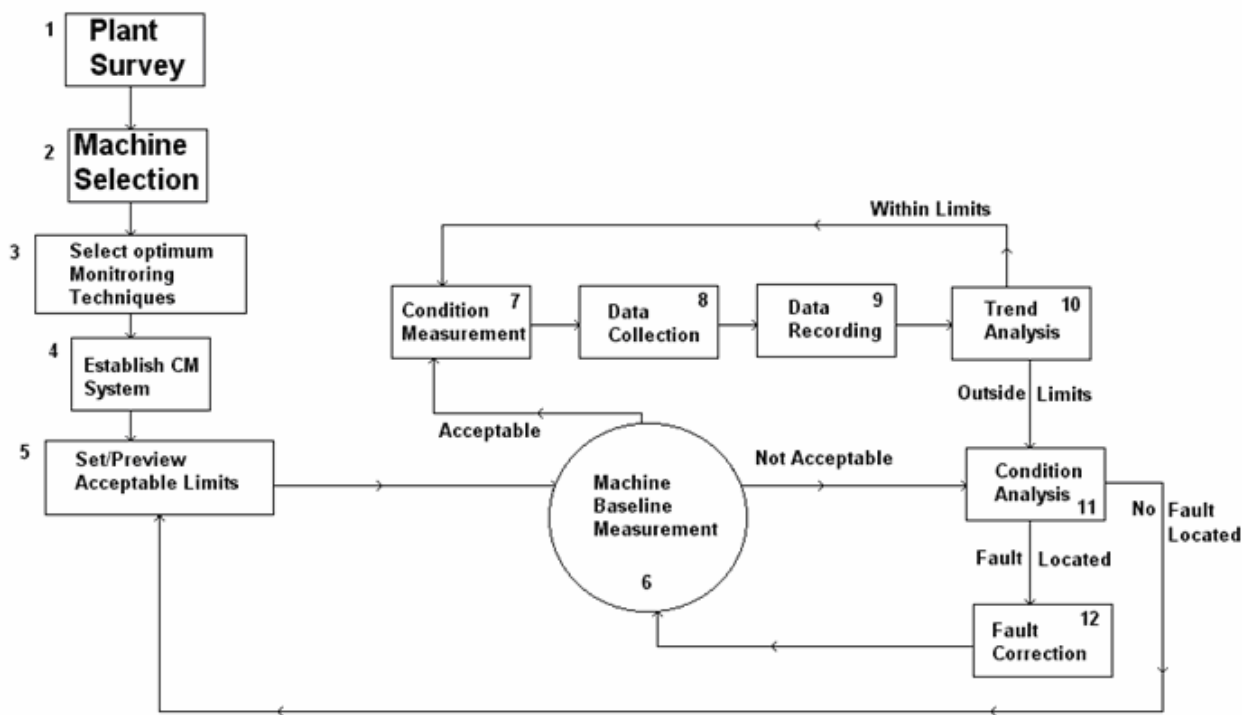
پ- تعیین روند تغییرات پارامترهای اندازه گیری شده .

ت- تجزیه و تحلیل اطلاعات و پیدا کردن عیب .

ث- تصحیح عیب و رفع مشکل .

ج- نتیجه گیری (اطمینان از موثر بودن اقدام اصلاحی) .

در شکل زیر شمائی از فلوچارت سازمانی سیستم های Condition Monitoring نشان داده شده است.



رئوس برنامه های مورد نیاز برای یک سیستم Condition Monitoring موثر

۱- انتخاب دستگاه

۲- انتخاب بهترین تکنیک برای Monitoring

۳- تعیین پریودهای زمانی اندازه گیری.

۴ تعیین حدود مجاز Acceptable Limits

۵- تعیین پارامترهای اندازه گیری Machine Baseline Measurement

۶- اندازه گیری پارامتر مورد نظر Condition Measurement

۷- جمع آوری اطلاعات Data Collection

۸- ثبت اطلاعات Data Recording

۹- پیگیری روند تغییرات Trend Analysis

۹- تجزیه و تحلیل اطلاعات Condition Analysis

۱۰- عیب یابی Fault Ditection

۱۱- تصحیح عیب و ارزیابی مجدد Fault Correction

۱۳- آنالیز عیب و پیدا کردن علت خرابی.

در شکل زیر شمائی از فلوچارت سازمانی سیستم های Condition Monitoring نشان داده شده است.
خلاصه موارد فوق در زیر آورده شده است.

An Effective CBM Program consists of:

- 1 Monitoring
- 2 Detection
- 3 Analysis
- 4 Correction
- 5 Verification
- 6 Revision



روش شروع کار

برای ایجاد موفقیت آمیز سیستم Condition Monitoring نیاز به جمع آوری اطلاعات و تهیه ابزارهای مناسب هر روش است که ذیلا به شرح آن می پردازیم:

۱- تشکیل شناسنامه و مشخصات کلی برای هر دستگاه .

۲- تهیه رکورد صحیح و دقیق از تاریخچه و مشخصات فنی هر دستگاه.

۳- درج اطلاعات مربوط به خرابی ها شامل شرح مشکل ، علت و اقدامات تعمیراتی انجام شده .

۴- جمع آوری اطلاعات و تجربیات مربوط به دستگاه های مشابه.

۵- جمع آوری اطلاعات فنی کارخانه سازنده و روش های توصیه شده آن.

۶- لیست قطعات مصرفی و تعویضی.

۷- تربیت افراد ماهر و متخصص.

۸- تهیه ابزار آلات مناسب کاری و دستگاه های اندازه گیری و تست مناسب برای هر روش .

۹- تهیه دستورالعمل های واضح و روشن همراه با چک لیست.

۱۰- وجود سیستم مشارکتی .

۱۱- نیاز به حمایت مدیریت.

۱۲- تدارک دیدن آموزش های فنی تخصصی.

نگهداری و تعمیرات بهره‌ور فراگیر Total Productive Maintenance

این روش در سال ۱۹۵۰ در ژاپن و توسط دمینگ توسعه داده شد و توسط ژاپنی‌ها اجرا گردید. مفاهیم آن تاکید و تبعیت مطلق از اصولی مانند روانکاری بازرسی‌های بصری و استفاده فراگیر از بهترین روش‌ها در همه وجوه تعمیراتی است. البته این یک برنامه مدیریت تعمیراتی نیست بلکه بیشتر فعالیت‌های آمیخته شده با حرکت‌های روبه جلوی ژاپنی است که در عملکردهای تولید هدایت شده است.

در این روش که با برانگیختن کلیه انگیزه‌های تمامی گروه‌ها اعم از تعمیرات بهره‌بردارانی بوجود می‌آید جهت حذف ضایعات، صرفه جویی در هزینه‌ها و بهینه‌سازی موقعیت تجاری سازمان بکار می‌رود.

این روش ضمن ارتقاء دانش و ایجاد اعتماد کامل در اپراتور وی را قادر می‌سازد تا به استفاده موثر از تجهیزات خود بپردازد و بجای انتظار زمان تعمیرات دوره‌ای و درخواست کمک از کارشناس تعمیرات مستقیماً مشکلات جزئی تجهیزات خود را قبل از آنکه به مشکلات بزرگتری تبدیل شود مرتفع نماید و به جستجو و سپس حذف علل ریشه‌ای نارسایی‌های تجهیزات خود مبادرت نماید ضمن این که با تشکیل گروه‌های کاری کوچک توسعه پایدار در خطوط را نیز محقق نماید.

در ژاپن کارهای مهم به درستی انجام می‌گیرد چرا که در این کشور کارهای جزئی و ناچیز نیز به درستی و مطلوبیت کارهای مهم و بزرگ انجام می‌شود (راز نت بهره‌ور فراگیر در توجه به جزئیات است) نت بهره‌ور فراگیر یعنی تشکیلی از یکایک کارکنان کارخانه.

اصول اجرایی سیستم TPM

۱- بهبود مستمر در وجوه مختلف برای دستیابی به کارایی موثرتر تجهیزات بهبود در اندمان و اثربخش نمودن تعمیرات و کاهش هزینه‌ها

۲- ایجاد سیستم‌های نت خود کنترلی.

۳- ایجاد سیستم‌های نت برنامه ریزی شده بهره‌ور برای کل دوران عمر تجهیزات.

۴- آموزش‌ها مهارت‌های در حین خدمت برای اپراتورها و کارگران جهت افزایش مهارت‌های آنها.

۵- ایجاد سیستم‌های مدیریت انگیزش نت.

۶- ایجاد سیستم‌های کیفی.

۷- ایجاد ساختار بهبود کارایی بخش‌های غیر مستقیم نت.

۸- ایجاد سیستم‌های مدیریت برای ایمنی و حفاظت محیط.

۹- درگیر نمودن کلیه بخش‌هایی که به نحوی با برنامه ریزی نگهداری تجهیزات سروکار دارند در خیل کردن اپراتورها در فعالیت‌های روزانه تعمیراتی (همکاری همگانی و نیاز به تلاش بیشتر).

۱۰- حداکثر کردن اثر بخشی تجهیزات.

۱۱- درگیر نمودن کلیه کارکنان اعم از مدیران رده اول تا کارکنان تحقیق و توسعه.

۱۲- بهبود و توسعه PM از طریق مدیریت انگیزه‌ای (به عنوان مثال تحت فعالیت‌های گروه‌های کوچک خود ساخته مستقل).

۱۳- طراحی و مدیریت تجهیزات برای پیشگیری از تعمیرات

مقاصد مهم TPM

- ۱- حرکت شرکت به سمت ماکزیمم نمودن کار آیی سیستم های تولید .
- ۲- ایجاد سیستم هایی برای دست یابی به تولید بدون سانحه و شکست .
- ۳- تشکیل گروه های کوچک به منظور به صفر رساندن خسارت ها .
- ۴- ایجاد استراتژی بهبود کیفیت محصولات و خدمات شرکت TQC.
- ۵- ایجاد استراتژی بهبود نگهداری و تعمیرات تجهیزات TPM.
- ۶- ایجاد استراتژی بهبود مدیریت تولید JIT.

روش های نوین نگهداری و تعمیرات

- ۱- سیستم های بی نیاز از تعمیر Maintenance Free
- ۲- نت مجازی Vitual Maintenance
- ۳- نت ناب LeanMaintenance

سیستم های بی نیاز از تعمیر Maintenance Free

باتوجه به مسائل و مشکلات تعمیراتی که خواسته یا ناخواسته برای دستگاه هاوماشین آلات مطرح بوده وهست یکی از راه حل های ارائه شده برای مرتفع نمودن این مشکل ارائه دستگاه هایی است که هیچ نیازی به تعمیر نداشته باشند و پس از یک دوره کاری نسبتا طولانی بطور کامل سیستم جدیدی جایگزین آن گردد که البته این نیاز به دقت خیلی زیاد برای ساخت آن است که نیاز به تکنولوژی پیشرفته ای را طلب می کند. اکثر اتومبیل های امروزی که در کشورهای اروپائی ساخته می شوند براین اساس طراحی وساخته می شوند که به دلیل طول عمر نسبتا بالای آنها مورد استقبال نیز واقع شده است .

نت مجازی Vitual Maintenance

در این سیستم تعمیرات براساس شبکه های اینترنتی انجام می شود و اطلاعات مورد نیاز بین افرادی که در شبکه وجود دارد توزیع می شود و تصمیم گیری بصورت گروهی انجام می شود .
از این روش برای نظارت ، تست ، تعمیر و آموزش تعمیر کاران نیز استفاده می شود و واکنش های محیطی شبیه شرایط واقعی نیز به تعمیر کار منتقل می شود .

نت ناب Lean Maintenance

نت ناب و تولید ناب عبارتست از یک عملیات سازمان یافته برای حذف زواید و یا زیان ها از طریق بهبود و مستمر و جلب رضایت مشتری که از خط تولید و ... شروع وبه تعمیرات منتهی می شود و اصل کار آن براساس مشتری گرایی واکرام به ارباب رجوع است .
اصول نت ناب شامل :

- ۱- ارزش Value یعنی طبق نیاز و سفارش مشتری عمل کردن
- ۲- جریان ارزش Value Stream یعنی جریان پیدا کردن ارزش ها و شرکت دادن همه افراد در آن
- ۳- جریان Flow ادامه داشتن بطور مستمر

۴- کششی بودن Pullout یعنی تولید بر اساس درخواست و نیاز مشتری نه تولید بصورت مستمر

۵- کمال Perfect یعنی حرکت دائمی به طرف کمال بدون توقف

سیستم های مکانیزه مدیریت نگهداری و تعمیرات (نرم افزار CMMS)

سیستم مکانیزه مدیریت نگهداری و تعمیرات یا Computerized Maintenance Management System آمیزه ای از چندین برنامه و فایل های اطلاعاتی جهت مدیریت اطلاعات بسیار زیاد عمدتاً حاصل از فعالیت ها ، کنترل انبار و خرید و پیگیری های کارهای عقب مانده ، زمان بندی ها ، برنامه ریزی ها ، بکار گیری منابع انسانی و هزینه ها را شامل می گردد .

اهداف بکارگیری CMMS

- ۱- کنترل کمی و کیفی تجهیزات سرمایه ای واحدهای صنعتی .
- ۲- کنترل هزینه های تجهیزات ، قیمت خرید ، استهلاک و ...
- ۳- برنامه ریزی و زمان بندی عملیات تعمیرات پیشگیرانه .
- ۴- کنترل دستورالعمل ها و اسناد .
- ۵- کنترل صدور و اسناد عملیات تعمیرات پیشگیرانه و اتفاقی .
- ۶- برنامه ریزی بهینه استفاده از منابع نیروی انسانی ، ابزار آلات و ...
- ۷- زمان بندی کالیبراسیون تجهیزات ابزار دقیق و ...
- ۸- کنترل پروژه نگهداری و تعمیرات.
- ۹- تهیه اطلاعات بودجه ای و هزینه ها.
- ۱۰- بالا بردن سطح ایمنی و حفظ محیط زیست.
- ۱۱- بازگشت سرمایه گذاری در سیستم CMMS.

پیکر بندی های سیستم CMMS

- ۱- ثبت شناسنامه ای تجهیزات Asset Register
- ۲- برنامه ریزی و زمان بندی عملیات پیشگیرانه Planning and Scheduling
- ۳- صدور دستور کارها Work Order
- ۴- مکانیزه شدن سیستم انبارداری Inventory
- ۵- مکانیزه کردن تقاضاهای خرید Purchase
- ۶- کالیبراسیون Calibration
- ۸- گزارش گیری و مدیریت کامل بر اطلاعات Reporting
- ۹- تجزیه و تحلیل و بررسی مشکلات در کمترین زمان ممکن .

فواید حاصل از بکارگیری CMMS

- ۱- بالا بردن قابلیت اطمینان تولید.
- ۲- کاهش هزینه های تولید حدود ۵ تا ۱۵ درصدی.

- ۳- طولانی کردن عمر مفید تجهیزات .
- ۴- افزایش برنامه ریزی تعمیرات پیشگیرانه .
- ۵- دسترسی به کلیه آمار و اطلاعات مورد نیاز.
- ۶- ایجاب قوانین ایزو .
- ۷- بالا بردن بهره وری منابع انسانی .
- ۸- کاهش هزینه های بیمه و...
- ۹- آماده گی بیشتر کاربرد تجهیزات .
- ۱۰- کاهش حجم خرید قطعات (کاهش حجم انبار)
- ۱۱- کاهش بکارگیری پیمانکاران
- ۱۲- کاهش پیگیری انجام عملیات تعمیرات از طرف درخواست کنندگان(عملیات)
- ۱۳- افزایش کیفیت محصولات تولید شده (کاهش ضایعات)
- ۱۴- کاهش مصرف انرژی و نیروی انسانی .
- ۱۵- بالا رفتن روحیه و بازدهی نیروی انسانی .

رمز موفقیت بکارگیری و استفاده از CMMS

- عمده عوامل موفقیت سیستم فوق به شرح زیر است :
- ۱- اعتقاد و پشتیبانی جدی مدیران ارشد.
 - ۲- اعتقاد و اطمینان از طرف کلیه پرسنل نگهداری و تعمیرات و تولید(بسترسازی فرهنگی) .
 - ۳- آماده بودن سیستم دستی مدیریت نگهداری و تعمیرات .
 - ۴- موجود بودن تعاریف کلی از بکارگیری سیستم فوق .
 - ۵- پشتیبانی شرکت ها و فروشندگان نرم افزار.
 - ۶- شروع و بکارگیری صحیح ان.
- در غیر این صورت با شکست مواجه می شود.

مقدمه ای بر اندازه گیری و آنالیز ارتعاشات

از زمانی که پای شرکت های بیمه گذار به صنایع باز شد مهمترین بحث برای بیمه کردن دستگاه ها مطرح گردید و آن تعیین پارامترهائی بود که بتواند وضعیت واقعی ماشین را بتواند به طرز مناسبی مشخص کند . پس بررسی های متعدد نتیجه آن شد که مهمترین پارامتر برای تشخیص وضعیت ماشین وضعیت لرزش آن است. که هرچه لرزش یک دستگاه کمتر باشد ممین وضعیت کاری بهتر آن نسبت به ماشینی که لرزش بیشتری دارد و نهایتاً هزینه بیمه کردن ماشین آلات به این نحو بهتر تعیین می گردد.

با توجه به این که تمامی ماشین آلات در حین کار حتی در بهترین شرایط خود نیز دارای ارتعاش و لرزش می باشند از نیمه ۱۹۵۰ اندازه گیری و آنالیز ارتعاشات مهمترین تکنیک در کنترل وضعیت ماشین آلات در حین کار درآمده است و هنگامی که ارتعاشات یک ماشین افزایش می یابد علت آن یک اشکال مکانیکی، الکتریکی هیدرولیکی، آیرودینامیکی یا..... است که با توجه به این که هر عیب روی دستگاه ارتعاشات با مشخصات (فرکانس و زاویه فاز و...) مربوطه خود را ایجاد می کند با اندازه گیری ارتعاشات و تجزیه و تحلیل آن با توجه به مشخصات دستگاه عیب آن شناسائی می گردد و وضعیت کار دستگاه مشخص می شود.

این روش یکی از موثرترین روش های نگهداری است که از چندین سال پیش به وفور در اکثر صنایع مهم جای خود را باز کرده و باعث صرفه جوئی های بسیار بزرگی شده است. البته این روش به تنهایی کاربرد ندارد و باید به موازات بادیگرووش های نت استفاده شود ..

تقریباً تا قبل از سال ۱۹۶۰ ارزیابی شرایط کاری ماشین آلات بر اساس گوش دادن به وضعیت سروصدائی مشاهده و استفاده از حس لامسه بود ولی از آن سال به بعد بحث اندازه گیری ارتعاشات و مقایسه آن با محدوده های قابل قبول مطرح شد سپس تقریباً از سال ۱۹۸۵ با پایه عرصه گذاشتن سیستم های الکترونیکی اندازه گیری و آنالیز ارتعاشات چندین کاره سیستم های مونیترینگ و تشخیص عیوب روی دستگاه ها همراه با محدوده های مجاز ارتعاشات وارد صنایع شد.

این روش شامل اندازه گیری ارتعاشات و جمع آوری اطلاعات مقایسه آن با مقادیر مجاز تعیین روند تغییرات و آنالیز یابیدا کردن عیب دستگاه است که در بخش های آتی مورد بحث و بررسی مفصل قرار می گیرند .

عوامل ایجاد ارتعاشات

عامل اصلی به وجود آورنده ارتعاشات نیرو است و طبق قانون دوم نیوتن $F=ma$ است و با توجه شتاب دار بودن تمامی حرکت های ارتعاشی باعث ایجاد نیرو و بار اضافی روی دستگاه ها و ماشین آلات می شود باعث خرابی های زودرس و آسیب دیدن قطعات آنها و... می شود. و با توجه به این که نیرو تناسب مستقیم با شتاب دارد با اندازه گیری پارامترهای حرکت ارتعاشی از قبیل جابجائی سرعت و شتاب نیروهای ارتعاشی قابل اندازه گیری و سنجش و تجزیه و تحلیل می باشد.

کاربردها و اهداف اندازه گیری و آنالیز ارتعاشات

ارتعاشات یک حرکت نوسانی هارمونیک است که دامنه حرکت آن مرتباً با زمان تغییر می کند.

۱- مهمترین هدف از اندازه گیری و آنالیز ارتعاشات غالباً برای تعیین مسائل و مشکلات داخلی ماشین آلات برای پیدا کردن عیوب احتمالی بوجود آمده روی آنها و تعیین زمان تعمیرات اساسی یا اصلاحی است که بیشترین بحث این مقوله مربوط به این قسمت است.

۲- بررسی کردن وضعیت کاری ماشین آلات در فواصل زمانی و اطمینان از صحت کار آنها با ایجاد و گسترش بانک های اطلاعاتی برای مراقبت و تحت کنترل داشتن دستگاه ها بر اساس مقدار و روند تغییرات ارتعاشات شرایط ماشین با ارزیابی و تجزیه و تحلیل آنها.

۳- چک کردن ماشین قبل از توقف و تعمیرات دوره ای به منظور برنامه ریزی برای انجام کارهای تعمیراتی روی آنها که از اندازه گیری های ارتعاشات قبل از تعمیرات دستگاه برای تجزیه و تحلیل درست شرایط ماشین استفاده می شود که مشخص کننده نوع خرابی و اقدامات تعمیراتی است که باید روی ماشین انجام شود. و همچنین اندازه گیری های ارتعاشات بعد از تعمیرات اساسی دستگاه ها برای اطمینان از صحت کار دستگاه و اطمینان پیدا کردن از برگشت ماشین به شرایط کارکرد نرمال و عادی قبل از تعمیرات اساسی استفاده می شود که وضعیت ارتعاشات مشخص کننده سطح کیفیت تعمیرات و مبین برطرف شدن یا بر طرف نشدن مشکلات قبل از تعمیر است

۴- اندازه گیری شرایط پایه ماشین Machine Base Line

این نوع اندازه گیری معمولاً برای ماشین های نو که جدید نصب شده اند و بخوبی بالانس و هم محور (Align) شده اند و تحت شرایط عملیاتی نرمال خود کاری می کنند انجام می شود که حدود نرمال ارتعاشات تحت این شرایط معیار مناسبی برای مقایسه اندازه گیری های بعدی نسبت به این شرایط اولیه برای تعیین مقادیر مجاز ارتعاشات دستگاه ها مورد استفاده قرار می گیرد.

۵- تست سالم بودن دستگاه ها و ارزیابی وضعیت آنها.

۶- کنترل کیفی در خطوط تولید برای اطمینان از مرغوبیت کالای تولید شده چه در خط تولید و چه در حین مراحل تولید و چه در انتهای خط.

بطور مثال روی برخی از ماشین آلات از قبیل ماشین های ابزار با اندازه گیری ارتعاشات می توان برای کنترل کیفی و همچنین برای تعیین علت افت کیفیت محصولات تولید شده استفاده کرد.

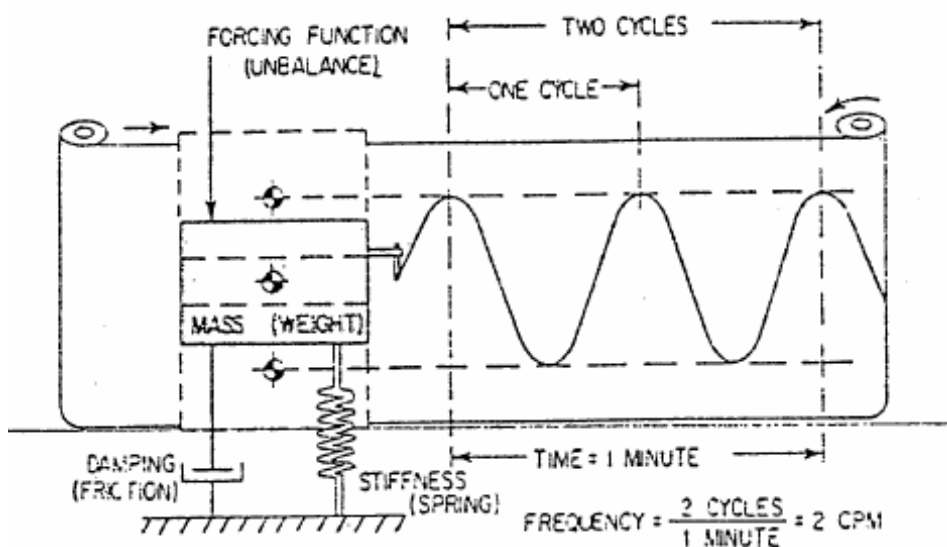
۷- پیشگویی میزان عمر کاری باقی مانده قطعات و یا ماشین آلات بر اساس تغییرات بوجود آمده در طول زمان کارکرد دستگاه ها.

۸- تشخیص علائم شروع و رشد عیوب بوجود آمده روی دستگاه قبل از بوجود آمدن خسارت های جدی و سنگین روی ماشین آلات که باعث کاهش هزینه های تعمیراتی و اختلال در خط تولید می شود.

حرکت ها رمونیک جرم و فنر

این نوع حرکت متناوب که شامل یک جرم و فنر آویزان می باشد ساده ترین حرکت نوسانی است که معمولا حرکت های نوسانی با این حرکت تقریب زده می شوند در این حرکت اگر جرم از وضعیت تعادل خود خارج شود و سپس آزاد شود شروع به نوسان می کند که اگر به آن یک قلم متصل شود و یک صفحه کاغذ نیز با سرعت ثابت از جلوی آن عبور کند یک منحنی سینوسی رسم می شود که معادله حرکت آن عبارتست از:

$$X = A \sin(WT + \phi)$$



یک سیستم ارتعاشی ساده

مشخصات یک حرکت ارتعاشی

عامل بوجود آورنده ارتعاشات بدون توجه به نوع آن نیرویی است که مقدار یا جهت آن تغییر می کند که مشخصات ارتعاشات حاصله تابع این نیرو خواهد بود و نتیجتا بسته به عامل نیرو، و ارتعاشات با مشخصات خاص آن ایجاد می شود.

مهمترین مشخصات حرکت ارتعاشی شامل :

۱- فرکانس ارتعاشات Frequency

۲- جابجائی ارتعاشات Displacement

۳- سرعت ارتعاشات Velocity

۴- پریود ارتعاشات Periode

۵- شتاب ارتعاشات Acceleration

۶- زاویه فاز ارتعاشات Phase Angle

است که ذیلا به شرح آنها پرداخته می شود .

فرکانس ارتعاشات

فرکانس عبارت از تعداد سیکل های کاملی است که در طول یک مدت زمان معین (معمولا در مدت زمان یک دقیقه یا یک ثانیه) انجام می شود .

و واحدهای اندازه گیری فرکانس شامل :

الف-سیکل در دقیقه CPM یا Cycles Per Minute

ب-دور در دقیقه RPM یا Revolution Per Minute در ماشین های دوار

پ-سیکل در ثانیه یا هرتز Hertz

است در روابط زیر نحوه تبدیل CPM به HZ و بر عکس آن نشان داده شده است :

$$\text{CPM} = \text{Hertz} * 60$$

$$\text{Hertz} = \text{CPM} / 60$$

بسته به نوع و ماهیت ارتعاشات فرکانس ارتعاشات متفاوت است و در سیستم های پیچیده حرکت های ارتعاشی با فرکانس های متعددی انجام می شود که لرزش روی هر فرکانس بیان گر نوع عیب و خرابی یک قسمت از دستگاه می باشد که در بحث آنالیز ارتعاشات به آن به طور مفصل بحث خواهد شد.

پربود ارتعاشات

پربود ارتعاشات عبارتست از مدت زمانی که طول می کشد تا یک سیکل کامل ارتعاشی انجام شود و رابطه آن با فرکانس به صورت زیر است:

$$T = \frac{1}{P}$$

جابجائی ارتعاشات Vibration Displacement

جابجائی ارتعاشات عبارتست از میزان کلی جابجائی حرکت قطعه در حال نوسان که به آن دامنه جابجائی نیز گفته می شود و واحد اندازه گیری آن بر حسب واحد طول است و در سیستم متریک بر حسب میکرون یا میکرومتر (که برابر یک هزارم میلی متر است) و در سیستم انگلیسی بر حسب Mils که یک هزارم اینچ است بیان می شود. اگر در حرکت هارمونیک سیستم جرم و فنر، جرم از حالت تعادل خود جابجا ورها شود در امتداد بالاپایین حرکت نوسانی خواهد کرد که معادله حرکت آن بصورت یک منحنی سینوسی است که بصورت زیر بیان می شود :

$$X = A \sin \omega t$$

که در آن A دامنه نوسان و $\omega = 2\pi * F$ سرعت زاویه ای حرکت نوسانی است (واحد W بر حسب رادیان بر ثانیه بیان می شود).

سرعت ارتعاشات Vibration Velocity

سرعت ارتعاشات عبارتست از میزان تغییرات جابجائی نسبت به زمان است و با توجه به این که میزان جابه جائی جسم مرتعش ثابت نیست سرعت ارتعاشات هم ثابت نخواهد بود و بطور پیوسته در حال تغییر است در حد بالائی و پایینی که بایستی جرم تغییر جهت حرکت دهد سرعت صفر است (چون متوقف می شود تا جهت حرکت آن تغییر کند)، سرعت در هنگام عبور از موقعیت تعادل حداکثر مقدار است. با توجه به این که

سرعت حرکت میزان تغییرات جابجائی در واحد زمان است سرعت ارتعاشات را می توان صرفا با مشتق گیری از معادله قبل به دست آورد که مقدار آن برابر است با :

$$V = \frac{dx}{dt} = W A \cos Wt = W A \sin \left(Wt + \frac{\pi}{2} \right)$$

واحد اندازه گیری سرعت در سیستم انگلیسی اینچ در ثانیه In/sec و در سیستم متریک (SI) میلی متر بر ثانیه mm/Sec و سانتیمتر بر ثانیه Cm/Sec است .

شتاب ارتعاشات Vibration Acceleration

شتاب در واقع نرخ تغییرات سرعت نسبت به زمان است و هر بار که سرعت قطعه به صفر می رسد برای این که قطعه بتواند باز به حرکت خود ادامه دهد باید شتاب تغییر کند بدین جهت شتاب حرکت در محدوده های بالائی و پایینی حرکت حداکثر و در موقعیتی خنثی که سرعت بیشترین مقدار است شتاب صفر خواهد بود.

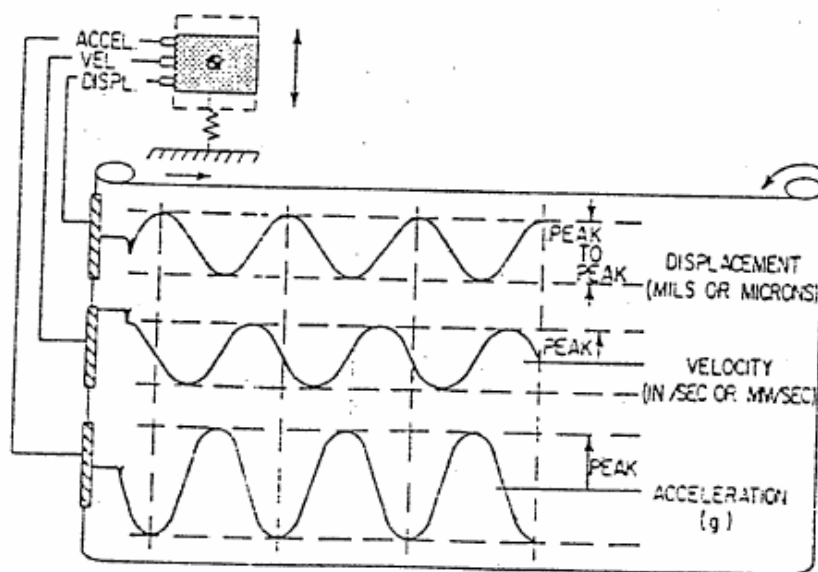
واحد اندازه گیری شتاب با g (شتاب نقل زمین) نمایش داده می شود که مقدار آن در سیستم متریک 98.1 cm/sec^2 است .

شتاب حرکت ارتعاشی از مشتق گیری از سرعت نسبت به زمان به دست می آید و عبارتست از :

$$A = \frac{dv}{dt} = -w^2 A \sin wt = w^2 A \sin(wt + \pi)$$

که همین طور که ملاحظه می شود سرعت و شتاب حرکت هارمونیک نیز با یک فرکانس در حال نوسان است و لی به ترتیب به اندازه $\frac{\pi}{2}$, π جلو تراز جابه جایی و تغییر مکان است یا به عبارت دیگر اختلاف فاز

آنها به اندازه $\frac{\pi}{2}$, π است .



ارتباط بین تغییر مکان سرعت و شتاب

منحنی های فوق ارتباط بین جابجائی سرعت و شتاب ارتعاشات را که هر کدام بادیگری ۹۰ درجه اختلاف زاویه فاز دارند نشان می دهد .

برای تعیین شدت ارتعاشات معمولا پارامترهای جابجائی ، سرعت و شتاب و ارتعاشات که غالبا به آنها دامنه یا Amplitude گفته می شود اندازه گیری می شود. مقدار دامنه ارتعاشات اساسا بیانگر وضعیت سلامت ماشین است که هر چه مقدار آن بیشتر باشد شدت یا میزان ارتعاشات بالا تر خواهد بود .
دامنه ارتعاشات معمولا توسط کمیت های زیر بررسی می گردد:

الف - حداکثر مقدار دامنه Peak

ب- حداکثر تا حداقل مقدار دامنه Peak To Peak که فاصله بین کمترین تا بیشترین مقدار است یا $2 * \text{Peak}$ است

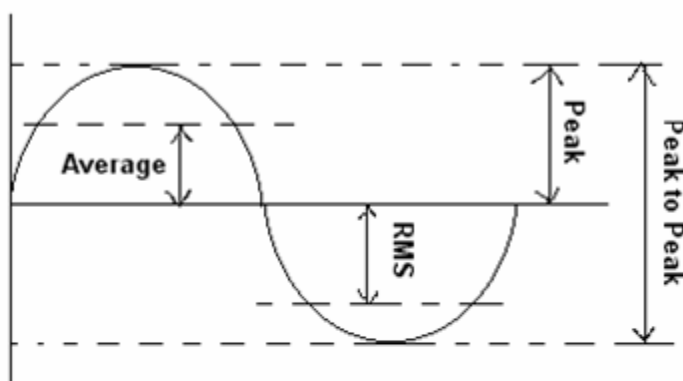
ج- مقدار رموثر Root Mean Square یا RMS یا ریشه میانگین جذری که رابطه ان بصورت زیر است:

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T X_{42}^2 dt}$$

و رابطه آن با Peak عبارتست از :

$$RMS = 0.707 \text{Peak}$$

د- میانگین Average دامنه که مقدار متوسط زمانی یک موج است



	Peak to peak	Peak	RMS	Average
Peak to Peak	1.000	2.000	2.828	3.142
Peak to Peak	0.500	1.000	1.414	1.571
RMS	0.354	0.707	1.000	1.111
Average	0.316	0.636	0.900	1.000

بسته به دامنه (جابجائی ، سرعت ، شتاب) و امکانات دستگاه های اندازه گیری فرکانس ارتعاشات و ... مقدار ارتعاشات توسط یکی از پارامترهای فوق بیان می شود که معادلات زیر نحوه تبدیل جابجائی ، سرعت و شتاب را به یکدیگر برای ارتعاشات هارمونیک ساده نشان می دهد .

Conversion of measurement units

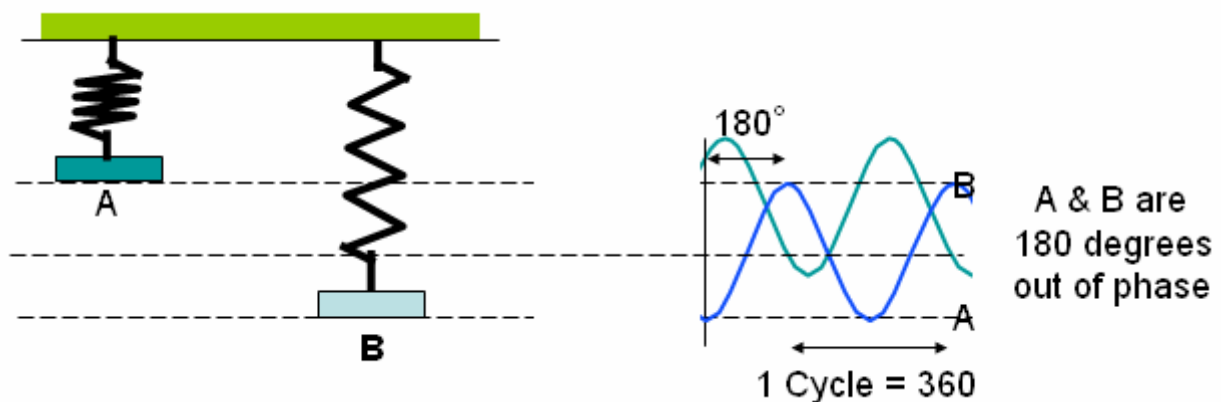
Metric (Note: Applies to sinusoid only)

- $D=19.1 \times 10^3 (V/RPM)$
- $D=1.79 \times 10^9 (A)/(RPM)^2$
- $V=52.36 \times 10^{-6} (D)(RPM)$
- $V=93.58 \times 10^3 (A)/RPM$
- $A=0.56 \times 10^{-9} (D)(RPM)^2$
- $A=10.69 \times 10^{-6} (V)(RPM)$

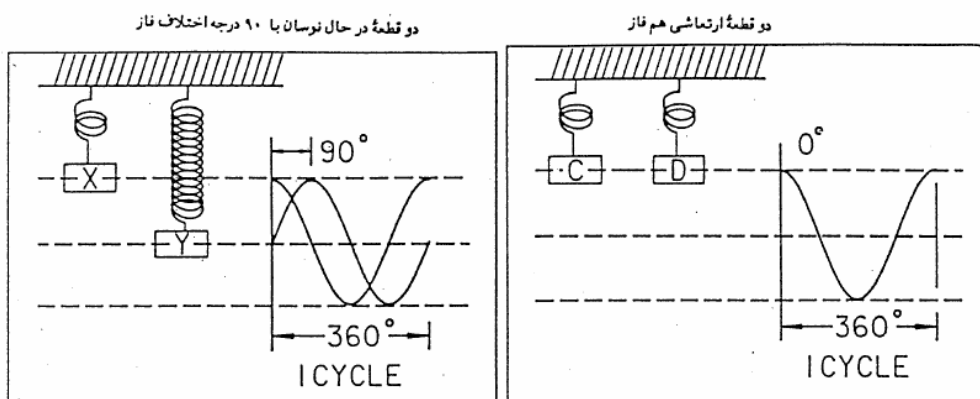
زاویه فاز ارتعاشات Vibration Phase

زاویه فاز عبارت از موقعیت Position یک قطعه نوسانی در یک زمان معین نسبت به یک نقطه و یا یک قطعه نوسانی دیگر است و برخلاف پارامترهای قبلی یک کمیت نسبی است و در عمل راه ساده ای است برای مقایسه دو حرکت نوسانی.

مثال: در شکل زیر دو قطعه با فرکانس و جابه جایی یکسانی در حال نوسانند و تفاوت آنها در این است که وقتی قطعه A در حد بالای حرکت خود است قطعه B در حد پایین حرکت است که به کمک زاویه فاز می توان حرکت این دو قطعه را با هم مقایسه کرد که همان طور ی که مشاهده می شود این دو قطعه با همدیگر ۱۸۰ درجه اختلاف زاویه فاز دارند.



لازم به توضیح است که بیشترین کاربرد زاویه فاز در آنالیز ارتعاشات و عیب یابی دستگاه ها و برای بالانس کردن رتور ها است که در بخش ها بعدی به طور مفصل راجع به آن بحث خواهد شد



توضیح چند اصطلاح:

برای درک بهتر ارتعاشات ماشین آلات به انواع ارتعاشات و مشخصه های دیگری از آن اشاره می شود:

ارتعاشات آزاد Free Vibration

به ارتعاشاتی ارتعاش آزاد گفته می شود که بدون وجود و حضور نیروهای خارجی انجام می شود. مثل حالت تحریک که یک نیرو روی جسم اعمالی شود و جسم تحریک می شود و سپس نیرو برداشته می شود.

ارتعاشات اجباری Forced Vibration

به ارتعاشاتی گفته می شود که یک نیروی خارجی روی جسم در حال مرتعش اعمال می شود و جسم رابه زور و اجبار وادار به ارتعاش می کند که البته فرکانس ارتعاشات حاصله با فرکانس آن نیرو یکی خواهد بود. مثل ارتعاشات ناشی از ناهم محوری، نا بالانسی و.....

ارتعاشات القائی Induced Vibration

به ارتعاشاتی گفته می شود که یک جسم به واسطه حرکت یا نیروئی که جسم مرتعش دیگری (که خود در حال ارتعاش است) به آن وارد می کند تحریک و مرتعش می شود .

فرکانس طبیعی Natural Frequency

فرکانس طبیعی وابسته به خصوصیات ذاتی یک جسم، سیستم یا یک مجموعه دارد و وقتی جسم تحریک می شود بافرکانس آن فرکانس ارتعاش می کند. بطور مثال فرکانس طبیعی یک مجموعه جرم و فنر $\sqrt{\frac{m}{k}}$ است که در آن m جرم جسم و k ضریب فنری است و وقتی این مجموعه تحریک می شود با این فرکانس شروع به نوسان می کند.

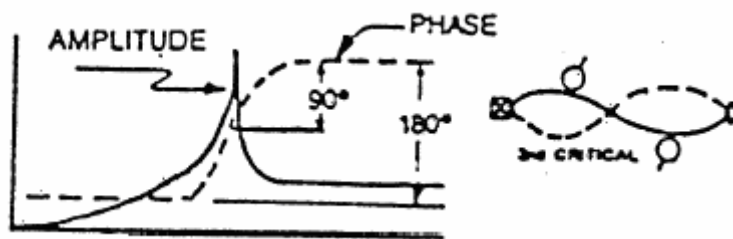
البته لازم به توضیح است که هر مکانیزمی اعم از ساختمان پل ماشین و..... دارای یک فرکانس طبیعی مربوط به خود می باشد. که در مکانیزم های ساده امکان محاسبه بطریق ریاضی آن وجود دارد و در مکانیزم های پیچیده به روش تجربی شناسائی می شود و توسط کارخانه سازنده در اختیار اپراتور مربوطه و استفاده کننده از دستگاه قرار داده می شود.

فرکانس محرک Driving Frequency

فرکانس محرک همان فرکانس سیستم نیروی محرک ارتعاشات اجباری است و بستگی به فرکانس نیروی نوسانی اعمال شده روی جسم دارد .

فرکانس تشدید Resonant Frequency

وقتی در یک سیستم فرکانس محرک و فرکانس طبیعی با هم برابر شوند (یا نزدیک شدن فرکانس های طبیعی و محرک) دامنه ارتعاشات افزایش پیدا می کند و موقعی که این فرکانس ها باهم یکی می شود دامنه ارتعاشات به حداکثر مقدار خود می رسد (به سمت بی نهایت میل می کند) که می تواند برای دستگاه بسیار خطرناک باشد و باعث اعمال نیروهای زیادی روی قطعات گردد.



سرعت بحرانی Critical Speed

سرعت بحرانی بستگی به فرکانس تشدید دارد و بیشتر برای اجسام دوار مورد استفاده قرار می گیرد و هنگامی رخ می دهد که دور ماشین با فرکانس طبیعی آن یکی شده باشد به آن دور بحرانی گفته می شود که باعث خمیدگی شافت و افزایش ارتعاشات محور می گردد و به هیچ وجه نباید روتور روی این دور چرخش کند زیرا باعث صدمه دیدن قطعات اصلی نظیر یاتاقان ها محور و برخورد محور با بدنه می گردد. در سمت چپ شکل فوق رتور در دورهای بحرانی نشان داده شده است که به این شکل ها Moeshape اول دوم و..... گفته می شود.

لازم به توضیح است که هر محوری دارای دورهای بحرانی متعددی می باشد و هرچه رتور لاغر تر و طول آن بلندتر باشد دور بحرانی آن در دورهای پایین تری اتفاق خواهد افتاد و هرچه رتور قطورتر و کوتاه تر باشد دور بحرانی آن در دورهای بالاتری اتفاق می افتد. محاسبه دور بحرانی برای رتورهای ساده قابل محاسبه است و برای رتورهای پیچیده از طریق آزمایش به دست می آید و توسط کارخانه سازنده به مصرف کننده اعلام می گردد.

لازم به توضیح است که در ماشین آلات صنعتی که لازم است رتور دودستگاه باهم کوپله شوند دور بحرانی برای کل مجموعه دو رتور تعریف می شود که دوری متفاوت از دور بحرانی هر کدام از رتورها به تنهایی است و باعث افزایش ارتعاشات هر دودستگاه می شود و بخصوص در شرایطی که سیستم گرداننده توربین بخار یا توربین گازی است در هنگام افزایش یا کاهش دور توربین باید سریعاً از ناحیه دور بحرانی عبور نمود.

رتور سخت و نرم Rigid & Flexible Rotor

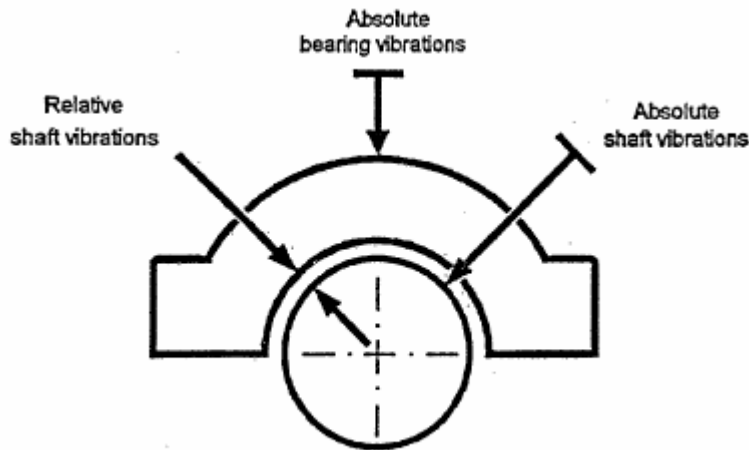
رتور سخت به رتورهایی اطلاق می شود که دور بحرانی آنها بیشتر از دور کاری و عملیاتی آنها باشد و رتور نرم Flexible Rotor به رتورهایی اطلاق می گردد که دور بحرانی آنها کمتر از دور کاری دستگاه باشد که در حین راه اندازی این نوع دستگاه ها محور در موقعیت دور بحرانی خود قرار می گیرد که باید دقت نمود که از این محدوده دور سریعاً باید عبور شود.

ارتعاشات مطلق Absolute Vibration

به ارتعاشاتی که نسبت به یک مرجع ثابت (کره زمین) اندازه گیری می شود ارتعاشات مطلق گفته می شود بطور مثال ارتعاش پوسته یا تاقان و محفظه یا تاقان نسبت به زمین که توسط دستگاه های لرزه نگاری قابل حمل اندازه گیری می شود.

ارتعاشات نسبی Relative Vibration

ارتعاشاتی که نسبت به یک نقطه متحرک دیگر که موقعیت آن تغییر می کند اندازه گیری می شود ارتعاشات نسبی گفته می شود مثل ارتعاشات (جابجائی) محور نسبت به پوسته Housing Bearing یا یاتاقان .



انواع ارتعاشات و نقاط اندازه گیری آنها

ارتعاشات آزاد Free Vibration

ارتعاش آزاد وقتی انجام می گیرد که سیستم در اثر اعمال نیروهای ذاتی لاینفک خود تحریک و شروع به نوسان کند و نیروهای خارجی حضور نداشته باشند سیستم تحت ارتعاشات آزاد با یک یا چند فرکانس طبیعی مرتعش می شود که این ویژگی ها از ویژگی سیستم مکانیکی هستند که به وسیله توزیع جرم و سختی تعیین می شود.

ارتعاشات اجباری Forced Vibration

به ارتعاشاتی که تحت تاثیر نیروهای خارجی انجام می گیرد ارتعاشات اجباری گفته می شود. وقتی که نیروی محرک نوسانی است ارتعاشات حاصله نیز نوسانی خواهد بود و سیستم بالاجبار با فرکانس نیروی محرک مرتعش می شود اگر فرکانس نیروی محرک بر یکی از فرکانس های طبیعی سیستم منطبق شود حالت تشدید (رزونانس) اتفاق می افتد و نوسانات بادامنه بالا و خطرناک ناشی از تشدید به وجود آید که باعث شکست سازه هایی مانند پل ها ساختمان ها یا بال های هواپیما می شود. بنابراین محاسبه فرکانس های طبیعی در مطالعه ارتعاشات از اهمیت خاص برخوردار است .

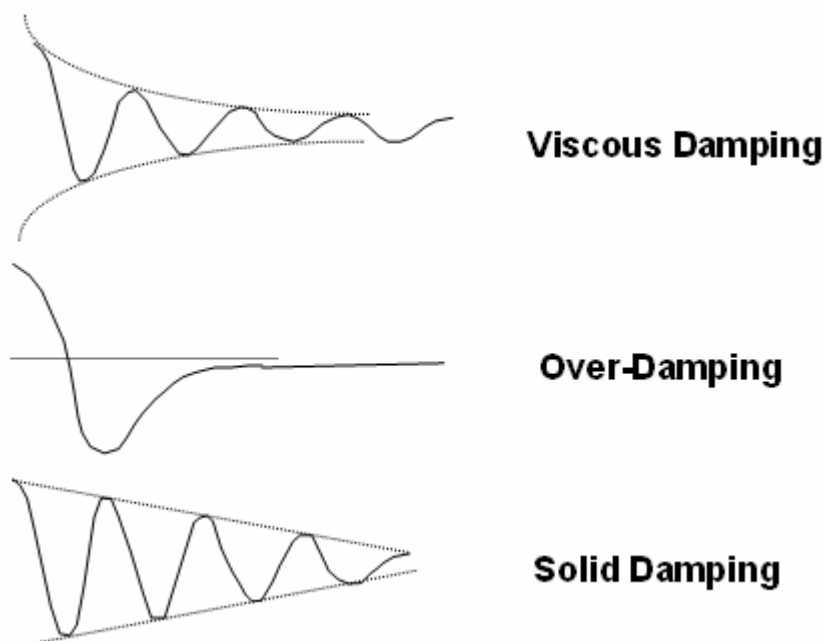
ارتعاشات نامیرا Non Dampening Vibration

ارتعاشاتی است که دامنه ارتعاشات با گذشت زمان تغییر نمی کند و به مرور زمان ارتعاش از بین نمی رود که معمولا ارتعاشات اجباری از این دسته است .

ارتعاشات میرا Dampening Vibration

ارتعاشات میرا به ارتعاشاتی گفته می شود که انرژی ارتعاشات بدلیل وجود اصطکاک یا مقاومت هوا کم می شود و باعث می شود به مرور زمان دامنه ارتعاشات کاهش پیدا کند تا به صفر برسد البته ارتعاشات کم و بیش در معرض میرایی هستند مثل حرکت امواج که اگر میزان میرایی کم باشد تاثیر خیلی کمی بر فرکانس

های طبیعی سیستم دارد و به این دلیل محاسبه فرکانس های طبیعی عموماً بر اساس نامیرائی انجام می گیرد و از طرف دیگر میرابی اهمیت زیادی در محدوده دامنه نوسان در حالت تشدید دارد .



تجهیزات متداول برای اندازه گیری ارتعاشات

امروز نظارت بر وضعیت سیستم های مکانیکی از طریق آنالیز ارتعاشات و به کمک متدها و ابزارهای مختلف در سطح گسترده ای در صنعت مورد استفاده قرار می گیرد که برخی از آنها شامل موارد زیر است:

- ۱- دستگاه های اندازه گیر ارتعاشات Vibration Meter
- ۲- دستگاه های آنالیز ارتعاشات Vibration Analyzer
- ۳- دستگاه های نشان دهنده شکل امواج Wave Form Analysis
- ۴- دستگاه های تقویت کننده امواج Amplifier
- ۵- دستگاه های صدا سنج Sound Level Meter
- ۶- دستگاه های لازم جهت اندازه گیری زاویه فاز شامل Photo cell & Stroboscope
- ۷- دستگاه های ضبط کننده امواج Wave Recorder
- ۸- دستگاه های حس کننده ارتعاشات Pick Up

جمع آوری اطلاعات ارتعاشاتی از طریق اندازه گیری

حجیم ترین بخش واحدهای لرزه نگاری جمع آوری اطلاعات از طریق اندازه گیری ارتعاشات نقاط مورد لزوم و تشکیل بانک های اطلاعاتی است تا به کمک این اطلاعات مراحل بعدی انجام شود. پارامترهای اندازه گیری مورد نیاز شامل دامنه ارتعاشات (جابجائی سرعت و شتاب) فرکانس و زاویه فاز ارتعاشات است. از اندازه گیری دامنه ارتعاشات برای تشکیل بانک های اطلاعاتی و تعیین شرایط ماشین و روند تغییراتی که در طول زمان کارکرد آن بوجود آمده استفاده می شود و از فرکانس و زاویه فاز نیز برای آنالیز و عیب یابی مورد استفاده می شود که در مبحث مربوطه دنبال توضیحات آن ارائه خواهد شد.

ذیل به شرح تجهیزات و ادوات مورد نیاز برای اندازه گیری ارتعاشات پرداخته می شود

تجهیزات اندازه گیری ارتعاشات

وسایل الکترونیکی که برای اندازه گیری ارتعاشات ماشین آلات به کار می روند به طور کلی شامل:

الف- ارتعاش سنج ها Vibrometer

ب- مونیتورها Monitor

پ- آنالایزرها Analyzer طبقه بندی می شوند.

لرزش سنج ها برای اندازه گیری ارتعاشات استفاده می شوند و بصورت لحظه ای یا مداوم کار اندازه گیری را انجام می دهند. آنالایزر هانیز نه تنها کار اندازه گیری را می توانند انجام دهند بلکه قادر به اجرای عملیات بیشتری هم می باشند به طور مثال یک آنالایزر با استفاده از یک فیلتر قابل تنظیم تک تک فرکانس های مختلف یک موج ارتعاشی را جدا می کند و یا با استفاده یک Strobe Light زاویه فاز ارتعاشات رانیز اندازه گیری می کنند.

سیستم های اندازه گیری ارتعاشات به دو دسته تقسیم بندی می شوند:

۱- وسایل قابل حمل دستی Portable

۲- وسایل ثابت یا مونیتور ارتعاشات

وسایل قابل حمل دستی Portable

که در این روش اپراتور در پریودهای زمانی معینی وسایل اندازه گیری را روی ماشین قرامی دهد و پس از اندازه گیری ارتعاشات مقادیر اندازه گیری شده را در فرم های مخصوصی ثبت و سپس در یک شبکه کامپیوتری تخلیه می کنند و در صورتی که میزان ارتعاشات از حد مجاز بالاتر رفته باشد یا روند تغییرات آن افزایش پیدا کرده باشد کار آنالیز و تحلیل و بررسی اطلاعات با استفاده از تجهیزات آنالیز ارتعاشات انجام می شود تصمیم بر ادامه کار یا توقف آن و انجام کارهای مورد نیاز تعمیراتی روی آن گرفته می شود.

وسایل ثابت یا مونیتور ارتعاشات

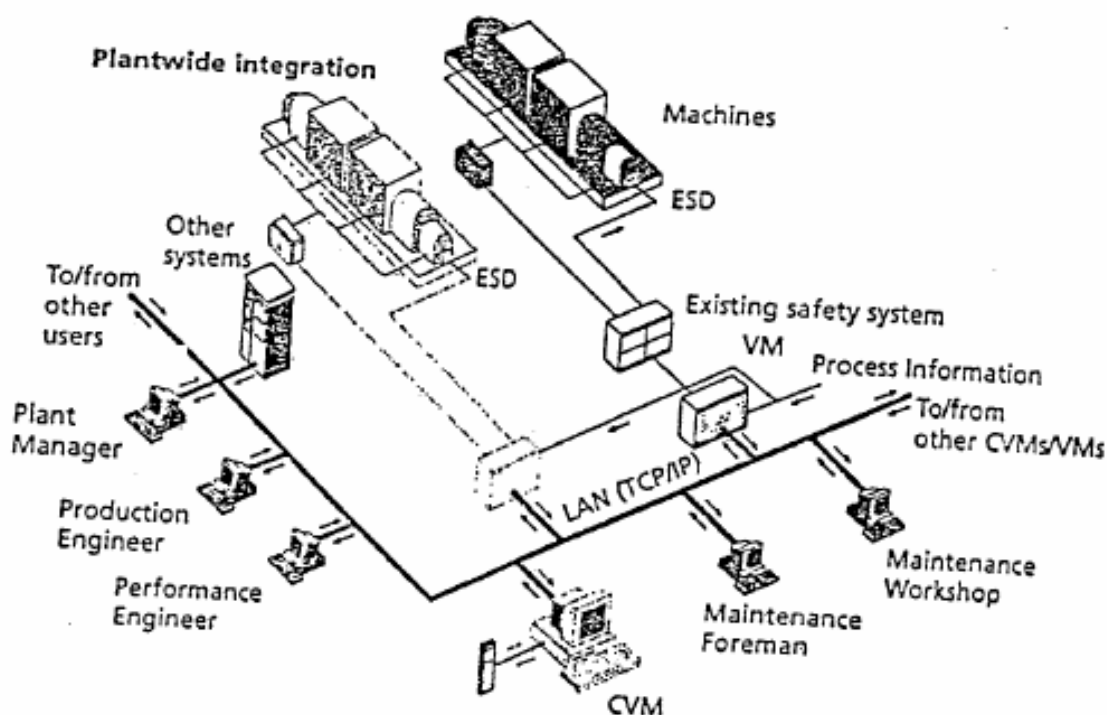
این دستگاه ها نیز کار Meter ها را انجام می دهند با این تفاوت که برای اندازه گیری پیوسته و مداوم ارتعاشات روی دستگاه نصب می شوند و عملیات اندازه گیری و کنترل را به صورت اتوماتیک انجام می دهند و در صورتی که میزان ارتعاشات اندازه گیری شده از حد Setting تعیین شده روی دستگاه افزایش پیدا کند باعث تحریک سیستم آلام و یا از سرویس خارج کردن دستگاه بطور اضطراری روی سیستم گرداننده می شود.

کاربرد عمده تجهیزات مونیتورینگ ارتعاشات عبارتست از :

الف- در کارخانه های اتوماتیکی که پرسنلی برای انجام تست های دوره ای ندارد.

ب- ماشین های که در محل هایی واقع شده اند که برای پرسنل قابل دسترس نیست مثل ایستگاه های گاز و است.

مزیت عمده روش مونیتورینگ ودائم و حفاظت ۲۴ ساعته ماشین ها به صورت On Line و کاهش پیدا کردن پرسنلی است که برای کنترل وضعیت مکانیکی ماشین آلات مورد نیاز است که البته نصب این سیستم ها نیاز به سرمایه گذاری اولیه بالائی را طلب می کند .



تجهیزات نصب دائم اندازه گیری و آنالیز ارتعاشات

سیستم های مونیتورینگ ارتعاشات از پیک آپ های ارتعاشی Sensor تشکیل شده است که درجهات مختلف و در نزدیکترین نقطه روی محفظه های یاتاقان ها نصب می شود (بصورت های تماسی یا غیرتماسی) و دامنه ارتعاشات واقعی را از روی ماشین دریافت می کند و روی سیستم اصلی که به عنوان قلب دستگاه محسوب می شود منتقل و پس از تقویت و پردازش های لازم آنها را بصورت عددی نشان می دهد. اگر دامنه ارتعاشات از مقدار مشخصی که برای هر دستگاه تعریف می شود تجاوز نماید با چشمک زدن یا آلارم زدن اپراتور را مطلع می نماید تا اقدامات مورد نیاز روی آن انجام شود. تحلیل گر ارتعاشات (در صورت وجود مونیتور ارتعاشی) انجام و تصمیم بر ادامه کار یا توقف ماشین را می گیرد و اگر دامنه ارتعاشات به حد خطر برسد با اخطار از سرویس خارج کردن ماشین را متوقف می نماید Shut Down البته در بعضی ماشین ها تصمیم نهایی بر توقف ماشین برعهده اپراتور ها است .

با یگانی وثبت اطلاعات اندازه گیری شده

وقتی سیستم Condition Monitoring به صورت Off Line باشد اندازه گیری ها به صورت روتین های هفتگی ماهیانه و..... انجام می شود و در فرم های مخصوص درج می گردد. یک نمونه از فرم ها در صفحه بعد نشان داده شده است روش کار به این صورت است که نقاط اندازه گیری به ترتیب از طرف برینگ خارجی سیستم Driven (پمپ کمپرسور) با نقاط A, B, C و..... و در سه جهت افقی H عمودی V و محوری

A اندازه گیری می شود که معمولا این اطلاعات وارد یک برنامه کامپیوتری می گردد و بامقادیر مجاز مقایسه می شود و همچنین Trend تغییرات مورد ارزیابی قرار می گیرد تا وضعیت دستگاه مشخص شود در صورت افزایش یا تغییرات زیاد از حد ارتعاشات، آنالیز ارتعاشات انجام تا عیب دستگاه مشخص و سپس اقدامات اصلاحی لازم جهت کاهش ارتعاشات و جلوگیری از خسارت هاروی دیگر قطعات و دستگاه انجام می گردد.

اندازه گیری میزان لرزش توسط دستگاه های لرزش سنج Vibrometer انجام می گیرد که براساس دور دستگاه و نوع ماشین و پارامتری که تاثیر بیشتر دارد برای هر ماشین انتخاب و اندازه گیری می شود. جدول زیر یک نمونه از فرم های درج اطلاعات است که در شرکت پالایش نفت اصفهان مورد استفاده قرار می گیرد.



تاریخ:

گزارش لرزه نگاری تعمیرات پیشگیری

NO																		
DIR	H	V	A	H	V	A	H	V	A	H	V	A	H	V	A	H	V	A
A																		
B																		
C																		
D																		
E																		
F																		
G																		
H																		

پارامترهائی مورد اندازه گیری در ارتعاشات

برای تشکیل بانک های اطلاعاتی نیاز به اندازه گیری پارامترهائی است که بسته به اهداف اندازه گیری ارتعاشات، نوع دستگاه، دور دستگاه، نوع قطعات بکاررفته در دستگاه و..... متفاوت است که برای روشن شدن مطلب به ذکر انواع مشخصه های ارتعاشی (تغییر مکان سرعت و شتاب) و کاربردهای آنها می پردازیم.

از آنجائی که هر یک از پارامترهائی تغییر مکان جابجائی سرعت و شتاب، شدت ارتعاشات رانشان می دهند انتخاب یکی از آنها اختیاری است با این وجود در بیشتر موارد فاکتورهای وجود دارد که کمیت انتخابی را بهتر مشخص می کند مثلا سازنده ممکن است یک ماشین حد قابل قبول ارتعاش ماشین را پارامتر با واحد تغییر مکان معین کرده باشد و یا باتوجه به تجربه های قبلی در اندازه گیری ارتعاشات ممکن است ارتباط بین میزان تغییر مکان ارتعاشات و وضعیت مکانیکی ماشین به دست آمده باشد در این صورت لزوما

تغییر مکان ارتعاشات اندازه گیری می شود. همچنین بهتر است حتی الامکان کمیت مورد اندازه گیری برای تمام ماشین ها یکسان در نظر گرفته شود زیرا اگر در بعضی از ماشین آلات تغییر مکان و در بعضی دیگر سرعت یا شتاب اندازه گیری شود در برنامه ریزی و تحلیل ارتعاشات مشکلاتی به وجود خواهد آمد. دیلامواردی که در انتخاب هر یک از پارامترهای ارتعاشی باید نظر قرار گیرد ارائه می شود:

کاربرد جابجائی در اندازه گیری ارتعاشات

برای اندازه گیری ارتعاشات با فرکانس های خیلی پایین (600CPM) کمتر از 10 Hz بهترین پارامتر برای اندازه گیری شدت ارتعاشات تغییر مکان است زیرا برای فرکانس های پایین سرعت و شتاب خیلی کوچک است و تغییرات آن بسیار جزئی است.

در شرایط تنش های زیاد جابجایی به تنهایی نمی تواند بیان گر مناسبی از شدت ارتعاشات باشد زیرا در فرکانس های پایین خرابی بیشتر ناشی از تنش (جابجایی) اتفاق می افتد تاناشی از تنش خستگی (سرعت)

کاربرد سرعت در اندازه گیری ارتعاشات

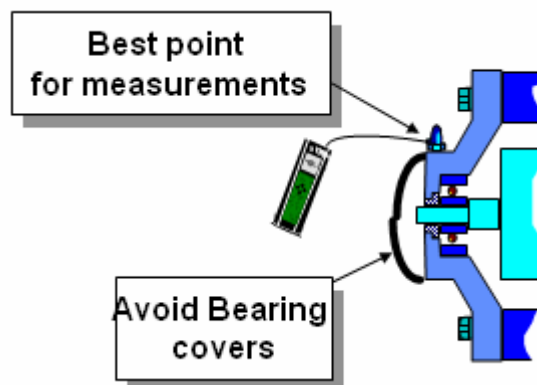
از آنجا که سرعت ارتعاشات مستقیماً با شدت ارتعاشات متناسب است معمولاً در بیشتر موارد بهترین پارامتر برای آنالیز ارتعاشات سرعت است به خصوص در مواقعی که فرکانس در محدوده بین 10-100Hz (CPM) 600-60000 در بیشتر ماشین آلات وضعیت مکانیکی ماشین با سرعت ارتعاشات که به انرژی هدر رفته و در نتیجه خستگی قطعات ماشین مربوط است رابطه نزدیک دارد. به طور کلی سرعت بهترین پارامتر اندازه گیری برای شناسایی عیب های مختلف است که در فرکانس های کم و متوسط نمایان می شوند.

کاربرد شتاب در اندازه گیری ارتعاشات

با توجه به اینکه شتاب مستقیماً متناسب با نیرو است و در فرکانس های بالا نیروهای نسبتاً زیادی ممکن است بوجود آید (اگر چه در این فرکانس ها مقادیر سرعت و جابجائی نیز ممکن است کم باشد) ولی در مواقعی که بدانیم تمام ارتعاشات در فرکانس ها بالا (بیش از 100Hz) رخ می دهد پارامتر شتاب بهترین پارامتر اندازه گیری است. مثلاً در شناسایی ارتعاشات پره های توربین ها که در فرکانس های بالا و توام با فرکانس های پایین است) یا شکسته شدن فیلم روغن که نهایتاً باعث خرابی بال برینگ ها می شود با اندازه گیری شتاب، فرکانس های بالایی به طور مشخص تری ثبت می شوند.

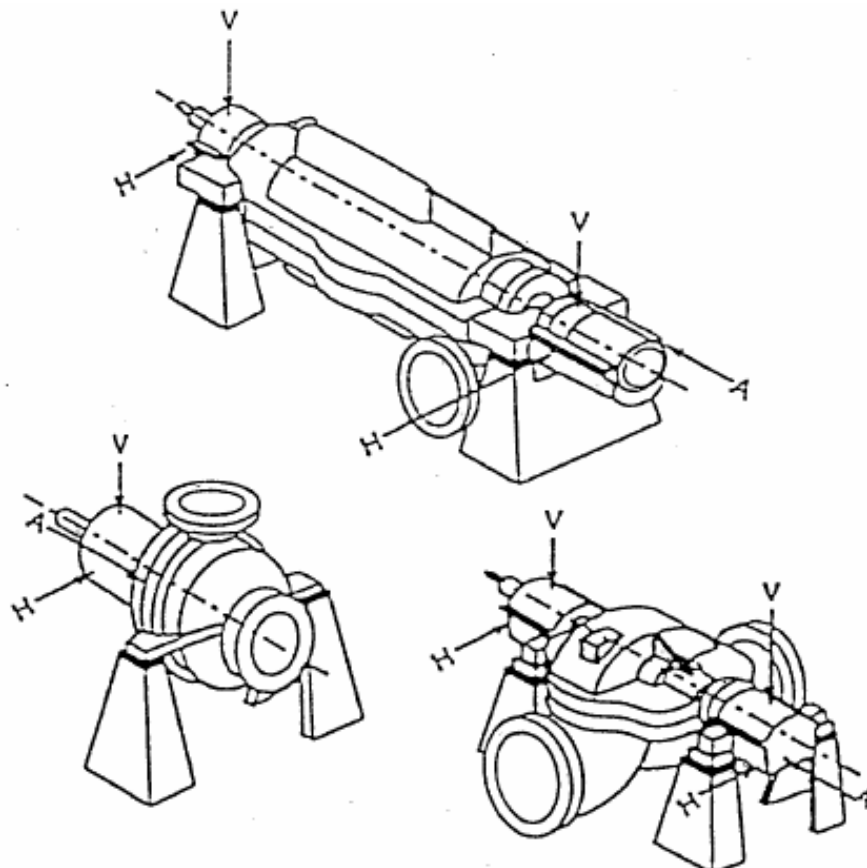
محل های اندازه گیری ارتعاشات در ماشین آلات

معمولاً بهترین نقطه برای اندازه گیری ارتعاشات پوسته های یاتاقان ها است زیرا نیروهای داخلی توسط یاتاقانها و از طریق آنها به Housing Bearing و دستگاه و نهایتاً به فوندانسیون و زمین منتقل می شود. با توجه به در دسترس بودن هوزینگ برینگ ها در اغلب ماشین آلات اندازه گیری پارامترهای ارتعاشی روی این قسمت ها انجام می شود.



دستورالعمل های زیادی برای اندازه گیری ارتعاشات پوسته های یا تاقان ها وجود دارد که ذیل به شرح آنها پرداخته می شود:

- ۱- اندازه گیری در سه جهت اصلی افقی عمودی و محوری روی هر پوسته یا تاقان لازم است .
 - ۲- نقاط انتخاب شده برای اندازه گیری باید کاملاً مشخص باشد و همواره در یک نقطه انجام شود که معمولاً توسط رنگ زدن روی هوزینگ برینگ مشخص می شوند تا خطاهای اندازه گیری کمتر شود.
 - ۳- نقاط باید طوری انتخاب شوند که کمترین فاصله را با یا تاقان داشته باشند.
 - ۴- طریق نصب صحیح شتاب سنج رعایت شود.
 - ۵- اندازه گیری نقاط روی یا تاقان ها به ترتیب انجام شود.
- که در شکل های زیر نقاط مورد نظر برای اکثر دستگاه ها نشان داده شده است:



حدود مجاز ارتعاشات

اصلی ترین هدف اندازه گیری ارتعاشات پیدا کردن مسائل و عیوب در مراحل اولیه جهت برنامه ریزی برای اقدامات اصلاحی است نه این که یک ماشین تا قبل از خرابی چه مقدار ارتعاشات را تحمل می کند. می توان ادعا کرد که هیچ گونه ارقام واقعی برای تعیین حدود ارتعاشات که اگر لرزش از آن بیشتر شود باعث خرابی ماشین شود و جود ندارد. مسائلی که باعث بروز یک خرابی مکانیکی می شود بسیار پیچیده تر از آن است که بتوان حدود قابل اعتمادی برای آن تعیین کرد از طرف دیگر داشتن معیار کلی برای تعیین شرایط ماشین آلات از روی میزان ارتعاشات آنها ضروری است که بدین منظور از روش های زیر می توان به عنوان یک راهنما استفاده کرد.

۱- حدود مجازی که توسط کارخانه سازنده دستگاه توصیه می شود.

۲- حدود مجازی که بر اساس تجربه و تاریخچه عملیاتی ماشین آلات پیداشده است.

۳- حدود مجازی که از طریق مقایسه با شرایط پایه ماشین Machine Base Line Measurment بدست آمده است.

۴- افزایش سطح ارتعاشات Vibration Trend

۵- حدود مجازی که با استفاده از جداول استاندارد سلامتی ماشین آلات بدست آمده است.

حدود مجاز ارتعاشات طبق توصیه های کارخانه سازنده دستگاه

حدود مجاز ارتعاشات توصیه شده توسط سازندگان ماشین آلات معمولاً بر اساس تجربه است. به عبارت دیگر این حدود مجاز در اثر تولرانس های طراحی، مقدار نابالانسی و ارتعاشات وارده بر طول عمر مفید ماشین بدست آمده است که معمولاً توسط کارخانه سازنده در Data Sheet ماشین اعلام می گردد. اگر اندازه گیری ارتعاشات بر روی تعدادی ماشین مشابه انجام شده باشد می توانیم از نتیجه آن برای ایجاد طیف محدوده ارتعاشی مجاز آن ماشین ها استفاده کرد. که البته باید اطمینان حاصل شود که ماشین های تست شده در شرایط خوب کاری قرار داشته باشند زیرا ماشین های که دارای مشکلات مکانیکی باشند ارتعاشات آنها خیلی بیشتر از مقدار متوسط ارتعاشات است.

حدود مجاز ارتعاشات بر اساس تجربه و تاریخچه عملیاتی ماشین آلات

یکی از راه های دیگر برای بدست آوردن محدوده مجاز ارتعاشات بر اساس تجربیات قبلی بدست آمده روی دستگاه است مثلاً وقتی میزان ارتعاشات از محدوده ای فراتر می رود باعث نشتی مکانیکال سیل ها می شود و..... ولی باید در نظر داشت که مشکلات قریب الوقوع باید به خوبی مشخص شوند تا بتوان تعمیر آنها را برنامه ریزی کرد نه اینکه تعمیر در حالت اضطراری انجام شود. به عبارت دیگر قبل از ایجاد وقفه اجتناب ناپذیر عیوب ماشین باید مشخص شوند تا به سادگی قابل رفع باشد.

مقایسه ارتعاش ماشین بر اساس شرایط پایه ماشین Machine Base Line Measurment

در این روش یک دستگاه سالم که با شرایط خوبی بالانس شده و با دقت بالائی هم محور گردیده و دارای برینگ های سالم است و در شرایط مناسبی در سرویس است و صحت و سلامتی آن به اثبات رسیده است به

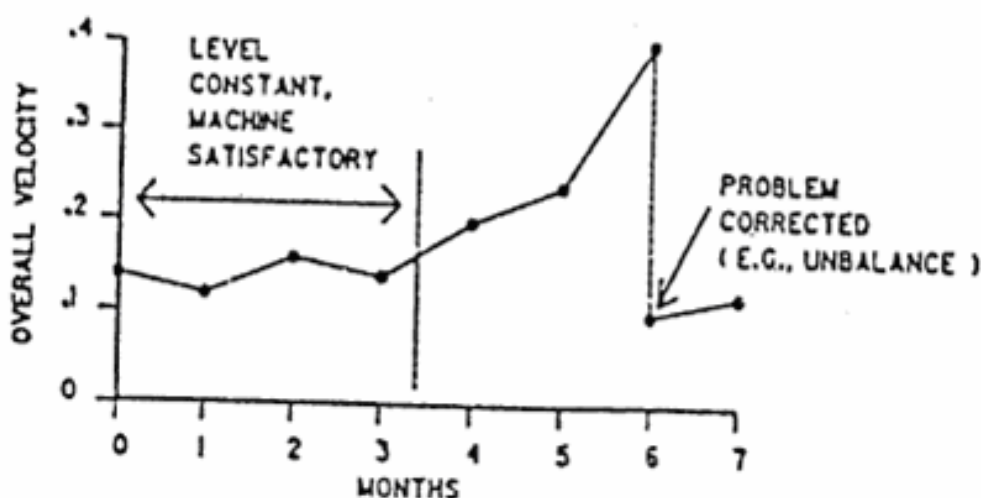
عنوان ماشین مرجع در نظر گرفته می شود و لرزش آن معیاری برای سالم یا ناسالم بودن بقیه ماشین آلات تقریباً مشابه نسبت به آن است Refrence که باهم سنجیده می شوند که این روش بیشترین کاربرد را در صنعت دارد .

میزان مجاز ارتعاشات براساس افزایش سطح ارتعاشات Vibration Trend

روش دیگری که به ایجاد محدوده مجاز ارتعاشی کمک می کند استفاده از این حقیقت است که افزایش دامنه ارتعاشات در یک ماشین علامت وجود عیبی در ماشین است لذا اگر سطح ارتعاشات یک ماشین در یک مدت نسبتاً طولانی بدون تغییر باقی بماند می توان نتیجه گیری کرد که ماشین در شرایط خوب مکانیکی قرار دارد و دامنه ارتعاشات آن نشان دهنده محدوده ارتعاشات قابل قبول است .

برای اطمینان از عملکرد ماشینی که قبلاً در شرایط مناسبی در سرویس بوده است از روش Trending استفاده می شود بدین صورت که روند تغییرات پارامترهای اندازه گیری شده زیر نظر گرفته می شود و در صورتی که از حد مجازی که برای آن در نظر گرفته شده بیشتر شود و یا تغییرات آن ناگهانی باشد (طبق توصیه در صورتی که تغییرات میزان ارتعاشات در طول یک تا سه ماه حدود ۲۵ تا ۵۰ درصد یا کمتر تغییرات داشته باشد) مبین توسعه خرابی داخلی دستگاه است که باید مورد بررسی بیشتر و آنالیز قرار گیرد و مشکل آن پیدامی شود که این روش نیز از اهمیت ویژه ای بخصوص در بحث عیب یابی ها برخوردار است .

در شکل زیر یک نمونه از این روش نشان داده شده است.



جداول استاندارد سلامتی ماشین آلات

تازمانی که رفتار ارتعاشی ماشین ناشناخته است و اطلاعات و تجربیات قبلی نیز وجود ندارد ارزیابی وضعیت ماشین براساس مقایسه کردن مقادیر اندازه گیری شده با حد توصیه شده در راهنماها و استانداردها انجام می شود. این جداول معمولاً توسط مراجع ذیصلاح ارائه می شود که با در نظر گرفتن شرایط عمومی دستگاه ها و ماشین آلات تهیه شده اند. و کاربرد آن برای تعیین محدوده های مجاز ارتعاشات است که یا بصورت عمومی بدون در نظر گرفتن نوع دستگاه و قطعات بکار رفته در آن و و برای انواع و اقسام ماشین آلات

با توان ها و دور های مختلف مقادیر مجاز آورده شده است و یابطوراختصاصی برای هرنوع ماشینی اعم از پمپ توربین کمپرسور و.....بصورت جداول و منحنی های استاندارد مربوط به آن ارائه و در اختیار کاربران قرار می گیرد. از استانداردهای هابی که در صنعت استفاده می شود می توان به استانداردهای ISO, API, DIN و VDI اشاره نمود که برای دستگاه های مختلف شماره استانداردهای مربوط به آنها آورده شده است . برای هردسته ماشین آلات و شرایط کاری آنها اعم از ماشین آلات دوار و یارفت و برگشتی استانداردهای مربوط به آنها داده شده است.

