

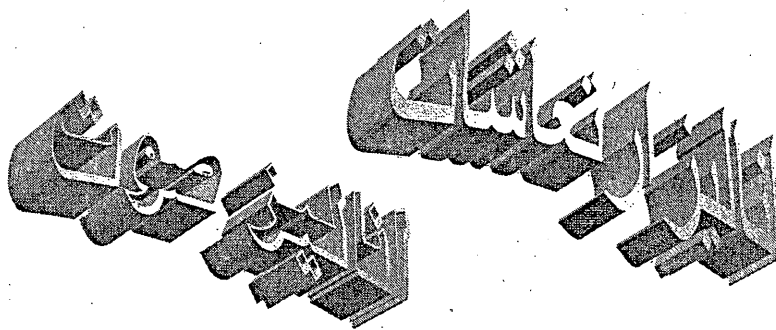
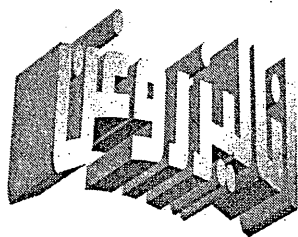


اداره آموزش شرکت پالایش نفت اصفهان

Condition Monitoring

تعمیرات بر اساس شرایط کار ماشین

مقدمه ای بر:



تهیه و تدوین:

مهندس مهدی نصرزادانی

درجهان صنعتی امروز برای نیل به افزایش کیفی و کمی فرایندهای تولید کاهش هزینه های تولید است که یکی از مهمترین شاخص های هزینه ها مربوط به تعمیرات است که درصد زیادی از هزینه هارابه خود اختصاص می دهد که البته جهت اطمینان از کاردهی و سلامتی ماشین الات امری بسیار ضروری و لازم نیز می باشد. ولی برای جلوگیری از افزایش هزینه های ناشی از خرابی دستگاه ها و تعمیرات آنها 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 نا اصولی از ماشین الات و تبحر نا کافی تعمیرکاران و نقاط ضعف آموزشی آنها و توقف و راه اندازی های مکرر لزوم نیاز به ابزارهائی برای کنترل و مراقبت های ویژه برای فرایندهای تعمیراتی را طلب می کند تا همه چیز طبق برنامه و در موقع مناسب انجام گردد.

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

که اساس این کار بر 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 شناسائی شده و با پیش دستی اقدامات مناسب ریشه کنی عامل مشکل مرتفع می شود. کمیت هائی که در شرایط کاری اکثر ماشین موثرند و اندازه گیری می شوند شامل ارتعاشات، روغن، درجه حرارت، خوردگی، صدا و..... است که مقادیر اندازه گیری شده و روند تغییرات آنها 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 پارامترهائی نظیر ارتعاشات، روغن و همچنین در فصل اخر نیز به صوت که حاوی اطلاعات زیادی از یک دستگاه هستند اشاره می شود و در حد نیاز صنعتی مورد بحث و بررسی قرار می گیرد و بیشتر سعی بر آن بوده است که مسائل کاربردی آنها مورد بررسی قرار گیرد تا بیشتر مژمژم و واقع گردد ولی به هر حال خالی

از اشکال نیز نبوده که مشتاقانه منتظر دریافت نقطه نظرات و پیشنهادات کلیه دوستان و عزیزان هستیم تا انشاالله..... در چاپ های بعدی مدنظر قرار دهیم. که امید است مورد استفاده کلیه مهندسین و تکنسین هائی که به هرنحوم مقتضی در امر نگهداری و تعمیرات فعالیت می نمایند واقع گردد و بتوانیم قدمی هرچند کوچک در پیشرفت و تعالی میهن عزیزمان برداریم .

در پایان لازم میدانم از کلیه عزیزانی که در امر تهیه و چاپ این جزوه با اینجانب همکاری نموده اند بخصوص مسئولین دلسوز و زحمت کش اداره آموزش شرکت پالایش نفت اصفهان که در امر ترغیب تهیه و چاپ کمال همکاری را نموده اند تشکر و قدردانی نمایم و برای کلیه این عزیزان از درگاه ایزدمنان طلب توفیق و موفقیت و پیشرفت روز افزون در کلیه امور و زندگی همراه با صحت و سلامت در کنار خانواده و همکاران را خواهانم .

تعمیرات ماشینری شرکت پالایش نفت اصفهان

دیماه ۱۳۸۲ هجری شمسی

مهدی نصرآزادانی

فهرست مطالب

مقدمه

فصل اول (انواع روش های نگهداری و تعمیرات)

مفاهیم تعاریف نگهداری و تعمیرات

علل وجود نارسائی در امور نگهداری و تعمیرات در کارخانجات ایران

معایب ناشی از نداشتن سیستم نگهداری و تعمیرات

دلایل مهم روند افزایشی امور نگهداری و تعمیرات

اهداف سیستم های نگهداری و تعمیرات (نت)

انواع سیستم های نگهداری تعمیرات و مزایا و معایب آنها

روش های نوین نگهداری و تعمیرات

سیستم مدیریت مکانیزه نگهداری و تعمیرات (نرم افزار CMMS)

فصل دوم (سیستمهای Condition Monitoring)

مراحل اجرایی سیستم های Condition Monitoring

روش های متداول Condition Monitoring

فصل سوم (آنالیز ارتعاشات)

کاربردهای آنالیز ارتعاشات

اهداف اندازه گیری ارتعاشات

تعریف ارتعاشات

مشخصات یک حرکت ارتعاشی

توضیح چند اصطلاح

تجهیزات اندازه گیری ارتعاشات

پارامترهائی مورد اندازه گیری در ارتعاشات

حدود مجاز ارتعاشات

سنسورهای اندازه گیر ارتعاشات (Pickup)

روش های نصب پیک اپ ها (Pickup Mounting)

تجهیزات آنالیز ارتعاشات

اصول کلی آنالیز ارتعاشات (Vibration Analysis)

روش اجرایی آنالیز ارتعاشات

آنالیز ارتعاشات بر اساس منحنی های FFT

عیوب متداول ماشین الات و شناسایی آنها از طریق منحنی های FFT

ارتعاشات ناشی از نابالانسی (Unbalance)

ارتعاشات ناشی از ناهم محوری (Misalignment)

ارتعاشات ناشی از خارج از مرکزی (Eccentricity)

ارتعاشات ناشی از خمیدگی محور (Bent Shaft)

ارتعاشات ناشی از برینگ های بوشی (Sleeve Bearing)

ارتعاشات ناشی از چرخش روغن (Oil Whirl)

ارتعاشات ناشی از نیروهای هیدرولیکی و ایرودینامیکی

ارتعاشات ناشی از پروانه ها (Vane & Blade Pass Frequency)

-ارتعاشات ناشی از کاویتاسیون (Cavitation)

ارتعاشات ناشی از جریان های چرخشی (Recirculation)

ارتعاشات ناشی از خرابی برینگ های غلطکی (Ball Bearings)

ارتعاشات ناشی از تماس (Rubbing)

ارتعاشات ناشی از لقی های مکانیکی (Mechanical Loosness)

ارتعاشات ناشی از تشدید (Ressonance)

ارتعاشات ناشی از مسائل چرخ دنده ها

ارتعاشات ناشی از تسمه های انتقال قدرت (V-Belt)

ارتعاشات ناشی از مسائل برقی در الکتروموتورها (Electrical Faults)

ارتعاشات ناشی از لقی پایه (Soft Foot)

ارتعاشات ناشی از مسائل برقی موتورهای AC

ارتعاشات پالسی (Beat)

ارتعاشات ناشی از فوندانسیون ها (Foundations)

ارتعاشات ناشی از نیروهای رفت و آمدی (Reciprocating Action)

آنالیز ارتعاشات بر اساس اندازه گیری زاویه فاز ارتعاشات

آنالیز ارتعاشات با استفاده از منحنی های Orbit

فصل چهارم (آنالیز روغن Oil Analysis)

کاربردهای آنالیز روغن

اصول کلی آنالیز روغن

نکات مهم در نمونه گیری روغن از ماشین آلات

آزمایشاتی که روی نمونه روغن ها انجام می شود

منابع اصلی ذرات موجود در روغن

مشخصه های فیزیکی ذرات سایشی

فصل پنجم (آنالیز صوت)

موارد استفاده از اندازه گیری و ارزیابی صدا

مفاهیم اولیه و متغیرهای اندازه گیری

تجهیزات لازم برای اندازه گیری ارتعاشات صوتی

صدا بعنوان یک متغیر شاخص

فصل ششم (ضمائم)

فصل اول

انواع روش های نگهداری و تعمیرات

ت

MAINTENANCE AND REPAIR

پیشگفتار

مقوله نگهداری و تعمیرات یا بطور اختصار نت یکی از مهمترین علل کاهش هزینه ها و پایین آمدن قیمت کالا در کشورهای پیشرفته است که متأسفانه در کشورهای جهان سوم و در حال رشد هنوز جایگاه واقعی خود را پیدا نکرده و باعث افزایش هزینه های تعمیر و نگهداری و کاهش طول عمر تجهیزات و قطعات یدکی و به هدر رفتن میلیون ها دلار ارز و واریز شدن آن به حساب های شرکت های خارجی شده است .

نگهداری و تعمیر در جهان تکنولوژی امروز به عنوان یک فن و ابزار بسیار پیچیده ای درآمده که به عنوان کلید و رمز موفقیت مدیران صنعت امروز درآمده و دامنه بسیار گسترده ای دارد که روزه روز هم بردامنه گسترش آن افزوده می شود و هر چه دید و شناخت مدیران نسبت به آن افزایش پیدا می کند و تحت حمایت های انبساطی های بسیار خوبی دارد که هر روز نیز به دامنه آن اضافه می شود .

در جهان امروزی دیگر جای خطا و اشتباه و ریسک وجود ندارد و انقدر 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 و هر مشکلی که در آینده حتی دور بخواد باعث از کار افتادن یک دستگاه و نتیجتاً اختلال در سیستم تولید گردد در نطفه شناسائی و خفه خواهد شد و امکان خرابی های بعدی به صفر می رسد و براحتی می توان ادعا کرد که دقیقاً همه چیز تحت کنترل و حساب و کتاب قرار می گیرد و از تعویض بی مورد قطعات و صرف 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 با شرایط کار و همچنین نیاز به بستر سازی فرهنگی مناسب و ایجاد انگیزه در کلیه سطوح کارکنان دارد که البته در اکثر کارخانجات کشور نیز کمابیش در این زمینه ها اقداماتی انجام شده است ولی واقعیت این است که اولاً این کار فراگیر نشده و همچنین 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 انشاالله این امر مهم در آینده بطور کامل میسر خواهد شد.

مفاهیم تعاریف نگهداری و تعمیرات

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

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)

به مجموعه فعالیت هایی اطلاق می شود که سبب افزایش طول عمر مفید دستگاه ها ماشین آلات و کاهش مصرف قطعات یدکی و انرژی و هزینه را نیز به دنبال دارد و همچنین باعث افزایش کارآرایی و رانندگی 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 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 ۲۵-۳۵ 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 اواخر 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 الات 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 الات 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 الات صنعتی

۶- عدم تاسیس رشته های مهندسی صنایع و مدیریت صنعتی و دروسی نظیر نگهداری و تعمیرات در برنامه های درسی دانشگاه ه بخصوص قبل از انقلاب. که البته اخیرا این رشته هادردانشگاه ها ارائه گردیده ولی متاسفانه انطور که باید جای خود را در صنایع پیدا نکرده 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 فرایندهای نگهداری قیمت، نحوه دسترسی به قطعات یدکی، دستور العمل های سرویس، بازدید و تعمیر ماشین الات.

۹- تاثیرات ناشی از جنگ تحمیلی که نیاز به تولید و تداوم بیشتران 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 مکانیزمی اول نیاز به نگهداری دارد اگر خوب نگهداری نشود باید آن را تعمیر یا تعویض کرد کفشی که هر هفته واکس می خورد زیر نور شدید افتاب 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 اچار 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 نیاز به نگهداری انهایی که 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 دستگاه ها که قطعات یدکی آنها غالباً با صرف هزینه های هنگفت از خارج 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-بالارفتن 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
- ۲-بالارفتن 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 تعمیر

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-جلو گیری از صرف سرمایه گذاریهای سنگین 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-خرابی تا حدشکست 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. اتکاء به این روش توسط هر مدیر صنعتی بکار گرفته شود به عنوان یک روش غیر کارا ، پرهزینه و مردود است .

معایب روش تعمیر تا حدخرابی :

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 د رخرابی ، توسعه و تسری خسارات به دیگر قطعات گردد(افزایش هزینه های تعمیراتی) .

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

۴-تهیه و تدارک قطعات یدکی مورد نیاز و گردآوری افراد متخصص مربوط به منظور انجام سریع و اقتصادی تعمیرات پیش بینی نشده بسیار مشکل یا غیر ممکن است .

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

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

البته این روش برای بعضی از ماشین الات 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 براساس Run To Failure به انجام می رسانند یا اتومبیل هائی تولید می شود غیرقابل 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.

۲- تعمیرات دوره ای زمانی Time Based Maintenance

اساس کار این روش بر بازرسی ها و چک های روتین تعمیراتی است که معمولاً توسط کارخانه سازنده ماشین توصیه شده و یابصورت 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) براساس ساعت کارکرد ماشین الات.

۲- چک کردن فواصل , کلرنس 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 و محیط 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.

۲- تعیین فاصله زمانی مناسب بین دو تعمیر کلی مشکل است.

۳- ماشین الاتی 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 الات در هنگام کار کردن آنها قابل تشخیص است و وقتی دستگاه از سرویس خارج است (در حین تعمیر) قابل تشخیص نیست

۳- تعمیرات پیشگیرانه Preventive Maintenance

در این سیستم ایجاب می کند پس از دوره های زمانی معین بعضی از قطعات تعویض گردند و اساس آن بر این 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 واز کار افتادن ماشین قطعه مورد نظر تعویض شود واز کار افتادن ماشین جلوگیری می شود. البته این روش تعمیر هنوز برای ناوگان های هوایی و هواپیما مورد استفاده قرار می گیرد ولی در صنایع بزرگ دنیا کنار گذاشته شده است. ولی سازندگان قطعات یدکی بسیار علاقمند به این سیستم می باشند.

علیرغم 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 الات.

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 با رتحمیل شده به ماشینی که تحت تأثیرات مواد شیمیایی یا تشعشعی ، تأثیرات درجه حرارت ، بار زیاد، عدم کاربرد صحیح و تغییر در خط 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 قطعات خود باعث اشکال می شود) .

۸- نیاز به برنامه ریزی دقیق است.

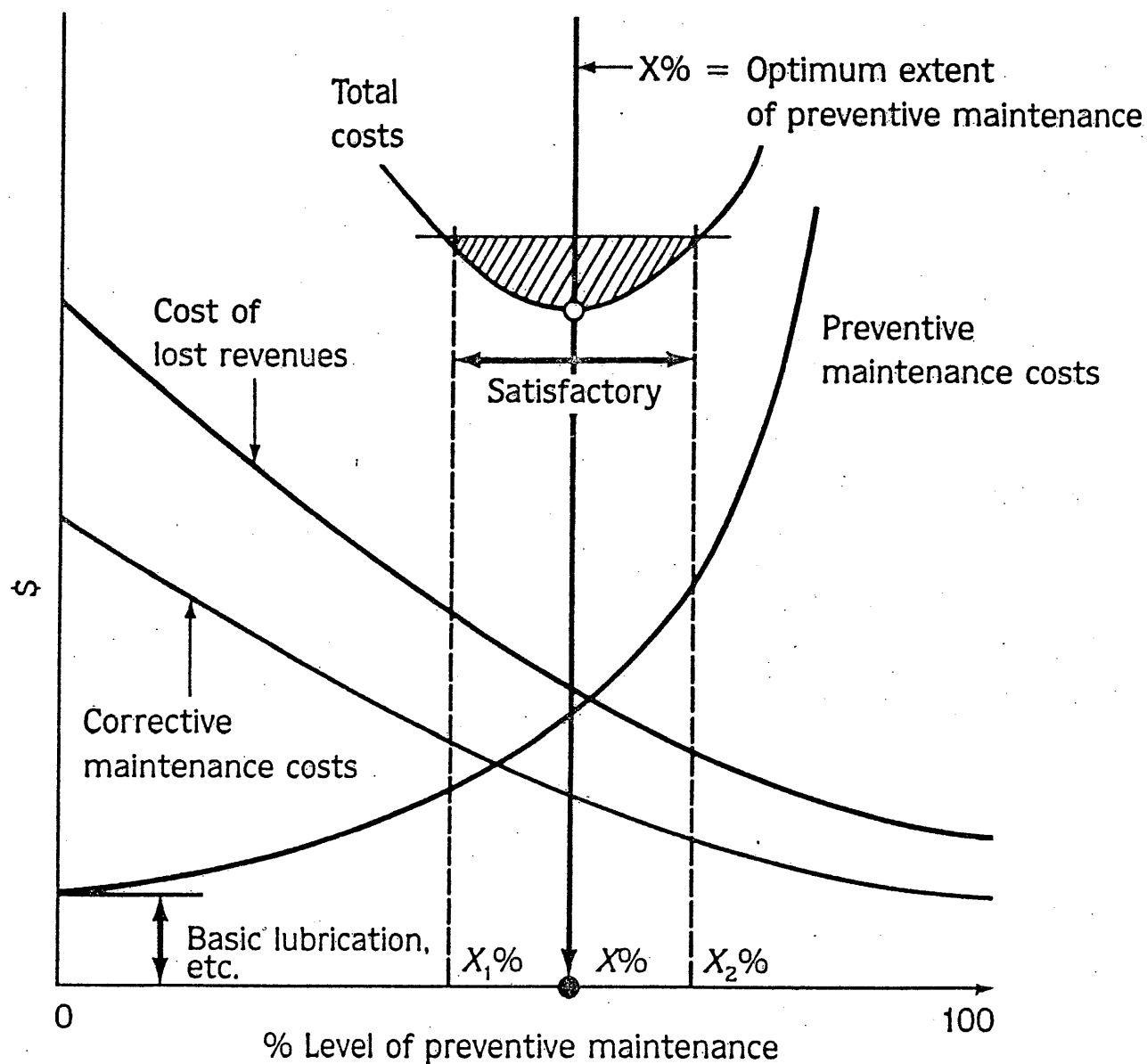
۹- هزینه های اولیه و قطعات مصرفی افزایش پیدا می کند .

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 برابری 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.

The relationship between cost and amount of preventive maintenance.



۴- تعمیرات پیش بینانه Predictive Maintenance

تعمیرات براساس شرایط کاردستگاه Condition Based Maintenance

اصول کار این روش براساس زیرنظرداشتن مستمر ماشین باابزارها وتجهیزات مخصوص برای بدست آوردن علائم و نشانه های صحت وسلامت از وضعیت ماشین آلات در حین کار است تادستگاه بتواند در یک شرایط ایمن مناسب و اقتصادی به کار ادامه دهد ودر زمان مناسب یازمانی که باید تعمیر شود مورد تعمیر واقع شود

مزایای عمده تعمیرات پیش بینانه

- ۱-متوقف کردن ماشین برای رفع عیب می تواندبرای زمان معین و مناسب برنامه ریزی شود .
- ۲-از بروزخسارات کلی به ماشین و درنتیجه بروزخرابی ناگهانی جلوگیری می شود .
- ۳-زمان تعمیربه حداقل ممکن محدود خواهد شد .
- ۴-برنامه کار،تعمیر لوازم یدکی، ابزارونیروی انسانی می تواندقبل ازتوقف برنامه شده ماشین تدارک دیده شود
- ۵-تلف نشدن سرمایه وزمان برای تعمیر کلی ماشین .
- ۶-کاهش خرابی های اضطراری .
- ۷-کاهش هزینه های تعمیراتی .
- ۸-فقط ماشین آلاتی که وضعیت نامطلوب دارند تحت تعمیر قرارمی 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 وبکار خود ادامه می دهند(افزایش فاصله زمانی بین O/H ها) .
- ۱۱-دربعضی 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- بالا بردن کیفیت محصول و ضریب اطمینان .

۱۶- برنامه ریزی بهتر و بالانس کردن حجم زیاد کارهای تعمیراتی.

۱۷- کم شدن نیاز به دستگاه های یدک.

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. البت این روش به تنهایی کاربرد ندارد و باید به موازات بادیگروشه های نت استفاده شود. و اصول کار این روش بر اساس مونیتور کردن پارامترهای کلیدی و مهمی است که در شرایط کاری دستگاه ها و ماشین الات تاثیر بسزائی دارد (Condition Monitoring) که در فصل بعدی بطور مفصل تری راجع به آن بحث خواهد شد.

۵- نگهداری و تعمیرات بهره ور فراگیر Total Productive Maintenance

در این روش که با برانگیختن کلیه انگیزه های تمامی گروهها اعم از تعمیرات بهره برداری بوجود می آید جهت حذف ضایعات ، صرفه جوئی در هزینه ها و بهینه سازی موقعیت تجاری سازمان بکار می رود . این روش ضمن ارتقاء دانش و ایجاد اعتماد کامل در اپراتور وی را قادر می سازد تا به استفاده موثر از تجهیزات خود بپردازد و بجای انتظار زمان تعمیرات دوره ای و در خواست کمک از کارشناس تعمیرات مستقیماً مشکلات جزئی تجهیزات خو را قبل از آنکه به مشکلات بزرگتری تبدیل شود مرتفع نماید و به جستجو و سپس حذف علل ریشه ای نارسایی های تجهیزات خود مبادرت نماید ضمن اینکه با تشکیل گروههای کاری کوچک توسعه پایدار در خطوط رانیز محقق نماید.

در ژاپن کارهای مهم به درستی انجام می گیرد چراکه در این کشور کارهای جزئی و ناچیز نیز به درستی و مطلوبیت کارهای مهم انجام می شود (راز نت بهره ور فراگیر د ر توجه به جزئیات است)
نت بهره ور فراگیر یعنی تشکیل از یکایک کارکنان کارخانه .

مزایای سیستم های بهره ور فراگیر TPM

۱- افزایش مهارت ها

۲- کاهش هزینه ها

۳- افزایش اثربخشی

معایب سیستم های بهره ورفراگیر TPM

- ۱- نیاز به تلاش بیشتر
- ۲- نیاز به همکاری همگانی
- ۳- مقاومت در مقابل تغییر

اصول اجرایی سیستم TPM

- ۱- بهبود مستمر در و جوه مختلف برای دست یابی به کارایی موثرتر تجهیزات .
- ۲- ایجاد سیستم های نت خود کنترلی .
- ۳- ایجاد سیستم های نت برنامه ریزی شده بهره ور برای کل دوران عمر تجهیزات .
- ۴- آموزش ها مهارت های در حین خدمت برای اپراتور هاو کارگران .
- ۵- ایجاد سیستم های مدیریت انگیزش نت .
- ۶- ایجاد سیستم های کیفی .
- ۷- ایجاد ساختار بهبودو کارایی بخش های غیرمستقیم نت .
- ۸- ایجاد سیستم های مدیریت برای ایمنی و حفاظت محیط .
- ۹- درگیر نمودن کلیه بخش هایی که به نحوی با برنامه ریزی نگهداری تجهیزات سرو کار دارند .
- ۱۰- حداکثر کردن اثر بخشی تجهیزات .
- ۱۱- درگیر نمودن کلیه کارکنان اعم از مدیران رده اول تا کارکنان توسعه .
- ۱۲- بهبود و توسعه PM از طریق مدیریت انگیزه ای (به عنوان مثال تحت فعالیت های گروههای کوچک خودساخته مستقل) .