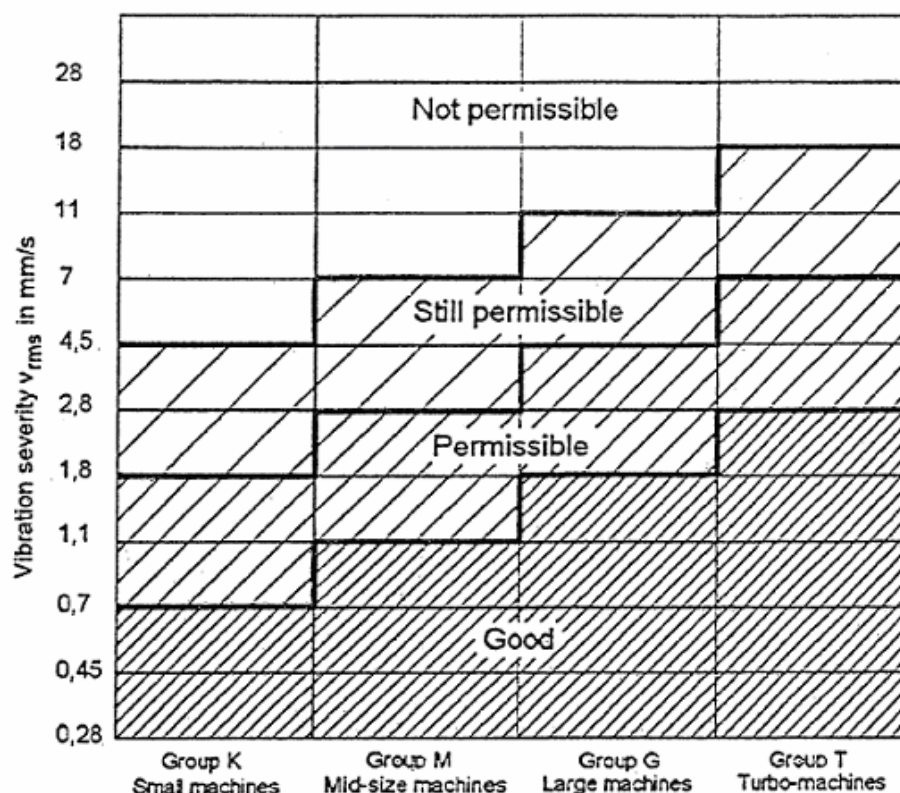
در زیر به چند نمونه از استانداردهای ISO اشاره شده است :

Vibration Severity Standards

- ISO 10816-2 (1990-02-15) Part 2-Steam turbines > 50MW
- ISO 10816-3 (1990-05-15) Part 3-Industrial machines > 15KW and 120 < rpm < 15000
- ISO 10816-4 (1990-07-01) Part 4-Gas Turbines (non aircraft derivatives)
- BS ISO 7919-5 (1997-02-15) Part 5- General non-reciprocating machinery
- ISO 10816-6 (1995-12-15) Part 6- Reciprocating machines > 100KW
- VDI 2063 1985 Reciprocating Engines and Piston Compressors
- VDI 2056 Part 1 General Machinery (equivalent to BS 7191)
- **Manufacturers Recommendation**

که در هر کدام از این استانداردها حدود مجازی که ماشین بدون مشکل در آن قادر به کار است ارائه شده است و مرجع بسیار مناسبی است برای دستگاه هایی که جدیداً نصب شده اند است. و همینطور برای کنترل کیفی دستگاه ها و ماشین آلات تولیدی و یا در جاهایی که به تازگی کار مونیتورینگ را شروع نموده اند بسیار مفید است.

در زیر یک نمونه از جداول سلامتی برای ماشین آلات مختلف آورده شده است و در انتهای جزوه نیز به موارد دیگری اشاره شده است.



مقادیر حد برای ارزیابی ارتعاشات مکانیکی بر اساس VDI ۲۰۵۶ [۶]

لازم به توضیح است جداول استاندارد و سلامتی برای ماشین آلات عمومی صادق است که میزان ارتعاشات آنها به طور مستقیم روی کیفیت تولید اثر نمی گذارد مانند موتورهای برقی پمپ ها فن ها و و به هیچ وجه برای بعضی از دستگاه ها و ماشین آلاتی که طبیعتاً لرزش های بالائی دارند مثل دستگاه های خرد کننده سنگ ها و امثالهم معنائی ندارند و جاهائی مفیدند که سوابق تعمیراتی و تاریخچه تکنولوژی بیان گر اعتبار آنها باشد .

انتخاب فاصله زمانی اندازه گیریهای دوره ای

فاصله زمانی برای انجام تست های دوره ای بستگی به نوع ماشین، زمان لازم برای شروع تغییر آن و فاکتورهای اقتصادی دارد ماشین های با دور زیاد معمولاً با فواصل زمانی کوتاهتری نسبت به ماشین های با دور کمتر لرزه نگاری می شوند البته این فاصله زمانی می تواند از یک روز تا یک ماه متغیر باشد ولی غالباً فاصله زمانی یک هفته ای انتخاب می شود تا با حفاظت کافی از ماشین عملیات اندازه گیری به حداقل برسد .

سنسورهای اندازه گیر ارتعاشات Pickup

تمامی ارتعاش سنج ها، مونیتورها و آنالایزر ها از یک سنسور ارتعاشات یا Pick up استفاده می کنند که به عنوان قسمت اصلی دستگاه اندازه گیر ارتعاشات محسوب می شود و وظیفه آن تبدیل انرژی مکانیکی ارتعاشات به موج های الکتریکی است که این امواج الکتریکی به قسمت الکترونیکی دستگاه لرزش سنج وارد

می شود و پس از تقویت و پردازش های لازمی که روی آنها انجام می شود به صورت اعدادی از روی دستگاه قرائت می شوند.



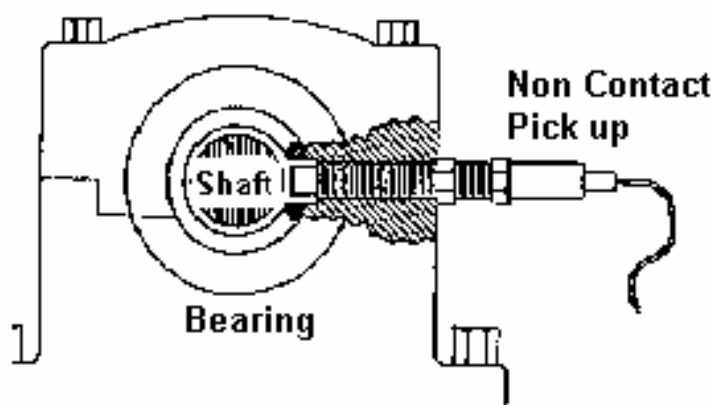
سنسورهای اندازه گیری ارتعاشات به دو دسته زیر تقسیم بندی می شوند :

۱- پیک آب های غیر تماسی Non Contact Pickup

۲- پیک آب های تماسی Contact Pickup

پیک آب های غیر تماسی Non Contact Pickup

پیک آب های غیر تماسی فقط برای اندازه گیری تغییر مکان نسبی محورها به کار می روند و توسط یک پایه صلب روی پوسته یا تاقان پیچ می شوند و به این ترتیب امکان نزدیک شدن آنها با کمترین فاصله (حدود ۰/۵-۱/۵mm) فراهم می شود. در بعضی مواقع پیک آب از سوراخی که در پوسته یا تاقان تعبیه شده عبور می کند و حرکت های محور را اندازه گیری می کند. از آنجائی که پیک آب غیر تماسی باید بصورت صلب و در نزدیکترین نقطه نسبت به محور قرار گیرد استفاده از آنها به عنوان پیک آب دستی مناسب نیست. به عبارت دیگر می توان گفت از این نوع پیک آب برای اندازه گیری ارتعاشات نسبی شافت نسبت به پوسته یا تاقان بخصوص در ماشین آلاتی که شافت آنها بر روی یاتاقان های ژور نال (بوشی) نصب است استفاده می شود.



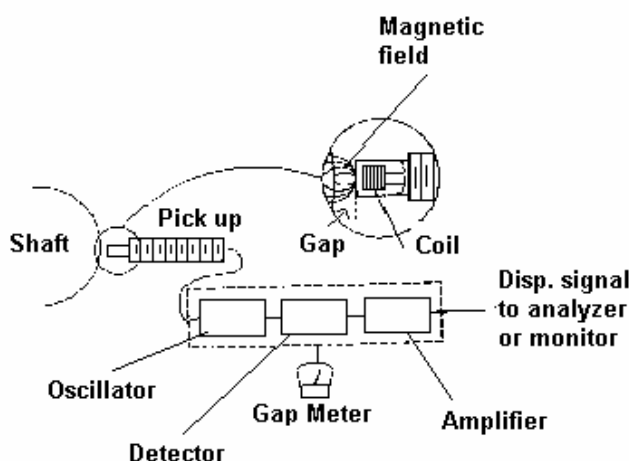
به علت فاصله کمی که بین شافت و یا تاقان ژورنال Clearance وجود دارد و همچنین صلب نبودن فیلم روغن و حرکت دورانی محور (در اثر نیروهای وارده به آن) در حین چرخش، شافت بصورت یک منحنی در فضای مربوطه حرکت می کند که شکل و اندازه و موفقیت زاویه ای و فضائی مدار چرخش آن با تغییر ارتعاشات تغییر می کند و باعث آشفتگی میدان مغناطیسی در اطراف سیم پیچ آپ ها (که در دو جهت با زاویه ۹۰ درجه ای نصب شده اند) می شود و باعث القاء جریان های گردابی در ماده رسانای نزدیک سیم پیچ می شود که جریان القا شده متناسب با حرکت های جانبی محور است. اثر فوق خود را با افت در دامنه ولتاژ بخش اسیلاتور (نوسان ساز) نشان می دهد. که اثر این سیگنال به سیگنال قابل اندازه گیری نرمال متناسب با فاصله بین سیم پیچ و ماده رسانا تبدیل می شود.

بسیاری از ماشین آلات دور بالامثل توربین ها، پمپ ها و کمپرسورهای گریز از مرکز دارای رتورهای نسبتاً سبکی هستند که در داخل محفظه های سنگین نصب می شوند. به علت وزن و ضخامت زیاد محفظه های هوزینگ برینگ ها اثر ارتعاش بر پیک آپ های تماسی کم بوده و مقدار کمی از لرزش رتور یا شافت به پوسته منتقل و نشان داده می شود اگر چه ممکن است رتور ارتعاشات زیادی در درون برینگ خود داشته باشد در چنین مواردی ارتعاشات واقعی به وسیله پیک آپ های غیر تماسی اندازه گیری می شود. اساساً این پیک آپ ها، پیک آپ های جابجائی اند و برای اندازه گیری جابجائی نسبی بین شافت و محفظه برینگ استفاده می شود

اصول کار پیک آپ های غیر تماسی

پیک آپ های غیر تماسی می توانند با لرزش سنج ها، آنالایزرهای پر تابل (قابل حمل) و مونیتور هایی که به طور دائم نصب می شوند به کار گرفته شوند.

این پیک آپ ها به یک مدار برقی از یک منبع خارجی نیاز دارند که بتواند یک جریان متناوب با فرکانس بالا (اوج رادیویی) ایجاد و نوسانات این جریان برقی که به دلیل ارتعاشات شافت ایجاد می شود را کشف کند.



مدار برقی که سنسور جریان Signal Sensor نامیده می شود یک سیگنال برقی با فرکانس بالا که به آن جریان یا سیگنال حامل Carrier Signal گفته می شود ایجاد می کند این سیگنال از طریق یک کابل کوکسیال به سیم پیچ Coil کوچکی که در قسمت نوک پیک است منتقل می شود. سیگنال فرکانس بالای

اعمال شده به سیم پیچ یک میدان مغناطیسی ایجاد می کند که هر شیئی فلزی مثل شافت فولادی که در نزدیکی سیم پیچ قرار داشته باشد مقداری از این انرژی را جذب می کند. جذب انرژی یک بار برقی روی سیگنال می گذارد که باعث کاهش قدرت آن می شود که میزان بار گذاری یا کاهش قدرت با فاصله بین نوک پیک آپ و شافت نسبت معکوس دارد.

هرچه سیم پیچ به شافت نزدیکتر شود (شافت به طرف سیم پیچ حرکت کند) اثر بار گذاری آن بیشتر و سیگنال حامل ضعیف تر خواهد بود و با حرکت شافت نسبت به نوک پیک آپ قدرت سیگنال برقی متناسب با میزان حرکت تغییر می کند .

سنسور جریان یک ولتاژ AC متناسب با نوسانات و یک سیگنال DC متناسب با فاصله نوک پیک آپ و شافت که به آن GaP گفته می شود ایجاد می کند تغییرات قدرت سیگنال حامل Carrier متناسب با میزان ارتعاشات است که این سیگنال جابجائی از طریق یک کابل به یک لرزش سنج یا آنالیز و یا مونیتور منتقل می شود .

نوک پیک آپ های Non-Contact در هنگام نصب در نزدیکی شافت قرار می گیرند . میزان فاصله بین نوک پیک آپ و شافت (Gap) بسیار مهم است زیرا کالیبراسیون سیستم با این فاصله ($0.050' - 0.100'$) تعیین می شود .

چون دسترسی به نوک پیک آپ وجود ندارد به یک اندازه گیر Gap (میکرومترهای مخصوص این کار) برای تنظیم آن در هنگام نصب پیک آپ و چک کردن و تنظیم مجدد آن در مواقع دیگر نیاز است .

مزایای پیک آپ های غیر تماسی

- ۱- قادر به اندازه گیری حرکت های دینامیکی و استاتیکی رتور هستند .
- ۲- توانائی کار در فرکانس های پائین را دارند.
- ۳- اندازه آنها کوچک است و نیاز به فضای کمی برای نصب دارند .
- ۴- کالیبره کردن آنها آسان است .

معایب پیک آپ های غیر تماسی

- ۱- اختلالات برقی روی آنها تاثیر می گذارد .
- ۲- در فرکانس های بالا حساسیت خود را از دست می دهند .
- ۳- سیم پیچ آنها حساس است و قابل تعمیر نیستند .

موارد کاربرد پیک آپ های غیر تماسی

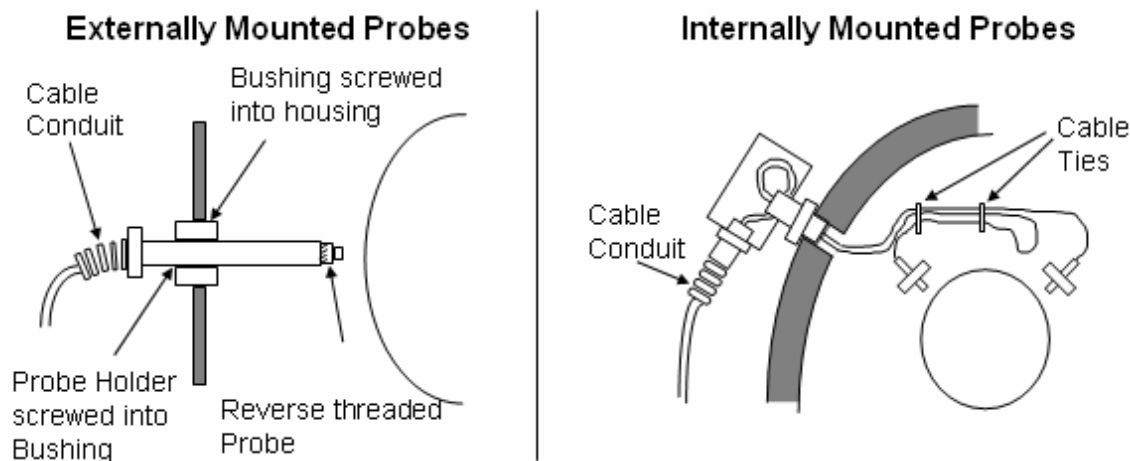
- ۱- در توربو ماشین های بادورهای متوسط که دارای رتور سبک و پوسته سنگین دارند .
- ۲- برای اندازه گیری ارتعاشات شعاعی و حرکت های محوری شافت .
- ۳- برای بدست آوردن منحنی های اریبیت Orbit.
- ۴- برای بدست آوردن دور بحرانی رتورها .
- ۵- برای اندازه گیری رشد حرارتی دستگاه ها (تغییر موقعیت هوزینگ برینگ نسبت به زمین)

روش نصب پیک آپ های غیر تماسی

پیک آپ های Non-Contact به اشکال مختلف ارائه می شوند برخی تنها یک اینچ طول دارند درحالی که برخی دیگر ممکن است چندین اینچ طول داشته باشند بعضی از پیک آپ ها یک بدنه پیچی دارند که در سوارخ رزوه دار نصب می شود و برخی دیگر بدنه صاف دارند و به توسط چسب مخصوص Epoxy و با پیچ Set Screw نصب می شوند .

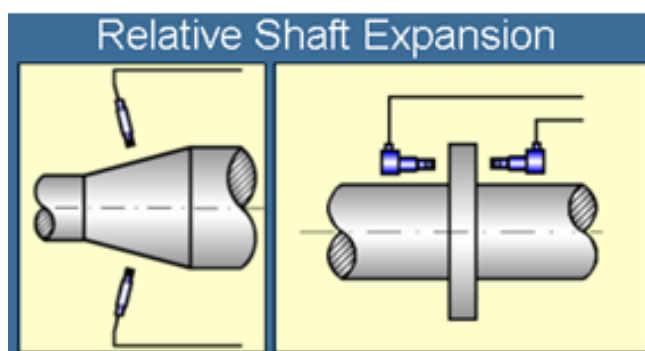
برخی از پیک آپ ها دارای محل اتصال Connector ضد آب و ضد روغن می باشند و برخی دارای کابل های تفلونی و در برخی هم برای ممانعت از صدمه دیدن کابل ها دارای پوشش مسلح Armoured Cover می باشند. پیک آپ ها معمولا در سوارخ هایی که در بدنه ماشین یا بدنه برینگ تعبیه شده نصب می شوند ولی در جاهایی که امکان نصب پیک آپ در یا تاقان در نظر گرفته نشده باشد می توان با استفاده از گیره و یا آداپتور مناسب آنها را نصب کرد که در این صورت باید آداپتورها هر چه کوتاهتر و سنگین تر انتخاب شود تا ارتعاشات آنها کاهش یابد.

در بعضی ماشین آلات، سازنده ماشین استفاده از پیک آپ های غیر تماسی خاصی را توصیه می کند این گونه ماشین آلات معمولا دارای رتور نسبتا سبک پوسته سنگین و سرعت زیادند پیک آپ های غیر تماسی معمولا نزدیک یا داخل یا تاقان قرار می گیرند با این وجود گاهی ممکن است پیک آپ در وسط محور نیز قرار گیرد تاخمش شافت را اندازه گیری کند . پیک آپ های غیر تماسی بر روی یا تاقان های تراست (محوری) نیز مورد استفاده قرار می گیرند تا ارتعاشات محوری (تغییر مکان محوری) ماشین نیز تحت کنترل باشد و از عدم تماس قطعات ثابت و متحرک دستگاه اطمینان حاصل شود.



از پیک آپ های غیر تماسی علاوه بر اندازه گیری ارتعاشات برای تعیین موقعیت محوری دستگاه های بزرگ (نظیر کمپرسورهای گریز از مرکز و توربین های بخار و.....) نیز برای اطمینان از عدم تماس قطعات ثابت و متحرک نیز استفاده می شود که در هر لحظه موقعیت رتور نسبت به یک نقطه مرجع (معمولا بدنه محفظه هوزینگ برینگ) اندازه گیری می شود و در صورتی که حرکت محوری رتور از حد قابل قبول افزایش پیدا کرده باشد سیستم های آلارم یا قطع اضطراری فعال و از ایجاد خسارت های جدی به ماشین ممانعت می شود.

لازم به توضیح است که به دلیل انبساط حرارتی محور و بدنه Gap تنظیم شده، در هنگام سرد بودن دستگاه های با درجه حرارت بالا (بخصوص توربین های بخار که ناحیه قرارگیری پیک آپ در نزدیکی بخار ورودی به توربین است) با Gap در حین کار متفاوت است و گاهی نیز در شرایط تغییر فصل و تغییر درجه حرارت محیط ممکن است خطاهائی بوجود آید و موقعیت واقعی رتور یا وضعیت یاتاقان های محوری قابل تشخیص نباشد و اعداد قرائت شده کاذب باشد و باعث تحریک سیستم های Alarm یا Shut Down دستگاه شود. در این گونه موارد معمولاً با استفاده از دو عدد پیک آپ غیر تماسی که در جهت محوری نصب می شوند (شکل صفحه بعد) و یک مدار اضافی که قادر به اندازه گیری اختلاف مقادیر اندازه گیری شده توسط دو پیک آپ است امکان حذف مسائل انبساط حرارتی و تعیین دقیق موقعیت محور فراهم می شود.

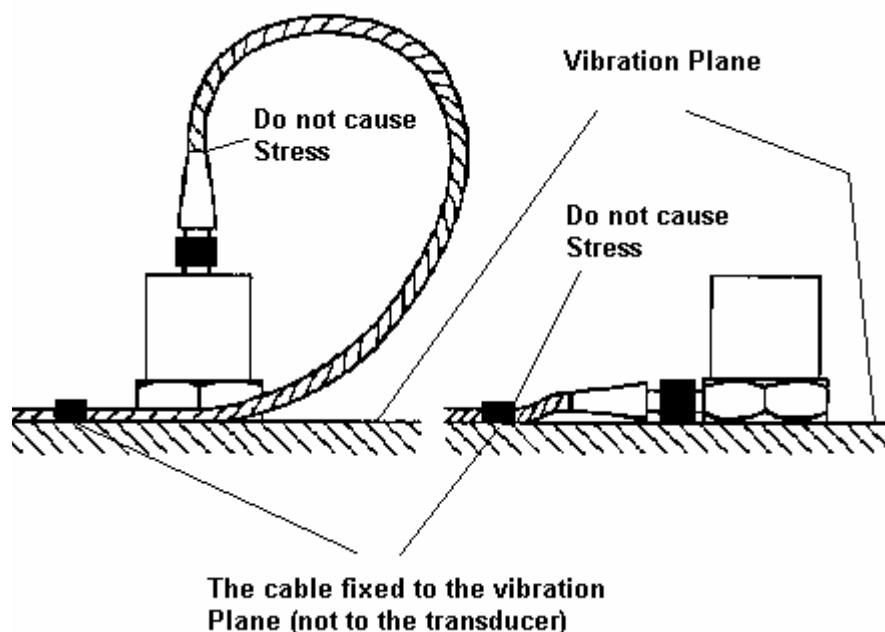


نکته مهمی که باید در حین نصب این نوع پیک آپ ها مد نظر داشت صافی سطح قسمتی از محور است که در دید پیک آپ است و همچنین صاف بودن محور (نداشتن خمیدگی) در این ناحیه که در صورتی که در حد مناسب نباشد باعث ایجاد خطا در سیستم اندازه گیری می شوند و باعث می شود که لرزش واقعی محور قرائت نشود.

محدود فرکانس این پیک آپ ها از صفر تا 1000Hz است و از آنجائی که دامنه تغییر مکان های محور در فرکانس های بالا خیلی کوچک می شود محدوده فرکانس عملاً با تفکیک پذیری Resolution دامنه که بین 0.05-0.1 mil است محدود می شود.

پیک آپ های تماسی Contact Pickup

از این نوع پیک آپ برای اندازه گیری ارتعاشات مطلق یاتاقان ها (هوزینگ برینگ ها) استفاده می شود و ارتعاشات هوزینگ برینگ را نسبت به یک نقطه مرجع ثابت (زمین) اندازه گیری می کنند. از مزایای این نوع سنسورها آن است که می توانند مستقیماً روی قطعه مرتعش قرار گیرند و میزان ارتعاشات آن را مستقیماً اندازه گیری کنند.



برخلاف پیک آپ های غیر تماسی که فقط برای اندازه گیری جابجائی استفاده می شوند پیک آپ های تماسی بسته به نوع ساختمان آنها می توانند هر یک از پارامترهای جابجائی سرعت و شتاب ارتعاشات را اندازه گیری کنند. با توجه به این که در هر محدوده فرکانس یکی از این پارامترها دارای اهمیت بیشتری است. استفاده از این نوع پیک آپ ها روی دستگاه های بارتورهای سنگین و سبک و به خصوص ماشین آلاتی که مجهز به یاتاقان های غلطکی (بال برینگ ها) هستند نسبت به پیک آپ های غیر تماسی ارجحیت بیشتری دارد به خصوص برای دستگاه های لرزه نگاری پرتابل (قابل حمل) نصب آنها خیلی ساده تر و راحت تر است. با توجه به این که در فرکانس های پایین بحث تنش های مکانیکی و در فرکانس های متوسط بحث خستگی و در فرکانس های بالا نیز بحث نیرومطرح است و این پارامترها با هم متفاوتند پس الزاماً سنسورهایی هم که این پارامتر را اندازه گیری می کنند باید دارای ساختمانی متفاوت باشند تا بتواند این پارامترها را اندازه گیری نمایند. به همین دلیل پیک آپ های متعددی طراحی ساخته و مورد استفاده قرار می گیرند.

لازم به توضیح است که هیچ پیک آپ کاملی که برای تمام موارد مصرف مناسب باشد وجود ندارد گرچه برای هر مورد استفاده یک پیک آپ که مناسب تر است وجود دارد که باید برای هر مورد خاص بهترین آن انتخاب شود.

انتخاب پیک آپ مناسب برای هر مورد مصرف برای جمع آوری اطلاعات باعث اطمینان بیشتر برای جمع آوری اطلاعات ارتعاشاتی است زیرا هر ماشین مشخصات خاص خود را دارد. برای مثال یک گیربکس یا بال برینگ ارتعاشات با فرکانس های بالا ایجاد می کند که در یک موتور فن با دور پایین چنین ارتعاشاتی وجود ندارد.

برای انتخاب پیک آپ پارامترهای زیر باید در نظر گرفته شوند::

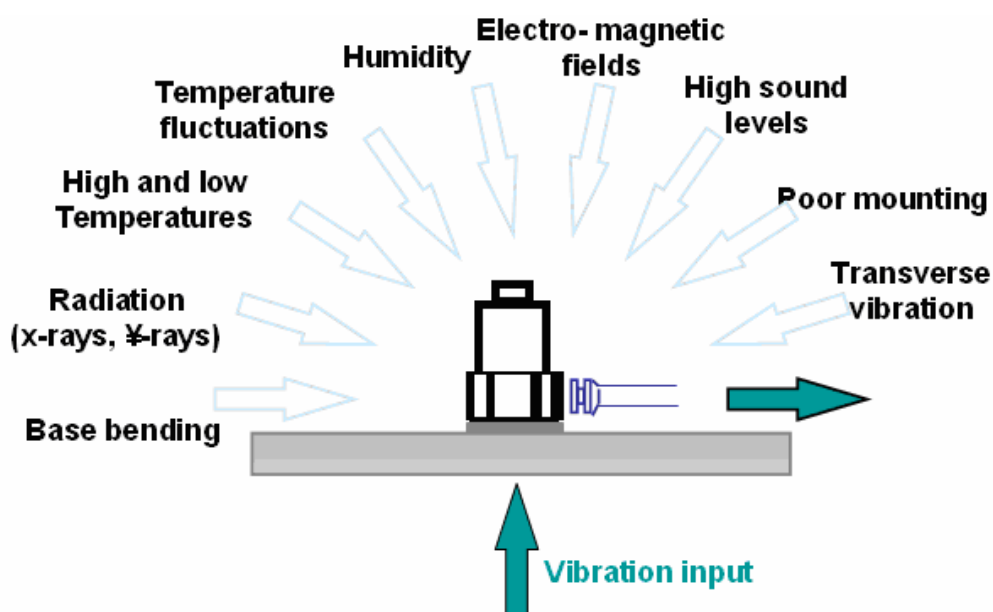
۱- مشخصات مکانیکی ماشین

۲- پارامترهای مورد اندازه گیری

۳- محدوده فرکانس ارتعاشات

۴- مسائل نصب پیک آب

و همچنین مسائلی از قبیل درجه حرارت کارکرد، رطوبت، مشخصات برقی و فاکتورهای محیطی مثل Noise که کارخانجات سازنده آنها مشخصات و محدوده کاربرد اپتیم آنها را ارائه می دهند. در شکل زیر مسائل جانبی که باعث اختلال در دقت اندازه گیری پیک آب هادی شود اشاره شده است.

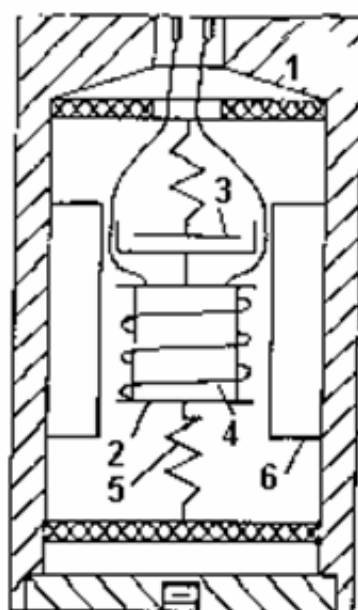


پیک آب های سرعت سنج ارتعاشات

این نوع پیک آب ها مستقیماً به سرعت ارتعاشات عکس العمل نشان می دهند. بیشتر دستگاه های لرزش سنج دارای امکاناتی هستند که با اجرای عملیاتی که روی سیگنال های الکتریکی (مثل انتگرال گیری مشتق گیرها) انجام می دهند بایک پیک آب سرعت سنج میزان جابجائی Displacement را هم نشان می دهند. در تئوری امکان تبدیل سرعت به واحد شتاب نیز وجود دارد که (نصب مشتق گیرها) ولی به دلیل غیر قابل اعتماد بودن نتایج حاصله در عمل این کار انجام نمی شود.

اصول کار پیک آب های سرعت سنج

این سنسورها بر اساس اصول الکترو دینامیک کار می کنند و ساختمان آنها از یک سیم پیچ که از طریق یک هسته روی فنرهایی نصب است همراه یک آهنربای دائمی که به بدنه پیک آب متصل گردیده است تشکیل شده است (شکل زیر).



- 1 Pick up case
- 2 Wire coil
- 3 Damper
- 4 Mass
- 5 Spring
- 6 Magnet

هنگامی که سنسور روی جسم در حال ارتعاش قرار می گیرد سیم پیچ در فضا ثابت می ماند (در هر فرکانس بالای فرکانس طبیعی سیستم جرم و فنر) در حالی که آهنربا همراه با جسم مرتعش به ارتعاشی در می آید قطع خطوط میدان مغناطیسی حاصل از آهنربای دائمی توسط سیم پیچ باعث القا یک ولتاژ در سیم پیچ می شود (بدون این که سنسور نیاز به انرژی داشته باشند) که به همین دلیل به این نوع سنسور، سنسور فعال گفته می شود.

با توجه به ساختمان این سنسور فرکانس طبیعی آن به صورت نرمال بین ۸-۱۵ HZ است که با نصب یک مدار الکترونیکی خطی کننده پاسخ فرکانس در دستگاه امکان اندازه گیری ارتعاشات تا مقادیر خیلی پایین تراز فرکانس طبیعی سنسور به طور دقیق میسر می گردد به علاوه این که تجهیزات عیب یابی مجهز به انتگرال گیر و تبدیل ولتاژ متناسب با سرعت ارتعاش به تشکیلات متناسب با جابجائی ارتعاشات می باشند . همچنین برای اندازه گیری ارتعاشات در فرکانس های خیلی پایین در حدود ۲/۵ HZ (۱۵۰ CPM) از پیک آپ های سرعت سنج بخصوصی استفاده می شود که دارای میله ای است که مستقیماً به سیم پیچ وصل می شود و روی سطح مرتعش قرار می گیرد. از این نوع پیک آپ برای اندازه گیری ارتعاشات سازه های سبک که پاسخ آنها با اتصال پیک آپ های سنگین تغییر می کند استفاده می شود.

مزایای پیک آب های سرعت سنج

- ۱- ساختمان مقاوم می دارند .
- ۲- حساسیت آنها حتی در فرکانس های پایین هم بالاست.
- ۳- با داشتن مقاومت داخلی پایین دارای میزان سیگنال خروجی بالائی هستند.
- ۴- فعال شدن سنسور بدون نیاز به منبع تغذیه خارجی .
- ۵- ضد نفوذ بودن در مقابل آب و روغن .
- ۶- مقاوم بودن در برابر عوامل شیمیایی و محیطی .

معایب پیک آپ های سرعت سنج

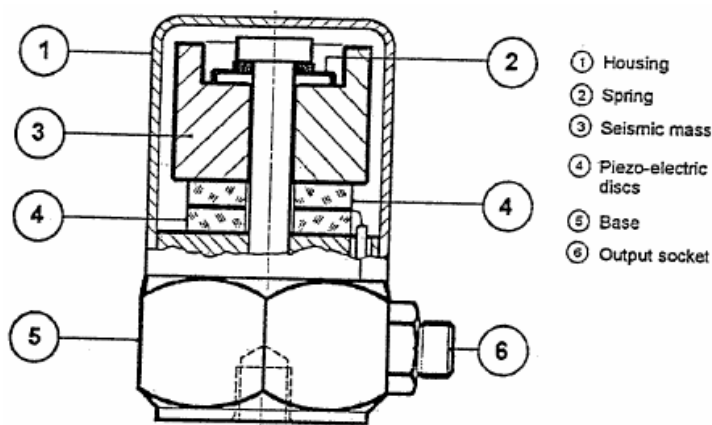
- ۱- فرکانس بالای آنها محدود (تا 2000 HZ) است.
- ۲- نسبت به میدان های مغناطیسی قوی حساسیت دارند.

پیک آپ های شتاب سنج ارتعاشات

در این نوع پیک آپ از خاصیت پیزو الکتریکی کوآرتز برای تبدیل حرکات مکانیکی به سیگنال های الکتریکی استفاده می شود. خاصیت پیزو الکتریک باعث ایجاد شار الکتریکی در انتها ی کریستالی که تحت نیروی فشار یا کشش است می گردد. شار الکتریکی نیز در اثر جابجایی مولکول های قطبی در کریستال حاصل می شود. به دلیل این که نسبت هماهنگی سیستم جرم- فنردراین سنسور ها بالاست این سنسورها معمولاً در فرکانس های زیر فرکانس طبیعی خود کار می کنند.

ساختمان سنسورهای پیزو الکتریک

در این سنسورها دیسک های سرامیکی پیزو الکتریک توسط یک جرم تماسی بارگذاری اولیه Preload می شوند و با این ترکیب دیسک های سرامیکی پیزو الکتریک نقش فنر رادر سیستم جرم و فنر ایفا می کنند. اگر این دیسک ها در معرض ارتعاش واقع شوند جرم تماسی نیروی متناوبی را روی دیسک ها اعمال می کند که بر اثر وجود خاصیت پیزو الکتریک در دیسک ها با ر الکتریکی تولید می شود که مقدار بار الکتریکی تولید شده متناسب با مقدار شتاب ارتعاشات است این بار الکتریکی بوسیله یک تقویت کننده تعبیه شده به ولتاژ الکتریکی تبدیل می شود.



مبانی ساختمانی یک سنسور شتاب سنج پیزو الکتریک

در سنسورهای شتاب سنج نیاز به مدار خطی کننده نیست و سیگنال خروجی متناسب با شتاب از سنسور با عمل انتگرال گیری به سیگنال سرعت ارتعاشات و با انتگرال گیری مجدد به سیگنال جابجائی ارتعاشات (در صورت لزوم) تبدیل می شود.

مزایای سنسور های شتاب سنج

- ۱- ساختمان مقاومی دارند.
- ۲- به میدان های مغناطیسی حساسیت ندارند.
- ۳- در جهت های مختلف قابلیت استفاده دارند.

۴- دارای ابعاد کوچکی هستند .

۵- بدنه فولادی زنگ نزن و غیر قابل نفوذ دارند .

معایب شتاب سنج ها

۱- برای فعال شدن سنسور نیازی به منبع تغذیه خارجی ندارند.

۲- در فرکانس های پایین حساسیت آنها کم است .

دستورالعمل های نصب پیک آپ ها

۱- تا آنجا که امکان داشته باشد ترانس دیوسرها باید نزدیک به محفظه یاتاقان ها قرار گیرند.

۲- باید اطمینان حاصل شود که پیک آپ به یک قطعه صلب ماشین متصل شده است.

۳- در صورتی که شتاب سنج ها روی محفظه های یاتاقان یا قسمت های دیگری که صلب نیستند و باعث رزونانس ارتعاشات می شوند (Stiffness مکانیکی آنها کم است) نصب گردد امکان خطاهای اندازه گیری وجود دارد.

ذیلا برخی از دستورالعمل های نصب شتاب سنج ها طبق ISO 5384 آورده شده است.

۱- برای رسیدن به نتیجه بهتر کایه شتاب سنج ها باید روی بدنه ماشین با پیچ بسته شود.

۲- سطح محل نصب سنسور شتاب سنج باید تا حد امکان صاف و صیقلی باشد.

۳- خمیدگی کابل ها نباید خیلی زیاد باشد.

۴- اطمینان حاصل شود که محل اتصال بین کابل داخلی پراب و روکش محافظ کابل از قسمت هوزینگ برینگ به خوبی ایزوله شده باشد.

۵- در مواردی که پراب در قسمتی که درجه حرارت بالا است باید نصب شود (مثل قسمت خروجی توربین های گازی) شاید لازم باشد که کابل پراب از قسمتی که روغن در جریان است (یا هرناحیه ای که درجه حرارت کم است) عبور نماید.

۶- اگر کابل باید از داخل دستگاه عبور نماید برای جلوگیری از حرکت کابل (ناشی از حرکت ماشین) کابل باید به بدنه پیچ شود.

۷- تمامی کابل ها باید از داخل لوله یا کاندیوت عبور کنند.

روش های نصب پیک آپ ها Pickup Mounting

۱- نگهداری پیک آپ ها به وسیله دست Hand Holder

۲- نصب پیک آپ با نگهدارنده مغناطیسی Magnetic Holder

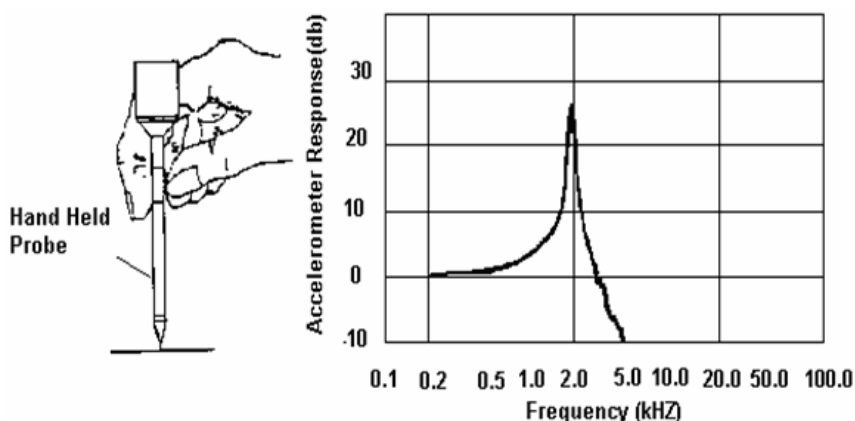
۳- نصب پیک آپ توسط پیچ Stud Mounting

۴- نصب پیک آپ با اپوکسی Epoxy Mounting

۵- اندازه گیری ارتعاشات توسط Shaft Rider

نگهداری پیک آپ ها به وسیله دست Hand Holder

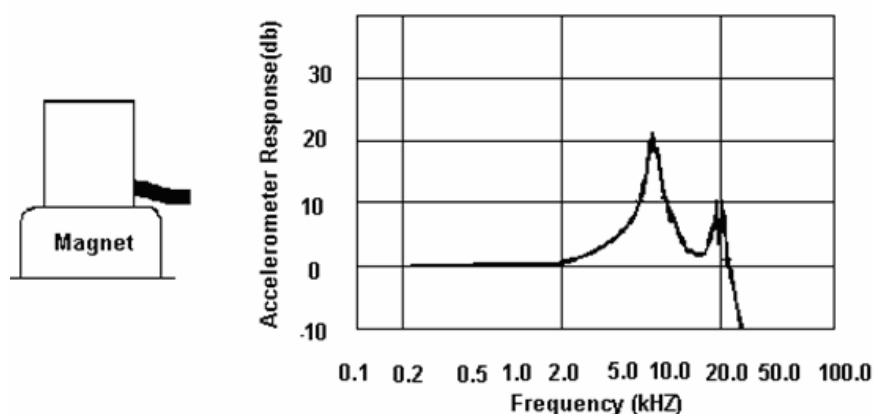
این روش ساده ترین و سریع ترین روش نصب پیک آپ است ولی باید توجه داشت که به علت وجود تشدید در محل تماس بین نوک پیک آپ و سطح نقطه اندازه گیری، محدوده فرکانس مفید و قابل استفاده در سنسور محدود است و لی در طول مدت اندازه گیری نگه داری سنسور در جهت مستقیم، عدم یکنواختی نیروی فشاری دست روی پیک آپ و حرکت سنسور در حین اندازه گیری موجب بروز خطا در نتایج اندازه گیری می شود و اگر قرار است اندازه گیری ها مرتباً انجام شوند توصیه می شود یک سوراخ کوچک یا یک نشانه برای قرار دادن نوک پراب روی سطح ایجاد شود که این خود کمک می کند تا اطمینان حاصل شود که اندازه گیری ها در هر نوبت دقیقاً در یک نقطه انجام می شود.



ضمناً محل قرار گیری پیک آپ ها حتی الامکان باید صاف و تمیز باشد و در هنگام اندازه گیری باید آنقدر فشار روی پیک آپ وارد شود که مانع لرزش پیک آپ یا حرکت آن روی محل اندازه گیری شود و اگر در دست خود احساس لرزش فرکانس بالا می کنید باید فشار بیشتری روی پیک آپ وارد شود. روش فوق روش بسیار آسانی است ولی همان گونه که در منحنی فوق ملاحظه می شود برای فرکانس های پایین تارنج زیر 1 KHz کارائی دارد.

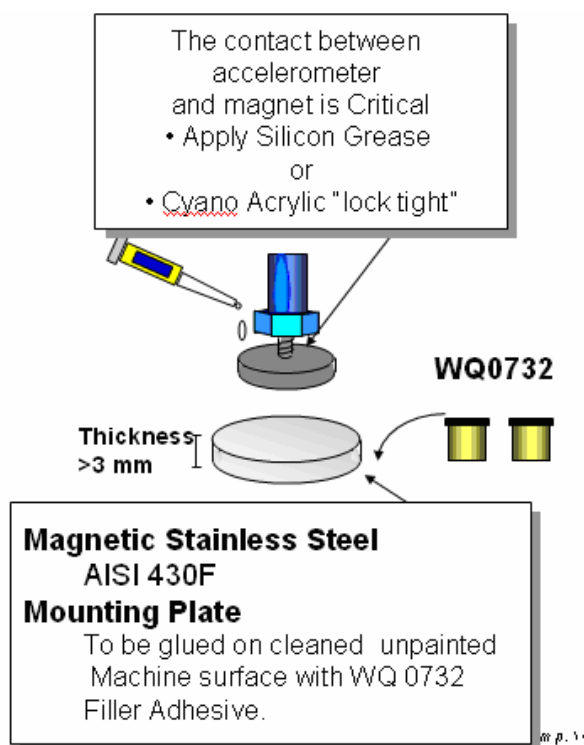
نصب پیک آپ با نگهدارنده مغناطیسی Magnetic Holder

بر خلاف روش نگه داشتن با دست، نصب پیک آپ با یک نگهدارنده مغناطیسی روی نقطه اندازه گیری، محدوده فرکانسی قابل استفاده وسیعی فراهم می شود و حرکت کردن سنسور در طول مدت اندازه گیری منتفی می شود و نصب سنسور تقریباً سریع تر از روش نگه داشتن با دست است با این حال سطح نقطه اندازه گیری باید مغناطیس پذیر باشد و عاری از هر گونه روغن و یا گریس و همچنین سطح مغناطیس با سطح نقطه اندازه گیری باید در تماس کامل باشند.

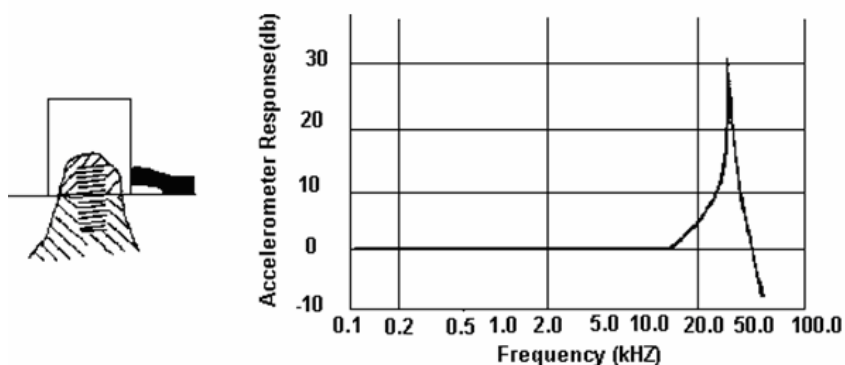


نصب پیک آپ توسط پیچ Stud Mounting

از نظر فنی روش نصب دائم (نصب پیچی) بهترین روش برای نصب سنسور در محل اندازه گیری است. از این روش معمولاً برای اندازه گیری ارتعاشات مطلق یا تاقان ها استفاده می شود و محدوده فرکانس قابل استفاده وسیع و قابلیت خوب اندازه گیری مجدد از مزایای این روش است ولی عیب این روش این است که برای هر نقطه باید یک پیچ روی بدنه ماشین نصب شود (نیاز به سوراخ کاری و تپ زدن) و همچنین نسبت به روش های قبلی نیز زمان بیشتری جهت نصب پیک آپ مورد نیاز است. البته در این روش باید طبق استاندارد ISO 5348 محل نصب شتاب سنج صاف و صیقلی باشد و یک لایه نازک روغن نیز روی آن وجود داشته باشد. در شکل زیر شمائی از مراحل نصب استاندارد شتاب سنج ها به روش نصب پیچی نشان داده شده است.



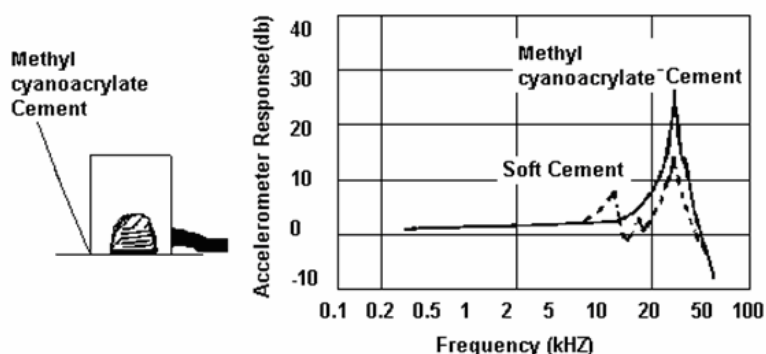
در شکل زیر نیز محدودیت های این روش نمایش داده شده است. همانطور که ملاحظه می شود تا فرکانس های زیر 15 KHZ قابلیت استفاده دارند و در فرکانس های بالاتر باعث تشدید یا رزونانس خواهند نمود.



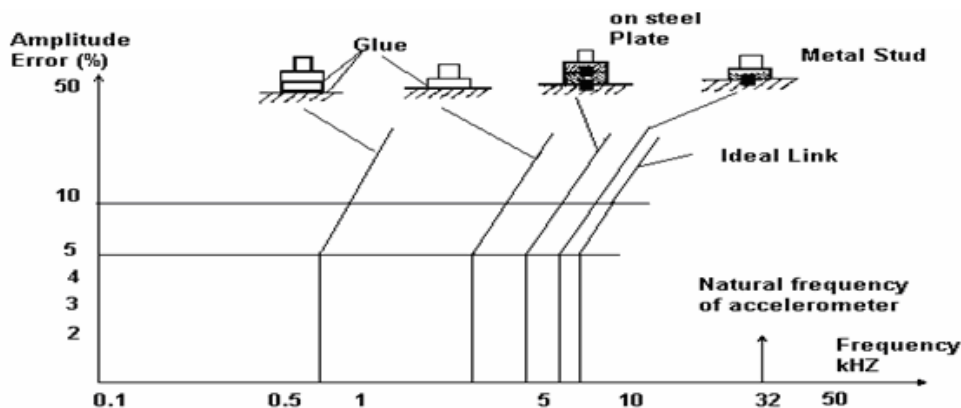
البته بهترین روش نصب شتاب سنج هاهمین روش است که عیب آن غیر عملی بودن آن در اکثر مواقع است.

نصب پیک آپ با اپوکسی Epoxy Mounting

در مواردی که امکان نصب Stud روی ماشین نباشد می توان خود پیک آپ را مستقیماً توسط چسب های مخصوص (اپوکسی) روی قطعه مورد نظر نصب نمود ولی باید کاملاً دقت شود که انتهای پیک آپ در تماس مستقیم با سطح اندازه گیری قرار گیرد و هیچ نوع لقی بین آنها وجود نداشته باشد.

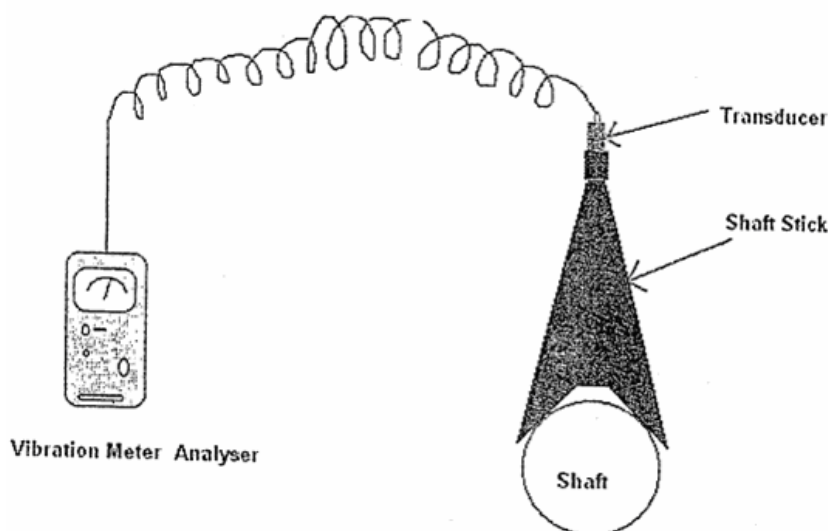


در شکل های زیر خطاهای اندازه گیری دامنه و زاویه فاز ارتعاشات برای چهار روش نصب پیک آپ نشان داده شده است.



اندازه گیری ارتعاشات توسط شافت استیک Shaft Sticle

از این روش برای اندازه گیری ارتعاشات نسبی شافت و محفظه برینگ Housing Bearing ماشین آلات با دور بالا که ارتعاشات کمی به محفظه های بیرونی منتقل می شود (با توجه به ارتعاشات قابل ملاحظه رتور) استفاده می شود.



شافت استیکل یک چوب سخت است که به شکل دم ماهی درآورده شده و در انتهای آن یک پیچ برای اتصال آپ نصب شده است. با قرار دادن آن روی محور ارتعاشات ناشی از خارج از مرکز و ناصافی به پیک آپ منتقل و توسط دستگاه لرزه نگاری اندازه گیری می شود.

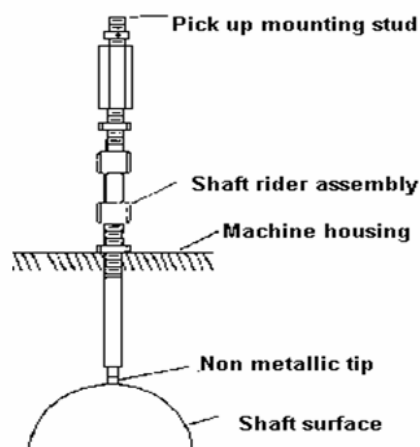
مواردی که جهت قرار گرفتن شافت استیکل باید در نظر داشت عبارتند از:

۱- فشار کافی و مناسب روی دسته آن باید اعمال شود.
۲- شافت باید صاف باشد و فاقد رنگ زدگی و خلل و فرج باشد و همچنین نباید روی جای کلید و شیارهای روی شافت قرار گیرد.

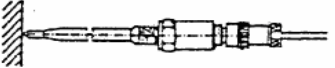
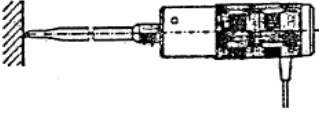
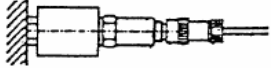
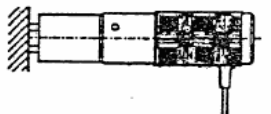
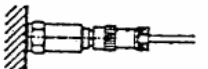
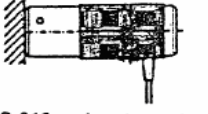
۳- روغنکاری مناسب و متناسب برای کاهش اصطکاک بین نوک پراب و شافت استیکل در دورهای بالا.
لازم به توضیح است که از شافت استیکل برای اندازه گیری های پرودیک و برخی آنالیزها و بالانس کردن در محل یا Field Balance استفاده می شود.

اندازه گیری ارتعاشات توسط Shaft Rider

شافت رایدرها معمولا روی ماشین آلات دوار بزرگی که رتورهای سنگین دارند برای اندازه گیری ارتعاشات مطلق شافت استفاده می شوند و غالبا برای مونیتور کردن و بالانس کردن ترجیح داده می شوند. شافت رایدرد دارای یک نوک فشاری Spring Loaded است که محکم روی شافت نگه داشته می شود تا بتواند حرکت آن را تعقیب کند. انتهای Probe یک نوک غیر فلزی مقاوم در برابر سایش وجود دارد که معمولا در محفظه برینگ نصب می شود و با استفاده از یک پیک آپ سرعت و یا شتاب، ارتعاشات مطلق شافت را اندازه گیری می کند.



در جدول زیر انواع روش های نصب پیک آپ های تماسی همراه با مزایا و معایب آنها در فرکانس های مختلف آورده شده است

معایب	مزایا	روش نصب سنسور و محدوده فرکانسی قابل استفاده
محدوده فرکانسی محدود شده	کاربرد سریع	 ۱۰۰۰ HZ - ۱ با پروب فولادی AS-020 ۷۰۰ HZ - ۱ با پروب آلومینیومی AS-020
نگه داری مستقیم بادست نیاز است.	تقریباً هیچ نوع تدارکی در نقطه اندازه گیری نیاز نمیشد.	 ۱۰۰۰ HZ - ۱ با پروب فولادی AS-013 ۵۰۰ HZ - ۱ با پروب آلومینیومی AS-013
محدوده فرکانسی محدود شده مواد با خواص مغناطیسی در نقطه اندازه گیری نیاز است. نقطه اندازه گیری بایستی تمیز باشد.	کاربرد سریع نگه داری با دست نیاز نیست. دستهای فرد اپراتور آزاد می باشند.	 ۲۲۰۰ HZ - ۱ با نگه دارنده مغناطیسی AS-020  ۲۰۰۰ HZ - ۱ با نگه دارنده مغناطیسی AS-013
پیچ یا صفحه کمکی پیچ دار برای هر نقطه اندازه گیری لازم می باشد. زمان زیاد برای نصب سنسور	محدوده فرکانسی قابل استفاده وسیع قابلیت اندازه گیری مجدد عالی	 ۲۰۰۰ HZ - ۱ نصب شده با پیچ AS-020  ۲۰۰۰ HZ - ۱ نصب شده با پیچ AS-013

پارامترهای لازم برای انتخاب پیک آپ

۱- در شرایط کاری شامل درجه حرارت کارکرد رطوبت مشخصات برقی و فاکتورهای محیطی کارآئی داشته باشد.

۲- امپدانس داخلی آن کم و حساسیتش بالا باشد.

۳- میزان حساسیت کابل آن به Noise کم باشد.

۴- حساسیت پیک آپ در محدوده فرکانس ورنج اندازه گیری ثابت باشد.

۵- مناسب بودن امپدانس خروجی آنها که در تداخل های الکتریکی خارجی و یا وجود آلودگی در محل های اتصال پیک آپ راحساس می کند.

جدول زیر مرجع مناسبی برای انتخاب نوع پیک آپ براساس فرکانس کاری و نوع دستگاه است .

Type of machine	Parameter	Frequency range	Location	Type of transducer
Steam Turbine/Large pump/Compressor with fluid film bearing	Displacement	600-6000	Relative shaft	Non contact or shaft rider
	Velocity	600-60000	Bearing casing	Accelerometer
Pumps-motor or turbine/Electric motors/fans	Velocity	600-60000	Bearing casing	Velocity or accelerometer
	Acceleration Bearing condition	600-600000	Bearing casing	Accelerometer
Fans/Blowers, Motor driven with roller element brgs.	Velocity	600-60000	Bearing casing	Velocity or accelerometer
	Bearing condition Acceleration	600-600000	Bearing casing	Accelerometer
Gearbox with roller element brgs. Gearbox with liquid film bearing	Acceleration Bearing condition	600-60000	Casing	Accelerometer
	Displacement Acceleration	600-600000	Relative shaft Casing	Non Contact Accelerometer
Special cases very low frequency				
Cooling towers/hydro electric generators/ low speed ans	Disp	60-60000	Casing	Velocity

تجهیزات آنالیز ارتعاشات

آنالیز ارتعاشات یک پروسس دو مرحله ای است که مرحله اول آن جمع آوری اطلاعات و مرحله دوم آن تجزیه و تحلیل و پیدا کردن مسائلی است که باعث ایجاد ارتعاشات می شوند. برای آنالیز ارتعاشات نیاز به جمع آوری اطلاعات و مشخصه های ارتعاشی است که این وظیفه بر عهده دستگاه ها و تجهیزات آنالیز ارتعاشات و اپراتورهای آنهاست .

دستگاه های آنالیز ارتعاشات علاوه بر اندازه گیری شدت دامنه ارتعاشات (که مهمترین پارامتر است) پارامترهای دیگری رانیز اندازه گیری می کنند که برای هر کدام نیاز به تجهیزات و وسایل خاص است که رابط بین دستگاه آنالیزر و ماشین مورد مطالعه است که ذیلا به شرح آنها پرداخته می شود .

۱- لرزش سنج ها Vibration Meter

۲- دستگاه های جمع آوری کننده اطلاعات Data Collector

۳- دستگاه های آنالیز ارتعاشات Vibration Analyzers

لرزش سنج ها Vibration Meter

لرزش سنج ها دستگاه های پرتابل کوچکی هستند که با باتری کار می کنند و برای اندازه گیری سریع میزان ارتعاشات به کار می روند. لرزش سنج ها معمولا دارای یک سوئیچ برای انتخاب Range و سوئیچی دیگر برای انتخاب پارامتر اندازه گیری و تست باتری می باشند و برخی از آنها ممکن است امکانات اضافه ای برای اندازه گیری صدا و همچنین خروجی برای ثبت Recorder و اسیلوسکوپ و انتخاب فیلتر داشته باشند.

دستگاه های جمع آوری کننده اطلاعات Data Collector

این دستگاه ها نیز جز خانواده لرزش سنج ها هستند و برای اندازه گیری و در حافظه قرار دادن یک سری اطلاعات بر نامه ریزی می شوند و مقادیر اندازه گیری شده را برای انتقال نهائی به یک کامپیوتر در خود ضبط می کنند . اطلاعات جمع آوری شده از طریق کابل های مربوطه بطوریک جا وارد کامپیوتر می گردند. البته بعضی از این دستگاه ها می توانند بسیاری از پارامترهای عملیاتی از قبیل فشار درجه حرارت و..... را نیز در خود ثبت و ذخیره کنند .

دستگاه های آنالیز ارتعاشات Vibration Analyzers

این دستگاه ها برای تست های پیشرفته مورد استفاده قرار می گیرند و می توانند علاوه بر اندازه گیری دامنه ارتعاشات پارامترهای دیگری از قبیل فرکانس زاویه فاز صدا و..... را اندازه گیری کنند که کمک بسیار زیادی برای پیدا کردن عیوب احتمالی روی ماشین آلات به نفعات متخصصی که در این زمینه کار می کنند. برای اندازه گیری هر کدام از این پارامتر ها تجهیزات جنبی دیگری نیز مورد نیاز است که از اجزا آنالیزرها هستند و ذیلا به شرح آنها پرداخته می شود .

سخت افزارهای لازم برای آنالیز ارتعاشات

دامنه سنج Amplitude Meter

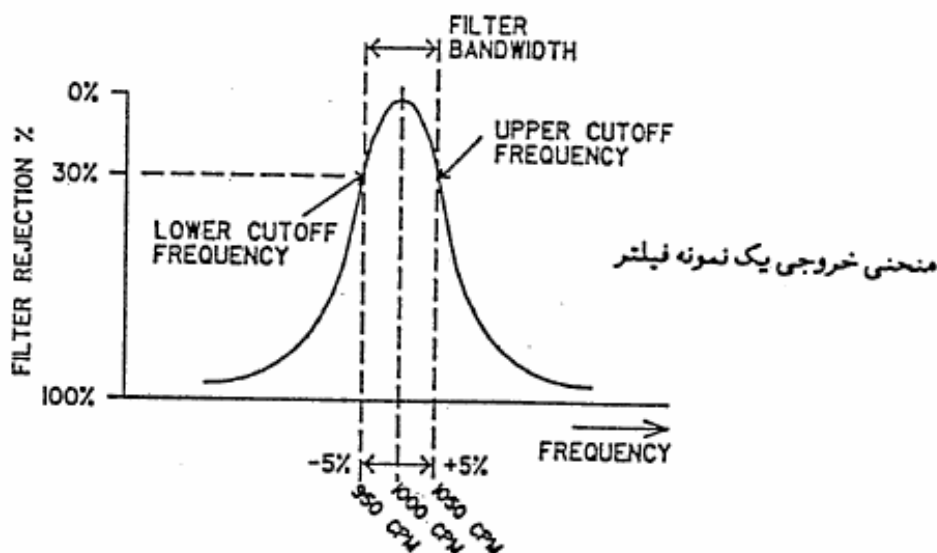
این سخت افزارها دامنه ارتعاشات (جابجائی سرعت و شتاب) را بسته به شرایط کاری دستگاه اندازه گیری می کنند که با انتخاب Range مناسب روی دستگاه بسته به مقدار ارتعاشاتی به صورت دستی یا اتوماتیک اندازه گیری می کنند .

فرکانس سنج Frequency Meter

با توجه به این که ارتعاشات دستگاه ها در فرکانس های متعددی اتفاق می افتد و هر باند فرکانسی مربوط به یک اشکال سیستم است وظیفه فرکانس سنج ها تجزیه فرکانس ها و نشان دادن دامنه ارتعاشات با فرکانس های آنها است. فرکانس سنج ها می توانند فرکانس ها را بصورت عددی یا نموداری نشان دهند که در بخش های بعدی بطور مفصل راجع به آنها بحث خواهد شد .

فیلتر آنالایزرها Analyzer Filter

فیلتر آنالایزرها که بخشی از بعضی از دستگاه های آنالایزر ارتعاشی اند وظیفه دارند فقط بخشی از ارتعاشات را از خود عبور دهند که فرکانس آنها روی آن محدوده تنظیم شده است. مثلا اگر دستگاه روی یک باند کوچک فرکانسی تنظیم شود فقط فرکانس های درون این باند عبور داده می شود و فرکانس های خارج از باند حذف می گردد مثل دستگاه تنظیم موج Tuner رادیو که وقتی روی یک طول موج مشخصی تنظیم می شوند فقط صدای ایستگاهی که می خواهید آنرا گوش کنید از آن شنیده می شود و بقیه ایستگاه ها شنیده نمی شود .



محدوده پهنای فیلتر Filter Band Width توسط محدوده های بالائی و پایینی Cut Off Frequencies تعریف می شوند و براین اساس فیلترها به دودسته تقسیم می شوند:

الف - فیلترها با پهنای باند ثابت Constant Band Width

ب- فیلتر های با درصد ثابت پهنای باند Constant Frequency Band Width

فیلترها با پهنای باند ثابت Constant Band Width

در یک فیلتر با پهنای باند ثابت علی رغم این که فیلتر روی چه فرکانس تنظیم شده باشد پهنای باند بین محدوده بالائی و پایینی فرکانس Cutoff ثابت است ولی در فیلتر با درصد ثابت پهنای باند، میزان پهنای باند در صد مشخصی از فرکانس مرکز است. بطور مثال اگر فیلتر ده در صدی روی فرکانس CPM ۱۰۰۰ تنظیم شود پهنای باند آن CPM ۱۰۰ و حد پایینی فرکانس CPM ۹۵۰ و حد بالائی آن CPM ۱۰۵۰ خواهد بود.

بسیاری از آنالایزرها دارای فیلترهای با پهنای باند متفاوتند که برخی به نام Broad و برخی Narrow (باریک) یا sharp معرفی می شوند. فیلترهای Broad معمولا دارای پهنای ده در صدی هستند ولی فیلترهای Sharp دارای پهنای پنج در صد تا سه در صد هستند که نوع فیلتر را با انتخاب سوئیچ روی دستگاه می توان انتخاب کرد.

معمولا فیلترهای Broad برای بررسی سریع امواج ارتعاشی و تعیین فرکانس های موجود به کار می روند و فیلترهای Sharp برای مطالعه یک باند فرکانس ارتعاشی که در یک محدوده خاص اتفاق می افتد مثلا در بالانس جرمی که نیاز به فرکانس لازم است دستگاه های بالانس بطور اتوماتیک ارتعاشات یک برابر دور را فیلتر می کنند (اندازه گیری می کنند) یا برای عیب یابی برینگ های غلتکی و یامسائل و مشکلات چرخ دنده ها که ارتعاشات ناشی از آنها در یک رنج محدود است برای تعیین نوع خرابی شامل خرابی کس داخلی کس خارجی قفسه و..... استفاده از ارتعاشات فیلتر شده کمک بسیاری خواهد کرد.

در دستگاه هایی که دارای امکانات آنالیز FFT هستند نیازی به تنظیم کردن فیلتر نیست زیرا در این حالت فرکانس های مختلف امواج ارتعاشی از طریق تبدیل FFT محاسبه و بطور هم زمان نمایش داده می شود.

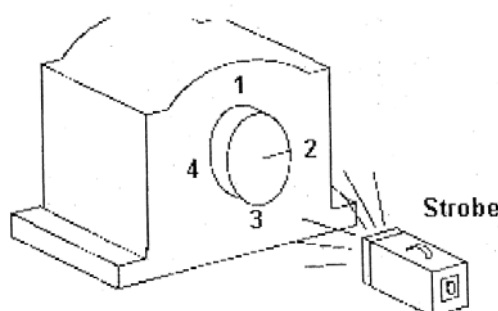
اسیلاتورهای داخلی Internal Oscillator

یکی از امکانات مهم بسیاری از آنالایزرها اسیلاتورها یا نوسان سازهای داخلی است که وظیفه آنها روشن و خاموش کردن چراغ استروب Strobe Light با فرکانس ثابتی است که توسط پیچ کنترل فرکانس اسیلاتور انتخاب می شود. البته این فرکانس (تعداد روش و خاموش شدن چراغ استروب) مستقل از سیگنال ارتعاشی است و از این امکانات برای مطالعات به خصوصی مثل حرکت آهسته ماشین Motion Slow اندازه گیری دور دستگاه ها و تنظیم Tune کردن دقیق فیلتر آنالایزر برای تهیه منحنی های اریب Orbit استفاده می شود که در بخش های بعدی به طور مفصل تری راجع به آن بحث خواهد شد.

چراغ استروب Strobe Light

بیشتر آنالایزرها دارای امکاناتی برای اتصال چراغ Strobe به آنها هستند که سرعت چشمک زدن (فلش زدن چراغ استروب) بستگی به موقعیت کلید انتخاب Selector Switch دارد که می تواند روی دو حالت تنظیم شود. در صورتی که کلید روی موقعیت اسیلاتور باشد فلاش زدن چراغ از طرف اسیلاتور داخلی آنالایزر هدایت Trigger می شود و سرعت فلاش زدن در این حالت را می توان به میزان دلخواه با فرکانس مورد نظر و بصورت دستی تنظیم کرد که از این امکانات برای مطالعه حرکت آهسته ماشین (و یا قطعات آن) Slow Motion و همچنین برای اندازه گیری دوریک ماشین و باکم و زیاد کردن سرعت

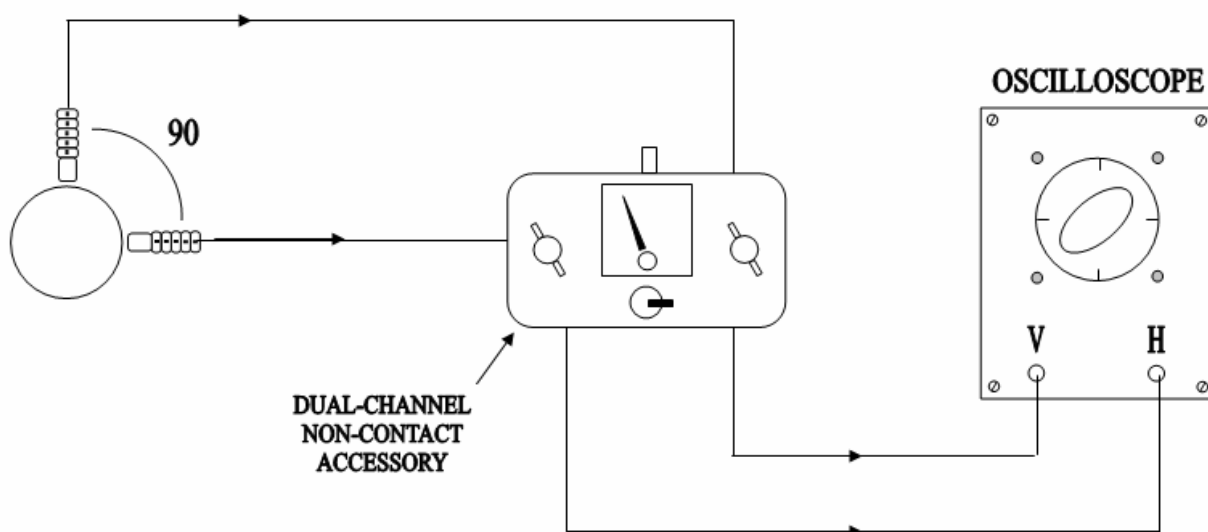
فلاش زدن بطوری که محور ثابت به نظر برسد عمل می کنند که در این موقعیت دوردستگاه با فرکانس فلاش زدن مساوی بوده و فرکانس فلاش زدن مبین دور ماشین است .
در حالت دیگر می توان چراغ استروب را روی فرکانس ارتعاشات Trigger نمود اگر کلید انتخاب روی یکی از فیلترها Sharp یا Broad باشد ارتعاشات پیک آپ استروب را Trigger کرده و چراغ استروب تحت فرکانس ارتعاشات فلاش خواهد زد که از این امکانات در عملیات بالانس جرمی استفاده می شود.



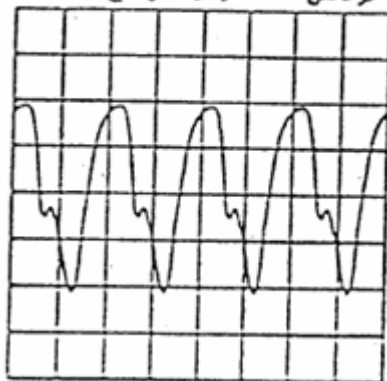
Trigger کردن چراغ استروب از طریق ارتعاشات واقعی ماشین امکان تعیین زوایای فاز نسبی ارتعاشات بین دو یا چند نقطه از ماشین را فراهم می سازد که از این امکانات در آنالیز ارتعاشات بطریقه زاویه فاز استفاده می شود. چراغ استروب علامت Refrence روی هر قطعه که با فرکانس ارتعاشات دوران نوسان می کند را ثابت Freeze خواهد کرد که مقایسه موقعیت زاویه ای علائم Refrence روی دو نقطه از ماشین امکان تعیین زاویه فاز نسبی را فراهم می کند. داشتن امکان اندازه گیری زوایای فاز کمک موثری جهت عملیات بالانس و کارهای آنالیز ارتعاشات بطریق آنالیز زاویه فاز، تعیین جهت نوسانات، تعیین محل نصب وزنه های تصحیح برای بالانس، چک کردن عکس العمل ارتعاشی به شرایط نا هم محوری و برای مطالعات Test Modal تهیه مد شپ ها (شکل ارتعاشات یا Mode Shape) انجام می دهد که در بخش های بعدی بطور مفصل تر مورد بحث و بررسی بیشتر قرار خواهد گرفت.

اسیلوسکوپ Oscilloscope

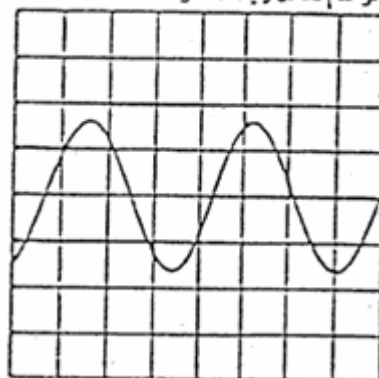
در آنالیزهای کامل، محلی برای اتصال اسیلوسکوپ در نظر گرفته شده است که از این محل اتصال، یک سیگنال Ac که دقیقا از تبدیل ارتعاشات بدست آمده به اسیلوسکوپ ارسال می شود و در نتیجه می توان موج ارتعاشی را روی اسیلوسکوپ مشاهده کرد. بسیاری از مشکلات ماشین آلات از روی موج ارتعاشی آنها قابل شناسائی است .
که در شکل زیر یک نمونه از آنها آورده شده است .



این شکل موج غالباً ناشی از لقی است که
فرکانس 2x FPM را در شکل موج ایجاد میکند.



این موج سینوسی با فرکانس 2x FPM، ناشی
از عدم شاد و یا Misalignment است.



مورد استفاده دیگر اسیلوسکوپ اندازه گیری ضربه Impact است که باعث ایجاد ارتعاشات گذرا می کند که معمولاً از آن برای تعیین فرکانس طبیعی سیستم استفاده می شود. همچنین از آن در ارزیابی اطلاعاتی که توسط پیک آپ های غیر تماسی بدست آمده است می توان کمک مهمی گرفت. برای مثال با استفاده از اسیلوسکوپ برای تشخیص خش های موجود روی شافت ها که گاهی اطلاعات ارتعاشی همراه کننده ای را به وجود می آورند بسادگی می توان وجود این خش ها و ناصافی ها را تشخیص داد .

گوشی ها Earphones

محل اتصال اسیلوسکوپ به دستگاههای آنالیز را می توان به یک گوش متصل کرد و صدای فرکانس های مختلف ارتعاشی را شنید . این دستگاه هانیز در جاهایی که ارتعاشات با سرو صدا همراه باشد بخصوص دربال برینگ ها ، چرخ دنده ها وارتعاشات ناشی از کاویتاسیون و..... کمک موثری به تشخیص عیب می نماید .

ثبات های سرعت بالا High Speed Recorder

در صورتی که دستگاه آنالایزر مجهز به این امکانات باشد می توان یک ثبات سرعت بالا را به محل اتصال اسیلو سکوپ آنالایزر متصل کرد و امواج ارتعاشی را به طور پیوسته ثبت کرد که ثبت اطلاعات از این راه بیشتر برای مطالعه ارتعاشاتی که در زمان راه اندازی یا در طول زمان توقف ماشین رخ می دهند و تغییرات سریعی دارند به کار می رود بخصوص برای تعیین دور بحرانی (Critical Speed) ماشین آلات و همچنین برای مطالعه روی الکتروموتورهای برقی برای تفکیک کردن مسائل مکانیکی از الکتریکی که معمولا در حین Off کردن الکتروموتور قابل تشخیص است مورد استفاده قرار می گیرد.

ثبات های جریان مستقیم DC Recorder

برخی از دستگاه های آنالایزر دارای امکاناتی هستند که می توان یک ثبات DC Chart Recorder را به آنها متصل نمود که ولتاژ DC دستگاه اندازه گیری ارتعاشات متناسب با دامنه ارتعاشاتی است که روی دامنه سنج قرائت می شود. به این ترتیب می توان دامنه ارتعاشات را در طول زمان طولانی ثبت نمود (البته برخی از آنالایزرها خودشان دارای ثبات DC هستند) که از این منحنی ها می توان برای تعیین دقیق زمان بروز تغییرات در دامنه ارتعاشات استفاده کرد و به سهولت می توان فهمید که افزایش ارتعاشات تدریجی بوده و یا ناگهانی اتفاق افتاده است و همچنین می توان متوجه شد که در زمانی که افزایش ارتعاشات به وجود آمده هم زمان با آن چه مسائل دیگری اتفاق افتاده است مثلا ممکن است در زمانی که افزایش ارتعاشات رخ داده است هم زمان یک ماشین رفت و برگشتی در سرویس قرار گرفته باشد که این می تواند عامل تحریک و خرابی قطعات ماشین اصلی باشد.

اصول کلی آنالیز ارتعاشات Vibration Analysis

آنالیز ارتعاشات تفسیر اطلاعات جمع آوری شده برای شناسائی قطعات معیوب دستگاه است که باعث افزایش بیش از حد مجاز ارتعاشات ماشین شده است.

برای آنالیز ارتعاشات از تکنیک های مختلفی استفاده می شود که شامل:

۱- اندازه گیری دامنه کلی ارتعاشات Amplitude

۲- اندازه گیری دامنه نسبت به فرکانس منحنی های FFT

۳- تعیین شکل موج ارتعاشات Mode Shape

۴- اندازه گیری وضعیت یا تاقان ها Bearing Condition

۵- اندازه گیری دامنه نسبت به زمان Amplitude Vs Time

۶- اندازه گیری زاویه فاز Phase Measurement

۷- مشاهدات شکل موج Time Wave Form

که این پارامترها غالبا توسط دستگاه های آنالایزر اندازه گیری می شوند که ذیلا و در بخش های آتی به قابلیت های این دستگاه ها پرداخته می شود.

روش اجرایی اندازه گیری و آنالیز ارتعاشات

- ۱- تهیه لیست ماشین آلات مهمی که باید در پریودهای مورد نیاز چک شوند .
- ۲- انتخاب نقاط و جهاتی که اندازه گیری باید انجام شود و مارک کردن آنها روی دستگاه .
- ۳- تعیین پریودهای اندازه گیری بر اساس دور و شرایط عملیاتی.
- ۴- اندازه گیری ارتعاشات در شرایط یکسان در هر زمان در حد امکان (از نظر بار و شرایط عملیاتی و ...).
- ۵- اندازه گیری ارتعاشات کلی (و در صورت نیاز اسپایک انرژی).
- ۶- ثبت نمودن اطلاعات .
- ۷- بررسی روند تغییرات و مقایسه با پریودهای قبلی اندازه گیری شده .
- ۸- شناسایی نقاطی که ارتعاشات آنها افزایش داشته و مقایسه نمودن آنها با جدول سلامتی استاندارد

پارامترهای مورد نیاز برای آنالیز ارتعاشات

چگونگی اندازه گیری پارامترهای ارتعاشات بستگی به دستگاه اندازه گیری و نوع اطلاعات مورد نیاز و هدف اصلی از اندازه گیری دارد که ذیلاً به شرح آن پرداخته می شود:

اندازه گیری میزان کلی دامنه ارتعاشات Overall Vibration Amplitude

اندازه گیری این کمیت در غالب یکی از کمیت های جابجائی سرعت و یا شتاب با استفاده از یک دستگاه لرزش سنج یا آنالیزر انجام می شود و در فرم های مخصوصی درج و سپس در یک سیستم کامپیوتری نگهداری می شود . مقادیر اندازه گیری شده با مقادیر قبلی مقایسه می شوند و در صورتی که تغییرات آن زیاد باشد اقدامات لازم جهت آنالیز و پیدا کردن عیب انجام می گردد. میزان و نحوه تغییرات حاصله مبین وضعیت کاری دستگاه و نحوه عملکرد و بهره برداری از آن است و بیشترین کاربرد و استفاده را در علت های خرابی اعم از این که خرابی بصورت تدریجی یا بصورت ناگهانی اتفاق افتاده باشد دارد .

اندازه گیری دامنه نسبت به فرکانس Amplitude Vs Frequency

برای اندازه گیری این کمیت نیاز به دستگاه های آنالیزر ارتعاشات است. که در دستگاه های الکترونیکی جدید به صورت جدول و یا گراف روی مونیتر دستگاه ها نمایش داده می شود. این منحنی ها بصورت دوبعدی هستند که محور افقی آن محور فرکانس و محور قائم آن نیز مقدار دامنه را نشان می دهد. و بیشترین کاربرد آن در آنالیز ارتعاشات است زیرا کلیه فرکانس ها همراه با دامنه ارتعاشات نظیر به نظیر پیدا می شود و به راحتی فرکانس غالب که معمولاً بیشترین دامنه ارتعاشات را دارد شناسائی می گردد. اکثر عیب های روتین با این روش قابل شناسائی است.