ویژگی های مهم سیستم TPM

- ۱- اثر بخشی فراگیر (توسعه و بهبود راندمان یا سودمندی فراگیر) .
- ۲- پیشگیری فراگیر (طراحی دستگاههای بی نیاز از تعمیرات پیشگیری جامع) .
- ۳- همکاری و اشتراک مساعی فراگیر اتمام عملیات نگهداری و تعمیرات بصورتی خود ساخته و مستقل توسط کارگران بهره برداری (اپراتورها) درگروههای کوچک د رهبریک از بخش های صنعت و همچنین توسط سایر سطوح کارکنان بصورت مشابه .

اصول اجرای نت خود کنترلی

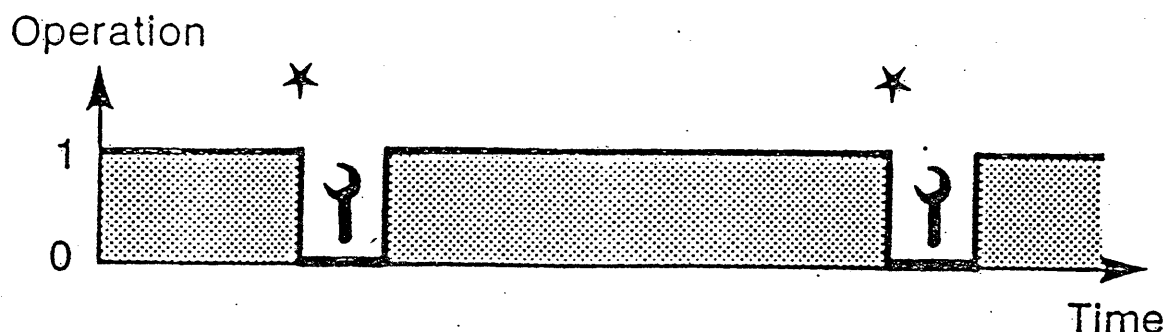
- ۱- تمیز کاری اولیه .
- ۲- برخورد بامنابع آلودگی .
- ۳- تدوین استاندارد های تمیز کاری و روانکاری با همکاری اپراتورها .
- ۴- آموزش بازرسی های عمومی .
- ۵- بازرسی مستقل خودکار .
- ۶- نظم و ترتیب و مدیریت محل کار .
- ۷- اجرای برنامه کامل نت مستقل خود کار .

مقاصد مهم TPM

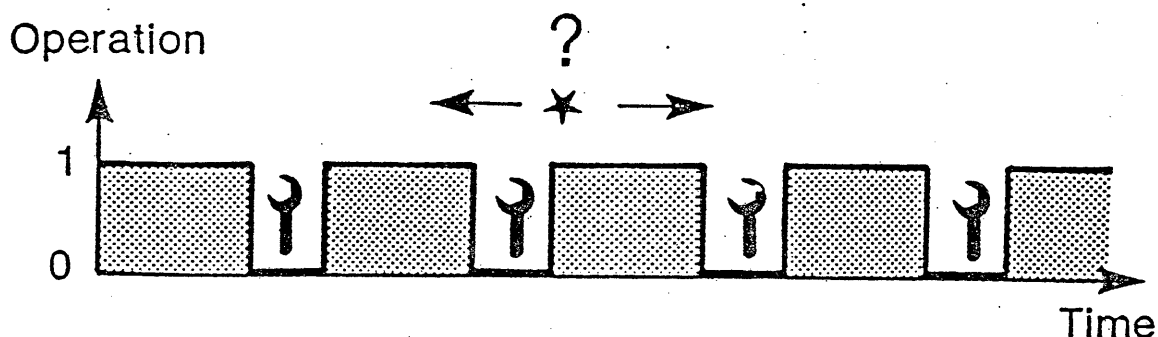
- ۱- حرکت شرکت به سمت ماکزیمم نمودن کار آیی سیستم های تولید .
- ۲- ایجاد سیستم هایی برای دست یابی به تولید بدون سانحه و شکست .
- ۳- تشکیل گروههای کوچک به منظور به صفر رساندن خسارت ها .
- ۴- ایجاد استراتژی بهبود کیفیت محصولات و خدمات شرکت (TQC).
- ۵- ایجاد استراتژی بهبود نگهداری و تعمیرات تجهیزات (TPM).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

در زیر انواع روش های تعمیراتی از لحاظ حجم کار و زمان بندی کار بصورت مقایسه ای نشان داده شده است.

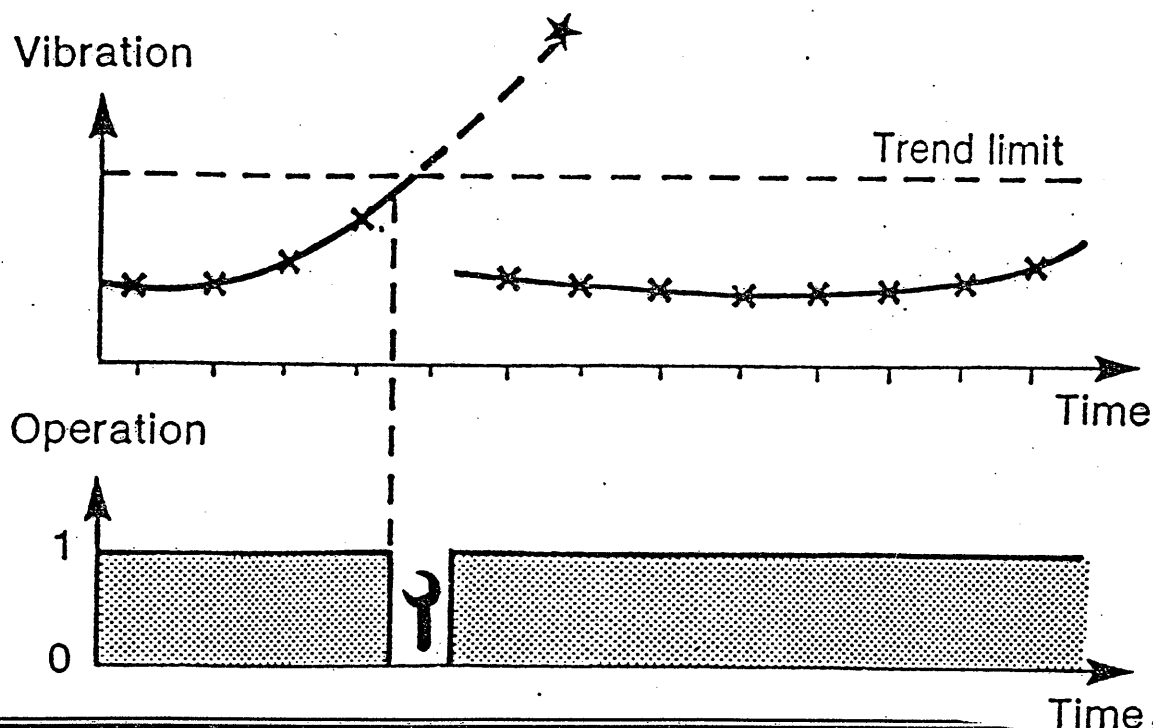
Run-to-breakdown



Time-based Preventive Maintenance



On-condition Maintenance – Predictive Maintenance



۱- سیستم های بی نیاز از تعمیر Maintenance Free

باتوجه به مسائل ومشکلات تعمیراتی که خواسته یانخواستیه برای دستگاه هاوماشین الات مطرح بوده وهست یکی ازراه حل های ارائه شده برای مرتفع نمودن این مشکل ارائه دستگاه هائی است که هیچ نیازی به تعمیرنداشته باشندوپس از یک دوره کاری نسبتا طولانی بطورکامل سیستم جدیدی جایگزین ان گرددکه البته این نیازبه دقت خیلی زیاد برای ساخت ان است که نیازبه تکنولوژی پیشرفته ای راطلب می کند. اکثراتومبیل های امروزی که درکشورهای اروپائی ساخته می شوند براین اساس طراحی وساخته می شوند که به دلیل طول عمرنسبتا بالای انهامورداستقبال نیزواقع شده است .

۲- نت مجازی Virtual Maintenance

در این سیستم تعمیرات براساس شبکه های اینترنتی انجام می شود و اطلاعات مورد نیاز بین افرادی که درشبکه 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 .

۳- نت ناب LeanMaintenance

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 شودواصل کاران براساس مشتری گرایی واکرام به ارباب رجوع است .

اصول نت ناب :

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 ان

۳- جریان (Flow) ادامه داشتن بطور مستمر

۴- کششی بودن (Pullout): یعنی تولید بر اساس درخواست ونیاز مشتری نه بصورت مستمر

۵- کمال (Perfect): یعنی حرکت دائمی به طرف کمال بدون توقف

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

Computerized Maintenance Management System

سیستم مکانیزه مدیریت نگهداری و تعمیرات 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 بندیها ، 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 سیستم CMMS

شامل:

- ۱- ثبت شناسنامه 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 درصد.

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 آن.
- در غیر این صورت با شکست مواجه می شود.

فصل دوم

اصول گارومراحدل اجرائی سیستم های

CONDITION MONITORING

سیستم‌های Condition Monitoring:

مکانیزم‌ها و دستگاه‌های صنعتی به دو صورت تحت مراقبت سیستم‌های Condition Monitoring قرار می‌گیرند:

الف - سیستم‌های پیوسته On Line Condition Monitoring:

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

ب - سیستم‌های ناپیوسته Off Line Condition Monitoring:

در این روش پارامتر مورد نظر به صورت دوره‌ای و در پریودهای معین اندازه‌گیری می‌شود و در صورتی که نسبت به دفعات قبل دچار تغییراتی شده باشد مشکل با روش‌ها و متدهای مربوط به آن روش آنالیز و شناسایی می‌گردد و اقدامات اصلاحی لازم در مورد آنها انجام می‌شود.

البته این روش نسبت به روش قبل از دقت کمتری برخوردار است زیرا ممکن است در فاصله زمانی بین پریودهای اندازه‌گیری برای ماشین مشکلی بوجود آید (سکته) و خسارتهائی وارد شود که این سیستم قادر به پیشگویی آنها نباشد.

بیشترین کاربرد آن برای دستگاه‌های کوچک و متوسط ارزان قیمت تر است زیرا سیستم‌های On Line Condition Monitoring قیمت‌های بالائی دارند و بسته به نیاز و نوع مراقبت از دستگاه انتخاب و مورد استفاده قرار می‌گیرند.

سیستم‌های CM در مراکز صنعتی و دستگاه‌ها و ماشین‌الات برای پارامترهای از قبیل ارتعاشات، روغن، درجه حرارت، خوردگی، فشار و دیگر پارامترهای عملیاتی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

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 شامل :

۱- جمع اوری اطلاعات و تشکیل بانک های اطلاعاتی .

۲- مقایسه اطلاعات جمع اوری شده بامقادیر مجاز ارائه شده توسط کارخانه سازنده یا استاندارد ها .

۳- تعیین روند تغییرات پارامترهای اندازه گیری شده .

۴- تجزیه و تحلیل اطلاعات و پیدا کردن عیب .

۵- تصحیح عیب و رفع مشکل .

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

برنامه برای یک سیستم CM موثر شامل :

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 Measurment) .

۶- اندازه گیری پارامتر مورد نظر (Condition Measurment) .

۷- جمع آوری اطلاعات (Data Collection).

۸- ثبت اطلاعات (Data Recording).

۹- 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.

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 دستگاههای مشابه.

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

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.

فصل سوم

VIBRATION MONITORING

انالیز ارتعاشات

از زمانی که پای شرکت های بیمه گذار به صنایع باز شد مهمترین بحث برای بیمه کردن دستگاهها مطرح گردید و ان تعیین پارامترهائی بود که بتواند وضعیت واقعی ماشین را مشخص کند . پس از چندین سال بحث مهمترین پارامتر برای تشخیص وضعیت ماشین وضعیت لرزش آن شناخته شد. که هر چه 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 اینکه تمامی ماشین آلات در حین کار حتی در بهترین شرایط خود نیز دارای ارتعاش و لرزشند 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 ان یک اشکال مکانیکی، الکتریکی هیدرولیکی، ایرودینامیکی یا..... است که با توجه به این که هر عیب روی دستگاه ارتعاشات با مشخصات (فرکانس و زاویه فاز و...) مربوطه خود را ایجاد میکند با اندازه گیری ارتعاشات و تجزیه و تحلیل ان با توجه به مشخصات دستگاه عیب ان شناسائی می گردد و وضعیت کار ان دستگاه مشخص می شود.

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 اتی مورد بحث و بررسی مفصل قرار می گیرند .

عوامل ایجاد ارتعاشات :

عامل 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 دستگاههای و ماشین آلات می شود که باعث خرابی های زودرس و آسیب دیدن قطعات آنها و... می شود. و با توجه به اینکه 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:

۱- مهمترین هدف از اندازه گیری و آنالیز ارتعاشات غالبا برای تعیین مسائل و مشکلات داخلی ماشین آلات برای پیدا کردن عیوب احتمالی بوجودآمده روی آنها و تعیین زمان تعمیرات اساسی یا اصلاحی آنها است که بیشترین بحث این مقوله مربوط به این 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 براساس 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 گیریهای 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 گیریهای 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 معمولا 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 عمرکاری باقی مانده قطعات و یا ماشین آلات براساس تغییرات بوجودآمده در طول زمان کارکرد دستگاه ها.

۸- تشخیص علائم شروع ورشد عیوب بوجودآمده روی دستگاه قبل ازبوجودآمدن خسارت های جدی وسنگین روی ماشین آلات که باعث کاهش هزینه های تعمیراتی واختلال درخط تولید می شود.

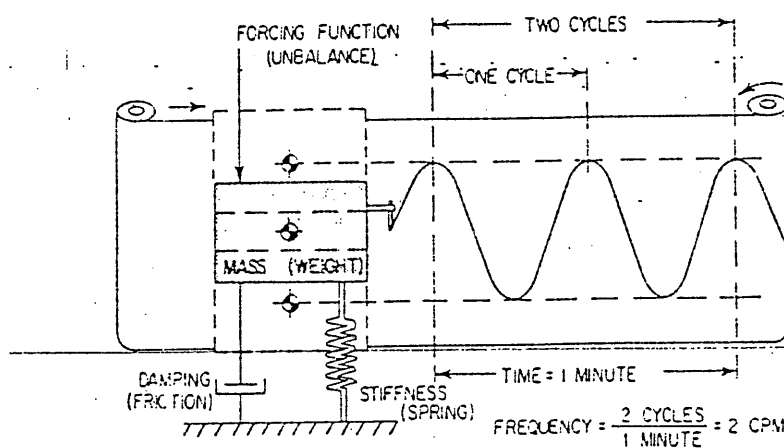
تعریف ارتعاشات :

ارتعاشات یک حرکت نوسانی هارمونیک است که دامنه حرکت آن مرتباً با زمان تغییر میکند

مثال : حرکت ها رمونیک یک جرم و فنر:

این نوع حرکت متناوب که شامل یک جرم و فنر اویزان می باشد ساده ترین حرکت نوسانی است که معمولاً حرکت های نوسانی با این حرکت تقریب زده می شوند دراین حرکت اگر جرم از وضعیت تعادل خود خارج شود و سپس آزاد شود شروع به نوسان میکند 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 ارنده ارتعاشات بدون توجه به نوع آن نیرویی است که مقدار یا جهت آن تغییر میکند که مشخصات ارتعاشات حاصله تابع این نیرو خواهد بود و نتیجتاً 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 ذیلاً به شرح آنها پرداخته می شود .

۱- فرکانس ارتعاشات

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

و واحدهای اندازه گیری فرکانس شامل :

سیکل در دقیقه CPM (Cycles Per Minute)

دور در دقیقه RPM (Revolution Per Minute) در ماشین های دوار

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 دستگاه می باشد که در بحث آنالیز ارتعاشات به آن به طور مفصل بحث خواهد شد.

۲- 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

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

۳- 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 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 بالا و پایین 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 شو).

۴- سرعت ارتعاشات Vibration Velocity

سرعت ارتعاشات عبارتست از میزان تغییرات جابجائی نسبت به زمان و با توجه به اینکه 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 اینکه سرعت حرکت میزان تغییرات جابجائی در واحد زمان است سرعت ارتعاشات را می توان صرفاً 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 .

۵- 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 اینکه 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.

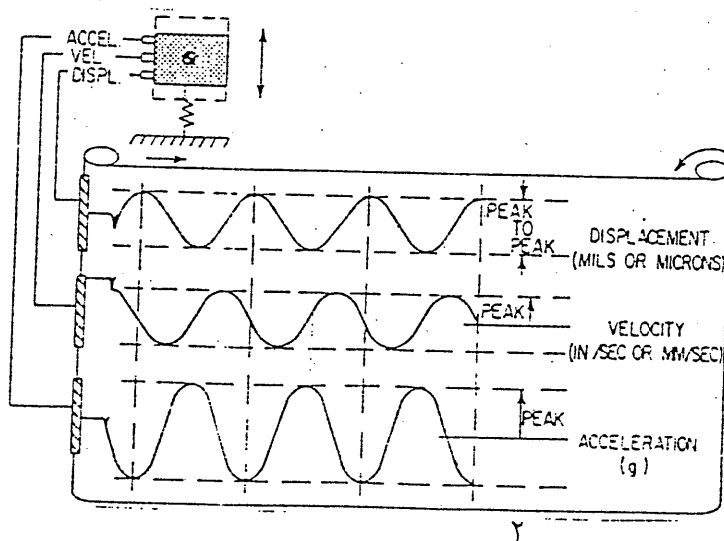
واحد اندازه گیری شتاب با g (شتاب نقل زمین) نمایش داده می شود که مقدار آن در سیستم متریک $9.81m/sec^2$ یا $980.665cm/sec^2$ است یعنی اگر شتاب یک حرکت ارتعاشی 501g باشد مقدار آن $0.501g$ خواهد بود .

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 .

منحنی های زیرارتباط بین جابجائی سرعت وشتاب ارتعاشات را که هر کدام بادیگری ۹۰ درجه اختلاف زاویه فاز دارند نشان می دهد .



ارتباط بین تغییر مکان
سرعت و شتاب .

برای تعیین شدت ارتعاشات معمولاً پارامترهای جابجائی ، سرعت و شتاب و ارتعاشات که غالباً به انها دامته یا Amplitude گفته می شود اندازه گیری می شود. مقدار دامنه ارتعاشات اساساً بیانگر وضعیت سلامت ماشین است که هر چه مقدار آن بیشتر باشد شدت یا میزان ارتعاشات بالا تر خواهد بود .

دامنه ارتعاشات معمولاً توسط کمیت های زیر بررسی میگردد:

الف - حداکثر مقدار دامنه (Peak)

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

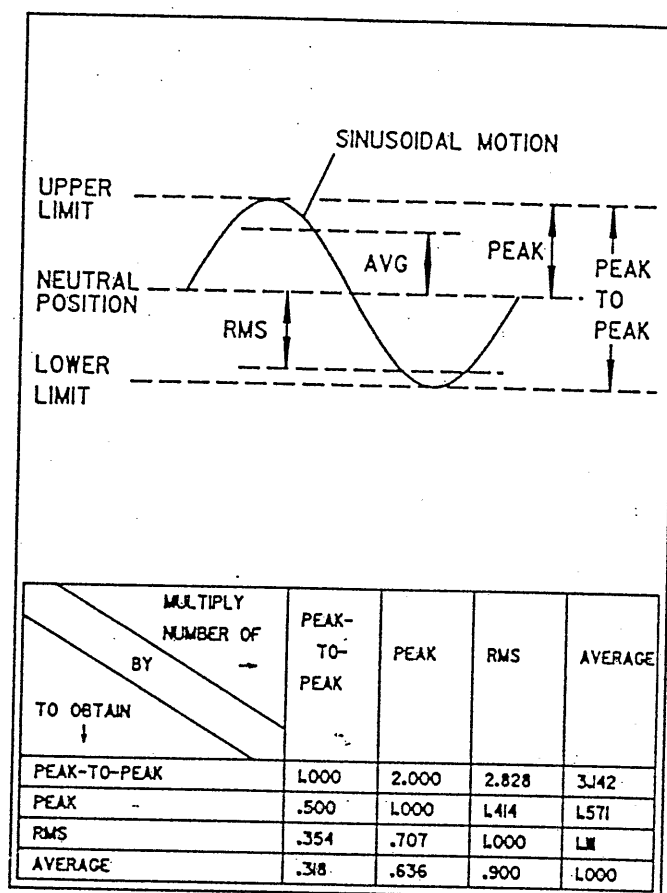
ج- مقدار موثر RMS (Root Mean Square) یا ریشه میانگین جذر که رابطه ان بصورت زیر است

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

و رابطه آن با Peak عبارتست از :

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

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



و:

بسته به دامنه (جابجائی ، سرعت ، شتاب) وامکانات دستگاههای اندازه گیری فرکانس ارتعاشات و ... مقدار ارتعاشات توسط یکی از پارامترهای فوق بیان می شود که ذیلا معادلات زیر نحوه تبدیل جابه جایی سرعت و شتاب را به یکدیگر برای ارتعاشات هارمونیک ساده نیز نشان میدهد .

METRIC

D_m = Displacement (μm pk-pk)
 V_m = Velocity (mm/sec pk)
 A = Acceleration (g pk)

$$\bullet D_m = 19.10 \times 10^3 (V_m) / (\text{RPM})$$

$$\bullet D_m = 1.79 \times 10^9 (A) / (\text{RPM})^2$$

$$\bullet V_m = 52.36 \times 10^{-6} (D_m) (\text{RPM})$$

$$\bullet V_m = 93.58 \times 10^3 (A) / (\text{RPM})$$

$$\bullet A = 0.56 \times 10^{-9} (D_m) (\text{RPM})$$

$$\bullet A = 10.69 \times 10^{-6} (V_m) (\text{RPM})$$

ENGLISH

D = Displacement (mils pk-pk)
 V = Velocity (in/sec pk)
 A = Acceleration (g pk)

$$\bullet D = 19.10 \times 10^3 (V) / (\text{RPM})$$

$$\bullet D = 70.40 \times 10^6 (A) / (\text{RPM})^2$$

$$\bullet V = 52.36 \times 10^{-6} (D) (\text{RPM})$$

$$\bullet V = 3.87 \times 10^3 (A) / (\text{RPM})$$

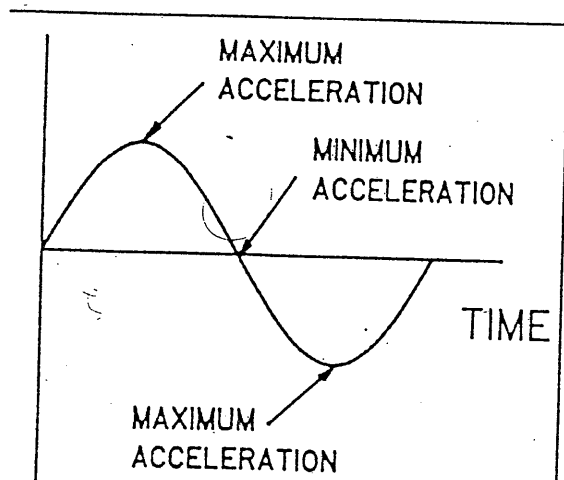
$$\bullet A = 14.20 \times 10^{-9} (D) (\text{RPM})^2$$

$$\bullet A = 0.27 \times 10^{-3} (V) (\text{RPM})$$

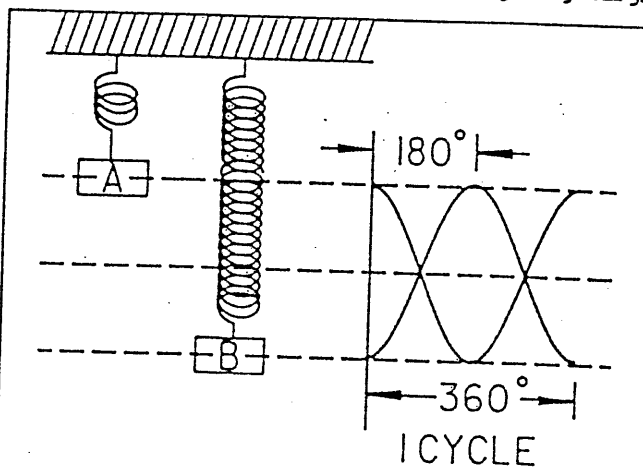
۶- زاویه فاز ارتعاشات Vibration Phase

زاویه فاز عبارتست 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.