اندازه گیری حرکت آهسته ماشین Slow Motion Measurement

با استفاده از حرکت آهسته ماشین، حرکت محور و یا قطعاتی که روی آن قرار می گیرند قابل مشاهده و بررسی است و در صورتی که شافت حرکت های محوری یا شعاعی داشته باشد یا قطعه ای روی محور شل باشد می توان آن را مشاهده نمود (بخصوص روی تسمه ها و چرخ تسمه ها). برای انجام آن نیاز به یک

دستگاه آنالایزر همراه با چراغ استروب است که با تنظیم سرعت فلاش چراغ استروب در فرکانس کمی متفاوت با سرعت دوران ماشین، حرکات غیر عادی قطعات ماشین را می توان مشاهده کرد.

اندازه گیری دور ماشین RPM Measurment

برای اندازه گیری دور ماشین نیاز به چراغ استروب و دستگاه آنالایزر مجهز به اسیلاتور داخلی است که برای این کار اسیلاتور روی کمترین سرعت فلاش زدن تنظیم می شود و به آرامی سرعت فلاش زدن زیاد می شود تا محور ثابت به نظر برسد که در این موقعیت سرعت فلاش زدن و دور ماشین یکی خواهد شد. (البته اگر سرعت فلاش زدن روی دورهای هارمونیک (دوبرابر یا سه برابر یا.....) هم باشد محور ثابت به نظر می رسد که باید دقت لازم را انجام داد.

اندازه گیری شکل موج Wave Form Measurment

برای اندازه گیری شکل موج نیاز به یک دستگاه آنالایزر و یک اسیلو سکوپ (یا ثبات سرعت بالا) است. شکل موج ارتعاشی می تواند اطلاعاتی را که به طور آنی از روش های دیگر اندازه گیری قابل احتصال نیست را فراهم آورد.

استفاده آن برای اندازه گیری ارتعاشات گذرای سریع و یا ارتعاشاتی که به آهستگی تغییر می کنند مناسب است. که برای اندازه گیری ارتعاشات گذرا از اسیلو سکوپ و برای اندازه گیری ارتعاشات با تغییرات آهسته از ثبات ها استفاده می شود.

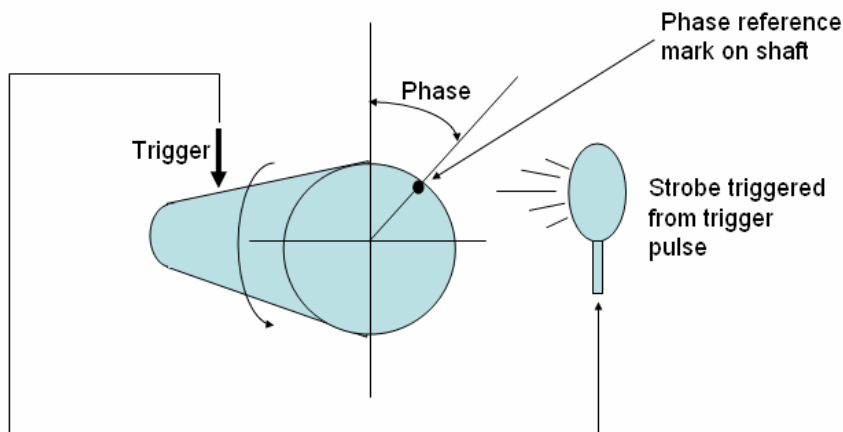
اندازه گیری فرکانس Frequency Measurment

این کمیت هم با استفاده از دستگاه آنالایزر و اسیلو سکوپ و هم از روی منحنی های FFT قابل حصول می باشد و برای کار آنالیز ارتعاشات مورد استفاده واقع می شود.

اندازه گیری زاویه فاز Phase Measurment

این کمیت با استفاده از یک دستگاه آنالایزر مجهز به فیلتر همراه با یک چراغ استروب (یا فتوسل) و در نظر گرفتن یک نقطه ثابت روی یک قسمت از محور قابل اندازه گیری است و از آن در بالانس قطعات و آنالیز زاویه فاز استفاده می شود.

اندازه گیری زاویه فاز با استفاده از Stroboscope



اندازه گیری و وضعیت یاتاقان ها Bearing Condition Measurment

برای تعیین وضعیت یا تاقان های غلطکی (بال برینگ ها و رولر برینگ ها) که معمولاً ارتعاشات با فرکانس های بالا ایجاد می کنند مورد استفاده قرار می گیرد که بسته به نوع و ساختمان دستگاه ها پارامترهائی نظیر اسپایک انرژی gse یا شوک های پالسی spm و.....اندازه گیری می شود .

استفاده از فیلترها Filter

استفاده از فیلترها در آنالیز شکل موجود، بسیار مهم و اساسی است (بخصوص در فرکانس های بالا) درچنین مواردی که موج ارتعاشی به صورت نا مرتب و نا مشخص است اطلاعات ناچیزی برای تعیین وضعیت مکانیکی ماشین در اختیار نفرات تحلیل گر قرار می دهد ولی با استفاده از فیلترها می توان ابتدا موج را به اجزاء ساده تری تجزیه کرد و سپس آنها را مورد مطالعه و تجزیه و تحلیل قرار داد .

درجائی که فیلتر کردن سیگنال میسر نباشد از روش دیگری برای تحلیل کار آنالیز می توان استفاده کرد که این روش انتخاب پارامتر مناسب برای اندازه گیری دامنه ارتعاشات است یعنی جابجائی سرعت و یا شتاب. برای مثال در جاهایی که سیگنال ارتعاشات هم دارای مولفه های فرکانس پایین و هم مولفه های فرکانس بالا است شکل موج و سرعت ارتعاشات ممکن است بسیار پیچیده و گیج کننده باشد.

علاوه بر فیلتر کردن موج ارتعاشی آنالیز کردن موج در زمان های نمونه برداری مختلف زمان کوتاه (Short Term و زمان طولانی Long Term) نیز غالباً مفید خواهد بود در آنالیز Long Term نمایش موج بازمان ممکن است زمانی بین ۵ تا ۱۰ ثانیه را در بر گیرد که از آن برای بررسی Beat های فرکانس پایین و مطالعه سیستم های مکانیکی در زمانی که از فرکانس های تشدید می گذرند استفاده نمود. آنالیز زمانی Short Term به طور نوعی زمانی بین ۵۰ تا ۱۰۰ میلی ثانیه را پوشش می دهد.

برای آنالیز ارتعاشات نیاز به مهارت زیادی است. تشخیص دامنه فرکانس زاویه فاز و..... الزامی است و نیاز به جمع آوری اطلاعات لازم از ارتعاشات ماشین ساختمان ماشین و انواع قطعات به کار رفته در آن و مطالعه دقیق آنها دارد که یک کار کاملاً تخصصی است.

لازم به توضیح است که غیر ممکن است که بتوان جداولی تهیه کرد که کلیه شرایط عملیاتی و مجموعه ای از کلیه علل و اثرات را در بر داشته باشد و به صورت چشم بسته مورد استفاده قرار گیرد این نفر متخصص آنالیز ارتعاشات است که باید توانائی شناخت و مهارت لازم را برای تشخیص عوامل ارتعاشات و اثرات آنها به دست آورد.

در بیشتر اوقات برای عیب های روتین با در دسترس بودن حتی یکی از تکنیک های فوق امکان تشخیص عیوب وجود دارد ولی برای موارد پیچیده تر و مواردی که عیوب متعددی روی یک دستگاه وجود دارد (بخصوص معایبی که در یک فرکانس مشترک ایجاد می شوند) امکان تشخیص عیوب خیلی مشکل ترمی شود و لازم است از چندین تکنیک برای آنالیز ارتعاشات استفاده شود .

راجع به بعضی از تکنیک های فوق در بخش های قبلی اشاره شده است ولی در قسمت های آتی نیز بعضی از آنها به طور مفصل تری مورد بحث و بررسی قرار می گیرند .

طبقه بندی ماشین آلات

به طور کلی اکثر ماشین آلات صنعتی را می توان در یکی از دسته بندی های زیر طبقه بندی نمود.

ماشین های محرك

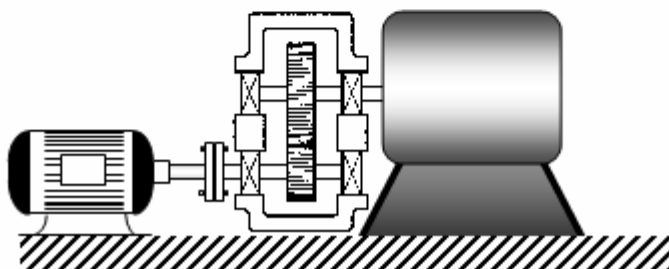
- Electric Motors
- Engines
 - Diesel
 - Gas
- Turbines
 - Steam
 - Gas
 - Water
 - Hydraulic
 - Wind

ماشین های میانی

- Couplings
 - Flexible
 - Fixed
 - Cardan
- Gears
 - Helical
 - Straight
 - Planetary
- Belts

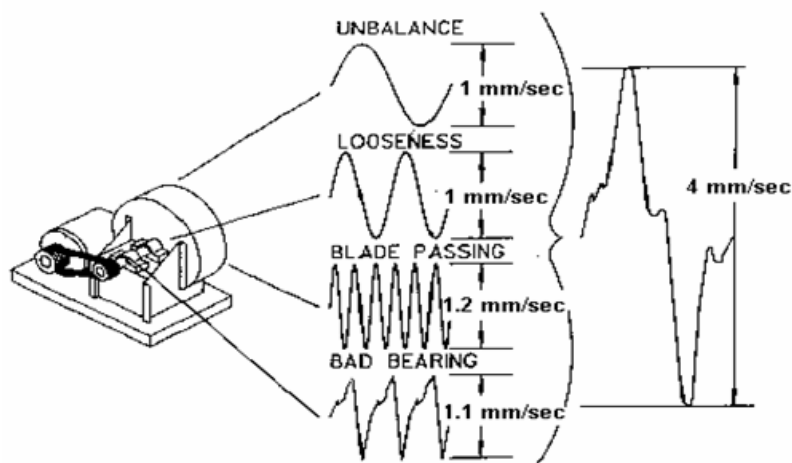
ماشین های محرك

- Pumps
- Compressors
- Generators
- Material Transportation
 - Paper Machines
 - Transport Rollers
- Other
 - Steel Roller
 - Ship Propellers
 - Vehicles
 - etc.



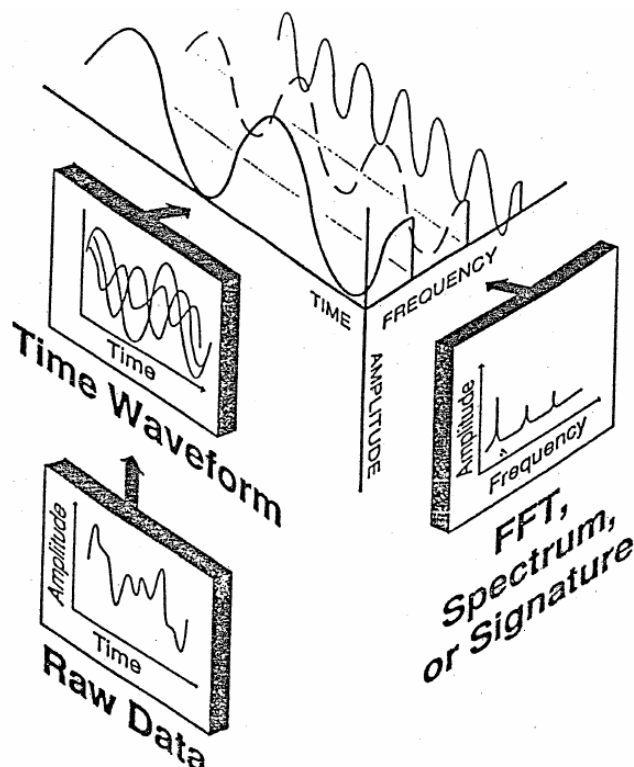
آنالیز ارتعاشات بر اساس منحنی های FFT

به دلیل ماهیت قطعات به کار رفته در قسمت های مختلف ماشین آلات ارتعاشات آنها در فرکانس های متعددی اتفاق می افتد که این امواج ارتعاشی پیچیده شامل فرکانس های هارمونیک (مضرب صحیحی از فرکانس پایه یا دور ماشین) و دیگر فرکانس های Random است که گاهی به دلیل پرکنده گی این امواج امکان تفسیر آنها خیلی مشکل می شود.

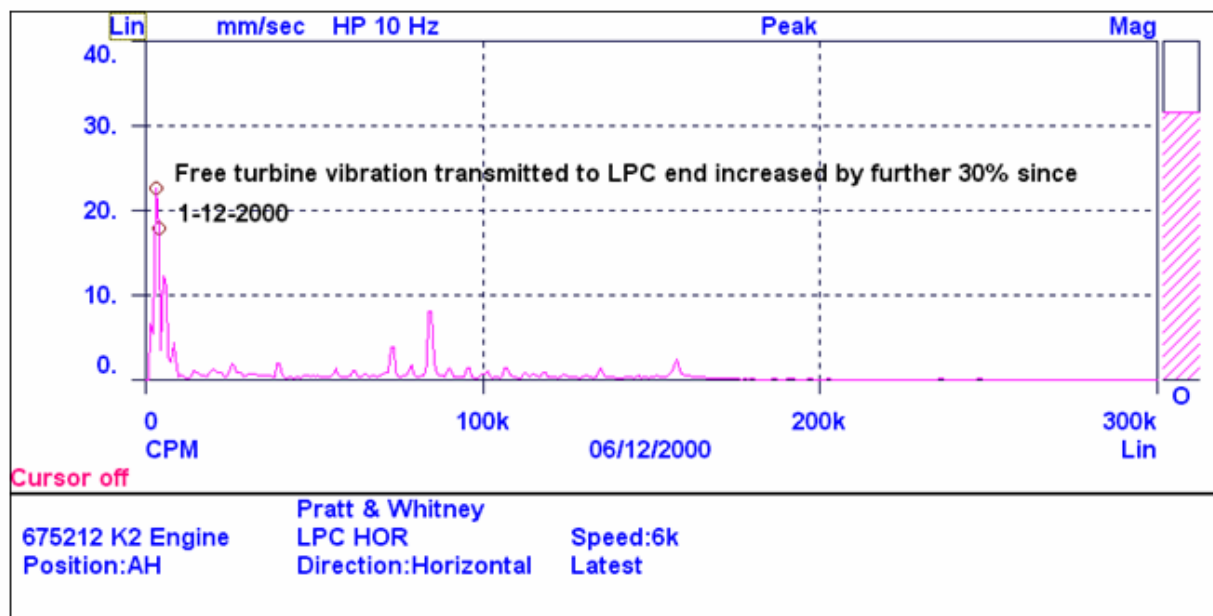


در سال ۱۸۲۲ برای نخستین بار فوریه ریاضی دان فرانسوی تبدیل فوریه سریع FFT را بنیان گذاری کرد Fast Fourier Transformation و نشان داد که هر موج متناوب ارتعاشی را می توان به یک سری ارتعاشات هارمونیک بادامنه وفازمستقل تجزیه کرد. که براین اساس از سال ۱۹۶۵ الگوریتم ها و روش های

تبدیل کامپیوتری که در آنالایزر های FFT استفاده می شوند گسترش یافت و امروزه اساس کار همه دستگاه های آنالایزر پیشرفته را تشکیل می دهد .

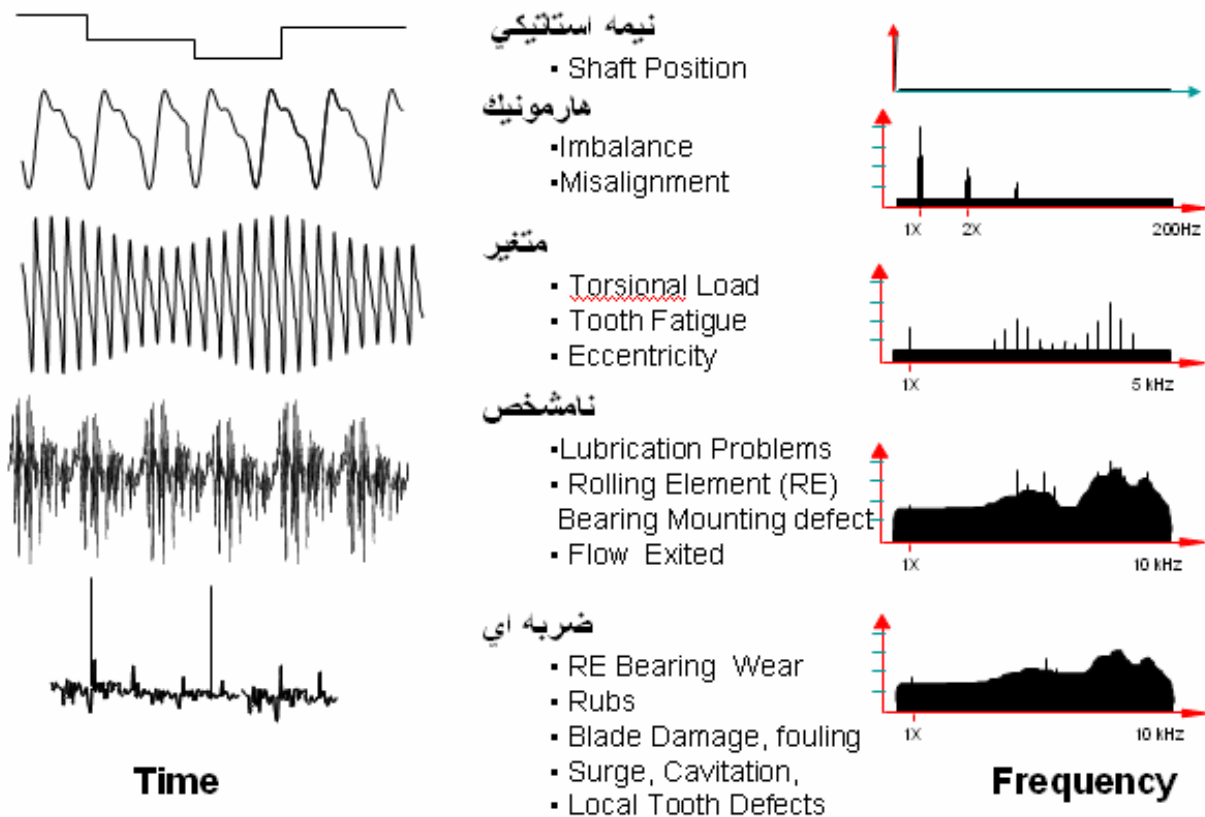


در شکل زیر یک نمونه از منحنی های فرکانسی یا اسپکتروم آورده شده است.



در تبدیل FFT بخش کوچکی از موج زمانی انتخاب می شود و طیف فرکانسی آن با استفاده از الگوریتم FFT محاسبه می شود که البته در طول این فرآیند فرض می شود سیگنال پیوسته و متناوب است یعنی در طول زمان مرتباً تکرار می شود .

رفتار ارتعاشی ماشین آلات با عیوب مختلف



حداکثر مولفه های ارتعاشی که می توانند در ارتعاش موج های مرکب جدا شوند معیار مهمی از میزان شفافیت آنالیز FFT است. این شفافیت مستقیماً متناسب با تعداد خطوطی است که در ارتعاشات مرکب می تواند تجزیه شود بنابراین از تعداد خطوط به عنوان قدرت تفکیک پذیری نیز نام برده می شود. در تجهیزات آنالیز پیشرفته FFT امکان انتخاب مقادیر مختلفی از تفکیک پذیری (تعداد خطوط) وجود دارد. به طور نمونه ۴۰۰، ۸۰۰، ۱۶۰۰ و ۳۲۰۰ خط. فاصله خطوط در طیف فرکانس به تعداد خطوط انتخاب شده در محدوده فرکانسی بستگی دارد.

$$\Delta F = \text{محدود فرکانس} = \text{فاصله خطوط فرکانس}$$

اگر مولفه های ارتعاشی در یک ارتعاش مرکب طوری به هم نزدیک باشند که فاصله فرکانسی آنها از فاصله فرکانسی خطوط طیف کمتر باشد این اجزا از هم مجزا نمی شوند و همگی روی یک خط ظاهر می شوند چنانچه مجبور باشیم این مولفه های نزدیک به هم را از هم جدا کنیم یا باید تعداد خطوط را افزایش دهیم یا محدوده فرکانس را کاهش دهیم یا هر دو کار را باید انجام داد.

نخستین خط در طیف فرکانس که با فاصله خطوط ΔF محاسبه شده بطور همزمان پایین ترین حد فرکانسی که محدوده فرکانس می تواند تجزیه گردد رانشان می دهد. اساساً باید توجه داشته که مقدار تفکیک پذیری بالابه معنای زمان طولانی آنالیز است و زمان اندازه گیری (زمان دریافت سیگنال) با فاصله خطوط ΔF رابطه معکوس دارد و برای اطمینان از طولانی نشدن بیش از حد زمان لازم برای آنالیز باید

رابطه ای بین محدوده فرکانسی و قدرت تفکیک پذیری برقرار باشد. و همواره باید اصل همان قدر دقت کن که مورد نیاز است را به خاطر سپرد .

اصول کار تکنیک فوق که بیشترین کاربرد را در آنالیز ارتعاشات دارد براساس تعیین فرکانس ارتعاشات در بیشترین دامنه ارتعاشات (فرکانس غالب) است که پس از شناسائی فرکانس های غالبی که بیشترین دامنه را دارند (و مشکل ارتعاشات به آنها برمی گردد) و براساس نوع ساختار ماشین و قطعات و دور آن امکان تشخیص عیب فراهم خواهد شد برای راهنمایی بیشتر می توان از جداول کمکی که برای این روش تهیه شده است استفاده نمود ولی برای ماشین آلات فرسوده که مدت زمان زیادی از تعمیرات اساسی آنها گذشته است و قسمت های مختلف دستگاه کم و بیش دچار آسیب شده اند و ارتعاشات آنها در فرکانس های متعددی با دامنه متوسط و زیاد وجود دارد تشخیص عیب خیلی مشکل تر است و نیاز به مطالعه و بررسی های همه جانبه بیشتری دارد.

چند نکته مهم در آنالیز ارتعاشات و پیدا کردن عیب

۱- داشتن دید و شناخت کافی نسبت به کلیه المان های ماشین اعم از نوع برینگ ، (لغزشی غلطکی) تعداد مراحل ، دور دستگاه ، وضعیت پروانه (تعداد تیغه ها) ، وضعیت ولوت ، تعداد دندانه های چرخ دنده ها ، وضعیت آب بند ، نوع کوپلینگ و.....

۲- موجود بودن Data Base های اولیه ارتعاشات دستگاه و مدنظر قرار دادن آنها .

۳- استفاده از تکنیک مناسب و بکار گیری دستگاه مناسب .



۴- نظارت و بازرسی بر کارهای تعمیراتی که روی دستگاه انجام شده و اطمینان از صحت انجام آنها .

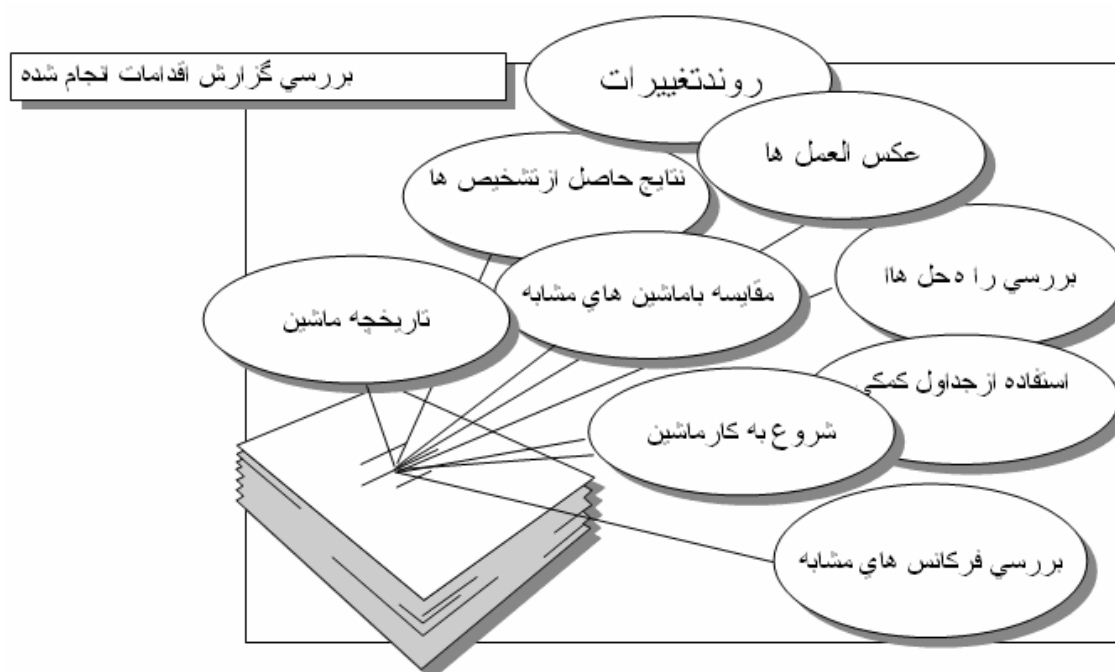
۵- جمع آوری اطلاعات عملیاتی از نظر تغییر شرایط عملیاتی ، تغییر درجه حرارت کاری ، تغییر فشار ، تغییر فلو .

۶- جمع آوری اطلاعات از طریق مشاهدات سمعی بصری و.....

۷- مراجعه به سوابق تعمیراتی دستگاه قطعات تعویضی ، نوع روغن ، زمان تعویض روغن و اقدامات قبلی .

۸- جمع آوری اطلاعات از ماشین های مشابه و مقایسه آنها باهم .

- ۹- در اولویت قرار دادن اقدامات اصلاحی که با صرف هزینه کمتری انجام می شود. (مثلا چک کردن وضعیت Alignment که بیشترین عامل ارتعاشات دستگاه هاست و با صرف کمترین هزینه قابل تصحیح است .
- ۱۰- در نظر گرفتن روند تغییرات Trend ارتعاشات.
- ۱۱- بررسی وضعیت ماشین آلات بصورت جدا از هم (دیسکاپل کردن ولرزه نگاری جدا از هم) در مواقعی که لرزش هر دو دستگاهی که با هم کاپل می شوند بالا باشد .
- ۱۲- اندازه گیری ارتعاشات زمینه در حالتی که دستگاه از سرویس خارج است.
- ۱۳- لرزه نگاری از تک تک نقاط (هوزینگ برینگ ها) در کلیه جهات و بررسی وضعیت ارتعاشی کلیه نقاط بطور هم زمان بر اساس فرکانس های غالب ارتعاشی.
- ۱۴- بررسی (لرزه نگاری) اطراف دستگاه از فوندانسیون تاسیستم لوله کشی و نگهدارنده ها و ساپورت ها .
- ۱۵- بررسی مقدار لرزش فرکانس های مختلف و پیدا کردن رابطه فرکانس ارتعاشات با دور ماشین
- ۱۶- شناسائی فرکانس های لرزش بالا
- برخی از مستندات که در امر آنالیز ارتعاشات بسیار مهم است در شکل زیر نشان داده شده است.



عیوب متداول ماشین آلات و شناسائی آنها از طریق منحنی های FFT

همانگونه که نیز اشاره شد کلیه مسائل و مشکلات موجود روی دستگاه ها و ماشین آلات باعث ایجاد ارتعاش روی فرکانس های مخصوص به خود می شوند که در این بخش این موارد همراه با فرکانس های مربوطه مورد بحث قرار می گیرند.

ارتعاشات ناشی از نابالانسی Unbalance

یکی از متداول ترین و شایع ترین علل ارتعاشات ماشین آلات ناشی از نابالانسی است که انواع متداولی دارد و ذیل به شرح آن پرداخته می شود:

الف- نابالانسی جرمی

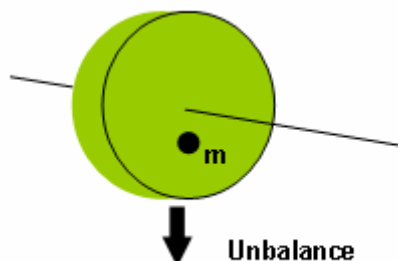
ب- نابالانسی هیدرولیکی و آیرودینامیکی

ج- نابالانسی الکتریکی

الف- نابالانسی جرمی (وزنی)

نابالانسی جرمی

متداول ترین نوع نابالانسی نابالانسی جرمی است که معمولا به دلیل عدم توزیع یکنواخت جرم در اطراف محور دستگاه ها و ماشین آلات به وجود می آید و تفاوت آن با دیگر نابالانسی ها این است که با کم یا زیاد کردن جرم روی رتور قابل اصلاح است .



دلایل نابالانسی جرمی

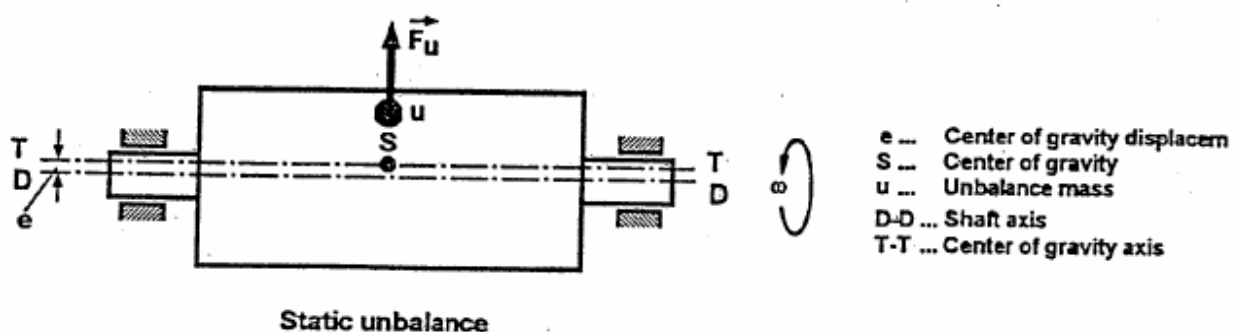
- ۱- اشکالاتی که در ریخته گری به وجود می آید مثل پوک بودن و کرم بودن و..... .
- ۲- خارج از مرکز رتور یا به عبارت دیگر بر هم منطبق نبودن مرکز هندسی قطعه ای که روی محور نصب می شود با مرکز دوران محور که غالبا در حین تراشکاری قطعات به وجود می آید.
- ۳- تغییر شکل دادن رتور Distortion در حین کار به دلیل تغییر تنش گرمایی و فشاری که معمولا به دلیل شرایط حین کار به وجود می آید .
- ۴- نامتناسب بودن تولرانس های نصب قطعات روی یکدیگر که باعث Off Center شدن قطعات روی محور می شود (لقی قطعات روی محور) .
- ۵- مسائل خوردگی و سایشی در حین کار .
- ۶- تشکیل رسوبات Scale غیر یکنواخت یا کنده شدن رسوباتی که به مرور زمان تشکیل شده است .

انواع نابالانسی جرمی

بر اساس توزیع جرم روی رتور نابالانسی های جرمی برای یک رتور صلب در سه دسته طبقه بندی می شوند:

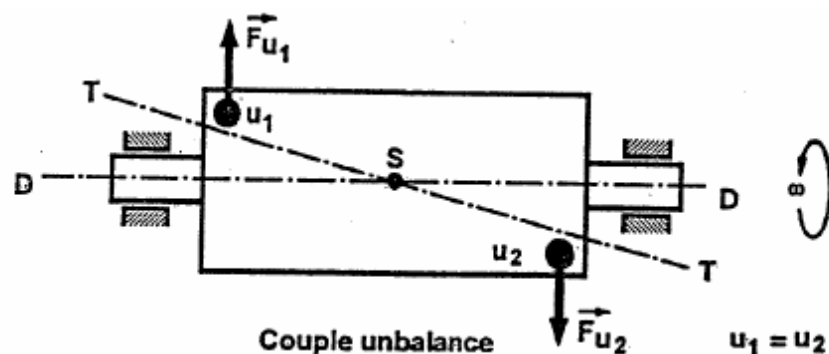
نابالانسی استاتیکی Static Unbalance

اگر قسمت سنگین طوری قرار گرفته شده باشد که باعث جابجائی موازی محورهای مرکز جرم نسبت به مرکز دوران شود به آن نابالانسی استاتیکی گفته می شود. این نوع نابالانسی معمولاً با اضافه نمودن جرم در یک صفحه قابل تصحیح است. در این نوع نابالانسی زاویه فاز یا تاقان های دو طرف (در یک جهت) با هم یکی هستند (ارتعاشات هم فازند).



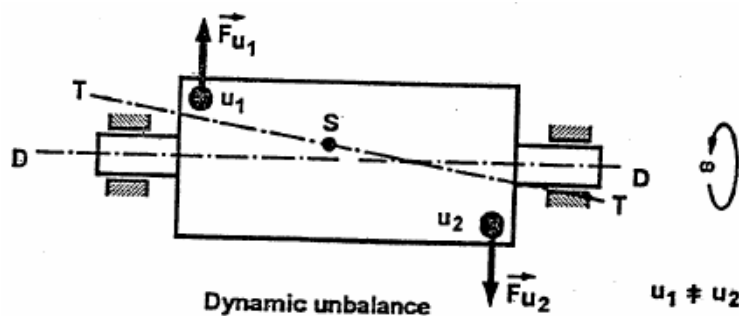
نابالانسی کوپله Couple Unbalance

در این نوع نابالانسی نقاط سنگین طوری پراکنده شده اند که در دو صفحه کاملاً مخالف اما در شعاع های یکسان قرار دارند که در این حالت محور مرکز جرم رتور نسبت به محور دوران ناموازی بوده و آن را در مرکز رتور قطع می کند. این نوع نابالانسی با اضافه کردن جرم در دو صفحه جداگانه قابل تصحیح است. در این نوع نابالانسی زاویه فاز یا تاقان های دو طرف (در یک جهت) با هم به اندازه ۱۸۰ درجه اختلاف زاویه فاز دارند.



نابالانسی دینامیکی Dynamic Unbalance

این یک حالت عمومی است که به دلیل مشکلات ناشی از ساخت روی تمامی رتورها بصورت ترکیبی ازدو نوع نابالانسی قبلی وجود دارد که در این حالت هم مرکز جرم نسبت به محور دوران ناموازی است و هم این محور از مرکز جرم رتور عبور نمی کند و زاویه دو طرف یا تاقان ها نیز رابطه مستقیمی با هم ندارند.



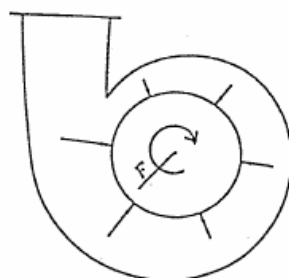
رفتار ارتعاشی یک دستگاه نابالانس

- ۱- فرکانس ارتعاشات ایجاد شده روی یک برابر دور ماشین اتفاق می افتد .
 - ۲- دامنه ارتعاشات متناسب بامیزان نابالانسی است یعنی هر چه مقدار نابالانسی بیشتر باشد دامنه ارتعاشات تیز افزایش پیدا می کند.
 - ۳- میزان ارتعاشات درجهت های شعاعی (بخصوص درجهت افقی) بیشتر از جهت محوری است .
 - ۴- زاویه فاز روی یک یاتاقان نسبت به زمان تغییر نمی کند .
 - ۵- با ۹۰ درجه جابجا (چرخش) شدن پیک آپ (روی یک یاتاقان زاویه فاز هم ۹۰ درجه در همان جهت تغییر می کند .
 - ۶- با تغییر جرم روی رتور امکان کاهش لرزش وجود دارد .
- در رتورهای معلق Over Hung ممکن است ارتعاشات درجهت محوری و شعاعی وجود داشته باشد که زاویه فاز ارتعاشات درجهت محوری ممکن است ثابت باشد ولی درجهت شعاعی تغییر می کند و نابالانسی آنها از نوع ترکیب استاتیکی و کوپله است که با تغییر جرم قابل اصلاح است .
- البته به این نکته نیز باید توجه نمود که ارتعاشات در فرکانس یک برابر دور تنها به دلیل نابالانسی جرمی نیست و مسائلی از قبیل خرابی برینگ های بوشی (ژورنال) نام هم محوری Misalignment خارج از مرکزی یا Eccentric خمیدگی محور Bend Shaft نیز ارتعاشاتی روی یک برابر دور ایجاد می کنند که برای تشخیص و تمیز دادن آنها از یکدیگر باید از روش های دیگر آنالیز ارتعاشات مثل آنالیز زاویه فاز که بعدا راجع به آن بحث خواهد شد استفاده کرد .
- (لازم به توضیح است که رفتار ارتعاشی Eccentric و نابالانسی مشابه هم می باشند)

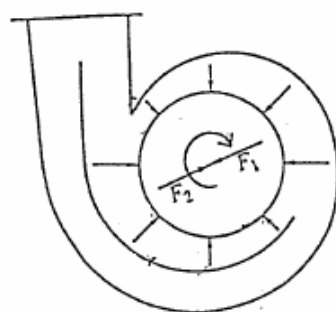
ارتعاشات ناشی از نابالانسی های هیدرولیکی و آیرودینامیکی

این نوع نابالانسی معمولا در پمپ ها و کمپرسورهای گریز از مرکز و به دلیل نامتعادل بودن فشار اطراف پروانه و به دلیل شکل خاص ولوت اتفاق می افتد که هرچه به نازل خروجی نزدیک تر می شود سطح مقطع جریان افزایش پیدا می کند و باعث کاهش سرعت و افزایش فشار می گردد (برای تبدیل انرژی جنبشی به انرژی فشاری) جاهائی که سطح مقطع جریان کاهش پیدا می کند باعث افزایش سرعت و کاهش فشار و در جاهائی که سطح مقطع جریان افزایش پیدا می کند باعث کاهش سرعت و افزایش فشار می شود که به دلیل متغیر بودن سرعت سیال در داخل ولوت فشار در قسمت های مختلف اطراف پروانه متعادل نبوده و این باعث می شود که همواره قسمت هائی از آن دارای فشار بالاتر و قسمت های دیگر آن دارای

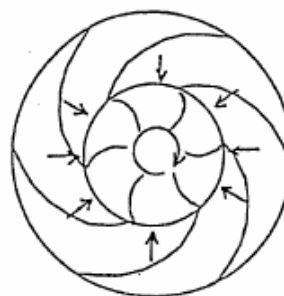
فشار کمتر می باشد که این اختلاف فشار در نقاط روبروی هم پروانه ایجاد نیرو می کند ($F = P \times A$) که در هر بار چرخش می تواند روی هر نقطه از پروانه اعمال و باعث ارتعاشات آن شود.



در عمل برای رفع این مشکل از پمپ های با ولوت های Double Volute و برای پمپ های فشار بالا (مثل پمپ های آتش نشانی) از دیفیوزرهای تبدیل انرژی جنبشی به انرژی فشاری استفاده می شود که باعث می شود نقاطی که روی یک قطر واقع شده اند فشارهایشان باهم مساوی شوند و نیروهای هیدرولیکی روی پروانه بالانس شوند. این مشکل علاوه بر نابالانسی باعث ایجاد توربولانس می کند که ارتعاشات Random با فرکانس های پایین (حدود ۵۰ تا ۲۰۰۰ CPM) را بوجود می آورد.



DOUBLE VOLUTE



DIFFUSER

ارتعاشات ناشی از نابالانسی های الکتریکی

این نوع نابالانسی در موتورهای الکتریکی شایع است که ناشی از عدم تعادل نیروهای مغناطیسی اعمال شده روی رتور (از طریق استاتور) است. و علاوه بر مشکلات الکتریکی مسائل مکانیکی ناشی از عدم یکنواختی فاصله Gap بین رتور و استاتور در اطراف رتور نیز بوجود می آید که دلایل آن ناشی از چال بندی (قرار گیری) نامناسب رتور در داخل استاتور، خرابی یا تاقان ها و لقی پایه Soft Foot است که به دلیل عدم قرار گیری تمامی سطح پایه های موتور روی نشیمن گاه آن روی Base Plate بوجود می آید و در هنگام سفت کردن پیچ پایه ها باعث افزایش تنش و تغییر شکل بدنه الکتروموتور و نهایتاً بهم خوردن فاصله بین رتور و استاتور می شود که می تواند باعث افزایش ارتعاشات و اغلب اوقات سروصدای موتور شود.

فرکانس این نوع ارتعاشات بستگی به ساختمان الکتروموتور دارد که در بعضی از الکتروموتورها روی یک برابر دور و در بعضی دیگر روی دو برابر دور نمایان می شود. که در بخش های بعدی بطور مفصل تری راجع به آن بحث خواهد شد.

ارتعاشات ناشی از ناهم محوری Misalignment

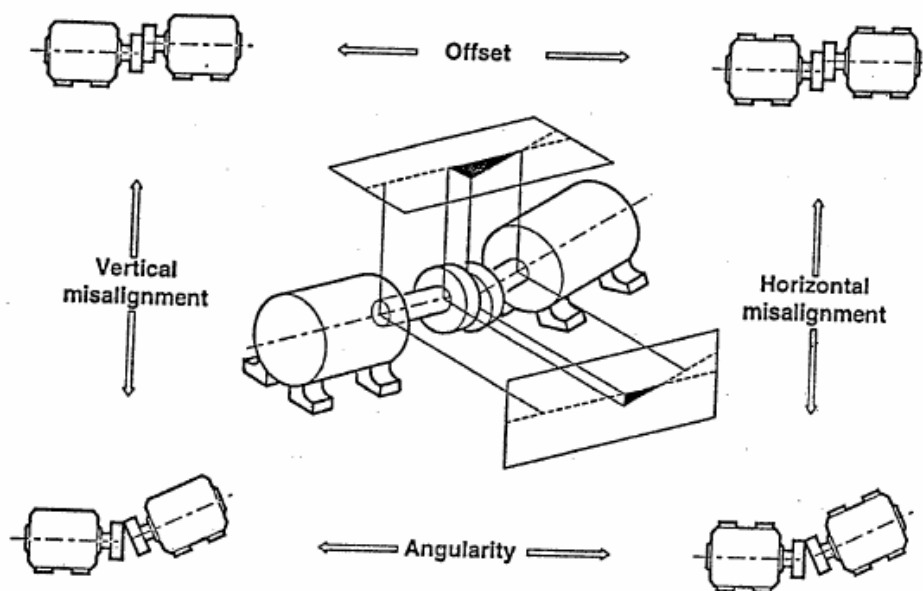
این مشکل یکی از رایج ترین مسائل و مشکلات دستگاه ها و ماشین آلات است که متأسفانه در هنگام نصب دستگاه ها معمولاً کمتر به آن توجه می شود و اکثر سعی و تلاش ها غالباً در جهت خرید دستگاه ها و ماشین آلات گران قیمت مصروف می شود و به مسائل نصب بخصوص هم محور کردن که با هزینه بسیار ناچیزی قابل انجام است کمتر توجه می شود. ارتعاشات یک ماشین فرسوده که شرایط هم محوری آن مناسب است به مراتب بهتر از ماشین نوئی است که در وضع هم محوری مناسب قرار ندارد. منظور از هم محور بودن دودستگاه در امتداد قرار داشتن محورهای تقارن دودستگاهی است که با هم کوپله می شوند.

انواع ناهم محوری شامل موارد زیر است:

۱- ناهم محوری Parallel Misalignment که در این حالت دو محور با هم موازی اند ولی محورهای تقارن آنها با هم فاصله دارند که به این فاصله Offset گفته می شود.

۲- ناهم محوری زاویه ای Angular Misalignment که در این حالت محورهای با هم زاویه می سازند که به آن Angularity گفته می شود.

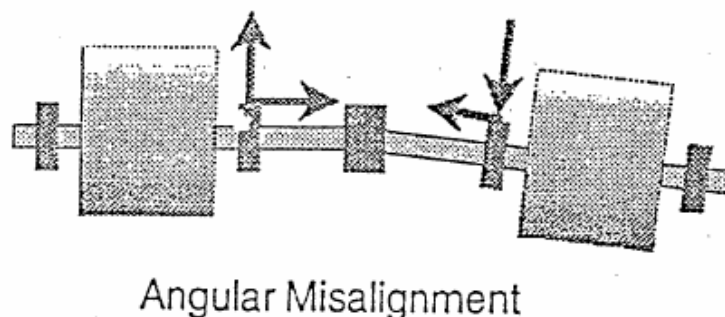
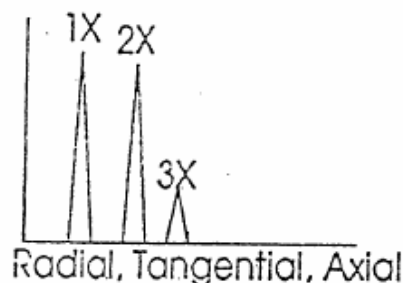
۳- ناهم محوری کلی که این حالت ترکیبی از هر دو ناهم محوری است که بیشترین حالت ممکن است. البته لازم به توضیح است که محورهای تقارن باید در فضا با هم در یک امتداد قرار داشته باشند که لازم آن این است که در دو صفحه عمود بر هم افق و قائم در یک امتداد باشند. در شکل های زیر کلیه حالت های ناهم محوری در یک صفحه نشان داده شده است:



حالت های مختلف ناهم محوری

دستگاه هایی که در حالت Misalignment با هم کوپله می شوند به دلیل روبروی هم قرار نداشتن محورهای تقارن Angular Misalignment مثل یک شافت خمیده (کج) عمل می کنند که توزیع جرم حول آن به صورت یکنواخت نیست و باعث نابالانسی می شوند و رفتار ارتعاشی آنها شبیه نابالانسی روی یک

برابر دور اتفاق می افتد و حتی اگر با کوپلینگ های با Flexibility بالا هم کاپل شوند به دلیل وجود نیروهای شعاعی و محوری باز ارتعاشات اجتناب ناپذیر است .



همچنین به دلیل ناهم محوری، کوپلینگ ها با هم زاویه می سازند و در یک موقعیت ثابت فاصله در قسمت بالای کوپلینگ ها کم (در صفحه افق یا قائم) و در قسمت پایین فاصله زیاد است و با نیم دور چرخش دستگاه عکس این حالت اتفاق می افتد یعنی نقاطی که در قبل فاصله آنها از هم کم بود فاصله شان زیاد می شود و که این حالت برای هر دور چرخش محور دوبار اتفاق می افتد. کم شدن فاصله بین کوپلینگ ها باعث نزدیک شدن محورها به هم می شود (حرکت محوری محورها به طرف همدیگر) و زیاد شدن فاصله بین کوپلینگ ها باعث دور شدن محورها از هم می شود که این تغییر فاصله در هر دور باعث دوبار حرکت کردن محور در جهت محوری (ارتعاش) می شود که با توجه به بحث های فوق فرکانس این ارتعاشات دو برابر دور ماشین خواهد بود (چون در هر با چرخش محور این حرکت دوبار انجام می شود) و هرچه میزان Angularity بیشتر باشد میزان ارتعاشات محوری افزایش پیدا می کند و هرچه میزان انحراف Offset افزایش پیدا کند ارتعاشات شعاعی افزایش پیدا می کند و بطور کلی در جهات افقی و عمودی باعث ارتعاشات زیاد می شود.

لازم به توضیح است که برای شافت های سنگین که از کوپلینگ های با Flexibility زیاد استفاده شده باشد به دلیل سنگین بودن محورها، حرکت (ارتعاشات) محوری کم می شود و کم شدن حرکت محوری که در هر دور دوبار اتفاق می افتد باعث کم شدن ارتعاشات در دور برابر دور می شود (به بیان دیگر فرکانس دور برابر دور ارتعاشات کمتر می شود) ولی برای ماشین آلای که محوره های سبکی دارند و امکان حرکت محوری آنها بیشتر است لرزش در فرکانس های یک برابر و دور برابر دور اتفاق می افتد. و بسته به نوع ناهم محوری و این که ناهم محوری زاویه ای باشد یا موازی و در صفحه افق باشد یا در صفحه قائم لرزش در جهات مختلف می تواند کمتر یا بیشتر شود .

نکته: برای دستگاه هایی که لقی های داخلی آنها خیلی کم است هم محوری می تواند بسیار حیاتی باشد

انواع ناهم محوری در ماشین آلات

ناهم محوری در ماشین آلات شامل چندین نوع است که تشخیص نوع آن در عیب یابی کمک موثری خواهد کرد:

۱- ناهم محوری بین دودستگاه (کوپلینگ ها) که با استفاده از ساعت های اندازه گیر و روش های متداول قابل تصحیح است.

۲- ناهم محوری هوزینگ برینگ ها نسبت به همدیگر که ناشی از مسائل نصب یا ساخت (خطاهای تراشکاری) آنهاست که باعث افزایش ارتعاشات فقط روی یکی از هوزینگ برینگ های دستگاه می شود و تصحیح آن به مراتب مشکل تر از حالت قبلی است زیرا ممکن است خود هوزینگ برینگ یا محل نصب آن روی ماشین مشکل داشته باشد.

۳- ناهم محوری Spacer نسبت به کوپلینگ ها به دلیل لق بودن آنها که موجب Offcenter قرار گرفتن Spacer می شود که گاهی نیاز است پس از انجام هم محوری توسط ساعت های اندازه گیر Spacer در مرکز کوپلینگ ها تنظیم شود.

۴- ناهم محوری قطعاتی که روی محور نصب می شوند مثل پروانه ها یا Sleeve Ball Bearing که بال برینگ ها روی آنها قرار می گیرند و مجموعه روی محور نصب می شود که معمولاً باعث ایجاد لرزش و بوجود آوردن ارتعاشات روی دو برابر دور می شوند.

رفتار ارتعاشی ناشی از Misalignment ماشین آلات روی منحنی های FFT

۱- ناهم محوری ها غالباً ارتعاشات با فرکانس یک برابر دور $1 \times R.P.M$ ایجاد می شود ولی در مواردی هم در فرکانس های دو و سه برابر دور و به ندرت فرکانس های بالاتر وجود دارد.

۲- دامنه ارتعاشات متناسب با میزان ناهم محوری است یعنی هر چه ناهم محوری بیشتر باشد ارتعاشات بیشتر خواهد بود.

۳- دامنه ارتعاشات در جهات محوری و شعاعی بالا است .

۴- زاویه فاز تغییر می کند (پایدار نیست) .

۵- ارتعاشات هر دودستگاه (گردنده و گرداننده) بیشتر از حد مجاز است .

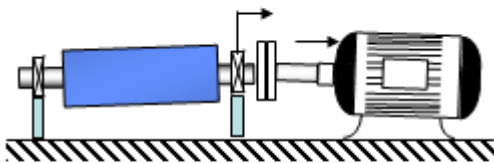
با توجه به اینکه رفتار ارتعاشی Misalignment و نا بالانسی مشابه هم هستند استفاده از تکنیک های دیگر آنالیز ارتعاشات مثل آنالیز زاویه فاز کمک موثری به تفکیک آنها از همدیگر می کند.

رفتار ارتعاشی ناشی از ناهم محوری زاویه ای Angular Misalignment

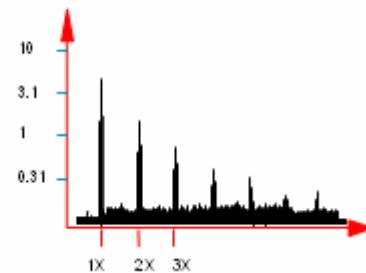
در این نوع ناهم محوری ارتعاشات در جهت محوری بالاست زاویه فاز در برینگ های دو طرف کاپلینگ (طرف داخلی الکتروموتور و طرف داخلی پمپ) با هم 180° درجه اختلاف دارند و ارتعاشات آنها روی یک و دو برابر دور و گاهی روی سه برابر دور اتفاق می افتد .

در شکل زیر موضوع فوق نشان داده شده است.

ناهم محوري زاويه اي



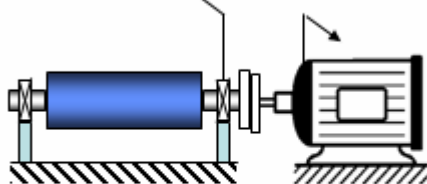
Axial Vibration approx. 0° phase shifted
1X, 2X or 3X highest



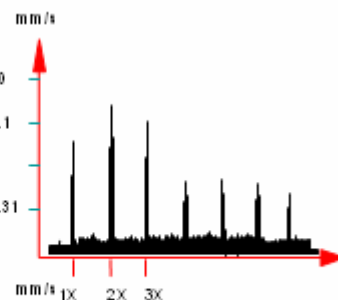
رفتار ارتعاشی ناشی از ناهم محوری موازی Parallel Misalignment

ارتعاشات ناشی از این نوع ناهم محوری هم مثل ناهم محوری زاویه ای است و باعث افزایش ارتعاشات شعاعی می شود که زاویه فاز در دو طرف کوپلینگ با هم 180° درجه اختلاف دارند و ارتعاشات در فرکانس دو برابر دور از ارتعاشات یک برابر دور بالاتر است و بستگی به نوع کوپلینگ و ساختمان آن دارد. وقتی ناهم محوری زاویه ای و موازی افزایش پیدا می کنند باعث می شود ارتعاشات در فرکانس های هارمونیک بالاتر (سه برابر چهار برابر و) نیز ظاهر شود که باز هم بستگی به نوع کوپلینگ دارد.

ناهم محوري موازي



Radial Vibration approx. 180° phase shifted
2X often highest peak

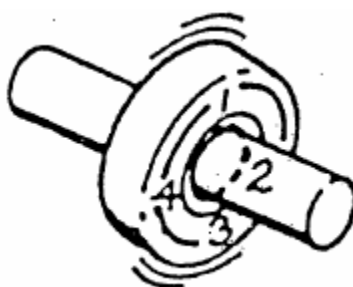
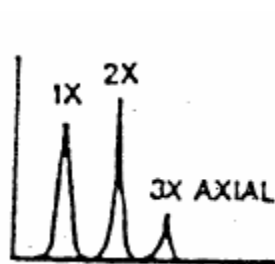


البته در بیشتر اوقات ناهم محوری ترکیبی از دو حالت فوق دارد و نکته حائز اهمیت این است که غالباً در جاهایی که ناهم محوری وجود دارد میزان ارتعاشات هر دو دستگاه Driven, Driver بالایی رود و باعث افزایش ارتعاشات هر دو دستگاه می شود که معمولاً در این گونه موارد با جدا کردن کوپلینگ ها (Discouple کردن) و راه اندازی و لرزه نگاری سیستم Driver (الکترو موتور یا توربین بخاری یا گازی) بطور مجزا و بررسی وضعیت ارتعاشی آن به تنهایی کمک موثری برای پیدا کردن عیب می کند که در صورتی که ناهم محوری وجود داشته باشد باید لرزش نسبت به حالت قبل کاهش پیدا کرده باشد. با بررسی فرکانس های ارتعاشات در حالت جدا و کوپله خیلی راحت ترمی توان کار آنالیز را انجام داد.

رفتار ارتعاشی ناشی از ناهم محوری بال برینگ ها روی محور Misaligned Bearing

قطعاتی هم که روی محور نصب می شوند مثل بال برینگ ها کوپلینگ ها و بخصوص هوزینگ برینگ ها و نیز باید با محور اصلی هم محور باشند در غیر این صورت حتی با هم محور بودن کوپلینگ ها باز هم نشانه های ارتعاشات ناهم محوری وجود دارد که البته در چنین مواردی ارتعاشاتی که ایجاد می شود ممکن است فقط روی یک طرف ماشین به وجود آید و لرزش طرف دیگر ماشین کم باشد. که از شایع ترین نوع این ناهم محوری ناهم محوری بال برینگ ها روی شافت است که معمولاً به دلیل رعایت نکردن توالرانس

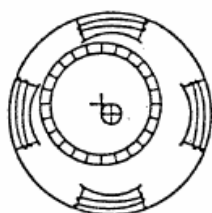
های نصب خمیدگی محور و تراشکاری نادرست محور و سیلیو و یابیش از اندازه سفت کردن پیچی که برای لاک کردن سیلیو روی محور استفاده شده و یا استفاده کردن از پیچ نامناسب (استفاده از L-Screw) بجای Cup-Screw برای محکم کردن سیلیو روی شافت) وجود می آید و باعث حرکت پیچشی Twisting با اختلاف زاویه فاز ۱۸۰ درجه ای در بالا و پایین یاتاقان (یا کناره ها) و همچنین افزایش ارتعاشات در جهت محوری همان برینگ و غالباً در فرکانس های دو برابر دور می شود که با هم محوری کوپلینگ ها یا بالانس کردن مشکل حل نخواهد شد و باید یاتاقان باز و مجدداً به روش صحیح نصب گردد.



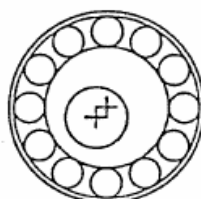
PHASE	
1	2:00
2	5:00
3	8:00
4	11:00

رفتار ارتعاشی ناشی از خارج از مرکزی Eccentricity

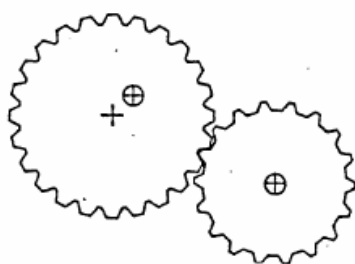
خارج از مرکزی وقتی بوجود می آید که محور دور آن و محور هندسی رتور روی یک خط قرار نداشته باشند و معمولاً روی چرخ تسمه ها، چرخ زنجیرها، ارمیچر الکتر و موتورها، چرخ دنده ها و..... مشاهده می شود. عملاً باعث نابالانسی می شود زیرا باعث می شود وزن بیشتری در یک طرف مرکز دوران نسبت به طرف دیگر قرار می گیرد. و باعث ایجاد ارتعاشات در فرکانس برابر دور جز خارج از مرکز در جهت خط مرکزی محورها می شود و زاویه فاز در جهت های افقی و عمودی بین صفر تا ۱۸۰ درجه با هم اختلاف دارند. به استثنای موارد خاصی از خارج از مرکزی که بالانس کردن باعث کاهش ارتعاشات می شود در موارد دیگر بالانس کردن یک سیستم خارج از مرکز غالباً باعث کاهش ارتعاشات در یک جهت و افزایش ارتعاشات در جهت دیگر می شود.



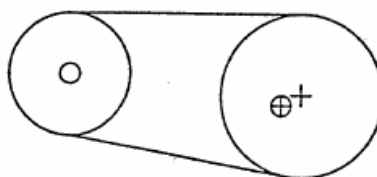
Eccentric Motor Armature



Eccentric Bearing

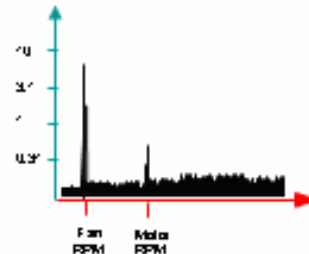
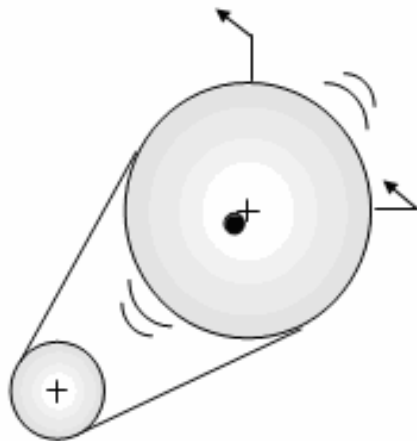


Eccentric Gear



Eccentric Pulley

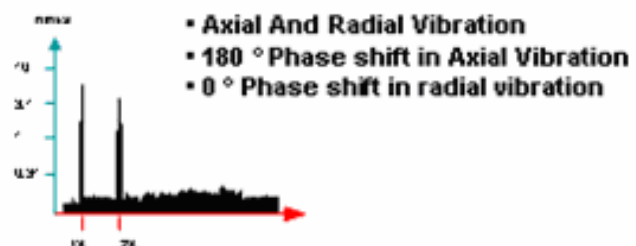
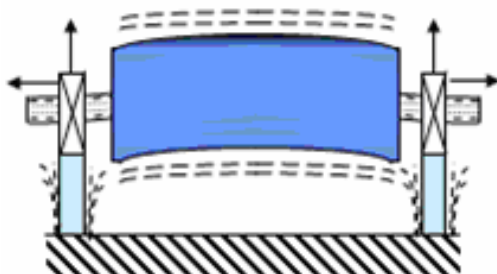
البته خارج از مرکزی محور یا قطعاتی هم که روی محور نصب می شوند باعث ایجاد ارتعاشات می شود که ارتعاشات ناشی از آن غالباً روی دوبرابر دور ماشین افتد که قبل از اجاع به آن با بحث شده است .



- Center of rotation different from geometrical center
- Vertical an horizontal phase either equal or 180° different

ارتعاشات ناشی از خمیدگی محور **Bent Shaft**

مسائل ناشی از خمیدگی محور معمولاً باعث افزایش ارتعاشات در فرکانس برابر دور در وسط محور و گاهی دوبرابر دور در نزدیکی کوپلینگ و ارتعاشات در جهت محوری همراه با اختلاف فاز 180° درجه ای روی قطعات همان دستگاه (در یک جهت) می شود .



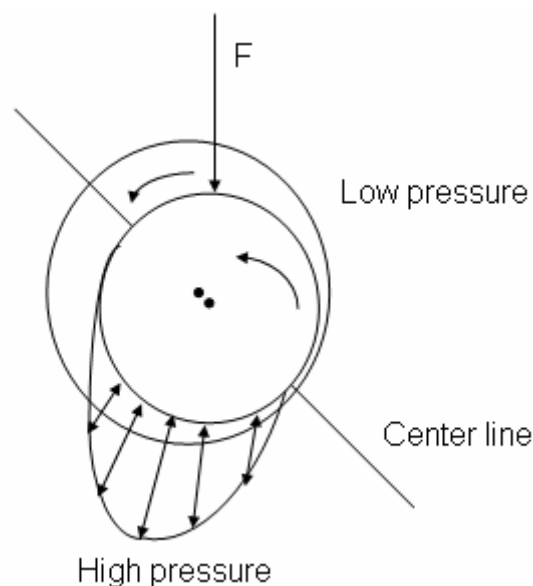
- Axial And Radial Vibration
- 180° Phase shift in Axial Vibration
- 0° Phase shift in radial vibration

ارتعاشات ناشی از بیرینگ های بوشی **Sleeve Bearing**

ارتعاشات زیاد در بیرینگ های نوع ژورنال Sleeve معمولاً به دلایل زیر اتفاق می افتد:

- ۱- کمی Clearance بیش از حد بین محور و یاتاقان .
- ۲- آزاد بودن بیرینگ (قطر خارجی) در داخل هوزینگ بیرینگ Back Press .
- ۳- نارسائی های سیستم روغنکاری و روغن .

ارتعاشات ناشی از زیاد بودن Clearance که در اثر سایش یا عدم روانکاری بوجود می آید و با وجود نابالانسی یا ناهم محوری تشدید می شود و علت اصلی ارتعاشات تنه به دلیل بالا بودن کلرنس نیست بلکه مسائل جنبی (ناهم محوری و نابالانسی) نیز باعث تشدید آن می شوند. و معمولاً در هارمونیک های برابر دور (حتی تاده برابر دور) نمایان می شوند که گاهی با تصحیح مسائل جنبی امکان کاهش ارتعاشات وجود دارد.



یکی دیگر از مسائلی که باعث لرزش و ارتعاش در این نوع یاتاقان ها می شود هم محور نبودن یاتاقان با محور ماشین است به این صورت که اگر این مجموعه هم محور نباشد فاصله بین محور و یاتاقان در نقاط مختلف بطور مساوی تقسیم نمی شود و تماس یاتاقان و محور کامل نمی شود. که برای چک کردن این وضعیت حتما باید با زدن رنگ Blue Bearing روی محور و حرکت دادن آن از تماس کامل شافت و یاتاقان اطمینان حاصل نمود که این مسائل یاناشی از مسائل نصب است یا تراشکاری یا تاقان هائی که روی آنها کار تعمیراتی انجام شده است و ارتعاشات حاصل از آن مثل حالت Rubbing است که در بخش های بعدی راجع به آن بحث خواهد شد.

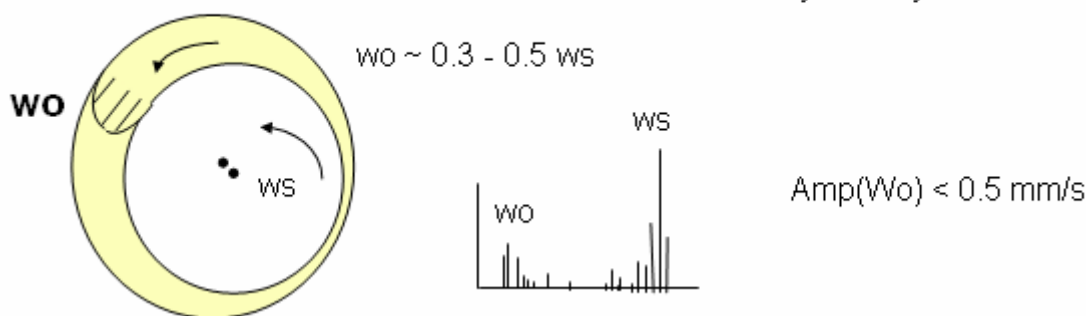


یکی دیگر از مسائلی که باعث ایجاد لرزش در این نوع یاتاقان ها می شود کمتر بودن قطر خارجی یا تاقان نسبت به قطر داخلی هوزینگ برینگ که باعث آزاد شدن یاتاقان در محل قرار گیری اش در داخل هوزینگ برینگ می شود. اگر یاتاقان در داخل هوزینگ لق باشد Mechanical Looseness در حین چرخش محور باعث حرکت آن می شود که معمولا مثل لقی های مکانیکی فرکانس ارتعاشات آن روی یک برابر و دو برابر دور ماشین اتفاق می افتد. همچنین اگر برینگ در داخل یاتاقان خیلی محکم Fit باشد باعث کم شدن کلرنس آن در هنگام نصب کاور می شود که باعث عدم روغنکاری مناسب و گرم کردن یا تاقان می شود. اصطلاحا به تولرانس برینگ در داخل هوزینگ برینگ Back Press گفته می شود که حداکثر باید یک تا دو هزارم اینچ باشد و با استفاده از سیم های سربی Lead Wire که روی پوسته بیرونی برینگ و زیر کاوران قرار می گیرد

اندازه گیری می شود که پس از سفت کردن پیچ های کاور ضخامت لهیدگی سیم سربی اندازه گیری می شود که باید در محدوده مجاز باشد.

یکی دیگر از اشکالات ارتعاشی این نوع یاتاقان ها نارسائی روغن و سیستم روغن رسانی و روغنکاری است که در صورت استفاده از روغن نامناسب و یا کمبود روغن باعث افزایش اصطکاک و ایجاد ارتعاشات می شود که به این پدیده Dry whip نیز گفته می شود که باعث ارتعاشات در فرکانس های بالا می شود مثل ارتعاشات برینگ های غلطکی و همراه آن صدائی شبیه جیغ زدن Squealing به وجود می آید.

Oil : Non synchrony vibration



مسائلی که باعث اختلال فیلم روغن روانکاری می شود:

- قطع جریان روغن
- کثیف بودن روغن
- آلودگی روغن
- سرعت بیش از حد محور
- بیش از حد کم بودن بار شعاعی روی محور.
- ناهم محوری
- تاثیرات هیدرودینامیکی ناشی از سیستم آب بندی
- نوسانات ناشی از تغییر فشار روغن زیر برینگ

لازم به توضیح است موارد فوق باعث ایجاد ارتعاشات زیر یک برابر دور می نمایند.



لازم به توضیح است که ارتعاشات Dry whip به دلیل نامناسب بودن کلرنس برینگ ها چه کم و چه زیاد هم می تواند اتفاق بیافتد.

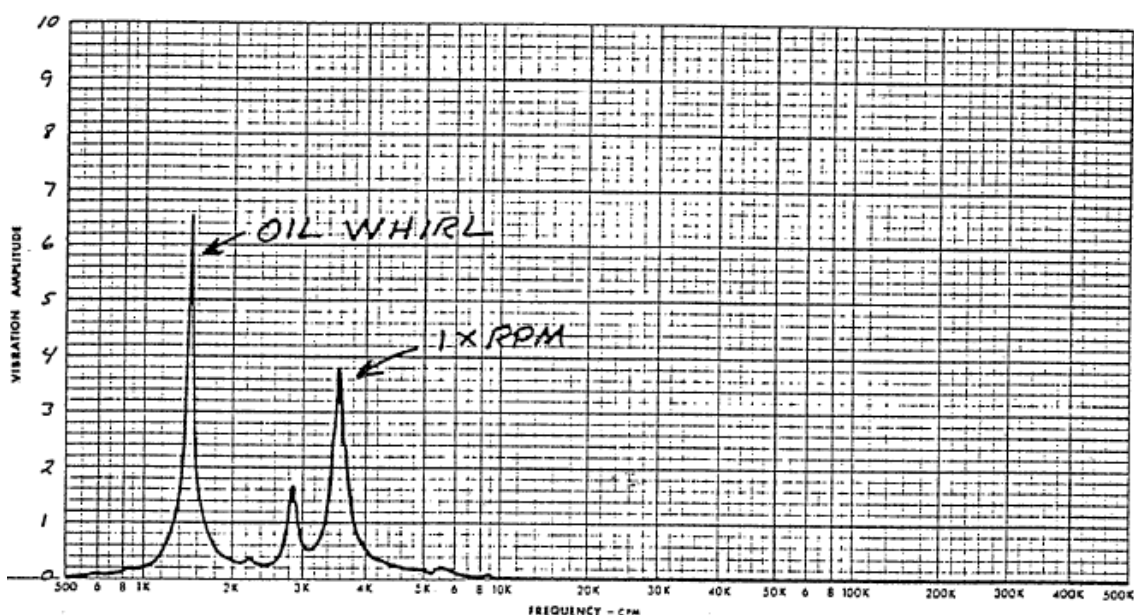


مسائل ناشی از روغنکاری

- مناسب نبودن فیلم روغن.
- پایین بودن اصطکاک دینامیکی فیلم روغن
- بالابودن ظرفیت تحمل بار فیلم روغن
- پایین بودن خاصیت اتکائی فیلم روغن
- نامناسب بودن نوع روغن

ارتعاشات ناشی از چرخش روغن Oil Whirl

اگر سرعت چرخش محور در داخل ژورنال برینگ ها از مقدار مشخص بالاتر رود به دلیل اصطکاکی که بین روغن و یا تاقان وجود دارد، روغنی که در اطراف برینگ برای روغنکاری و..... تزریق شده است نیز شروع به چرخش می کند و باعث اعمال نیروهایی روی محور می گردد (که اصطلاحاً به آن شلاق زدن گفته می شود) و در ماشین آلات بادوره های بالا گاهی ارتعاشاتی را باعث می گردد که می تواند خیلی خطرناک باشد معمولاً فرکانس این نوع ارتعاشات زیر دورکاری ماشین ۴۸-۴۶٪ است که براحتی قابل تشخیص است.



راه های اصلاح این مشکل شامل: تغییر درجه حرارت روغن, تغییر نوع روغن, تغییر کلرنس یا تاقان, تغییر دادن فشار روغن و تغییر نوع یاتاقان است. معمولا برای رفع این مشکل روی توربین ها و کمپرسورهای گریزازمرکز با دور بالا از برینگ های نوع Titling Pad که داخل آنها دارای شیارهای محوری (برای ایجاد مقاومت درمقابل چرخش روغن) به فاصله مساوی از یکدیگر تعبیه شده است و یا برینگ های نوع Lobe که حالت Titling کفشک های آن باعث می شود که کفشک حرکت ثابت را دنبال کند و در نتیجه Damping سیستم و پایداری کلی افزایش پیدا کند.

در شکل های زیر سه نوع برینگ که احتمال چرخش روغن را کاهش می دهند نشان داده شده است.



چرخش روغن گاهی باعث لرزش و ارتعاشات می شود ولی در صورتی که نیروهای ارتعاشی خارجی که فرکانس آنها در محدوده فرکانس چرخش روغن است مثل انتقال ارتعاشات از ماشین های مجاور یا ارتعاشات ناشی از قسمت های دیگر خود ماشین نیز وجود داشته باشد باعث تشدید بیشتر آن می شود که در این صورت باید مطالعات ارتعاشی از کل تاسیسات نظیر فونداسیون, سیستم لوله کشی و عوامل خارجی به عمل آید (در صورت مشکوک بودن) تا بهتر بتوان راجع به آن تصمیم گیری کرد.

ارتعاشات ناشی از نیروهای هیدرولیکی و آیرودینامیکی

این نوع ارتعاشات معمولا در پمپ ها و کمپرسورهای گریزازمرکزی اتفاق می افتد که ناشی از اعمال نیروهای هیدرولیکی و آیرودینامیکی سیالات روی پروانه ها است که به عنوان نیروهای داخلی باعث تحریک و ارتعاش محوری می شوند. و شامل:

۱- عکس العمل نیروی سیال روی پروانه

۲- کاویتاسیون

۳- جریان های توربولانسی و چرخشی

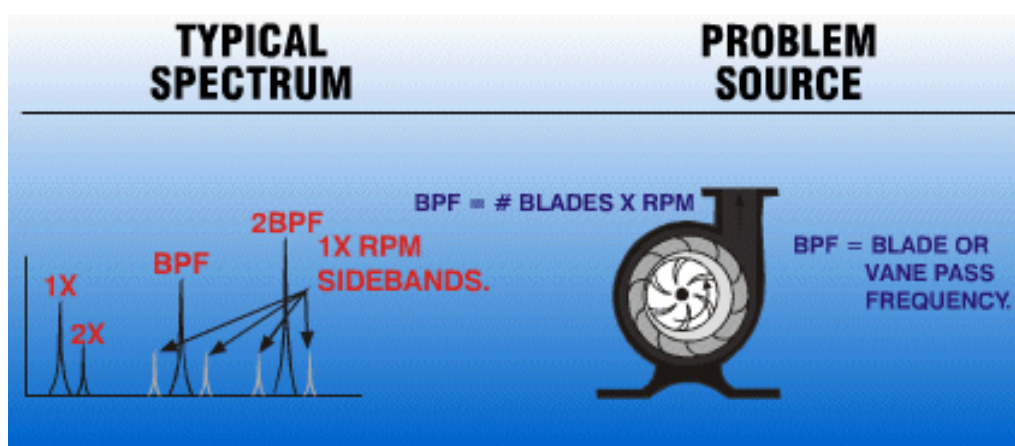
که ذیلا به شرح آنها و رفتار ارتعاشی آنها پرداخته می شود..

ارتعاشات ناشی از پروانه ها Vane & Blade Pass Frequency

یکی از مواردی که در رابطه با پمپ ها و کمپرسورهای گریزازمرکز حائز اهمیت است نیروهای عکس العمل سیال روی پروانه Impeller است. تیغه های Vane روی پروانه قرار گرفته اند و با استفاده از نیروی گریزازمرکز به سیال نیرو وارد می کنند و باعث بیرون راندن مایع از پروانه به طرف محفظه داخلی پمپ Casing می شوند که عکس العمل این نیروها, نیرویی (ضربه) روی پروانه اعمال می کند. (مثل بیرون آمدن گلوله از توپ یا تفنگ که با لگد همراه است) که بسته به تعداد Vane های روی پروانه در هر دور

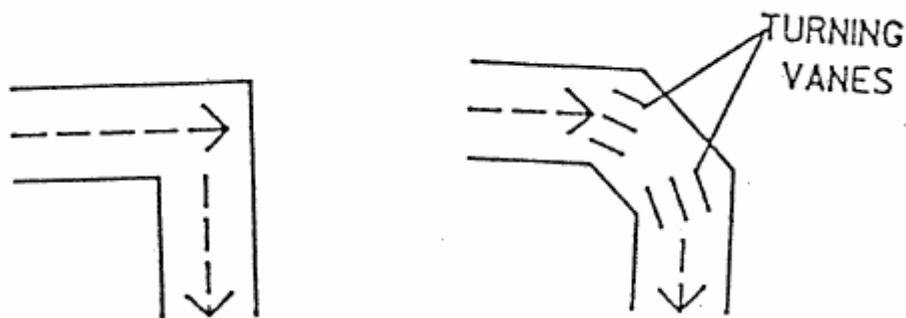
دستگاه به اندازه تعداد تیغه هائی که روی پروانه نصب شده به آن ضربه می زند و باعث ایجاد ارتعاشات می کند که فرکانس آن برابر: $\text{تعداد Vane} * \text{RPM} =$ است که به این فرکانس Vane Pass Frequency گفته می شود به عبارت دیگر اگر پروانه دارای پنج Vane باشد و دور محور 3000RPM باشد ارتعاشاتی با فرکانس 15000CPM ایجاد خواهد شد.

این نوع ارتعاش برای پمپ ها (بخصوص) و کمپرسور های گریز از مرکز یک ارتعاشات ذاتی است و در صورتی که باعث تحریک فرکانس های طبیعی نشوند در اکثر مواقع مشکل خاصی ایجاد نمی کند ولی در صورتی که دامنه ارتعاشات بیشتر از حد مجاز باشد باید اقدامات لازم را روی آن انجام داد که بیشترین مشکل مربوط به ساختمان ولوت است که اگر نقطه ای که سیال از آن خارج می شود (از طرف ولوت به طرف نازل خروجی).



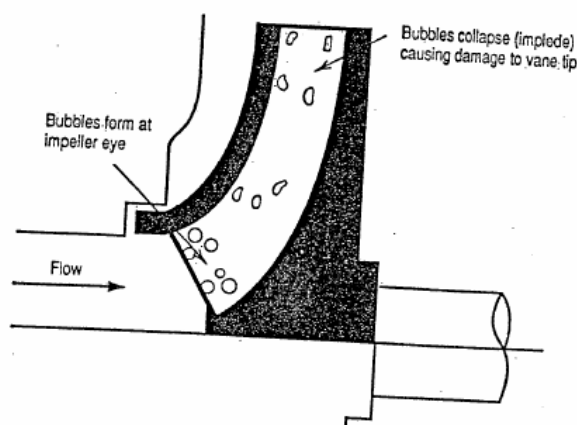
اگر تیغه تعبیه شده در داخل ولوت (در ناحیه ای که مایع از داخل ولوت خارج می شود) از لحاظ آیرودینامیکی شکل مناسبی نداشته باشد (باید به شکل گرده ماهی باشد) و یا این که فاصله آن تا پروانه در حد مناسب و مطلوبی نباشد باعث ایجاد توربولانس در این ناحیه و افزایش ضربات و نیروها و تشدید ارتعاشات می گردد. غالباً مسائل خوردگی یا پتیم نبودن فاصله لبه پروانه از بدنه داخلی پمپ و به خصوص در حالتی که شرایط فلوی پمپ نیز در یک وضعیت بحرانی قرار گرفته باشد باعث تشدید و افزایش ارتعاشات خواهد نمود. اگر فاصله پروانه از بدنه از حد پتیم بیشتر شود باعث هرزروی مایع Recirculation و کاهش فلوی پمپ می شود و در صورتی که این فاصله از حد پتیم کمتر شود باعث افزایش ظرفیت پمپ و افزایش ضربات و ارتعاشات خواهد شد البته وقتی پمپ تعمیر شود و کورنس های Wearing Ring ها کاهش پیدا کند باعث زیاد شدن لرزش روی این فرکانس خواهد شد.

این نوع ارتعاشات همچنین در پیچ و خم های تند سیستم های لوله کشی (که باعث ایجاد توربولانس می شود) و در صورتی که هوزینگ برینگ ها با مرکز ولوت هم محور نباشند (از لحاظ شعاعی) می تواند اتفاق بیفتد. و همچنین در صورتی که Blade ها روی پروانه لق شوند یا دیفیوزرها شکسته شوند و یا در صورتی که Wearing Ring روی هم جوش بخورند این حالت می تواند اتفاق بیفتد.

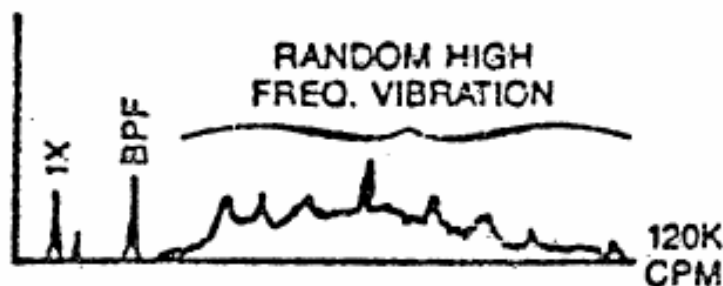


ارتعاشات ناشی از کاویتاسیون Cavitation

کاویتاسیون در اثر تشکیل حباب هادر قسمت ورودی پمپ و ترکیدن آنها در قسمت فشار بالای پمپ های گریز از مرکز بوجود می آید که باعث افزایش لرزش سر و صدا و کاهش بازدهی و خوردگی های نوع Pitting در قسمت بدنه پمپ و پروانه آن می شود..



ارتعاشات ناشی از آن معمولا در یک باندهای فرکانسی بالا بصورت Random اتفاق می افتد و در اغلب اوقات همراه با فرکانس های پروانه ها Blade Pass Frequency و هارمونیک های آن همراه است .



مسائلی که باعث کاویتاسیون می شوند شامل:

۱- افت فشار بیش از حد در قسمت ورودی پمپ به دلیل گرفتگی صافی پمپ و ولوها و ... که باعث تبخیر مایع در این ناحیه می شود و شرایط را برای تبخیر و تشکیل حباب زیاد می کند

۲- کارکردن پمپ در شرایط غیر طراحی (فلوی بیش از حد) به دلیل بالا رفتن دور پمپ و افزایش بیش از حد قطر پروانه که باعث افزایش فلوی زیاد شدن سرعت مایع در قسمت ورودی پمپ و نهایتاً کاهش فشار آن می شود.

۳- بالا رفتن دمای مایع پمپ که باعث بالا رفتن فشار بخار مایع می شود (زودتر تبخیر شدن مایع در ورودی پمپ) و شرایط را برای کاویتاسیون بوجود می آورد.

۴- زیاد شدن ارتفاع مکش پمپ.

۵- تغییر مایع پمپ شونده به دلیل تغییرات شرایط عملیاتی (پمپاژ مایعات سبک تر).

ارتعاشات ناشی از جریان های چرخشی Recirculation

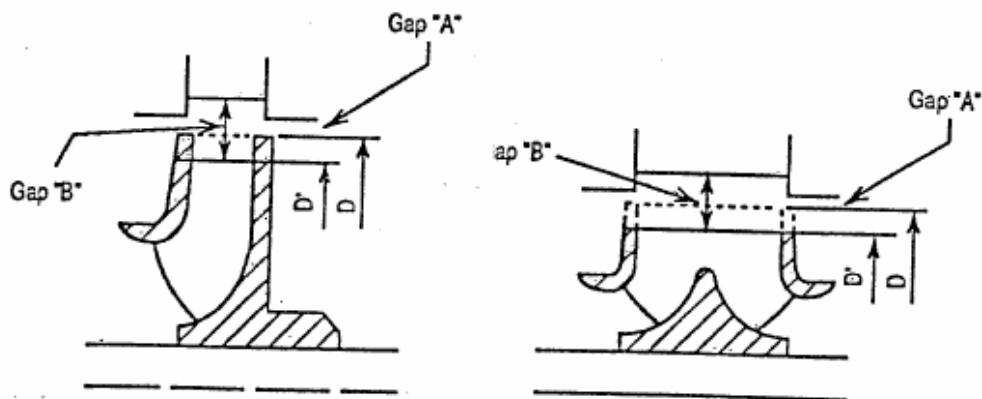
جریان های چرخشی مایع در داخل پمپ ها باعث ایجاد توربولانس و اعمال نیروهای اضافی روی محور می شود که نتیجه آن بوجود آمدن ارتعاشات بیش از حد مجاز است. جریان های چرخشی معمولاً در سه ناحیه می تواند اتفاق بیفتد:

الف- جریان های چرخشی قبل از وارد شدن مایع داخل پروانه و یا در چشمه ورودی پمپ که معمولاً با نصب Division (جوش دادن یک تیغه) در جهت محوری در نازل ورودی پمپ ها قابل کنترل است. (لازم به توضیح است چرخش مایع در داخل لوله و نازل ورودی پمپ ناشی از حرکت دورانی پروانه است که در اثر نیروی گریز از مرکز اعمال شده روی پروانه علاوه بر ایجاد توربولانس که باعث کاهش کرائی پمپ می گردد باعث جدا شدن حباب های گاز حل شده در مایع و نهایتاً دو فاز شدن مایع و ورود حباب ها در درشده گاز به داخل پروانه و پمپ می شود که می تواند منجر به کاهش کرائی پمپ گردد).

ب- جریان های چرخشی روی لبه تیغه ها Vane Tips که با ایجاد فرم و شکل آیرودینامیکی روی لبه تیغه ها و در حین ساخت پروانه اقدامات لازم روی آنها انجام می شود که البته به مرور زمان و در اثر فرسایش و خوردگی پروانه این لبه ها نیز دچار گرگونی شده و باعث مسائل و مشکلاتی می گردد.

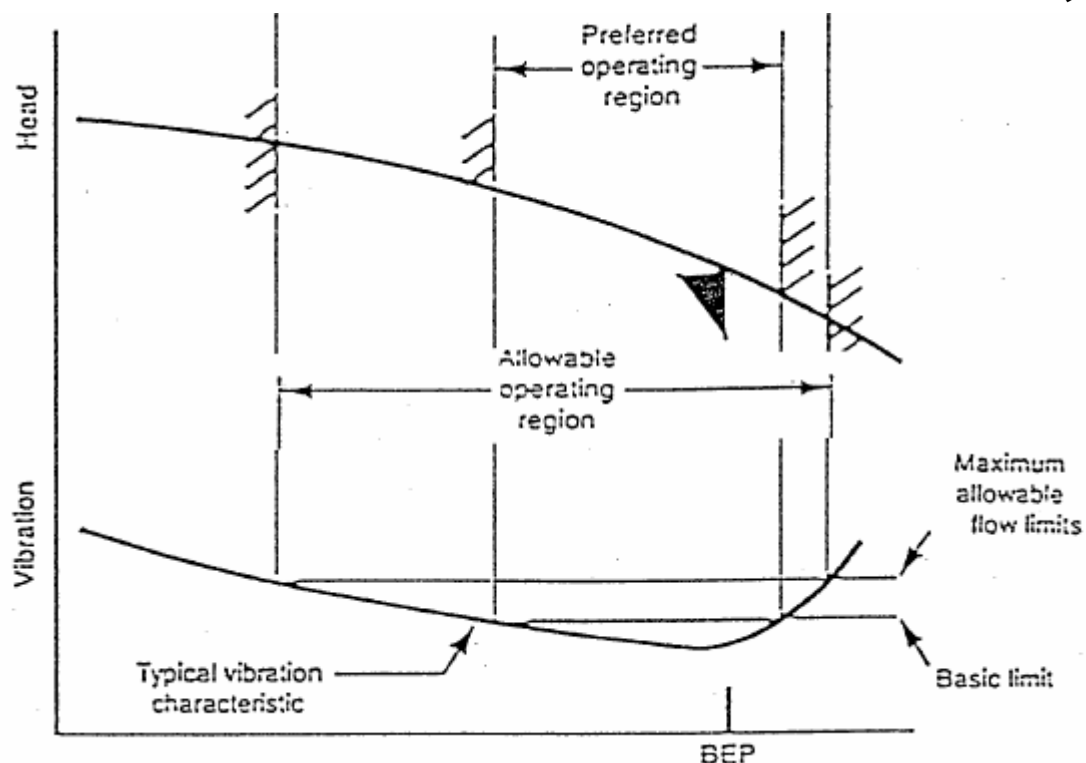
ج- چرخش بیش از حد مایع در اطراف پروانه و بدنه پمپ نیز می تواند باعث ایجاد جریان های چرخشی شود که از اهمیت ویژه ای برخوردار است و می تواند علاوه بر افزایش ارتعاشات باعث کاهش بازدهی و ایجاد سرو صدا نیز بکند که بیشترین مشکلات مربوط به این نوع چرخش است.

که همانطور که قبلاً هم اشاره شد برای رفع مشکل فوق در پمپ ها فاصله شعاعی بین پروانه و ولوت (در محل خروج مایع) باید در حد مجاز قرار داده شود و حتی توصیه اکید شده است در مواردی که نیاز به کاهش قطر پروانه است براده برداری از تیغه ها صورت گیرد و دیواره های دو طرف پروانه سالم باقی بمانند. در شکل های زیر موضوع فوق نمایش داده شده است.



Recirculation در اطراف پروانه در اثر عوامل زیر به وجود می آید:

- ۱- کارکردن پمپ یا فلوی کمتر از شرایط طراحی (زیر مینیم فلو) که این باعث می شود انرژی مکانیکی پروانه به انرژی جنبشی تبدیل شود و باعث چرخاندن مایع (هرز چرخیدن) می شود. همینطور که در منحنی زیر نشان داده شده است میزان ارتعاشات در یک محدوده از شرایط عملیاتی پمپ هادارای کمترین مقدار خود است و اگر از این محدوده خارج شود باعث افزایش ارتعاشات خواهد شد.
- ۲- زیاد بودن فاصله پروانه از بدنه (اطراف ولوت) پمپ به دلیل مسائل خوردگی یا کاهش زیاد از حد قطر پروانه که باعث می شود مایع نتواند از پمپ خارج شود و در داخل بدنه چرخش کند که این خود باعث کم شدن مایع ورودی به پروانه می گردد و همچنین باعث ایجاد جریان گردابی در قسمت ورودی پروانه می شود چرخیدن مایع در اطراف پروانه علاوه بر کاهش راندمان پمپ باعث ایجاد ارتعاشات نیز می شود که ارتعاشات ناشی از آن معمولاً روی فرکانس های Random اتفاق می افتد که بسیار شبیه حالت کاویتاسیون است.

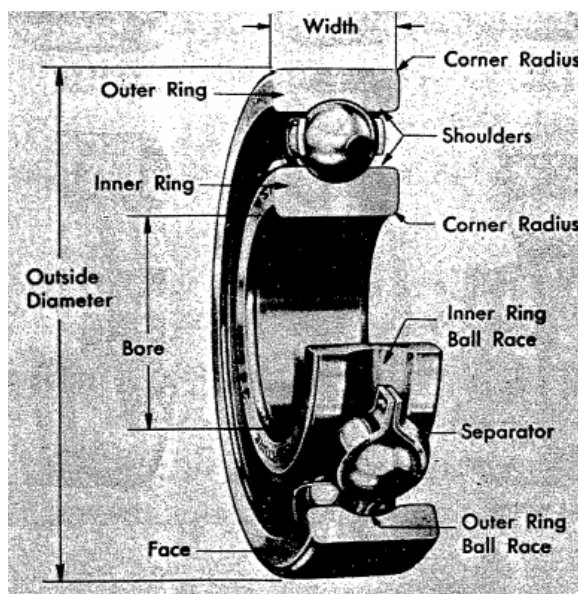


یا تاقان های غلطکی Rolling Bearing

یاتاقان های نوع غلطکی یا بال برینگ هادرطی سال های اخیر در اکثر ماشین آلات مورد استفاده زیادی پیدا کرده اند و برای اکثر کاربردهای صنعتی (بارهای سبک و سنگین) و شرایط مختلف کاری و درجه حرارت های بالا و پایین و در اندازه های مختلف و قیمت های پایین از جنس های سخت با طول عمر بالا در تعداد زیاد به وفور در بازار یافت می شود. این قطعات با پیشرفته ترین دستگاه ها و ماشین آلات و با دقت بسیار بالائی تولید می شوند و باید با دقت زیادی نیز مورد استفاده قرار گیرند. تنها محدودیت آنها که باعث شده نتوانند بطور کامل جایگزین برینگ های نوع لغزشی شود محدود بودن زمان کارکرد آنها و عدم توان کاردهی آنها در دورهای بالا است.

این نوع یاتاقان ها دارای طول عمر محدود و مشخص می باشند و معمولاً پس از اتمام طول عمر آنها باید تعویض گردند. ولی در حین کار می توان آنها را چک نمود و با بررسی وضعیت ارتعاشی آنها نسبت به ادامه کار یا تعویض آنها تصمیم گیری کرد. یاتاقان های غلطکی از چهار جز اصلی زیر تشکیل شده اند:

- ۱- کنس (رینگ) خارجی Outer Ring که در هوزینگ برینگ یا محفظه یاتاقان قرار می گیرد.
- ۲- کنس (رینگ) داخلی Inner Ring که روی محور نصب می شود.
- ۳- عامل چرخنده (ساقچه) که بین کنس ها قرار می گیرد.
- ۴- جداکننده (Cage) Separator که بین رینگ داخلی و خارجی قرار می گیرد و فاصله بین ساقچه ها را کنترل می کند.

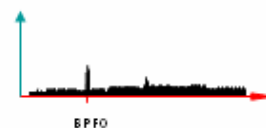


داخل کنس های داخلی و خارجی شیارهائی برای محل عبور اجزا غلتنده تعبیه شده است که به آن Race Way گفته می شود. در بعضی از برینگ های غلطکی ممکن است قطعات دیگری نظیر حفاظ و یا گردگیر نیز وجود داشته باشد که برای ممانعت از خارج شدن گریس یا ورود گرد و خاک به داخل برینگ استفاده می شود.

هر کدام از اجزا و المان های فوق که مشکل پیدا کنند باعث ایجاد ارتعاشات می شوند که در شکل های زیر فرکانس ارتعاشی آنها نشان داده شده است.

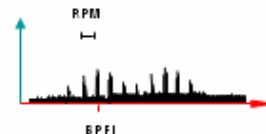
1. Outer Race Faults

- Lead Time Month's
- Ball Pass Frequency Outer Race (BPFO) and Harmonic



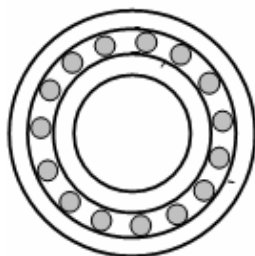
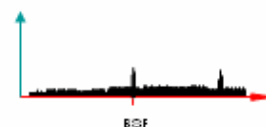
2. Inner Race Faults

- Lead Time Days - Weeks
- Ball Pass Frequency Inner Race (BPFI) With Side bands of Rotation speed



3. Ball Defects

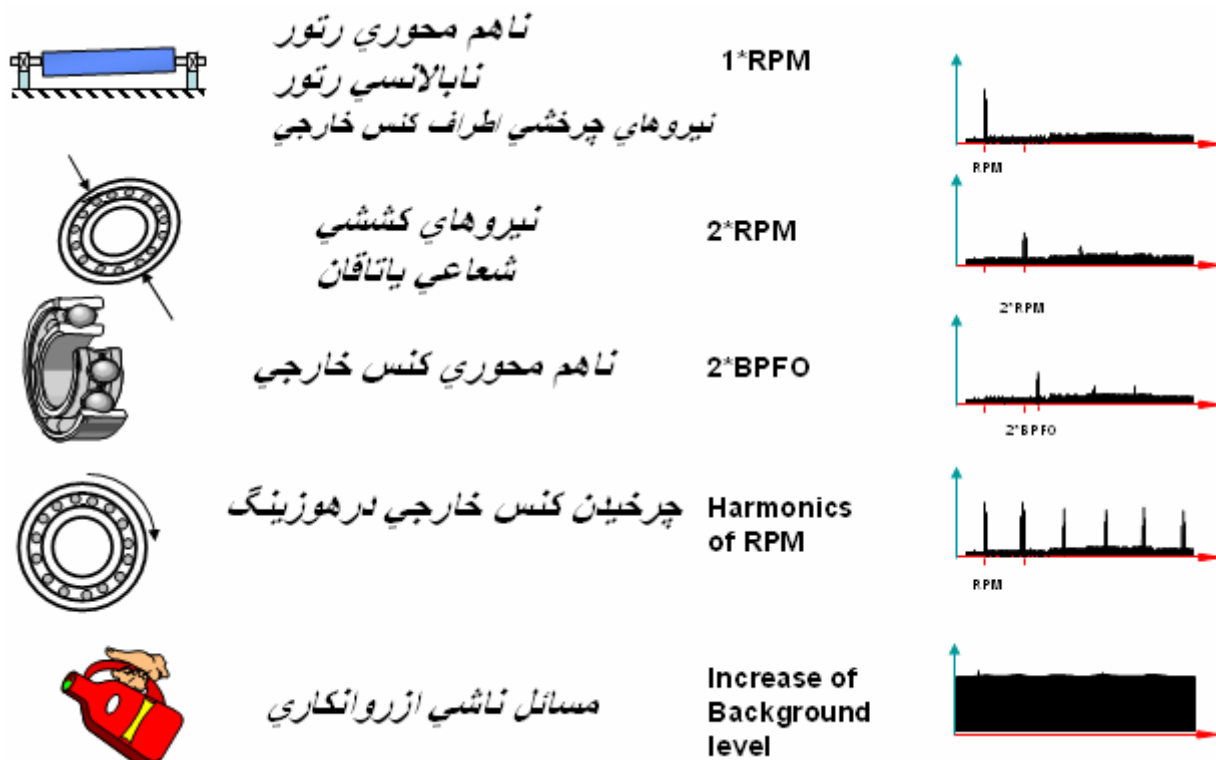
- Requires Immediate action
- Ball Spin Frequency BSF with Harmonics.
- Often in combinations with above with various interharmonics.



ارتعاشات ناشی از مسائل جانبی یا تاقان های غلطکی

تمامی مسائل مکانیکی و ارتعاشی بال برینگ ها ناشی از خرابی المان های آن نیست و در بسیاری مواقع ملاحظه شده است که مسائل جانبی دیگری نظیر روانکاری ناقص ناهم محوری Misalignment و مسائل ناشی از نصب آنها نیز باعث ایجاد ارتعاشات بالا سرو صدا و حتی گرم شدن برینگ ها شده است که حتی با تعویض آنها هم مشکل حل نخواهد شد و لذا اکیدا توصیه می شود قبل از انجام هر گونه اقدام تعمیراتی روی بال برینگ ها ابتدا نسبت به پیدا کردن مشکل اصلی اقدام شود.

بازدیدهای فیزیکی کمک بسیار موثری در پیدا کردن برخی از مشکلات می کند ولی با استفاده از منحنی های FFT نیز امکان پیدا کردن عیوب وجود دارد که در شکل های زیر به فرکانس های ارتعاشی برخی از این موارد اشاره شده است.



عيوب در ياتاقان های غلطکی (بال برینگ ها)

عيوب متداولی که در این نوع ياتاقان ها بوجود می آید شامل موارد زیر است:

- جدا شدن موضعی مواد
- ترک های ناشی از خستگی روی سطوح تماسی
- خرد شدن یا ترک برداشتن اجزا غلطکی (ساچمه ها و رولرها)
- که معمولا از مسائل زیر ناشی می شود:
- مسائل ناشی از روانکاری
- مسائل ناشی از نصب
- طراحی و انتخاب غلط ياتاقان و

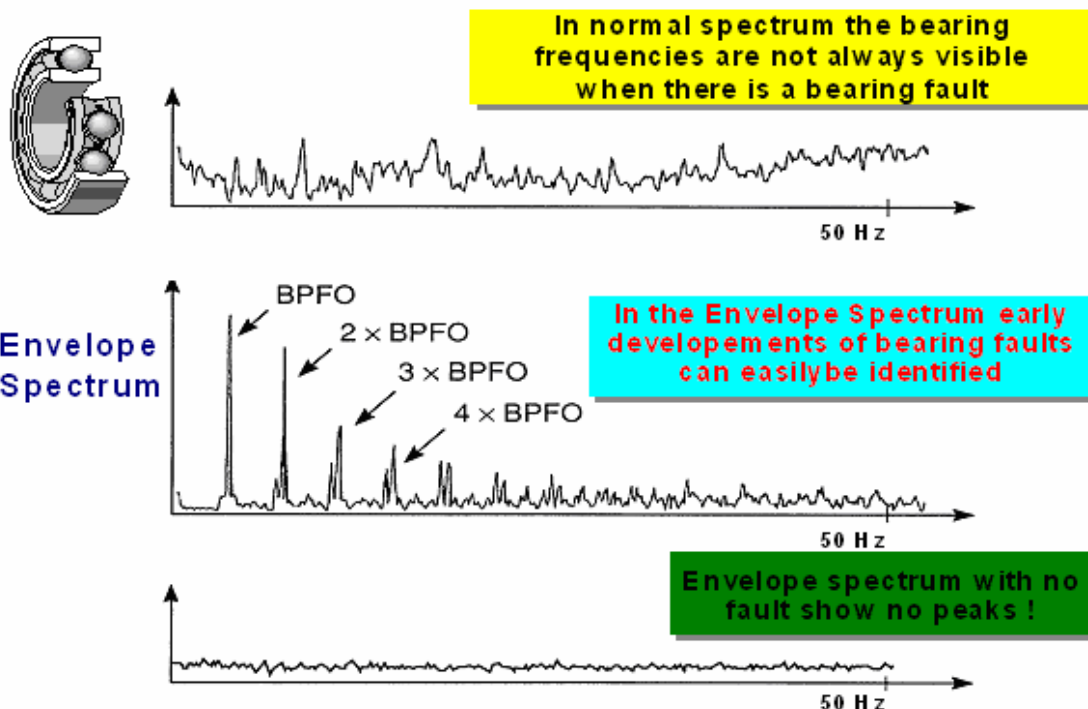
■ تغییر ساختمان هندسی یا تاقان، در زمانیکه سطوح آسیب دیده با هم درگیر می شوند باعث تولید ارتعاشات و ضربه های لحظه ای (شوک) در فرکانس های بالا می کنند.

تاکنون هیچ استاندارد یا راهنمایی معتبری در مورد روش اندازه گیری و حدود ارزیابی برای تعیین وضعیت این نوع ياتاقان ها در سطح بین المللی ارائه نشده ولی در همه روش ها از اندازه گیری فرکانس های بالاو شوک پالس ها استفاده می شود

روند خرابی بال برینگ ها

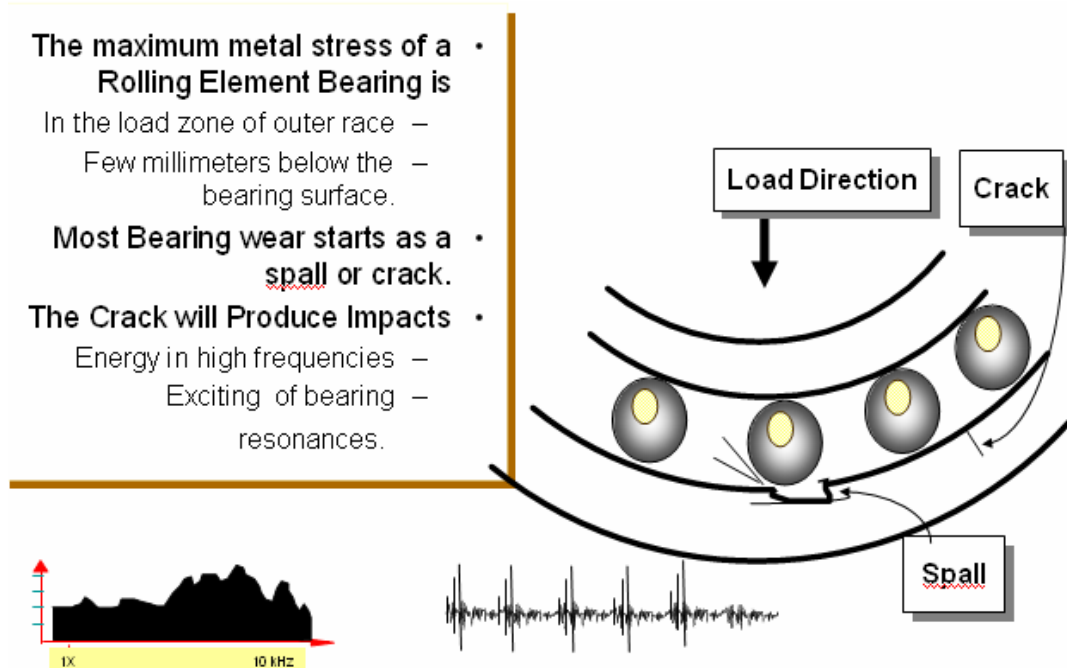
غالباً روند خرابی بال برینگ ها بصورت تدریجی است و با ایجاد یک مشکل کوچک روی یکی از المان های برینگ که غالباً ناشی از سایش است خرابی شروع می شود بطوریکه در ابتدا بطور مخفی ظاهر می شود و سپس

باگذشت زمان به تدریج مشکل توسعه پیدامی کندبطوری که باعث ایجادارتعاش بافرکانس های مربوطه می گرددوآثارخرابی نمایان می شود.



مشاهده نشانه های سایشی

بیشترین تنش های روی المان های برینگ معمولاروی قسمت پایینی کنس خارجی که به آن Load Zone گفته می شوداتفاق می افتد.معمولا سایش یاتاقان هاباپوسته شدن یاترک شروع می شودکه باعث ایجادضربه می گرددوباعث تولیدانرژی ارتعاشات بافرکانس بالاوتولیدرزونانس می گردد. درشکل زیرموضوع نشان داده شده است.



همین طور که در شکل فوق ملاحظه می شود اغلب خرابی های بال برینگ ها ناشی از سایش است که شروع آن با پوسته شدن یا ترک بوجود می آید و به تدریج توسعه پیدامی کند. ترک های بوجود آمده باعث می شود در حین عبور اجزا غلتنده از روی آنها ایجاد ضربه هائی گردد که نتیجه آن ایجاد ارتعاشات با فرکانس های بالا همراه با رزونانس خواهد بود.

ارتعاشات ناشی از خرابی برینگ های غلطکی (بال برینگ ها)

منهای مسائل روعنکاری ارتعاشات این یا تاقان ها معمولا به دلیل عیوبی است که روی سطوح کنس های داخلی و خارجی بال ها و غلطک ها و همچنین قفسه Cage به وجود می آید. یک یا تاقان خراب می تواند چندین فرکانس ارتعاشی داشته باشد که برخی از این فرکانس ها مرتبط با شکل هندسی یا تاقان و برخی دیگر بصورت اتفاقی Randon و در فرکانس های بالا رخ می دهد.

فرکانس های ارتعاشی المان های آسیب دیده یک برینگ خراب عبارتست از :

۱- فرکانس قفسه Cage یا Retiaer

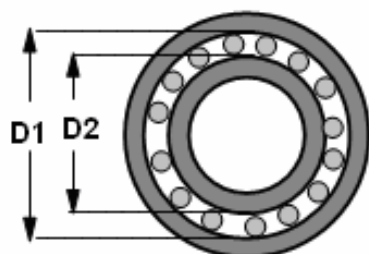
۲- فرکانس گذر دور غلطک ها Ball و Roller

۳- فرکانس گذر غلطک ها روی کنس داخلی

۴- فرکانس گذر غلطک ها روی کنس خارجی

معمولا شروع خراب این یا تاقان ها بایکی از این علائم یا فرکانس ها شروع می شود و به تدریج توسعه پیدامی کند و به قسمت های دیگر آن نیز آسیب می رساند.

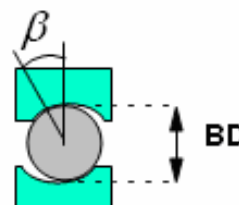
در شکل زیر فرکانس ارتعاشی که المان های مختلف بال برینگ ها بوجود می آورند نشان داده شده است.



$$PD = \frac{D1 + D2}{2}$$

$$n = \text{number of balls}$$

$$f_r = \text{rotation frequency}$$



$$BPFO = f_{outer} (Hz) = \frac{n}{2} f_r \left(1 - \frac{BD}{PD} \cos \beta \right)$$

$$BPFI = f_{inner} (Hz) = \frac{n}{2} f_r \left(1 + \frac{BD}{PD} \cos \beta \right)$$

$$BSF = f_{ball} (Hz) = f_r \frac{PD}{BD} \left[1 - \left(\frac{BD}{PD} \cos \beta \right)^2 \right]$$

$$f_{cage} (Hz) = \frac{1}{2} f_r \left(1 - \frac{BD}{PD} \cos \beta \right)$$

فرکانس های دورانی با توجه به ابعاد هندسی برینگ قابل محاسبه است. البته فرکانس های دورانی محاسبه شده به دلیل سر خوردن ساچمه ها و اختلاف بین مسیر واقعی ساچمه و قطر کنس با فرکانس های واقعی تطابق کامل ندارند.

با استفاده از فرکانس های دورانی المان خراب این نوع یاتاقان ها را مشخص می کنند که از این مطلب برای مطالعه و علت خرابی یاتاقان هانیز استفاده می شود. در شکل زیر به این فرمول ها اشاره شده است.

BEARING DEFECT FREQUENCIES

$$BPFI = \frac{N_b}{2} \left(1 + \frac{B_d}{P_d} \cos \theta \right) \times \text{RPM}$$

$$BPFO = \frac{N_b}{2} \left(1 - \frac{B_d}{P_d} \cos \theta \right) \times \text{RPM}$$

$$BSF = \frac{P_d}{2B_{dl}} \left[1 - \left(\frac{B_d}{P_d} \right)^2 \cos^2 \theta \right] \times \text{RPM}$$

$$FTF = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{B_d}{P_d} \cos \theta \right) \times \text{RPM}$$

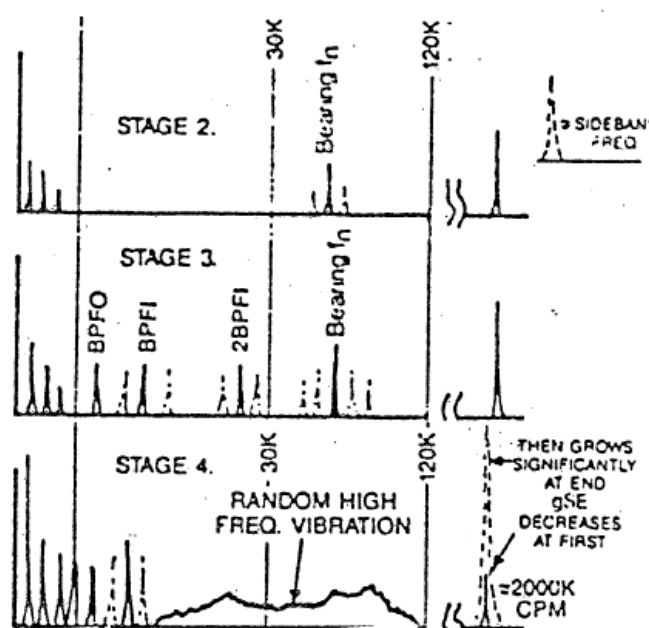
Where:

N_b = Number of Balls or Rollers

B_d = Ball/Roller Diameter (in or mm)

P_d = Bearing Pitch Diameter (in or mm)

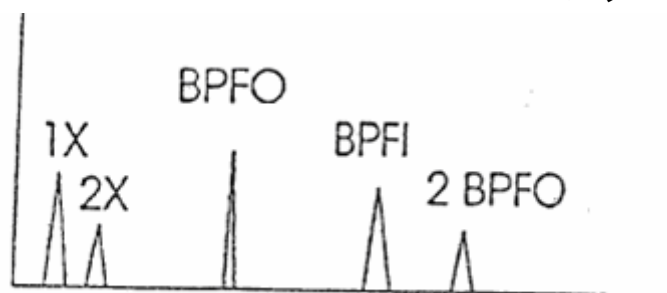
θ = Contact Angle (degrees)

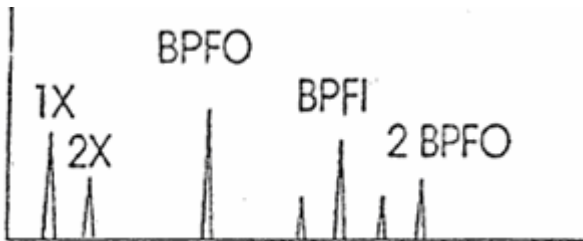


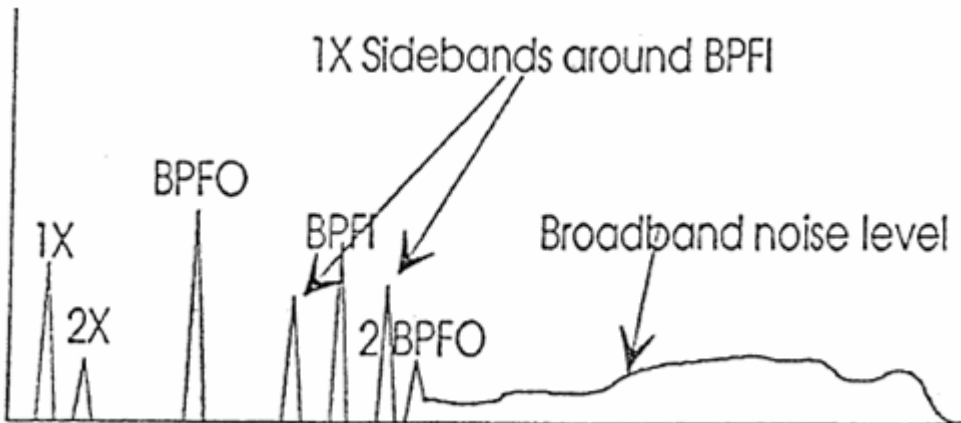
باید به خاطر داشت که این فرمول ها تقریبی بوده و فرکانس های واقعی گذر غلطک می تواند بسته به نوع برینگ به مقدار قابل ملاحظه ای بامقادیر محاسبه شده اختلاف داشته باشند.

باتوجه به فرکانس های بدست آمده از روابط فوق و بررسی طیف های ارتعاشی می توان به علل خرابی این نوع یاتاقان ها پی برد که ذیلا به آن اشاره می شود:

۱- اگر فرکانس غالب ارتعاشی اندازه گیری شده از طیف های ارتعاشی مربوط به کنس داخلی بال برینگ باشد به احتمال زیاد علت خرابی به دلیل نیروهای ارتعاشی داخلی اعمال شده روی رتور نظیر نابالانسی، توربولانس سیال، خمیدگی محور و..... اتفاق افتاده است.



۲- اگر فرکانس غالب ارتعاشی اندازه گیری شده از طیف های ارتعاشی مربوط به غلطک ها باشد احتمالاً خرابی می تواند ناشی از روغن کاری ناقص، داغ کردن و یا وجود جریانات الکتریکی باشد که از برینگ عبور می کند و


۳- اگر فرکانس غالب ارتعاشی اندازه گیری شده روی طیف های ارتعاشی مربوط به کنس خارجی بال برینگ باشد احتمالاً علت خرابی ناشی از لرزش زمینه، هم محور نبودن دستگاه و بوده است.


یک مشکل جزئی روی کنس های داخلی و یا خارجی یک یاتاقان می تواند ارتعاشاتی با فرکانس گذرای غلطک Ball Pass Frequency ایجاد کند که با پیشروی عیب مسئله حاد تر شده و عیوب دیگر رانیز باعث شود و متعاقباً شاهد افزایش تعداد فرکانس ها و عریض شدن پهنای باند فرکانس ها گردد که این اجزا فرکانسی می توانند توسط نیروهای نابالانسی در دور شافت و یا نیروهای دیگر مدوله شده و تعداد فرکانس های بیشتر مجموع و اختلاف Sum-and-Difference Fercuency را به وجود آورند.
 برای مثال فرض کنید ماشینی در دور ۲۴۰۰ RPM کار می کند و فرکانس گذر روی کنس داخلی ۲۲۳۰۰ RPM محاسبه شده است در این حالت ماشین ارتعاشات در هر دو فرکانس مذکور را نشان خواهد داد اما تجربه نشان داده که فرکانس های مجموع $2400 + 2300 = 24700$ CPM و فرکانس اختلاف بین این دو نیز $2400 - 2300 = 1900$ CPM وجود خواهد داشت. اثر مدوله شدن تا وقتی که اسپکترام فرکانس به صورت یک سری اجزاء فرکانسی که پهنای باند نسبتاً وسیعی را ایجاد می کنند در بیاید ادامه پیدا خواهد کرد.

تعیین وضعیت یا تاقان های غلطکی Bearing Condition

همانطور که قبلاً اشاره شد یاتاقان های غلطکی یاتاقان هایی هستند که دارای طول عمر محدود و مشخص می باشند و معمولاً پس از اتمام طول عمر آنها باید تعویض گردند. ولی در حین کار می توان آنها را چک نمود

و بابررسی وضعیت ارتعاشی آنها نسبت به ادامه کاریا تعویض آنها تصمیم گیری کرد. عیوب در یاتاقان های غلطکی (بال برینگ ها) ناشی از جدا شدن موضعی مواد، ترک های ناشی از خستگی روی سطوح تماسی و خرد شدن یا ترک بر داشتن اجزا غلطکی (ساچمه ها و رولرها) است که در اثر روتکاری ناقص و یا اعمال نیروهای اضافی روی آنها می تواند اتفاق بیفتد و در اثر تغییر ساختمان هندسی یا تاقان، در زمانی که سطوح آسیب دیده با هم درگیر می شوند باعث تولید ارتعاشات و ضربه های لحظه ای (شوک) در فرکانس های بالا می شوند.

تاکنون هیچ استاندارد یا راهنمایی معتبری در مورد روش اندازه گیری و حدود ارزیابی برای تعیین وضعیت این نوع یاتاقان ها در سطح بین المللی ارائه نشده ولی در همه روش ها از اندازه گیری فرکانس های بالا و شوک پالس ها استفاده می شود ولی هر کمپانی سازنده دستگاه های آنالیز ارتعاشی تحت یک کمیت مخصوص به خود آن را ارزیابی می کند. میزان ارتعاشات یک بیرینگ سالم نسبت به سایر قسمت های ماشین آلات بسیار کمتر است. در مراحل اولیه پیدایش عیب در بیرینگ ارتعاشات هنوز هم ممکن است آنقدر کم باشد که در ارتعاشات ناشی از قطعات گم شود اهمیت این بحث در آن است که اندازه گیری میزان کلی سرعت یا شتاب ارتعاشات غالبا عیوب بیرینگ را تا زمانی که عیب به مرحله بحرانی نرسیده باشد نشان نمی دهد بنابراین اندازه گیری با مونتیر کردن میزان کلی ارتعاشات ممکن است هشدار کافی و به موقع از وقوع و پیشرفت مسائل بیرینگ ارائه ندهند. وجود اشکالی روی Race ها و یا غلطک ها بیرینگ باعث ایجاد ضربه هائی بر قطعات بیرینگ می شود این ضربه های لحظه ای فرکانس های طبیعی قطعات مختلف را تحریک می کند و باعث افزایش ارتعاشات می شوند.

وضعیت این نوع یاتاقان ها بر اساس اندازه گیری شوک پالس ها و ارتعاشات ماشین بدست می آید که با استفاده از سنسور ارتعاشی شتاب سنج با فرکانس تشدید بالا (تقریباً ۳۲ KHz) اندازه گیری می شود که برای حذف ارتعاشات فرکانس های بالا و پایین ماشین و هرگونه عامل مزاحم الکترونیکی در محدوده فرکانس های بالا سیگنال حاصله از یک فیلتر میان گذر با محدوده فرکانس عبوری ۶۰-۱۵ KHz عبور داده می شود که بعد از این محل، لزوماً تنها شوک پالس ها در سیگنال اندازه گیری شده باقی می مانند. برای اندازه گیری وضعیت یاتاقان ها باید تا حد ممکن اندازه گیری به محل یاتاقان نزدیک باشد و ترجیحاً اندازه گیری ها باید روی حلقه کنس بیرونی یاتاقان انجام شود.

کمیتی است که کارخانه IRD برای تعیین موقعیت یاتاقان های غلطکی معرفی می کند gse یا اسپایک انرژی است که این کمیت پالس های انرژی ارتعاشی است که در فرکانس های بالا در مدت زمانی بسیار کوتاه اندازه گیری می شود.

اسپایک انرژی به دلایل زیر می تواند در ماشین آلات حادث می شود:

الف - عیوب سطحی در قطعات برینگ های غلطکی و چرخ دنده ها.

ب - تماس فلز با فلز Rub&Impact.

ج - نشت بخار و یا هوای فشار بالا.

د - کاویتا Caviation.

اگر چه اسپایک انرژی اساسا اندازه گیری شتاب ارتعاشات است ولی سیستم مخصوص الکترونیکی که سیگنال ارتعاشی را پروسه می کند به ارتعاشات فرکانس بالائی که توسط عیوب بیرینگ ها و چرخ دنده های ایجاد می شود حساسیت خاصی دارد که به این دلیل واحد آن برحسب g-SE که واحد شتاب ثقل است بیان می شود (دستگاه های آنالیز ارتعاشات IRD این کمیت را اندازه گیری و نشان می دهند) .

اسپایک انرژی عبارت است از انرژی ارتعاشی که از برخوردهای کوتاه مدت (Impact) فلز با فلز به وجود می آید و باعث ایجاد ارتعاشات رانندومی (ارتعاشاتی که در یک محدوده تقریبا وسیع فرکانسی رخ می دهد) می شود که از طریق قطعات پیشروی می کند .

تنها منبع ارتعاشی که می تواند فرکانسی طبیعی این پیک آپ های مخصوص اندازه گیری اسپایک انرژی را تحریک کند نیروهای ضربه ای یا Spike ها هستند که توسط بیرینگ معیوب و با چرخ دنده ایجاد می شود. برای اندازه گیری اسپایک انرژی با تنظیم ارتعاش سنج روی فیلتر بالا گذر High Pass باعث می شود که فرکانس های ارتعاشی زیر 500 Hz (300,000 CPM) حذف شود و ارتعاشات ناشی از مسائلی از قبیل نابالانسی و..... درمیزان انرژی اسپایک وارد نشود. به عبارت دیگر سیستم اندازه گیری اسپایک انرژی یک دستگاه لرزش سنج تنها برای کشف عیوب ناشی از ضربه Impact است که از مشخصه های بیرینگ ها و چرخ دنده ها و ارتعاشات رانندوم است طراحی شده است.

نحوه اندازه گیری اسپایک انرژی

روی ماشین آلانی که هیچ رکورد قبلی از اسپایک انرژی در دسترس نیست باید با اندازه گیری و ثبت آن و دنبال نمودن روند تغییرات در واحد زمان طبق تجربه عملی نحوه ارتباط دادن این اندازه گیری ها با خراب شدن بیرینگ به دست آورد تا از روی اندازه گیری میزان اسپایک انرژی بتوان وضعیت سلامت بیرینگ را مشخص نمود.

مثلا ممکن است به دلیل مشاهده افزایش ناگهانی اسپایک انرژی تصور شود که خرابی بیرینگ هر آن پیش خواهد آمد ولی اگر اندازه گیری هم زمان شتاب یا سرعت هیچ گونه افزایش قابل ملاحظه ای در ارتعاشات نشان نداده باشد باید اینطور فکر شود که ممکن است افزایش ناگهانی اسپایک انرژی در نتیجه تغییری در شرایط عملیاتی ماشین پیش آمده باشد نه از خراب شدن ناگهانی بیرینگ.

برای یک ماشین با دور بسیار بالا که سریع تر تحت تاثیر نیروهای ارتعاشی قرار می گیرد اندازه گیری شتاب انتخاب خوبی است ولی برای ماشین آلات دور پایین در جاهائی که حرکات نسبی عملکرد ماشین را تحت تاثیر قرار می دهد جابجائی به عنوان پارامتر پشتیبانی کننده انرژی اسپایک مناسب تر خواهد بود. جداول زیر میزان ارتعاشات را نسبت به پارامتر اندازه گیری و وضعیت ماشین نمایش می دهد.

MACHINE CONDITION	VIBRATION LEVELS			
	Disp	Vel	Accel	SE
Machine OK	OK	OK	OK	OK
Watch Machine Bearing Defects OK to Run	OK	OK	OK	HIGH
Watch Machine Bearing Defects OK to Run	OK	OK	HIGH	HIGH
Machine Problems Analyzer/Shutdown	OK	HIGH	HIGH	HIGH
Machine Problems Analyzer/Shutdown	HIGH	HIGH	HIGH	HIGH

همانطور که ملاحظه می شود میزان اسپایک انرژی در ۴ حالت از ۵ حالت زیاد بوده است ولی فقط در دو مورد مشکل برینگی وجود دارد.

برای اطمینان در اندازه گیری اسپایک انرژی رعایت برخی نکات بسیار حائز اهمیت است که نصب پیک آپ یکی از مهم ترین آنهاست. نصب با پیچ Stud و یا اتصال به وسیله چسب های قوی مناسب ترین روش نصب است امتیاز این روش در آن است که بهترین راه برای انتقال ارتعاشات کم با فرکانس های بالا به پیک آپ است اگر چه این روش برای اندازه گیری های پر یودیک روش مناسبی نیست زیرا اتصال پیک آپ به سرعت میسر نیست.

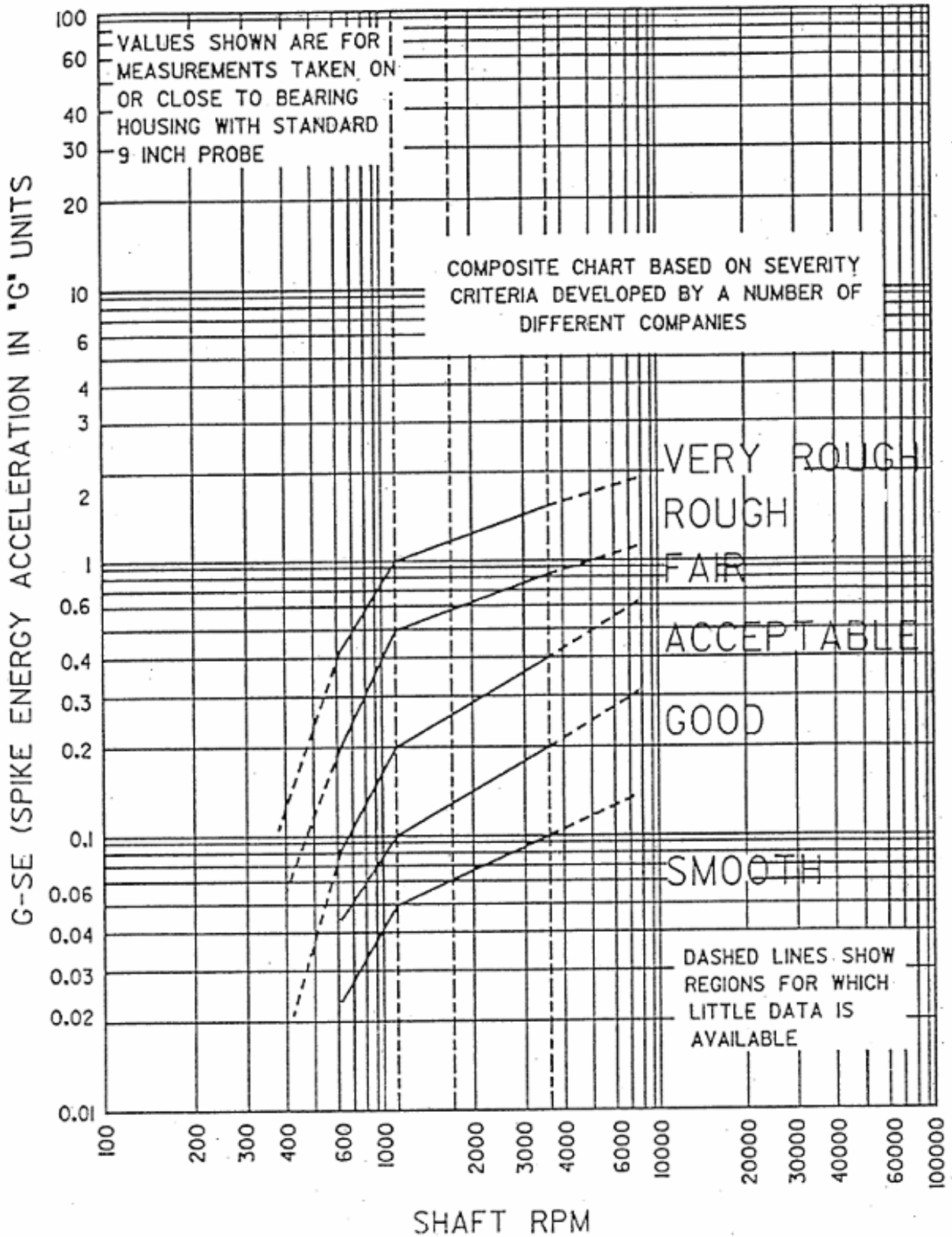
روش دیگر استفاده از یک نگه دارنده مغناطیسی است که این روش برای بررسی های پر یودیک وسیله بسیار مناسبی است ولی مقداری از انرژی ارتعاشی در این سیستم تلف می شود و مقدار اندازه گیری شده اسپایک انرژی در این حالت کمتر از حالت قبل (نصب با پیچ) است در اندازه گیری باید دقت نمود که پیک آپ دقیقاً در محل اندازه گیری قبلی نصب شود تا اندازه گیری ها قابل مقایسه باشند. روش سوم استفاده از میله رابط Probe است که مقادیر اسپایک انرژی اندازه گیری شده با استفاده از Probe از دو حالت قبلی کمتر است. در این روش هم باید نگه داری پیک آپ در اندازه گیری های مختلف روی یک بیرینگ به صورت یکنواخت باشد.

توجه: مقادیر اسپایک انرژی اندازه گیری شده روی یک نقطه را با هم مقایسه نکنید مگر آنکه تمامی آنها تحت شرایط مساوی اندازه گیری شده باشند (البته به انضمام روش نگه داری پیک آپ که پارامتر بسیار مهمی است). نکته مهم دیگر این است که در هر بار اندازه گیری شتاب سنج را درست در همان نقطه اندازه گیری قبلی قرار گیرد. برای حصول اطمینان از نصب پیک آپ در یک نقطه روی بیرینگ توصیه می شود محل مناسب با رنگ کردن محل نصب برای همیشه مشخص شود.

سطح محل اندازه گیری باید تمیز و صاف باشد موادی چون گریس و زنگ زیر پیک آپ شتاب سنج مثل یک فنروعیاق عمل می کنند و در نتیجه باعث کاهش فرکانس های طبیعی آن و کاهش دامنه اسپایک انرژی فرکانس بالا می گردند همچنین محور پیک آپ بایستی بر سطح تماس کاملاً عمود باشد. هنگام اندازه گیری بهتر است روی سطح تماس پیک آپ یک لایه نازک گریس مخصوص مالیده شود که این یک لایه غیر قابل تراکم ایجاد می کند و باعث انتقال بهتر ارتعاشات فرکانس بالا می شود در صورت استفاده از نگه دارنده مغناطیسی هم یک لایه نازک روغن روغنکاری در سطح تماس باعث بهبود انتقال فرکانس های بالا می شود .

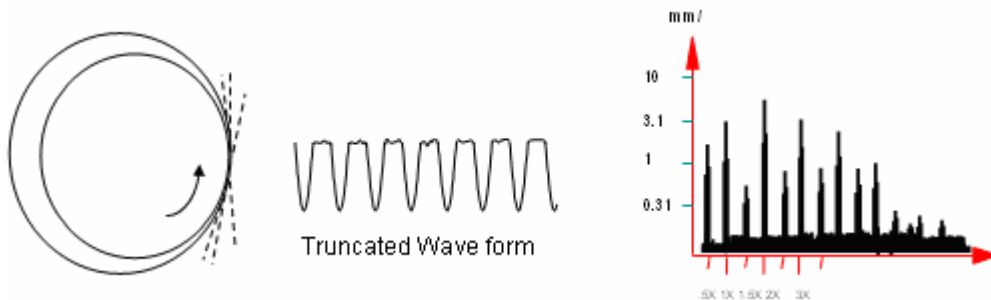
حدود مجاز انرژی اسپایک

اگرچه چندین فاکتور مختلف وجود دارد که می تواند میزان انرژی اسپایک تغییراتی را باعث شود. با این حال و به طور کلی ارتباط خوبی بین مقادیر اندازه گیری شده و میزان شدت عیب وجود دارد. به علت وجود چنین تغییراتی روش توصیه شده برای تعیین وضعیت بیرینگ استفاده از روش های مقایسه Comparison و تغییرات با زمان Trend است تا تکیه به مقادیر مطلق در چارت های شدت اسپایک انرژی. مقادیر مطلق در چارت های شدت ارتعاشات می تواند در تعیین وضعیت بیرینگ سودمند باشد ولی باید تجربه اپراتور روی ماشین آلات خود که به روش مقایسه تغییرات با زمان توسعه یافته است نیز در تصمیم گیری دخالت داده شود شکل های زیر چارت های را که شرکت IRD برای ماشین آلات خود برای تعیین شدت مقادیر مطلق انرژی اسپایک تهیه کرده اند نشان می دهد از این معیارها فقط به عنوان راهنمای کلی می توان استفاده کرد ولی ممکن است برای ماشین آلات به خصوصی مناسب نباشد . در روش مقایسه ای مقادیر انرژی اسپایک روی بیرینگ های مشابه روی تعداد مختلفی از ماشین آلات مشابه اندازه گیری می شود. برای بیرینگ های سالم مقادیر اندازه گیری شده در یک برد محدودی قرار خواهد گرفت بیرینگ هایی که دارای مقادیر اسپایک انرژی بالائی باشند خارج از این محدوده قرار می گیرند . معیار دیگر برای تعیین معیار قضاوت روش Trending است که در این روش مقادیر اسپایک انرژی یک ماشین مشخص بطور پربودیک اندازه گیری می شود اگر هیچ تغییر قابل ملاحظه ای در طول یک زمان طولانی ایجاد نشود مثلاً ۳ تا ۶ ماه این بیانگر آن است که بیرینگ ها در شرایط خوبی هستند بنابراین میزان اسپایک انرژی اندازه گیری شده معیار مناسبی در مورد سالم بودن یا نبودن بیرینگ های ماشین خواهد بود .



ارتعاشات ناشی از تماس Rubbing

تماس قسمت های دوار و ثابت ماشین می تواند باعث ارتعاشات روی فرکانس های یک و دو برابر دوریا فرکانس های دیگر شود و رفتار آن تقریباً مثل لقی مکانیکی است و ممکن است در یک جز از دور (گیر کردن جزئی) یا در تمام دور ماشین (درگیری کامل) اتفاق بیفتد اصطکاک پیوسته ناشی از Rubbing می تواند حالت تشدید فرکانس های بالا در قطعات دیگر ماشین و همچنین ناپایدار بودن دامنه و زاویه فاز ارتعاشات را سبب شود.



تجربه نشان داده که در توربین های بخار و ماشین های بزرگ مشابه Rubbing در آب بندها Seals باعث افزایش دامنه ارتعاشات و تغییر زاویه فاز از یک دور به دور دیگر یا در یک دور با روشن و خاموش کردن ماشین می شود. معمولاً در اثر تماس Rubbing ناشی از خمیدگی شافت قطعات صدمه دیده یا شکسته می شوند و باعث تغییر شکل سیستم می شوند. این عیوب با روش های آنالیز که در بخش های پیشین تشریح گردیده قابل شناسائی است.

فرکانس این نوع ارتعاشات معمولاً در کسری از فرکانس دور (1/2, 1/3, 1/4, 1/5 و) و بسته به فرکانس طبیعی رتور می تواند ارتعاشات در فرکانس های دیگر نیز اتفاق افتد که غالباً شکل موج زمانی بهتری می تواند کمک کند .

ارتعاشات ناشی از لقی های مکانیکی Mechanical Loosness

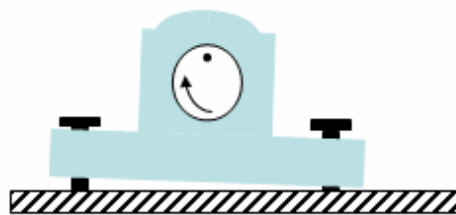
لقی مکانیکی با عمل کوبیدن یا ضربه زدن می تواند ایجاد ارتعاشات کند که غالباً دارای فرکانس $2 \times RPM$ با مصارب بیشتر دور شافت می باشد این ارتعاشات ممکن است ناشی از شل بودن پیچ ها لقی بیش از اندازه قطعات و یاترک خوردگی در پایه بیرینگ ها و سازه ها و باشد .

ارتعاشات ناشی از لقی توسط یک نیروی محرک دیگری مثل نابالانسی یا ناهم محوری تشدید می شود و ارتعاشات ناشی از عوامل دیگر را به مقادیر زیادتر ارتعاشات تبدیل می کند. بدین جهت می توان گفت لقی مکانیکی اجازه می دهد عوامل دیگر، ارتعاشات بیشتری را نسبت به حالت عدم وجود لقی به وجود آورند.

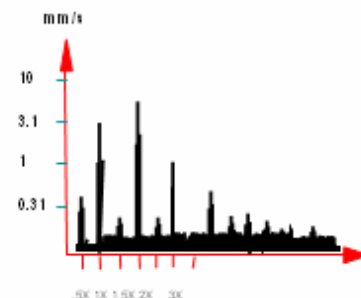
بنابراین در آنالیز ارتعاشات ابتدا با حذف عوامل اصلی ، مثل نابالانسی ناهم محوری و از لقی باید انجام شود که البته این کار در عمل غیر ممکن است زیرا مثلاً حذف نابالانسی برای یک ماشین در حین کار نیاز به تجهیزات ویژه ای دارد پس بهتر خواهد بود که ابتدا وجود لقی را تشخیص داد و سپس آن را بر طرف کرد سپس اگر کاهش بیشتر ارتعاشات نیاز بوده باید به عوامل دیگر پرداخت.

لقی مکانیکی شامل چند حالت است که ذیلا به شرح آن پرداخته می شود:

۱- نوع اول لقی که در شکل زیر نشان داده شده است به دلیل ضعیف بودن پایه های ماشین , Baseplate و فوندانسیون, ازدست رفتن خاصیت گروت, فرورفتن پیچ پایه ماشین در داخل Baseplate و تغییر شکل دادن پایه ها (مثل لقی پایه) و شل بودن استرکچر بوجود می آید که باعث می شود بین سه سطح درگیری کامل برقرار نباشد و نسبت به هم حرکت داشته باشند که معمولاً فرکانس این نوع ارتعاشات روی برابر دور دستگاه است (در الکتروموتورها مسئله متفاوت است) که باروش آنالیز فاز این مشکل قابل شناسائی است .

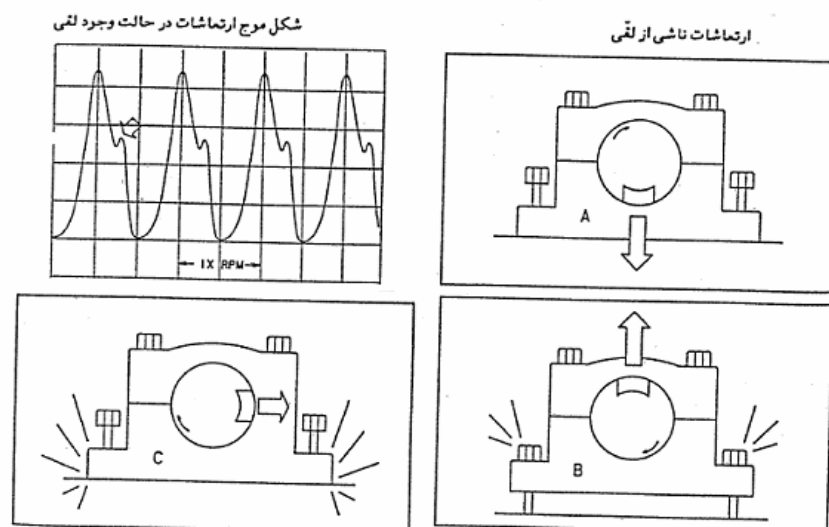


لقی پیچ های فوندانسیون
2X often high
Sub-harmonics



در صورتی که زاویه فاز در جهت عمودی روی پایه ماشین Baseplate و فوندانسیون حدود ۱۸۰ درجه باهم اختلاف داشته باشند یکی از مسائل فوق می تواند وجود داشته باشد .

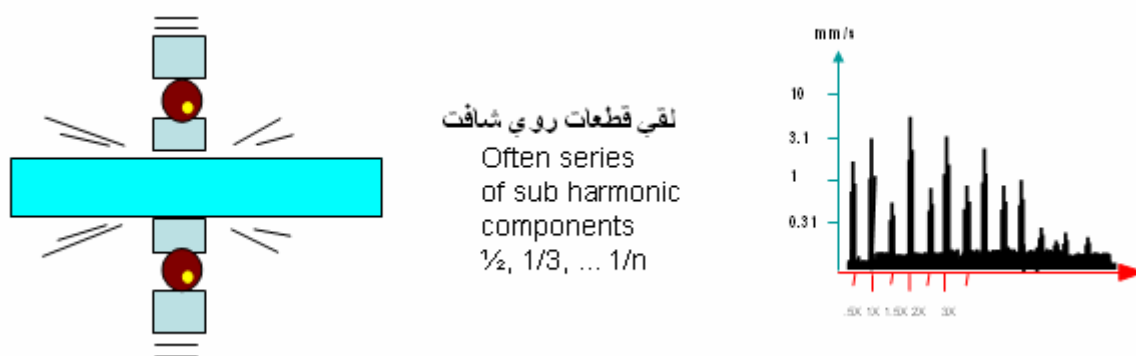
۲- نوع دوم لقی مکانیکی به دلایل شل بودن پیچ های پایه های پیلو بلاک برینگ ها, و یا ایجاد ترک در نشیمن گاه ان یاشکستگی در Padstall باشد که ایجاد ارتعاشاتی در فرکانس های هارمونیک و یا کسری از آن می شود



شکل فوق نیز در تشخیص لقی مکانیکی کمک می کند این شکل نشان می دهد که لقی مکانیکی ارتعاشات با فرکانس $2 \times RPM$ ایجاد می کند در اینجا جا نابالانسی عامل اصلی ارتعاشات است موقعی که قسمت سنگین در موقعیت ساعت ۶ است نیروی نابالانسی به سمت پایین می رود و برینگ را به طرف پایه می راند و موقعی که نیروی نابالانسی به سمت بالا اعمال می شود قسمت سنگین در موقعیت ساعت ۱۲ برینگ

را به طرف بالا بلند می کند زمانی که قسمت سنگین به موقعیت ساعت ۳ میرسد نیروی نابالانسی بطرف پهلو اعمال شده در نتیجه برینگ مجدداً روی پایه می افتد. در نتیجه در یک دور کامل شافت به پایه برینگ دوبار نیرو اعمال می شود یک نیرو که باعث بلند شدن برینگ به وسیله نیروی نابالانسی اعمال می شود و دیگری به علت افتادن برینگ ناشی از جاذبه زمین. بنابراین فرکانس ارتعاشات حاصله روی دوبرابر دور دستگاه خواهد بود.

۳- نوع سوم لقی مربوط به نحوه انطباق قطعات اعم از پروانه ها و است که باعث ایجاد ارتعاش در هارمونیک های متعدد می شود که معمولاً ناشی از پاسخ زمانی غیر مستقیم قطعات شل در اثر نیروهای مکانیکی روی محور است که باعث حذف قسمت هائی از موج های زمانی می شود.

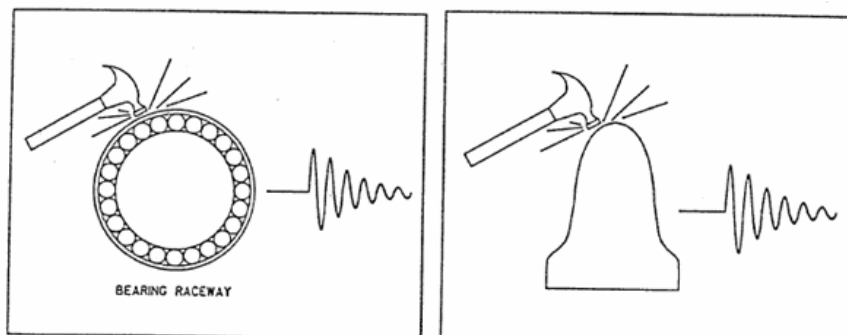


این نوع لقی معمولاً در برینگ های نوع بوشی یا بال برینگ هائی که در محل قرارگیری شان لق باشند یا پروانه هائی که روی محور آزادند بوجود می آید. که در این صورت زاویه فاز ناپایدار است و در اندازه گیری های مختلف یا باروشن و خاموش کردن ماشین اعداد مختلفی بدست می آید و میزان لرزش در جهت های شعاعی اختلاف قابل ملاحظه ای دارند و فرکانس ارتعاشات شامل فرکانس های هارمونیک و جزئی از آن است.

ارتعاشات ناشی از تشدید یارزونانس

رزونانس یا تشدید وقتی بوجود می آید که فرکانس نیروی محرک با فرکانس طبیعی سیستم با هم برابر شوند که باعث ایجاد ارتعاشات بادامنه بالامی شود چون دامنه های دوار تعاش هم فرکانس در حالت هائی باهم جمع و باعث افزایش ارتعاشات می شوند در دستگاه ها و ماشین آلات می تواند خسارت های زیادی را بدنبال داشته باشد. اگر دور کاری ماشین در نزدیک دور بحرانی قرار داشته باشد امکان بالانس نمودن آن نیز وجود ندارد که علت آن تغییرات زیاد زاویه فاز است.

ایجاد ارتعاشات در فرکانس طبیعی

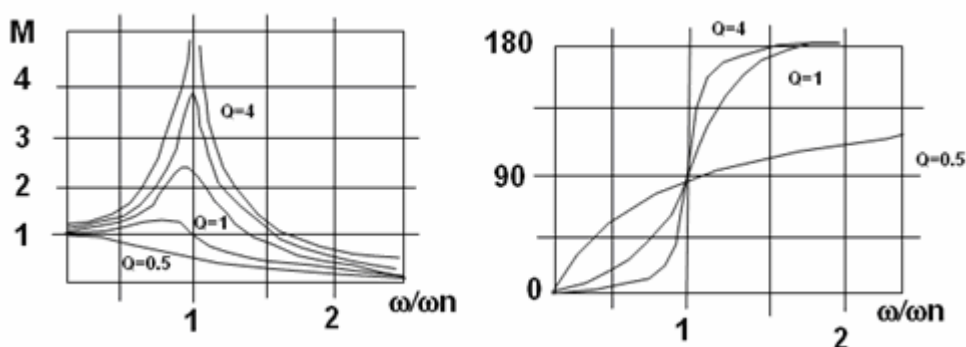


هر قطعه Rigid از جمله کلیه قطعات و یا قسمت های ماشین آلات دارای یک فرکانس تشدید طبیعی (فرکانس نوسان آزاد) می باشد وقتی ضربه ای به یک کاسه زنگ زده می شود زنگ در فرکانس طبیعی خود شروع به نوسان می کند تا زمانی که Damping داخلی آن، دامنه ارتعاشات را به صفر برساند. راه های مختلفی برای اندازه گیری فرکانس طبیعی وجود دارد. که یکی از این راه ها تست ضربه یا Bump Test است بدین صورت که وقتی ماشین خاموش است و به وسیله مناسبی به بدنه آن ضربه زده می شود تا به ارتعاش بیفتد. در این صورت ضربه زدن باعث می شود تابنده ماشین تحت فرکانس طبیعی خود به نوسان در آید و اگر ارتعاشات با آنالیز در حالت کلی Filter Out اندازه گیری شود فرکانس نوسانات فرکانس طبیعی قطعه قرائت خواهد شد.

اگر لرزش حاصل از ضربه به سرعت قبل از قرائت از بین می رود می توان با اعمال چندین ضربه متوالی و با سرعت کافی که بتواند قرائتی داشته باشد وارد شود حتی می توان از شیکر های الکترو دینامیکی که به توسط موتورهای برقی کار می کنند نیز استفاده کرد.

مشخصه های ارتعاشات در حالت رزونانس

- در یک دور مشخص دامنه ارتعاشات افزایش ناگهانی پیدا می کند
- وقتی ارتعاش Damp می شود دامنه کاهش پیدای می کند.
- وقتی ارتعاش Damp می شود فرکانس رزونانس کاهش پیدای می کند.
- قبل و بعد از بیشترین دامنه زاویه فاز ۱۸۰ درجه تغییر می کند
- تغییر ۱۸۰ درجه ای زاویه فاز در حالتی که ارتعاشات دیر Damp می شود اتفاق می افتد.



چندین راه برای تصحیح ارتعاشات تشدید وجود دارد:

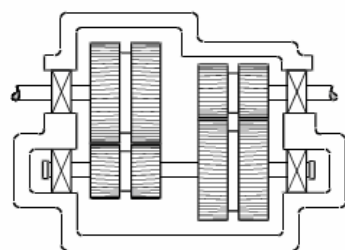
۱- تغییر دادن فرکانس نیروی محرک با فرکانس طبیعی یکسان نباشد مثلاً اگر نیروی محرک از ماشینی است که در مجاورت ماشین مورد بحث قرار دارد با تغییر دور آن در صورت امکان می توان اثر تشدید را کاهش داد.

۲- تغییر دادن جرم ماشین که به این طریق فرکانس طبیعی ماشین تغییر یافته و در نتیجه حالت تشدید بوجود نخواهد آمد. البته می توان از حالت تشدید با حذف کامل نیروی محرک پرهیز کرد مثلاً اگر Unbalance عامل پیدایش حالت تشدید باشد حتی بالانس کردن با توالرانس های خیلی پایین غیر معمول نیز اثرات ارتعاشات در تشدید را کاهش دهد ولی اغلب چنین راه حل هایی بسیار مشکل و یا غیر

عملی است بهترین راه حل برای مسئله تشدید جدا کردن فرکانس های طبیعی و فرکانس های محرک است .

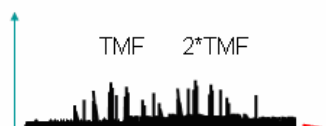
ارتعاشات ناشی از مسائل چرخ دنده ها

باتوجه به ماهیت چرخ دنده هافرکانس های ارتعاشی آنها پیچیده است و برای تشخیص عیوب آنها علاوه بر اسپکترام (منحنی های دامنه بر حسب فرکانس) نیاز به آنالیزهای دیگر نیز می باشد.



Gear Boxes Produce Complex Spectra

Cepstrum Analysis and Time Domain averaging greatly simplifies the job of the analysis in assessment of Gear Box faults.



Gear Box Spectrum

- Faults produce Side Band families around tooth mesh frequency (TMF) and harmonics TMF.



Gear Box spectrum

- The Energy of each Side Band Family (fault) is easily assessed.

مشکلات ارتعاشی ناشی از چرخ دنده ها معمولا در اثر یک یا چند مورد از موارد زیر است:

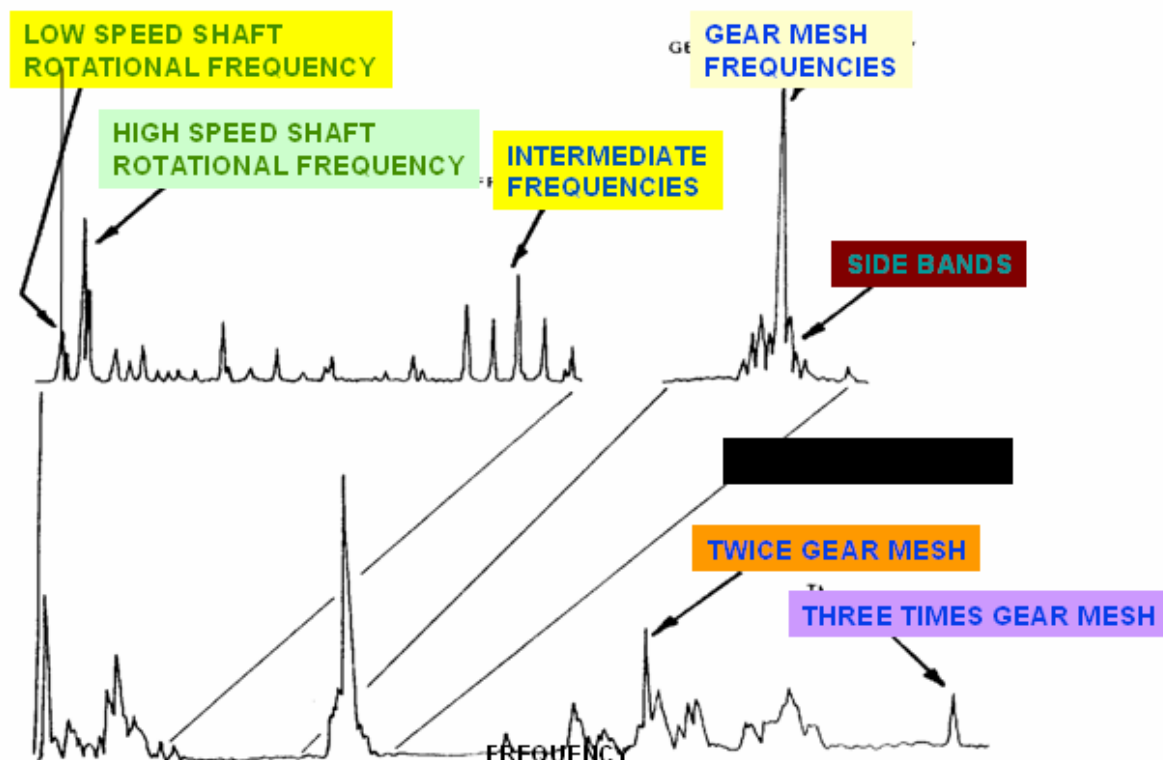
- ۱- سایش بیش از حد چرخ دنده ها
- ۲- دقیق نبودن پروفیل دندانه ها
- ۳- شکسته شدن دنده ها
- ۴- گیر کردن اجسام خارجی در دندانه ها
- ۵- مسائل مکانیکی نظیر خارج از مرکزی خمیدگی نابالانسی زیاد بودن کلرنس برینگ های خرابی برینگ
- ۶- اشکالات روغنکاری و است.

به دلیل زیاد بودن تعداد دندانه هائی که در هر بار چرخش باهم درگیر می شوند ارتعاشات حاصله معمولاً در فرکانس های بالا اتفاق می افتد که اصطلاحاً به آن Gear Mesh گفته می شود. Gear Mesh حاصل ضرب تعداد دندانه ها در دور چرخ دنده است .

$$\text{Gear Mesh Freq.} = \text{Number of Teeth} \times \text{RPM}$$

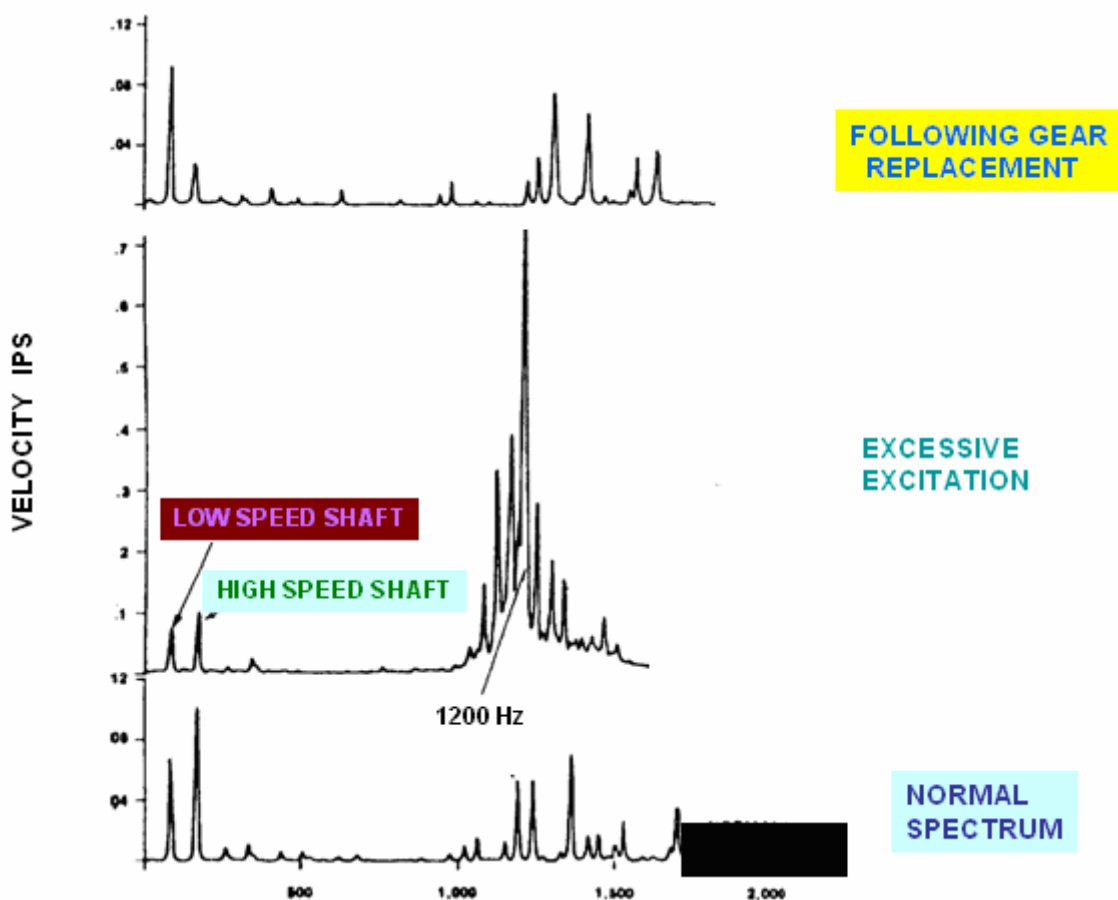
از این پارامتر برای عیب یابی مشکلات گیربکس ها و مسائل متداولی که باعث ارتعاشات در فرکانس Gear Mesh می شود به تعداد استفاده می شود. در مجموعه های پیچیده چرخ دنده ها و جاهائی که چندین فرکانس بالا وجود داشته باشد (بخصوص در جاهائی که یاتاقان ها از نوع بال برینگ ها است) با بررسی نقشه

های گیربکس، تعداد دور و تعداد دنده چرخ دنده های مختلف و محاسبه فرکانس های قسمت های مختلف بال برینگ هابی توان برای محاسبه فرکانس های Gear Mesh کلیه محورها و شناسائی چرخ دنده خراب که باعث افزایش ارتعاشات شده استفاده کرد .

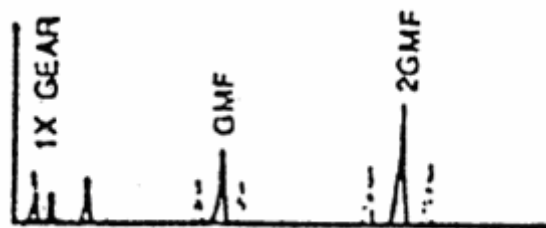


از آنجا که گیربکس ها خود به خانواده ماشین آلات دوار تعلق دارند لذا برخی ازمسائلی که درمورد ماشین آلات دوار تشریح گردیده، در خصوص گیربکس ها نیز می تواند صادق باشد. برای مثال یک چرخ دنده ممکن است به صورت خارج از مرکزی نصب شده باشند یا بالانس نباشد که باعث ایجاد ارتعاشات با فرکانس $1 \times RPM$ دور چرخ دنده را بکند. ارتعاشات فرکانس بالای چرخ دنده ها عامل متداول ایجاد صدای بیش از حد نیز هست که به همین دلیل کاهش ارتعاشات باعث کاهش قابل ملاحظه صدای آنها نیز می شود. که این گونه مسائل معمولاً باعث تحریک فرکانس های دندانه ها و هارمونیک های آنها در دور محوری شود.

البته لازم به توضیح است که حتی چرخ دنده های سالم نیز در فرکانس های Gear Mesh و هارمونیک های آنها و گاهی فرکانس های طبیعی چرخ دنده ها بطور ذاتی دارای ارتعاشی می باشند که در در حد مجاز است. در زیر منحنی های اسپکتروگرام چرخ دنده ای که سطوح دندانه های آن خورده شده (شکل وسط) و اسپکتروگرام همان چرخ دنده پس از تعویض (شکل بالائی) و اسپکتروگرام یک چرخ دنده سالم (شکل پایینی) نشان داده شده است.