شتاب یک قطعه در حال ارتعاش

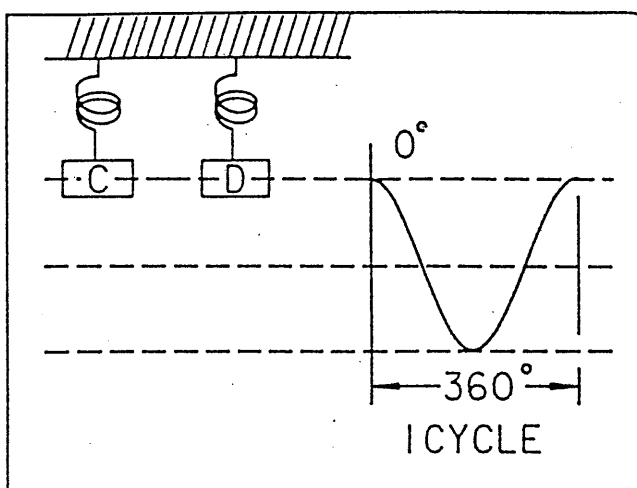


دو قطعه در حال نوسان با ۱۸۰ درجه اختلاف فاز

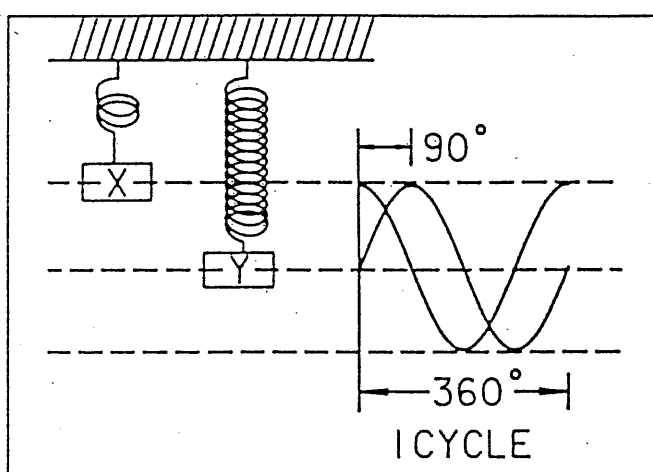


مثال: دو قطعه در شکل صفحه قبل با فرکانس و جابه جایی یکسانی در حال نوسانند و تفاوت آنها در این است که وقتی قطعه A در حد بالای حرکت خود است قطعه B در حد پایین حرکت است که به کمک زاویه فاز می توان حرکت این دو قطعه را با هم مقایسه کرد که همان طوری که مشاهده می شود این دو قطعه با همدیگر ۱۸۰ درجه اختلاف زاویه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

دو قطعه ارتعاشی هم فاز



دو قطعه در حال نوسان با ۹۰ درجه اختلاف فاز



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

توضیح چند اصطلاح:

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

۱- ارتعاشات آزاد Free Vibration

به ارتعاشاتی 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.

۲- ارتعاشات اجباری Forced Vibration

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

۳- 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.

۴- فرکانس طبیعی Natural Frequency

فرکانسی است که وابسته به خصوصیات ذاتی یک جسم سیستم یا یک مجموعه دارد و وقتی جسم تحریک می شود با فرکانس آن فرکانس ارتعاش می کند بطور مثال فرکانس طبیعی یک مجموعه جرم و فنر

است که در آن m جرم جسم و k ضریب فنری است و وقتی این مجموعه تحریک می شود با این $\sqrt{\frac{m}{k}}$

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 استفاده کننده از دستگاه قرار داده می شود.

۵- 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.

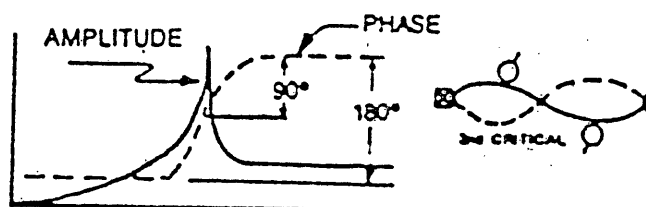
۶- فرکانس تشدید Resonant Frequency

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 میکند و موقعی که این فرکانس ها باهم یکی می شود دامنه ارتعاشات به حداکثر مقدار خود می رسد که میتواند برای دستگاه بسیار خطرناک باشد و باعث اعمال نیروهای زیادی روی قطعات گردد.

۷- سرعت بحرانی Critical Speed

این پارامتر بستگی به فرکانس تشدید دارد و بیشتر برای اجسام دوار مورد استفاده قرار میگیرد و هنگامی رخ میدهد که دور ماشین با فرکانس طبیعی آن یکی باشد به آن دور بحرانی گفته می شود که باعث خمیدگی شافت و افزایش ارتعاشات محور میگردد و به هیچ وجه نباید روتور روی این دور حرکت کند زیرا باعث صدمه دیدن قطعات اصلی نظیر یاتاقانها محور و برخورد محور با بدنه می گردد. در زیر شکل رتور در دورهای بحرانی نشان داده شده است که به این شکلهای Moeshape اول دوم و..... گفته می شود.

RESONANCE



لازم به توضیح است که هر محوری دارای دورهای بحرانی متعددی می باشد و هرچه روتور 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 میگردد.

لازم به توضیح است که در ماشین الات صنعتی که لازم است رتور دودستگاه باهم کوپله شوند دور بحرانی برای کل مجموعه دورتور 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.

۸- رتور سخت Rigid Rotor

به رتورهایی اطلاق می شود که دور بحرانی آنها بیشتر از دور کاری و عملیاتی آنها باشد.

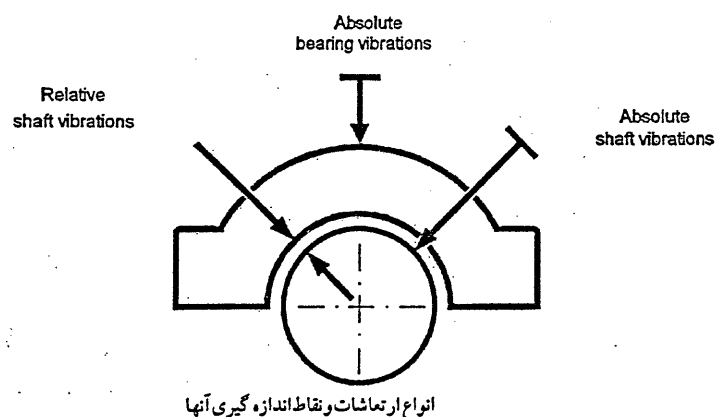
۹- رتور نرم Flexible Rotor به رتورهایی اطلاق می گردد که دور بحرانی آنها کمتر از دور کاری دستگاه باشد که در حین راه اندازی این نوع دستگاه ها محور در موقعیت دور بحرانی خود قرار می گیرد که باید دقت نمود که از این محدوده دور سریعاً باید عبور شود.

۱۰- 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.

۱۱- 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 یا تاقان (Housing Bearing)



۱۲- ارتعاشات آزاد Free Vibration

ارتعاش آزاد و قتی انجام میگیرد که سیستم در اثر اعمال نیروهای ذاتی لا ینفک 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.

۱۳- 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 بالا جبار 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 هائی مانند پل ها ساختمان ها یا بال های هواپیما می شود. بنابراین محاسبه فرکانس های طبیعی در مطالعه ارتعاشات از اهمیت خاص برخوردار است .

۱۴- 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 معمولاً ارتعاشات اجباری از این دسته است .

۱۵- ارتعاشات میرا Dampening Vibration

ارتعاشاتی است 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 میگیرد و از طرف دیگر میرایی 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- دستگاههای اندازه گیر ارتعاشات (Vibration Meter)
- ۲- دستگاههای آنالیز ارتعاشات (Vibration Analyzer)
- ۳- دستگاههای نشان دهنده شکل امواج (Wave Form Analysis)
- ۴- دستگاههای تقویت کننده امواج (Amplifier)
- ۵- دستگاههای صدا سنج (Sound Level Meter)
- ۶- دستگاه های لازم جهت اندازه گیری زاویه فاز شامل (Photo cell & Stroboscope)
- ۷- دستگاههای ضبط کننده امواج (Wave Recorder)
- ۸- دستگاههای 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 کارکردان 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 و توضیحات آن ارائه خواهد شد. ذیل به شرح تجهیزات و ادوات مورد نیاز برای اندازه گیری ارتعاشات پرداخته می شود.

تجهیزات اندازه گیری ارتعاشات

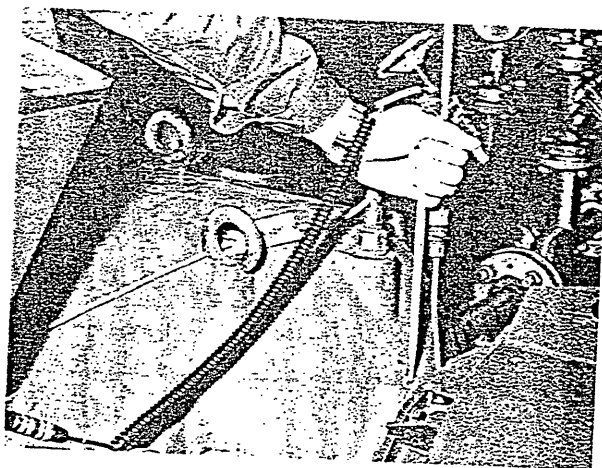
وسایل الکترونیکی که برای اندازه گیری ارتعاشات ماشین آلات به کار می روند به طور کلی به ارتعاش سنج ها (Vibrometer)، مونیتورها (Monitor) و آنالایزرها (Analyzer) طبقه بندی می شوند.

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 میتوانند 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 میکنند.

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

۱- 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.



بکار بردن سنسور ارتعاشی سرعت سنج با استفاده از پروب خود سنسور

۲-وسایل ثابت یا مونیتور ارتعاشات

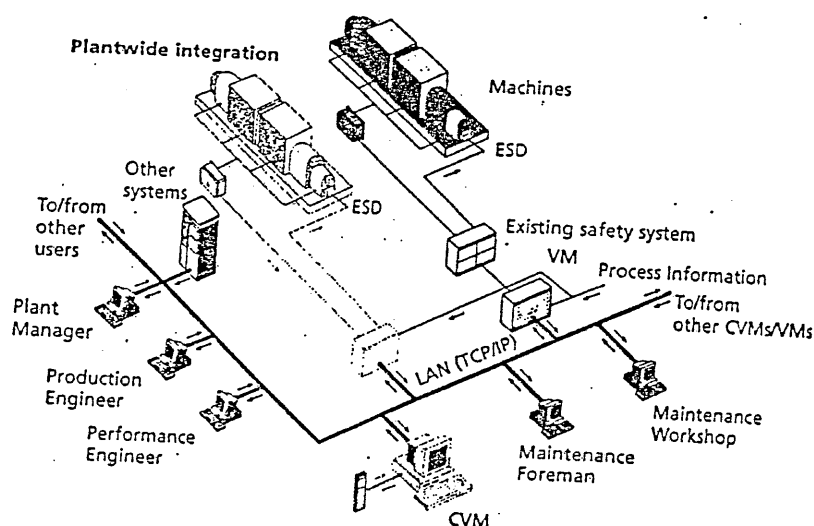
این دستگاه ها نیز کار Meterها را انجام میدهند با این تفاوت که برای اندازه گیری پیوسته و مداوم ارتعاشات روی دستگاه نصب می شوند و عملیات اندازه گیری و کنترل را به صورت اتوماتیک انجام میدهند و در صورتی که میزان ارتعاشات اندازه گیری شده از حد Setting تعیین شده روی دستگاه افزایش پیدا کند باعث تحریک سیستم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

کاربرد عمده این تجهیزات عبارتست از :

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

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

مزیت عمده روش مونیتورینگ 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 بالایی را طلب می کند .



تجهیزات نصب دائم اندازه گیری و آنالیز ارتعاشات

سیستم های مونیتورینگ ارتعاشات از پیک اپ های ارتعاشی (Sensor) تشکیل شده است که درجهات مختلف و در نزدیکی ترین 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 عدد نشان داده می شود. اگر دامنه ارتعاشات از مقدار مشخصی که برای هر دستگاه تعریف می شود تجاوز نماید با چشمک زدن یا آلارم زدن اپراتور رامطلع 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 رامی گیرد و اگر دامنه ارتعاشات به حد خطر برسد با اخطار از سرویس خارج کردن ماشین رامتوقف مینماید (Shut Down) البته در بعضی ماشین ها تصمیم نهایی بر توقف ماشین برعهده اپراتور ها است.

با یگانی و ثبت اطلاعات اندازه گیری شده

وقتی سیستم Condition Monitoring به صورت Off Line باشد اندازه گیریها 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 معمولاً این اطلاعات وارد یک برنامه کامپیوتری میگردد 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 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 دستگاههای لرزش سنج Vibrometer انجام میگردد که براساس دور دستگاه و نوع ماشین و پارامتری که تاثیر بیشتر دارد برای هر ماشین انتخاب و اندازه گیری می شود.

جدول زیریک 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																		
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																		
نام و امضاء لرزه نگار:																		
نام و امضاء تحلیل گر:																		

PMP-FM-01-01

تاریخ صدور فرم: ۷۸/۱/۲۲

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، دوردستگاه، نوع قطعات بکاررفته دوردستگاه 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 انجائی که هریک از پارامترهائی تغییر مکان جابجائی سرعت و شتاب شدت ارتعاشات را نشان میدهند انتخاب یکی از آنها اختیاری است با این وجود در بیشتر موارد فاکتورهائی وجود دارد که کمیت انتخابی را بهتر مشخص می کند مثلاً 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 لزوماً 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.

ذیلا مواردی که در انتخاب هر یک از پارامترهائی ارتعاشی باید نظر قرار گیرد ارائه می شود:

کاربرد جابجائی در اندازه گیری ارتعاشات

برای اندازه گیری ارتعاشات با فرکانس های خیلی پایین (600CMP) 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 (CMP)

60000-600) 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 میدهد 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 بالا عیوب احتمالی به طور مشخص ثبت می شود.

محل های اندازه گیری ارتعاشات در ماشین آلات

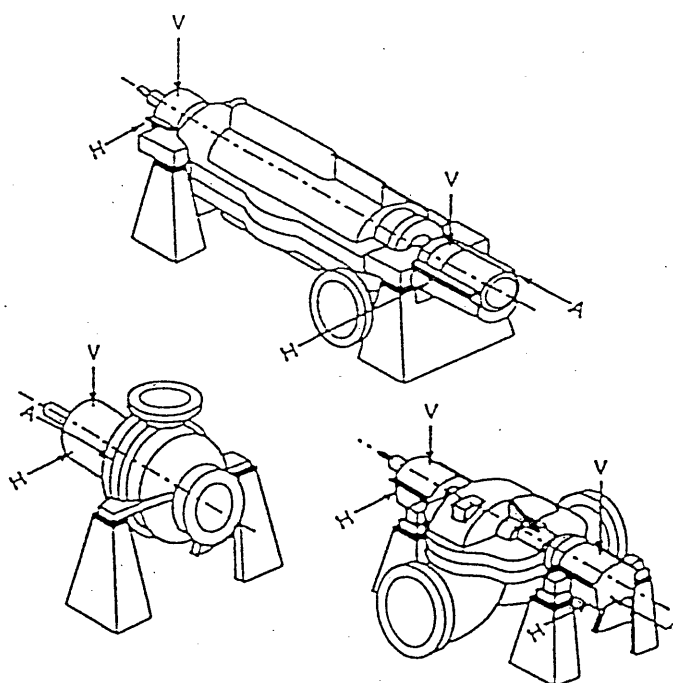
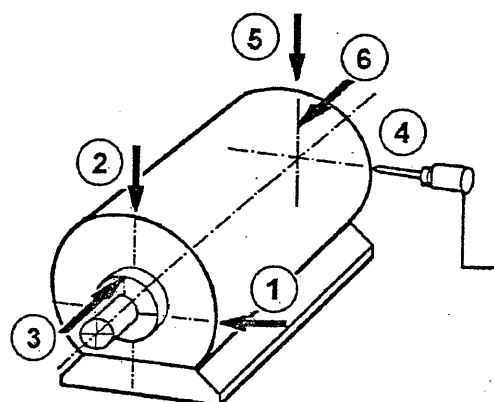
معمولاً بهترین نقطه برای اندازه گیری ارتعاشات پوسته های یاتاقانها است زیرا نیروهای داخلی توسط یاتاقانها و از طریق آنها به Housing Bearing و دستگاه و نهایتاً به فوندانسیون و زمین منتقل می شود. با توجه به در دسترس بودن هوزینگ برینگ ها در اغلب ماشین آلات اندازه گیری پارامترهای ارتعاشی روی این قسمت ها انجام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

خرابی ماشین شود و جود ندارد. مسائلی که باعث بروز یک خرابی مکانیکی می شود بسیار پیچیده تراز آن است که بتوان حدود قابل اعتمادی برای آن تعیین کرد از طرف دیگر داشتن معیار کلی برای تعیین شرایط ماشین الات از روی میزان ارتعاشات آنها ضروری است که بدین منظور از زوش های زیرمی توان به عنوان یک راهنما استفاده کرد :

۱- حدود مجازی که توسط کار خانه سازنده دستگاه توصیه می شود

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

۲- 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 شود تا به سادگی قابل رفع باشد.

۳- از طریق مقایسه با شرایط پایه ماشین (Machine BaseLine 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 الات

تقریباً مشابه نسبت به آن است که باهم سنجیده (Refrence) می شوند که این روش بیشترین کاربرد را در صنعت دارد.

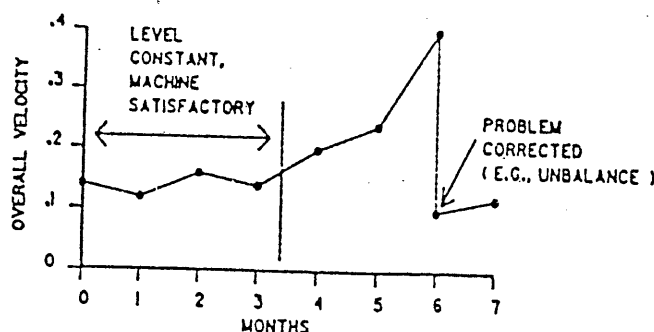
۴-افزایش سطح ارتعاشات (Vibration Trend)

روش دیگری که به ایجاد محدوده مجاز ارتعاشی کمک میکند 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 میتوان 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 مورد بررسی بیشتر و آنالیز قرار می گیرد و مشکل آن پیدامی شود که این روش نیز از اهمیت ویژه ای بخصوص در بحث عیب یابی ها برخوردار است.

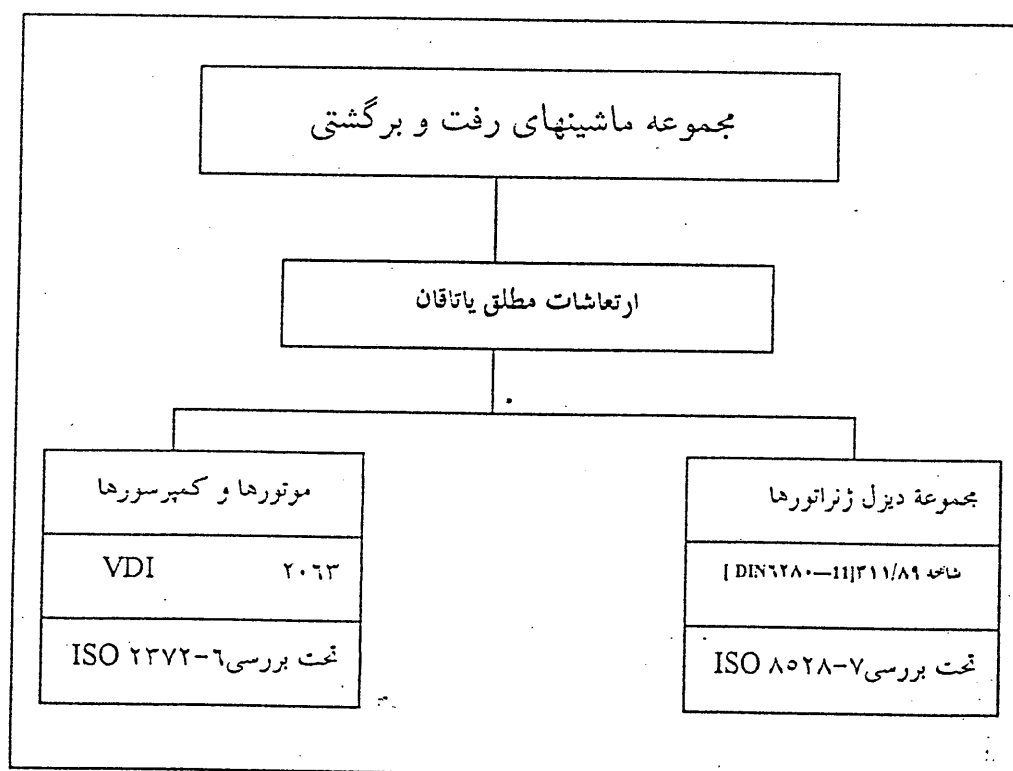
CHANGE IN OVERALL VIBRATION LEVEL

A change in overall vibration level (25-50%) over 1 to 3 months, or less, generally indicates developing defect. Example:

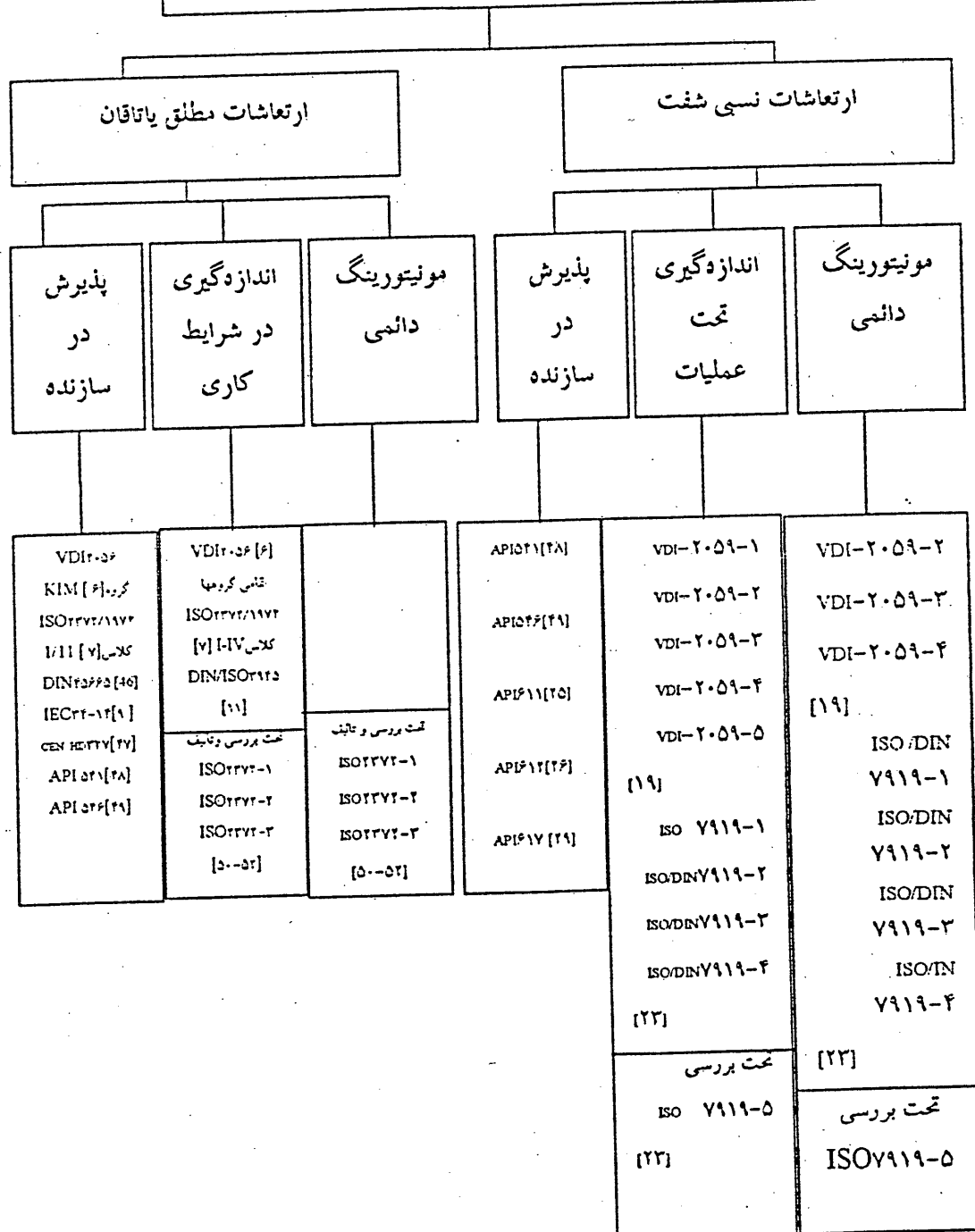


۵- استفاده از جداول استاندارد سلامتی ماشین آلات

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 یابطور اختصاصی برای هر نوع 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 هایی که در صنعت استفاده می شود میتوان به استانداردهای VDI, ISO, API, DIN اشاره نمود که برای دستگاه های مختلف شماره استانداردهای مربوط به آنها آورده شده است. برای هر دسته ماشین آلات و شرایط کاری آنها اعم از ماشین آلات دوار و یارفت و برگشتی استانداردهای مربوط به آنها داده شده است که در زیر به چند نمونه از آنها اشاره شده است :



ماشینها با جرمهای دوار غالب

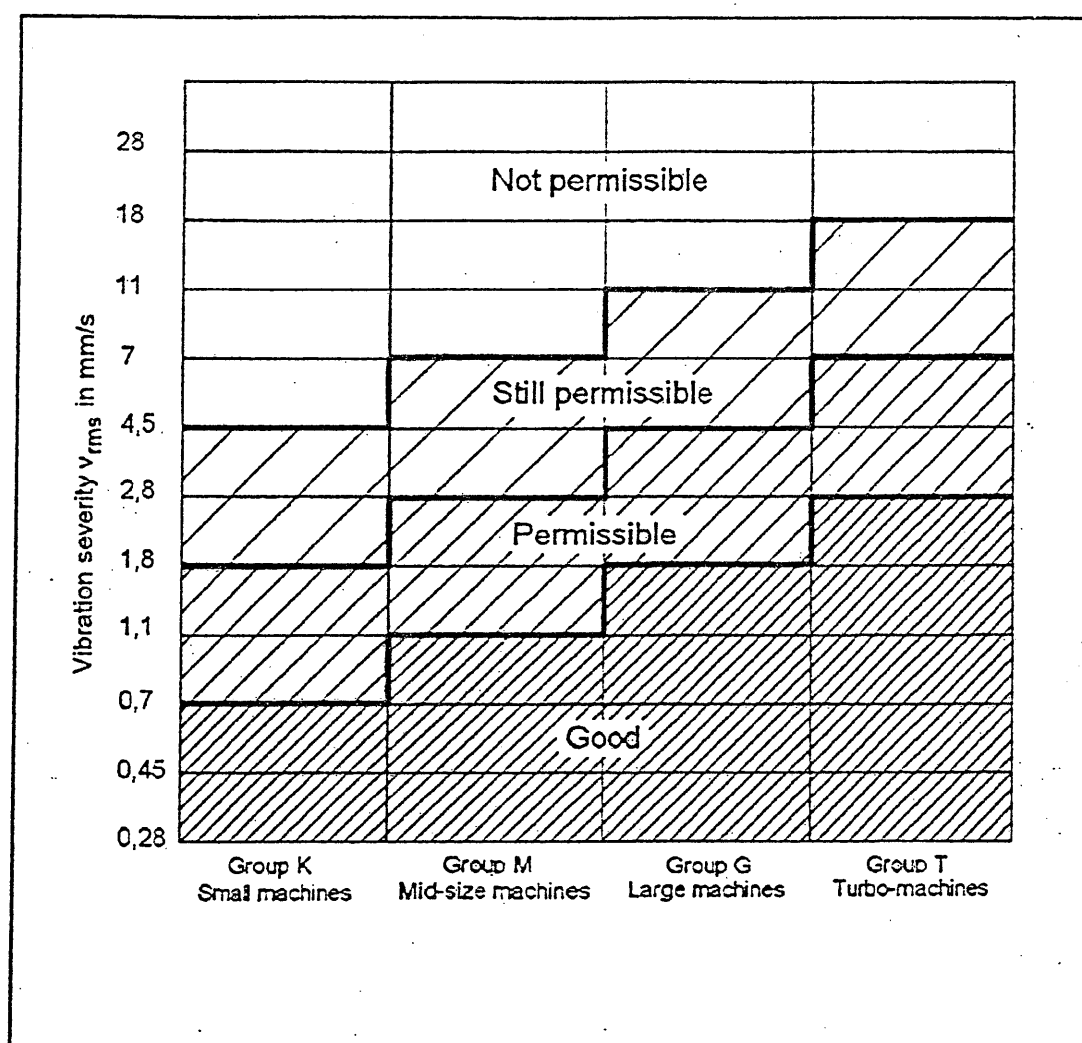


ماشینهایی که تنها شامل جرمهای دوار هستند.

ارتعاشات مطلق یا تاقان

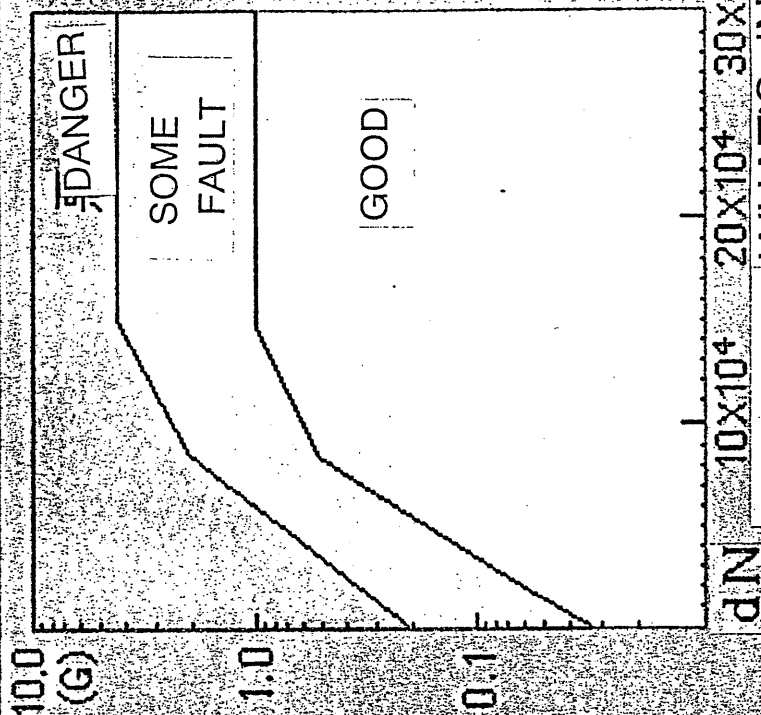
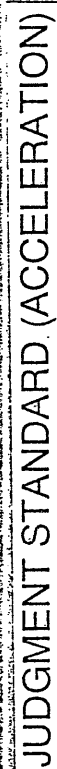
توربینهای بخار در واحدهای نیروگاهی	توربینهای گازی	موتورهای الکتریکی با توان $0.7 < P < MW$	توربوکمپرسورها و توربینها با توان $< 50 MW$
VDI ۲۰۵۶ گروههای G/T ISO ۲۳۷۲/۱۹۷۴ کلاس III/IV ISO ۳۹۴۵ DIN/ISO ۳۹۴۵	VDI ۲۰۵۶ گروههای G/T ISO ۲۳۷۲/۱۹۷۴ کلاسهای III/IV ISO ۳۹۴۵ DIN/ISO ۳۹۴۵	VDI ۲۰۵۶ گروههای G/T ISO ۲۳۷۲/۱۹۷۴ کلاسهای III/IV ISO ۳۹۴۵ DIN/ISO ۳۹۴۵ IEC ۳۴-۱۴ API ۵۴۱ API ۵۴۶	VDI ۲۰۵۶ ISO ۲۳۷۲/۱۹۷۴ کلاسهای III/IV ISO ۳۹۴۵ DIN/ISO ۳۹۴۵
تحت بررسی و تالیف ISO ۲۳۷۲-۲		تحت بررسی و تالیف ISO ۲۳۷۲-۳	تحت بررسی و تالیف ISO ۲۳۷۲-۳

که در هر کدام از این استاندارد ها 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 یاد رجاهائی که به تازگی کار مونیتورینگ را شروع نموده اند. در زیر چندین نمونه از جداول سلامتی برای ماشین آلات مختلف آورده شده است و در انتهای جزوه نیز به موارد دیگری اشاره شده است.



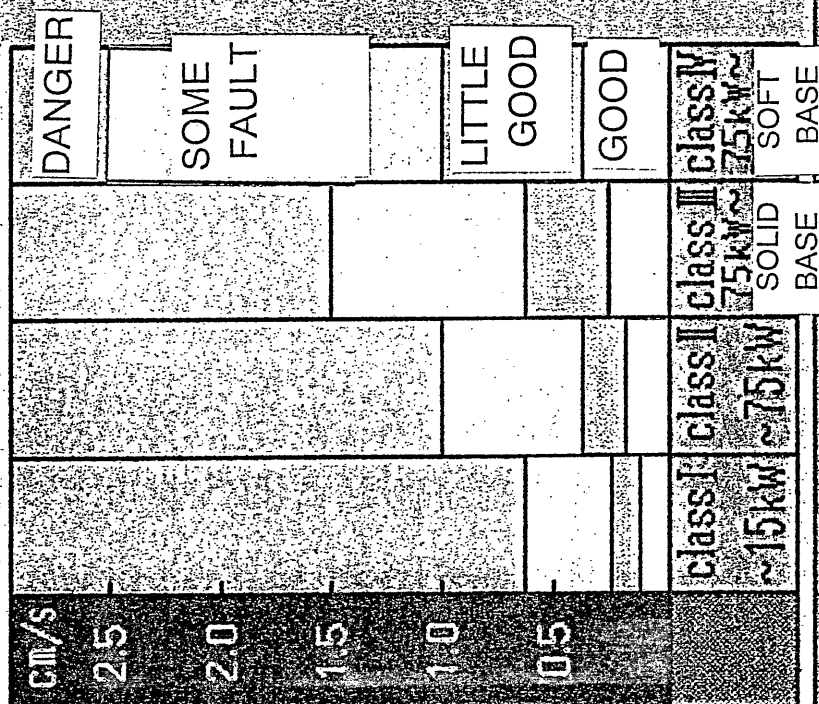
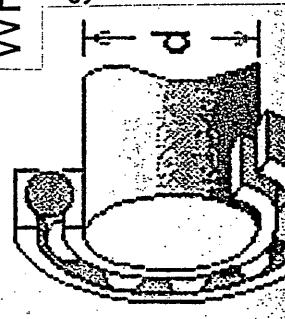
مقادیر حد برای ارزیابی ارتعاشات مکانیکی بر اساس [۶] VDI ۲۰۵۶

JUDGMENT STANDARD (VELOCITY/ACCELERATION)



WHAT'S IN IT FOR ME?

SHAFT DIA (d) X
ROTATION (rpm)
=dN NO.



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 الاتی که طبیعتا لرزش های بالائی دارند مثل دستگاه های خرد کننده سنگ ها و امثالهم معنائی ندارند و جاهائی مفیدند که سوابق تعمیرانی و تاریخچه تکنولوژی بیان گر اعتبار آنها باشد .

انتخاب فاصله زمانی اندازه گیریهای دوره ای

فاصله زمانی برای انجام تست ها ی دوره ای بستگی به نوع ماشین، زمان لازم برای شروع تغییران و فاکتورهای اقتصادی دارد ماشین های با دور زیاد معمولا 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 غالبا 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 ان 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 انها 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)

۱- پیک اپ های غیر تماسی Non Cotact Pickup

پیک اپ های غیر تماسی فقط برای اندازه گیری تغییر مکان نسبی محورها به کار می روند و متوسط یک پایه صلب روی پوسته یاتاقان پیچ می شوند و به این ترتیب امکان نزدیک شدن آنها با کمترین فاصله (حدود $0.5-1.5\text{mm}$) فراهم می شود. در بعضی مواقع پیک اپ از سوراخی که در پوسته یاتاقان تعبیه شده عبور میکند و حرکت های محور را اندازه گیری می کند. از آنجائیکه پیک اپ غیر تماسی باید بصورت صلب و در نزدیکترین نقطه نسبت به محور قرار گیرد استفاده از آنها به عنوان پیک اپ دستی مناسب نیست. به عبارت دیگر میتوان گفت از این نوع پیک اپ برای اندازه گیری ارتعاشات نسبی شافت نسبت به پوسته یا تاقان بخصوص در ماشین الاتی که شافت آنها بر روی یاتاقان های ژور نال (بوشی) نصب است استفاده می شود.

به علت فاصله کمی که بین شافت و یاتاقان ژورنال (Clearance) وجود دارد و همچنین صلب نبودن فیلم روغن و حرکت دورانی محور (دراثر 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 میکند و باعث اشفتگی میدان مغناطیسی در اطراف سیم پیچ پیک اپ 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 و لتاز 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.

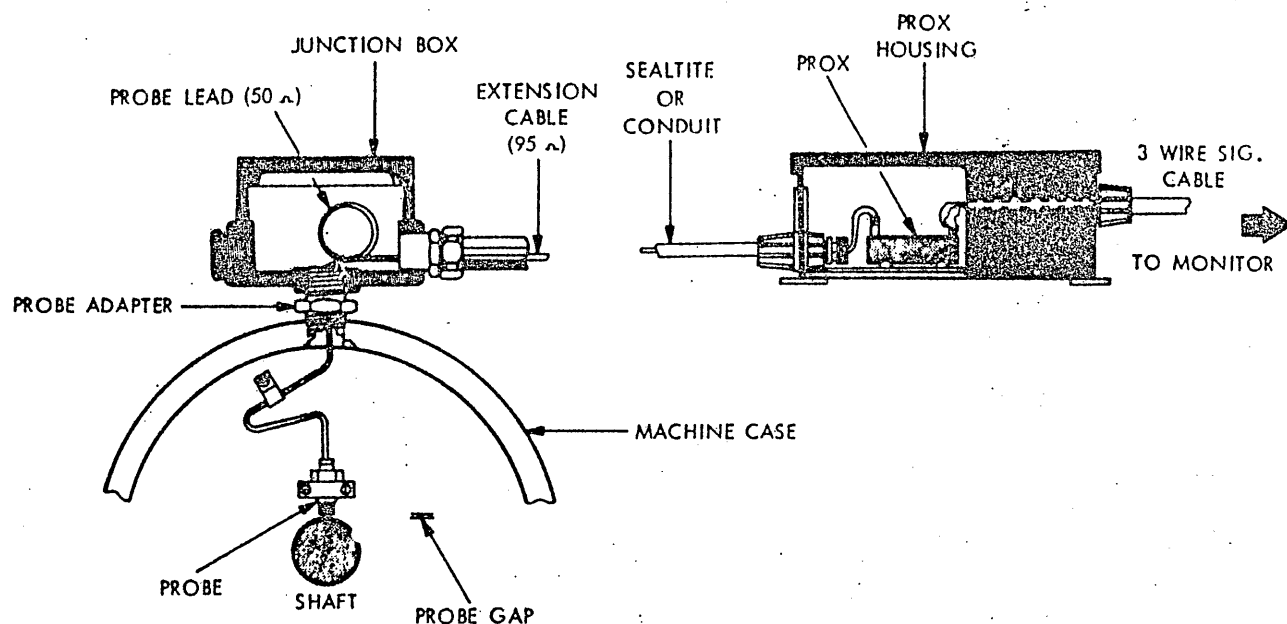
بسیاری از ماشین الات دور بالامثل توربین ها، پمپ ها و کمپرسورهای گریزاز مرکز دارای رتورهای نسبتاً سبکی هستند که در داخل محفظه های سنگین نصب می شوند. به علت وزن و ضخامت زیاد محفظه های هوزینگ برینگ ها اثر ارتعاش بر پیک اپ های تماسی کم بوده و مقدار کمی از لرزش رتور یا شافت به پوسته منتقل و نشان داده می شود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

این پیک آپ ها، پیک اپ های جابجائی اند و برای اندازه گیری جابجائی نسبی بین شافت و محفظه یرینگ استفاده می شود

اصول کار پیک اپ های غیر تماسی :

پیک اپ 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 میشوند.

این پیک آپ ها به یک مدار برقی از یک منبع خارجی نیاز دارند که بتواند یک جریان متناوب با فرکانس بالا (ا موج 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 کواکسیال به سیم پیچ 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 میکند. 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 آنالایز 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 (0.100' - 0.050') تعیین می شود .

در بسیاری موارد لازم می شود که Gap در حین کاررتور تنظیم شود که چون دسترسی به نوک پیک آپ وجود ندارد به یک اندازه گیر Gap 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-قابریه اندازه گیری حرکت های دینامیکی و استاتیکی رتورند .

۲-توانائی کاردرفرکانس های پائین را دارد.

۳- اندازه آن کوچک است و نیاز به فضای کمی برای نصب دارد .

۴-کالیبره کردن آنها آسان است .

معایب پیک اپ های غیر تماسی

۱- اختلالات برقی روی آنها تاثیر میگذارد .

۲- درفرکانس های بالا حساسیت خودرااز دست می دهند .

۳-سیم پیچ انها حساس است وقابل تعمیرنیستند .

موارد کاربرد پیک اپ های غیر تماسی

۱- درتوربوماشین های بادورهای متوسط که دارای رتورسبک وپوسته سنگین داند .

۲- برای اندازه گیری ارتعاشات شعاعی وحرکت های محوری شافت .

۳- برای بدست آوردن منحنی های اربیت (Orbit).

۴- برای بدست آوردن دوربحرانی رتور .

۵- برای اندازه گیری رشدحرارتی دستگاه ها(تغییرموقعیت هوزینگ برینگ نسبت به زمین)

روش نصب پیک اپ های غیر تماسی

پیک آپ های Non-Contact به اشکال مختلف ارائه می شوند برخی تنهایک 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 یا پیچ (Set screw) نصب می شوند .

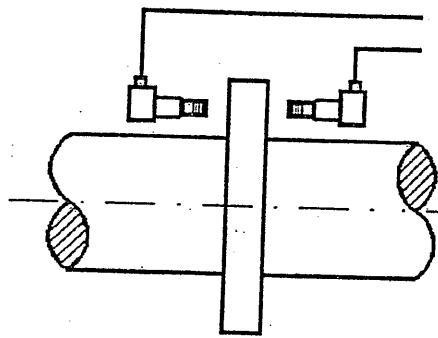
برخی از پیک آپ ها دارای محل اتصال (Connector) ضد آب و ضد روغنند و برخی دارای کابل های تفلونی و در برخی هم برای ممانعت از صدمه دیدن کابل ها دارای پوشش مسلح Armoured Cover اند پیک آپ ها معمولا در سوارخ هایی که در بدنه ماشین یا بدنه برینگ تعبیه شده نصب می شوند ولی در جاهایی که امکان نصب پیک آپ در یا تاقان در نظر گرفته نشده باشد می توان با استفاده از گیره و یا اداپتور مناسب آنها را نصب کرد که دراین صورت باید اداپتورها هر چه کوتاهتر وسنگین ترانتخاب شود تا ارتعاشات انها کاهش یابد.

در بعضی ماشین آلات، سازنده ماشین استفاده از پیک آپ های غیر تماسی را توصیه میکند این گونه ماشین آلات معمولاً دارای رتور نسبتاً سبک پوسته سنگین و سرعت زیادند پیک آپ های غیر تماسی معمولاً نزدیک یا داخل یا تا قان 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 تا قانهای 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 (معمولاً 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 الارم 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 (به خصوص توربین های بخار که ناحیه قرارگیری پیک آپ در نزدیک بخارورودی 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 یا تا قان های محوری قابل تشخیص نباشد و اعداد قرائت شده کاذب باشد و باعث تحریک سیستم های Alarm یا Shut Down دستگاه شود.

که 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 مجور قرائت نشود.

محدود فرکانس این پیک آپ ها از صفر تا 1000Hz است و از آنجا ئیکه دامنه تغییر مکانهای محور در فرکانس های بالا خیلی کوچک می شود محدوده فرکانس عملا با تفکیک پذیری (Resoulution) دامنه که بین 0.05-0.1mil است محدود می شود .

۲- پیک آپ های تماسی Contact Pickup

از این نوع پیک آپ برای اندازه گیری ارتعاشات مطلق یا تاقانها (هوزینگ برینگ ها) استفاده می شود و ارتعاشات هوزینگ برینگ را نسبت به یک نقطه مرجع ثابت (زمین) اندازه گیری میکنند. از مزایای این نوع سنسورها آن است که می توانند مستقیما روی جسم مرتعش قرار گیرند و میزان ارتعاشات را مستقیما 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 که با توجه به اینکه در هر محدوده فرکانس یکی از ان پارامترها دارای اهمیت بیشتری است استفاده از این نوع پیک آپ ها روی دستگاههای بارتورهای سنگین و سبک و به خصوص ماشین

الاتی که مجهز به یاتاقانهای غلتکی (بال رینگ ها) هستند نسبت به پیک آب های غیر تماسی ارجحیت بیشتری دارد به خصوص برای دستگاههای لرزه نگاری پرتابل (قابل حمل) نصب آنها خیلی ساده تر و راحت تر است. با توجه به این که درفرکانس های پایین بحث تنشهای مکانیکی درفرکانس های متوسط بحث خستگی و در فرکانس های بالا نیز بحث نیرومطرح است و این پارامترها با هم متفاوتند پس الزاما سنسورهایی هم که این پارامتر را اندازه گیری می کنند باید دارای ساختمانی متفاوت باشند تا بتواند این پارامترها را اندازه گیری نمایند که به همین دلیل پیک اپ های متعددی طراحی ساخته و مورد استفاده قرار می گیرند .

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

انتخاب پیک آب 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 وجود ندارد.

برای انتخاب پیک آب 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

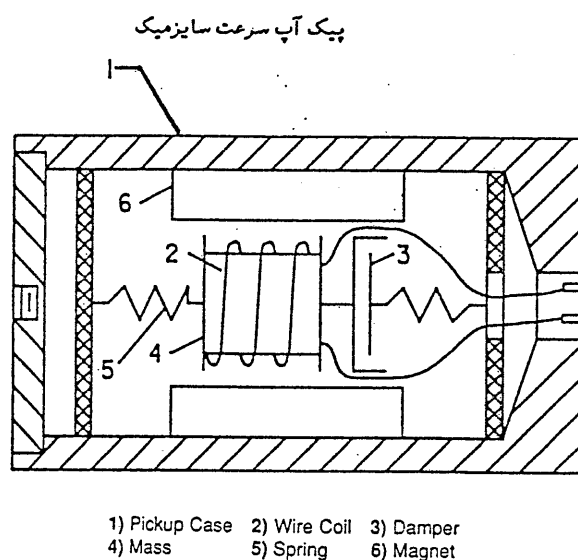
و همچنین مسائلی از قبیل درجه حرارت کارکرد، رطوبت، مشخصات برقی و فاکتورهای محیطی مثل noise که کارخانجات سازنده آنها مشخصات و محدوده کاربرد ایتیم آنها را ارائه می دهند.