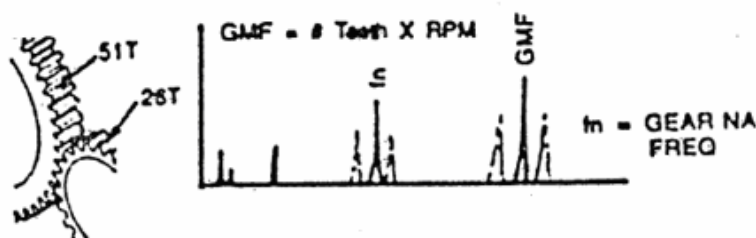
البته لازم به توضیح است که لرزش روی فرکانس های بالادرتمام موارد دلیل خرابی چرخ دنده نیست بلکه نیروهای مزاحم دیگری هم می توانند باعث شوند چرخ دنده ها در فرکانس Gear Mesh ایجاد ارتعاش کنند مثل نا هم محوری، خمیدگی شافت، خارج از مرکز بودن، تا بالانسی، خرابی برینگ ها، زیادبودن کلرنس برینگ ها و کلیه مسائل مربوط به آنها می تواند در ضریب های Sub-Multiple فرکانس Gear Mesh ایجاد ارتعاش کنند.



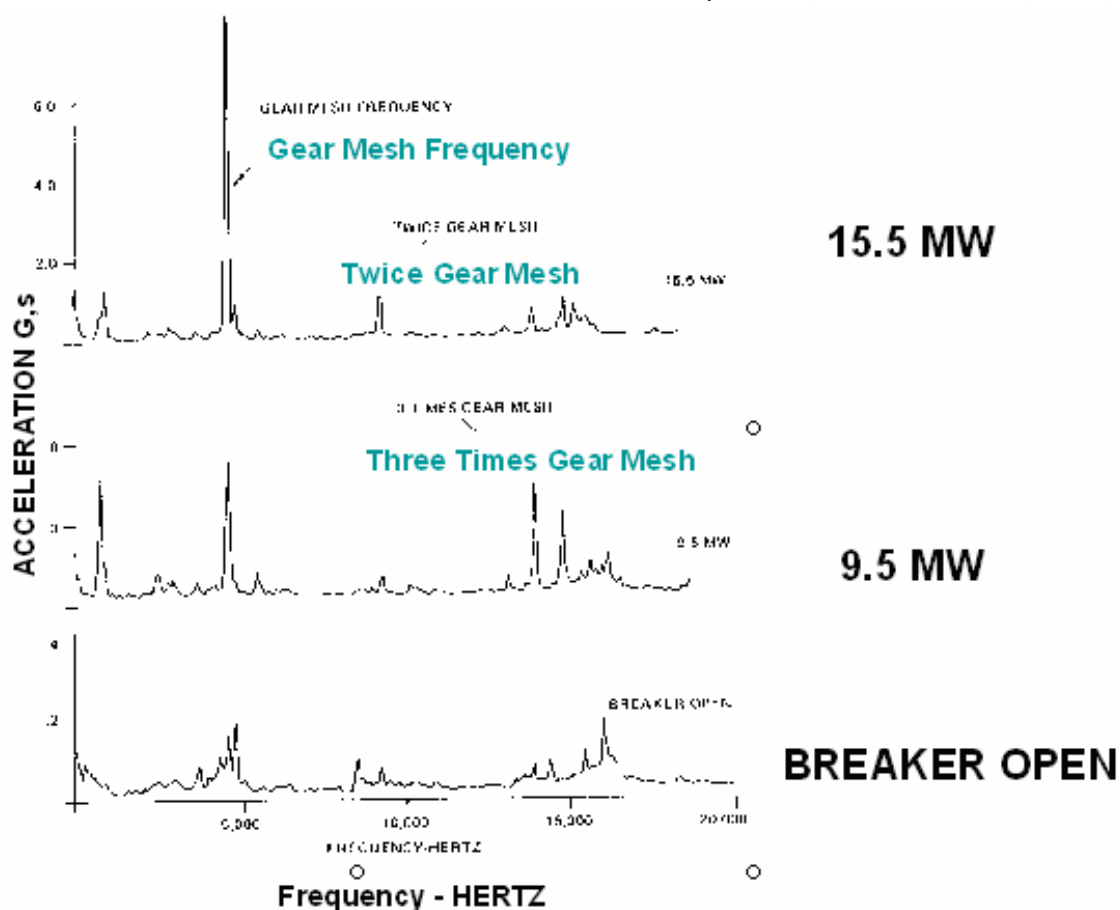
ازاین رو لازم است کارهاتطبق یک برنامه اصولی انجام شودو ارتعاشات کلی سیستم بررسی و به خصوص وضعیت Alignment و مواردفوق الذکر بادقت چک و تصحیح گردد و مجدداً آنالیز ارتعاشات انجام گردد تا عیب بهتر مشخص شود. نا هم محوری باعث ایجادارتعاشات روی فرکانس های 1 GMF و 2 GMF (یا هارمونیک های دیگر ان) و فرکانس Gear یا Pnion می شود .

در شکل زیر ارتعاشات ناشی از چرخ دنده سائیده شده روی منحنی های FFT نشان داده شده است.

ارتعاش ناشی از ساییش دنده ها



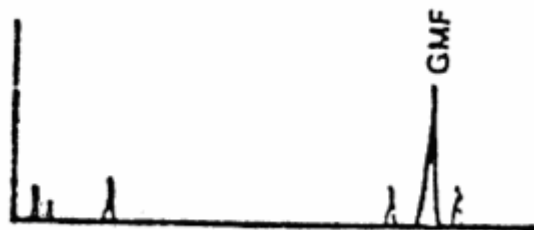
البته ارتعاشات ناشی از چرخ دنده ها با مقدار توان انتقالی، وضعیت روغنکاری، دور و نیز مرتبط است و در اغلب ماشین آلات در یک محدوده دور و بار ارتعاشات به حدی می رسد که در شکل زیر نیز مقادیر دامنه ارتعاشات بر حسب توان یا بار منتقل شده نشان داده شده است.



البته لازم به توضیح است که همه چرخ دنده ها در فرکانس Gear Mesh ایجاد ارتعاش نمی کنند مثلاً اگر فقط یکی از دندانه های چرخ دنده ای شکسته یا در اثر ترک تغییر شکل داده باشد ممکن است ارتعاشات با فرکانس $1 \times RPM$ چرخ دنده همراه با فرکانس های طبیعی ایجاد شود (و گاهی همراه با فرکانس های طبیعی قطعات) که با مشاهده شکل موج Wave Form ارتعاشات روی اسیلوسکوپ که ایجاد جیش های پرودیگی می کند آن را تشخیص داد. بدیهی است اگر تعداد دندانه هایی معیوب بیش از یکی باشد فرکانس ارتعاشات مضربی از تعداد آنها خواهد بود.

دامنه و فرکانس ارتعاشات ناشی از چرخ دنده ها در برخی موارد ممکن است نامنظم یا Erratic باشد که این شرایط معمولاً زمانی که یک مجموعه چرخ دنده تحت بارهای سبک کار می کند پیش آید که در این گونه موارد بار (Load) ممکن است در پریود های نامنظم از یک دنده به یک دنده دیگر به صورت رفت و برگشتی جابجا شود و باعث ایجاد ضربه هایی شود که در نتیجه جابه جا شدن بار پیش می آید و باعث تحریک فرکانس طبیعی چرخ دنده ها یا تاوان ها و دیگر قطعات ماشین شود که تشخیص این مسئله از مسائل مشابه ممکن است مشکل باشد. برخلاف خرابی برینگ ها که ارتعاشات فقط روی خود برینگ معیوب بیش از سایر نقاط آشکار است مسائل چرخ دنده ها روی دو نقطه یا نقاط بیشتر دیگری روی ماشین هم قابل تشخیص است زیرا محورهای چرخ دنده ها روی دو یا تاوان قرار می گیرد.

اگر ارتعاشات روی فرکانس های کناری Sideband Frequency یا GMF و همچنین ارتعاشات ناشی از فرکانس های طبیعی روی منحنی های FFT مشاهده نشود می توان نتیجه گرفت که چرخ دنده ها تحت بار اضافی کار می کنند.



ارتعاشات ناشی از تسمه های انتقال قدرت V-Belt

به دلیل ظرفیت بالای تسمه های V شکل و توانایی بالای آنها برای جذب شوک ها و ارتعاشات در بسیاری از موارد برای انتقال قدرت مورد استفاده قرار می گیرند. ولی با این وجود در صورتی که درست مورد استفاده قرار نگیرند می توانند منبع ارتعاشات غیر قابل قبولی شوند بخصوص روی ماشین های ابزار و یا در جاهائی که ارتعاشات باید در حد بسیار پایین نگهداشته شود.

از آنجائی که حالت حرکت و شلاق زدن تسمه ها بین پولی ها به آسانی دیده می شود (به همین دلیل این که تسمه ها معمولاً در دورهای خیلی بالا استفاده نمی شوند) ارتعاشات آنها بیشتر از سایر قسمت ها به چشم می آید. تسمه ها ساده ترین قسمت ماشین آلات هستند و معمولاً اولین اقدامات برای رفع مشکل ارتعاش تعویض تسمه است که گاهی نیز بی رویه انجام می شود.

احتمال این که تسمه ها به نیروهای دیگری نیز در ماشین عکس العمل نشان دهند خیلی زیاد است که بالانس نبودن و خارج از مرکز بودن پولی ها، نامحوری ولقی های مکانیکی از جمله مسائلی هستند که می توانند باعث ارتعاشات بالا و قابل رویت تسمه ها را باعث شوند. در این حالت سیستم تسمه بیان گر وجود یک مسئله مکانیکی است ولی خود به وجود آورنده آن نیست و قبل از تعویض تسمه باید یک بررسی اولیه از ارتعاشات ماشین به عمل آورده شود.

فرکانس ارتعاشات در تسمه ها یک فاکتور کلیدی برای تعیین علت ارتعاشات آنها است. اگر تسمه به تنهایی به نیروهای محرک عکس العمل نشان دهد فرکانس ارتعاشات احتمالا همان فرکانس نیروی محرک خواهد بود و این بدان معناست که قسمتی از ماشین که عامل اصلی ارتعاشات است زیر نور چراغ استروب ساکن به نظر می رسد.

در سیستم های چند تسمه ای (تسمه های چند ردیفه) یکسان بودن کشش همه تسمه ها بسیار حائز اهمیت است اگر یک یا چند تسمه شل باشند ولی بقیه کشش صحیح داشته باشند تسمه شل با ارتعاشات زیادی کار می کند و حتی اگر نیروهای ارتعاشی نیز خیلی جزئی باشند باعث سر خوردن تسمه روی پولی و تسریع در سایش تسمه و پولی می شود.

تشخیص ارتعاشات ناشی از عیوب تسمه ها از عوامل دیگر نسبتا ساده تر است و فاکتور کلیدی آن فرکانس ارتعاشات تسمه است. در صورت وجود عیب در تسمه فرکانس ارتعاشات مضرب صحیحی از دور تسمه خواهد بود. برای تعیین دور تسمه نیازه داشتن طول تسمه، قطر پولی Pitch Diameter و دور پولی است.

$$\text{دور پولی RPM} * \text{قطر پولی} * \frac{3}{14} = \text{دور تسمه}$$

برای اندازه گیری ارتعاشات سیستم پولی با قراردادن پیک آب روی برینگ در جهت عمود بر کشش Tension تسمه و سپس اندازه گیری لرزش در جهت موازی با کشش انجام می شود. معمولا عیوب تسمه ها در جهت موازی با کشش تسمه دامنه بیشتری را دارد.

عیوب متداول تسمه ها شامل ترک خوردگی، برجستگی پهلوهایی تسمه، و کنده شدن قسمت هایی از تسمه است. همچنین تسمه هایی که در نتیجه بسته بندی در زمان انبار شدن پیچ و تاب خورده باشند و تغییر شکل داده اند می توانند تا زمانی که در کار شکل واقعی خود را باز نیافته اند دامنه ارتعاشات بالایی داشته باشند. همچنین تسمه هایی که پهنای یکسان ندارد هم می توانند باعث ایجاد ارتعاشات بیش از حد مجاز شوند در این حالت تسمه ها در شیار پولی بالا و پایین می روند و در نتیجه تغییر کشش ایجاد شده روی تسمه باعث افزایش ارتعاشات می شود. که همه مسائل فوق باعث ایجاد ارتعاشاتی که فرکانس ارتعاشی آنها مضربی از دور تسمه است می شوند و این بدان معناست که با تاباندن چراغ استروب تسمه به صورت ساکن به نظر خواهد رسید.

مسائل ارتعاشی ناشی از تسمه ها Drive Belt Problem

علاوه بر مسائلی که قبلا عنوان شد مسائل و مشکلاتی که باعث افزایش ارتعاشات تسمه ها می شود عبارتند از:

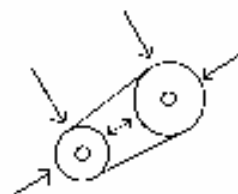
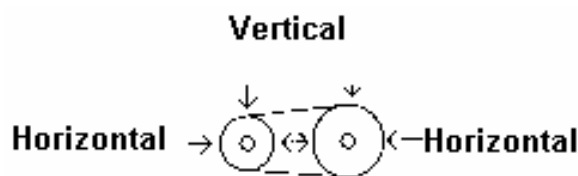
۱- فرسودگی و شل بودن Worn Loose Or Mismatched Belts

۲- ناهم محوری پولی ها Belt/Sheave Misalignment

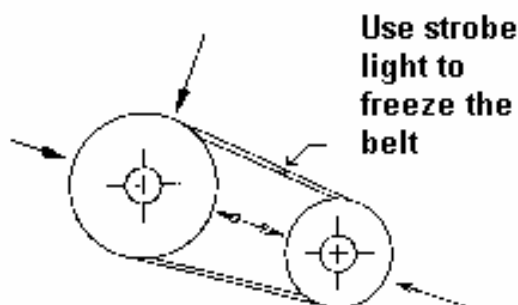
۳- خارج از مرکز پولی ها Eccentric Sheaves

۴- رزونانس تسمه ها Belt Resonance

که ذیلا به شرح آنها پرداخته می شود.



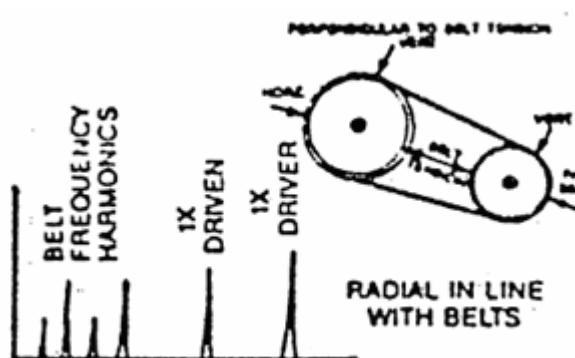
**Measure in
direction of arrows**



رفتار ارتعاشی ناشی از فرسودگی تسمه ها

فرکانس تسمه زیر دور موتور یا سیستم Driven است وقتی تسمه ها فرسوده یا شل می شوند باعث ایجاد ارتعاشات در فرکانس های سه یا چهار برابر فرکانس تسمه می شوند و ارتعاشات حاصله متغیر و گاهی نیز ایجاد حرکات پالسی روی دور الکترو موتور یا ماشین دیگری می کنند و در مواقعی که شیارهای پولی ها سائیده شده باشند یا پولی ها نا هم محور باشند دامنه ارتعاشات روی فرکانس Timing Belt نمایان می شود و معمولاً همراه با سر خوردن تسمه همراه است.

$$\text{Belt RPM} = \text{پولی RPM} * \text{قطر پولی} * \frac{3}{14}$$



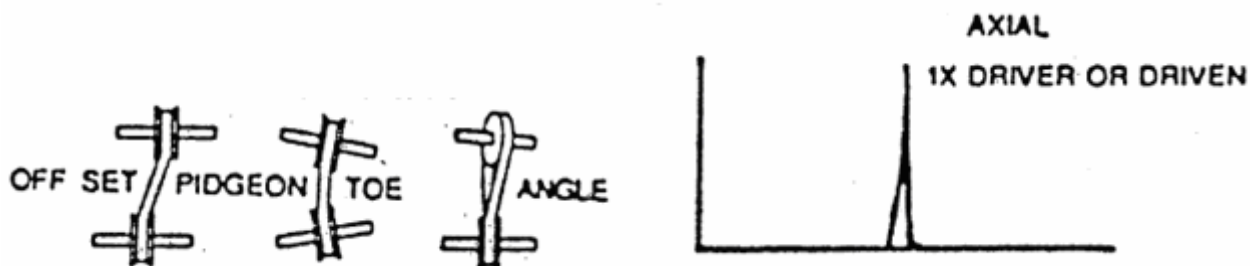
سرخوردن تسمه معمولاً به دلیل کافی نبودن کشش تسمه، تراز نبودن پولی ها، نامناسب بودن جنس تسمه، نامناسب بودن چرخ تسمه (شیارهای پولی) و یادراثر بار و قدرت بیش از حد توان تسمه بوجودی آید که گاهانیز ارتعاشات و صدای بافر کانس بالا ایجاد می کند. ارتعاشات حاصله غالباً دامنه ناپایداری دارند این به خصوص در سیستم های چند تسمه ای صادق است. در جاهایی که تسمه ها به درجات مختلف سرمی خورد گاهی دامنه ارتعاشات کم و گاهی زیاد می شود که نتیجه کلی آن ارتعاشات با دامنه متغیر است که در یک شکل پریود یک کم و زیاد می شود.



تعیین میزان سر خوردن در تسمه های چند ردیفه به کمک چراغ استروب تعیین می شود به این صورت که ماشین از سرویس خارج می شود و به وسیله یک تکه گچ خط راستی به صورت عرضی روی تمامی تسمه ها کشیده می شود و سپس ماشین دوباره راه اندازی می شود و فیلتر آنالیزر روی سرعت تسمه تنظیم می شود و خط مزبور زیر چراغ استروب ملاحظه می شود و در صورتی که تسمه ها نسبت به یکدیگر دارای حرکت باشند علامت ها روی تک تک تسمه ها هم نسبت به هم زیر نور چراغ استروب حرکت خواهند داشت سپس فیلتر آنالیزر روی سرعت تسمه تنظیم می شود در صورتی که تسمه ها نسبت به یکدیگر دارای حرکت باشند علامت ها روی تک تک تسمه ها نسبت به هم زیر نور چراغ استروب حرکت خواهند داشت

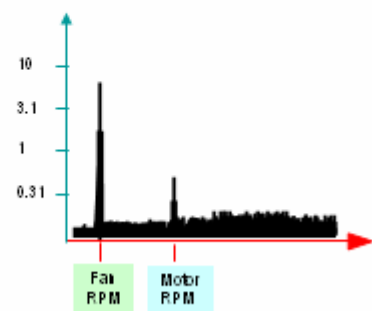
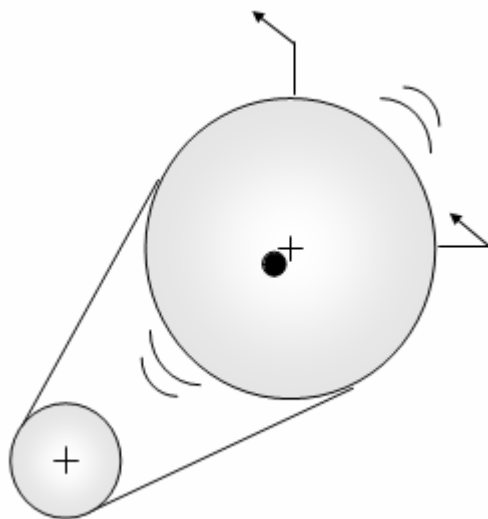
رفتار ارتعاشی ناشی از ناهم محوری پولی ها روی تسمه ها

نا هم محوری پولی ها باعث ایجاد ارتعاشات در فرکانس برابر دور در جهت محوری (موازی تسمه) روی فرکانس های سیستم محرک یا محرک می کنند و ارتعاشات محوری الکتروموتور برابر دور فن است .



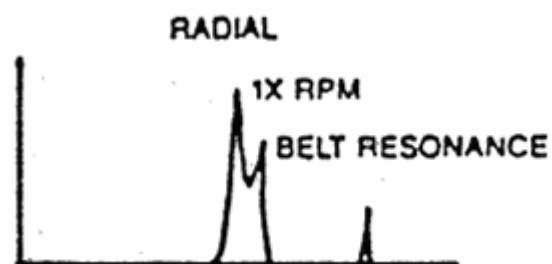
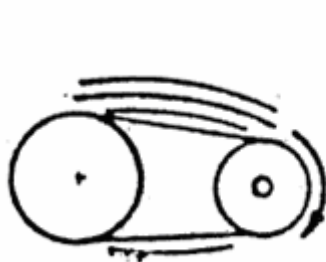
رفتار ارتعاشی ناشی از خارج از مرکزی پولی ها

خارج از مرکزی و نابالانسی پولی ها باعث ارتعاشات روی فرکانس برابر دور همان پولی خواهد شد و بیشترین دامنه معمولا در جهت طولی تسمه است و روی هر دو پولی ارتعاش با این فرکانس مشاهده می شود که با بالانس کردن پولی وضعیت بدتر شده و باعث ایجاد ارتعاشات القائی و افزایش تنش های خستگی روی تسمه می شود.



رفتار ارتعاشی ناشی از رزونانس تسمه ها

رزونانس در تسمه هامی تواند باعث ارتعاشات روی فرکانس طبیعی تسمه و همچنین فرکانس دور هر دو پولی گردد. فرکانس طبیعی تسمه هامی توان با سفت کردن آنها یا تغییر طول دادن آنها (تغییر سایز تسمه) تغییر داد که این موضوع رامی توان باشل وسفت کردن تسمه در حین کار و اندازه گیری پاسخ ارتعاشی آن روی پولی ها و یابرینگ هامو در بررسی قرارداد.



رفتار ارتعاشی ناشی از مسائل برقی در الکتروموتورها Electrical Faults

ارتعاشات الکتروموتورها ناشی از دو عامل است:

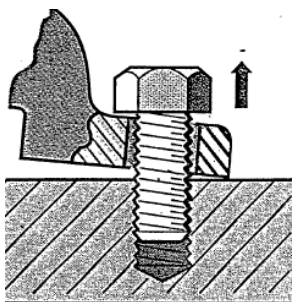
۱- عوامل مکانیکی

۲- عوامل الکتریکی

مسائل مکانیکی مثل نا بالانسی خرابی یا تاقان ها لقی های مکانیکی شکسته شدن میله های رتور و نابالانسی های الکتریکی ولقی پایه Soft Foot و..... که اکثر آنها در مباحث پیشین تشریح گردید ولی به دلیل اهمیت لقی پایه Soft Foot توضیح مختصری درباره آن ارائه می شود.

ارتعاشات ناشی از Soft Foot

Soft Foot یک مسئله مکانیکی است که اثر آن در غالب یک مشکل الکتریکی نمایان می شود و به دلیل تغییر شکل بدنه الکتروموتورها در اثر تنش های مکانیکی است که به دلیل خالی بودن زیر یکی از پایه های الکتروموتور یا خالی بودن قسمت هائی از یک پایه (Soft Foot های موازی و پیچیدگی پایه و.....) در اثر سفت کردن پیچ پایه ها باعث تغییر شکل بدنه موتور شده و باعث به هم خوردن Air Gap های بین رتور و استاتور و ایجاد نابالانسی الکتریکی می شود.



عواملی که باعث Soft Foot می شود

- ۱- کوتاه و بلند بودن ارتفاع پایه ها که در حین ریخته گری و ساخت یا ماشینکاری پایه ها وجود می آید.
- ۲- ناصاف بودن Base Plate و Padstal به دلیل پیچیدگی تنش های حرارتی و مکانیکی و.....
- ۳- تمیز نبودن کف پایه های موتور یا محل قرار گیری آنها.
- ۴- پیچیدگی پایه ها ناشی از جوشکاری پایه ها.
- ۵- کثیف بودن شیمز ها و پایه ها و پد استال.

مسائل ناشی از Soft Foot

- ۱- تغییر شکل و شکسته شدن پایه ها.
 - ۲- خمیدگی شافت.
 - ۳- بهم خوردن وضعیت Center Line هوزینگ برینگ ها.
 - ۴- به هم خوردن وضعیت Alignment.
 - ۵- به هم خوردن Air Gap و نامتعادل شدن نیروهای الکتریکی.
- Soft Foot هم با استفاده از ساعت های اندازه گیر هم به توسط فیلر گیج قابل اندازه گیری و چک کردن است. یکی از راه های دیگر این است که وقتی موتور در سرویس قرار دارد با شل و سفت کردن تک تک پیچ های پایه ها ارتعاشات اندازه گیری می شود و وقتی با شل کردن یکی از پیچ ها لرزش به طور ناگهانی کاهش پیدا می کند پایه مشکل دار مشخص می شود که باید با قرار دادن شیمز مناسب زیر پایه مورد نظر یا سنگ زدن کف پایه ها مشکل مرتفع شود. البته Soft foot در محل قرار گیری پایه روی بدنه الکتروموتور نیز می تواند باعث لرزش شود عدم تماس کامل پایه روی بدنه الکتروموتور که کار تشخیص ممکن است پیچیده تر و مشکل تر گردد.

فرکانس ارتعاشات Soft Foot روی بعضی از الکترو موتورهای High Tension AC روی $1 \times RPM$ و در الکترو موتورهای دیگر روی فرکانس $2 \times RPM$ اتفاق می افتد .

البته لازم به توضیح است که اگر از شیمز های نرمتری (مثل شیمز های مسی یا تفلونی) بتوان استفاده کرد به دلیل تغییر شکل دادن آنها در زیر پایه ها امکان حذف Soft Foot های جزئی وجود دارد.

البته این عیب بیشتر روی الکتروموتورهایی که پایه هایشان درحین جوشکاری تا بدار شده باشد یا پایه ها تعویض شده باشند یا در اثر تغییر شکل Base Plate بوجود می آید که درحین انجام Align دستگاه باید توسط ساعت ها ی اندازه گیر چک شوند .

البته Soft Foot در اثر تنش های اضافی ناشی از مناسب نبودن سایز کابل نیز می تواند اتفاق بیفتد که باید بدقت بررسی گردد.

فرکانس ارتعاشات ناشی از عوامل برقی معمولا روی $1 \times RPM$ اتفاق می افتد (شبیه Unbalance) که یک راه ساده برای اطمینان از وجود مسائل برقی این است که میزان دامنه ارتعاشات کلی فیلتر نشده را اندازه گیری کنیم و سپس برق دستگاه را قطع و هم زمان تغییر دامنه را روی دستگاه ارتعاش سنج مشاهده نمائیم اگر با قطع برق بلافاصله ارتعاشات کاهش پیدا کرد ارتعاشات احتمالا ناشی از عوامل برقی خواهد بود در صورت اخیر باروش های سنتی تست های برقی می توان علت اصلی را پیدا کرد از طرف دیگر اگر پس از قطع برق دامنه ارتعاشات به تدریج کاهش یافت احتمالا مسئله ارتعاشی ناشی از عوامل مکانیکی است. البته با قطع برق به دلیل کاهش سریع دور الکتروموتور ارتعاشات نیز سریع کاهش پیدا می کند که برای تشخیص دقیق تر نیاز به اندازه گیری موج های زمانی (Time Wave Form) است که بتواند دقیقا در لحظه خاموش شدن دستگاه ارتعاشات را اندازه گیری کند ولی با دستگاه های لرزه نگاری معمولی امکان تشخیص خیلی مشکل بوده و امکان تشخیص و تصمیم گیری اشتباه وجود دارد.

ارتعاشات ناشی از عوامل برقی معمولا نسبت به میزان باری که روی موتور گذاشته می شود عکس العمل نشان می دهند با تغییر بار دامنه و یا فرکانس ارتعاشات می تواند تغییر قابل ملاحظه ای را نشان دهند.

در رابطه با موتورهای برقی Induction مسائل برقی می تواند ارتعاشاتی که به صورت زمانی کم و زیاد می شود را باعث شود این نوع ارتعاشات به یک خصوصیت ذاتی موتورهای القائی بنام فرکانس Slip مربوط می شود. فرکانس Slip تفاوت بین دور رتور و فرکانس الکتریکی یا فرکانس سنکرون میدان مغناطیسی دوار است. فرکانس سنکرون همیشه مساوی فرکانس خط AC و یا زیر مضرب Sub-multiple فرکانس خطی است که به موتور برق می دهد.

در ارتعاشات یک موتور القائی فرکانس Slip همشه حضور دارد اما هنگامی که یک مسئله مکانیکی مثل نابالانسی هم وجود داشته باشد دو سیگنال به تناوب یکدیگر را با نرخی معادل اختلاف دو فرکانس تقویت و یا تضعیف می کنند از آنجا که فرکانس Slip فقط کمی کمتر از ارتعاشات $1 \times RPM$ است که توسط اشکالات مکانیکی بوجو دمی آید فرکانس Beat حاصله در میزان دامنه کلی یک Swing پایدار و قابل توجه ایجاد می کند. چراغ استروب هم Swing منظم علامت رفرنس روی شافت رانمایش می دهد. سرعت Beat با افزایش بار افزایش پیدامی کند. اگر دامنه فرکانس Beat زیاد باشد باید برای مسائل مکانیکی و

احتمالا مسئله برقی هم اقدام کرد. البته در بسیاری از موارد این نوسانات ممکن است در کارکرد ماشین تاثیری نداشته باشند ولی در اغلب اوقات می تواند صدای آزاردهنده ای ایجاد کنند.

در موتورهای برقی همچنین یک ارتعاشات ذاتی از پالس های گشتاوری Torque Pulses وجود دارد. پالس های گشتاوری هنگامی که میدان مغناطیسی موتور قطب های استاتور را Energize می کند به وجود می آیند. فرکانس ارتعاشات در این حالت دو برابر فرکانس برق خط است اگر فرکانس 60HZ باشد فرکانس پالس گشتاوری ۱۲۰ هرتز یا 7200CPM خواهد بود پالس های گشتاوری به ندرت مسئله زاهستند مگر آنکه ارتعاشات بسیار کمی روی موتور برقی مورد انتظار باشد .

ارتعاشات ناشی از مسائل برقی موتورهای AC

این مسائل شامل:

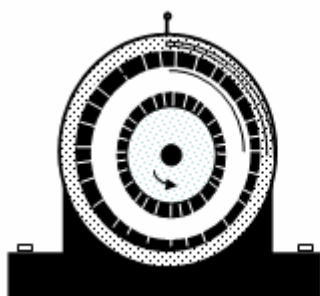
۱- مسائل استاتور

۲- مسائل رتور

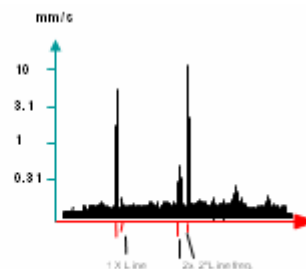
است که ذیلا به آنها اشاره می شود .

رفتار ارتعاشی ناشی از مشکلات استاتورها

این مسائل شامل خارج از مرکزی (استوانه ای نبودن داخل استاتور) اتصال کوتاه شدن تیغه ها (لایه ها) شل شدن هسته های آهنی و شل شدن سیم پیچ های استاتور است که معمولا باعث ایجاد ارتعاشات زیاد در فرکانس های دو برابر فرکانس برق Line Frequency می شود. خارج از مرکزی استاتور باعث عدم یکنواختی Air Gap بین رتور و استاتور می شود و باعث ایجاد ارتعاشات زیاد به دلیل نابالانسی الکتریکی می گردد. Air Gap در موتورهای القائی نباید بیشتر از پنج درصد در موتورهای سنکرون نباید بیشتر از ده درصد اختلاف داشته باشند. لقی پایه و پیچیدگی پایه ها می تواند عامل تغییر فاصله باشند. همچنین شل شدن هسته های آهنی که به دلیل ضعیف شدن نگهدارنده های استاتور یا لقی و اتصال کوتاه شدن لایه ها Stator Lamination بوجود می آید باعث عدم یکنواختی انتقال حرارت روی بدنه الکتروموتور می شود که می تواند باعث خمیدگی رتور و شافت آن شود و باعث ایجاد ارتعاشات القائی ناشی از درجه حرارت گردد که معمولا با گذشت زمان و گرم تر شدن موتور ارتعاشات زیادتر می شود .

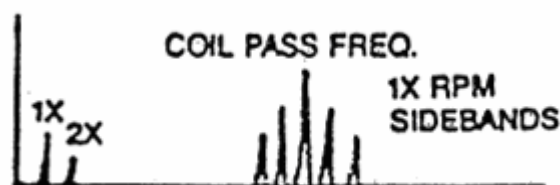


نویسن شدن استاتور
لایه های سیم پیچ های استاتور
Shored Stator Laminations
• 2nd Harmonic
of line frequency



همچنین شل بودن سیم پیچ ها در داخل استاتور Loose Stator Coils موتورهای سنکرون باعث ایجاد ارتعاشات بالا در فرکانس (CPF) Coil Pass Frequency می شود که عبارت از حاصل ضرب تعداد کوئل

های استاتور در RPM موتور (قطب / تعدادسیم پیچ تعداد قطب ها = Stator Coil) است. که این ارتعاشات معمولاً با ارتعاشات برابر دور همراه است



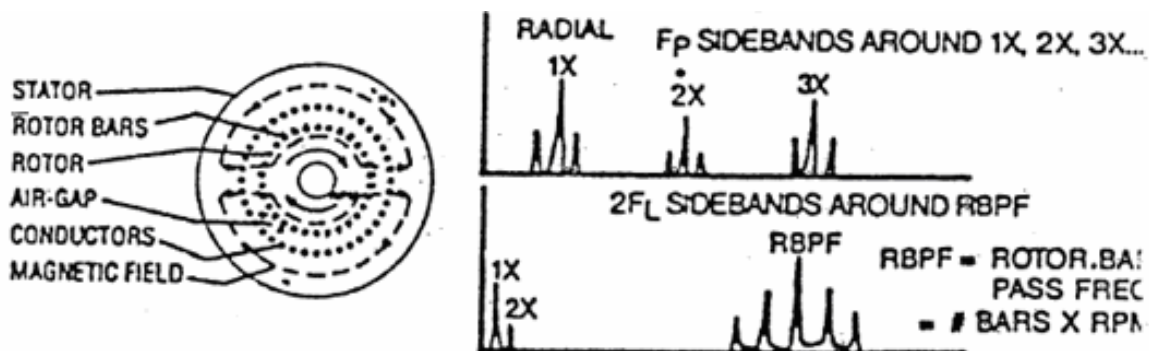
یکی دیگر از مسائل استاتورها شل بودن اتصالات Loose Connector یا شکسته شدن آنها است که باعث ایجاد ارتعاشات روی فرکانس دوبرابر فرکانس برق همراه با فرکانس های کناری ۱/۳ می باشند. که فرکانس دوبرابر معمولاً بر فرکانس های دیگر غالب است.



رفتار ارتعاشی ناشی از رتورها

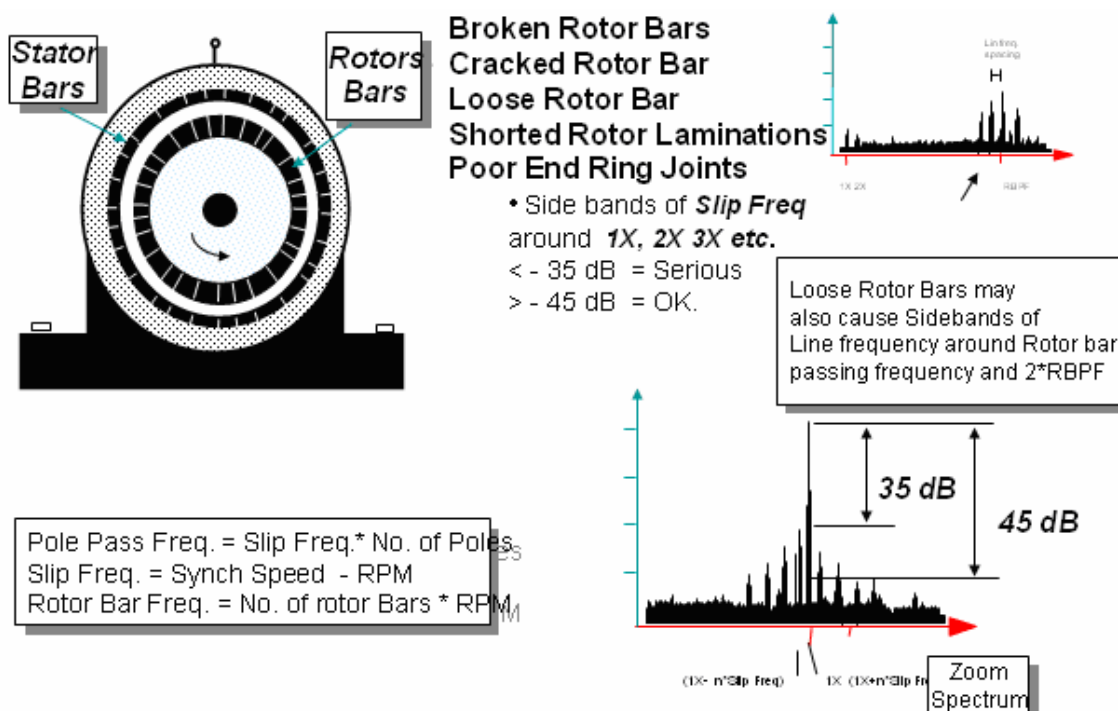
مسائل مربوط به رتورها شامل موارد زیر می باشد

- نابالانسی
- هم محور نبودن رتور با استاتور (نامتناسب بودن Air Gap)
- دوپینی
- شکسته شدن یا ترک برداشتن Rotor Bars
- شل شدن اتصالات و شکستگی میله های
- خارج از مرکزی
- خرابی یا تاقان ها
- متغیر بودن فاز لاین های مختلف

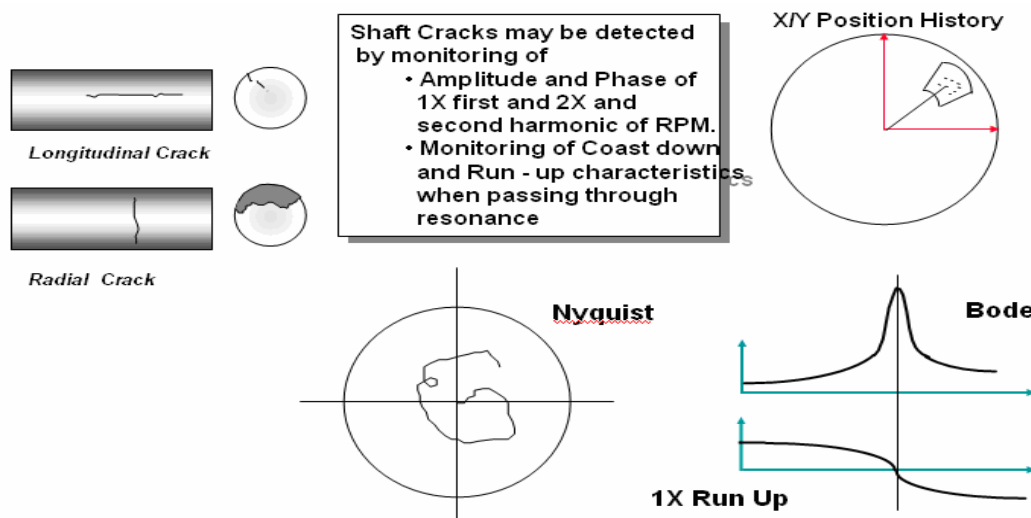


ترک داشتن رتور Rotor Bars

ترک خوردن یا شکستگی میله های رتور Rotor Bar یا رینگ ها Shorting Ring اتصال نامناسب بین میله های رتور و رینگ ها یا کوتاه شدن لائی های رتور باعث ایجاد ارتعاشات روی فرکانس برابر دور همراه بالرزش روی فرکانس های کناری قطب ها Pole Pass Frequency می شود به علاوه این که ترک های میله های رتور باعث ایجاد ارتعاشات روی هارمونیک های تاجند برابر فرکانس قطب ها FPL می کنند. شل شدن میله های رتور نیز باعث افزایش ارتعاشات روی فرکانس های دوبرابر فرکانس برق همراه با فرکانس های کناری می کند.

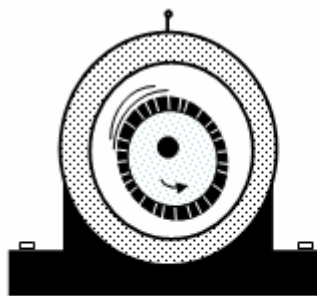


لازم به توضیح است که ترک های روی شافت ها Shaft Crack علاوه بر روش های روتین از طریق مونیتور کردن دستگاه و رسم منحنی های نایکوئیست Nyquist و منحنی های Bode که در قسمت های بعدی به آنها اشاره می شود قابل تشخیص است (شکل زیر).



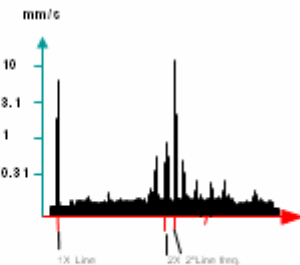
دوپین شدن رتورها

در شکل زیر شمائی از رفتار ارتعاشی رتور دوپین شده نشان داده شده است.



(Static) دوپین شدن رتور

- 2 * Line frequency and Sidebands of Pole Pass Freq. around 2 * line frequency



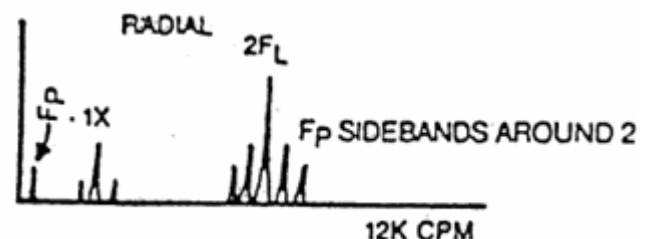
$$\begin{aligned} \text{Pole Pass Freq.} &= \text{Slip Freq.} * \text{No. of Poles} \\ \text{Slip Freq.} &= \text{Synch Speed} - \text{RPM} \end{aligned}$$

ارتعاشات ناشی از خارج از مرکز بودن رتور Eccentric Rotor

خارج از مرکز بودن رتور الکتریک و موتورهای باعث بوجود آمدن Air Gap های نامساوی بین رتور و استاتور می شود که نتیجه آن ارتعاشات پالسی (ارتعاشاتی که دامنه آن کم و زیاد می شود) بین فرکانس های دو برابر فرکانس برق و هارمونیک های دور موتور می شود که برای تشخیص مشکل نیاز به اسپکتروم متمرکز Zoom Spectrum است تا بتوان فرکانس های برقی را از فرکانس های هارمونیک متمایز نمود. لازم به توضیح است که فرکانس های برقی و مکانیکی (دور) با هم به اندازه دور لغزش Slip اختلاف دارند. رتورهای خارج از مرکز ایجاد ارتعاشات روی فرکانس دو برابر فرکانس برقی FL همراه با هارمونیک فرکانس های Pole Pass در اطراف فرکانس دور الکتریک و دور موتور می کنند. معمولاً فرکانس های قطبی FP در دورهای پایین (حدود ۲۰-۱۲۰ CPM) وجود می آیند.

(Variable Air Gap)

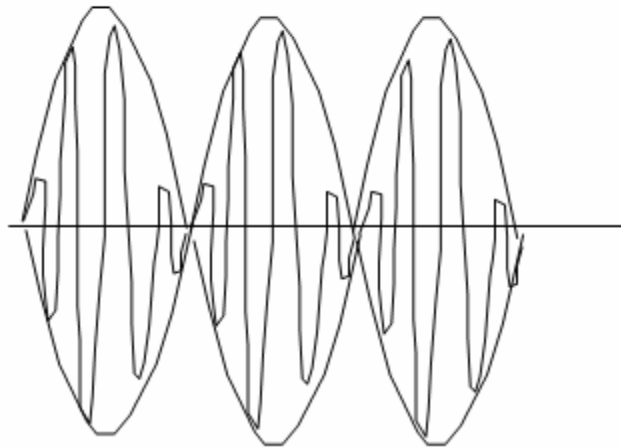
$$\begin{aligned} F_L &= \text{Electrical Line Freq.} \\ N_S &= \text{Synch. Speed} = \frac{120 F_L}{P} \\ F_S &= \text{Slip Freq.} = N_S - \text{RPM} \\ F_P &= \text{Pole Pass Freq.} = F_S * P \\ P &= \# \text{ Poles} \end{aligned}$$



ارتعاشات پالسی Beat در الکتریک و موتورها

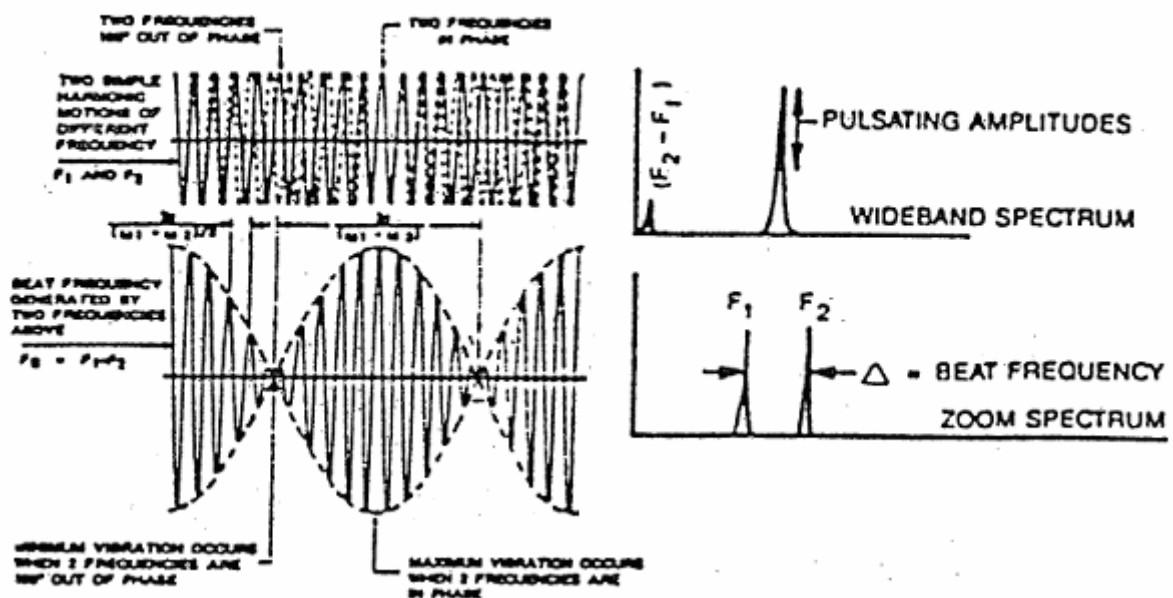
ارتعاشات Beat نتیجه ترکیب دو حرکت ارتعاشی است که فرکانس های آنها نزدیک به هم و دامنه آنها با گذشت زمان کم و زیاد می شود. این ارتعاشات می تواند ناشی از یک نیروی محرک منفرد باشد که دامنه فرکانس آن به طور پیوسته تغییر می کند و علت اصلی آن ناشی از تداخل ارتعاشات پایدار با فرکانس های نامساوی از دو یا چند منبع مختلف است و روش تشخیص آن با استفاده از اسپکتروم زوم شده Zoom Spectrum است که فرکانس های نزدیک به هم را از یکدیگر جدا می کند. ماکزیمم ارتعاشات وقتی ایجاد می شود که موج های زمانی دو فرکانس با هم هم فاز شوند و کمترین ارتعاشات وقتی بوجود می آید که زاویه فاز موج های زمانی با هم به اندازه ۱۸۰ درجه اختلاف داشته باشند.

Beat, $A_1 = A_2$



این نوع ارتعاشات به یک خصوصیت ذاتی موتورهای القائی بنام فرکانس لغزش یا Slip (تفاوت بین دور مکانیکی رتور و فرکانس الکتریکی یا فرکانس سنکرون میدان مغناطیسی دوار) مربوط می شود. فرکانس سنکرون همیشه مساوی فرکانس خط AC و یا زیر مضرب (Sub-multiple) فرکانس خطی است که به موتور برق می دهد.

BEAT VIBRATION



مثال این نوع ارتعاش، ارتعاشاتی است که در موتورهای القائی صدا و ارتعاشات نوسانی Pulsating تولید می کند. در این حالت یک نیرو در فرکانس الکتریکی خط و نیروی دیگر در فرکانس دور است. ارتعاشات Beat همچنین می تواند جایی که دو یا چند ماشین در کنار هم و در سرعت های متفاوت (نزدیک به هم) کار می کنند به وجود آید.

دو ماشین مشابه را که روی یک سازه Structure در کنار هم نصب شده‌اند را در نظر بگیرید اگر یک ماشین در دور 3600 RPM و دیگری در دور 3500 RPM کار کنند و ارتعاشاتشان در دورهای مربوطه قابل ملاحظه باشد می‌توانید یک ارتعاشات Beat با فرکانس 100 RPM که اختلاف دورهای دو ماشین است انتظار داشته باشید.

به طور کلی فرکانس ارتعاشات Beat برابر اختلاف فرکانس‌های دو نیروی محرک است و در پاره‌ای موارد ممکن است ارتعاشاتی با فرکانس مجموع فرکانس‌های محرک ملاحظه شود. همیشه فرکانس Beat بالاتر، کمتر قابل تشخیص است مگر آنکه تشدید بوجود آید.

ارتعاشات ناشی از فونداسیون ها Foundations

فونداسیون به عنوان یک تکیه گاه برای قرار گیری ماشین است و معمولاً باید از تجهیزات دوار سنگین تر باشد و طوری طراحی شوند که فرکانس ارتعاشات آن بسیار پایین تر از فرکانس تجهیزات دوار باشد. جهت خنثی کردن ارتعاشات از انواع فونداسیون استفاده می‌شود که شامل:

۱- فونداسیون‌های زیر زمینی ثابت.

۲- فونداسیون‌های سطحی.

۳- فونداسیون‌های آزاد.

۴- فونداسیون‌های معلق.

باتوجه به این که ساختمان فونداسیون پیچیده نیست ولی از نظر مسائل ارتعاشی اهمیت خاصی دارند و عیوبی نظیر تحریک سازه ای Resonance نشست های تکیه گاهی، لقی، انعطاف پذیری عرضی و..... جای بحث و بررسی دارند که هر کدام از این موارد ایجاد ارتعاشاتی با فرکانس‌های مختلف می‌کنند. این عیوب گاهی خیلی ساده و قابل رفع و گاهی نیز ماهیت پیچیده تری دارند. لقی در اجزا غیر دوار توسط هارمونیک‌های دور اصلی $1 \times \text{RPM}$ و بویژه نصف آن $0.5 \times \text{RPM}$ نمایان می‌شود و بیشتر در جهت شعاعی است.

عیوب تکیه گاهی به دلیل اثرات مخربی که دارند در خرابی تجهیزات بسیار موثرند. یک مشکل جزئی نظیر شل بودن پیچ‌های تکیه گاه همراه با شوک‌های مداوم خود به سادگی کل تجهیزات را تأثیر قرار می‌دهد و باعث به هم خوردن وضعیت هم محوری می‌شوند و همین طور جدا شدن اپوکسی یا گروت زیر Base Plate باعث ایجاد لرزش شود.

ارتعاشات ناشی از نیروهای رفت و آمدی Reciprocating Action

ماشین آلای مثل پمپ‌ها و کمپرسورهای رفت و آمدی پیستونی معمول دارای ارتعاشات ذاتی ناشی از حرکت رفت و آمدی خود را دارند. ارتعاشات آنها ناشی از اینرسی قطعات مختلف رفت و آمدی و تغییرات گشتاوری ناشی از تغییرات فشار روی پیستون‌ها است.

آنالیز ارتعاشات ماشین‌های رفت و آمدی می‌تواند به دلیل فرکانس‌های مختلفی که وجود دارد گاهی نسبتاً پیچیده شود فرکانس‌های که به طور نرمال به آنها برخورد می‌شود ۱ و ۲ برابر دور RPM اند اگر چه مضارب بالاتر هم بسته به تعداد پیستون‌ها و ارتباطشان با یکدیگر متداول می‌باشد.

به طور کلی فرکانس های ارتعاشی با مضارب بالا در ماشین های رفت و آمدی ذاتی بوده و به ندرت مسئله را هستند مگر آن که باعث ایجاد شرایط تشدید شوند .

مسائل ارتعاشی حاد روی ماشین های رفت و آمدی می تواند ناشی از مسائل مکانیکی یا عملیاتی باشند مسائل مکانیکی شامل نابالانسی و ناهم محوری، خمیدگی شافت، لقی برینگ ها و است .چند راه برای تشخیص مسائل مکانیکی از عملیاتی وجود دارد برای مثال مسئله ای مثل اشکال در جرقه زدن معمولا علاوه بر افزایش لرزش باعث کاهش شدید راندمان ماشین هم می شود از طرف دیگر یک مسئله مکانیکی مثل نابالانسی ممکن است هیچ اثری روی راندمان کلی نداشته باشد.

همچنین نیروهای رفت و آمد ناشی از مسائل عملیاتی در جهات مختلف نابرابر است ولی می توان انتظار داشت که درجهت موازی حرکت رفت و آمد ، افزایش ارتعاشات زیاد و درجهت عمود به این حرکت ارتعاشات کمی وجود داشته باشد این در صورتی است که مسائل مکانیکی مثل نابالانسی و ناهم محوری در دو یا چند جهت افزایش قابل ملاحظه ای دارند.

پیدا کردن عیوب به وسیله تجهیزات کامپیوتری

باتوجه به خطاهای اجتناب ناپذیر انسانی و نیاز مبرم به سیستم های تعمیرات پیش بینانه برای پیدا کردن عیوب پنهانی دستگاه هاوماشین آلات و تخصصی بودن کار آنالیز در اغلب اوقات برای عدم نیاز به نیروهای تخصصی در این زمینه وهمچنین برای ماشین آلات خیلی گران قیمت وحساس ودرموردی مثل هواپیماهای جنگی پیشرفته وهواپیماهای مسافربری غول پیکر که تعداد زیادی مسافراجابجا می کنندازسیستم های هوشمند آنالیز ارتعاشات وانالیز روغن استفاده می شود که بانجام آنالیزهای ارتعاشات پیشرفته (همچنین آنالیز روغن)نسبت به پیدا کردن عیوب روی دستگاه اقدام وعیب پنهانی روی مونیتورنمایش داده می شود تا پراتوردستگاه فرصت مناسبی برای انجام اقدامات لازم داشته باشد.

البته در طی سال های گذشته این تجهیزات نرم افزاری کامپیوتری پیشرفته در صنایع دیگر نیز وارد تحت نام هائی نظیر PM Power Adviser و.....مورد استفاده قرار گرفته است که دارای مزایا ونقاط ضعفی نیز می باشند که ذیلا به انها اشاره می شود.

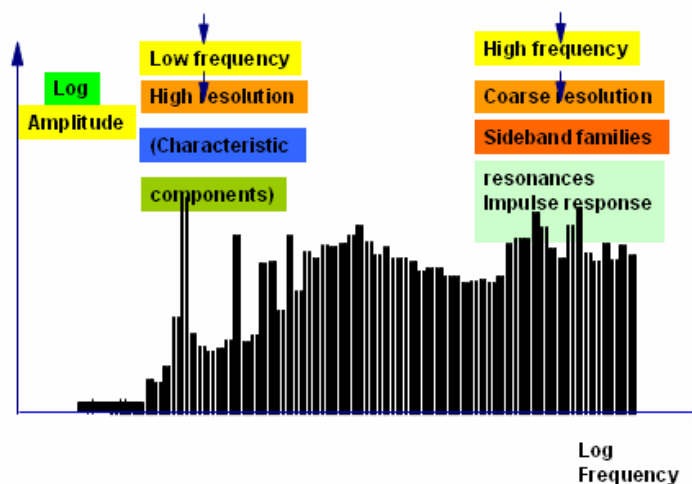
۱- برای این که بتوان از این نرم افزارها استفاده نمود باید تمامی مشخصه های اصلی و جزئی ماشینی که کار آنالیز ارتعاشات روی آن انجام می شود را برای نرم افزار تعریف نمود (نوع دستگاه تعداد مراحل دور نوع پروانه تعداد پره های پروانه نوع یاتاقان سائیز یاتاقان فرکانس طبیعی شافت نوع کوپلینگ نوع سیستم روغنکاری نوع چرخ دنده تعداد دنده های چرخ دنده ها و..... که هر کدام از این المان هائی تواند باعث ایجاد ارتعاشات در فرکانس های مربوط به خود باشد).

۲- کاربرد اصلی این نرم افزارها برای دستگاه های بزرگ است واستفاده های عمومی از آنها باعث کاهش دقت نتایج حاصله می شود.

۳- هیچ دستگاه ساخت بشری دقیق تر از فکر انسان نیست ولذا دقت آن در بیشتر موارد بخصوص کارهای عمومی کمتر از آنالیز انسانی است.

Constant Percentage Bandwidth Spectrum

• Best tools for Detection of Potential Failure Modes



آنالیز ارتعاشات بر اساس اندازه گیری زاویه فاز ارتعاشات

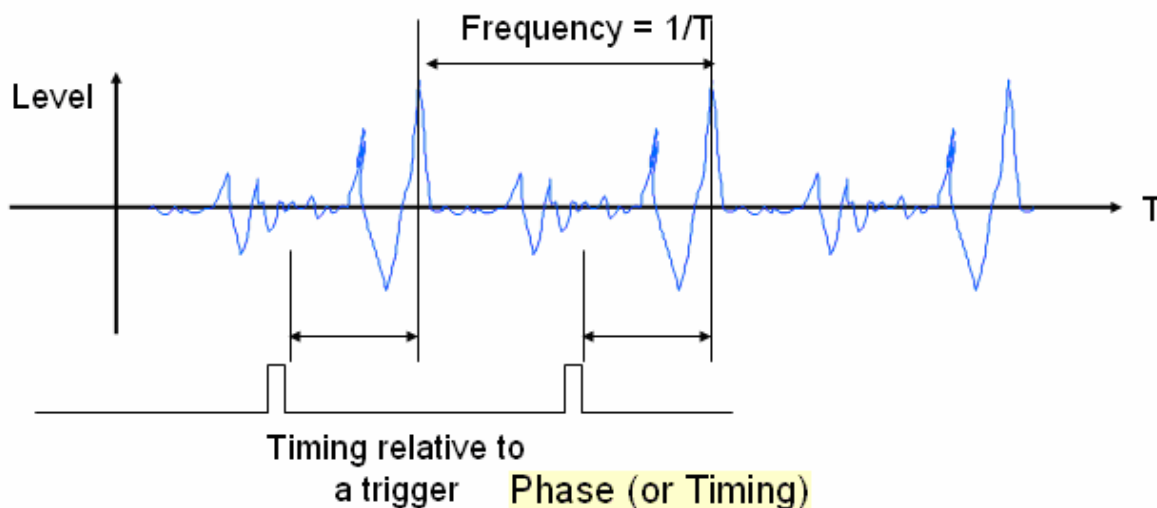
همانطور که قبلاً نیز اشاره شد هر منحنی ارتعاشی با سه مشخصه زیر مشخص می شود:

۱- دامنه ارتعاش Vibration Level

۲- فرکانس ارتعاش Vibration Frequency

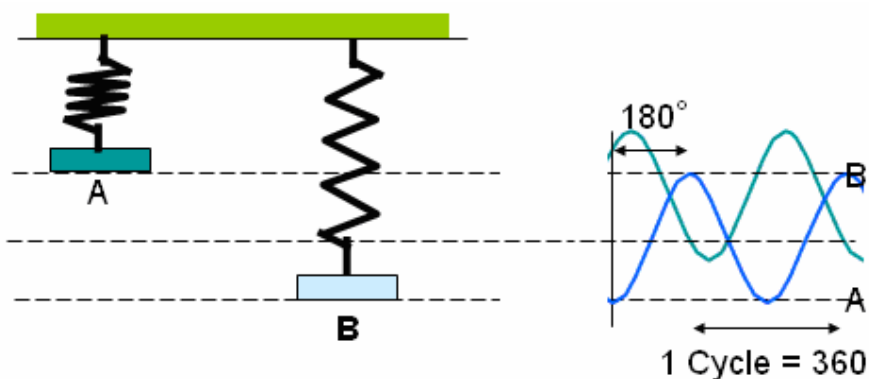
۳- زاویه فاز ارتعاش Vibration Phase

مشخصه های فوق در منحنی زیر نشان داده شده است.



زاویه فاز یک کمیت نسبی است که برای تعیین حرکت ها و ارتعاشات نسبی بین قطعات جهت تشخیص عیوب مکانیکی مورد استفاده قرار می گیرد (البته هر جابجی زاویه فاز می شود منظور اختلاف زاویه فاز است). با اندازه گیری زاویه فاز در نقاط و جهت های مختلف و مطالعه آنها امکان تشخیص و تفکیک عیوب میسر می گردد.

همین طور که ملاحظه می شود در شکل زیر دو قطعه ذیل با 180° درجه اختلاف زاویه فز نسبت به هم حرکت می کنند به عبارت دیگر وقتی قطعه A در قسمت منتهی الیه بالا قرار دارد قطعه B در منتهی الیه قسمت پایین واقع می شود.



در شکل فوق ارتعاشات دو قطعه A و B نسبت به هم 180° درجه اختلاف زاویه فاز دارند

موارد کاربرد زاویه فاز ارتعاشات

- ۱- برای بالانس جرمی رتورهای ماشین آلات .
- ۲- برای تفکیک عیوبی که رفتار ارتعاشی یکسانی دارند .
- الف- برای تشخیص نا هم محوری از خمیدگی (تفکیک انها از یکدیگر) .
- ب- برای تشخیص خمیدگی محور از نابالانسی .
- ج- برای تشخیص نابالانسی از نا هم محوری .
- ۳- برای چک کردن لقی ها .
- ۴- تعیین شکل موج های ارتعاشی

روش اندازه گیری زاویه فاز

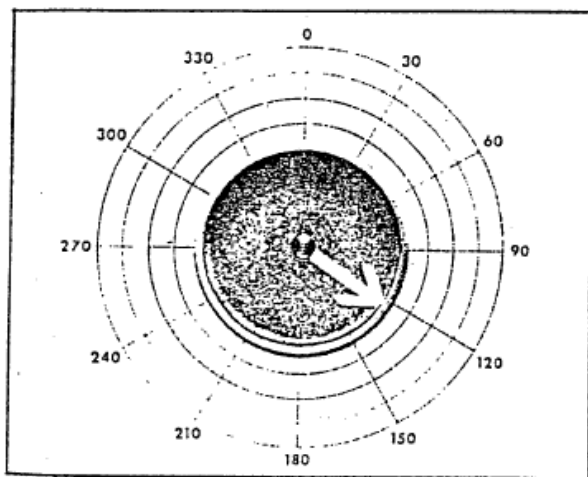
برای اندازه گیری زاویه فاز از روش های مختلفی استفاده می شود که ذیلا به شرح آن پرداخته می شود:

۱- اندازه گیری زاویه فاز با استفاده از چراغ استروب

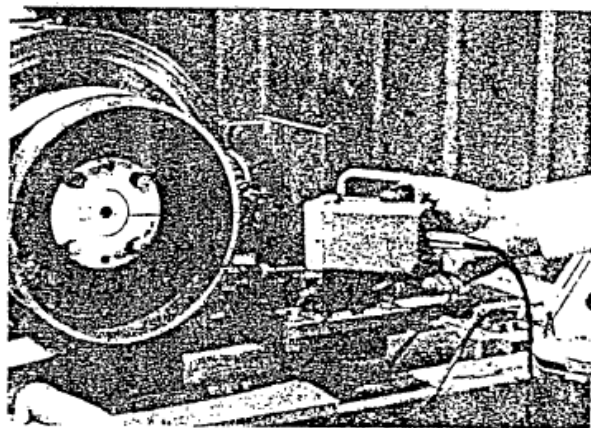
۲- اندازه گیری زاویه فاز با استفاده از فتوسل

استروب لایت یک وسیله قدیمی برای اندازه گیری زاویه فاز است. برای اندازه گیری زاویه فاز لازم است از یک علامت مرجع زاویه ای ثابت Refrence روی یک قسمت از محور استفاده شود در روش اندازه گیری زاویه فاز با استفاده از چراغ استروب با استفاده از کارت Refrence Phase که شامل یک مقوایی است که به اندازه قطر شافت (کمی بیشتر) سوراخ شده و محیط آن از ۰ تا ۳۶۰ درجه تقسیم بندی شده است اندازه گیری می شود و روش کار به این صورت است که چراغ استروب با دستگاه ارتعاش سنج Trigger می شود (فرمان تنظیم فلش استروب از دستگاه صادر می شود) و دستگاه راه اندازی می شود در این حالت نقطه مرجع Refrence یا نشانه ای که روی محور نصب شده (خط رنگی، کلید، برآمدگی یا.....) روبروی یکی از درجات واقع می شود که مبین زاویه فاز ارتعاشات آن نقطه است که پیک آپ ارتعاش سنج روی آن قرار داده شده است.

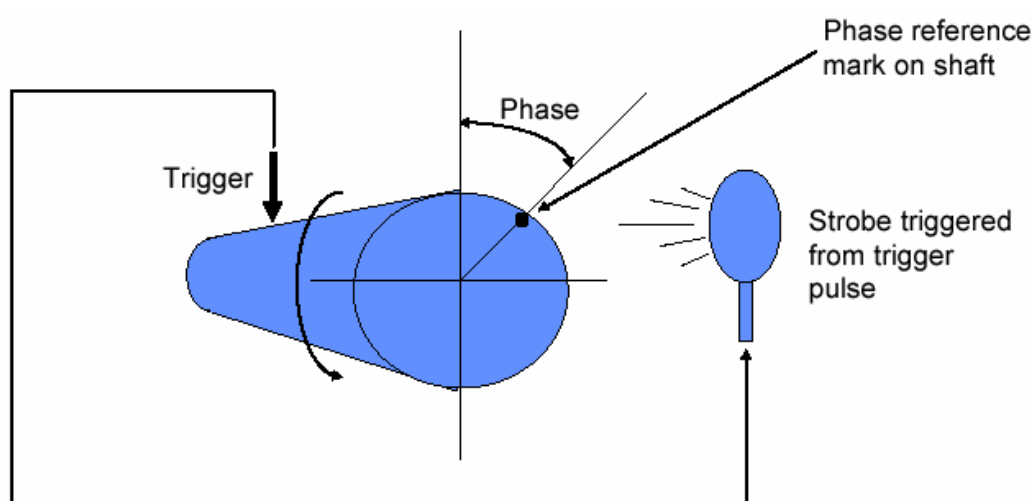
کارت رفرنس فاز



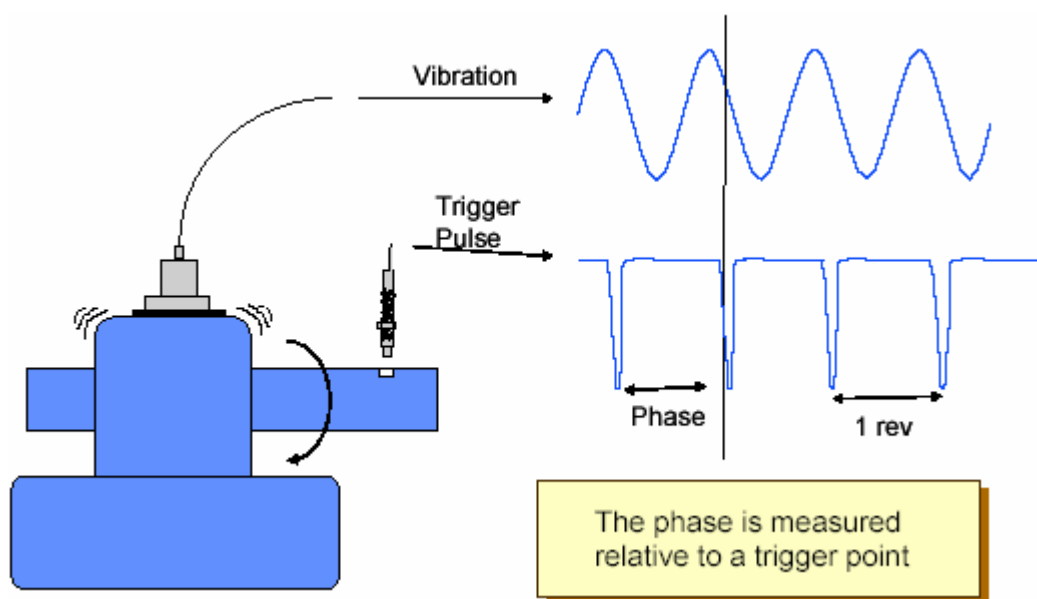
در صورت برابری سرعت فلاش با دور ماشین، شافت زیر نور استروب ساکن به نظر خواهد رسید



در طی اندازه گیری زاویه فاز علامت Reference ثابت باقی می ماند و پیک آپ اندازه گیر لرزش در نقاط مختلف قرار می گیرد که در هر نقطه یک زاویه فاز قرائت می شود. روش کار به این صورت است که روی هر یاتاقان درجهت های محوری یا جهت های شعاعی (در هر دو طرف محل قرار گیری یاتاقان روی هورینگ برینگ ها) اندازه گیری و یاد داشت می شود و بسته به این که چه نقاطی با هم هم فاز باشند یا نباشد و بر اساس اختلاف زاویه فاز به دست آمده برای قسمت های مختلف امکان تشخیص و تفکیک عیوب ارتعاشی میسر می گردد.



در روش اندازه گیری زاویه فاز با استفاده از فتوسل مراحل کار به این صورت است که با چسباندن یک قطعه شبرنگ یا Reflector Tape روی شافت (به عنوان زاویه فاز صفر درجه که نور را منعکس می کند) و نصب یک دستگاه فتوسل در موقعیت مناسب و روبروی شبرنگ زاویه فاز از روی دستگاه آنالیز ارتعاشات قابل قرائت است.

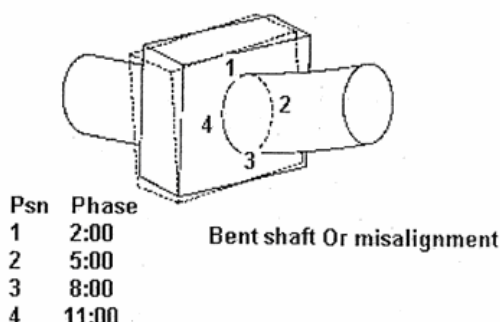


برای اندازه گیری زاویه فاز باید فیلتر آنالیز روی فرکانس سرعت دورانی دستگاه تنظیم شود و تمامی نقاط بایک مرجع Reference سنجیده شود.

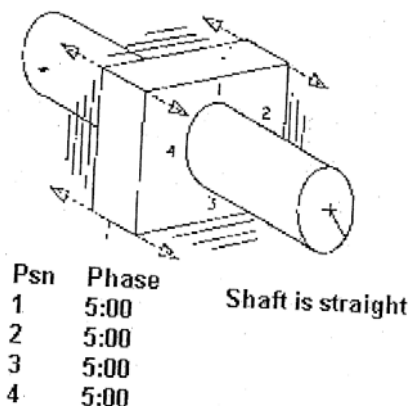
اصول زیر برای برای آنالیز زاویه فاز کمک بیشتری خواهد کرد

۱- اگر محور پیک آب تغییر جهت (زاویه) بدهد زاویه فاز نیز باید تغییر جهت دهد.

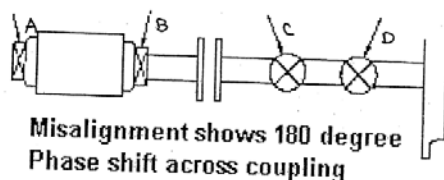
۲- اگر زاویه فاز روی یک یاتاقان (که در جهت های محوری اندازه گیری شده) در چهار وضعیت (ساعت ۱۲، ۳، ۶، ۹) تفاوت قابل ملاحظه ای داشته باشند مبین حرکت و پیچشی شافت در داخل یاتاقان است (یا خمیدگی یا کج بودن هوزینگ برینگ نسبت به بدنه دستگاه)



۳- اگر چهار زاویه فاز اندازه گیری باشد روی یک یاتاقان (در جهت محوری) تقریباً یکسان باشند مبین حرکت رفت و برگشتی شافت در داخل یاتاقان است که به تنهایی مشکل مشخص نمی شود و نیاز به اندازه گیری های بیشتری روی دیگر یاتاقان ها است.

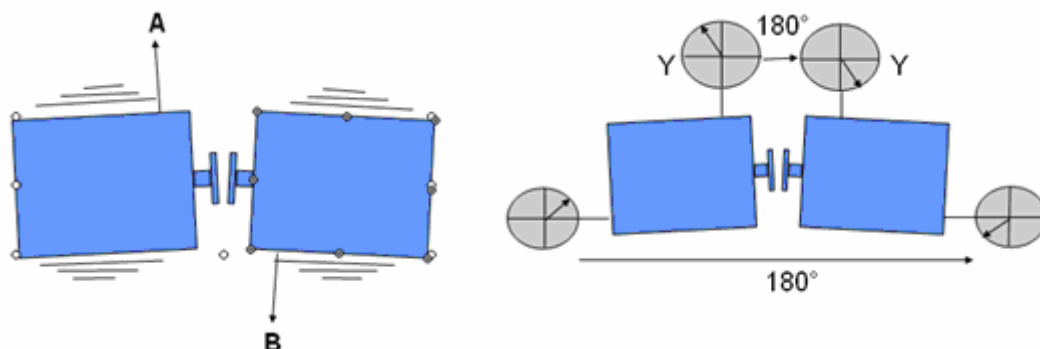


۴- اگر اختلاف فاز زیادی بین دو برینگ مجاور کوپلینگ وجود داشته باشد احتمال نام هم محوری Missalignment خیلی زیاد است.



A	B	C	D
1 3:00	1 3:00	1 9:00	1 9:00
2 3:30	2 3:30	2 9:00	2 8:30
3 3:30	3 3:00	3 9:00	3 9:00
4 3:00	4 2:45	4 9:00	4 9:00

در شکل زیر موضوع فوق بطور واضح تری نمایش داده شده است در حالت ناهم محوری وقتی پیک آپ ارتعاشات در نقطه A قرار داده می شود مقدار زاویه فاز قرائت شده با وقتی که پیک آپ در نقطه B واقع می شود این نقاط با هم ۱۸۰ درجه اختلاف زاویه فاز نشان می دهند.



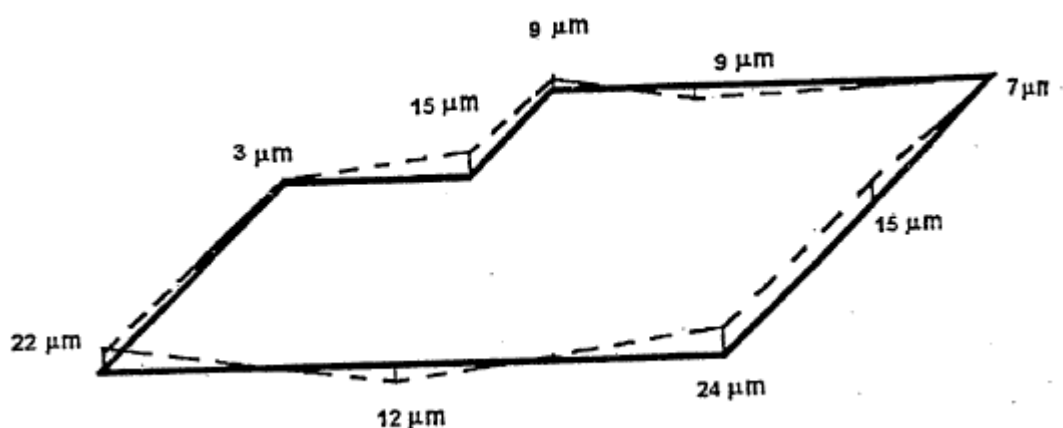
۵- اگر اختلاف فاز بین دو برینگ یک ماشین در یک جهت زیاد باشد احتمال خوردگی یا هم محور نبودن هوزینگ برینگ ها وجود دارد .

۶- اگر تمامی برینگ ها در کل یک سیستم هم فاز باشند بیشترین شکل نابالانسی است.

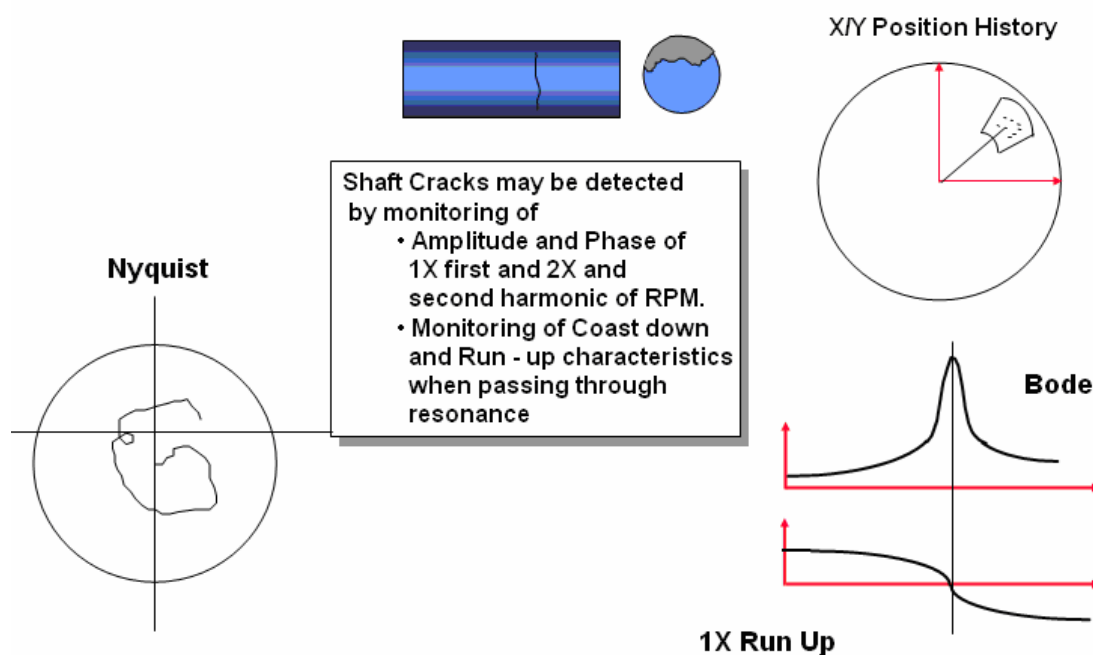
۷- اگر با تغییر موقعیت پیک آپ (مثلا ۹۰ درجه) زاویه فاز نیز در همان جهت و به همان اندازه تغییر کند نابالانسی باید چک شود .

یکی دیگر از موارد کاربرد زاویه فاز در عیب یابی تعیین شکل موج های ارتعاشی قطعات Mode Shape است به معنای دیگر تغییر شکل قطعه در حین ارتعاش که بیشترین کاربرد آن در سازه ها، فونداسیون ها، لوله ها و است. روش کار به این صورت است که در حین کار ماشین زاویه فاز در طول سازه و در نقاط معین اندازه گیری و سپس روی یک محور (عمودی) با همان مقیاس برده می شود و سپس نقاط انتهایی راویای فاز به همدیگر متصل می شوند که منحنی بدست آمده شکل Mode Shape های ارتعاشی را نشان می دهد و با توجه به این مد شیب ها نقاطی که نیاز به تقویت دارند (بیشترین تغییر شکل را دارند) مشخص می شوند که برای بهینه سازی روی سیستم های Piping برای نصب ساپورت در موقعیت های مورد نیاز و کمک موثری خواهد کرد.