پیک آپ های سرعت سنج ارتعاشات

این نوع پیک آپ ها مستقیماً به سرعت ارتعاشات عکس العمل نشان می دهند. بیشتر دستگاههای لرزش سنج دارای امکاناتی هستند که با اجرای عملیاتی که روی سیگنال های الکتریکی (مثل انتگرال گیر یا مشتق گیرها) انجام می دهند بایک پیک آپ 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 آپ 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 آپ متصل گردیده است تشکیل شده است.



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 میآید قطع خطوط میدان مغناطیسی حاصل از آهنربای دائمی توسط سیم پیچ باعث القا

یک ولتاژ در سیم پیچ می شود بدون اینکه 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 تر از فرکانس طبیعی سنسور به طور دقیق مسیر می گردد بعلاوه اینکه تجهیزات عیب یابی مجرب 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 میگیرد. از این نوع پیک آپ برای اندازه گیری ارتعاشات سازه های سبک که پاسخ آنها باتصال پیک آپ های سنگین تغییر میکند استفاده می شود.

مزایای پیک آپ های سرعت سنج :

- ۱- ساختمان مقاوم .
- ۲- حساسیت بالا حتی در فرکانس های پایین .
- ۳- دارا بودن میزان سیگنال خروجی بالا با داشتن مقاومت داخلی پایین .
- 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

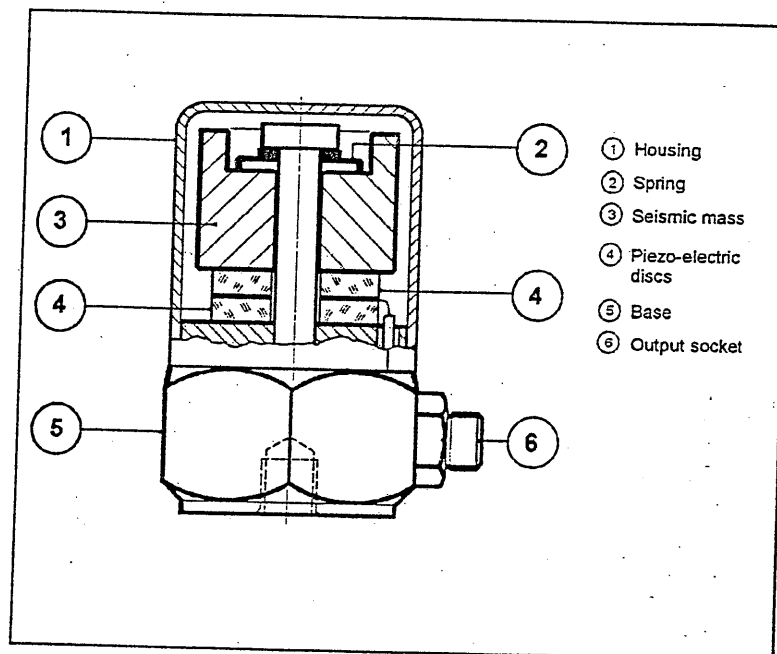
- ۱- فرکانس بالای آنها محدود (تا ۲۰۰۰ HZ) است .
- ۲- نسبت به میدان های مغناطیسی قوی حساسیت دارند.

پیک آپ های شتاب سنج ارتعاشات

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

ساختمان سنسورهای پیزو الکتریک

در این سنسورها دیسکهای سرامیکی پیزو الکتریک توسط یک جرم تماسی بارگذاری اولیه (Preload) می شوند و با این ترکیب دیسکهای سرامیکی پیزو الکتریک نقش فنر رادر سیستم جرم و فنر ایفا می کنند.



مبانی ساختمانی یک سنسور شتاب سنج پیزو الکتریک

اگر این دیسکها در معرض ارتعاش واقع شوند جرم تماسی نیروی متناوبی را روی دیسک ها اعمال میکند که بر اثر وجود خاصیت پیزو الکتریک در دیسکها 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.

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 سنسورهای شتاب سنج

- ۱- ساختمان مقاوم .
- ۲- حساسیت نداشتن به میدان های مغناطیسی .
- ۳- قابلیت استفاده در جهت های مختلف .
- ۴- داشتن ابعاد کوچک .
- ۵- بدنه فولادی زنگ نزن و غیر قابل نفوذ .

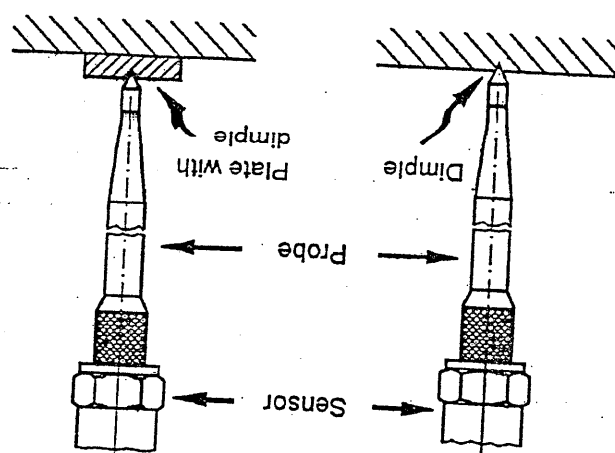
معایب شتاب سنج ها

- ۱- نیاز به منبع تغذیه خارجی برای فعال شدن سنسور
- ۲- درفرکانس های پایین حساسیت آن کم است

روش های نصب پیک اپ ها Pickup Mounting

الف - نگهداری پیک اپ ها به وسیله دست Hand Holder

این روش ساده ترین و سریعترین روش نصب پیک اپ است ولی باید توجه داشت که به علت وجود تشدید در محل تماس بین نوک پیک اپ و سطح نقطه اندزه 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 اپ 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 میکند تا اطمینان حاصل شود که اندازه گیری ها در هر نوبت دقیقاً در یک نقطه انجام می شود.



ضمناً محل قرار گیری پیک اپ ها حتی الامکان باید صاف و تمیز باشد و در هنگام اندازه گیری باید آنقدر فشار روی پیک اپ وارد شود که مانع لرزش پیک اپ یا حرکت آن روی محل اندازه گیری شود و اگر در دست خود احساس لرزش فرکانس بالا می کنید باید فشار بیشتری روی پیک اپ وارد شود.

ب- 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.

ج- نصب پیک آپ توسط پیچ Stud Mounting

از نظر فنی این روش بهترین روش برای نصب سنسور در محل اندازه گیری است. از این روش معمولاً برای اندازه گیری ارتعاشات مطلق یا تاقانها استفاده می شود و محدوده فرکانس قابل استفاده و سبب 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 سوراخکاری و تپ زدن) و همچنین نسبت به روش های قبلی نیز زمان بیشتری جهت نصب پیک آپ مورد نیاز است.

د- 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.

چ- اندازه گیری ارتعاشات به توسط شافت استیک Shaft Sticle

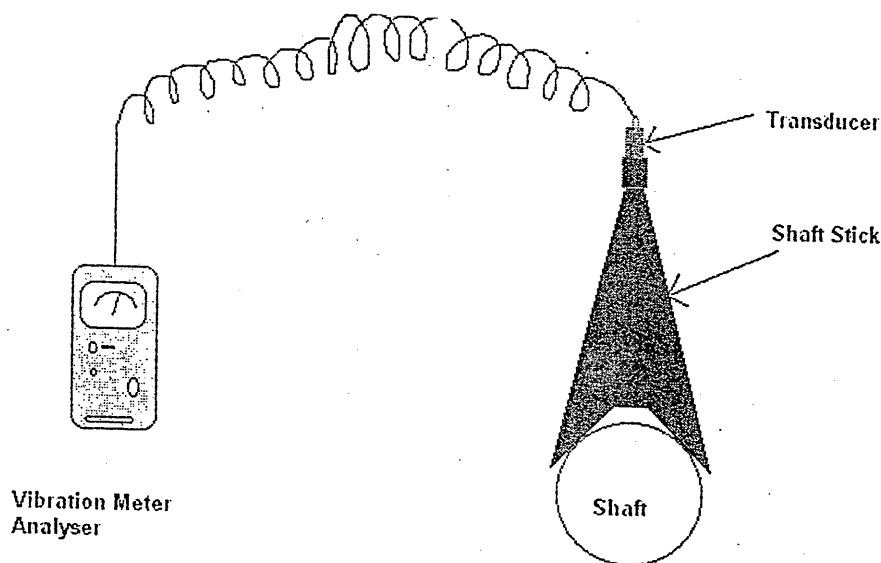
از این روش برای اندازه گیری ارتعاشات نسبی شافت و محفظه برینگ (Housing Bearing) ماشین آلات با دور بالا که ارتعاشات کمی به محفظه های بیرونی منتقل می شود (با توجه به ارتعاشات قابل ملاحظه رتور) استفاده می شود.

شافت استیک 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 مرکزی 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.

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.

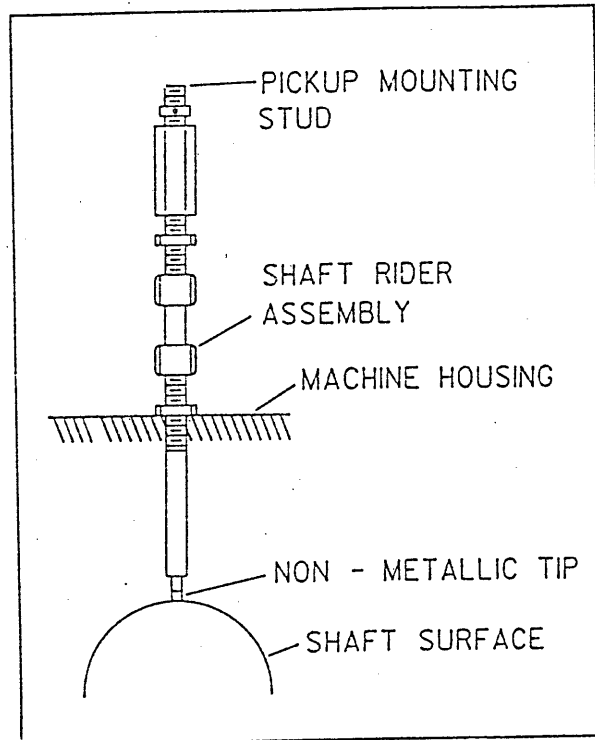


۳- روغنکاری مناسب و متناسب برای کاهش اصطکاک بین نوک پراب و شافت استیکل در دورهای بالا. لازم به توضیح است که از شافت استیکل برای اندازه گیری های پرئودیک و برخی آنالیزها و بالانس کردن در محل (Field Balance) استفاده می شود.

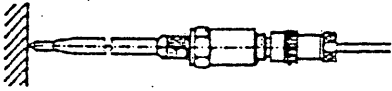
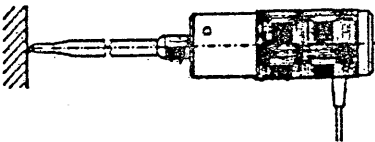
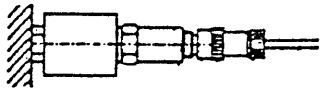
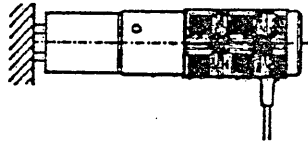
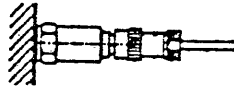
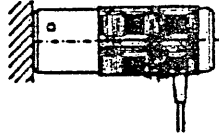
۵- اندازه گیری ارتعاشات توسط Shaft Rider

شافت رایدرها معمولاً روی ماشین آلات دوار بزرگی که رتورهای سنگین دارند برای اندازه گیری ارتعاشات مطلق شافت استفاده می شوند و غالباً برای مونیتور کردن و بالانس کردن ترجیح داده می شود. شافت رایدردارای 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 معمولاً در محفظه برینگ نصب می شود و با استفاده از یک پیک اپ سرعت و یا شتاب، ارتعاشات مطلق شافت را اندازه گیری می کند.

سیستم Shaft Rider



در جدول زیر انواع روش های نصب پیک اپ 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 نگه داری مستقیم با دست نیاز است.	کاربرد سریع تقریباً هیچ نوع تدارکی در نقطه اندازه گیری نیاز نمیشد.	 ۱۰۰۰HZ - ۱ با پروب فولادی AS-020 ۷۰۰HZ - ۱ با پروب آلومینیومی AS-020  ۱۰۰۰HZ - ۱ با پروب فولادی AS-013 ۵۰۰HZ - 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.	 ۲۲۰۰HZ - ۱ با نگه دارنده مغناطیسی AS-020  ۲۰۰۰HZ - 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	 ۲۰۰۰۰HZ - ۱ نصب شده با پیچ AS-020  ۲۰۰۰۰HZ - ۱ نصب شده با پیچ AS-013

مروری بر روشهای مختلف نصب سنسورهای ارتعاشی

پارامترهای لازم برای انتخاب پیک آپ

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

۲- امپدانس داخلی آن کم و حساسیتش بالا باشد

۳- میزان حساسیت کابل آن به Noise کم باشد

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

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

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

انتخاب پارامترهای مختلف ارتعاشات و پیک آپ ها

Machine Description	Parameter	Frequency Range in CPM	Location Transducer	
Steam turbine/large pump compressor with fluid film bearings	Disp.	600-6000	Relative shaft	Non-contact or shaft rider
	Velocity	600-60000	Bearing mounted	Velocity or Accelerometer
Pumps—motor or turbine driven	Velocity	600-60000	Bearing mounted	Velocity or Accelerometer
Electric Motors/fans	Acc. Spike Energy	600-600000*	Bearing mounted	Accelerometer
Fans & blowers, motor driven with rolling element bearings	Velocity	600-60000	Case	Velocity or Accelerometer
	Spike Energy Acc.	600-600000*	Case	Accelerometer
Gearbox with rolling element bearings	Acc. Spike Energy	600-600000*	Case	Accelerometer
Gearbox with fluid film bearings	Disp.	600-6000	Relative shaft	Non-contact
	Acc. Spike Energy	600-600000*	Case	Accelerometer
Special cases				
Very low frequency				
Cooling towers Hydroelectric generators-low speed fans	Disp.	60-60000	Case	Velocity (Piezoelectric)

* Frequency range will be affected by cable length.

تجهیزات آنالیز ارتعاشات

آنالیز ارتعاشات یک پروسس دو مرحله ای است که مرحله اول آن جمع اوری 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 اوری اطلاعات و مشخصه های ارتعاشی است که این وظیفه بر عهده دستگاهها و تجهیزات آنالیز ارتعاشات و اپراتورهای آنهاست.

دستگاههای 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 آنالایزر و ماشین مورد مطالعه است که ذیلا به شرح آنها پرداخته می شود.

۱- لرزش سنج ها Vibration Meter

لرزش سنج ها دستگاههای پرتابل کوچکی هستند که یا باطری 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 باطری 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.

۲- دستگاههای جمع آوری کننده اطلاعات Data Collector

این دستگاهها 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 اوری شده از طریق کابل های مربوط بطوریک جا وارد کامپیوتر می گردند. البته بعضی از این دستگاه ها میتوانند بسیاری از پارامترهای عملیاتی از قبیل فشار درجه حرارت و..... را نیز در خود ثبت کنند.

۳- دستگاه‌های آنالیز ارتعاشات Vibration Analyzers

این دستگاه‌ها برای تست‌های پیشرفته مورد استفاده قرار می‌گیرند و می‌توانند علاوه بر اندازه‌گیری دامنه ارتعاشات پارامترهای دیگری از قبیل فرکانس زاویه فاز و صدا را اندازه‌گیری کنند که کمک بسیار زیادی برای پیدا کردن عیوب احتمالی روی ماشین‌الات به نفعات متخصصی که در این زمینه کار می‌کنند. برای اندازه‌گیری هر کدام از این پارامترها تجهیزات جنبی دیگری نیز مورد نیاز است که از اجزای آنالایزر اند و ذیلاً به شرح آنها پرداخته می‌شود.

سخت افزارهای لازم برای آنالیز ارتعاشات

۱- دامنه سنج Amplitude Meter

دامنه ارتعاشات (جابجائی سرعت و شتاب) را بسته به شرایط کاری دستگاه اندازه‌گیری می‌کنند که با انتخاب Range مناسب روی دستگاه بسته به مقدار ارتعاشات ای به صورت دستی یا اتوماتیک اندازه‌گیری می‌کنند.

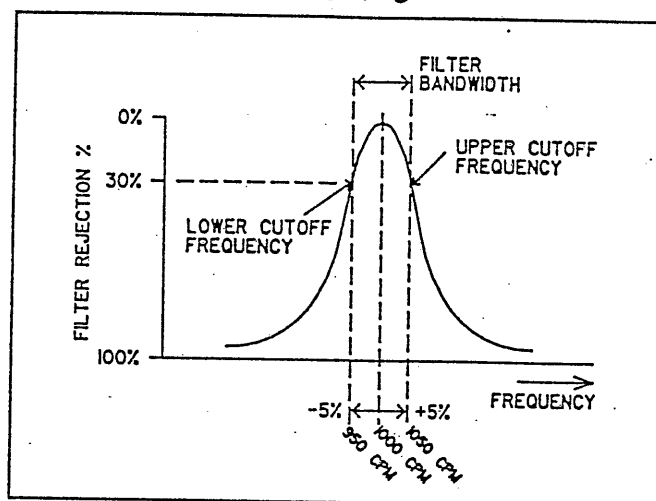
۲- فرکانس سنج Frequency Meter

با توجه به اینکه ارتعاشات دستگاه‌ها در فرکانس‌های متعددی اتفاق می‌افتد و هر باند فرکانسی مربوط به یک اشکال سیستم است وظیفه فرکانس سنج‌ها تجزیه فرکانس‌ها و نشان دادن دامنه ارتعاشات با فرکانس‌های آنها است. فرکانس سنج‌ها می‌تواند فرکانس‌ها را بصورت عددی یا نموداری نشان دهند.

۳- فیلتر آنالایزرها Analyzer Filter

فیلتر آنالایزرها که بخشی از بعضی از دستگاه‌های آنالایزر ارتعاشی اند وظیفه دارند فقط بخشی از ارتعاشات را از خود عبور دهند که فرکانس آنها روی آن محدوده تنظیم شده است. مثلاً اگر دستگاه روی یک باند کوچک فرکانسی تنظیم شود فقط فرکانس‌های درون این باند عبور داده می‌شود و فرکانس‌های خارج از باند حذف می‌گردد مثل دستگاه تنظیم موج (Tuner) رادیو که وقتی روی یک طول موج مشخصی تنظیم می‌شوند فقط صدای ایستگاهی که می‌خواهید آنرا گوش کنید از آن شنیده می‌شود و بقیه ایستگاه‌ها شنیده نمی‌شود.

منحنی خروجی یک نمونه فیلتر



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)

در یک فیلتر با پهنای باند ثابت علی رغم اینکه 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 درصدی 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 آنالیزرها دارای فیلتر های با پهنای باند متفاوتند که برخی به نام Broad و برخی Narrow (باریک) یا sharp معرفی می شوند. فیلترهای Broad معمولاً دارای پهنای ده درصدی و فیلترهای Sharp دارای پهنای پنج درصد تا سه درصد هستند که نوع فیلتر را با انتخاب سوئیچ روی دستگاه میتوان انتخاب کرد.

معمولا فیلتر های 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 است دستگاههای بالانس بطور اتوماتیک ارتعاشات یک برابر دور را فیلتر می کنند (اندازه گیری می کنند) یا برای عیب یابی بر ینگ های غلتگی و یامسائل و مشکلات چرخ دنده ها که ارتعاشات ناشی از آنها در یک رنج محدود است برای تعیین نوع خرابی شامل خرابی کنس داخلی کنس خارجی قفسه و..... استفاده از ارتعاشات فیلتر شده کمک بسیاری خواهد کرد.

در دستگاههایی 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.

۴-اسیلاتورهای داخلی Internal Oscillator

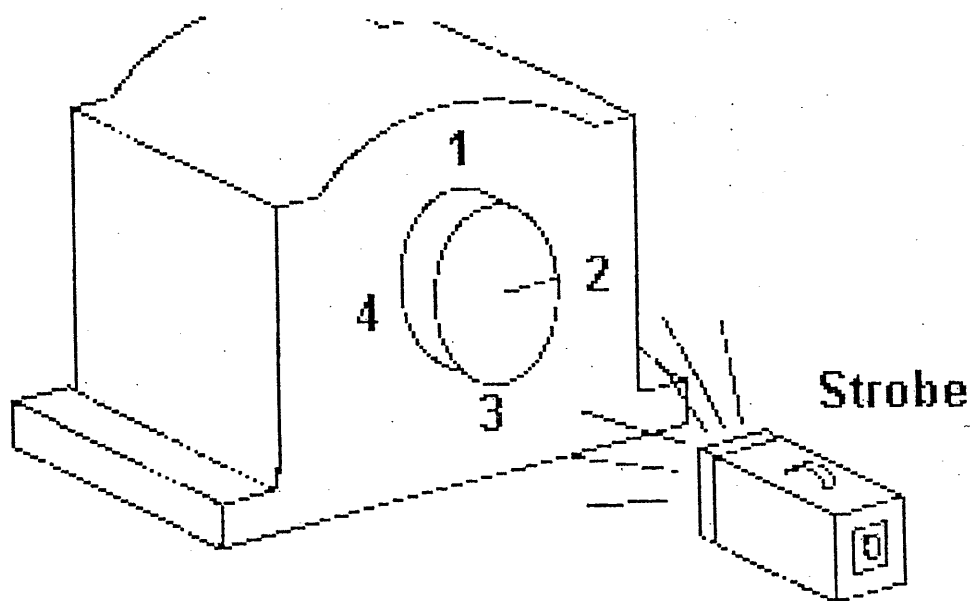
یکی از امکانات مهم بسیاری از آنالایزر ها اسیلاتورها یا نوسان سازهای داخلی است که وظیفه آنها روشن خاموش کردن چراغ استروب (Strobe Light) با فرکانس ثابتی است که توسط پیچ کنترل فرکانس اسیلاتور انتخاب می شود. البته این فرکانس (تعداد روش و خاموش شدن چراغ استروب) مستقل از سیگنال ارتعاشی است و از این امکانات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

۵-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 اسیلاتوری 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 دور یک ماشین و باکم و زیاد کردن

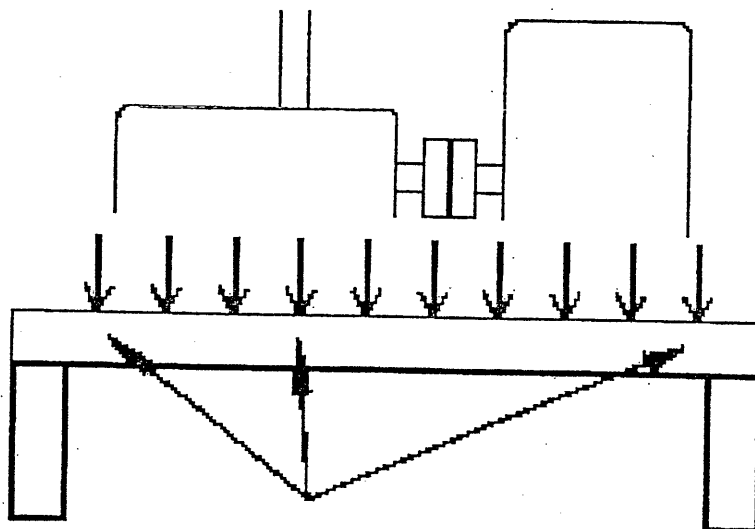
سرعت فلاش زدن بطوری که محور ثابت بنظر برسد عمل می کنند که در این موقعیت دوردستگاه با فرکانس فلاش زدن مساوی بوده و فرکانس فلاش زدن مبین دور ماشین است .