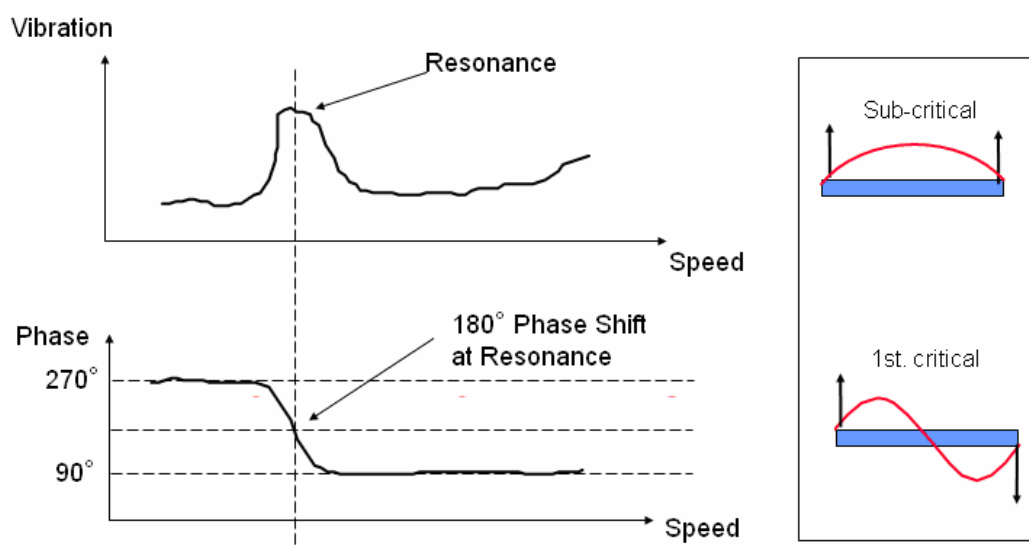
در زیر یک نمونه آورده شده است.



یکی دیگر از موارد کاربرد زاویه فاز برای تشخیص ترک های ایجاد شده روی شافت است که بامونیتور کردن دامنه وزاویه فاز هارمونیک های اول و دوم دور ماشین و همچنین امکان تشخیص آن وجود دارد. البته برای تشخیص بهتر نیاز به منحنی های نایکوئیست و Bode و همچنین مونیتور نمودن منحنی های راه اندازی و توقف در حین رزونانس ضروری است. در شکل زیر موارد فوق نمایش داده شده است.

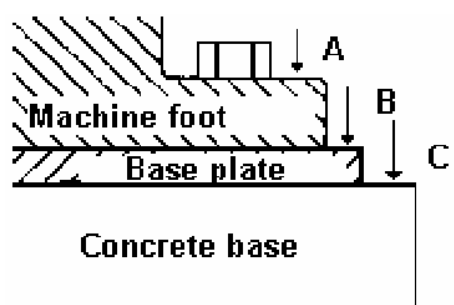


یکی دیگر از موارد کاربرد زاویه فاز برای اندازه گیری دور بحرانی اول یا دوم ماشین آلات و همچنین حالت رزونانس است که در این حالت زاویه فاز ۱۸۰ درجه تغییر پیدا کند.

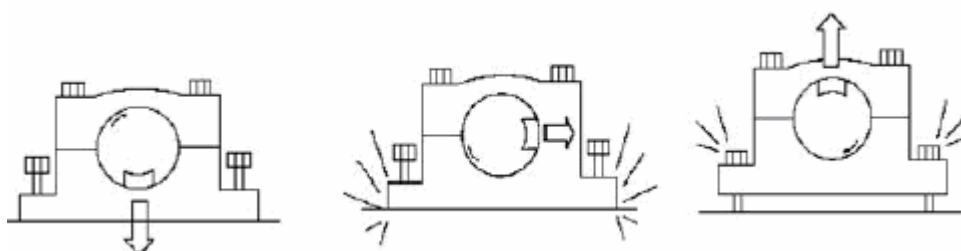


مالش یا Rubbing شافت باعث تغییرات لحظه ای چشمگیر زاویه فاز می شود.

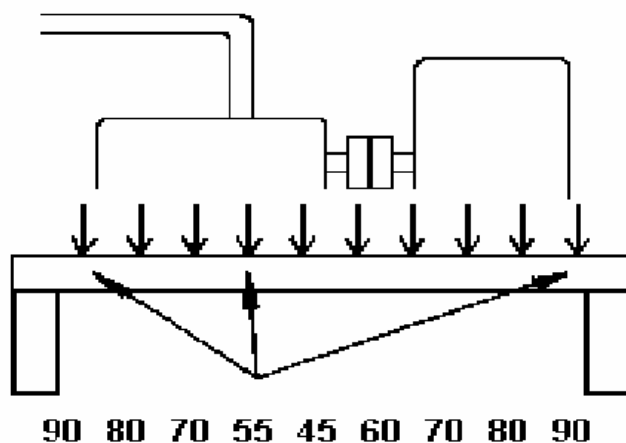
درحالتی که پیچ های نگهدارنده پایه ماشین شل باشد اختلاف فاز ۱۸۰ درجه ای بین فوندانسیون و شاسی ملاحظه می شود.



در مواردی هم که برینگ در داخل هوزینگ لقی داشته اختلاف فاز بین نقاط روبروی هم ۱۸۰ درجه خواهد بود.



یکی دیگر از کاربردهای زاویه فاز برای شناسائی وضعیت دینامیکی شاسی و فوندانسیون است که در صورتی که شاسی ضعیف باشد می تواند باعث به هم خوردن وضعیت هم محوری در حین کار دستگاه شود Dynamic Misalignment که تشخیص آن تنها با استفاده از آنالیز زاویه فاز است زیرا در حالت استاتیکی هم محوری خوب است.



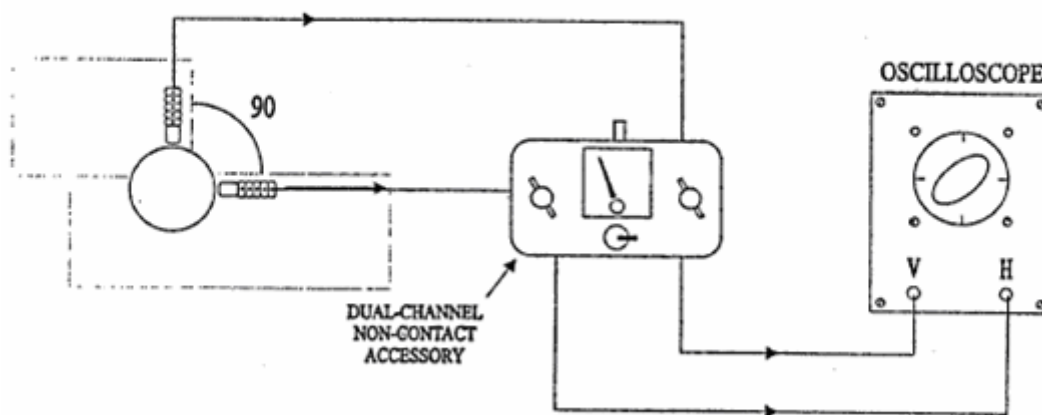
لازم به توضیح است یکی از موارد کاربرد مهم زاویه فاز برای بالانس نمودن جرمی ماشین آلات است.

آنالیز ارتعاشات با استفاده از منحنی های Orbit

در این روش از دو پیک آپ Non Contact که یکی بصورت افقی و دیگری به صورت عمودی (با زاویه ۹۰ درجه) روی محور نصب می شود استفاده می شود خروجی پیک آپ های فوق به دستگاه آنالیزر دو کاناله متصل می شوند و خروجی های اسیلاتور داخلی دستگاه آنالیزر نیز به محورهای افقی و عمودی اسیلوسکوپ متصل می شود درحین کار دستگاه منحنی هایی روی دستگاه اسیلوسکوپ مشاهده می شود که هر کدام از آنها مبین نارسائی ماشین است.

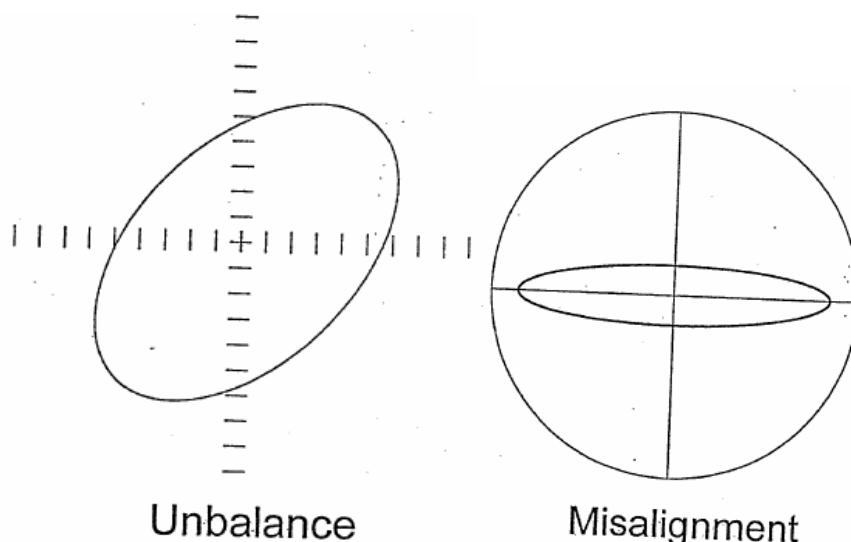
در شکل زیر شمائی از سیستم فوق نشان داده شده است.

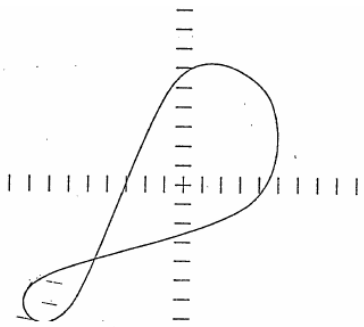
A typical setup for generating Lissajous Orbits



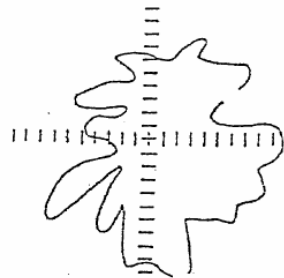
ذیلا چندین نمونه از منحنی های اربیت مربوط به عیوب متعدد که روی ماشین آلات مختلف بدست آمده همراه با علت مربوطه نشان داده شده است. البته کاربرد این روش برای ماشین آلاتی است که یاتاقان های نوع ژورنال داشته باشند.

البته لازم به توضیح است که روش فوق به تنهایی قادر به تشخیص عیوب نمی باشد و باید از آنالیزهای دیگری نظیر آنالیز زاویه فاز نیز استفاده نمود به عبارت دیگر روش فوق مکمل روش های دیگر است.

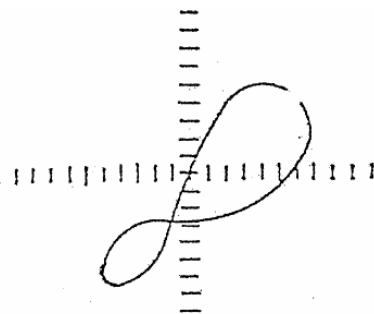
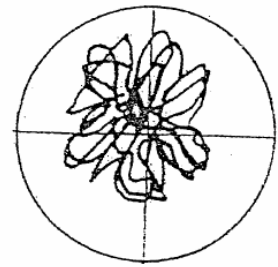




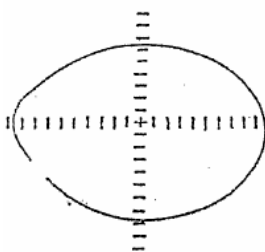
Misalignment and looseness combined



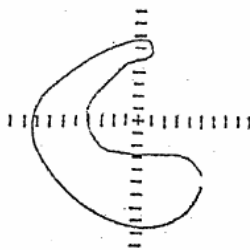
Heavy or full Rub



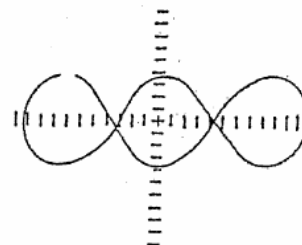
Misalignment where 1x rpm 2x rpm have 2:1 ratio



A TRUNCATED ORBIT

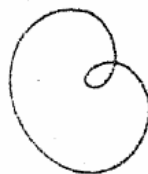


A BANANA-SHAPED ORBIT

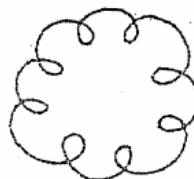


A COMPLEX-SHAPED ORBIT

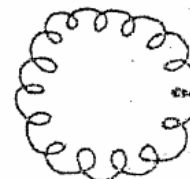
Excessive misalignment examples



LIGHT HIT



MEDIUM HIT



HEAVY HIT

Hit and bounce in a rotor rub situation

آنالیز روغن Oil Analysis

آنالیز روغن از چندین سال پیش در اکثر صنایع کشورهای پیشرفته به عنوان یک ابزار بسیار مفید و مناسب برای اهداف و مقاصد زیادی اعم از شناسایی عیوب، علل خرابی ها، کیفیت نوع روغن خریداری شده و..... مورد استفاده قرار گرفته که در صورت اجرای صحیح آن در صنایع مختلف می تواند گامی بلند و تحولی اساسی در جهت حفظ سرمایه های ملی و کاهش وابستگی ها و مصرف بهینه روغن بوجود آورد.

روغن نیز همانند خونی که در رگ های بدن انسان حرکت می کند و علاوه بر وظیفه اصلی، حامل میکروب ها و بیماری هانیز هست در قسمت های مختلف ماشین آلات حرکت و سرکشی می کند و حامل اطلاعات زیادی از وضعیت قطعات و فرسایش های اتفاق افتاده است. روغن نیز این نشانه ها را به اطلاعات با ارزشی که به اهداف نگهداری و تعمیرات کمک می کند تبدیل می نماید. با نمونه گیری منظم روغن از یک دستگاه و بانجام آزمایشات برنامه ریزی شده بطور مستمر و با آنالیز و تجزیه و تحلیل کردن آن می توان یک روش بسیار موثر برای نظارت بر وضعیت عملکرد دستگاه ها و ماشین آلات مختلف بوجود آورد و با شناسایی یک اشکال کوچک که در ماشین رخ داده می توان از خرابی های بزرگتر که می تواند باعث ایجاد خرابی ها و افزایش هزینه های ایجاد شده شود جلوگیری نمود.

بطور مثال با اندازه گیری روند افزایشی سیلیکون موجود در روغن شرایط سیستم هواکش مشخص می شود و وجود آهن و آلومینیوم در روغن مبین سایش سیلندر و پیستون است، رقیق شدن روغن مبین ورود سوخت، آب و یا ضدیخ به داخل روغن است، غلیظ شدن روغن مبین اکسیده شدن آن است، وجود آلودگی و ذرات کربن مبین گرفتگی سیستم هواکش، غیر موثر بودن فیلتر روغن، یا احتراق ناقص، وجود ذرات فرسایشی مختلف ناشی از سایش های قسمت های مختلفی که نسبت به هم حرکت دارند و..... که همه این موارد باتعیین نوع و گراندرویی اولیه روغن، ساعت کارکرد روغن با نمونه گیری منظم و برنامه ریزی شده روغن و انجام آزمایشات مورد نیاز روی آن و آنالیز روغن محقق می شود.

بطور کلی آنالیز و آزمایش روغن به منظورهای زیر انجام می شود :

۱- حصول اطمینان از وضعیت سلامت دستگاه .

۲- شناسایی عیوب احتمالی در مراحل اولیه و در بدو تشکیل عیب .

۳- شناسایی عوامل فرسایشی و استهلاک های غیر عادی .

۴- کاهش هزینه های تعمیراتی و تعویض به موقع قطعات .

۵- اقدامات اصلاحی به موقع و قبل از بروز خسارت ها ی جدی.

۶- کمک در برنامه ریزی های تعمیرات دستگاه ها و ماشین آلات .

۷- کنترل کیفیت قطعات و لوازم یدکی و مصرفی .

۸- توسعه تکنیک های عیب یابی .

۹- صرفه جویی در روغن مصرفی .

۱۰- تعویض بهینه روغن و فیلتر روغن.

۱۱- مشخص شدن میزان و نوع آلودگی های روغن.

۱۲-بهبود نمودن سیستم PM و کنترل کردن اجرای آن .

۱۳-کنترل های مدیریتی بیشتر بر کل سیستم .

۱۴-کنترل کیفی تدارکات و خریدروغن .

۱۵-کنترل سیستم انبار داری .

۱۶-انجام امور تحقیقاتی .

۱۷-هشدار به موقع و تشخیص عیب مدت ها قبل از بروز خسارت (تعمیرات پیش بینانه).

۱۸-کنترل مطمئن اقدامات پیشگیرانه .

حسن روش عیب یابی دستگاه ها بر اساس آنالیز روغن این است که قبل از بروز خرابی جدی ,مشکل ماشین در نطفه شناسایی می گردد و اقدامات اصلاحی مورد نیاز برای آن انجام می شود (برخلاف آنالیز ارتعاشات که پس از بوجود آمدن مشکل و ایجاد خرابی اقدامات اصلاحی روی ماشین انجام می شود) البته این دلیل برکنار گذاشتن آنالیز ارتعاشات نیست بلکه این روش ها و روش های دیگر در کنار هم و باهم دارای بهترین راندمان و کارآیی می باشند .

اصول کلی آنالیز روغن

این روش شامل مراحل اجرائی زیر است:

الف-نمونه گیری از روغن طبق روش های استاندارد در فواصل زمانی معین .

ب-ارسال نمونه های مختلف همراه مشخصات روغن و زمان کارکرد آن همراه با نمونه اصلی روغن مصرف شده در دستگاه به آزمایشگاه های آنالیز روغن .

پ-انجام آزمایش های لازم روی روغن.

ت- مقایسه نتایج بدست آمده با نتایج نمونه های قبلی(روندتغییرات) .

ث-بررسی نوع شکل و اندازه ذرات موجود در روغن با استفاده از تکنیک های مختلف.

ج-آنالیز و تجزیه و تحلیل اطلاعات بدست آمده و ارائه توصیه ها و اقدامات فنی مورد نیاز.

چ-انجام اقدامات پیشگیرانه و توصیه های لازم اصلاحی.

که ذیلا به شرح برخی از موارد مهم مطرح شده فوق پرداخته می شود.

نکات مهم در نمونه گیری روغن از ماشین آلات

نمونه گیری از روغن از اهمیت زیادی برخوردار است و در صورتی که نمونه روغن گرفته شده نمونه واقعی از روغن موجود در سیستم نباشد می تواند باعث ایجاد خطا در نتایج بدست آمده و تصمیم گیری غلط شود.

۱- بسته به شرایط محیطی کار دستگاه معمولا فاصله های زمانی نمونه گیری توسط مهندس مراقب وضعیت تعیین می گردد و بستگی به نوع ماشین دارد .

۲- به جز موارد خاص, نمونه گیری در ساعت کارکرد پایین توصیه نمی شود زیرا معمولا نمونه روغن با ساعت کارآیی پایین فاقد اطلاعات کافی است .

- ۳- معمولاً برای موتورها (احتراق داخلی) نمونه گیری قبل از تعویض روغن انجام می شود ولی در صورتی که وضعیت دستگاه مشکوک یا غیر عادی باشد نمونه گیری به صورت موردی نیز انجام خواهد شد ولی در ماشین آلات صنعتی که عمر روغن چندین هزار ساعت است بر اساس زمان کار تعیین می شود .
- ۴- برای نمونه گیری از ظروف نمونه گیری یکبار مصرف تمیز باید استفاده شود .
- ۵- برای پیشگیری از آلودگی ، درب ظروف نمونه گیری قبل و بعد از نمونه گیری باید بسته باشد .
- ۶- نمونه گیری همیشه باید از یک نقطه مشخص و با یک روش مشابه انجام شود .
- ۷- ظروف نمونه گیری نباید کاملاً پر شوند بلکه $1/3$ آنها باید خالی باشد .
- ۸- نمونه گیری روغن باید قبل از فیلتر انجام شود.
- ۹- نمونه روغن باید طوری باشد که نماینده واقعی روغن ماشین باشد.
- ۱۰- قبل از نمونه گیری دستگاه باید برای مدتی کار کرده باشد .
- ۱۱- نمونه نباید از کف یا قسمت بالای روغن گرفته شود بهترین محل برای نمونه برداری قسمت وسط عمق مخزن روغن است .
- ۱۲- نمونه گیری باید توسط پمپ مخصوص این کار انجام شود.
- ۱۳- با توجه به آلوده شدن شیلنگ پس از هر بار نمونه گیری باید به صورت زیر عمل شود :
الف - قسمت های بیرونی شیلنگ با دستمال یک بار مصرف تمیز شود .
ب - ظروف نمونه یک بار مصرف به پمپ بسته و اقدام به کشیدن نمونه روغن شود پس از پر شدن ظرف آن را از پمپ باز نموده و محتوای آن دور ریخته شود .
ج - ظرف تمیز نمونه برای آزمایش به پمپ بسته می شود و نمونه گیری در آن انجام شود .
- ۱۴- اطراف محل نمونه گیری باید قبلاً تمیز شده باشد.
- ۱۵- دقت شود هنگام نمونه گیری ، آلودگی های محیطی نظیر آب ، باران یا گرد و خاک وارد ظرف نمونه نشود.

اهداف و نتایج حاصل از آزمایشات آنالیز روغن

- ۱- اندازه گیری فلزات حاصل از سایش و فرسایش که افزایش مقدار یک یا چند فلز در نمونه نشان دهنده سایش بعضی از قطعات است.
- ۲- اندازه گیری سیلیکون که آلودگی های موجود در روغن اعم از گرد و غبار (تائید ماده افزودنی ضد کف) را نشان می دهد و می تواند باعث سائیدگی شود.
- ۳- اندازه گیری عدد بازی TBN که نشان دهنده خاصیت قلیائی باقیمانده در روغن است و باعث خنثی کردن اسیدهای موجود در روغن می شود و هرچه روغن بیشتر کار کرده باشد عدد بازی آن کاهش پیدامی کند.
- ۴- اندازه گیری آلودگی آب که می تواند باعث کف کردن روغن زنگ زدگی و خوردگی شود.
- ۵- اندازه گیری تغییرات گرانیروی که می تواند به دلیل آلودگی زیاده روغن اکسیداسیون روغن و یا تجزیه مواد افزودنی موجود در روغن باشد.

۶- اندازه گیری عدداسیدی TAN که افزایش آن می تواند یک راهنما برای تعویض روغن باشد (با دوبرابر شدن آن روغن باید تعویض شود).

۷- اندازه گیری میزان رسوبات که شامل آلودگی های معلق در روغن است و می تواند به دلیل ورود آلودگی های خارجی غیر موثر بودن فیلتر روغن تعمیرات نامناسب طراحی نامناسب سیستم فیلتراسیون و یا ایجاد تغییر در محیط کار کردن ماشین باشد.

۸- اندازه گیری میزان اکسیداسیون روغن به دلیل افزایش یا کاهش درجه حرارت عملکرد روغن.

۹- اندازه گیری دانسیته روغن (رقیق شدن روغن) که مبین ورود سوخت به داخل روغن است.

آزمایشاتی که روی نمونه روغن ها انجام می شود شامل موارد زیر است:

الف- بازدید های چشمی از روغن مصرف شده

ب- آزمون های آزمایشگاهی.

بازدید های چشمی از روغن مصرف شده

برای این کار لازم است که حدود ۱۰۰ تا ۵۰۰ سانتی متر مکعب روغن از مدار روغن گرفته شود و در یک بطری شیشه ای ریخته شود. اگر روغن کثیف باشد یا رنگ مات داشته باشد باید آن را به مدت یک ساعت در دمای 40°C نگهداری نمود حال بر اساس ظاهر آن و تجربیات قبلی می توان اطلاعات مختصری از روغن بدست آورد که آنالیزان نیازه تجربه های قبلی دارد ولی این روش کارائی خیلی زیادی ندارد.

ظاهر نمونه		دلیل	عملی که باید انجام شود	
هنگام گرفتن	یک ساعت پس از گرفتن	—	سیستم بدون فیلتر	سیستم با فیلتر یا سائتر فیلتر
شفاف	—	—	نیار به عملی نیست	نیار به عملی نیست
گذر	شفاف	کف کردن	علت کف کردن باید جستجو شود (3)	علت کف کردن باید مشخص شود (3)
گذر	روغن شفاف با لایه آب جدا شده	امولسیون نا پایدار (4)	جدا کردن آب و رسوب ها از محل بخاره	بالررسی سائتر فیلتر (5)
گذر	بخون تغییر	امولسیون پایدار	نمونه باید مورد آزمایش و تحلیل قرار گیرد (6)	بررسی سائتر فیلتر یا تعویض روغن
کثیف	ذرات ته نشین شده	آلودگی	نمونه باید مورد آزمایش و تحلیل قرار گیرد (6)	بررسی فیلتر و یا سائتر فیلتر
سیاه یا بوی تند	بخون تغییر	روغن اکسید شده	نمونه باید مورد آزمایش و تحلیل قرار گیرد (6)	نمونه باید مورد آزمایش و تحلیل قرار گیرد (6)

آزمون های آزمایشگاهی

آزمون های آزمایشگاهی شامل موارد زیر است :

- ۱-آزمایش خواص فیزیکی و شیمیایی روغن و مقایسه آن با روغن نو برای ادامه کار روغن .
 - ۲-آزمایش ذرات فلزی جهت تشخیص وضعیت فرسایش قطعاتی که با روغن در تماسند.
 - ۳-آزمایش آلاینده های موجود در روغن .
- درجدول زیرنمونه آزمایشات موردنیازبرای روغن های کارنکرده برای دستگاه های مختلف آورده شده است.

روغن های سیلندر پخار	روغن های تراشکاری	روغن های ماشین های کاغذسازی	روغن های کمپرسور	روغن های دنده	روغن های ماشین های گازسوز	روغن های توربین	خاصیت روغن مشخصات آزمایش *
ت	ت	ت	ت	ت	ت	ت	D-۱۲۹۸و D-۴۰۵۲ دانسیته
ت	ت	ت	ت	ت	ت	ت	D-۴۴۵ گرانروی
ت	ت	ت	ت	ت	ت	ت	D-۲۲۷۰ شاخص گرانروی
ت	ت	ت	ت	ت	ت	ت	D-۹۲ و ۹۳ نقطه اشتعال و آتش گیری
ت	ت	ت	ت	ت	ت	ت	D-۹۷ نقطه ریزش
-	-	-	-	ت	-	-	D-۲۹۸۳ گرانروی بروکفیلد
-	ت	ت	-	ت	-	-	D-۲۷۸۲و ۲۵۰۹ آزمایش تیمکن EP
-	ت	ت	-	ت	-	-	D-۲۷۸۲و ۲۵۹۶ آزمایش چهار ساقه EP
-	-	ت	ت	ت	-	-	D-۴۱۷۲و ۲۲۶۶ آزمایش چهار ساقه قطر خراش
-	-	-	-	ت	-	-	D-۵۱۸۳ ضریب ثابت US DM۵۷ اصطکاک
-	-	-	-	ت	-	ت	D-۱۴۰۱و ۲۷۱۱ دمولسی بیلیتی
-	-	ت	ت	ت	ت	ت	D-۶۶۴و ۲۸۹۶ عدداسیدی و بازی
-	-	ت	ت	ت	ت	ت	D-۹۴۲و ۲۲۷۲ و ۲۸۹۳ پایداری در برابر اکسیداسیون
-	ت	ت	ت	ت	-	ت	D-۱۳۰ خوردگی مس
-	-	-	-	-	-	-	D-۸۹۲ آزمایش کف
ت	-	-	ت	-	ت	-	D-۸۷۴ خاکستر سولفاته
-	ت	ت	ت	ت	-	ت	D-۶۶۵و ۳۶۰۳ جلوگیری از زنگ زدگی

ت، نشان دهنده ی آزمایشات توصیه شده برای روغن های مختلف می باشد. کاربرد خاص هر روغن، مشخص می کند که کدام آزمایش ها لازم است که کاملاً انجام شود.

* روش آزمایش ASTM

حدهای خطاردهنده توصیه شده برای بعضی از روغن‌های صنعتی در حال کارکرد

نوع کاربرد							خاصیت روغن
عایق کاری	انتقال حرارت	کمپرسور یخ‌سازی	کمپرسور گاز	دنده	هیدرولیک و گردشی	توربین گاز و بخار	
تعویش سریع	تعویش سریع	تعویش سریع	تعویش سریع	تعویش سریع	تعویش سریع	تعویش سریع	ظاهر و بو
-	۲۵	۲۵	۲۵	۲۵	۲۵	۲۵	حداکثر درصد تغییر گرانیروی در ۴۰°C
۰/۳	۲	-	-	-	-	۰/۳ (بخار) ۱ (گاز)	حداکثر عدد اسیدی کل
-	۱۸۰	-	-	-	-	-	نقطه آتش‌گیری ۰°C
-	-	-	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲	حداکثر درصد حجمی آب
۳۰	-	۷۵	-	-	-	-	حداکثر مقدار آب ppm
-	-	-	-	-	۱۰	۱۰	جدا شدن آب حداکثر کلسیم (ppm)
-	-	-	-	-	۶۰ (الف)	۶۰	جدا شدن آب: خصوصیات امولسیون: زمان جدا شدن حداکثر ۳CC
-	۵۰	-	-	-	۵۰	۵۰	مقدار بازدارنده اکسیداسیون در روغن کار نکرده ppm
-	-	-	-	۵۰	-	-	مقدار ماده افزودنی فشارپذیر- ضدسایش در روغن تازه ppm
-	-	-	-	-	رد شدن آزمایش	رد شدن آزمایش	مقدار ماده افزودنی ضدزنگ
-	-	۰/۱	-	۰/۵	-	-	درصد مواد غیرمحلول در پنتان (حداکثر)
۳۰	-	-	-	-	-	-	مقاومت الکتریکی حداقل KW

الف - برای گرانیروی‌های ۱۰۰ و بالاتر، زمان مناسب‌تر ۱۲۰ دقیقه است.

آزمایش خواص فیزیکی و شیمیایی

در آزمایش خواص فیزیکی و شیمیایی روغن ها پارامترهایی نظیر ویسکوزیته ،ویسکوزیته اندیکس خواص اسیدی و قلیایی ، نقطه ریزش ،آلودگی آب و ... اندازه گیری می شود که مقادیر اندازه گیری شده با مقادیر مجاز توصیه شده و مقادیری که قبلا اندازه گیری شده و همچنین مقادیر اندازه گرفته شده از نمونه روغن های کار نکرده بدست آمده مقایسه می شود و از نتایج آن می توان به موارد زیر پی برد :

الف- کنترل وضعیت روغن برای ادامه کار یا تعویض آن.

ب- کنترل کیفی روغن های موجود در انبار .

ج- تشخیص سریع فیلتر های معیوب .

چ- تایید سالم بودن روغن ها.

ح- اطمینان از این که روغن صحیح در دستگاه مصرف شده یانه.

خ- تایید عملیات تمیز کاری سیستم پس از انجام تعمیرات روی دستگاه .

د- تایید سالم بودن آب بندها و مسیر هواکش از آلودگی ها .

ذ- کنترل مرغوب و تمیز بودن روغن ها قبل از ورود به انبار.

ه- کنترل شرایط کاری دستگاه

آزمایش روغن جهت بررسی ذرات فلزی

باتوجه به این که روغن در قسمت های مختلف ماشین حضور دارد و کلیه آلودگی ها و سائیدگی ها را با خود حمل می کند با گرفتن نمونه روغن می توان این ذرات فلزی را شناسائی کرد، نحوه سائیدگی ها را مشخص نمود، قطر آنها را اندازه گیری نمود و نتیجتاً سرامنشأ اصلی سایش که باعث خرابی های بعدی می شود را شناسائی کرد و قبل از هر گونه اتفاقی که منجر به از کار افتادن دستگاه می شود اقدام به تعمیر آن نمود.

نتایج حاصل از آزمایشات ذرات فلزی موجود در روغن

الف- تشخیص فرسایش های احتمالی در آینده (بر اساس روند سایش).

ب- تشخیص این که ذرات ناشی از فرسایش مربوط به آلودگی روغن است یا خرابی قطعات.

پ- تشخیص شدت مشکل ایجاد شده از طریق نرخ تغییرات بدست آمده از آزمایشات انجام شده .

ت- تایید مشکل ایجاد شده از راه های دیگر (مثل آنالیز ارتعاشات).

ث- استنتاج کلی و مشترک از سیستم برای تشخیص سریع ریشه های مشکل .

ج- ضرورت انجام اقدامات نگهداری و تعمیرات.

منابع اصلی ذرات موجود در روغن

عناصر موجود در روغن که مورد آزمایش قرار می گیرند به چند دسته طبقه بندی می شوند که منبع هر کدام از آنها بایکدیگر متفاوت است و ذیلا به توضیح هر کدام از منابع آن پرداخته می شود:

فلزات فرسایشی موجود در روغن

مهمترین هدف آزمایش روغن بررسی فلزات فرسایشی موجود در روغن است که شامل عناصری نظیر آهن Fe، کروم Cr، آلومینیوم Al، مس Cu، سرب Pb، قلع Sn، نیکل Ni، نقره Ag در آن است. لازم به توضیح است که مس عموماً به شکل یک آلیاژ به صورت برنز ظاهر می شود و همراه با قلع (در برنز) و روی (در برنج) است.

فلزات فرسایشی موجود در روغن شامل موارد زیر است:

۱- ذرات مربوط به عناصر مربوط به مواد افزودنی که به عنوان افزودنی های روغن به منظور بهبود کیفیت و ایجاد برخی خواص به روغن مورد استفاده قرار می گیرند شامل روی Zn فسفر P کلسیم Ca منیزیم Mn باریم Ba مولیبدن Mo که با انجام آزمایش روی روغن کار نکرده (نو) مشخص می شود که مربوط به روغن است یا ذرات فرسایشی.

۲- ذرات ناشی از مواد آلاینده و افزودنی ها که سیلیس Si یک نمونه از آن است.

۳- ذرات ناشی از مواد آلاینده و فلزات فرسایشی مثل وانادیوم V.

۴- ذرات ناشی از ختنک کننده ها و افزودنی ها مثل سدیم Na و بر B.

البته منابع یاد شده فوق فقط به عنوان یک مرجع کلی هستند و برای بدست آوردن جزییات بیشتر باید به نقشه های اجرایی دستگاه ها و ماشین آلات که در آنها جنس قطعات داده شده یا مشورت با کارخانه سازنده مراجعه شود که با عنایت به پیشرفت روز افزون علم و تکنولوژی، تکنولوژی ساخت ماشین آلات و قطعات خصوصاً به دلیل استفاده از مواد جدید به سرعت تغییر می کند که باید دقت کامل را انجام داد. برای راهنمایی و تحلیل ذره هایی که در نمونه روغن یافت شده اند جداول زیر کمک موثری برای این که بدانیم چه عناصری در چه قطعاتی یافت می شوند خواهند نمود.

عناصر حاصل از سایش یا مواد افزودنی روغن

AL	آلومینیوم	دمندها - یاتاقانهای میل سوپاپ - یاتاقانهای توربوشارژر - یاتاقانهای کف گرد - میل لنگ
Cr	کرم	سطح رینگهای پیستون - مواد افزودنی خنک کننده - بعضی از قطعات پمپ ها
Cu	مس	پوشش گزین بین - شاتون و یاتاقان اصلی میل لنگ - بادامک ها - انگشتی های سوپاپ - بوش ها - بوش شاتون - واشرهای فنری - میل سوپاپ - مواد افزودنی ضد خوردگی - سیل های مسی
Fe	آهن	بوش های سیلندر آهنی - پیستون های آهنی چکش خوار - سیل های سخت میل سوپاپ ها - میل لنگ ها - دنده ها - انگشتی های آهنی ریخته گری شده - سوپاپ ها - آلیاژ استیل بادامک ها و ...
SN	قلع	بعضی از شاتون ها و یاتاقان های میل لنگ - پوشش بعضی از قطعات مثل پیستون
Pb	سرب	سطوح یاتاقان ها - مواد افزودنی گریس و بنزین - مواد افزودنی فشارپذیر و ضدسایش
Si	سیلیکون	مواد افزودنی ضد کف - گرد و غبار - مواد افزودنی گریس - نشی ماده خنک کننده - واشرها
Mo	مولیبدن	بهبوددهنده های اصطکاک - پوشش سطح بعضی از رینگ های پیستون - مواد افزودنی ضدسایش
Ni	نیکل	یاتاقان ها - پره های توربوشارژر - نفت خام - اجزاء استیل ضدزنگ
Ag	نقره	یاتاقان ها - لحیم کاری ها
V	وانادیوم	پوشش های سطح - پره های توربین - شیرها
Na	سدیم	نمک - مواد افزودنی مایع خنک کننده - مواد افزودنی پاک کننده (به طور محدود) - مواد افزودنی گریس
B	بر	مواد افزودنی مایع خنک کننده - مواد افزودنی گریس - مواد افزودنی فشارپذیر (به طور محدود)
Ba	باریم	مواد افزودنی پاک کننده - مواد افزودنی گریس
Ca	کلسیم	آب سخت - مواد افزودنی پاک کننده - بازدارنده های اکسیداسیون - بازدارنده های خوردگی
Mg	منیزیم	بعضی از آلیاژهای آلومینیوم - مواد افزودنی پاک کننده - آب سخت
P	فسفر	مواد افزودنی ضدسایش - مواد افزودنی فشارپذیر
Zn	روی	مواد افزودنی ضدسایش - بازدارنده های اکسیداسیون - بازدارنده های خوردگی
Cl	کلر	مواد افزودنی ضدسایش - مواد افزودنی فشارپذیر
S	گوگرد	مواد افزودنی ضدسایش - مواد افزودنی فشارپذیر - مواد افزودنی پاک کننده
K	پتاسیم	مواد افزودنی مایع خنک کننده

داده‌های مربوط به تجزیه و تحلیل روشن

کمبریسورها	چپه‌زنده	محرک نهایی	سیستم هیدرولیک	انتقال قدرت	خورشیدی	دیفرانسیل	انتقال	موتور	
گرزنده‌ها - پیستون‌ها - پاتالان‌ها - واشرهای فتری - بمپ روشن - بوش‌ها	واشرهای فتری بمپ روشن - بوش‌ها	بمپ روشن - واشر فتری	بمپ - موتور - محفظه - سیل - صفحات فشاری	بروانه - توربین - بمپ		واشرهای فتری بوش بمپ	بمپ‌ها - کلاچ‌ها واشرهای فتری بوش‌ها	پیستون‌ها - پاتالان‌ها - بوش‌ها - بدنه سیلندر بمپ روشن - دمنده‌ها - پاتالان‌های کف گرد	آلومینیوم
رینگ‌ها - پاتالان‌های غلشی - مواد شیمیایی در آب کوک‌ر روشن	پاتالان‌های غلشی	پاتالان‌های غلشی	میله‌ها - فررها - پاتالان‌های غلشی	پاتالان‌های غلشی	پاتالان‌ها ی غلشی	پاتالان‌های غلشی	پاتالان‌های غلشی - کوک‌ر روشن	رینگ‌ها، پاتالان‌های غلشی - سیلندر - ضدیخ - سوپاپ‌های دود - مواد افزودنی	کرم
پاتالان‌ها	مواد افزودنی	مواد افزودنی			مواد الزو دنی	مواد افزودنی	مواد الزو دنی	پیستون‌ها - مواد الزو دنی - روشن و بشیرین	سرب
پیستون‌ها - پاتالان‌ها - بوش‌ها								پیستون‌ها - پاتالان‌ها - بوش‌ها	فلج
گرد و خاک	گرد و خاک	گرد و خاک	گرد و خاک و سیل‌ها	گرد و خاک	گرد و خاک	گرد و خاک	دیسک لنت ترمز	مواد افزودنی ضد کف - گرد و غبار - ماده خنک کننده	سیلیکون
مواد افزودنی روغن - گرد و خاک - ضدیخ	مواد افزودنی روغن - گرد و خاک	مواد افزودنی روغن - نمک - گرد و خاک	مواد افزودنی روشن - نمک - گرد و خاک - ضدیخ	مواد افزودنی - گرد و خاک	گرد و خاک	مواد افزودنی روغن - ضدیخ - گرد و خاک	مواد الزو دنی	بعضی از مواد افزودنی - ضدیخ - گرد و خاک	سدیم

برای شناسائی فلزات فرسایشی موجود در روغن از دستگاه ها و روش های متعددی استفاده می شود که ذیلا به شرح برخی از آنها اشاره می شود.

تکنیک های آزمایشی ذرات سائیده شده موجود در روغن

۱- اسپکتروسکوپی جذب اتمی .

۲- اسپکتروسکوپی انتشار اتمی .

۳- فروگرافی.

۴- رسوب دهنده دورانی ذرات.

۵- فلورسنت پرتو ایکس .

۶- اسپکتروسکوپی انتشاری (پلاسمایی - القایی) .

۷- مشاهده میکروسکوپی

که ذیلا به توضیح برخی از این روش ها پرداخته می شود .

اسپکتروسکوپی جذب اتمی

در این روش نمونه روغن در شعله سوزانده می شود، رنگ شعله مبین خواص هریک از عناصری است که از شعله عبور می کنند. باریکه های پرتوهای با طول موج های مشخص هر المان که به شعله تابانده می شود بر اساس میزان نوری که جذب می شود مبین مقدار آن المان (فلز) در نمونه روغن است . کاربرد این روش برای جستجوی فلزاتی است که اندازه قطر متوسط آنها کمتر از ۱۵ میکرون باشند و دقت آن در رسوب های کمتر از 5PPM است .

اسپکتروسکوپی انتشار اتمی

در این روش نمونه روغن با قوس الکتریکی سوزانده می شود و از شدت رنگ های طیفی قوس (که توسط فتو مولتی پلایر تحلیل می شوند) مستقیما بسیاری از المان های موجود در روغن تعیین می شود . کاربرد روش فوق برای جستجوی فلزاتی است که ریزتر از ۱۰ میکرون باشند و دقت آن برای اندازه گیری ذرات ریزتر از 5PPM کم است .

فروگرافی Ferrography

در این روش روغن رقیق شده از روی اسلاید شیشه ای که در میدان مغناطیسی خیلی قوی قرار دارد عبور داده می شود که با این عمل ذرات بر حسب اندازه هایشان روی اسلاید رسوب می کنند . کاربرد این روش برای توزیع اندازه ذرات است، که حکایت از جدی بودن سایش دارد و همچنین شکل ذرات نیز تعیین کننده نوع مکانیزم سایش است . این روش به طور موثر مقدار ذرات در اندازه های کمتر از یک میکرون تا حدود ۲۵۰ میکرون را مشخص می کند که از نتایج آن می توان برای تشخیص انواع و منابع سایش و آلودگی در یک سیستم روغنکاری استفاده کرد.

برای فروگرافی دوروش به شرح زیر وجود دارد:

الف- فروگرافی قرائت مستقیم Direct Reading Ferrography

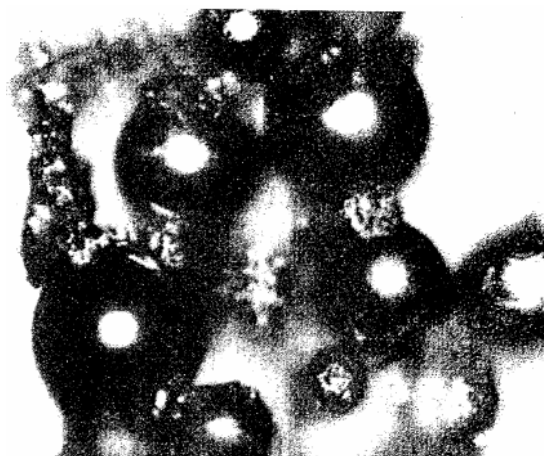
ب- فروگرافی تجزیه ای Analytical Ferrography

در روش فروگرافی قرائت مستقیم غلظت ذرات حاصل ازسایش درروغن های روان کننده بصورت کمی اندازه گیری می شود و نتیجه اندازه گیری ها بصورت گرافیکی گزارش می شود و در صورتی که درسیستم سایش وجود داشته باشد غلظت عنصر از حد قابل تعیین شده بالاتر می رود. از روش فروگرافی تجزیه ای وقتی استفاده می شود که غلظت فلزات فرسایشی درروغن غیرعادی باشد. در این روش با استفاده از سه میکروسکوپ قوی و دوربین های اتوماتیک و یک فیلتر مخصوص اندازه های مختلف، نوع ترکیب، شکل و ساختمان ذرات فرسایشی مشخص می شود. با استفاده از این روش و آگاهی داشتن از متالوژی قطعات می توان برای پیدا کردن مکانیزم و محل دقیق سایش غیرعادی استفاده کرد.

مزایا و محدودیت های آنالیز سایش و اندازه ذرات با فروگرافی

- ۱- این روش می تواند شکل و نوع ترکیب آلودگی های مختلف و ذرات حاصل از سایش های تا سایز ۲۵۰ میکرون را مشخص کند.
- ۲- این روش به اپراتور این ایده را می دهد که بتواند بفهمد سایش ایجاد شده عادی است و یا در اثر لغزش برش خوردگی و..... بوجود آمده است.
- ۳- با استفاده از این روش می توان منبع سایش را تشخیص داد (چرخ دنده یا تاقان و...)
- محدودیت این روش این است که در مواقعی که بیش از یک قطعه هم سان در سیستم وجود دارد تشخیص نمی تواند متوجه شود که کدام قطعه خراب شده است.
- نوع ذرات و متالوژی فلزاتی که با استفاده از فروگرافی مشخص می شود شامل:
 - الف- ذرات حاصل از قطعات آهنی.
 - ب- ذرات حاصل از سایش قطعات غیر آهنی مثل مس سرب آلومینیوم و.....
 - پ- اکسیدهای فلزی که نشان دهنده سایش در اثر روغن کاری ناکافی رطوبت و یا حرارت زیاد در سیستم بوجود می آید.
- سایش هایی که توسط روش فروگرافی مشخص می شود عبارتست از:
 - ۱- سایش عادی در اثر مالش معمولاً ذرات با اندازه یک تا پنج میکرون تولید می کند.
 - ۲- سایش در اثر خستگی اجزا غلتشی نشان دهنده ایجاد ترک در اجزای تاقان های غلتشی می باشد.
 - ۳- سایش در اثر بریدن که معمولاً به علت خط انداختن حاصل از سایش فلزات سخت روی فلزات نرم تر ایجاد می شود.
 - ۴- سایش در اثر لغزندگی شدید که بوسیله بارها و سرعت های زیاد که روی سطوح ولبه ها تولید خط می کند بوجود می آید.
 - ۵- سایش در اثر غلتش و لغزش که به وسیله خط انداختن ذرات درشت و خستگی در دنده ها بوجود می آید.

در شکل های زیر چند نمونه از نتایج حاصل از آزمایشات فروگرافی و دلایل مربوطه آنها آورده شده است.



فروگرام نشان دهنده کره های کوچک تقریباً قطر ۵ میکرون است. این کره هامبین شروع شدن خستگی در اجزای ماشین است (بازرگ نمائی ۱۰۰۰)



فروگرام فوق نشان دهنده سایش در اثر لغزش است. لغزش به وسیله بار و سرعت زیاد در روی سطوح لغزنده بوجود می آید (بازرگنمائی ۵۰۰)

رسوب دهنده دورانی ذرات

در این روش نمونه روغن بر روی صفحه شیشه ای که روی آن یک مغناطیس دوار قرار دارد ریخته می شود. این عمل باعث رسوب ذرات سائیده شده به صورت مجموعه حلقه های هم مرکزی می شود و کاربرد آن مثل فروگرافی است با این تفاوت که می تواند به دستگاه اندازه گیر کمی نیز متصل شود.

فلورسنت پرتوایکس

هنگامی که نمونه روغن در معرض باریکه رادیو اکتیو قرار داده می شود باعث می شود پرتو ایکس با مشخصه ماده موجود در داخل روغن انتشار یابد که در این روش اکثر فلزات یافت می شوند ولی دقت آن در حد 5PPM است .

اسپکتروسکوپی انتشاری (پلاسمایی - القایی)

در این روش نمونه روغن داخل یک مشعل پلاسمابا آرگون اسپری می شود و سپس رنگ های نور انتشار یافته و شدت آنها اندازه گیری می شود تا مقدار المان های مختلف موجود در روغن را مشخص کند . در این روش اکثر فلزات یافت می شوند ولی دقت این روش در حد 1ppb است.

آنالیز روغن به روش اسپکتروسکوپی

روش اسپکتروسکوپی یک روش ایده آل برای مشخص کردن مقدار عناصر فلزی مواد افزودنی و مقدار سایش در قطعات سیستم هائی از قبیل: موتور ها، توربین ها، سیستم های هیدرولیک، جعبه دنده ها، کمپرسورها، دیفرانسیل ها و..... است. باین روش عناصر و ذرات سائیده شده درون روغن و مواد افزودنی از قبیل: مس، آهن، سرب، کلسیم، بر، در مقیاس PPM اندازه گیری می شوند.

همچنین از این روش برای تعیین منابع سایش و اندازه های نسبی ذرات سائیده شده که معمولاً به کمک گرادیان مغناطیسی ذرات جدا سازی می شود استفاده می شود و می تواند در راستای جدی بودن خسارات احتمالی کمک کند و سپس با بررسی های میکروسکوپی شکل و اندازه های ذرات برای تعیین مکانیزم های سایش و با استفاده از یک نمونه رقیق شده روغن، ذرات شمارش می شود و با آنالیز و تحلیل ذرات سائیده شده موجود در روغن دستگاه، برای آگاهی دادن از وجود ذرات ناشی از تخریب قطعات ماشین مورد شناسائی قرار می گیرد و عیوب احتمالی که ممکن است در آینده ای نزدیک باعث تخریب و یا اعمال خسارت های زیاد به دستگاه شود شناسائی می گردد.

همچنین از این روش می توان برای برنامه ریزی کردن زمان تعویض روغن بر اساس روند افزایش عناصر فرسایشی موجود در روغن در نمونه گیری های برنامه ای استفاده نمود.

محدودیت روش اسپکتروسکوپی این است که فقط می تواند آلودگی ها و ذرات حاصل از سایش را که اندازه آنها حداکثر ۷-۶ میکرون است را مشاهده نمود و نکته قابل توجه این که اعدادی که به وسیله این روش گزارش می شوند به تنهایی مهم نیستند مهمتر از آن افزایش یا تغییرات زیاد Trend در این اعداد است که گروه تعمیر و نگهداری ماشین آلات باید از متالوژی ماشین و همچنین نوع مواد افزودنی که در روغن مورد استفاده قرار گرفته اطلاع داشته باشد تا از تصمیمات اشتباه و انجام عملیات غیر ضروری جلوگیری شود.

در روش مشاهده میکروسکوپی یک نمونه روغن روی شیشه مخصوص پخش می شود و زیر میکروسکوپ مورد مطالعه قرار می گیرد .

مشخصه های فیزیکی ذرات سائیده شده (انواع سایش و دلایل آنها)

همانطور که قبلا نیز توضیح داده شد اکثر آزمایشات روی روغن برای شناسایی عیوب احتمالی روی دستگاه ها و ماشین آلات است که پس از شناسایی نوع ذرات، پارامتر مهم شناسایی مشخصه های فیزیکی ذرات سائیده شده از لحاظ، سایز، شکل و خواص آن برای تحلیل روی روغن است.

در آزمایشگاه های آنالیز روغن اطلس های زیادی وجود دارد که مشخصه های فیزیکی ذرات همراه با علت های سایش در آنها به تصویر کشیده شده و می توان نمونه ها را با یکی از آنها تطبیق داده و علت سایش را شناسایی کرد.

بخاطر اصطلاحاتی متعددی که بوسیله صنایع یا محققین مختلف بکار برده می شود و همچنین به دلیل این که ممکن است دو یا چند فرآیند مختلف سایش بایکدیگر عمل کنند غالباً دسته بندی سایش ها خیلی دقیق نیست ولی بطور کلی سایش ها در دو دسته زیر طبقه بندی می شوند:

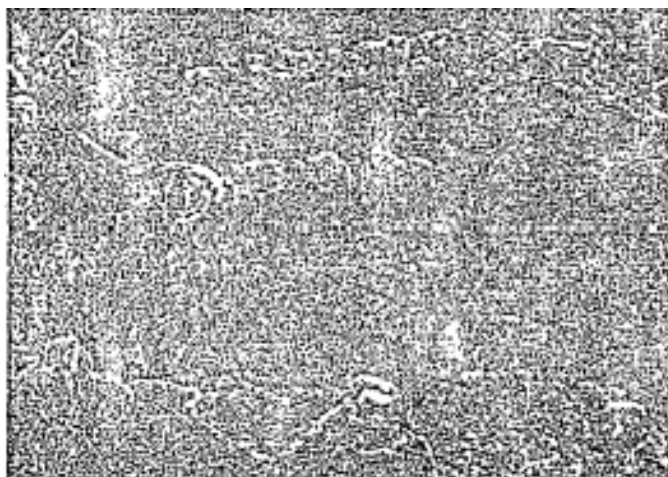
الف- سایش های پایه ای شامل: خوردگی شیمیائی، خستگی، سایش حفره ای، سایش در اثر چسبندگی، سایش در اثر خراش، سایش فرسایشی و.....

ب- سایش های درجین کار شامل: سفت بودن دنده ها و اجزای غلطان یا تاقان ها، لایه لایه شدن یا تاقان های تخت، تغییر شکل دادن به حالت پلاستیک و....

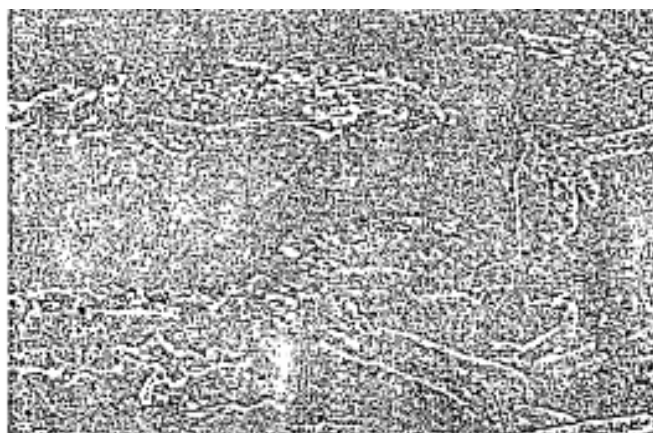
که ذیلاً به برخی از این موارد اشاره می شود.

سایش لغزشی طبیعی

ذرات طبیعی هستند که حاصل سایش خوش خیم سطوح لغزنده بر روی هم هستند این ذرات به شکل صفحات مسطح و کوچکی اند که بسیار نرم هستند. معمولاً سطوح لغزنده متقابل دارای سختی یکسانی هستند و بطور کلی و عموماً حداکثر اندازه این ذرات 15 میکرون است.



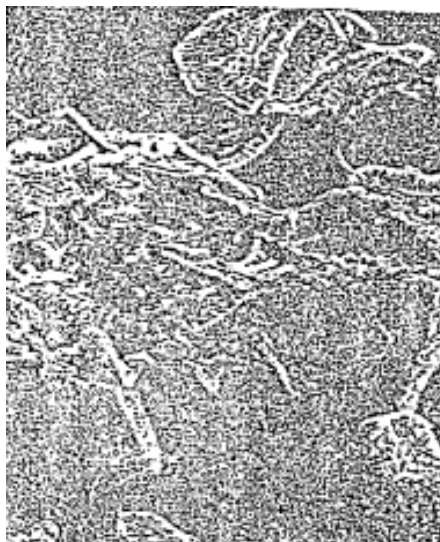
ذرات سائیده شده ناشی از کنده شدن قطعات که سطح آنها ماشین کاری یا سنگ زده شده باشد در حین کنده شدن ذرات لبه ها بر روی سطوح سائیده شده و پهن می شود و کش می آیند و از روی سطح کنده می شوند.



غالبا اندازه آنها طولی معادل 50 میکرون است.

سایش حاصل از بریدگی

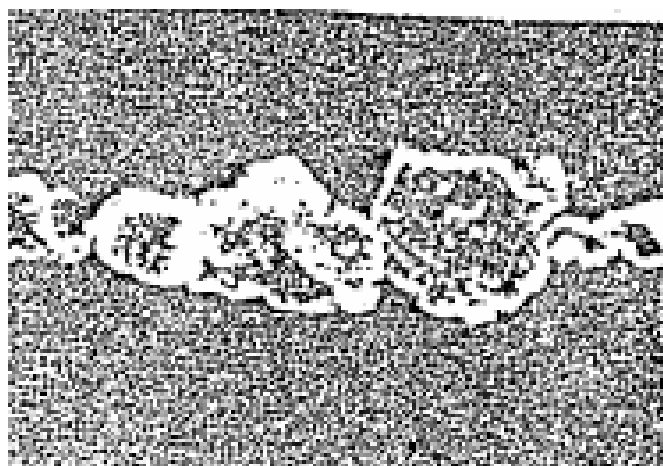
ذرات سائیده ای هستند که در نتیجه نفوذ و فرو رفتن یک سطح دیگر پدید می آیند وضعیت مشابه شرایطی است که قلم تراش بر روی قطعه ایجاد تراشه می کند. ذرات سائیده شده که در سطوح نرم فرو می روند در سطح مقابل نفوذ می کنند و ایجاد ذرات سایش حاصل از بریدگی می کنند به طریق مشابه لبه تیز و سختی یا قطعه سختی ممکن است در سطح مقابل و نرم فرو رود و همین مشکل را ایجاد کند گستره اندازه ذرات ممکن است 2-5 میکرون پهن و 25 تا 100 میکرون طول داشته باشند.



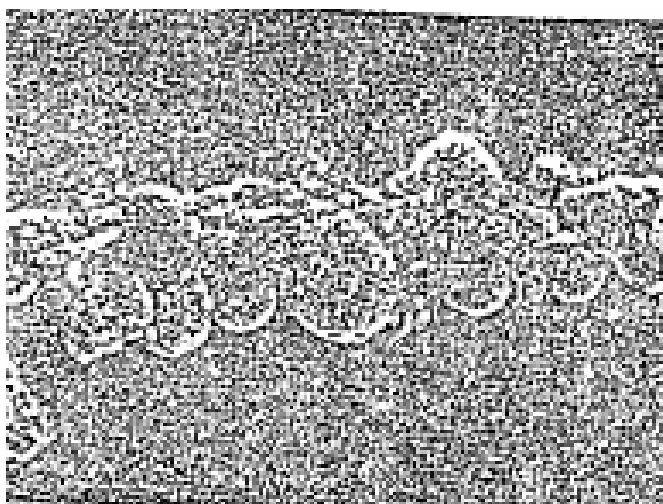
سایش خستگی غلتشی

ذرات پوسته ای شکل یا ورقه ای ناشی از خستگی از سطح تحت تنش آزاد می شوند و بر روی سطح یک گودی تشکیل می شود. ذرات دارای اندازه حداکثر ۱۰۰ میکرون هستند که در حین عمل ورقه شدن خیلی کوچک و در مراحل اولیه تشکیل می شوند این صفحات مسطح و تخت دارای نسبت بزرگترین اندازه به ضخامت، بیشتر از 10 به 1 هستند.

ذرات کروی شکل در رابطه با خستگی یاتاقان های غلتشی است که در یاتاقان ایجاد ترک های ناشی از خستگی می کنند. کره ها معمولا دارای قطر کمتر از 3 میکرون هستند.

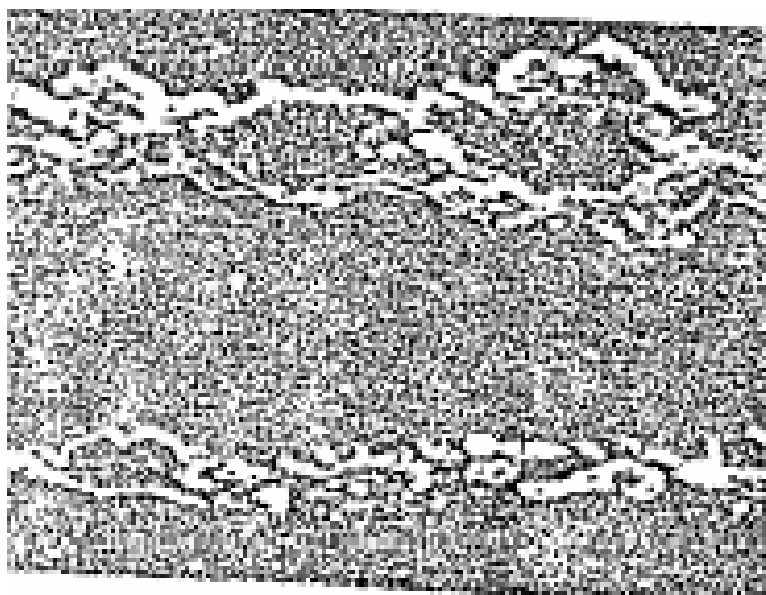


ذرات لایه ای شکل ، ذرات خیلی ریز غیر فلزی اند که اندازه بزرگ آنها بین ۲۵ تا ۵۰ میکرون است. این اندازه به ضخامتشان ۳۰ به ۱ است. ذرات لایه ای شکل ممکن است با عبورشان از ناحیه تماس غلتشی تشکیل شوند.



ترکیب غلتش و لغزش (در چرخ دنده ها)

سرعت غلتشی و لغزشی نقش اساسی در مشخصه های ذرات ایجاد شده ناشی از سایش دارند. ذرات ناشی از خستگی شباهت زیادی به ذرات خستگی یاتاقان ها دارند. ذرات ممکن است دارای نسبت بزرگترین اندازه به ضخامت بین ۴ به ۱ تا ۱۰ به ۱ باشند ذرات با تکه های بزرگتر ناشی از تنش های کششی بر روی سطح دنده ها باعث ترک های ناشی از خستگی می شوند که بطرف عمق دندانه ها انتشار می یابد. ذرات بزرگتر با اندازه ۲۰ میکرون در مقابل ذرات کوچکتر با اندازه ۲ میکرون کاملاً مشهودند .



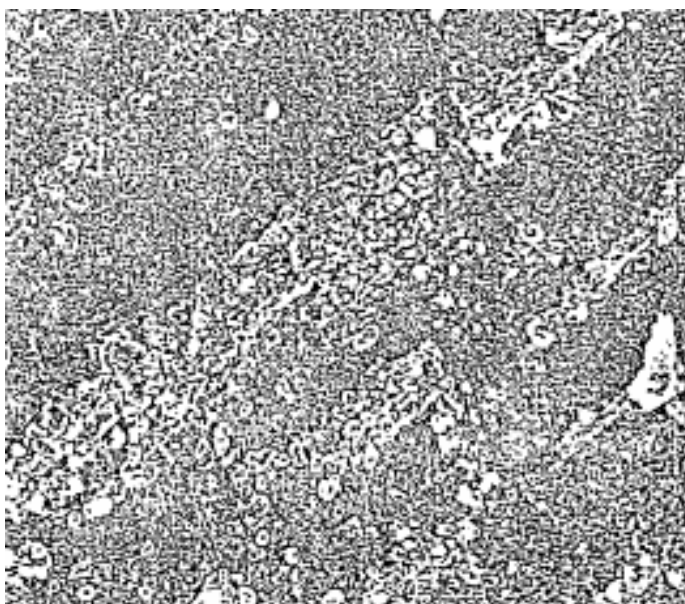
سایش لغزشی پیش رونده

ذرات سایش ناشی از لغزش پیش رونده دارای گستره اندازه ۲۰ میکرون و بزرگتر هستند. پاره ای از این ذرات دارای گوشه های تیزی هستند و اندازه بزرگتر آنها نسبت به ضخامتشان حدود ۱۰ به یک است.



مواد کریستالی

کریستال ها براق هستند و جهت پلاریزه شد نشان را تغییر می دهند و با تغییر حالت دادن و چرخش باعث تغییر در شدت نور می شوند. تحت نور پلاریزه و وضعیت نوری فعالی دارند



پلیمرها

پلاستیک های تزریقی مانند لایه های نایلون هنگامی که تحت نور پلاریزه قرار می گیرند بسیار براق ظاهر می شوند .

لازم به توضیح است که پس از انجام آزمایشات لازم روی روغن و جدا کردن و شمارش انواع فلزات موجود در روغن (باتکنیک هایی که قبلا توضیح داده شده) ذرات سایشی آماده بررسی می شوند که این بررسی ها معمولا با چشم مسلح و با استفاده از میکروسکوپ های مخصوص انجام می شود. که تفسیر این مشاهدات عینی مبین مشخصات فیزیکی ذرات سائیده شده و علت سایش آنهاست که اگر نرخ سایش افزایش یافته باشد باید مشکل ریشه یابی و حل گردد. که البته برای تجزیه و تحلیل روغن شخص آنالیز کننده باید علاوه بر اطلاعات روغن نسبت به دستگاهی هم که نمونه روغن از آن گرفته شده اطلاعات کافی داشته باشد تا نتایج ثمر بخش باشد.

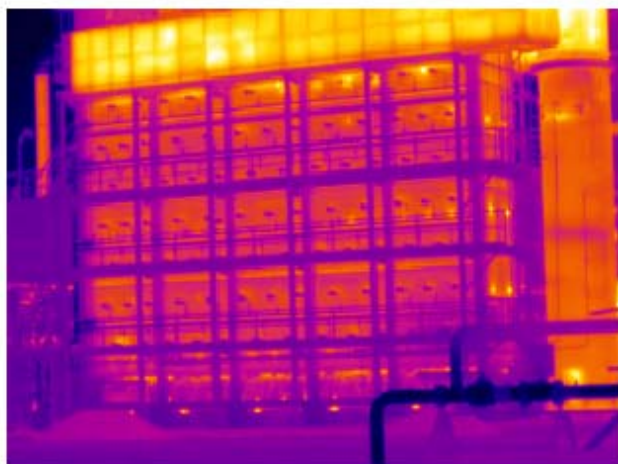
تصویر برداری حرارتی یا ترموگرافی Thermography

یکی دیگر از ابزارهای Condition Monitoring که برای پیدا کردن عیوب سیستم های الکتریکی بولتاژهای بالا و همچنین دستگاه ها و ماشین آلاتی که در درجه حرارت های بالا کار می کنند یا موقعیت هایی که در دسترس بودن عیوب مشکل یا خطرناک است استفاده از ترموگرافی یا آنالیز درجه حرارت است.

اصول کار این روش عکس برداری از قسمت مورد نظر است که توسط دوربین های مادون قرمز انجام می شود که به آن ترموویژن گفته می شود. عکس هایی که باین دوربین ها گرفته می شود نقاط با درجه حرارت های مختلف را با رنگ های متفاوت نشان می دهند که با مراجعه به جدول راهنمایی که در کنار آن قرار دارد به راحتی می توان درجه حرارت نقاط مختلف عکس برداری شده را قرائت نمود و نقاط گرم را پیدا کرد.

این روش نیز قابل مونیتورینگ می باشد و با انجام عکس برداری های با دوره زمانی متوالی می توان تغییرات را زیر نظر گرفت و در صورتی که مقادیر اندازه گیری شده از حد مجاز و مطلوب بالاتر رود یا تغییراتی حاصل شده باشد اقدامات اصلاحی مورد نظر را انجام داد.

ترموگرافی یک روش بازرسی غیر مخرب و غیر تماسی است که اطلاعات بسیار ارزشمندی را در اختیار مهندسان برای مراقبت وضعیت و پیش بینی عیوب تجهیزات، قرار می دهد در این روش بر اساس تصاویر حرارتی تهیه شده توسط دوربین های ترموویژن از تجهیزات مختلف (تجهیزات الکتریکی و مکانیکی، مشعل ها و کوره ها، مسیرهای سیالات، عایق ها و ایزولاسیون تجهیزات و نظایر آن) و تجزیه و تحلیل آنها توسط نرم افزارهای پیشرفته می توان عیوب و نقاط ضعف تجهیزات دستگاه های مختلف را قبل از آن که به عیوب عمده تبدیل گردد و منجر به خسارات مهم مالی و احیاناً انسانی شده و ادامه تولید را مواجه با وقفه نمایند، آشکار و از بروز آنها جلوگیری می شود.



تجزیه و تحلیل و تفسیر تصاویر حرارتی (ترموویژن) بر اساس شرایط تجهیزات، استانداردها و دمای آنها انجام می گیرد و براین اساس سرویس های تعمیراتی مربوطه انجام می شود الویت بندی تجهیزات، زمان انجام کار، عوامل و فاکتورهای موثر، روش های جمع آوری اطلاعات و داده ها و تجزیه و تحلیل آنها، تعیین معیارها و استانداردها، بررسی صرفه جویی های اقتصادی مواردی است که در خصوص این روش (همانند هر روش دیگر مراقبت وضعیت) باید بررسی و به آن پرداخته شود.

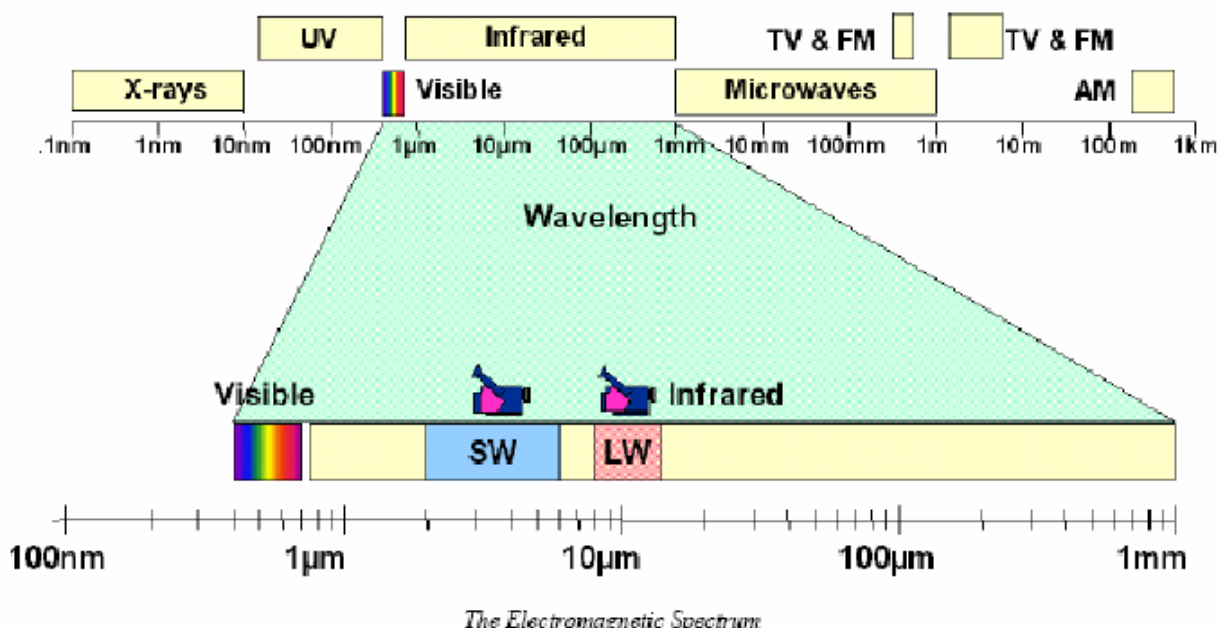
تاریخچه تصویر برداری حرارتی

در نیمه قرن نوزدهم ویلیام هرشل Sir William Herschel برای اولین بار موفق به تهیه ترموگرام (عکس حرارتی) گردید. لیکن این پدیده تا مدت ها بدون پیشرفت قابل توجهی باقی ماند تا این که در سال ۱۸۸۰ و بعد از آن در سال ۱۸۹۲ پیشرفت های قابل توجهی در اندازه گیری درجه حرارت توسط تصویربرداری حرارتی پدید آمد. طی جنگ های جهانی اول و دوم استفاده از دانش ترموگرافیک بیشتر منحصر به کاربردهای نظامی و تسلیحاتی گردید. در سال ۱۹۶۰ و پس از دو دهه تحقیق و بررسی مداوم سرانجام کاربرد عملی و اقتصادی پدیده تصویر برداری حرارتی (ترموویژن) ظاهر گشت، اما در این زمان تهیه یک عکس حرارتی زمان زیادی دقیقه طول می کشید و به علاوه تصاویر حاصله، از دقت عمل کافی برخوردار نبود که این امر تجزیه و تحلیل عکس ها را دشوار می ساخت.

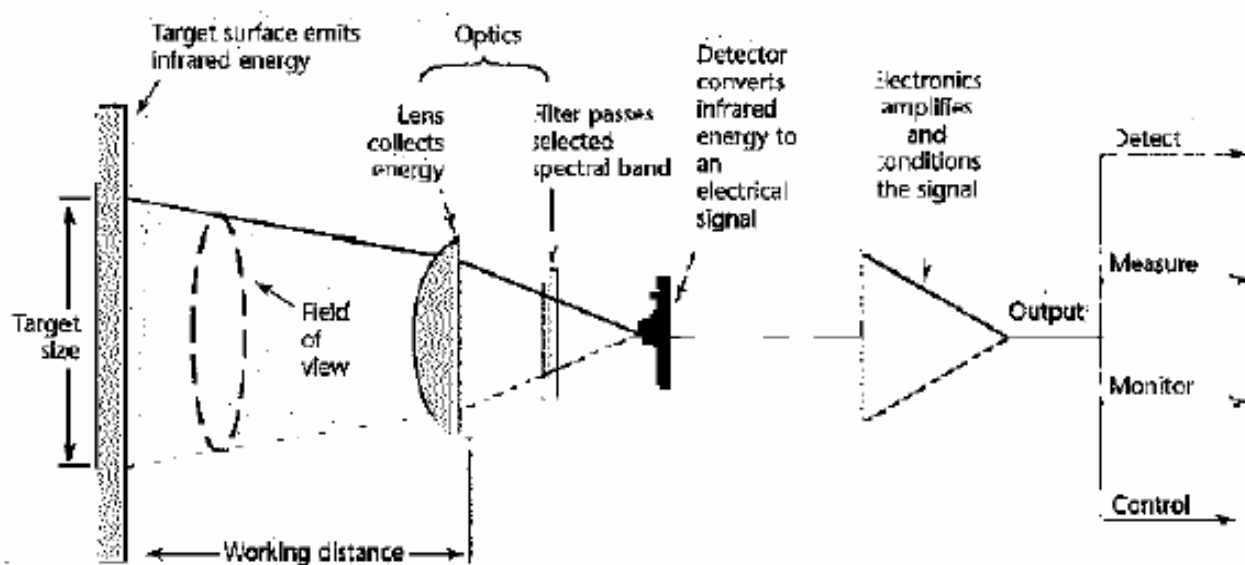
پس از گذشت ده سال اولین سیستم عکس برداری حرارتی که از نیتروژن مایع جهت خنک کردن سنسورهای آن استفاده می شد ابداع گردید. این سیستم که به صورت دوربین نسبتاً بزرگی ساخته می شد، در حدود ۴۰ تا ۵۰ کیلو گرم وزن داشت. بالاخره در سال ۱۹۷۵ عکسبرداری حرارتی (مادون قرمز) از نظر تکنولوژی ساخت و تکنیک کاربرد وارد مرحله جدیدی گردید. در این زمان وزن دوربین و ملحقات آن به حدود ۱۵ کیلوگرم کاهش یافت. در دهه های ۸۰ و ۹۰ بکارگیری آشکارسازها و سنسورهای بسیار حساس و نیز استفاده از کامپیوتر و قدرت ضبط تصاویر باعث پیشرفت فوق العاده ای در این روش گردید که دوربین های امروزی نیز همچنان ادامه این پیشرفت ها می باشند.

تئوری تصویر برداری حرارتی یا ترموویژن

چنانچه در شکل زیر ملاحظه می شود امواج مادون قرمز قسمتی از طیف امواج الکترومغناطیس را تشکیل می دهد و طول موج آنها در دو ناحیه "طول موج مادون قرمز کوتاه (۲ تا ۵ میکرون)" و "طول موج بلند مادون قرمز (۷ تا ۱۴ میکرون)" گسترده شده اند.



از طرفی امواج مادون قرمز یا امواج حرارتی از تمام موجودات و اجسامی که دارای دمایی بالاتر از صفر مطلق ($273/16^{\circ}\text{C}$) باشند ساطع می شوند و کلیه سطوح بسته به میزان درجه حرارت آنها دارای نرخ مشخصی از تشعشع در ناحیه مادون قرمز می باشند (که البته این تشعشع برای چشم انسان نامرئی است) اما تصویر بردارهای حرارتی با توجه به ساختار تشکیل دهنده آنها (که در شکل زیر نشان داده شده است) انرژی حرارتی تشعشی ساطع شده از اجسام را دریافت و با تمرکز آن به روی آشکارساز یا دیتکتور به سیگنال های الکترونیکی تبدیل می نمایند. این سیگنال ها پس از تقویت به قسمت ویدئو منتقل و در آنجا پس از پردازش های لازم به قسمت نمایش دهنده ارسال و به صورت تصویر دیده می شوند.



استفاده از تصویر برداری حرارتی در برنامه های مراقبت وضعیت Condition Monitoring

در ابتدا باید خاطر نشان کرد که استفاده از روش ترموویژن در تجزیه و تحلیل شرایط کار تجهیزات مستلزم اطلاع کافی و دقیقی از تئوری و اصول مربوط به این تکنیک نمی باشد و با داشتن اطلاعات نسبی در این خصوص نیز می توان از آن استفاده کرد. اما آموزش های تخصصی در این زمینه را باید مهم شمرد چون معمولاً بدون اخذ چنین آموزش هایی (که در حال حاضر نیز در دنیا در سطوح مختلف استاندارد شده اند) به هیچ وجه بهره برداری از این روش مطلوب نخواهد بود و چه بسا سرمایه های صرف شده را نیز راکد و بلا مصرف نماید. به هر حال استفاده از تصویر برداری حرارتی را می توان با انجام اقدامات اجرایی زیر در برنامه های نگهداری و تعمیرات عملی نمود:

- شناخت کامل و الویت بندی تجهیزاتی که می توانند تحت مراقبت وضعیت قرار گیرد.
- آموزش افراد مرتبط با روش ترموگرافی در واحدهای مربوطه که متشکل از کارشناسان تعمیرات و امور مهندسی و... است.
- بررسی عوامل و فاکتورهای مهم در آنالیز حرارتی ، تجزیه و تحلیل روش های جمع آوری اطلاعات و داده ها و پردازش آنها .

- تحت کنترل داشتن و برآورد هزینه ها و صرفه جویی های اقتصادی حاصل از انجام تصویر برداری حرارتی .

جهت شناخت کامل و الویت بندی تجهیزات و دسته بندی زمان انجام تصویربرداری حرارتی، ابتدا باید فهرستی از تجهیزات و ماشین آلات تهیه شود و تا حدودی رفتار حرارتی آنها شناخته شود این مرحله اساس و بنیاد بازرسی ترموویژن را تشکیل می دهد و اصولاً بدون داشتن این اطلاعات فرد تصویر بردار ترموویژن (ترموگراف) از تجهیزاتی که باید مورد نگهداری و تعمیرات قرار گیرد آگاهی پیدا نمی کند. در این فهرست ، تجهیزات بر اساس شرایط کاری جهت بازرسی ترموویژن اولویت بندی می شوند در تهیه این فهرست مقادیر بحرانی برای هر تجهیز باید مد نظر قرار گیرد، همچنین فهرستی به تعیین زمان تصویر برداری حرارتی کمک کرده و در صورتی که عیب و مشکلی پیدا شد با برنامه ریزی می توان حق تقدم دوره تناوب تعمیرات را مشخص نمود .

تهیه دوربین های ترموویژن و یا اخذ خدمات از شرکت های ارائه کننده این سرویس ها نقطه آغازین استفاده از این روش در سیستم نگهداری و تعمیرات می باشد لذا همانند هر فعالیت تخصصی دیگر ، انجام مشاوره های لازم در این خصوص و با توجه به تنوع محصولات و خدمات ضروری است.

قدم بعدی دایر نمودن روش های مناسب و موثر در چرخش اطلاعات است بطوری که تضمین کننده روند کار بازرسی بوده و به تصویر بردار ترموویژن بیشترین کمک را در جهت پیش بینی و شناسایی بهتر عیوب و خرابی ها نماید . این مهم مستلزم هماهنگی بین کلیه واحدهای نگهداری و تعمیرات می باشد . بهره گیری از " سیستم مدیریت مکانیزه نگهداری و تعمیرات " CMMS (Computerized Maintenance Management) از کارآمدترین و مناسب ترین روش ها است که این مطلب می تواند درخصوص بازرسی ترموویژن نیز پیاده شود در این روش ارتباطی بین فهرست تجهیزات و ماشین آلات، تصاویر حرارتی تهیه شده ، تعیین روند و تغییرات درجه حرارت، تعمیرات و سرویس های انجام شده و همچنین قطعات و تجهیزات تعویض شده برقرار می شود و تمامی موارد در اسرع وقت و با دقت لازم در اختیار واحد مدیریت نگهداری و تعمیرات خواهد بود تا بتواند از حسن اجرا و حصول نتایج اطمینان لازم را حاصل نماید.

جهت ارزیابی تجهیزات بازرسی شده و همچنین به منظور ارزیابی اطلاعات حاصل از تصویر برداری های ترموویژن بایستی معیارها، استانداردها و شرایط تجزیه و تحلیل داده ها و اطلاعات تدوین شود و این موضوعی است که در هر صنعت بطور خاص و با همکاری همان صنعت باید صورت گیرد. برای این منظور تیمی متشکل از متخصصین و مسئولین ایمنی و تعمیرات ، نماینده واحدهای مالی ، متخصصین ترموویژن و کارشناسان واحد مهندسی و فنی باید فاکتورهای مهم نظیر عوامل ایمنی، هزینه خرابی قطعات ، قابلیت دسترسی قطعات یدکی و نفراست تعمیراتی، تاریخچه نگهداری و تعمیرات ، شرایط بارگذاری و فاکتورهای مهم در تصویر برداری ترموویژن را مشخص کنند. پس از مشخص شدن عوامل مهم یاد شده برای هر فاکتور امتیازهای مربوطه تعریف شده و بر اساس اهمیت هر یک ، وزن آنها مشخص می شود . یک نمونه از ماتریس ارزیابی و وزن دهی جهت تفسیر نتایج حاصل از تصویربرداری های حرارتی (ترموویژن) در جدول ۲- نشان داده شده است این جدول باید برای تجهیزات و ماشین آلاتی که ترموویژن بر روی آنها

انجام می شود تنظیم شود و براساس جدول شماره ۳- و برحسب امتیاز کلی بدست آمده دستور کارهای مربوطه صادر گردد.

امتیاز							فاکتورهای مهم
۲	۴	۶	۸	۱۰	وزن دهی (I)	جمع	
				××	۳/۵		حساسیت و بهرانی بودن قطعه
				××	۳		ایمنی و ریسک در قطعه
					۳		اثر افزایش بار
					۳		اثر شرایط محیطی
					۳		اثر انتقال حرارت جابجایی
					۱/۵		اثر انتقال حرارت تشعشع
					۳		ضعیف و نامناسب بودن قطعه در کارکرد
					۳/۵		اثر مخفی بودن منبع گرمایی
					۳/۵		اثر بالا رفتن دما در حرات
							امتیاز کلی

جدول شماره ۲- یک مثال از مائیس ارزیابی و وزن دهی در آنالیز حرارتی

امتیاز کلی	شرایط قطعات و اجزاء از نظر خامت عیب	چگونگی تعمیر قطعات و اجزاء
< ۷۵	احتمال وجود عیب	قطعه بایستی تحت کنترل باشد
۷۵-۱۱۹	وجود عیب	درتوییت بعدی تعمیرات سرویس گردد
۱۲۰-۱۷۹	عیب توسعه یافته	در اولین فرصت سرویس گردد
≥ ۱۸۰	عیب حاد	بدون فوت وقت سرویس شود

جدول شماره ۳- امتیاز کلی، شرایط قطعات و دستور کارهای مربوطه

تفسیر عکس های حرارتی

گرفتن عکس های حرارتی بادوربین های مادون قرمز و تفسیر کردن آنها نیازمند به گذراندن دوره های خاص تخصصی در مراکز معتبر و رسمی است. در این دوره هابه نفرات آموزش داده می شود که چگونه دوربین های مادون قرمز را با توجه به شرایط مورد عکس برداری تنظیم کنند تا محدوده های حرارتی نرمال و مورد انتظار را بدست آورند. و پس از گرفتن عکس اگر درجه حرارت واقعی بالاتر از حد مورد انتظار باشد آنها با تجربیات و اطلاعات فنی خود نسبت به تفسیر عکس ها و یافتن ایرادهای ایجاد کننده این درجه حرارت های بالاتر یا پایین تر از حد نرمال می پردازند که این انحرافات از حد نرمال و مورد انتظار همان چیزی است که در انجام ترموگرافی به دنبال آن می گردیم. ترموگرافرها با تفسیر عکس های حرارتی علت های ریشه ای ایجاد این اختلاف درجه حرارت های غیر طبیعی را شناسائی می کنند.

برآورد و تعیین صرفه جویی های اقتصادی تصویر برداری حرارتی

وقتی که یک برنامه تصویر برداری حرارتی (ترموویژن) جدید به عنوان بخشی از یک سیستم نگهداری و تعمیرات شروع می شود، نکته مهم توجیه اقتصادی و فنی آن است از طرفی داشتن توجیه اقتصادی برای یک روش منجر به آن می شود که نه تنها بخش مرتبط با آن مقبولیت آن را احساس کند بلکه تمامی واحدهای یک بنگاه اقتصادی وجود آن را ضروری و مفید بدانند. چون برای بسیاری از بخش های یک بنگاه اقتصادی خصوصاً مدیریت کلان مهم ترین پارامتر " پول " است. لذا برآورد و تعیین صرفه جویی های اقتصادی عاملی است که باید بطور مداوم و در کنار توجیه فنی انجام گیرد. برای این منظور باید هزینه قطعات و تجهیزات تعویضی و همچنین دستمزدها در حالت قبل از خرابی (پیشی بینی عیب توسط ترموویژن) و درحالت بعد از خرابی (درصورت عدم استفاده از روش ترموویژن) محاسبه و ارزیابی شوند.

کاربردها و توجیه فنی استفاده از تصویر برداری حرارتی

شناخت کاربردهای متفاوت دوربین های ترموویژن و اجرای تصویر برداری های حرارتی در صنایع مختلف می تواند روش مناسبی در توجیه فنی استفاده از این ابزار در مجموعه های نگهداری و تعمیرات باشد. نتایج استفاده از سیستم های ترموویژن شامل موارد زیر خواهد بود.

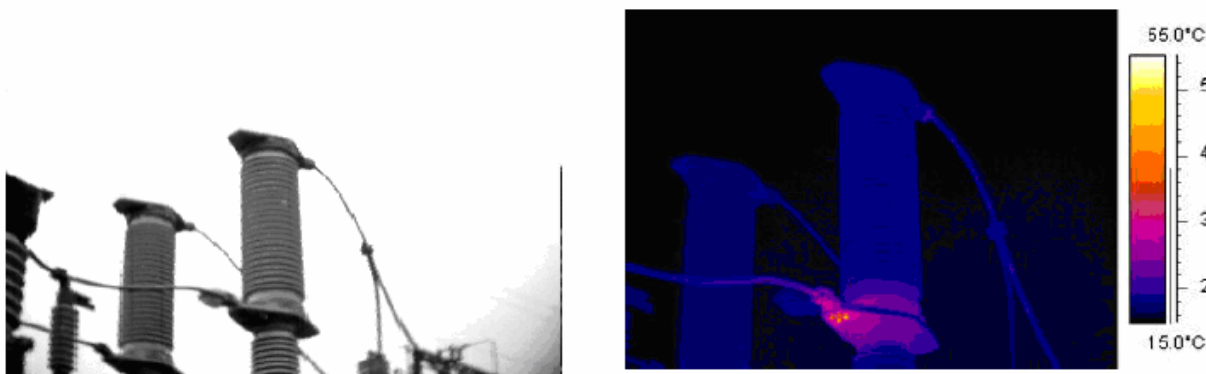
- کاهش زمان توقف تولید با حذف اتفاقات ناخواسته
 - کمک در بهبود برنامه ریزی و زمان بندی بازرسی تجهیزات
 - جلوگیری از اتلاف سرمایه ها و انرژی مصرفی
 - سرعت بخشیدن به انجام بازرسی های بیشتر در زمان کمتر
 - افزایش دقت و کارایی در عملیات بازرسی فنی تجهیزات
 - امکان بازرسی تجهیزات بعد از تعمیرات انجام شده
 - امکان بهره برداری هرچه بیشتر از خطوط تولید از طریق افزایش قابلیت اطمینان تجهیزات و نمایش وضعیت پروسه های تولید بدون ازسرویس خارج نمودن واحدهای عملیاتی یا خاموش کردن دستگاه ها .
- چند نمونه از کاربردهای سیستمهای ترموویژن برای عیب یابی و بازرسی فنی تجهیزات به شرح زیر می باشد.

الف - کاربرد ترموگرافی در تشخیص عیوب تجهیزات الکتریکی

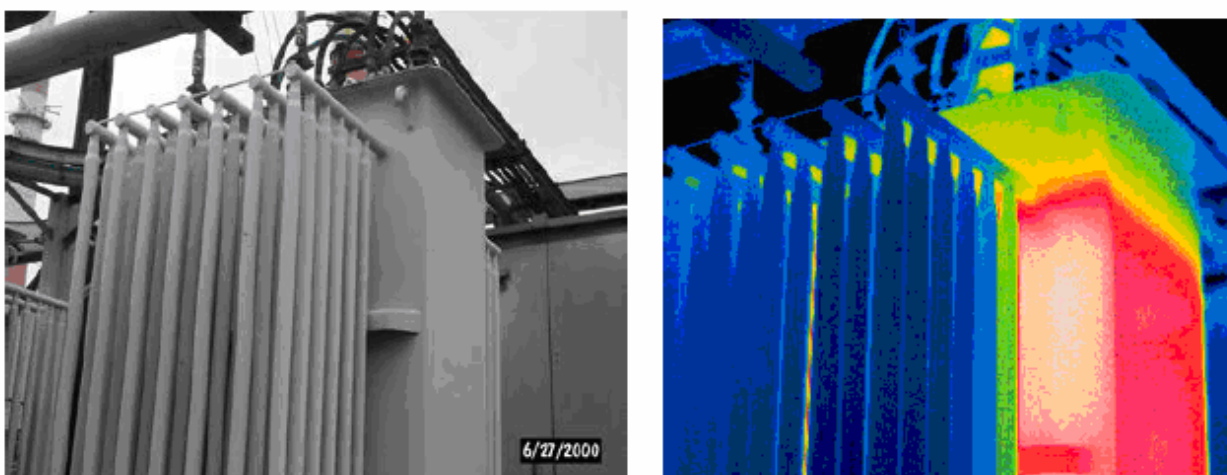
از آنجا که عبور جریان الکتریکی از مدارات ، دستگاه ها و تجهیزات الکتریکی همواره با تولید حرارت همراه می باشد لذا اندازه گیری درجه حرارت و تهیه عکس های حرارتی اجزاء و تجهیزات الکتریکی راهنمای مطمئنی در تعیین نقاط ضعف که احتمالاً در آینده منجر به اتصالی های عمده خواهد گردید می باشد. نقاط گرم در تجهیزات الکتریکی اغلب ناشی از محکم نبودن، اکسید شدن و یا خوردگی اتصالات و همچنین عدم تقارن فازها و یا خرابی عایق سیم پیچ ها است که تمامی این موارد را می توان با کاربرد دوربین های ترموویژن با اندازه گیری درجه حرارت تجهیزاتی چون خطوط انتقال نیروء پست های فشارقوی، ترانسفورماتورها ، سوئیچ ها، فیوزها، کابل ها و کلیه تجهیزات کنترل و تابلوهای برق آشکار نمود و آنها را قبل از اینکه منجر به اتفاقات مخرب در سیستم برق گردد برطرف نمود.

در شکل های زیر مثال هایی از کاربردهای دوربین های ترمو ویژن برای پیدا کردن عیوب الکتریکی آورده شده است.

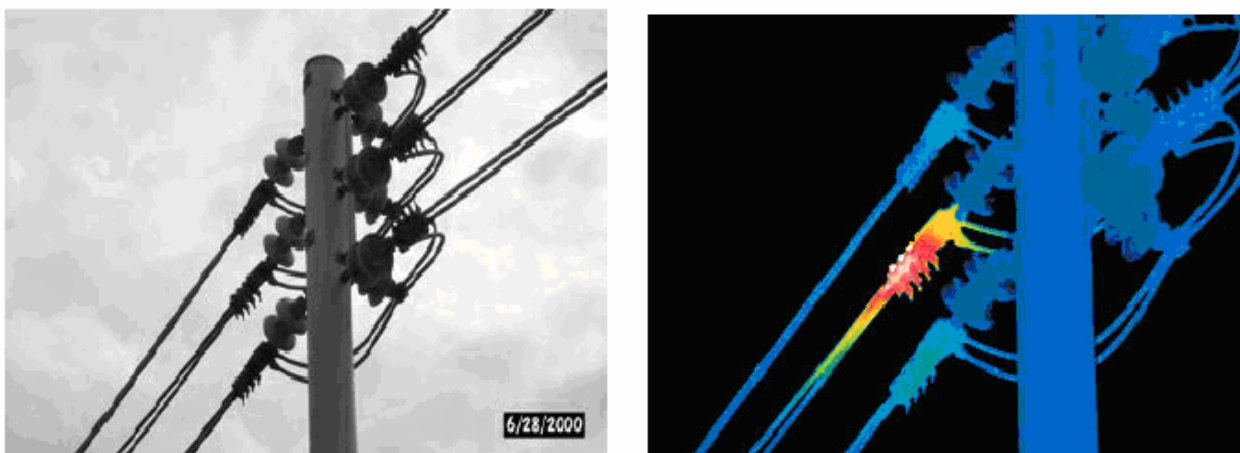
در شکل زیر عیب موجود روی اتصال قسمت هادی به یک کلید برق فشارقوی نشان داده شده است



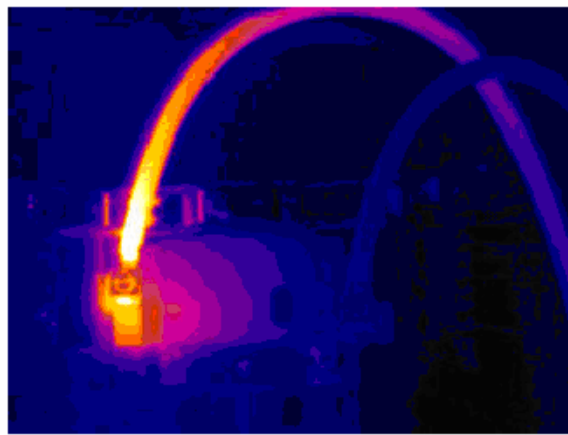
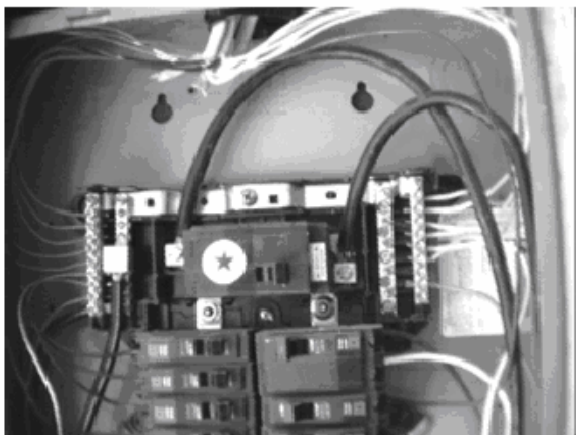
در شکل زیر عدم خنک کنندگی پره های یک دستگاه ترانسفورماتور که ناشی از کاهش سطح روغن در داخل آن است نشان داده شده است.



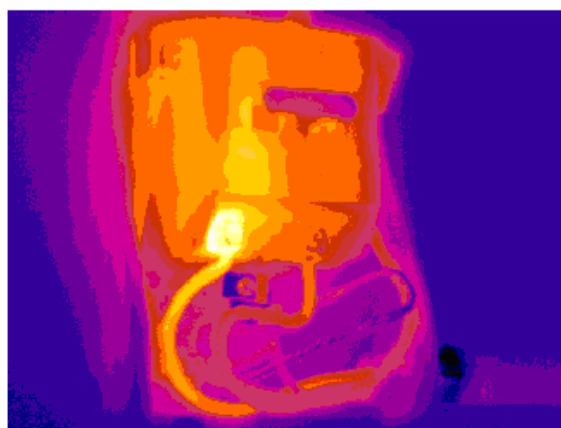
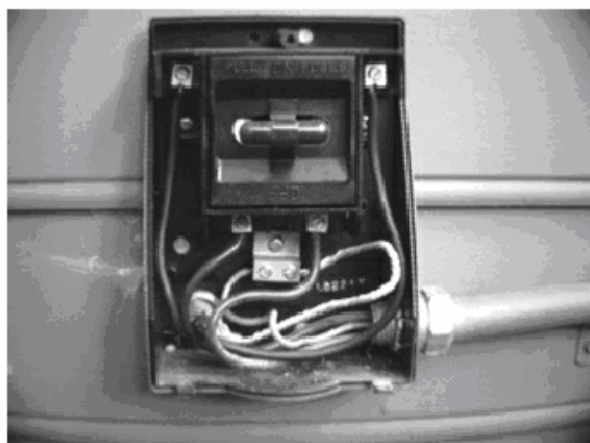
در شکل زیر خرابی Jumper در محل اتصال پیچ های یک شبکه توزیع و انتقال نیروی برق نشان داده شده است



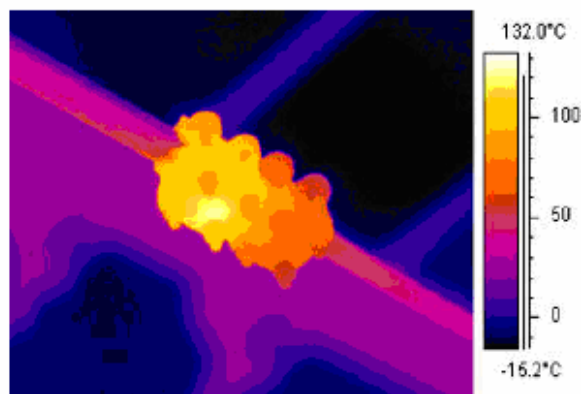
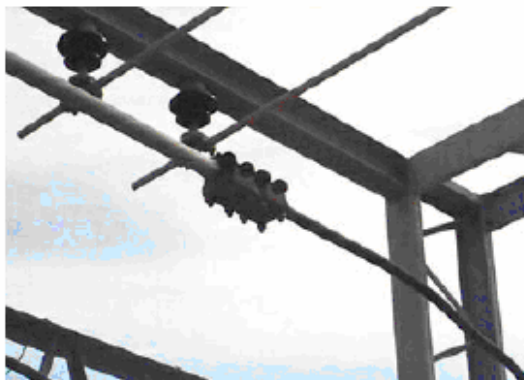
در شکل زیر مشکل موجود بر روی محل اتصال یکی از سیم های داخل یک عدد تابلوی برق فشار ضعیف با استفاده از عکس برداری حرارتی شناسائی شده است.



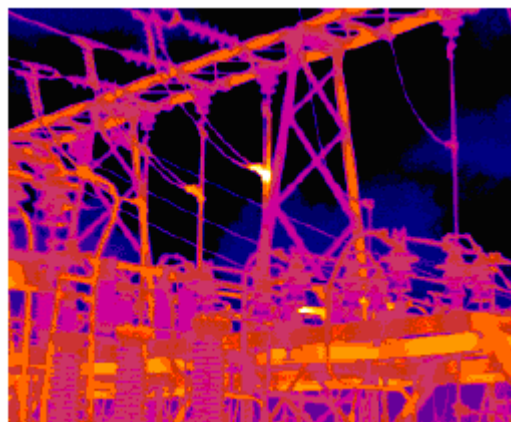
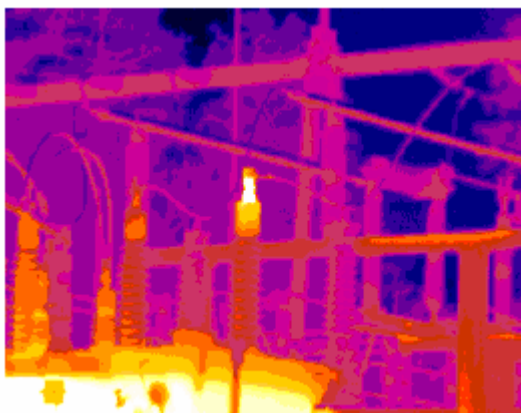
در شکل زیر محل عیب در داخل جعبه تغذیه برق یک وسیله برقی آشکارسازی شده است.



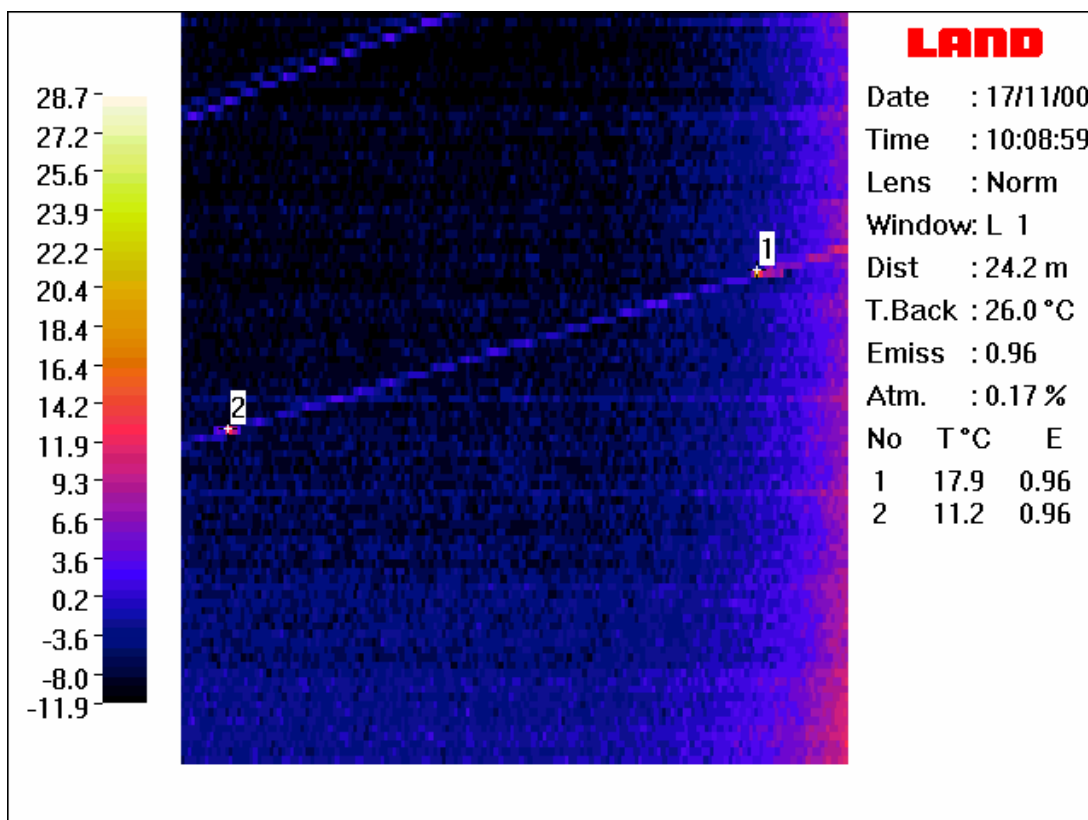
در شکل زیر حرارت بیش از حد مجاز بر روی کلمپ موجود بر روی باس بار برق فشار قوی شناسائی شده است.



در شکل زیر نمونه ای از آشکارسازی عیب هائی که روی محل اتصال هادی به قسمت بوشینگ ترانس و زنجیره مقره آن وجود داشته شناسائی شده است.

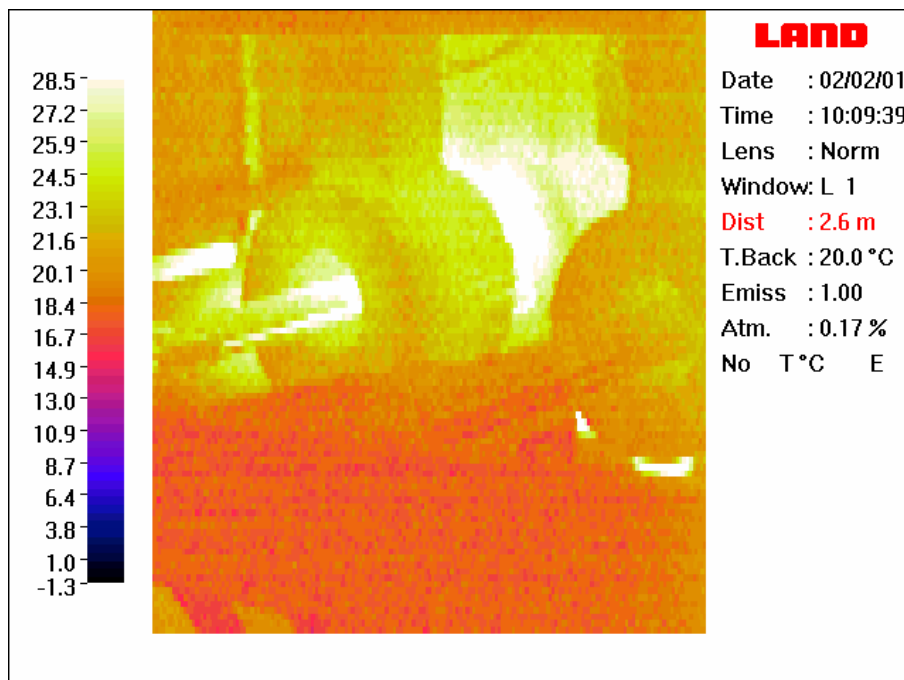


در شکل زیر عکسی از یک قسمت متصل کننده یک خط انتقال قدرت برق 69KV که میزان درجه حرارت در نقطه اتصال بالا تر از حد مورد انتظار بوده است و توسط ترموگرافی شناسائی شده نشان داده شده است.

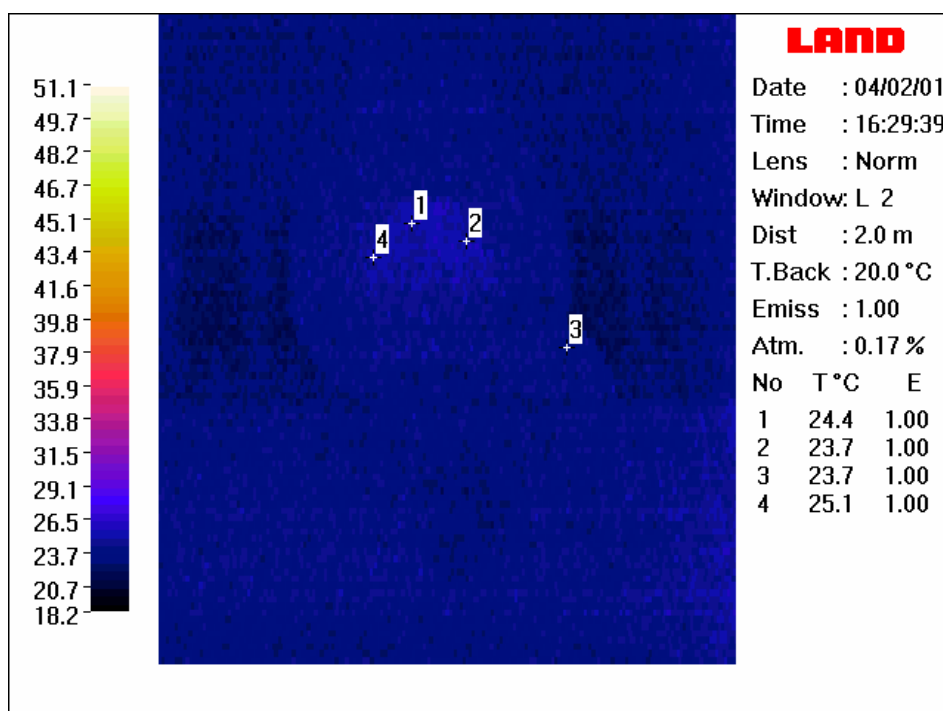


لازم به توضیح است که علت اصلی مشکل فوق مربوط به خوردگی اتمسفریک بوده است و در صورتی که اقدامات اصلاحی به موقع انجام نمی شد می توانست علاوه بر ایجاد تلفات الکتریکی باعث قطع کابل و..... نیز بشود.

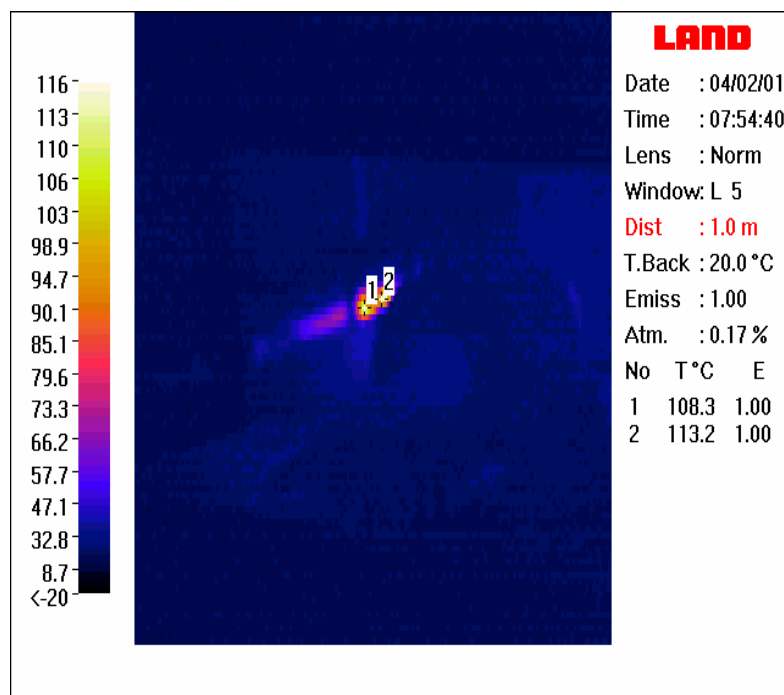
در شکل زیر عکس برداری حرارتی از یک دستگاه ترانسفورمر سه فاز با قدرت 13.8KV که از فاصله 2.6m گرفته شده نشان داده شده که دمای گرم ترین نقطه آن 180°C ثبت شده است.



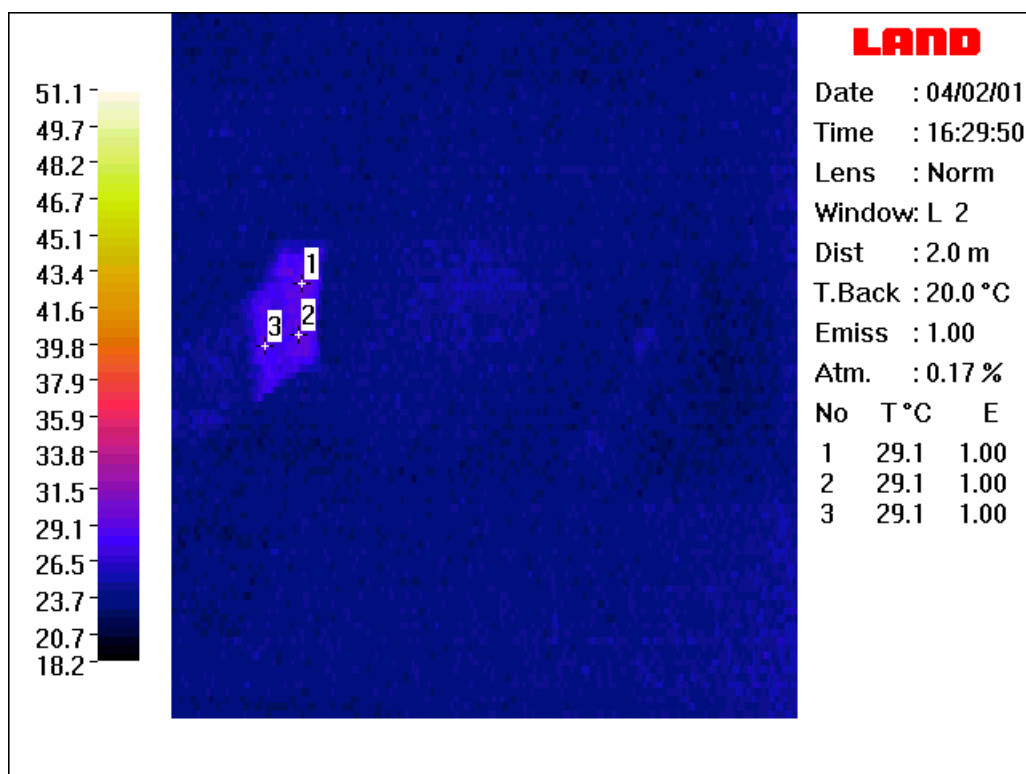
در شکل زیر نیز عکس دیگری از همان ترانسفورماتور بعد از انجام اقدامات اصلاحی و تعمیر آن گرفته شده است که همانطور که ملاحظه می شود دمای نقاط قبلی به مراتب کاهش پیدا کرده است.



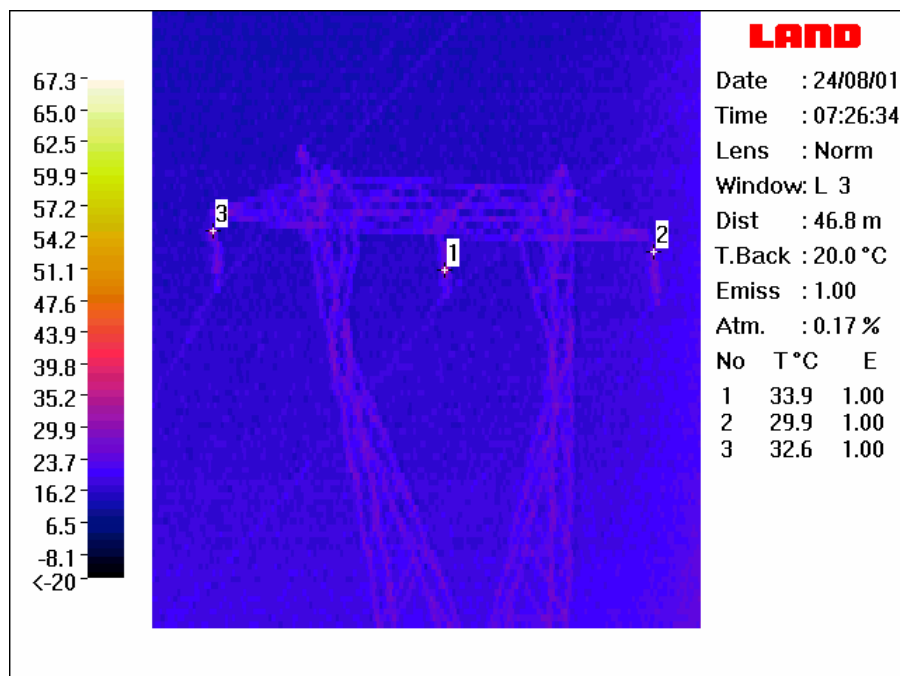
درعکس زیر عکسی از محل اتصال سیم Earth یک خط انتقال قدرت 13.8KV که دمای آن به تدریج افزایش پیدا کرده نشان داده شده است. لازم به توضیح است که مشکل اصلی مربوط به خوردگی ناشی از رزنگ زدگی محیطی بوده است.



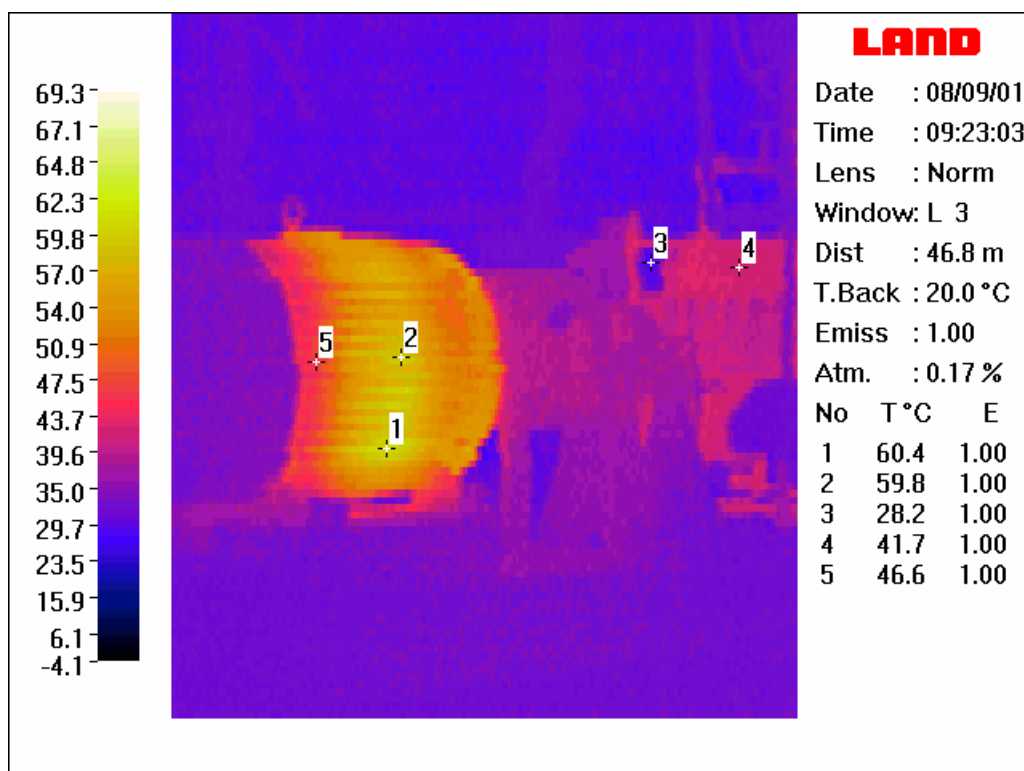
درعکس زیر نیز همان نقاط قبلی بعد از انجام اقدامات اصلاحی تعمیراتی نشان داده شده است.

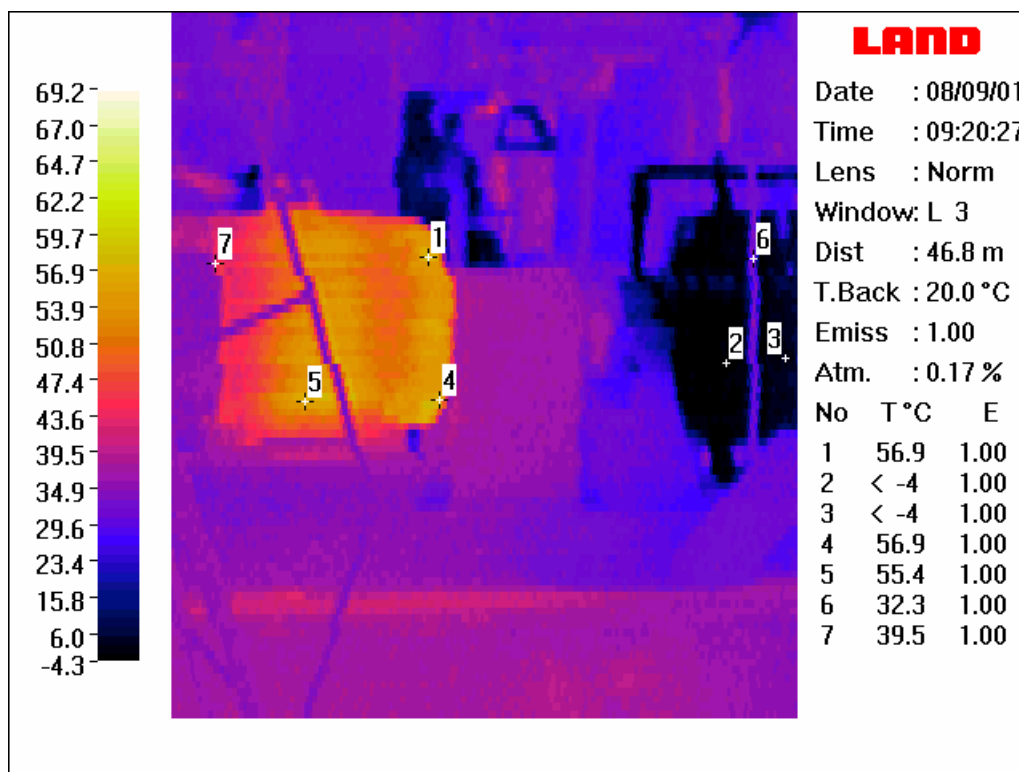


در شکل زیر از محل اتصالات کابل های یک دکل انتقال برق Bus Bar Connector عکس برداری شده که دمای محل اتصال سیم ها بیشتر از حد مجاز بوده است.



در شکل های زیر از یک موتورهای الکتریکی که محرک دو دستگاه پمپ است عکس برداری شده که دمای آن بالاتر از حد مجاز بوده است.





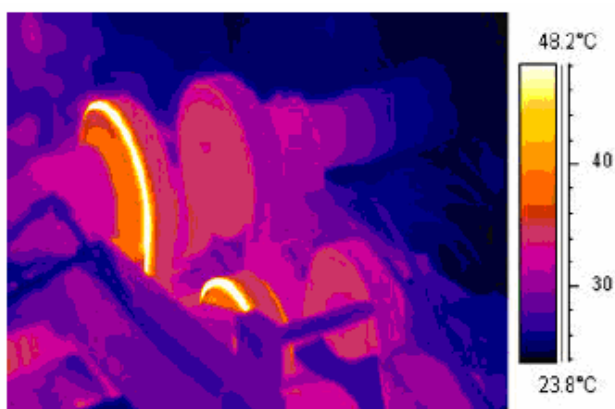
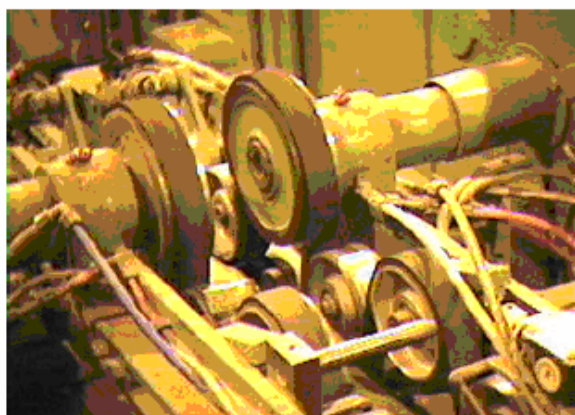
بررسی های انجام شده روی الکتروموتورهای فوق حاکی از Loose Connection محل اتصال سیم پیچ های داخلی آن که ناشی از لحیم کاری ناقص آنها بوده است.

ب- کاربرد ترموگرافی در تشخیص عیوب تجهیزات مکانیکی

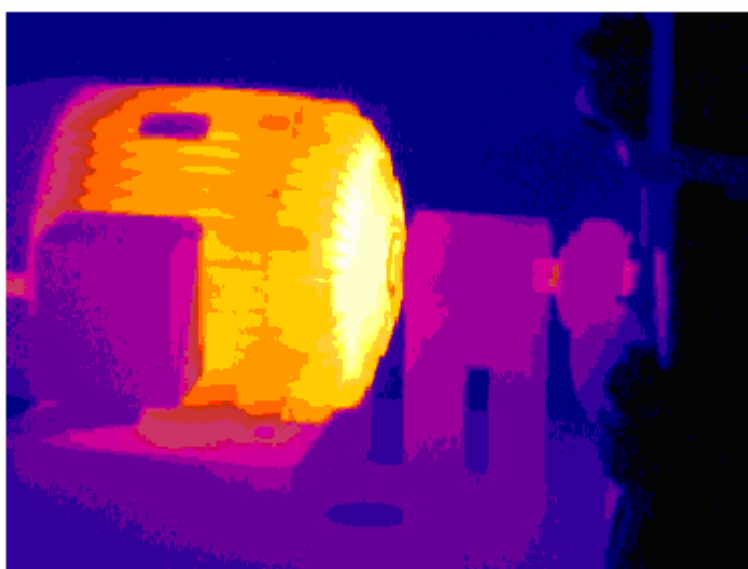
افزایش درجه حرارت در تجهیزات مکانیکی پدیده ای است که اغلب از خرابی یا اتفاقات، عدم روغنکاری مناسب، عدم هم محوری و یا سرعت بیش از حد قطعات متحرک ناشی می گردد. لذا با بکارگیری سیستم های ترموویژن در اندازه گیری درجه حرارت قطعات و وسایلی نظیر چرخ دنده ها، شافت ها، کوپلینگ ها، پولی ها، تسمه ها، زنجیرها، نقاله ها، کمپرسورها، پمپ های خلاء و کلاچ ها و تجزیه و تحلیل نقاط گرم موجود در آنها می توان بخوبی علاوه بر تعیین محل عیب، روند پیشرفت آنها را نیز مشخص نمود و به منظور تعیین میزان ضرورت رفع عیب و زمان آن از نتایج حاصله استفاده کرد. مزیت کاربرد سیستم های ترموویژن در مقایسه با سایر سیستم های عیب یابی (مانند سیستم ارتعاش سنجی) عدم نیاز به کارگذاری سنسورها و تماس مستقیم با تجهیزات می باشد. مضافاً این که در بسیاری از تجهیزات یافتن عیوب با استفاده از سیستم های دیگر به غیر از روش ترموگرافی به سهولت و با دقت کافی امکان پذیر نیست. به عنوان مثال می توان عیب ناشی از خوردگی کامل جاروبک ها در ماشین های الکتریکی اشاره کرد که با پیدایش چنین عیبی و از روی تعیین درجه حرارت محل تماس ذغال ها با کلکتور و از فاصله دور می توان به وجود یا عدم وجود عیب مذکور پی برد.

در شکل های زیر نمونه هایی از کاربرد دوربین های ترموویژن را در آشکار ساختن عیوب موجود در بخش های مختلف مکانیکی نشان می دهند.

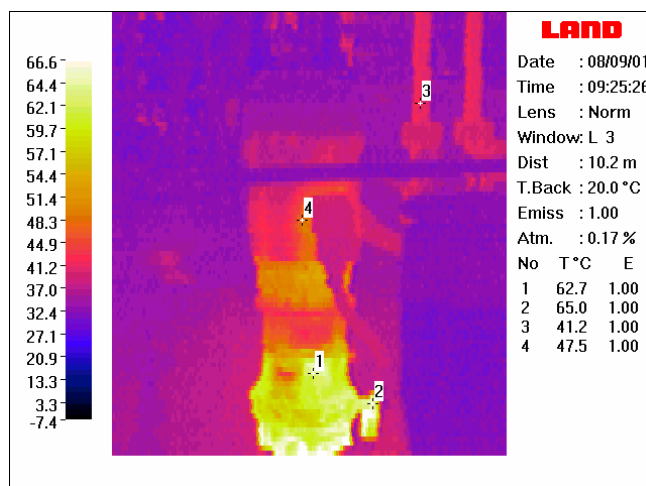
در شکل زیر نابالانسی پولی انتقال نیروی محرکه که منجر به داغ شدن بیش از حد تسمه شده به روش عکس برداری حرارتی شناسائی شده است.



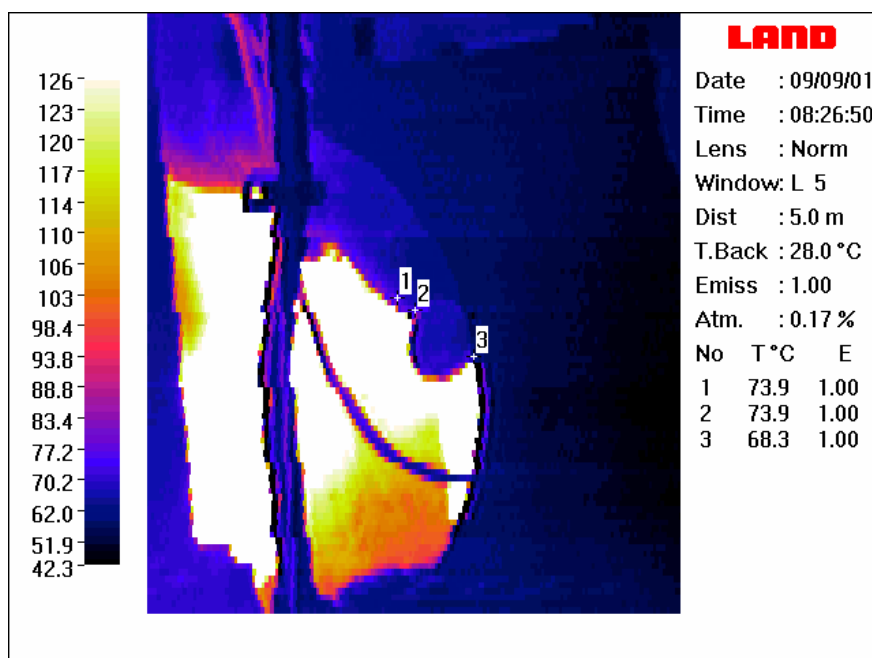
در شکل زیر خرابی یاتاقان انتهائی یک دستگاه الکتروموتور که منجر به افزایش درجه حرارت غیر مجاز شده توسط ترموگرافی شناسائی شده نشان داده شده است.



در شکل زیر مشکل یک پمپ و گیربکس عمودی که دمای گیربکس آن بیشتر از حد مجاز بوده است نشان داده شده است.



درعکس زیر وضعیت روغن روانکاری اتاقان نشان داده شده است.

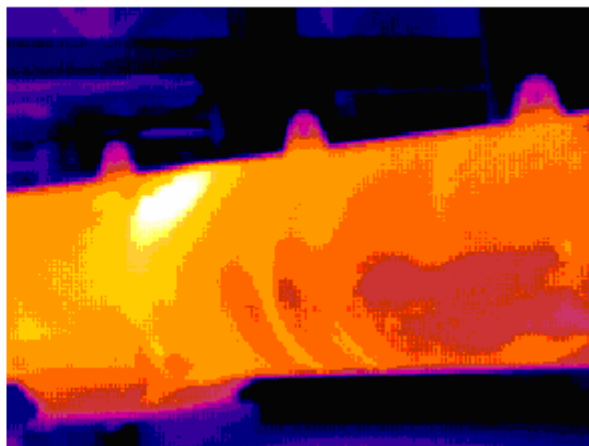
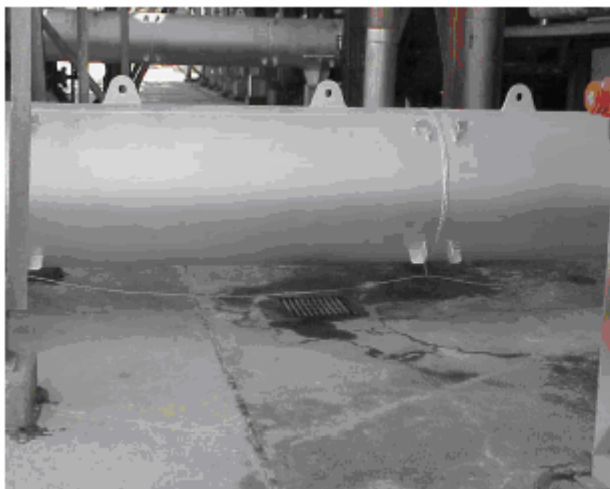


ج- کاربرد ترموگرافی در تشخیص عیوب عایق های حرارتی

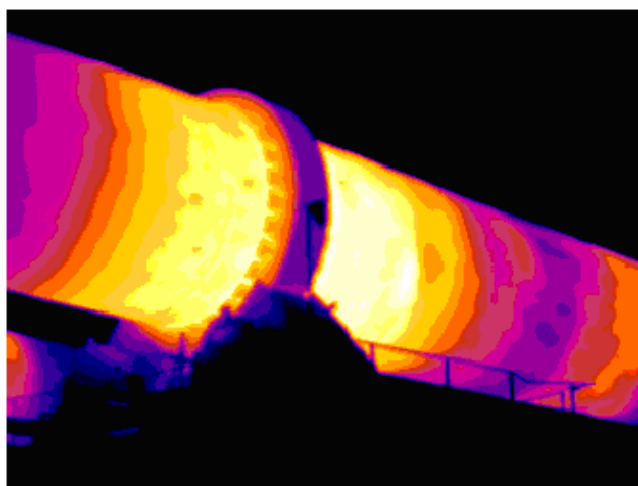
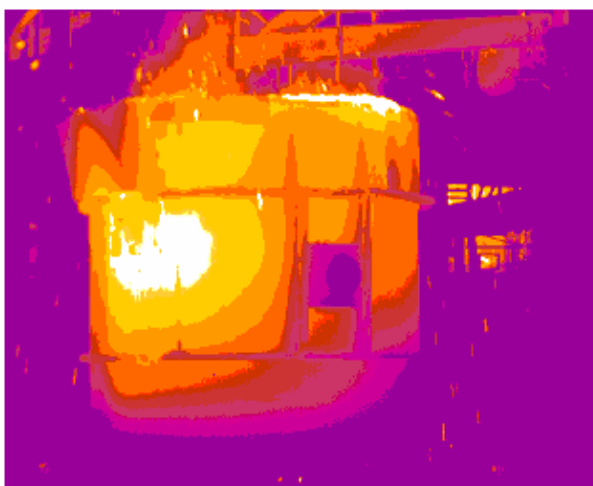
یکی از مهم ترین کاربرد سیستم های ترموویژن عیب یابی و بازرسی عایق های حرارتی کوره ها ، بویلرها ، خشک کن های حرارتی ، پاتیل های ریخته گری، تانک های ذخیره سازی مواد گرم و لوله های انتقال سیالات می باشد . اگر بخشی از عایق تجهیزات مذکور در اثر عوامل مختلف از بین رفته باشد ، چون در آن محل نقطه گرم ایجاد می شود می توان این نقاط گرم را توسط عکس برداری حرارتی شناسائی نمود. شکل های زیر نمونه هایی از تصویرهای ترموگرافیک است که مبین وضعیت نامناسب عایق های حرارتی در قسمت های مختلفی از تجهیزات می باشد. در شکل زیر مشکل خرابی عایق در نقاطی از خط انتقال سیال نشان داده شده است.



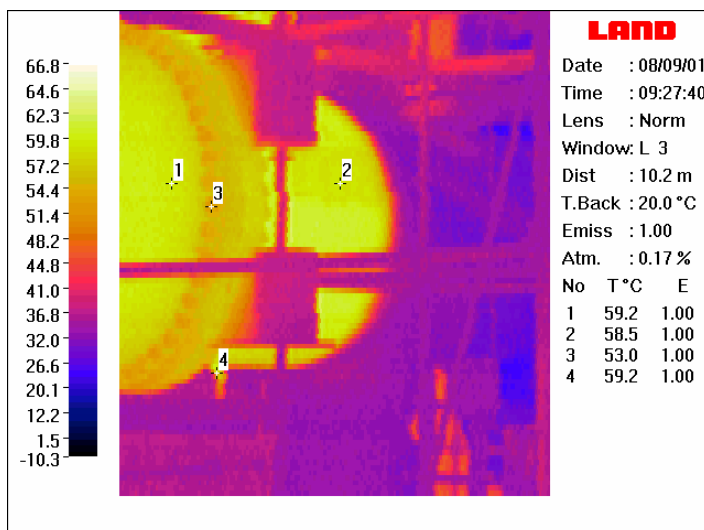
در شکل زیر عیب عایق حرارتی در مسیر عبور سیال توسط عکس برداری حرارتی آشکار سازی شده است.



در شکل زیر نمونه ای دیگر از آشکار سازی عیوب آجرهای نسوز داخل یک کوره فولاد سازی نشان داده شده است.



در شکل زیر نیز عکسی از یک مخزن تحت فشار که درجه حرارت آن نرمال و بدون نشتی بوده نشان داده شده است.

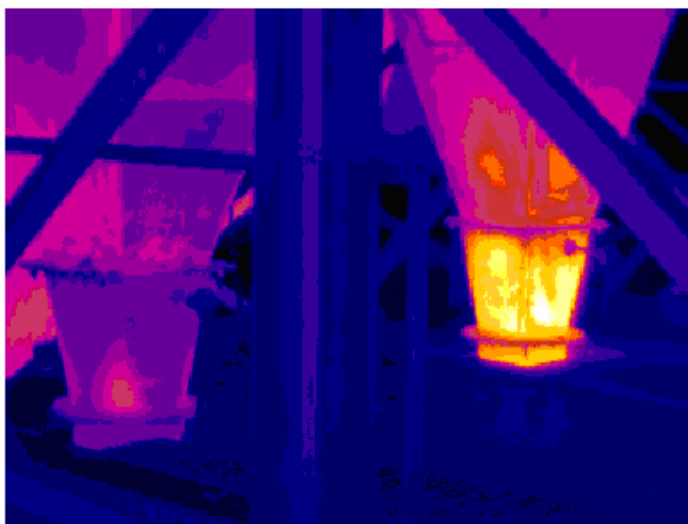


لازم به توضیح است که از روش ترموگرافی می توان برای پیدا کردن محل نشت مواد داغ بطرف اتمسفر نیز استفاده نمود.

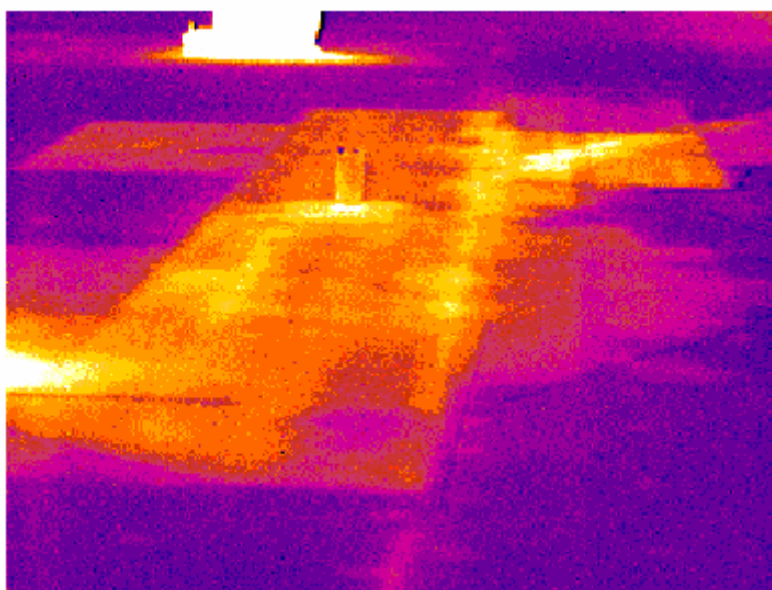
پ- کاربرد ترموگرافی در تشخیص راندمان حرارتی تجهیزات و مکان ها

در بسیاری از تجهیزات با اندازه گیری میزان درجه حرارت ورودی و خروجی سیال (یا مواد) به راحتی می توان راندمان حرارتی آنها را بررسی نمود. یکی از بارزترین نمونه های این کاربرد تعیین راندمان حرارتی برج های خنک کننده در نیروگاه ها و کارخانجات مختلف و یا تعیین میزان اتلاف انرژی حرارتی در ساختمان ها می باشد.

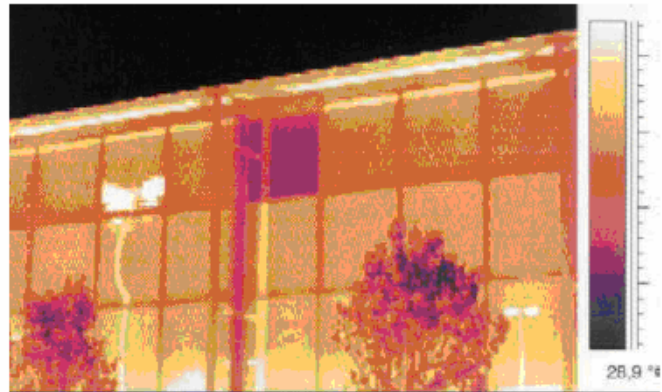
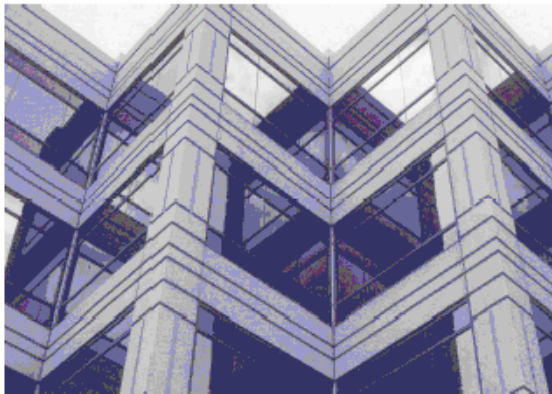
در شکل زیر از عکس برداری حرارتی برای تعیین میزان درجه حرارت در محل ورودی و خروجی یک برج خنک کننده و مقایسه آن با مقادیر قبلی اندازه گیری شده برای تعیین تغییرات در راندمان برج استفاده شده است.



در شکل زیر عکس برداری حرارتی نامناسب بودن ایزولاسیون یک پشت بام را شناسائی نموده است.



در شکل زیر تلفات حرارتی ناشی از دوجداره نبودن شیشه های یک ساختمان نشان داده شده است.

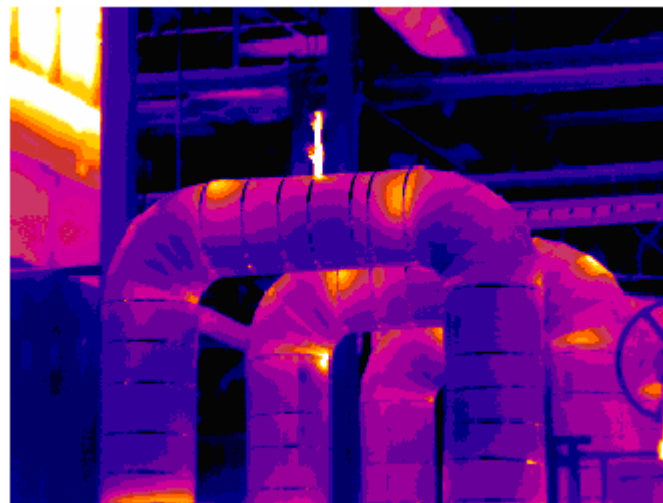


ت - کاربرد ترموگرافی در تشخیص عیوب مسیر عبور سیالات گرم

علاوه بر امکان بررسی و وضعیت عایقهای مسیر عبور سیالات گرم ، با استفاده از سیستمهای ترموویژن می توان محل های نشتی را نیز در این مسیر ها مشخص و آنها را قبل از ایجاد حادثه برطرف نمود. شکل های زیر نمونه هایی از این کاربرد را در مشخص نمودن نشت بخار از یک مسیر سیال و همچنین نشت بخار در داخل یک تله بخار را نشان می دهند.



در شکل زیر نشتی بخار از مسیر جریان سیال توسط عکس برداری حرارتی شناسائی شده است.



لازم به توضیح است که با استفاده از روش فوق امکان ضخامت سنجی لوله های حاوی سیالات گرم نیز وجود دارد که زمان انجام آن نیز به مراتب کمتر از آلتراسونیک است چون نیازی به آماده سازی قبلی سطوح نمی باشد. به عنوان یک قانون کلی به دلیل مقاومت حرارتی فلزات نقاطی از یک لوله که ضخامت مقطعی کمتری دارند نسبت به سایر نقاط لوله درجه حرارت بالاتری دارند که با این اختلاف درجه حرارتی که روی عکس های ترموگرافی قابل رویت است امکان تشخیص قسمت های کم ضخامت میسر خواهد شد.

ث- کاربرد ترموگرافی در پزشکی

ترموگرافی یک ابزار تشخیصی قوی برای پزشکان برای تشخیص بعضی از بیماریها به حساب می آید. با کمک این روش می توان بسیاری از سرطان ها بخصوص سرطان سینه را حداقل ده سال زودتر از روش های دیگری نظیر ماموگرافی تشخیص داد. شایان ذکر است که اغلب سلول های سرطانی بیست سال قبل از آن که تشخیص داده شوند شروع به رشد می کنند. از آنجا که سلول های سرطانی به علت رشد دارای سوخت و ساز بالائی هستند در نتیجه حرارتشان نیز از سلول های مجاورشان بالاتر است و عکس های تهیه شده به روش ترموگرافی بانشان داده این اختلاف رنگ های مختلف وجود سلول های سرطانی را نمایان می سازند و ۹۵ درصد سرطان های تشخیص داده شده در مراحل اولیه با ترموگرافی کاملاً درمان می شوند.

ج- کاربرد ترموگرافی در ابزار دقیق

از ترموگرافی می توان برای تصدیق و تأیید عملکرد صحیح ترموکوپل ها استفاده نمود. بطور مثال در کوره های یک پالایشگاه ترموکوپل ها در نقاط مختلف برای اندازه گیری دقیق درجه حرارت های تیوپ ها تعبیه می شوند که در برخی نواحی به دلیل قطع شدن سیم های ترموکوپل ها احتمال ایجاد خطا وجود دارد که با این روش امکان تشخیص آن وجود دارد و می توان از عملکرد ترموکوپل ها اطلاع حاصل نمود.

نتیجه گیری

با توجه به توسعه و گسترش تجهیزات صنایع نا کار آمد شدن روش های سنتی باز دیدهای پریودیک و پیشگیرانه روز به روز ملموس تر می شوند. تجربیات چندین ساله در استفاده از دوربین های ترموویژن مبین اهمیت بکارگیری فن آوری تصویر برداری حرارتی (ترموویژن) به منظور بهبود روش های بهره برداری ، بازرسی فنی و انجام تعمیرات می باشد. در این راستا مد نظر قرار دادن این مطلب که بر اساس گزارش های مستند مراکز تحقیقاتی معتبر و شرکت های متعدد در دنیا صرف هزینه ای معادل یک دلار برای انجام تصویر برداری های ترموویژن بازگشتی معادل ۴ دلار را همراه خواهد داشت

مقدمه ای بر ارتعاشات صوتی و آنالیز صوت

یکی دیگر از پارامترهایی که در سیستم های Condition Monitoring برای تعیین وضعیت دستگاه ها و ماشین آلات مورد استفاده قرار می گیرد سروصدای دستگاه است که مبین سالم یا ناسالم بودن آن می باشد. ارتعاشات صوتی دارای مشخصاتی مشابه با ارتعاشات مکانیکی هستند و می توان از آن در عیب یابی ماشین استفاده کرد. که به دلیل بالابودن هزینه های آن و به دلیل این که نتایج حاصل از آن به راحتی تحت تاثیر عوامل خارجی مزاحم قرار می گیرد تا بحال در صنعت کمتر مورد استفاده قرار گرفته است ولی در طی سال های گذشته با عنایت به آلودگی های صوتی که ایجاد می شود و دریافت ایزوهای مختلف اجبارا جای خود را در صنایع بزرگ کشورهای صنعتی باز نموده است .

از طرف دیگر ارتعاشات صوتی قادر است اطلاعات تکمیلی درباره وضعیت کلی ماشین و اجزاء مستقل آن را فراهم سازد. بنابراین بسیار مناسب است که اندازه گیری صوت در ماشین آلات نیز انجام پذیرد. ارتعاشات صوتی در جامدات ، مایعات و گازها هم اتفاق می افتند . بنابراین با در نظر گرفتن جنس ماده واسطه انتقال ، بایستی فرقی بین صدای تولید شده در سازه ها ، مایعات و هوا قائل گردید.

وقتی که یک دستگاه مرتعش می شود، ارتعاشات صوتی تولید شده در سازه نیز بی درنگ به محیط اطراف که اغلب هواست ، منتقل می شود. بنابراین دستگاه ها و ماشین آلات ، یک منبع تولید صوتند که امواج صوتی را در هوا منتشر می کنند. بهترین اصطلاح فنی برای صدای تولید شده در هوا همان کلمه ساده صدا یا صوت است.

موارد استفاده اندازه گیری و ارزیابی صدا

هدف از اندازه گیری صوت به طور کلی شامل موارد زیر است :

الف- بررسی اثرات امواج صوتی روی محیط زیست که هدف اصلی این روش بیان اثرات صدا، روی محیط و افراد ، با بکار بردن روش های مناسب اندازه گیری است .

ب- بررسی امواج صوتی منتشر شده از منابع صوتی که هدف از این روش ، آنالیز امواج صوتی منتشر شده از منابع تولید صدا (بطور مثال ماشین ها) برای بدست آوردن اطلاعاتی درباره وضعیت کارکرد آنها می باشد . روش آنالیز امواج صوتی منتشر شده مثل روش اندازه گیری و آنالیز ارتعاشات مکانیکی است. بررسی امواج صوتی منتشر شده برای استفاده در عیب یابی ماشین کاربردهای زیادی دارد که از اهمیت زیادی برخوردار است و انشاا... در این قسمت مورد بررسی واثع می شود.

مفاهیم اولیه و متغیرهای اندازه گیری

بهترین " دستگاه " برای اندازه گیری صدا و ارزیابی نتایج آن، گوش انسان است . لذا تعریف یک سری از متغیرهای اندازه گیری صدا ، بر اساس اثرات صدا روی انسان ها و عکس العمل انسان ها به آن بنا گذاشته شده است. مهمترین متغیر اندازه گیری مناسب، حساس بودن گوش انسان به ارتعاش است که این همان فشار صوت است.

تمام اثرات صوت روی انسان ها ، در نتیجه فشار صوت است. فشار صوت یک متغیر قابل اندازه گیری برای ارتعاش مولکول های گاز ناشی از یک منبع صوتی است .

واحد اندازه گیری فشار صوت

گوش انسان توانایی " اندازه گیری " (شنیدن) فشار صوت تقریباً $20 \mu\text{pa}$ از $20 \mu\text{pa}$ (پاسکال pa) تا 200 pa را دارد. صوت با شدت $20 \mu\text{pa}$ تقریباً باعث ارتعاش پرده گوش انسان با جابجائی کمتر از قطر یک مولکول هیدروژن می شود. در حالی که حداکثر مقدار شنوایی (آستانه درد) بیشتر از یک میلیون برابر بزرگتر از مقدار مینیمم شنوایی (آستانه شنوایی) است.

از آنجائی که مقادیر اندازه گیری شده فشار صوت برحسب واحد پاسکال خیلی بزرگ و غیرعادی است، به همین دلیل از واحد دسی بل dB برای اندازه گیری میزان فشار صوت استفاده می گردد. این مقیاس بصورت لگاریتمی تعریف شده و حد آستانه شنوایی بعنوان فشار صوت مرجع ($20 \mu\text{pa}$) می باشد.

$$L_p = 20 \cdot \log \frac{P}{P_0}$$

که در آن :

L_p : سطح فشار صوت

$P_0 = 20 \mu\text{pa}$: فشار صوت مرجع

P : فشار صوت

مقیاس dB محدوده خطی $200 \text{ Pa} \sim 0.00002 \text{ Pa}$ را به مقیاس لگاریتمی از صفر dB (آستانه شنوایی) تا 140 dB (آستانه درد) تبدیل می کند.

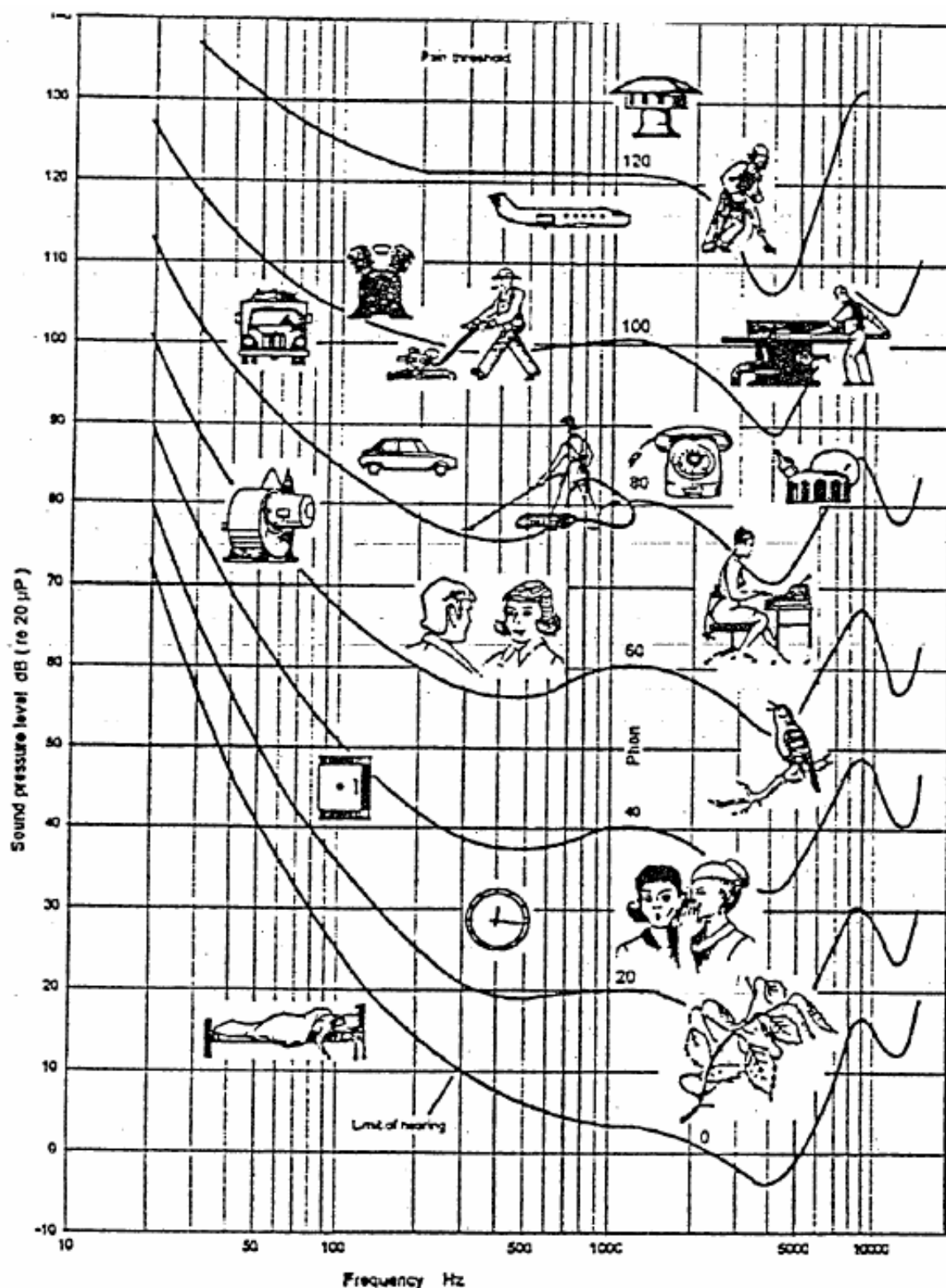
توزین فرکانس فشار صوت Frequency Assessment

گوش انسان توانائی تشخیص همه فشارهای صوتی با مقادیر دامنه یکسان را ندارد. یک مرجع سینوسی خالص با فرکانس 500 Hz و میزان فشار صوت 80 dB بوسیله گوش انسان با موج سینوسی دارای فرکانس 1000 Hz در 60 dB به یک میزان تشخیص داده می شوند.

میزان بلندی منبع صوت و میزان فشار صوت نیز جزء متغیرهای صوتی می باشند و تنها با انجام تست های مقایسه ای با سیگنال استاندارد شده، بوسیله گروهی از نمونه های مورد تست می توانند تعیین گردند.

بیشترین حساسیت گوش انسان بین 2 تا 5 KHz است. در فرکانس های بالا و پائین این محدوده، حساسیت گوش کاهش پیدامی کند. کل محدوده شنوایی گوش افراد متوسط 16 Hz تا 16 KHz است.

در شکل زیر رابطه بین میزان بلندی و فشار صوت در کل محدوده فرکانس شنوایی انسان نشان داده شده است.

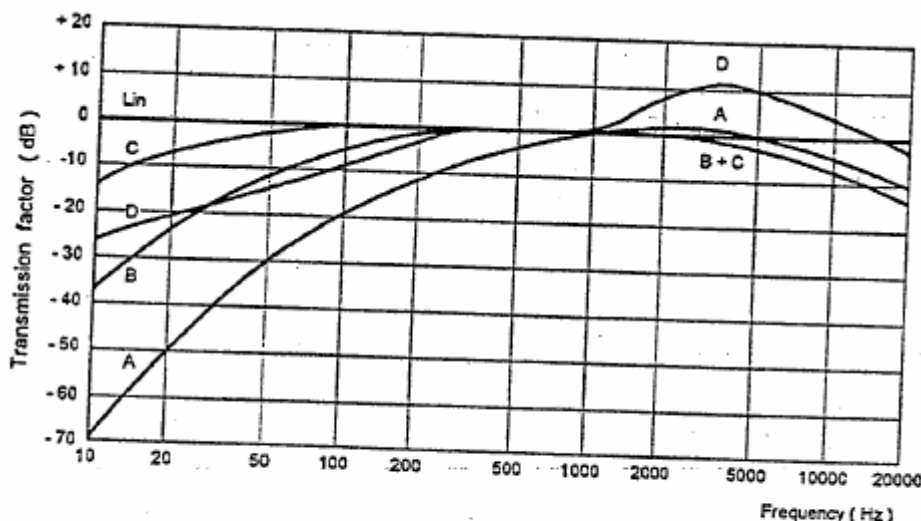


معادل سازی بین میزان بلندی صدا بر حسب Phon و میزان فشار صوت بر حسب dB ، سیگنالی با فرکانس ۱۰۰۰ HZ و استاندارد شده انتخاب می شود .

از نظر فنی برای شبیه سازی اثر صدا روی انسان ها ، سیگنال خطی توزین نشده حاصل از سنسور فشار صوت (میکروفن) را باید با فرکانس و بلندی حساسیت گوش انسان تطبیق داد. به همین دلیل چنانچه بخواهیم مدار الکترونیکی طراحی کنیم که بتواند ضریب انتقال خود را با میزان فرکانس و فشار صوت (همان

گونه که گوش انسان میزان منحنی های بلندی معادل را شبیه سازی می کند) تغییر دهد، بسیار گران قیمت تمام خواهد شد.

چهار شبکه توزین فرکانسی نرمال بین المللی مرسوم A,B,C,D می باشند.



منحنی های توزین اندازه گیری فشار صوت با فیلترهای توزین A,B,C,D منحنی خطی توزین نشده

فرکانسی با علامت LIN مشخص شده است

در شکل فوق منحنی های توزین عبارتند از:

A: برای میزان فشار صوت پایین تا 55 dB

B: برای میزان فشار صوت متوسط تا 85 dB

C: برای میزان فشار صوت بالای 85 dB

D: مخصوصاً برای اندازه گیری سروصدای هواپیما در محدوده تقریباً 8-20 KHz است

LIN: برای منحنی خطی توزین نشده است.

برای مشخص کردن منحنی های توزین ، واحد اندازه گیری میزان فشار صوت، حروف مربوطه را در داخل پراکنش قرار می دهند، بطور مثال dB(A) یا dB(C) و حدود برآورد نشده با dB(LIN) مشخص می شوند. تقریباً در عمل، همیشه فشار صوت با شبکه توزین فرکانسی A بر حسب dB(A) اندازه گیری می شود زیرا این منحنی بطور زیادی با منحنی حساسیت پاسخ گوش انسان مطابقت دارد. همیشه مقدار موثر فشار صوت (مقدار rms) را به عنوان متغیر اندازه گیری بکار می برند.