در حالت دیگر می توان چراغ استروب را روی فرکانس ارتعاشات Trigger نمود اگر کلید انتخاب روی یکی از فیلترها (Broad یا Sharp) 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 فازنسبی 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 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 شیب 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.



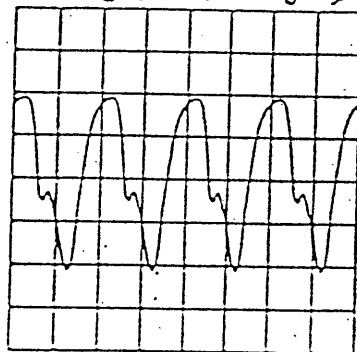
90 80 70 55 45 60 70 80 90

۶-اسیلوسکوپ Oscilloscope

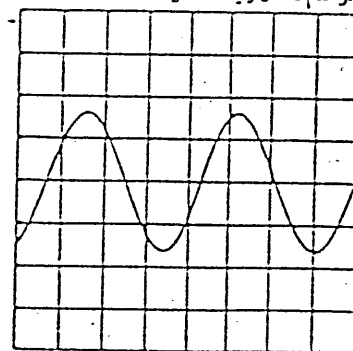
در آنالایزهای کامل، محلی برای اتصال اسیلوسکوپ در نظر گرفته شده است که از این محل اتصال، یک سیگنال Ac که دقیقاً از تبدیل ارتعاشات بدست آمده به اسیلوسکوپ ارسال می شود و در نتیجه می توان موج ارتعاشی را روی اسیلوسکوپ مشاهده کرد. بسیاری از مشکلات ماشین الات از روی موج ارتعاشی آنها قابل شناسایی است.

که در شکل زیر چند نمونه از آنها آورده شده است.

(B) این شکل موج غالباً ناشی از لق است که فرکانس 2x RPM را در شکل موج ایجاد میکند.



(A) این موج سینوسی با فرکانس RPM، ناشی از عدم تعادل یا Misalignment است.



مورد استفاده دیگر اسیلو سکوپ برای اندازه گیری ضربه (Impact) است که باعث ایجاد ارتعاشات گذار 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 گمراه کننده ای را به وجود میاورند بسادگی می توان وجود این خش ها و ناصافی ها را تشخیص داد.

۷- گوشی ها Earphones

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

۸- 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 الات و همچنین برای مطالعه روی الکتروموتورهای برقی برای تفکیک کردن مسائل مکانیکی از الکتریکی که معمولاً در حین Off کردن الکتروموتور قابل تشخیص است مورد استفاده قرار می گیرد.

۹- ثبات های DC (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 میتوان 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 مثلاً 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 شناسایی 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 یاتاقانها (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 غالباً توسط دستگاه های آنالیز اندازه گیری می شوند که ذیلاً به قابلیت های این دستگاه ها پرداخته می شود .

روش اجرایی آنالیز ارتعاشات

۱- تهیه لیست ماشین آلات مهمی که باید در پریودهای مورد نیاز چک شوند .

۲- انتخاب نقاط وجهاتی که اندازه گیری باید انجام شود و مارک کردن آنها روی دستگاه .

۳- تعیین پریودهای اندازه گیری براساس دور و شرایط عملیاتی.

۴- اندازه گیری ارتعاشات در شرایط یکسان در هر زمان در حد امکان .

۵- اندازه گیری ارتعاشات کلی (و در صورت نیاز اسپیک انرژی) .

۶- ثبت نمودن اطلاعات .

۷- بررسی روند تغییرات با پریودهای قبلی .

۸- شناسایی نقاطی که ارتعاشات آنها افزایش داشته و مقایسه 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 بشرح آن پرداخته می شود:

۱- 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 آنالایزر 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 ونحوه تغییرات حاصله مبین وضعیت کاری دستگاه ونحوه عملکرد و بهره برداری از آن است و بیشترین کاربرد و استفاده را در علت های خرابی اعم از اینکه خرابی بصورت تدریجی یا بصورت ناگهانی اتفاق افتاده باشد دارد .

۲- اندازه گیری دامنه نسبت به فرکانس Amplitude Vs Frequency

برای اندازه گیری این کمیت نیاز به دستگاه های آنالایزر ارتعاشات است. که در دستگاه های الکترونیکی جدید به صورت جدول و یا گراف روی مونیتور دستگاهها نمایش داده می شود. این منحنی ها که بصورت دوبعدی اند که محور افقی آن محور فرکانس و محور قائم آن 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 براحتی فرکانس غالب که معمولاً بیشترین دامنه ارتعاشات را دارد شناسائی می گردد. اکثر عیب های روتین با این روش قابل شناسائی است.

۳- اندازه گیری حرکت آهسته ماشین Slow Motion Measurment

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.

۴- 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 بنظر رسد که در این موقعیت سرعت فلاش زدن و دور ماشین یکی خواهد شد. (البته اگر سرعت فلاش زدن روی دورهای هارمونیک (دو برابر یا سه برابر یا)) هم باشد محور ثابت بنظر می رسد که باید دقت لازم را انجام داد.

۵- اندازه گیری شکل موج Wave Form Measurment

برای اندازه گیری شکل موج نیاز به یک دستگاه آنالایزر و یک اسیلو سکوپ (یا ثابت 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 ثابت ها استفاده می شود.

۶- اندازه گیری فرکانس Frequency Measurment

این کمیت هم با استفاده از دستگاه آنالایزر و اسیلوسکوپ و هم از روی منحنی های FFT قابل حصول می باشد و برای کارانالیز ارتعاشات مورد استفاده واقع می شود.

۷- 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.

۹- اندازه گیری وضعیت یا تاقان ها Bearing Condition Measurment

برای تعیین وضعیت یا تاقانهای غلطکی (بال برینگ ها و رولر برینگ ها) که معمولا ارتعاشات با فرکانس های بالا ایجاد می کنند مورد استفاده قرار میگیرد که بسته به نوع و ساختمان دستگاهها پارامترهایی نظیر اسپایک انرژی gse یا شوک های پالسی spm و..... اندازه گیری می شود.

۱۰- استفاده از فیلتر ها Filter

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

در جایی که فیلتر کردن سیگنال میسر نباشد از روش دیگری برای تحلیل کارانالیز 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 غالبا 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 گذرد استفاده می شود. آنالیز زمانی Short Term به طور نوعی زمانی بین ۵۰ تا ۱۰۰ میلی ثانیه را پوشش میدهد. 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 آنها 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.

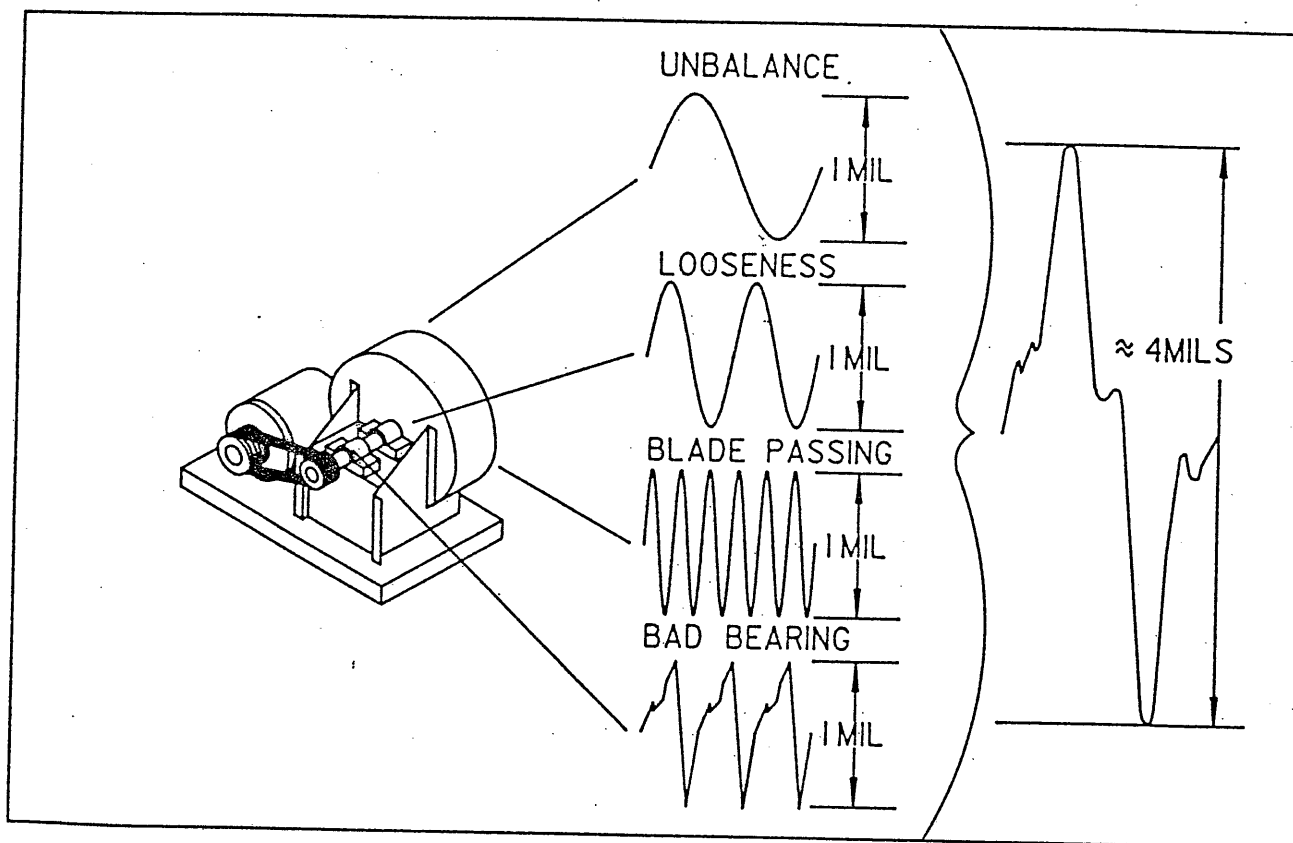
در بیشتر اوقات برای عیب های روتین با در دسترس بودن حتی یکی از تکنیک های فوق امکان تشخیص عیوب وجود دارد ولی برای موارد پیچیده تر و مواردی که عیوب متعددی روی یک دستگاه وجود دارد (به خصوص معایبی که در یک فرکانس مشترک ایجاد می شوند) امکان تشخیص عیوب خیلی مشکل ترمی شود و لازم است از چندین تکنیک برای آنالیز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

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

آنالیز ارتعاشات بر اساس منحنی های FFT

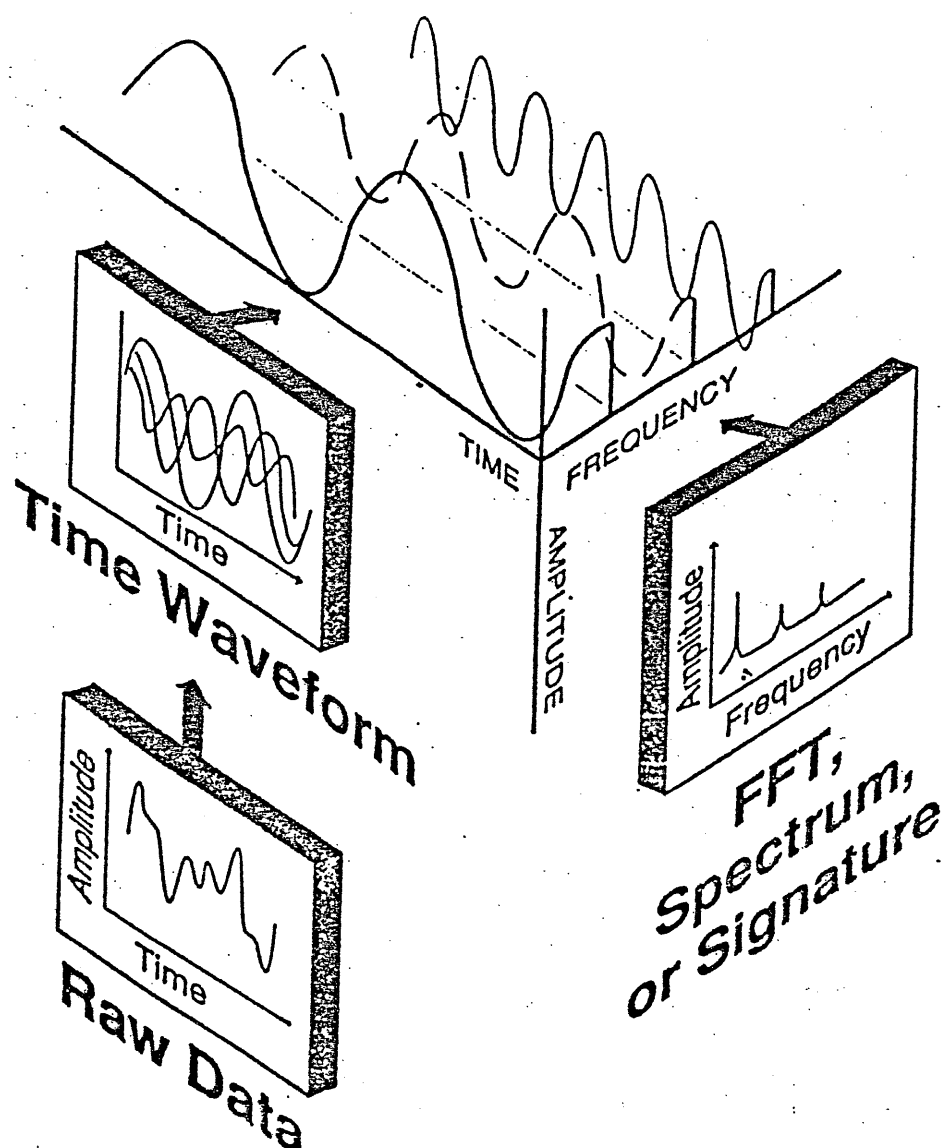
به دلیل ماهیت قطعات به کار رفته در قسمت های مختلف ماشین آلات ارتعاشات آنها در فرکانس های متعددی اتفاق می افتد که این امواج ارتعاشی پیچیده شامل فرکانسهای هارمونیک (مضرب صحیحی از فرکانس پایه یا دور ماشین) و دیگر فرکانس های Random است که گاهی به دلیل پرکنده گی این امواج امکان تفسیر آنها خیلی مشکل می شود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

فرکانسهای مختلف ارتعاشی در یک سیستم



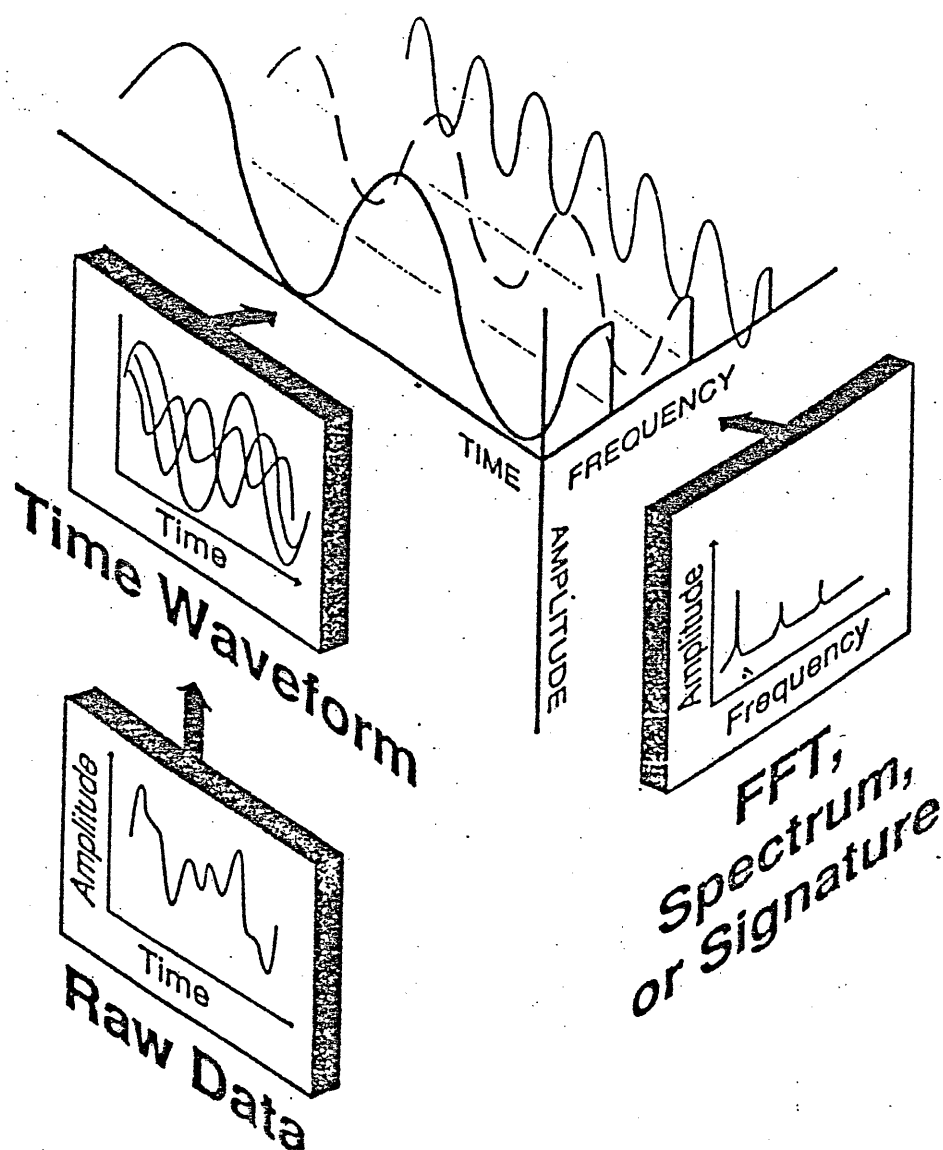
در سال ۱۸۲۲ برای نخستین بار فوریه ریاضی دان فرانسوی تبدیل فوریه سریع (FFT) را بنیان گذاری کرد (Fast Fourier Transformation) و نشان داد که هر موج متناوب ارتعاشی رامی توان به یک سری ارتعاشات هارمونیک بادامنه وفازمستقل تجزیه کرد. که براین اساس از سال ۱۹۶۵ الگوریتم ها و روش

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



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 فرایند فرض می شود سیگنال پیوسته و متناوب است یعنی در طول زمان مرتباً تکرار می شود .

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



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 فرایند فرض می شود سیگنال پیوسته و متناوب است یعنی در طول زمان مرتباً تکرار می شود.

استفاده نمودولی برای ماشین الات 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 بکارگیری 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 الات بصورت جدا از هم (دیسکاپل کردن و لرزه نگاری جدا از هم) در مواقعی که

لرزش هر دو دستگاهی که باهم 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 براساس فرکانس های غالب ارتعاشی.

۱۴- بررسی (لرزه نگاری) اطراف دستگاه از فوندانسیون تاسیستم لوله کشی و نگهدارنده ها و ساپورت ها.

عیوب متداول ماشین الات و شناسائی انها از طریق منحنی های FFT

ارتعاشات ناشی از نابالانسی Unbalance

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

الف- نابالانسی جرمی

ب- نابالانسی هیدرولیکی و ایرودینامیکی

ج- نابالانسی الکتریکی

الف- نابالانسی جرمی (وزنی)

متداول ترین نوع نابالانسی نابالانسی جرمی است که معمولا به دلیل عدم توزیع یکنواخت جرم در اطراف محور دستگاهها 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 شامل :

۱- اشکالاتی که در ریخته گری به وجود می آید مثل پوک بودن و کرم بودن و.....

۲- خارج از مرکزی 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 توالرانس های نصب قطعات روی یکدیگر که باعث Offcenter شدن قطعات روی محور می شود (لقی قطعات روی محور) .

۵- مسائل خوردگی و سایشی در حین کار.

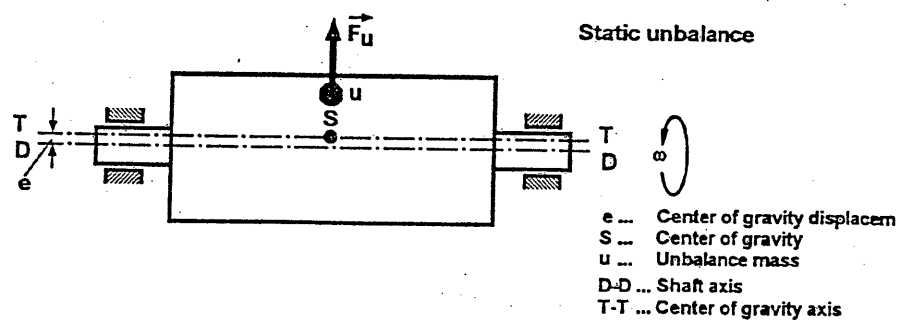
۶- تشکیل رسوبات (Scale) غیر یکنواخت یا کنده شدن رسوباتی که به مرور زمان تشکیل شده است.

انواع نابالانسی جرمی

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

۱- نابالانسی استاتیکی Static Unbalance

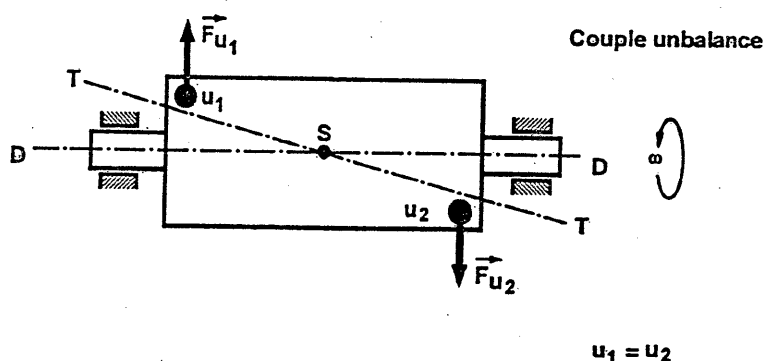
اگر قسمت سنگین طوری قرار گرفته شده باشد که باعث جابجائی موازی محورهای مرکز جرم نسبت به مرکز دوران شود به آن نابالانسی استاتیکی گفته می شود. این نوع نابالانسی معمولاً با اضافه نمودن جرم در یک صفحه قابل تصحیح است. در این نوع نابالانسی زاویه فاز یا تاقان های دوطرف (در یک جهت) با هم یکی هستند (ارتعاشات هم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



۲- نابالانسی کوپله Couple Unbalance

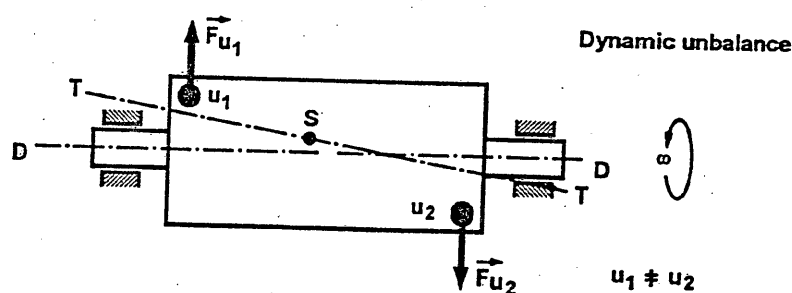
در این نوع نابالانسی نقاط سنگین طوری پراکنده شده اند که در دو صفحه کاملاً مخالف امار شعاع های یکسان قرار دارند که در این حالت محور مرکز جرم رتور نسبت به محور دوران ناموازی بوده و آن را در مرکز رتور قطع می کند. این نوع نابالانسی با اضافه کردن جرم در دو صفحه جداگانه قابل تصحیح است.

در این نوع نابالانسی زاویه فاز یاتاقان های دوطرف (در یک جهت) با هم به اندازه 180° درجه اختلاف زاویه فاز دارند.



۳- 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 حالات هم مرکز جرم نسبت به محور دوران ناموازی است و هم این محورها از مرکز جرم رتور عبور نمی کنند و زاویه دوطرف یاتاقان ها نیز رابطه مستقیمی با هم ندارند



رفتار ارتعاشی یک دستگاه نابالانس عبارتست از:

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 نیز افزایش پیدا می کند.

۳- میزان ارتعاشات درجهت های شعاعی (بخصوص درجهت افقی) بیشتر از جهت محوری است .

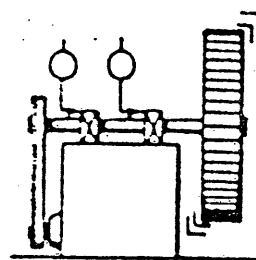
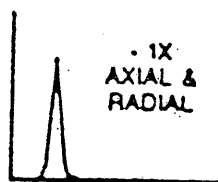
۴- زاویه فاز روی یک یاتاقان نسبت به زمان تغییر نمیکند .

۵- با ۹۰ درجه جابجا شدن پیک اپ (روی یک یاتاقان زاویه فاز هم ۹۰ درجه در همان جهت تغییر میکند .

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 .

OVERHUNG ROTOR UNBALANCE

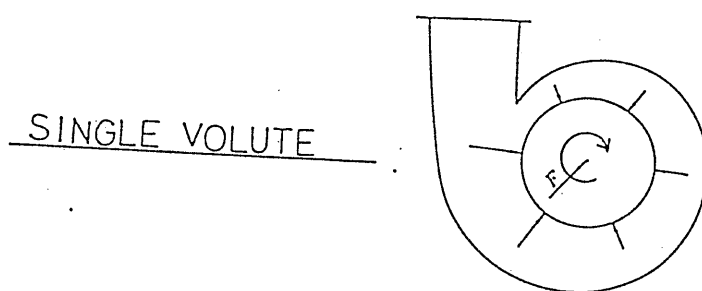


البته به این نکته نیز باید توجه نمود که ارتعاشات در فرکانس یک برابر دور تنها به دلیل نابالانسی جرمی نیست و مسائلی از قبیل خرابی برینگ ها ی بوشی (ژورنال) نام هم محوری (Misalignment) خارج از مرکز ی (Eccentric) خمیدگی محور (Bend Shaft) نیز ارتعاشاتی روی یک برابر دور ایجاد می کنند که برای تشخیص و تمیز دادن آنها از یکدیگر باید از روشهای 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)

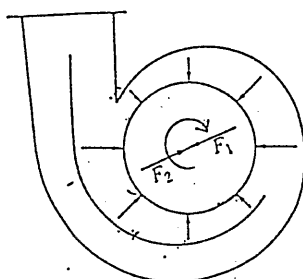
ب- نا بالانسی هیدرولیکی وایرودینامیکی

این نوع نابالانسی معمولاً در پمپ ها و کمپرسورهای گریزاز مرکزی و به دلیل نا متعادل بودن فشار اطراف پروانه و به دلیل شکل خاص ولوت اتفاق می افتد که هر چه به نازل خروجی نزدیک تر می شود سطح مقطع جریان افزایش پیدا میکند و باعث کاهش سرعت و افزایش فشار میگردد (برای تبدیل انرژی جنبشی به انرژی فشاری) جاهائیکه سطح مقطع جریان کاهش پیدا می کند باعث افزایش سرعت و کاهش فشار و در جاهائی که سطح مقطع جریان افزایش پیدا میکند 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 دیگران 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.

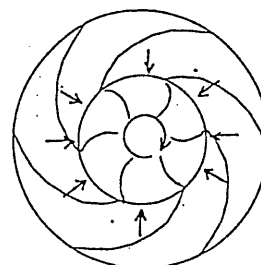


در عمل برای رفع این مشکل از پمپ های با ولوت های دوبله (Double Volute) و برای پمپ های فشار بالا (مثل پمپ های آتش نشانی) از دیفیوزرهای برای تبدیل انرژی جنبشی به انرژی فشاری استفاده می شود که باعث می شود نقاطی که روی یک قطر واقع شده اند فشارهایشان باهم مساوی شوند و نیروهای هیدرولیکی روی پروانه بالانس شوند.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

DOUBLE VOLUTE



DIFFUSER



ج- نابالانسی های الکتریکی

این نوع نابالانسی درموتورهای الکتریکی شایع است که ناشی از عدم تعادل نیروهای مغناطیسی اعمال شده روی رتور (از طریق استاتور) است. که معمولاً به دلیل عدم یکنواختی فاصله (Gap) بین رتور و استاتور در اطراف رتور بوجود می آید. دلایل آن ناشی از چال بندی (قرارگیری) نامناسب رتور در داخل استاتور، خرابی یاتاقان ها و لقی پایه (Soft Foot) است که به دلیل عدم قرارگیری تمامی سطح پایه های موتور روی نشیمن گاه آن روی Base Plate بوجود می آید و در هنگام سفت کردن پیچ های 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 بعضی 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

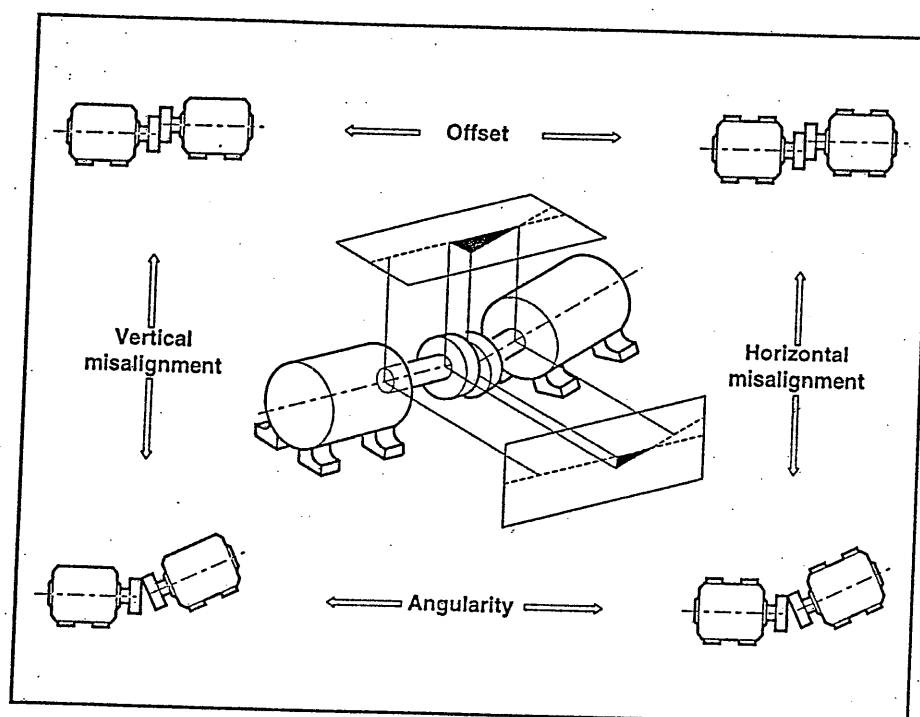
این مشکل یکی از رایج ترین مسائل ومشکلات دستگاه ها وماشین الات است که در هنگام نصب دستگاه ها معمولاً کمتر به آن توجه می شود واکثر سعی وتلاش ها غالباً در جهت خرید دستگاه ها وماشین الات گران قیمت مصروف می شود و به مسائل نصب بخصوص هم محور کردن که با هزینه بسیار ناچیزی قابل انجام است کمتر توجه می شود. ارتعاشات 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 ناهم محوری دارای دونوع است

۱- ناهم محوری (Parallel Misalignment) که در این حالت دوحور باهم موازی اند ولی محورهای تقارن آنها باهم فاصله دارند که به این فاصله Offset گفته می شود

۲- ناهم محوری زاویه ای (Angular Misalignment) که در این حالت محور باهم زاویه می سازند که به آن Angularity گفته می شود.

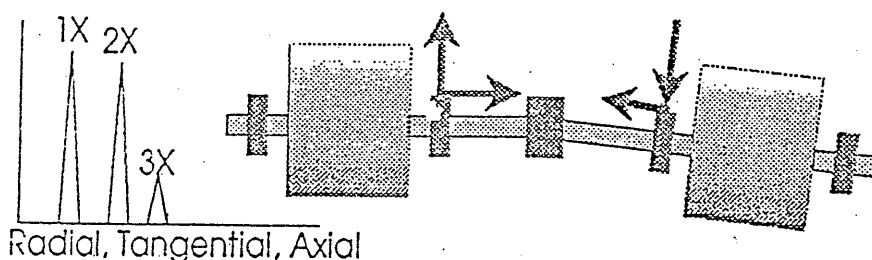
در شکل های زیر کلیه حالت های ناهم محوری در یک صفحه نشان داده شده است:



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 لازمه آن این است که در دو صفحه عمود بر هم افق و قائم در یک امتداد باشند.

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

Angular Misalignment



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 بطرف 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 بار چرخش محور این حرکت دوبار انجام می شود) و هر چه

میزان Angularity بیشتر باشد میزان ارتعاشات محوری افزایش پیدا میکند و هرچه میزان انحراف Offset افزایش پیدا کند ارتعاشات شعاعی افزایش پیدا می کند و بطور کلی درجهات 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 محورهای حرکت (ارتعاشات) محوری کم می شود و کم شدن حرکت محوری که در هر دور دو بار اتفاق می افتد باعث کم شدن ارتعاشات در دو برابر دور می شود (به بیان دیگر فرکانس دو برابر ارتعاشات کمتر می شود) ولی برای ماشین الاتی که دارای محورهای سبکند و امکان حرکت محوری آنها بیشتر است لرزش در فرکانس های یک برابر دور و دو برابر دور اتفاق می افتد و بسته به نوع ناهم محوری و اینکه ناهم محوری زاویه ای باشد یا موازی و در صفحه افق باشد یا در صفحه قائم لرزش درجهات مختلف می تواند کمتر یا بیشتر شود.

انواع ناهم محوری در ماشین الات

ناهم محوری در ماشین الات 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 حالت قبلی است زیرا ممکن است خود هوزینگ برینگ مشکل داشته باشد یا بدنه دستگاه که هوزینگ برینگ روی آن نصب می شود.

۳- ناهم محوری Spacer نسبت به کوپلینگ ها به دلیل لق بودن آنها موجب Off center قرار گرفتن Spacer می شوند که گاهی نیاز است پس از انجام هم محوری به 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 معمولا باعث ایجاد لرزش و بوجود آوردن ارتعاشات روی دو برابر دور می شوند.

رفتار ارتعاشی Misalignment ماشین الات روی منحنی های FFT

۱- 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 نا هم 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 میکند (پایدار نیست) .

۵- ارتعاشات هر دو دستگاه (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.

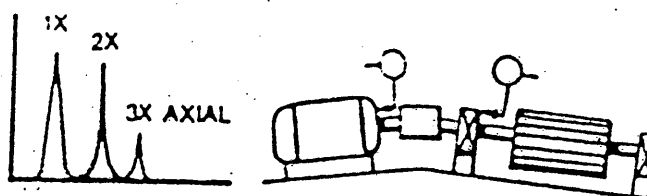
رفتار ارتعاشی انواع ناهم محوری

الف- 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 ۱۸۰ درجه اختلاف دارند و ارتعاشات آنها روی یک و دو برابر دور و گاهی روی سه برابر دور اتفاق می افتد .

MISALIGNMENT

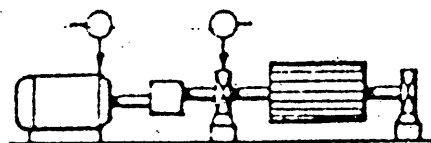
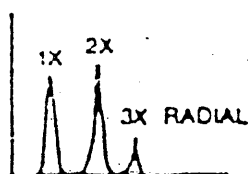
A. ANGULAR MISALIGNMENT



ب- 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 دوبرابر 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.

PARALLEL MISALIGNMENT

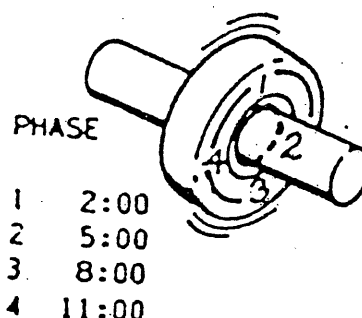
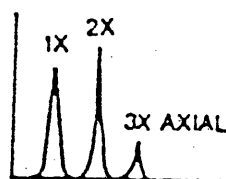


البته در بیشتر اوقات ناهم محوری ترکیبی از دو حالت فوق دارد و نکته حائز اهمیت این است که غالباً در جاهایی که ناهم محوری وجود دارد میزان ارتعاشات هر دو دستگاه Driver, Driven بالایی رود و باعث افزایش ارتعاشات هر دو دستگاه می شود که معمولاً در اینگونه موارد با جدا کردن کوپلینگ ها (Discouple کردن) و راه اندازی ولرزه 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 را نالیزر انجام داد.

ج- ناهم محوری بال برینگ ها روی محور Misaligned Bearing

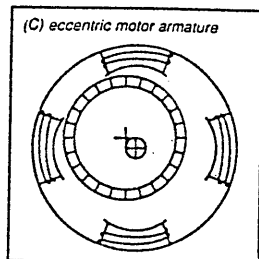
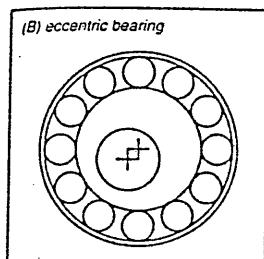
قطعاتی هم که روی محور نصب می شوند مثل بال برینگ ها کوپلینگ ها و به خصوص هوزینگ برینگ ها و..... نیز باید با محورها اصلی هم محور باشند در غیر این صورت حتی با هم محور بودن کوپلینگ ها باز هم نشانه های ارتعاشات ناهم محوری وجود دارد که البته در چنین مواردی ارتعاشاتی که ایجاد می شود ممکن است فقط روی یک طرف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

MISALIGNED BEARING COCKED ON SHAFT

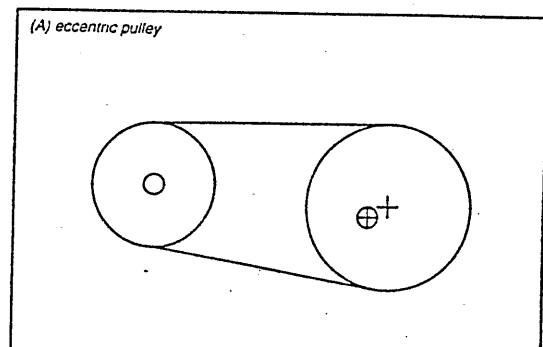
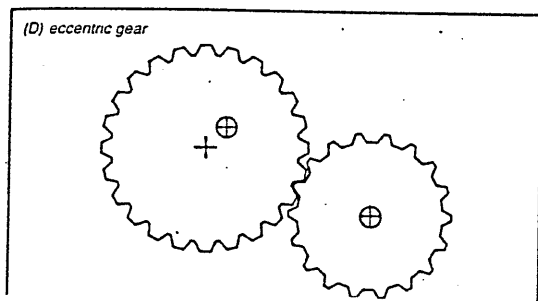


ارتعاشات ناشی از خارج از مرکزی Eccentricity

خارج از مرکزی وقتی بوجود می آید که محور دوران و محور هندسی رتورروی یک خط قرار نداشته باشند و معمولاً روی چرخ تسمه ها، چرخ زنجیرها، ارمیچر الکتروموتورها، 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 باهم 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 دیگری می شود.



مثالهایی از Eccentricity: (A) پولی eccentric؛ (B) بیرینگ eccentric؛ (C) آرمیچر eccentric؛ (D) چرخ دنده eccentric.

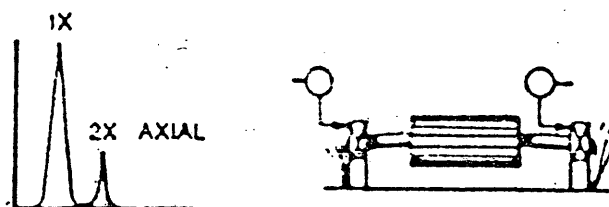


البته خارج از مرکزی محور یا قطعاتی هم که روی محور نصب می شوند باعث ایجاد ارتعاشات می شود که ارتعاشات ناشی از آن غالباً روی دو برابر دور ماشین اتفاق می افتد که قبلاً راجع به آنها بحث شده است.

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 دو برابر دور نزدیک کاپلینگ و ارتعاشات در جهت محوری همراه با اختلاف فاز ۱۸۰ درجه ای روی قطعات همان دستگاه (در یک جهت) می شود.

BENT SHAFT



ارتعاشات ناشی از بیرینگ های بوشی Sleeve Bearing

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

۱- لقی بیش از حد (Clearance) بین محور و یاتاقان.

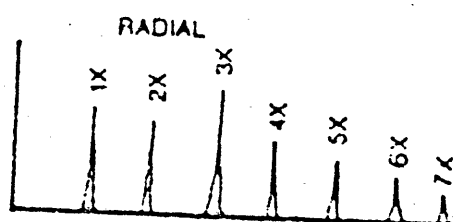
۲- آزاد بودن بیرینگ (قطر خارجی) در داخل هوزینگ بیرینگ (Back Press).

۳- نارسائی های سیستم روغنکاری و روغن.

ارتعاشات ناشی از زیاد بودن Clearance که در اثر سایش یا عدم روانکاری بوجود می آید با وجود نابالانسی یاناهم محوری تشدید می شود و علت اصلی ارتعاشات تنه‌ابه دلیل بالا بودن کلرنس نیست بلکه مسائل جنبی (ناهم محوری و نابالانسی) نیز باعث تشدید آن می شود. 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.

SLEEVE BEARINGS

WEAR / CLEARANCE PROBLEMS



یکی دیگر از مسائلی که باعث لرزش و ارتعاش در این نوع یاتاقانها 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 حاصله از آن مثل حالت Rubbing است که در بخش های بعدی بیشتر راجع به آن بحث خواهد شد.

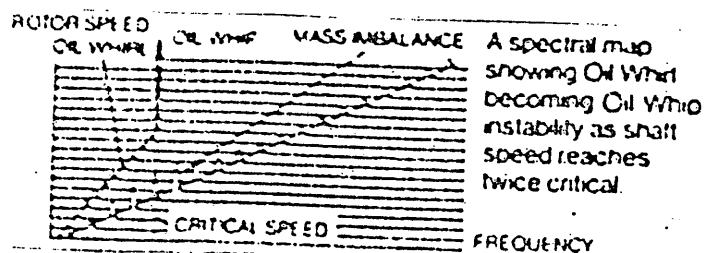
یکی دیگر از مسائلی که باعث ایجاد لرزش در این نوع یاتاقان هائی می شود کمتر بودن قطر خارجی یا تاقان نسبت به قطر داخلی هوزینگ برینگ که باعث آزاد شدن یاتاقان در محل قرار گیری اش در داخل هوزینگ برینگ می شود. اگر یا تاقان در داخل هوزینگ لق باشد (Mechanical Looseness) در حین چرخش محور باعث حرکت آن می شود که 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 بریتنگ وزیر 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 غلتکی و همراه آن صدائی شبیه جیغ زدن (Squealing) به وجود می آید.

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.

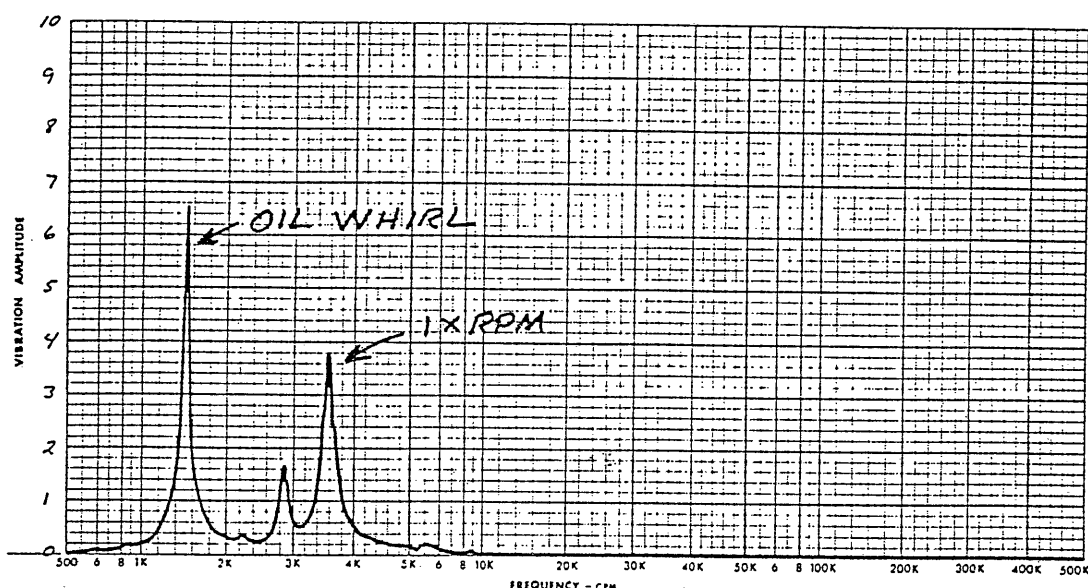
OIL WHIP INSTABILITY

Hewlett Packard Applications
Note 243-1 Fig 4-3-2 Page 30

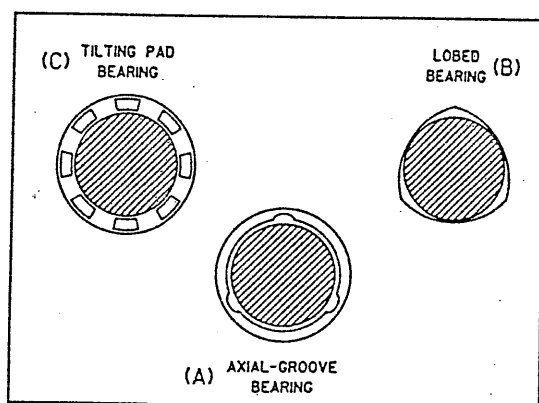


ارتعاشات ناشی از چرخش روغن Oil Whirl

اگر سرعت چرخش محور در داخل ژورنال برینگ ها از مقدار مشخص بالاتر رود به دلیل اصطکاکی که بین روغن و یا تا قان 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 گاهاً ارتعاشاتی را باعث می گردد که می تواند خیلی خطرناک باشد معمولاً فرکانس این نوع ارتعاشات زیر دورکاری ماشین ۴۸-۴۶٪ RPM 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 کمپروسورهای گریز از مرکز با دور بالا از برینگ های نوع Titling Pad که داخل آنها دارای شیارهای محوری (برای ایجاد مقاومت در مقابل 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.



سه نوع برینگ اسلیر که احتمال بروز چرخش روغن را کاهش می دهند:
 (A) برینگ با شیار محوری (Axial-groove)
 (B) برینگ lobed
 (C) برینگ Tilting pad

چرخش روغن گاها 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 و 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 ایرودینامیکی

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

۱- عکس العمل نیروی سیال روی پروانه

۲- کاویتاسیون

۳- جریان های توربولانسی و چرخشی

که ذیلاً به شرح آنها و رفتار ارتعاشی انهامی پردازیم .