شبکه سرعت پاسخ دستگاه Time Weighting

گوش انسان همیشه اثرات کوتاه مدت فشار صوت را به صورت مختلف در مقایسه با اثرات طولانی مدت فشار صوت ارزیابی می کند. بنابراین از نظر اصول اندازه گیری بایستی جهت شبیه سازی میزان فشار صوت با شنوایی گوش انسان به علاوه توزین فرکانسی از شبکه سرعت پاسخ دستگاه نیز کمک گرفت.

سه سرعت مختلف برای اندازه گیری فشار صوت بکار می روند که عبارتند از:

F: سریع

S: آهسته

I: لحظه ای

شبکه سرعت پاسخ سریع (با مجموع زمانی ۱۲۵ms) برای زمانی که تغییرات در حدود فشار صوت با تکرار سریع اتفاق می افتد بکار می رود.

شبکه سرعت پاسخ آهسته با مجموع زمانی ۱S، انجام قرائت های خوب از حدود متغیر را امکان پذیر می کند و تغییرات کوچک را میانگین گیری می کند. این روش، ارزیابی کردن اندازه گیری ها در درازمدت را ممکن می سازد.

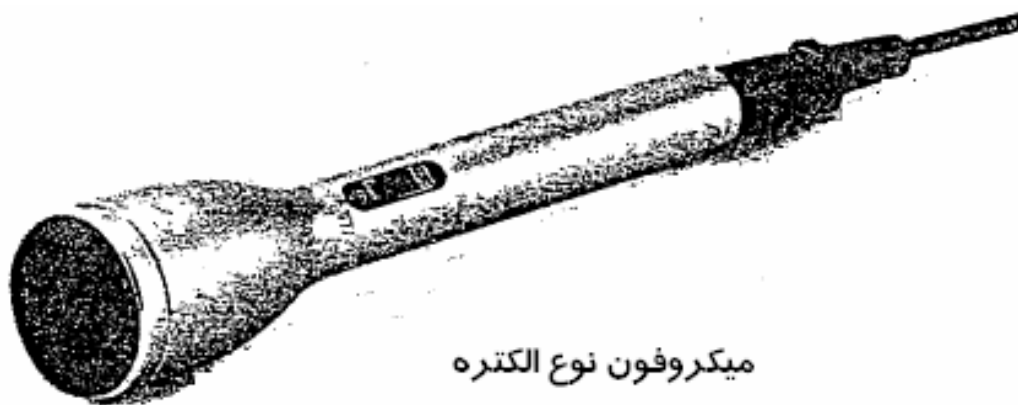
شبکه سرعت پاسخ لحظه ای برای نمایش دادن صداهای بسیار کوتاه مدت و ناگهانی بکار می رود (تقریباً زیر ۱۰۰ms)

در عمل اکثر اندازه گیری های فشار صوت با حالت های سریع و آهسته انجام می شود اگر در زمان اندازه گیری فشار صوت، تغییرات بزرگ در طول زمان رخ دهد آنگاه بایستی "میزان میانگین L_M " یا میزان معادل انرژی صوت Leq را محاسبه کرد.

زمانی که میزان تغییرات حداکثر تا ۵dB باشد، مقدار میانگین در وسط محدوده تغییرات قرار می گیرد. اگر میزان تغییرات حداکثر تا ۱۰dB باشد، مقدار میانگین نزدیک ۱/۳ محدوده تغییرات و زیر بیشترین مقدار قرار می گیرد.

میکروفون

میکروفن به عنوان یک سنسور صدا، وظیفه تبدیل فشار صوت به سیگنال الکتریکی را دارد. بنابراین عملکرد میکروفن، مشابه همان عملکرد سنسور شتاب برای اندازه گیری ارتعاشات مکانیکی است.



میکروفون نوع الکتره

انواع میکروفون ها

بسته به نوع روش تبدیل فشار صوت به سیگنال الکتریکی، سه اصل کلی برای چهار مدل مختلف میکروفن استفاده می شود. (اصل الکترواستاتیک، پیزوالکتریک و الکترواینامیک).

در جدول زیر ساختمان انواع میکروفن هانشان داده شده است.

اصل الکترواستاتیک	اصل پیزوالکتریک	اصل الکترو دینامیک
میکروفن الکتره	میکروفن سرامیکی	میکروفن با سیم پیچ متحرک

میکروفن های دینامیکی

این نوع میکروفن ها متعلق به سنسورهای گروه الکترو دینامیکی هستند که اصول کار آنها در توضیحات مربوط به سنسورهای سرعت سنج بیان شده است.

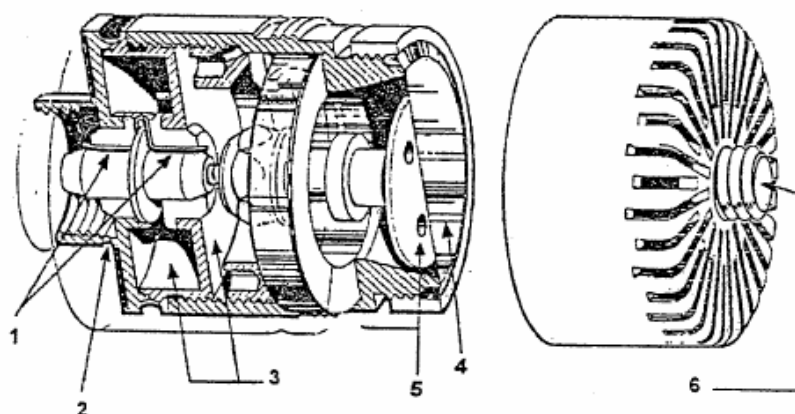
در ساختمان این میکروفن ها یک عدد سیم پیچ بصورت مکانیکی به دیافراگم متصل شده است و وقتی سیم پیچ در میدان مغناطیسی قرار می گیرد ، مجبور به ارتعاش شده و ولتاژی در آن القاء می شود. تغییرات ولتاژ در سیم پیچ به میزان حرکت آن (ارتعاشات صوتی) بستگی دارد بنابراین معرف صدائی است که باعث ارتعاش دیافراگم شده است.

معایب این میکروفن ها عبارت است از:

۱- اندازه آنها بزرگ است.

۲- محدوده فرکانسی آنها محدود است.

۳- غیر خطی هستند



ساختمان میکروفن الکترواستاتیک

میکروفن های سرامیکی

این میکروفن ها بر اساس اصل پیزوالکتریک کار می کنند. در اینجا صفحات فتری با خاصیت تشدید کنندگی یک سرامیک پیزوالکتریک عمل می کند. جابجائی بار الکتریکی در اثر تغییرات فشار صوت ، توسط یک تقویت کننده بار الکتریکی به ولتاژ الکتریکی متناسب تبدیل می گردد. مزایای مهم این نوع میکروفن ها شامل محدوده فرکانسی بزرگ و پاسخ فرکانسی خطی بهتر در مقایسه با میکروفن های دینامیکی است، و عیب مهم آنها نیز حساسیت زیاد به لرزش و حرکت ، (مثلا در قدم زدن) می باشد.

طبق یک اصل اصولا میکروفون های با کیفیت بالا بصورت میکروفون های الکترواستاتیک ساخته می شوند . در ساختمان این میکروفون ، ظرفیت یک خازن در اثر تغییر میزان فشار صوت ، تغییر می یابد.

میکروفون های خازنی

این نوع میکروفون دارای یک صفحه فلزی نازک که یک الکتروود فلزی در حدود چند میکرومتری پشت آن تعبیه شده است می باشد. ولتاژ پلاریزاسیون $200V \sim 50V$ بین الکتروود و صفحه فلزی برقرار می شود . بدین ترتیب یک خازن الکتریکی تشکیل می گردد که ظرفیت آن وقتی که صفحه در حالت اولیه خود باشد ثابت است.

زمانی که صفحه در اثر صدا به ارتعاش در می آید یا بطور دقیق، زمانی که در اثر تغییر فشار صوت، فاصله الکتروود تغییر می کند ظرفیت خازن نیز بطور متناسب تغییر می کند. تغییر در ظرفیت باعث تغییر ولتاژ در خازن که با فشار صوت متناسب است می گردد. جهت جلوگیری از حبس شدن هوا بین صفحات ، روی الکتروود ساکن سوراخ هایی ایجاد شده است . همچنین برای متعادل سازی فشار در بدنه میکروفون سوراخ های ریزی روی آنها تعبیه شده است.

میکروفون الکتره

در این میکروفون ها نیازی به ولتاژ پلاریزاسیون نیست و بجای آن از یک فویل مخصوص الکترواستاتیکی پلاریزه شده در پشت الکتروود استفاده می شود . اساس کار این میکروفون مثل میکروفون خازنی بوده، اما در این میکروفون به ولتاژ پلاریزاسیون بیرونی نیازی نیست. میکروفون های الکتره با حساسیت بالا ، محدوده فرکانسی پهن و دقت خوب شناخته می شوند . این میکروفون ها همیشه دارای یک پیش تقویت کننده جهت تبدیل امپدانس بالای خروجی میکروفون به امپدانس پائین برای وصل اتصال بدون مشکل به تجهیزات اندازه گیری می باشند.

در موقع اندازه گیری صوت بایستی تغییرات محیطی اثر گذار روی میکروفون را در نظر گرفت. میکروفون ها به صداهای رسیده از تمام جهات عکس العمل نشان می دهند و در حالت کلی دارای شکل کروی برای دریافت امواج صوتی می باشند.

کالیبراسیون

در کالیبراسیون تمام اثرات محیطی که باعث مخدوش شدن نتایج اندازه گیری ها می شوند باید در نظر گرفته شود . لذا باید کالیبراسیون را در محل اندازه گیری و تحت همان شرایط اندازه گیری انجام داد. ساده ترین و دقیق ترین روش، استفاده از یک کالیبراتور صوتی است. این کالیبراتور به میکروفون متصل شده و صوتی با مقدار و فرکانس مشخص را تولید می نماید. میزان فشار صوت در دستگاه اندازه گیری ، قرائت شده و با مقدار تولید شده توسط کالیبراتور مقایسه و تنظیم می گردد . این کار دستگاه اندازه گیری را برای کارکرد صحیح در همان زمان آزمایش می کند.



کالیبراتور صوت

اثرات	عامل مؤثر
صدای مزاحمی تولید می کند که با قرار دادن یک بادگیر ^(۱) روی یک میکروفون، کاهش می یابد.	باد
محدوده دمایی کارکرد (۵۰°C ~ -۱۰°C)، اما از تغییرات ناگهانی دما با پستی پرهیز کرد.	دما
حداکثر رطوبت نسبی مجاز ۹۰٪ است. میکروفون را با یک پوشش در مقابل آسیبها حفاظت کنید.	رطوبت
می تواند چشم پوشی گردد.	فشار جوی
مهم نیست	میدانهای الکترومغناطیسی

تأثیر شرایط محیطی روی میکروفن ها

متعلقات

برای نصب میکروفون یک سه پایه که میکروفون بتوان روی آن با گیره یا پیچ بسته شود، توصیه می گردد. وقتی که میکروفون در فضای باز بکار برده می شود توصیه می شود جهت حفاظت در مقابل باد از یک پوشش مخصوص باد بر روی میکروفون استفاده گردد. به هنگام وزش باد این عمل باعث کاهش اثر صدای مزاحم می گردد.



صدا به عنوان یک متغیر شاخص

در استفاده از صدا به عنوان یک متغیر شاخص ، باید بین دو روش کاربردی زیر تفاوت قائل شد.

الف-اندازه گیری های صدا جهت ارزیابی اثر صدا روی افراد، محل کار ، محیط و غیره

ب-اندازه گیری های صدا جهت ارزیابی صدای منتشر شده از منابع صوتی

۱-صدا بعنوان یک متغیر شاخص در اندازه گیری ها به منظور ارزیابی اثر صدا روی محیط

برای این نوع اندازه گیری نیاز به شرایط دیگری نیست. صدا باید مستقیماً در محلی که اثر حاصل از آن، برای افرادی که در آنجا کار می کنند زیان آور است، اندازه گیری شود.

مهمترین راهنماهای آلمانی یا اندازه گیری های توصیه شده برای ارزیابی اثر صدا روی محیط عبارتند از:

الف- برآورد یکنواخت از سطوح ارزیابی اثرات صداهای مزاحم روی محیط که از راهنمای ۴۵۶۴۵/۲ DIN استفاده می شود.

ب- ارزیابی صداهای مزاحم عملیاتی که از راهنمای VDI ۲۰۵۸ استفاده می شود.

ج- اصول فنی برای حفاظت در مقابل صداهای مزاحم که از راهنمای TALarm استفاده می شود.

د- اصول جلوگیری از صداهای مزاحم ناگهانی که از راهنمای UVV "Larm" استفاده می شود.

دستور العمل محیط کار

سایر راهنماها عبارتند از: ISO ۱۹۹۶ و ISO ۱۹۹۹ ، ISO ۲۲۰۴ و ISO ۳۷۴۶ به علاوه تعداد زیادی از راهنماها و دستورالعملهای ملی.

مثال: اندازه گیری و ارزیابی آلودگی صوتی یک ماشین ابزار

شرح کار

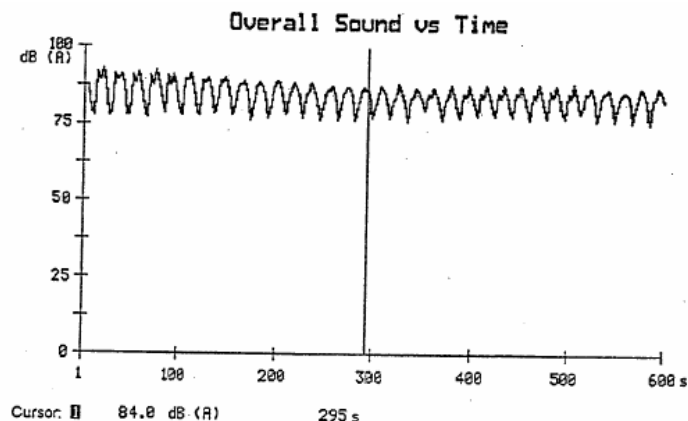
اپراتور یک ماشین ابزار از وجود سروصدای اضافی در محل کار خود شکایت می کرد. ماشین ابزار فوق در محوطه تولید یک شرکت مهندسی مکانیک قرار داشت و توسط دیواره های متحرک از سایر ماشین ها جدا شده بود.

انجام اندازه گیری ها بصورت عملی

در این آزمایش از یک دستگاه VIBROPORT 41 یک میکروفن دارای پوشش محافظ در برابر باد و یک سه پایه برای اندازه گیری استفاده شد. قبل از انجام اندازه گیری ، تنظیمات به کمک کالیبراتور صدا صورت پذیرفت . میکروفون بر اساس استاندارد VDI ۲۰۵۸ ، تنظیم گردید.

همیشه اندازه گیری ها در محلی که میزان سرو صدا در آنجا آزار دهنده است انجام می شود . اندازه فاصله تا دیوارها، سقف و سایر اجسام لازم نیست منظور گردند . وجود سایر منابع ایجاد سروصدا در محل نیز مهم نیستند. برای اندازه گیری میزان فشار صوت باید از واحد اندازه گیری dB(A) استفاده گردد.

مقدار فشار صوت اندازه گیری شده ، که میانگین فشار صوت در طول زمان اندازه گیری می باشد تقریباً ۸۴ dB(A) بود.



روند تغییرات میزان فشار صوت اندازه گیری شده در محل کار

ارزیابی

طبق استاندارد VDI ۲۰۵۸، چنانچه میزان فشار صوتی که با منحنی A برآورد می گردد، مقدارش بیشتر از ۸۵dB(A) در طول زمان باشد، باعث ایجاد مزاحمت و کاهش بازدهی افراد می گردد.

نتیجه

میزان سروصدا در محل در نزدیکی مرز بوده اما هنوز در حد مجاز قرار دارد.
در جدول زیر مقادیر مجاز برای آلودگی های صوتی داده شده است

توضیحات	مقادیر حدی برای حدود ارزیابی	دستورالعمل
حداکثر مجاز	۵۵dB(A) در محیطهایی که اکثر فعالیتهای در آنجا فکری است	دستورالعمل محیط کار ۱۵۰
حداکثر مجاز	۷۰dB(A) در نواحی که اکثر فعالیتهای در آنجا اداری و نظیر آن است.	دستورالعمل محیط کار ۱۵۰
حداکثر مجاز	۸۵dB(A) در تمامی محیطهایی که سایر فعالیتها بغیر از دو فعالیت ذکر شده در بالا، انجام می شوند.	دستورالعمل محیط کار ۱۵۰
حداکثر مجاز	۹۰dB(A) تحت شرایط ویژه	دستورالعمل محیط کار ۱۵۰
حداکثر مجاز	۱۵۵dB(A) تا قیای استراحت و غیره	دستورالعمل محیط کار ۱۵۰
ناحیه پرعصدا و شلوغ	۸۵dB(A)	UVV "Lärm" ۲ Abs. 1
ناحیه پرعصدا و شلوغ ثبت بعنوان محوطه الزام آور	۹۰dB(A)	UVV "Lärm" ۲ Abs. 2

مقادیر حدی آلودگی های صوتی

۲- صدا به عنوان متغیر شاخص در اندازه گیری های امواج صوتی منتشر شده از منابع صوتی مقدار صوت منتشر شده از یک منبع صوتی ، بطور مثال یک ماشین لازم است ، تا اپراتور اطلاعاتی در مورد چگونگی انتشار صدای ماشین به محیط اطراف داشته باشد.

همچنین ممکن است انجام یک اندازه گیری از این نوع برای مقایسه کردن بین مقادیر اندازه گیری شده فعلی با:

الف-مقادیر حدی مشخص شده توسط راهنماهای فنی یا رسمی برای نوع ماشین مورد نظر باشد

ب-مقادیر توافق شده بین سازنده و خریدار ماشین باشد

ح-مقادیر اندازه گیری شده قبلی برای تشخیص دادن تغییرات در وضعیت ماشین صورت پذیرد.

انتخاب پارامتر اندازه گیری و تنظیم میکروفون برای این نوع اندازه گیری ها باید بر حسب نوع اندازه گیری مربوطه انجام شود.

برای انجام اندازه گیری، باید میکروفون را به صورت مستقیم به طرف منبع صوتی گرفت. در هنگام بکار بردن میکروفون باید از یک سه پایه استفاده شود یا اینکه میکروفون را با دست در راستای بازو نگه داشت تا از هر گونه ایجاد لرزش توسط بدن جلوگیری شود.

اساساً اندازه گیری ها باید در محل هایی عاری از سطوح انعکاسی انجام شود . میکروفون نیز بایستی ۱/۲ تا ۱/۵ متر بالاتر از کف قرار داده شود. زمانی که میکروفون در فضای باز استفاده می شود ، باید حداقل یک الی ۲ متر از سطوح انعکاسی ضعیف و حداقل ۳/۵ متر از سطوح انعکاسی قوی فاصله داشته باشد . در زمان اندازه گیری در داخل اتاق ، حداقل ۱ متر فاصله از دیوارها و ۱/۵ متر فاصله از سطوح شیشه ای باید در نظر گرفته شود.

طبق یک اصل، تراز فشار صوت بر حسب dB(A) و با شبکه سرعت پاسخ آهسته برای اندازه گیری صداهای منتشر شده از منابع صوتی بکار می رود.

باید توجه نمود که در این نوع اندازه گیری ها ، وجود منابع صوتی اضافی در همان محلی که منبع صوتی اصلی بررسی می گردد، روی اندازه گیری ها تاثیر خواهند گذاشت . این اثر به عنوان صدای Noise زمینه شناخته می شود.

برای بدست آوردن دیدگاه کلی از نویز زمینه باید دو اندازه گیری انجام داد:

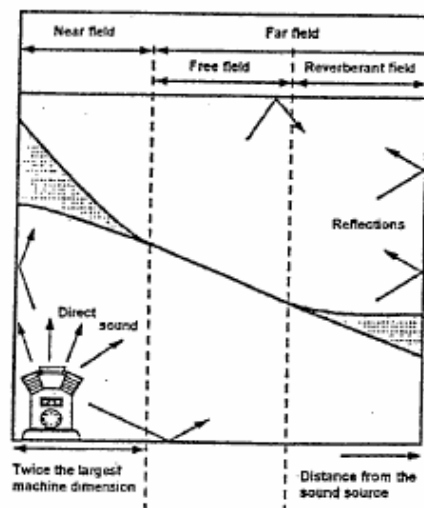
الف-اندازه گیری مقدار کلی صدا به همراه منبع صوتی که در حال بررسی می باشد.

ب-اندازه گیری میزان نویز صدا به همراه منبع صوتی.

اگر اختلاف این دو مقدار کوچکتر از ۳dB شد، میزان نویز زمینه برای انجام یک اندازه گیری دقیق، خیلی بزرگ است. اگر اختلاف در حدود ۱۰dB ~ ۳ باشد برای بررسی، مجبور به استفاده از ضریب تصحیح هستیم. اگر اختلاف بیشتر از ۱۰ dB باشد ، می توان مقدار کلی صدای اندازه گیری شده را به عنوان مقدار مشخصه بکار برد.

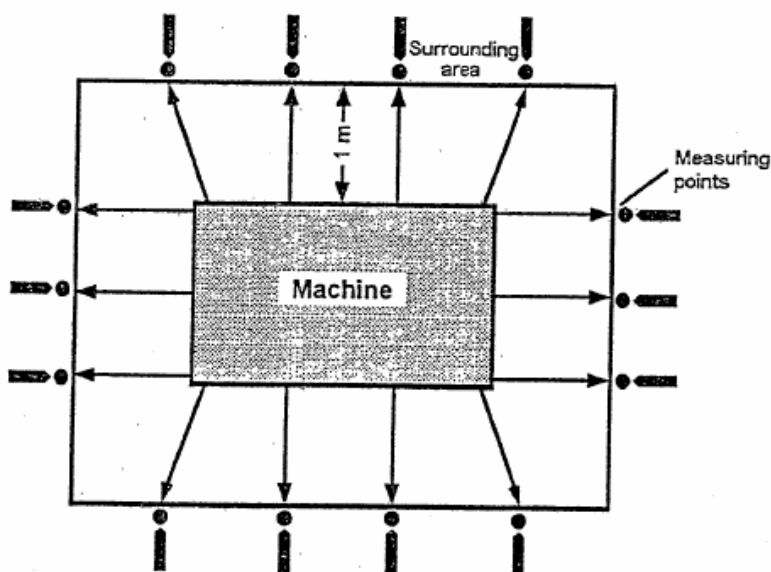
طبق یک قانون در مورد اندازه گیری صداهای منتشر شده از منابع صوتی ، فاصله بین میکروفون و جسم مورد نظر، براساس دستورالعمل اندازه گیری تعریف می شود.

زمانی که اندازه گیری ها در فاصله بسیار نزدیک به منبع صوتی انجام می شوند ، یک تغییر کوچک در موقعیت میکروفون باعث تغییری بزرگ در میزان فشار صدا خواهد شد. به این ناحیه نزدیک به ماشین ، "میدان نزدیک" می گویند .



موقعیت ایده ال میکروفون

زمانی که میکروفون در فاصله دوری از منبع صوتی قرار گیرد سایر منابع صوتی و یا انعکاس ها می توانند اندازه گیری ها را تحت تاثیر قرار دهند . این ناحیه به عنوان " میدان پرنعکاس " نامیده می شود. زمانی که محل قرار گرفتن میکروفون معلوم نباشد ، قانون تجربی زیر می تواند مورد استفاده قرار گیرد: حداکثر ابعاد جسم * ۲ (فاصله میکروفون تا جسم مورد اندازه گیری) در بسیاری از حالات ، ماشینی که بررسی می شود، در محل کوچکی که در آنجا " میدان آزاد " وجود ندارد واقع شده است؛ در چنین حالتی ، راهنماها و دستور العمل ها ، اندازه گیری در نقاطی که حداقل ۱ متر از اطراف ماشین فاصله دارند را توصیه می کنند.



محل های مختلف برای اندازه گیری صداهای منتشر شده از ماشین

آنگاه، مقدار مشخصه ، به وسیله مقادیر اندازه گیری شده و مشخصات صوتی ناحیه، محاسبه می شوند.

جزئیات بیشتر را می توان از راهنماهای جامع زیر بدست آورد؛

۱- برای اندازه گیری نویز در ماشین آلات از استاندارد شماره DIN ۴۵۶۳۵ استفاده می شود.

۲- برای تعیین و مشخص نمودن مقادیر نویز ماشین ها و دستگاه ها به روش آماری از استاندارد ۲۷۵۷۴ DIN EN استفاده می شود.

۳- برای اندازه گیری مقادیر مشخصه صداهاى منتشر شده برای منابع صوتی صنعتی انواع ماشین های مختلف از استانداردهای زیر استفاده می شود

$$\begin{cases} VDI 2159 \\ VDI 3729 - 3737 \\ VDI 3739 - 3744 \end{cases}$$

۴- روش های اندازه گیری صداهاى منتظر شده از ماشین های الکتریکی در حال کار DIN EN ۲۱۶۸۰ است.

ضمائم

درجداول زیرفرکانس های ارتعاشی عیوب مختلف آورده شده است.

Vibration Identification Chart 1

Frequency in CPM=	Most likely cause	Other possible causes
1xRPM	Imbalance	1) Eccentricity 2) Misalignment 3) Bad belts if 2BRPM=1xrpm 4) Resonance 5) Reciprocating forces 6) Electrical problems
2xRPM	Mechanical looseness	1) Misalignment (high axial) 2) Reciprocating forces 3) Resonance 4) Bad belts if 2BRPM=2RPM
3xRPM	Misalignment	Usually a combination of misalignbment and excessive axial clearance (looseness)

Vibration Identification Chart 2

Frequency in CPM=	Most likely cause	Other possible causes
Less than 1xRPM 42-48%	Oil whirl	1) bad drive belts 2) Background vibration 3) Sub-harmonic resonance 4) Beat vibration
Synchronous (AC line frequency)	Electrical problems	Broken bars, eccentric rotor, Unbalanced phases, unequal air gaps
2xSynchronous frequency	Torque pulses	Very rare unless resonance present

Vibration identification chart 3

Frequency in CPM=	Most likely cause	Other possible causes
Many times RPM harmonically related	Bad gears, aerodynamic or hydraulic forces, Mechanical looseness, Reciprocating forces	Gear teeth times RPM of the bad gears, Number of blades or vanes times RPM, may also occur at 2,3, 4 and some times higher harmonics if severe. Also 1/2 if eccentric gears.
High frequency (not harmonically related)	Bad anti friction bearings	1)unsteady amplitude and frequency 2)Cavitation, recirculation and flow turbulence 3)Improper lubrication of journal bearings (friction) 4)rubbing

شناسایی ارتعاشات از روی دامنه، فرکانس و زاویه فاز

Cause	Amplitude	Frequency	Phase	Remarks
Unbalance	Proportional to unbalance Largest in radial direction	1 x RPM	Single Reference Mark-stable repeatable	Most common cause of Vibration
Misalignment Couplings or Bearings and Bent Shaft	Large in axial direction. 50% or more of radial vibration	1 x RPM usual 2 & 3 x RPM sometimes	Single Double or Triple	Best found by appearance of large axial vibration. Use dial indicators or other method for positive diagnosis. If sleeve bearing machine and no coupling misalignment, balance the rotor.
Bad Bearings Anti-Friction Type	Unsteady-use velocity, acceleration, and Spike Energy Measurements	Very high Several times RPM	Erratic - Multiple Marks	Bearing responsible most likely the one nearest point of largest high frequency vibration. Spike Energy measurement recommended when analyzing bearing failures.
Eccentric Journals	Usually not large	1 x RPM	Single Mark	If on gears largest vibration in line with gear centers. If on motor or generator vibration disappears when power is turned off. If on pump or blower attempt to balance.
Bad Gears or Gear noise	Low-Use Velocity, Acceleration, and Spike Energy Measurements	Very High Gear Teeth times RPM	Erratic - Multiple Marks	Velocity, Acceleration, and Spike Energy measurements recommended when analyzing gear problems. Analyze higher orders and sideband frequencies.
Mechanical Looseness	Sometimes Erratic	2 x RPM	Two Reference Marks, Slightly Erratic	Usually accompanied by unbalance and/or Misalignment
Bad Drive Belts	Erratic or Pulsing	1,2,3,&4 x RPM of Belts	One or Two depending on Frequency, Usually Unsteady	Strobe Light best tool to freeze faulty Belt.
Electrical	Disappears when power is turned off	1 x RPM or 1 or 2 x synchronous frequency	Single or Rotating Double Mark	If vibration amplitude drops off instantly when power is turned off cause is electrical. Mechanical and electrical problems will produce "beats".
Aerodynamic or Hydraulic Forces	Can be large in the axial direction	1 x RPM or Number of blades on fan or impeller x RPM	Multiple Marks	Rare as a cause of trouble except in cases of resonance.
Reciprocating Forces	Higher in line with motion	1,2,& higher orders x RPM	Multiple Marks	Inherent in reciprocating machines, can only be reduced by design changes or isolation.

SPECTRUM FEATURES OF VIBRATION CAUSES

PHENOMENON	SPECTRUM FEATURES									
	LOW FREQUENCY VIBRATION	0.30-0.49 x RPM	1/2 x RPM	0.51-0.99 x RPM	1 x RPM	2 x RPM	Z x RPM	CRITICAL SPEED	GEAR VIBRATION	SOUNDED VIBRATION
DAMEGED BEARINGS										⊙
MECHANICAL CONTACT	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ			Δ		⊙
CAVITATION										⊙
DAMEGED GEARS									⊙	⊙
ELECTRICAL UNBALANCE										⊙
IMPELLER PASSING FREQUENCY							⊙			⊙
MISALIGNMENT					⊙	⊙				
UNBALANCE					⊙	⊙				
BENT SHAFT					⊙					
MECHANICAL LOOSENESS		Δ	⊙	Δ	Δ	Δ				
OIL WHIP		⊙						⊙		
OIL WHIRL		⊙	Δ					⊙		
STEAM WHIRL		⊙	Δ	⊙				⊙		
SURGING	⊙									

درجداول زیر حد مجاز ارتعاشات پمپ های عمودی شناور آورده شده است.

Vibration Limits for Vertical Suspended Pumps

Point of Measurement	Pump Thrust Bearing Housing or Motor Mounting Flange (See Figure 2.8B)	Pump Shaft (Adjacent to Bearing)
Pump Bearing Type	All	Hydrodynamic guide bearing adjacent to accessible region of shaft
Vibration at any flow within the pump's preferred operating region:		
Overall	$V_u < 5.1 \text{ mm/sec RMS}$ (0.20 in/sec RMS)	$A_u < (6.5 \times 10^6)^{0.5} \frac{\text{micrometers pk/pk}}{N}$ $((10,000/N)^{0.5} \text{ mils pk / pk})$ Not to exceed: $A_u < 100 \text{ micrometers pk/pk}$ (4.0 mils pk/pk)
Discrete Frequencies	$V_f < 3.8 \text{ mm/sec. peak}$ (0.15 in/sec peak)	75% of A_u
Increase in Allowable Vibration at Flows Beyond the Preferred Operating Region but within the Allowable Operating Region.	30%	30%

Where: V_u = unfiltered velocity
 V_f = filtered velocity
 A_u = unfiltered displacement
 F = frequency (cycles / sec.)

Vibration Limits for Vertically Suspended Pumps

Item	Location of Vibration Measurement	
	Pump Thrust Bearing Housing or Motor Mounting Flange (see Figure 2-8B)	Pump Shaft (adjacent to bearing)
Pump bearing type	All	Hydrodynamic guide bearing adjacent to accessible region of shaft
Vibration at any flow within the pump's preferred operating region:		
Overall	$V_u < 5.0 \text{ mm/sec RMS}$ (0.20 in/sec RMS)	$A_u < (6.5 \times 10^6)^{0.5} \frac{\mu\text{m pk/pk}}{N}$ $((10,000/N)^{0.5} \text{ mils pk/pk})$ Not to exceed: $A_u < 100 \mu\text{m pk/pk}$ (4.0 mils pk/pk)
Discrete frequencies	$V_f < 3.4 \text{ mm/sec RMS}$ (0.13 in/sec RMS)	A_f : 75% of A_u
Increase in allowable vibration at flows beyond the preferred operating region but within the allowable operating region	30%	30%

Note: Values calculated from the basic limits shall be rounded off to two (2) significant figures.

Where:
 V_u = unfiltered velocity.
 V_f = filtered velocity.
 A_u = unfiltered displacement determined by FFT.
 A_f = filtered displacement determined by FFT.
 N = rotational speed (RPM).

در جدول زیر حد مجاز ارتعاشات پمپ های Overhung و Between Bearing آورده شده است.

Vibration Limits for Overhung and Between Bearings Pumps

Item	Location of Vibration Measurement	
	Bearing Housing (see Figure 2-SA)	Pump Shaft (adjacent to bearing)
Pump bearing type	All	Hydrodynamic journal bearings
Vibration at any flow within the pump's preferred operating region:		
Overall	$V_u < 3.0 \text{ mm/sec RMS}$ (0.12 in/sec RMS)	$A_u < (5.2 \times 10^6)^{0.5} \frac{\mu\text{m pk/pk}}{N}$ $((8000/N)^{0.5} \text{ mils pk/pk})$ Not to exceed: $A_u < 50 \mu\text{m pk/pk}$ (2.0 mils pk/pk)
Discrete frequencies	$V_f < 2.0 \text{ mm/sec RMS}$ (0.08 in/sec RMS)	for $A_f \geq N$: 75% of A_u for $A_f < N$: 33% of A_u
Increase in allowable vibration at flows beyond the preferred operating region but within the allowable operating region	30%	30%

Note: Values calculated from the basic limits shall be rounded off to two (2) significant figures.

Where:

V_u = unfiltered velocity.

V_f = filtered velocity.

A_u = unfiltered displacement determined by FFT.

A_f = filtered displacement determined by FFT.

N = rotational speed (RPM).

درجداول زیر حد مجاز ارتعاشات انواع موتورهای الکتریکی آورده شده است.

Recommended Limits of Vibration Severity for Electric Motors

Quality grade	Speed, rpm	Velocity amplitude (maximum rms values) for the following shaft heights h , in mm*					
		80 < h < 132		132 < h < 225		225 < h < 400	
		mm/s	in./sec	mm/s	in./sec	mm/s	in./sec
N (normal)	600 to 3,600	1.8	0.071	2.8	0.110	4.5	0.177
R (reduced)	600 to 1,800	0.71	0.028	1.12	0.044	1.8	0.071
	> 1,800 to 3,600	1.12	0.044	1.8	0.071	2.8	0.110
S (special)	600 to 1,800	0.45	0.018	0.71	0.028	1.12	0.044
	> 1,800 to 3,600	0.71	0.028	1.12	0.044	1.8	0.071

A single set of values, such as those applicable to the 132- to 225-mm shaft height, may be used if shown by experience to be required. The shaft height is the vertical distance from the base of the motor to the centerline of the shaft.

Maximum Permissible Vibration for Integral Horsepower Electric Motors (After NEMA MG1-12.05.7)

Speed, rpm*	Displacement amplitude (peak-to-peak), in.
3,000-4,000	0.001
1,500-2,999	0.0015
1,000-1,499	0.002
999 and below	0.0025

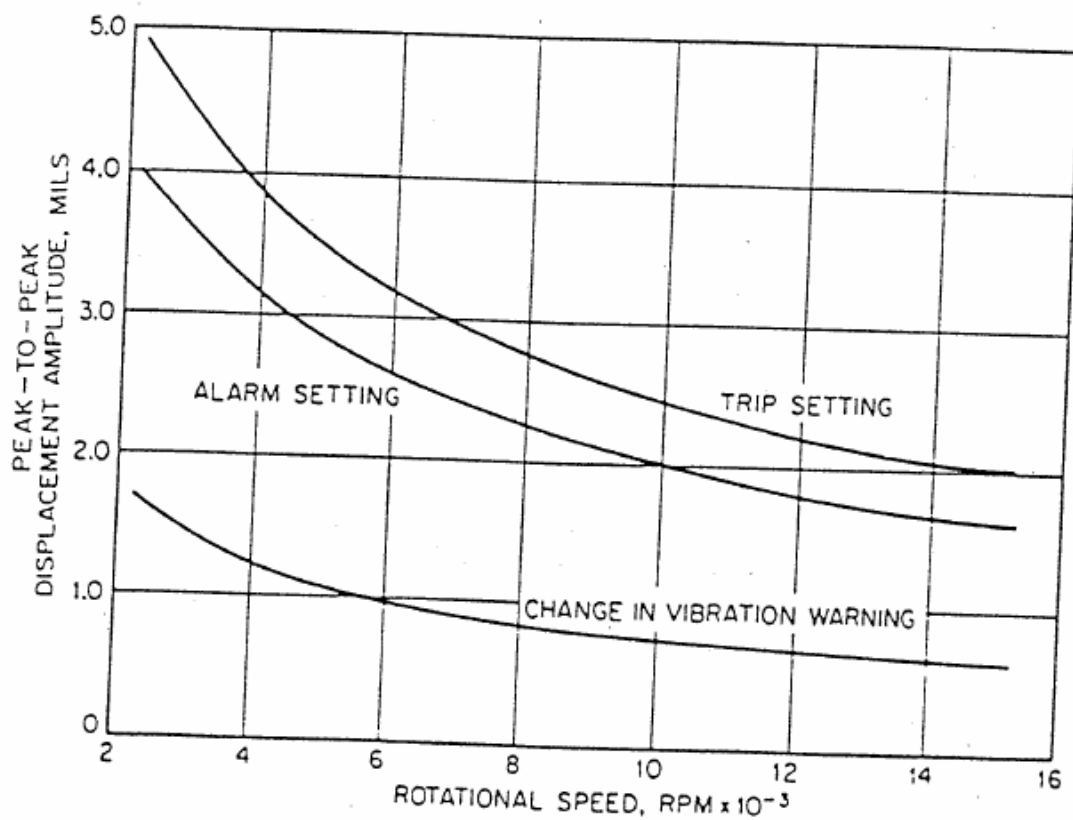
For ac motors, use the highest synchronous speed. For dc motors, use the highest rated speed. For series and universal motors, use the operating speed.

Maximum Permissible Vibration for Large Induction Motors (After NEMA MG1-20.52.9)

Speed, rpm	Displacement amplitude (peak-to-peak), in.
3,000 and above	0.001
1,500-2,999	0.002
1,000-1,499	0.0025
999 and below	0.003

Maximum Permissible Vibration for Form-wound Squirrel-cage Induction Motors

Synchronous speed, rpm	Displacement amplitude (peak-to-peak), in.	
	Motor on elastic mount	Motor on rigid mount
720-1,499	0.002	0.0025
1,500-3,000	0.0015	0.002
3,000 and above	0.001	0.001

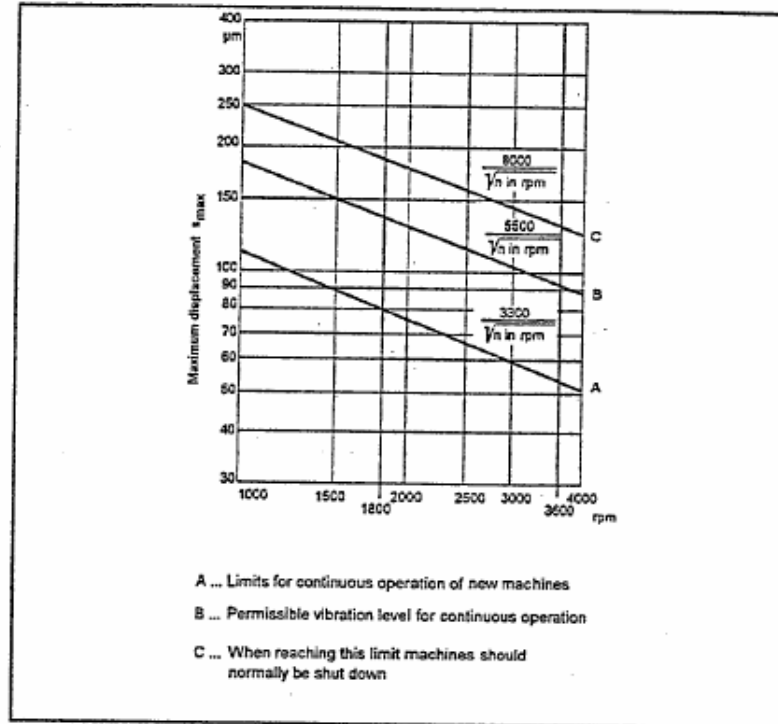


In-service vibration criteria for centrifugal compressors as a function of shaft speed.

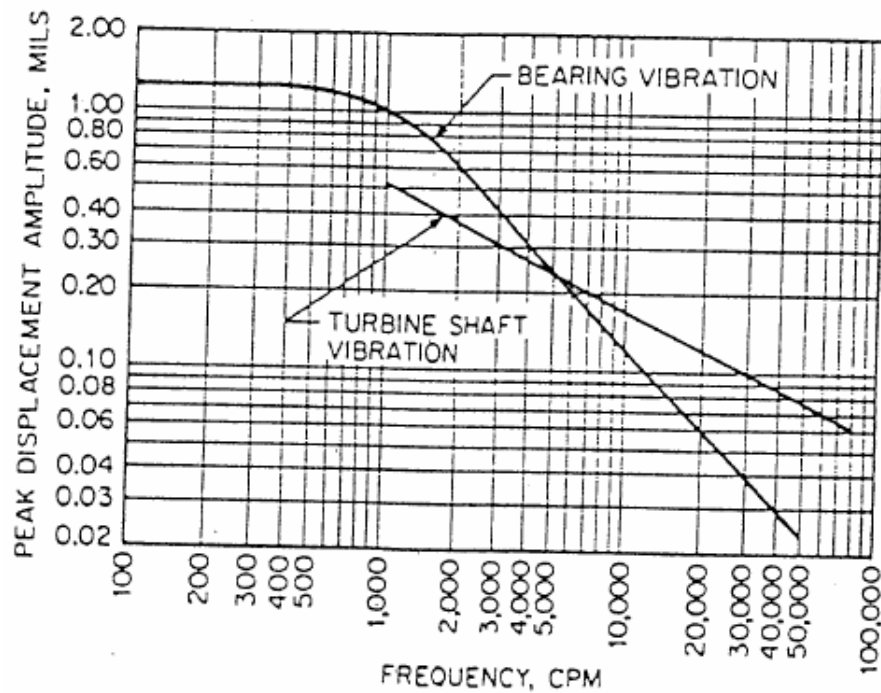
درجداول زیرمحدوده توصیه شده ارتعاش محور توربین های بخاری آورده شده است.

ارتعاشات شفت توربینهای بخار

از راهنمای VDI ۲۰۵۹

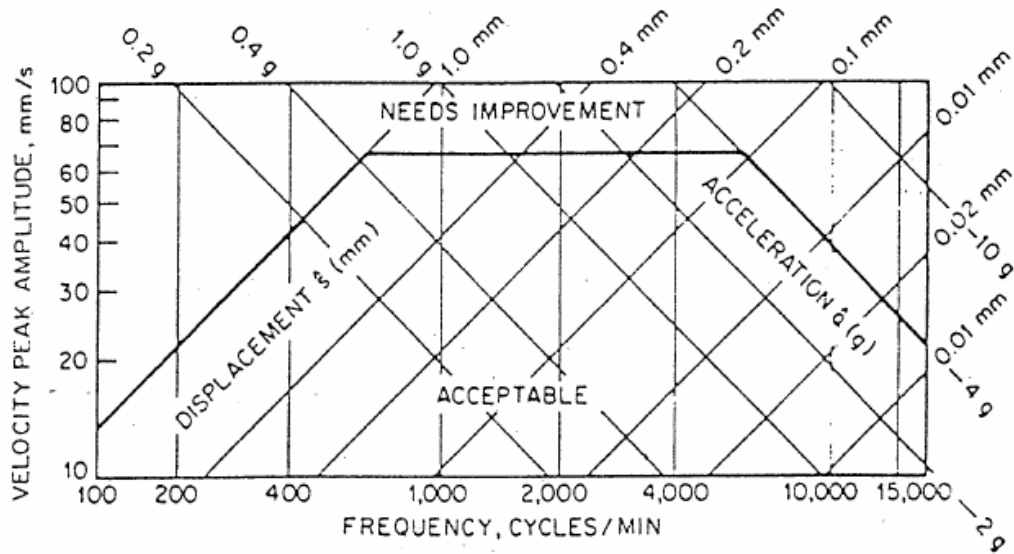


مقادیر حدی برای حداکثر جابجائی ارتعاشات نسبی شفت توربینهای بخار



Maximum allowable machinery vibration on shipboard.

Vibration severity limits for reciprocating machinery.



نمودار عمومی شدت ارتعاشات ماشین آلات

VIBRATION DISPLACEMENT - MILS - PEAK-TO-PEAK

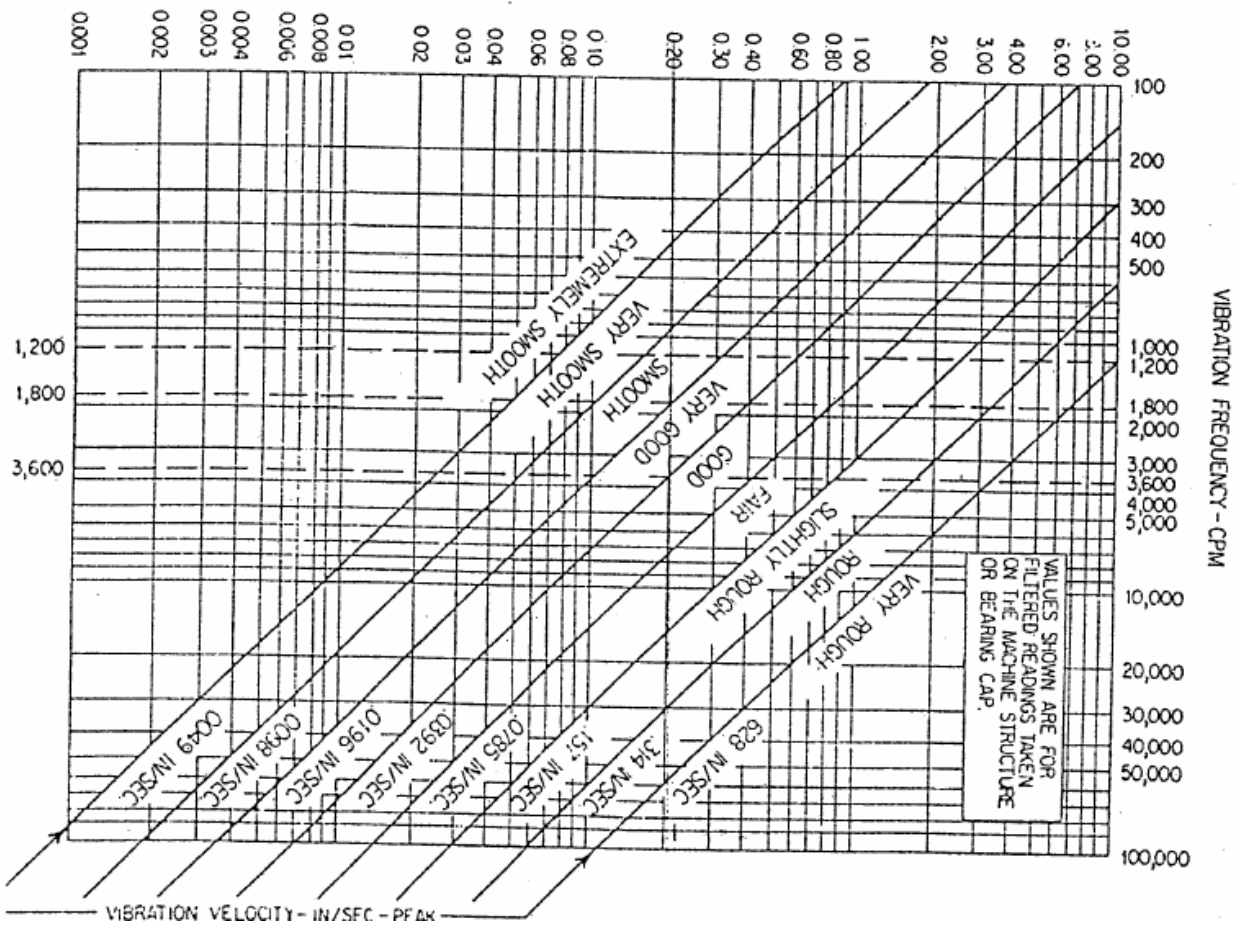


Table of Criteria for Bearing Vibration Measurements (10–10000 Hz)
 Extracted from Canadian Government Specification CDA/MS/NVSH 107: "Vibration Limits For Maintenance".

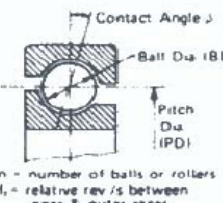
Measure overall velocity RMS and allow for the following machine types:	FOR NEW MACHINES		FOR WORN MACHINES (full speed & power)	
	Long life ¹	Short life ²	Check (recondition) level ³	Recondition to new (Oct. analysis) ⁴
Gas Turbines (over 20,000 HP) (6 to 20,000 HP) (up to 5,000 HP)	VdB* mm/s 138 7,9 128 2,5 118 0,79	VdB* mm/s 145 18 135 5,6 130 3,2	VdB* mm/s 145 18 140 10 135 5,6	VdB* mm/s 150 32 145 18 140 10
Steam Turbines (over 20,000 HP) (6 to 20,000 HP) (up to 5,000 HP)	125 1,8 120 1,0 115 0,56	145 18 135 5,6 130 3,2	145 18 145 18 140 10	150 32 150 32 145 18
Compressors (free piston) (HP air, air cond.) (LP air) (refrigere)	140 10 133 4,5 123 1,4 115 0,56	150 32 140 10 135 5,6 135 5,6	150 32 140 10 140 10 140 10	155 56 145 18 145 18 145 18
Diesel Generators	123 1,4	140 10	145 18	150 32
Centrifuges, Oil Separators	123 1,4	140 10	145 18	150 32
Gear Boxes (over 10,000 HP) (10 to 10,000 HP) (up to 10 HP)	120 1,0 115 0,56 110 0,32	140 10 135 5,6 130 3,2	145 18 145 18 140 10	150 32 150 32 145 18

Measure overall velocity RMS and allow for the following machine types:	FOR NEW MACHINES		FOR WORN MACHINES (full speed & power)	
	Long life ¹	Short life ²	Check (recondition) level ³	Recondition to new (Oct. analysis) ⁴
Boilers (Aux.)	VdB* mm/s 120 1,0	VdB* mm/s 130 3,2	VdB* mm/s 135 5,6	VdB* mm/s 140 10
Motor Generator Sets	120 1,0	130 3,2	135 5,6	140 10
Pumps (over 5 HP) (up to 5 HP)	123 1,4 118 0,79	135 5,6 130 3,2	140 10 135 5,6	145 18 140 10
Fans (below 1800 rpm) (above 1800 rpm)	120 1,0 115 0,56	130 3,2 130 3,2	135 5,6 135 5,6	140 10 140 10
Electric Motors (over 5 HP or below 1200 rpm) (upto 5 HP or above 1200 rpm)	108 0,25 103 0,14	125 1,8 125 1,8	130 3,2 130 3,2	135 5,6 135 5,6
Transformers (over 1 kVA) (1 kVA or below)	103 0,14 100 0,10	— —	115 0,56 110 0,32	120 1,0 115 0,56

700305-0400

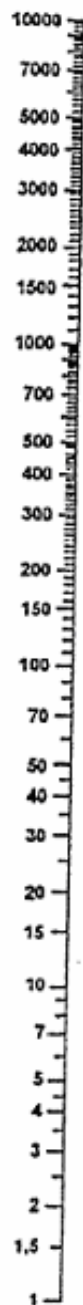
* Ref. 10–6 mm/s. Originally an older specification for VdB gave values 20 dB smaller than those found here. (Due to a different dB reference level used.)

- 1) Long life is approximately 1000 to 10000 hours.
- 2) Short life is approximately 100 to 1000 hours.
- 3) When this level is reached, service is called for. Alternatively perform frequent octave analysis and refer to next column.
- 4) When this level is exceeded in any octave band repair immediately.

Nature of Fault	Frequency of Dominant Vibration (Hz=rpm/60)	Direction	Remarks
Rotating Members out of Balance	1 x rpm	Radial	A common cause of excess vibration in machinery
Misalignment & Bent Shaft	Usually 1 x rpm Often 2 x rpm Sometimes 3&4 x rpm	Radial & Axial	A common fault
Damaged Rolling Element Bearings (Ball, Roller, etc.)	Impact rates for the individual bearing component* Also vibrations at high frequencies (2 to 60 kHz) often related to radial resonances in bearings	Radial & Axial	Uneven vibration levels, often with shocks. *Impact-Rates:  Impact Rates f (Hz) For Outer Race Defect $f(\text{Hz}) = \frac{n}{2} f_r (1 + \frac{BD}{PD} \cos \beta)$ For Inner Race Defect $f(\text{Hz}) = \frac{n}{2} f_r (1 - \frac{BD}{PD} \cos \beta)$ For Ball Defect $f(\text{Hz}) = \frac{PD}{BD} f_r \left[1 - \left(\frac{BD}{PD} \cos \beta \right)^2 \right]$ n = number of balls or rollers f_r = relative rev/s between inner & outer races For Outer Race Defect $f(\text{Hz}) = \frac{n}{2} f_r (1 + \frac{BD}{PD} \cos \beta)$ For Inner Race Defect $f(\text{Hz}) = \frac{n}{2} f_r (1 - \frac{BD}{PD} \cos \beta)$ For Ball Defect $f(\text{Hz}) = \frac{PD}{BD} f_r \left[1 - \left(\frac{BD}{PD} \cos \beta \right)^2 \right]$
Journal Bearings Loose in Housings	Sub-harmonics of shaft rpm, exactly 1/2 or 1/3 x rpm	Primarily Radial	Looseness may only develop at operating speed and temperature (eg. turbomachines).
Oil Film Whirl or Whip in Journal Bearings	Slightly less than half shaft speed (42% to 48%)	Primarily Radial	Applicable to high-speed (eg. turbo) machines.

Hysteresis Whirl	Shaft critical speed	Primarily Radial	Vibrations excited when passing through critical shaft speed are maintained at higher shaft speeds. Can sometimes be cured by checking tightness of rotor components.
Damaged or worn gears	Tooth meshing frequencies (shaft rpm x number of teeth) and harmonics	Radial & Axial	Sidebands around tooth meshing frequencies indicate modulation (eg. eccentricity) at frequency corresponding to sideband spacings. Normally only detectable with very narrow-band analysis.
Mechanical Looseness	2 x rpm		Also sub and interharmonics, as for loose Journal bearings
Faulty Belt Drive	1, 2, 3 & 4 x rpm of belt	Radial	
Unbalanced Reciprocating Forces and Couples	1 x rpm and/or multiples for higher order unbalance	Primarily Radial	
Increased Turbulence	Blade & Vane passing frequencies and harmonics	Radial & Axial	Increasing levels indicate increasing turbulence
Electrically Induced Vibrations	1 x rpm or 1 or 2 times synchronous frequency	Radial & Axial	Should disappear when turning off the power

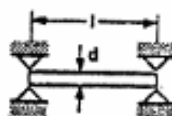
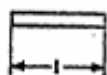
d in mm



fixed-fixed

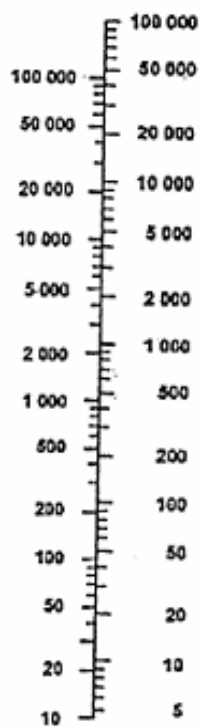
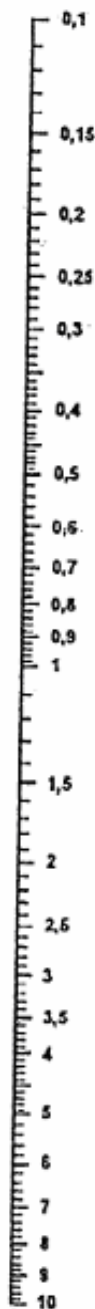


free-free



hinged-hinged

l in m



For steel with a density $\rho_s = 7,8 \text{ g/cm}^3$ and elasticity modulus $E_s = 20,5 \cdot 10^6 \text{ N/cm}^2$.
For other materials with constants ρ_w and E_w recalculate the speed n_s as follows:

$$n_w = n_s \sqrt{\frac{E_w \rho_s}{E_s \rho_w}}$$

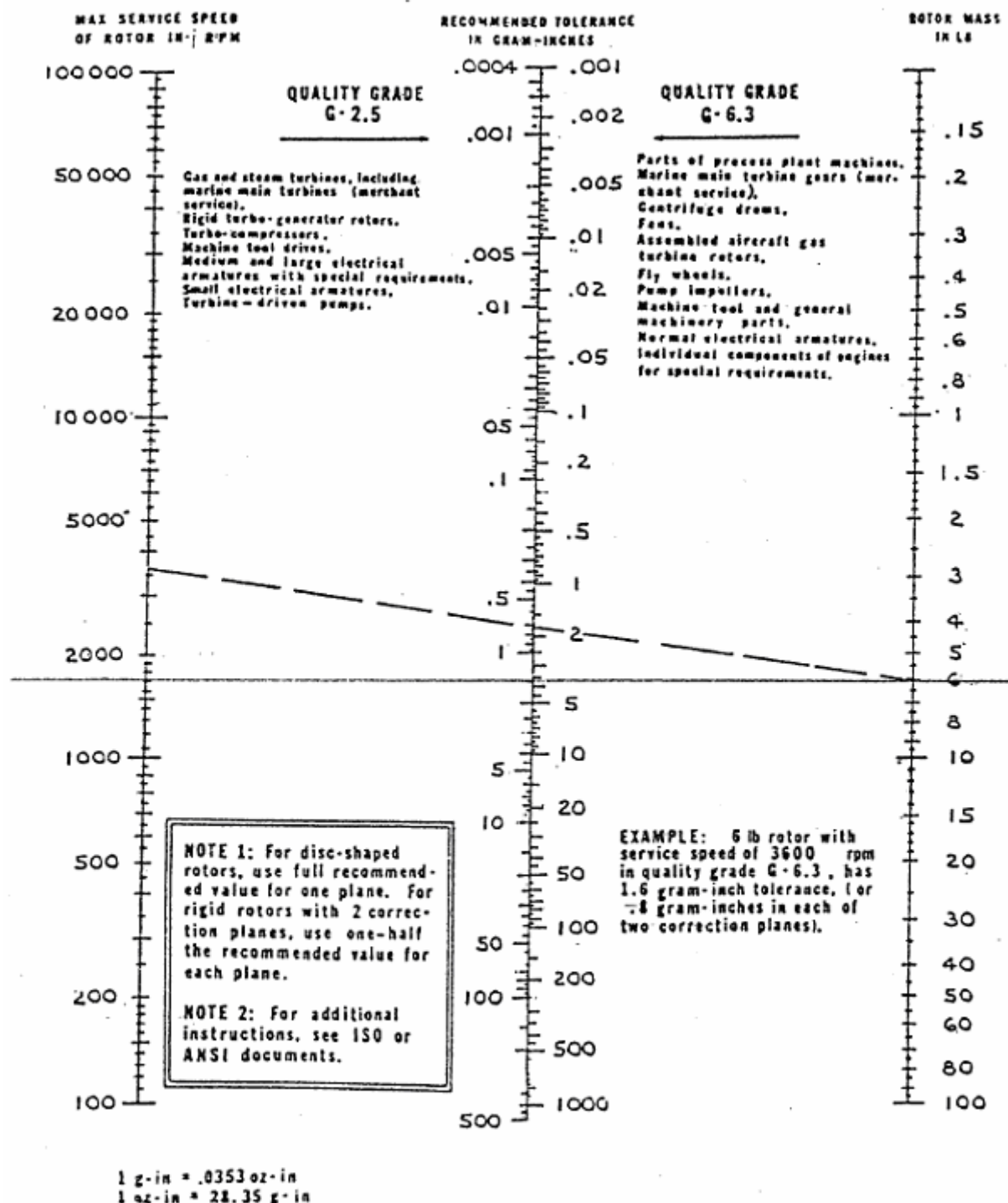
The values are given for solid shafts. For hollow shafts with internal diameter d_i :

$$n_{\text{hollow}} = n_{\text{solid}} \sqrt{1 + \left(\frac{d_i}{d_s}\right)^2}$$

نموگرام تعیین سرعتهای بحرانی شفت ها

تولرانس های بالانس

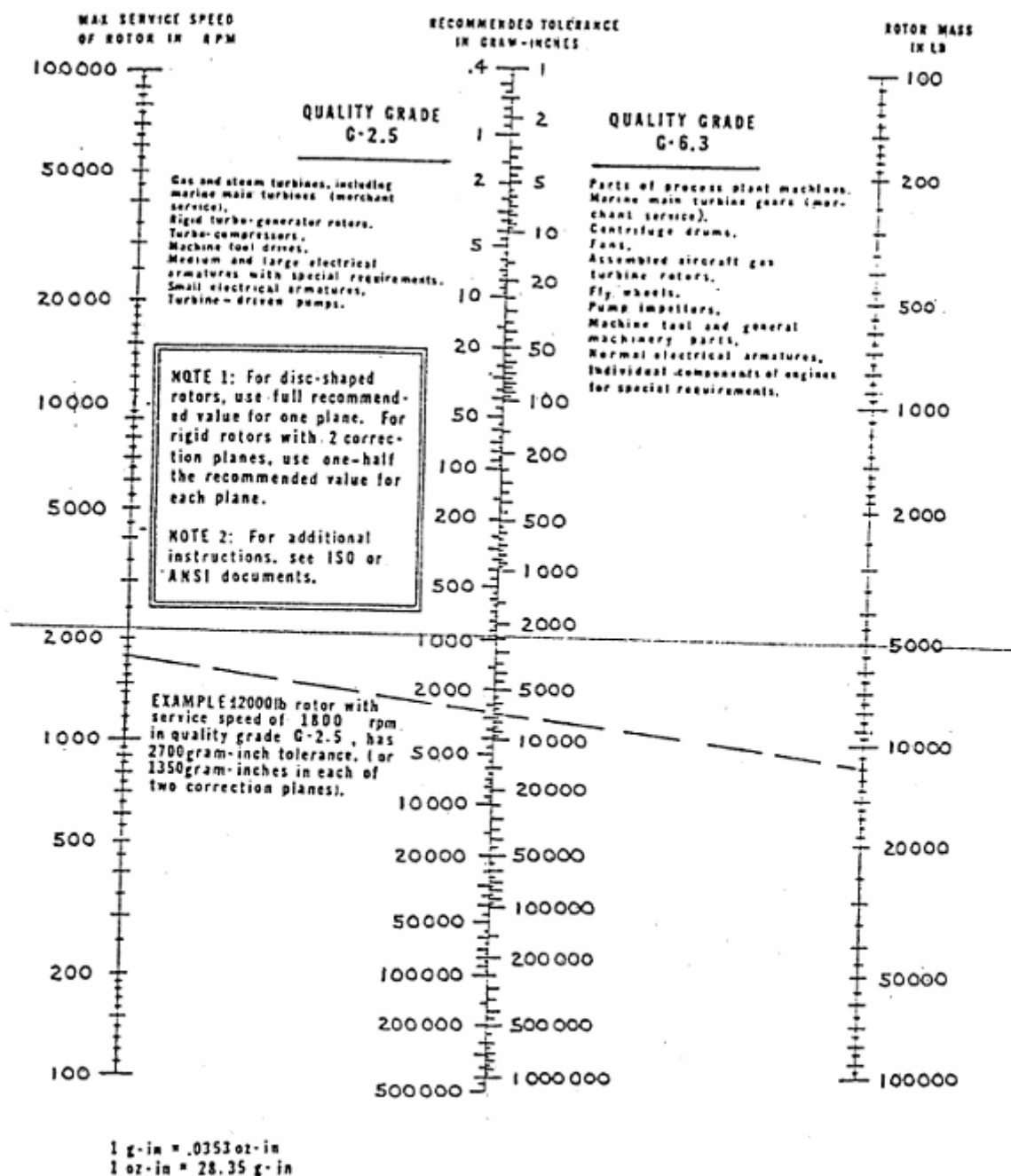
تولرانس های مجاز نابالانسی برای رتورهای کوچک و بزرگ درجداول زیر آورده شده است.



حد مجاز (تولرانس) بالانس کردن برای رتورهای کوچک (گروه G-2.5 و G-6.3)

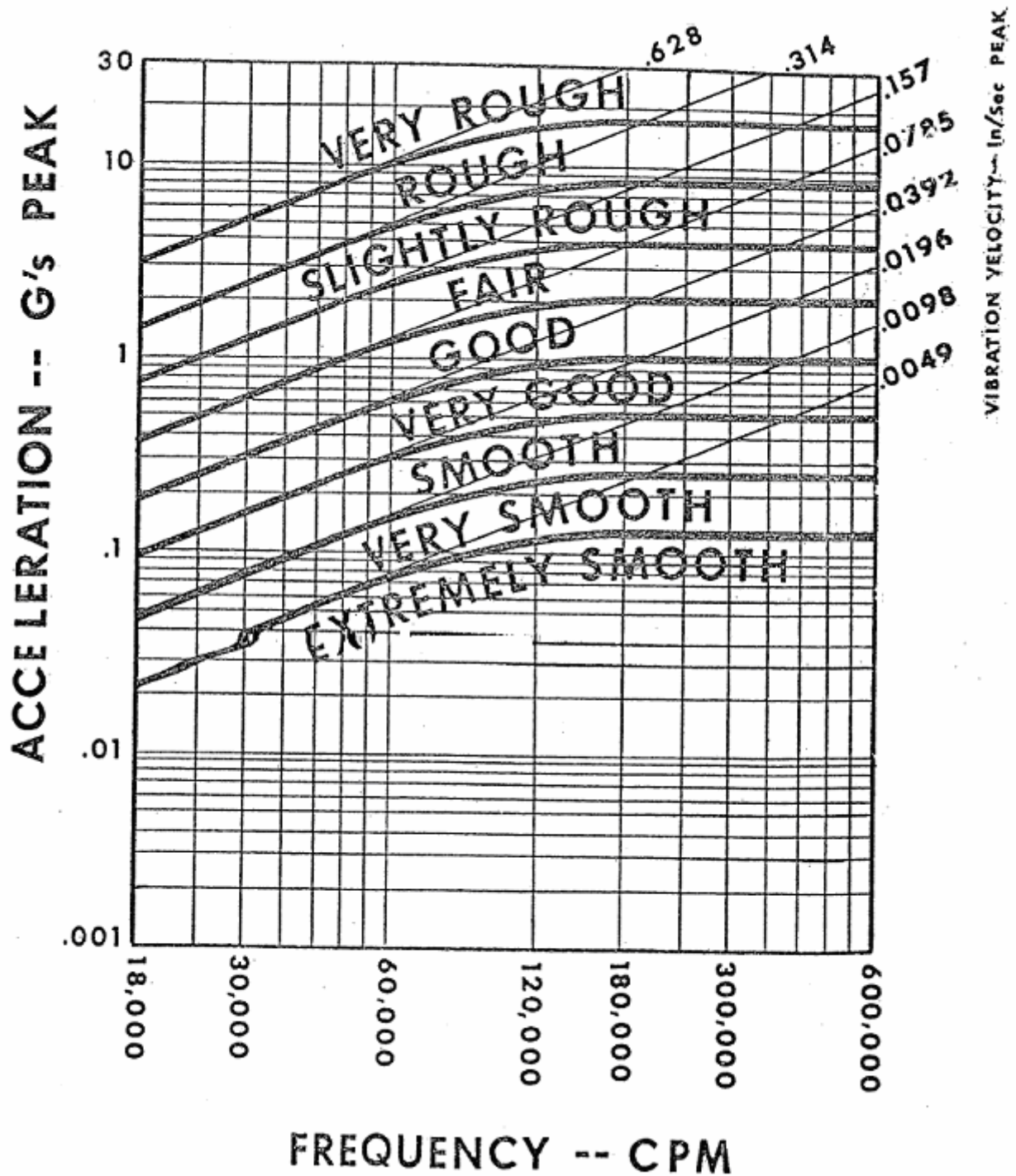
مثال: برای رتوری به وزن شش پوند که دورکاری آن ۳۶۰۰ دور در دقیقه است و با گرید G-6.3 بالانس شده است محدوده تولرانس بالانس مجموعاً ۱/۶ گرم - اینچ (و ۰/۸ گرم اینچ در هر کدام از صفحات بالانس) است.

در جدول زیر نیز تolerانس های بالانس برای رتورهای بزرگ آورده شده است :



حد مجاز (تولرانس) بالانس کردن برای رتورهای بزرگ (گروه G-2.5 و G-6.3)

مثال: برای رتوری به وزن ۲۰۰۰ پوند که دورکاری آن ۱۸۰۰ دور در دقیقه است و نیاز به بالانس با گرید G-2.5 است تولرانس کلی بالانس ۲۷۰۰ گرم - اینچ و یا ۱۳۵۰ گرم - اینچ روی هر کدام از صفحات بالانس است .



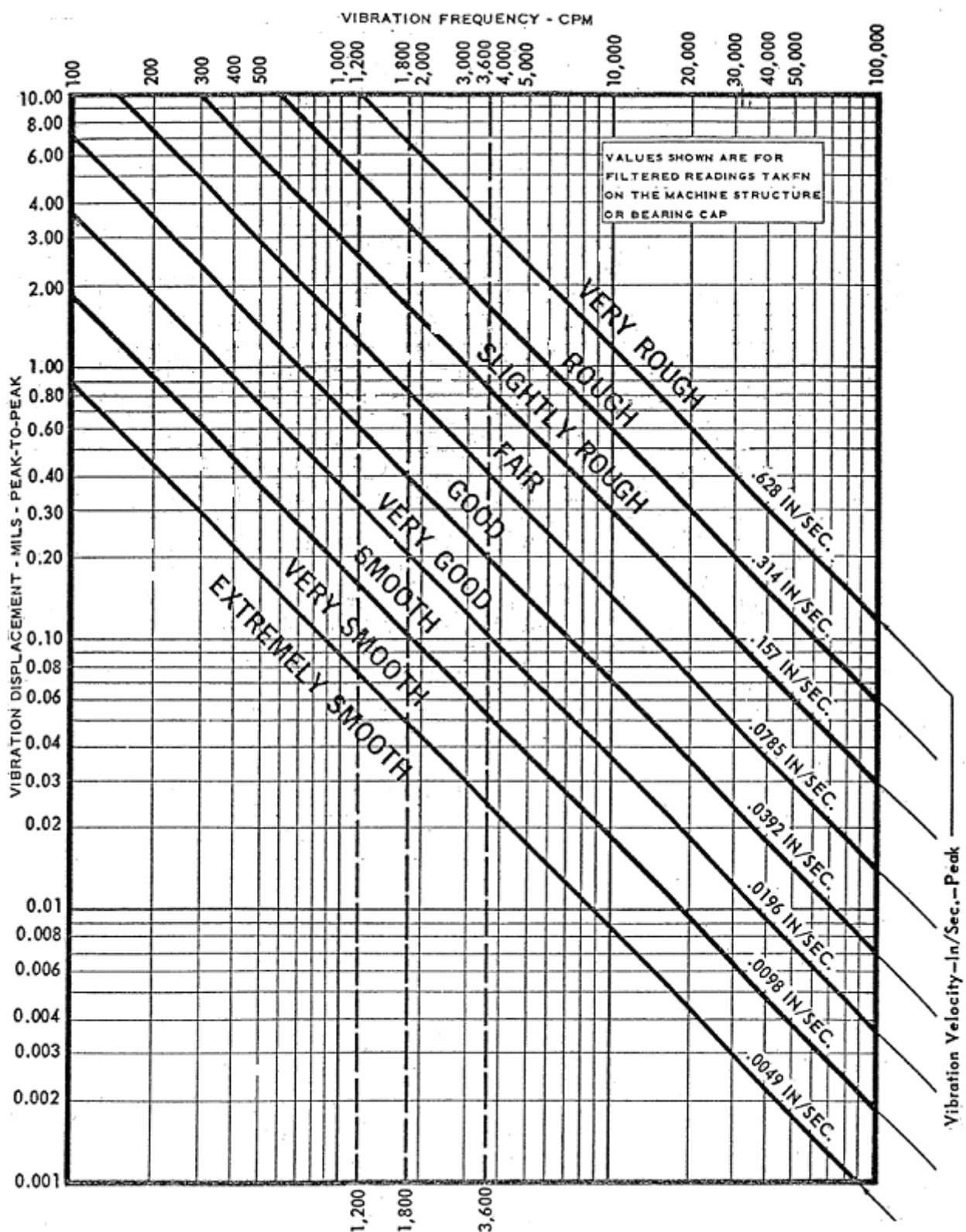
Measure overall velocity RMS and allow. for the following machine types:	FOR NEW MACH		For worn machine	
	long life	short life	check (recondition level)	Recondition to new (oct. analysis)
	VdB* mm/s	VdB* mm/s	VdB* mm/s	VdB mm/s
Gas turbines				
(over 20,000)HP	138 7.9	145 18	145 18	150 32
(6 to 20,000)HP	128 2.5	135 5.6	140 10	145 18
(up to 5,000)HP	118 0.75	130 3.2	135 5.6	140 10
Steam turbines				
(over 20,000)HP	125 1.8	145 18	145 18	150 32
(6 to 20,000)HP	120 1.0	135 5.6	145 18	150 32
(up to 5,000)HP	115 0.56	130 3.2	140 10	145 18
Compressors				
(free piston)	140 10	150 32	150 32	155 56
(HP air, air cond)	133 4.5	140 10	140 10	145 18
(LP air)	123 1.4	135 5.6	140 10	145 18
(refridae)	115 0.56	135 5.6	140 10	145 18
Diesel Generators	123 1.4	140 10	145 18	150 32
Centrifuges, oil separators	123 1.4	140 10	145 18	150 32
Boilers (Aux.)	120 1.0	130 3.2	135 5.6	140 10
Motor Generator sets	120 1.0	130 3.2	135 5.6	140 10
pumps				
over (5HP)	123 1.4	135 5.6	140 10	145 18
up to (5HP)	118 0.79	130 3.2	135 5.6	140 10
Fans				
below (1800-rpm)	120 1.0	130 3.2	135 5.6	140 10
above (1800 rpm)	115 0.56	130 3.2	135 5.6	140 10
Electric Motors				
(over 5HP or below 1200 rpm)	108 0.25	125 1.8	130 3.2	135 5.6
(up to 5HP or above 1200 rpm)	103 0.14	125 1.8	130 3.2	135 5.6
Transformers				
(over 1KVA)	103 0.14	— —	115 0.56	120 1.0
(1KVA or below)	100 0.10	— —	110 0.32	115 0.56
Gear Boxes				
(over 10000 HP)	120 1.0	140 10	145 18	150 32
(10 to 10000 HP)	115 0.56	135 5.6	145 18	150 32
(up to 10000 HP)	110 0.32	130 3.2	140 10	145 18

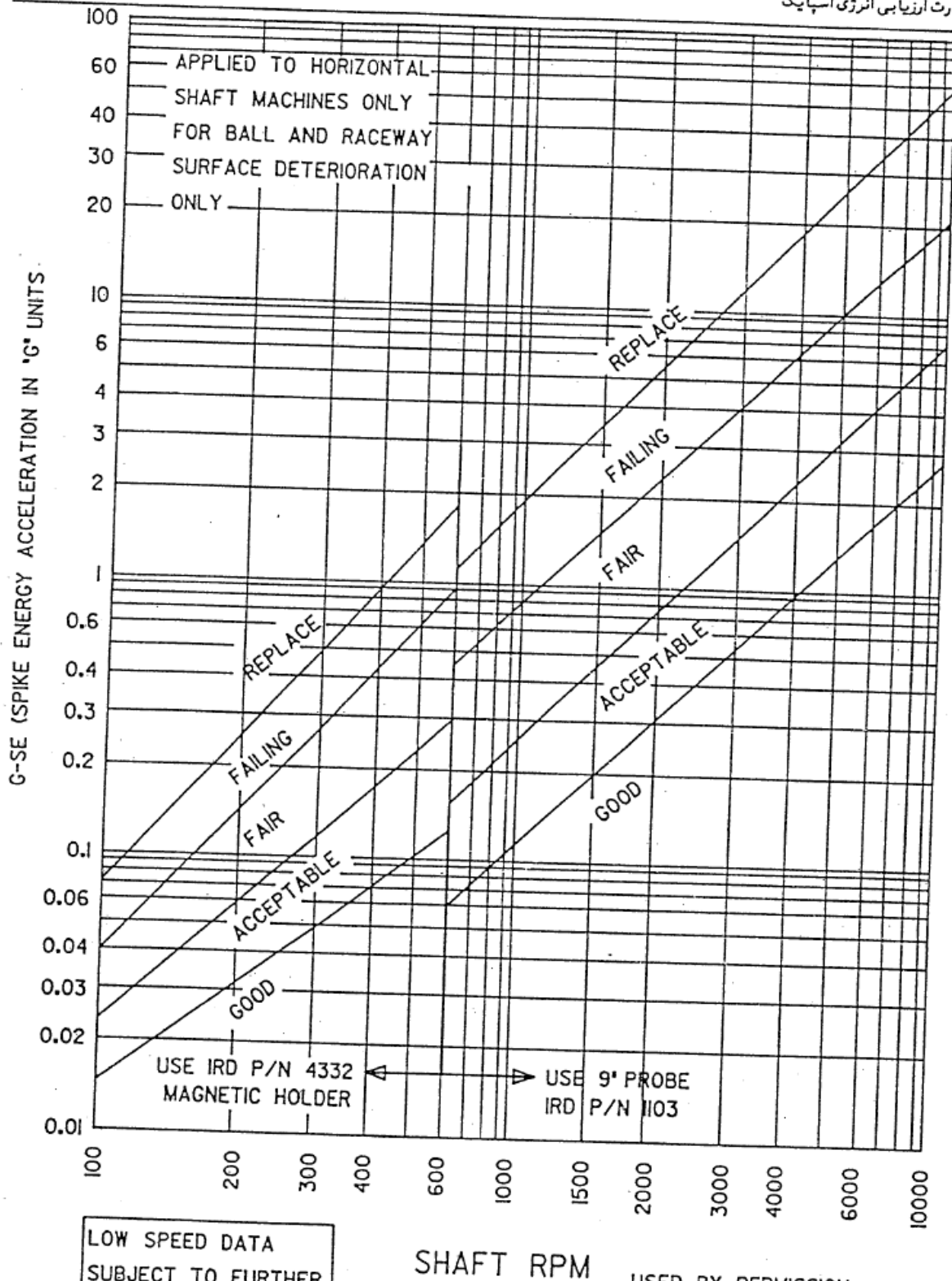
*Ret. 10^{-6} mm/s originally an older specification for VdB gave values 20 dB smaller than those found there (Due to a different dB reference level used.)

1) Long life is approximately 1,000 to 10,000 hours.

2) Short life is approximately 100 to 1,000 hours.

3) When this level is reached, service is called for. Alternatively perform frequent octave analysis and refer to next column





LOW SPEED DATA
SUBJECT TO FURTHER
FIELD EXPERIENCE

USED BY PERMISSION:
WISHAW ENGINEERING SERVICES
1 SHIELDS CRES., BOORAGOON, W.A.

ای انسانها! جسم و روان شما ودیعه
خداوند است. نگهداری و تعمیرات فقط
برای دستگاهها و تجهیزات نیست.
کسی مهندس واقعی نگهداری و
تعمیرات است که در درجه اول برای
نگهداری و مراقبت از روح و روانش
چاره‌ای بیندیشد و سپس در دوران
زندگی، ارزش سلامتی جسمی خود را
بداند و برای سلامتی خود، برنامه
پیشگیری و درمان داشته باشد.
فراموش نکنیم بزرگترین سرمایه هر
صنعتی نیروی انسانی آن صنعت است.