۱- ارتعاشات ناشی از پروانه ها Vane&Blade Pass Frequency

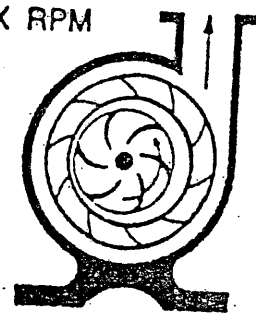
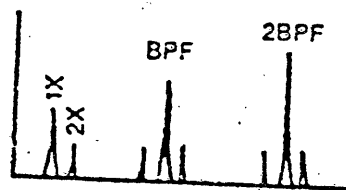
یکی از مواردی که در رابطه با پمپ ها و کمپرسورهای گریزازمرکز حائز اهمیت است نیروهای عکس العمل سیال روی پروانه (Impeller) است. تیغه های (Vane) روی پروانه قرار گرفته اند و با استفاده از نیروی گریزازمرکز سیال نیرو وارد می کنند و باعث بیرون راندن مایع از پروانه به طرف محفظه داخلی پمپ (Casing) می شوند که عکس 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 ارتعاشاتی ایجاد می کند که فرکانس آن برابر تعداد Vane تعداد $\times \text{RPM}$ است که به این فرکانس Vane Pass Frequency گفته می شود به عبارت دیگر اگر پروانه دارای پنج Vane باشد و دور محور 3000 RPM باشد ارتعاشاتی با فرکانس 15000 CPM ایجاد خواهد شد .

این نوع ارتعاش برای پمپ ها (به خصوص) و کمپرسور های گریزازمرکز 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 ازان خارج می شود (از طرف ولوت به طرف نازل خروجی)

HYDRAULIC AND AERODYNAMIC FORCES

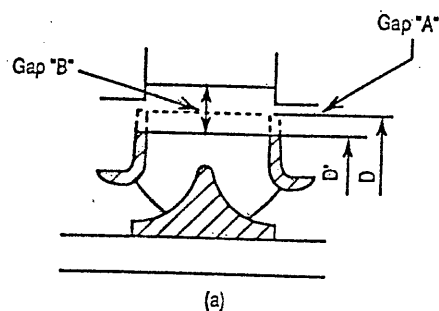
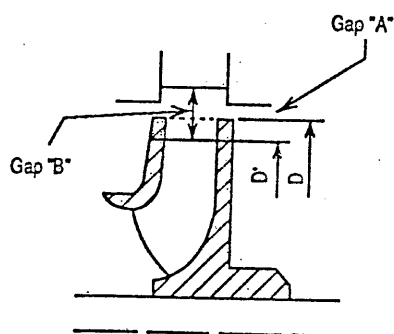
BLADE PASS & VANE PASS

$$BPF = \# \text{ Blades} \times RPM$$



BPF = BLADE OR VANE PASS FREQ

از لحاظ آیرودینامیکی شکل مناسبی نداشته باشد (به شکل گرده ماهی) و یا اینکه فاصله آن تا پروانه در حد مناسب و مطلوبی نباشد باعث ایجاد توربولانس در این ناحیه و افزایش ضربات و نیروها و تشدید ارتعاشات میگردد. 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 بود 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 کلرنس های Wearing Ring 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 بامرکزولوت 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.



۲- ارتعاشات ناشی از کاویتاسیون Cavitation

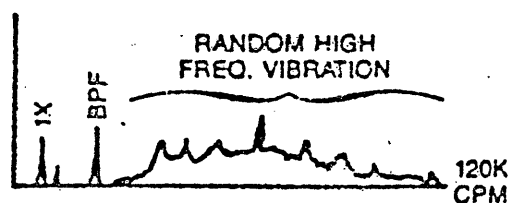
این پدیده بیشتر در پمپ های گریز از مرکز اتفاق می افتد. در اثر تشکیل حباب هادر قسمت ورودی پمپ ها و ترکیدن آنها در قسمت فشار بالای پمپ های گریز از مرکز که باعث لرزش سرو صدا و کاهش بازدهی و خوردگی های نوع Pitting در قسمت بدنه پمپ و پروانه ان می شود که به این کاویتاسیون گفته می شود که ارتعاشات ناشی از ان معمولا در یک باندهای فرکانسی بالا و بصورت Random اتفاق می افتد و در اغلب اوقات همراه با فرکانس های پروانه ها (Blade Pass Frequency) و هارمونیک های ان 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 لوله ها و که باعث تبخیر مایع در این ناحیه می شود و شرایط را برای تبخیر و تشکیل حباب زیاد می کند.

۲- کار کردن 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 فلوو زیاد شدن سرعت مایع در قسمت ورودی پمپ و نهایتاً کاهش فشار آن می شود.

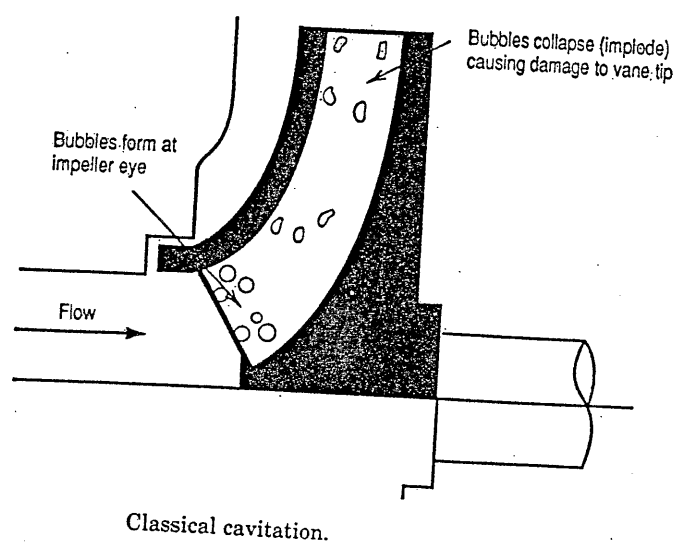
CAVITATION



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).



۳- 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 ارتعاش است. جریان های چرخشی معمولاً در سه ناحیه می تواند اتفاق بیفتد:

الف- قبل از وارد شدن مایع داخل پروانه و یا در چشمه ورودی پمپ که معمولاً بانصب Division (جوش دادن یک تیغه) در جهت محوری درنازل ورودی پمپ ها قابل کنترل است.

ب- روی لبه تیغه ها (Vane Tips) که با ایجاد فرم و شکل ایرودینامیکی 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 هانیز 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.

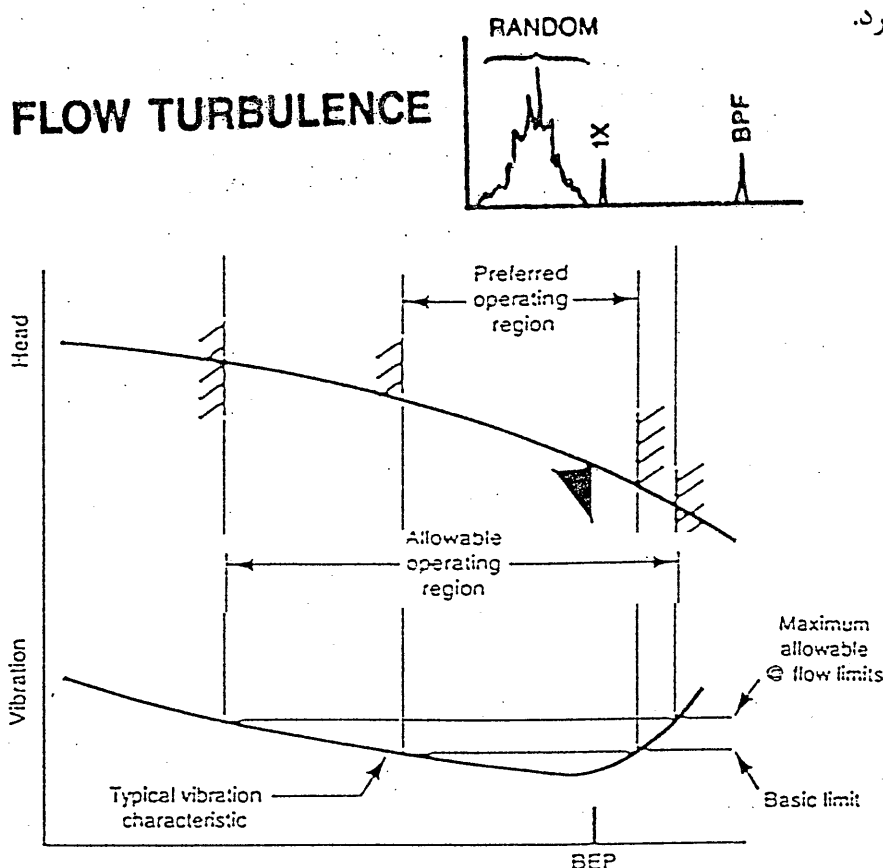
Recirculation در اطراف پروانه در اثر عوامل زیر به وجود می آید:

۱- کار کردن 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 ها دارای 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 میگردد 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 رادارد.

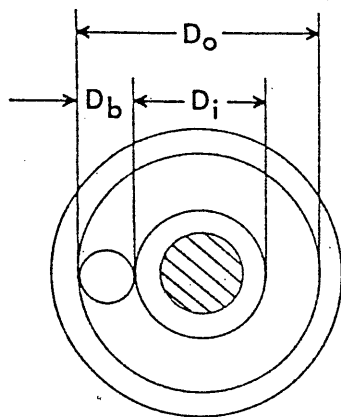


ارتعاشات ناشی از خرابی برینگ های غلطکی (بال برینگ ها)

ارتعاشات این یا تاقان هامنهای مسائل روغنکاری معمولاً به دلیل عیوبی است که روی سطوح کنس های داخلی و خارجی بال هاو غلتک ها و همچنین قفسه (Cage) به وجود آید. یک یاتاقان خراب می تواند چندین فرکانس ارتعاشی داشته باشد که برخی از این فرکانس ها مرتبط با شکل هندسی یاتاقان و برخی دیگر بصورت اتفاقی Random و در فرکانس های بالا رخ می دهد.

فرکانسهای ارتعاشی یک برینگ خراب عبارتست از :

- ۱- فرکانس قفسه (Cage یا Retiaer)
- ۲- فرکانس گذردور غلتک ها (Roller و Ball)
- ۳- فرکانس گذر غلتک ها روی کنس داخلی
- ۴- فرکانس گذر غلتک ها روی کنس خارجی



Note: Shaft turning, Outer race fixed

Defect of Cage or Ball: $F_{(cage)} = \frac{D_i}{D_i + D_o} \times \text{RPM}$

Defect of Ball: $F_{(ball)} = \frac{D_o}{D_o} \times \frac{D_i}{D_i + D_o} \times \text{RPM}$

Defect of Inner Race: $F_{(inner)} = \frac{D_o}{D_i + D_o} \times M \times \text{RPM}$

Defect of Outer Race: $F_{(outer)} = \frac{D_i}{D_i + D_o} \times M \times \text{RPM}$

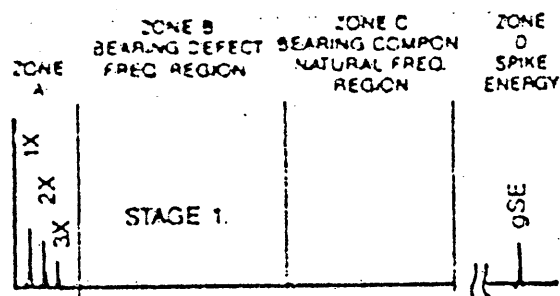
Where D_i = Diameter of inner race
 D_o = Diameter of outer race
 D_b = Diameter of ball
 M = Number of balls in bearing
 RPM = Shaft RPM
 F = Frequency in CPM of the defect

این فرکانس دورانی با توجه به ابعادهندسی بیرینگ قابل محاسبه است. البته فرکانس های دورانی محاسبه شده به دلیل سرخوردن 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 میکنند که از این مطلب برای مطالعه و علت خرابی یاتاقانها استفاده می شود.

ROLLING ELEMENT BEARINGS (4 Failure Phases)

f_n = Natural Frequencies of Installed Bearing Components



BEARING DEFECT FREQUENCIES

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

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

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

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

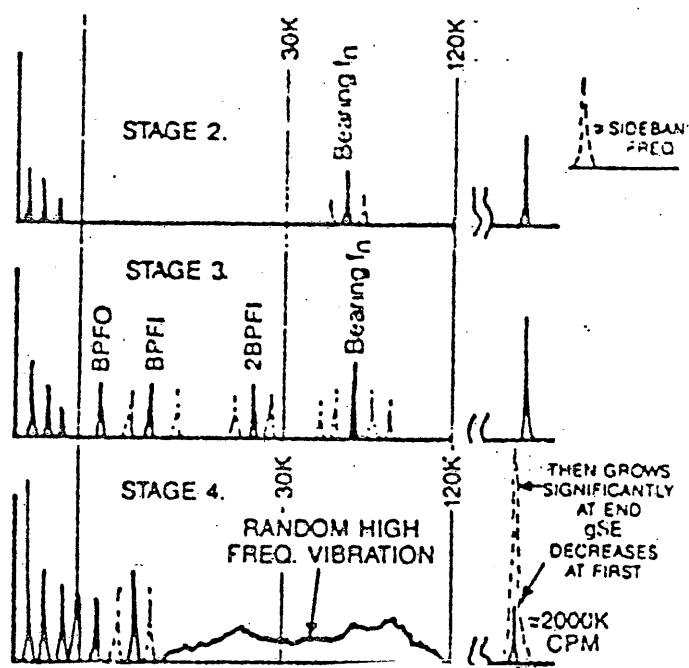
Where:

N_b = Number of Balls or Rollers

B_d = Ball/Roller Diameter (in or mm)

P_d = Bearing Pitch Diameter (in or mm)

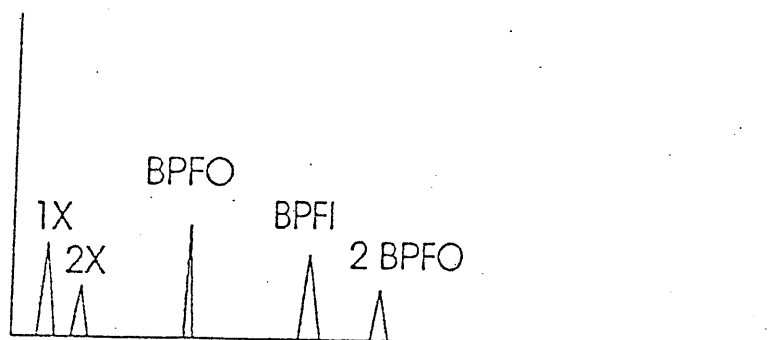
θ = Contact Angle (degrees)



البته باید به خاطر داشت که این فرمول ها تقریبی بوده و فرکانس های واقعی گذر غلطک می تواند بسته به شکل 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 پی به علل خرابی این نوع یاتاقان ها برد که ذیلا به ان 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.

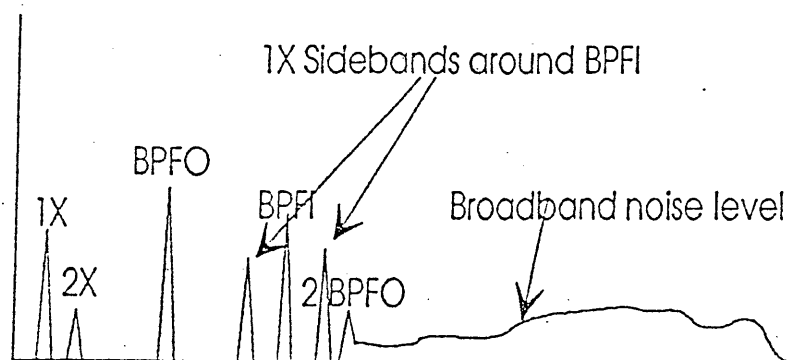


۲- اگر فرکانس غالب ارتعاشی اندازه گیری شده از طیف های ارتعاشی مربوط به غلطک ها باشد احتمالا خرابی می تواند ناشی از روغنکاری ناقص، داغ کردن و یا وجود جریانات الکتریکی باشد که از برینگ عبور میکنند و.....



طیف ارتعاشی يك برینگ با تعدادي المان معيوب

۳- اگر فرکانس غالب ارتعاشی اندازه گیری شده روی طیف های ارتعاشی مربوط به کنس خارجی بال برینگ باشد احتمالا 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 را نیز باعث شود و متعاقبا شاهد افزایش تعداد فرکانسها و عریض شدن پهنای باند فرکانسها گردد که این اجزا فرکانسی میتوانند توسط نیروهای نابالانسی در دور شافت و یا نیروهای دیگر مدوله شده و تعداد فرکانسهای بیشتر مجموع و اختلاف (Sum-and-Difference Frecuenci) را به وجود آورند.

برای مثال فرض کنید ماشینی در دور RPM ۲۴۰۰ 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 CPM (2400+2300=24700) و فرکانس اختلاف بین این دو نیز CPM 22300-2400=19900 وجود خواهد داشت. اثر مدوله شدن تا وقتی که اسپکترام فرکانس به صورت یک سری اجزاء فرکانسی که پهنای باند نسبتا وسیعی را ایجاد میکنند در بیاید ادامه پیدا خواهد کرد.

تعیین وضعیت یا تاقانهای غلطکی Bearing Condition

یاتاقان های غلطکی یاتاقان هائی هستند که دارای طول عمر محدود و مشخص می باشند و معمولا 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. عیوب در یاتاقانهای 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 روغنکاری 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 و 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 یاتاقانها 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 کمپاتی سازنده دستگاه های آنالیز ارتعاشی تحت یک کمیت مخصوص به خود آنرا ارزیابی می کند. میزان ارتعاشات یک بیرینگ سالم نسبت به سایر قسمتهای ماشین آلات بسیار کمتر است. در مراحل اولیه پیدایش عیب در بیرینگ ارتعاشات هنوز هم ممکن است انقدر 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 مونیتور 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 فرکانسهای 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 ماند. برای اندازه گیری وضعیت یاتاقان ها باید تا حد ممکن اندازه گیری به محل یاتاقان نزدیک باشد و ترجیحاً روی حلقه کنس بیرونی یاتاقان انجام شود.

کمیتی است که کارخانه IRD برای تعیین موقعیت یاتاقانهای 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 بیرینگ های غلطکی و چرخ دنده ها.

ب- تماس فلز با فلز (Rub&Impact).

ج- نشت بخار و یا هوای فشار بالا.

د- کاویتا سیون (Cavitation).

اگر چه اسپایک انرژی اساساً اندازه گیری شتاب ارتعاشات است ولی سیستم مخصوص الکترونیکی که سیگنال ارتعاشی را پروسه میکند 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 بر حسب g-SE که واحد شتاب است بیان می شود (دستگاههای آنالیز ارتعاشات IRD این کمیت را اندازه گیری نشان میدهند) .

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

تنها منبع ارتعاشی که میتواند 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 فرکانسهای ارتعاشی زیر 5000 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 بیرینگها و چرخ دنده ها و ارتعاشات رانندگی است طراحی شده است.

نحوه اندازه گیری اسپایک انرژی

روی ماشین الاتی 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 گیریها با خراب شدن بیرینگ به دست آید تا از روی اندازه گیری میزان اسپایک انرژی بتوان وضعیت سلامت بیرینگ را مشخص نمود.

مثلاً 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 هیچگونه 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 سریعتر تحت تاثیر نیروهای ارتعاشی قرار می گیرد اندازه گیری شتاب انتخاب خوبی است ولی برای ماشین آلات دور پایین در جاهائیکه حرکات نسبی عملکرد ماشین را تحت تاثیر قرار می دهد جابجائی به عنوان پارامتر پشتیبانی کننده انرژی اسپایک مناسب تر خواهد بود.

جداول زیرمیزان ارتعاشات را نسبت به پارامتر اندازه گیری و وضعیت ماشین نمایش می دهد.

	VIBRATION LEVELS			
	Disp	Vel	Accel	SE
MACHINE CONDITION				
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 Analyze/Shutdown	OK	HIGH	HIGH	HIGH
Machine Problems Analyze/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 اپ یکی از مهم ترین آنهاست.

نصب با پیچ (Stud) و یا اتصال به وسیله چسب های قوی مناسبترین روش نصب است امتیاز این روش در آنست که بهترین راه برای انتقال ارتعاشات کم یا فرکانسهای بالا به پیک اپ است اگر چه این روش برای اندازه گیری های پر یودیک روش مناسبی نیست زیرا اتصال پیک اپ 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 دقیقا در محل اندازه گیری قبلی نصب شود تا اندازه گیریها 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 آب در اندازه گیریهای 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.

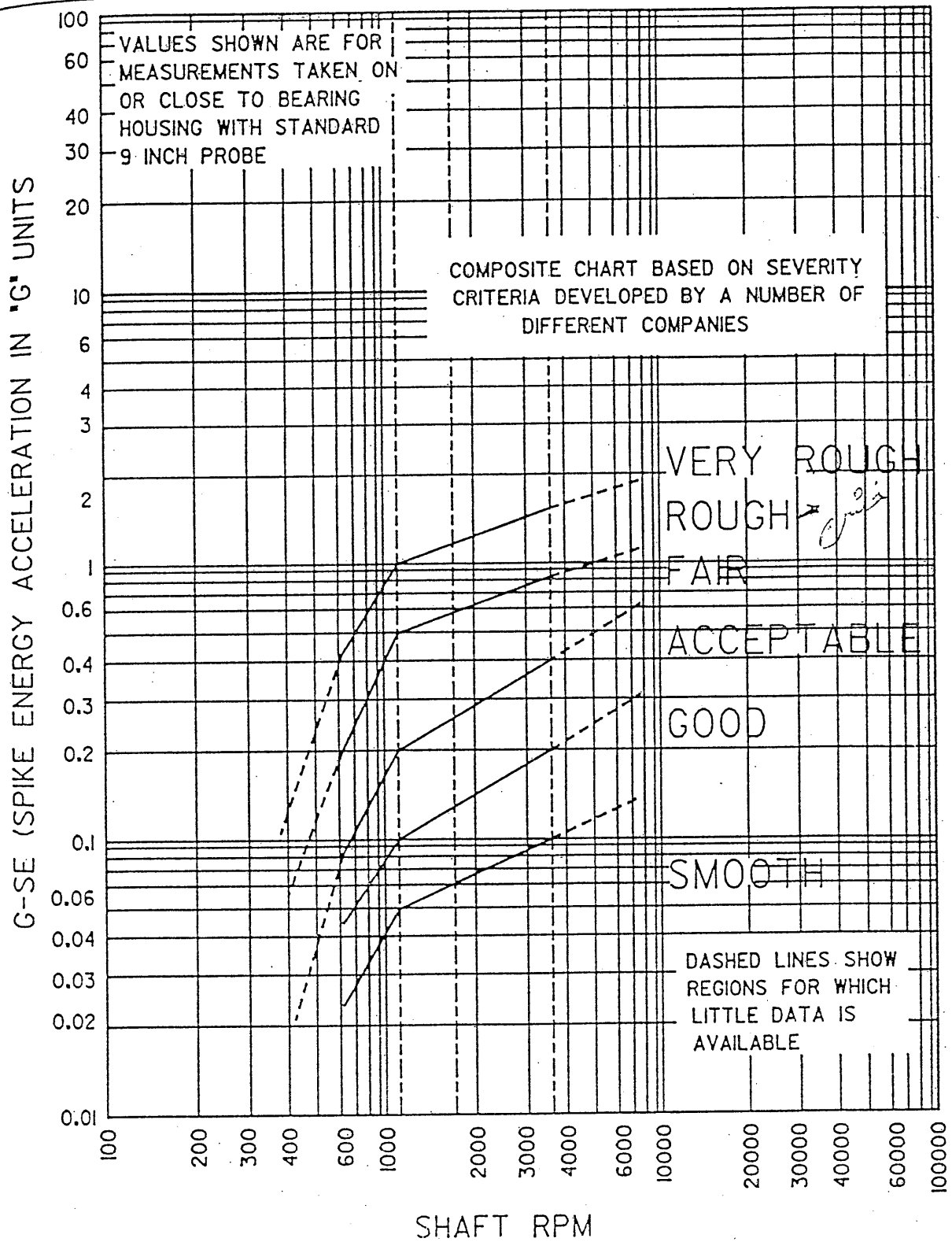
سطح محل اندازه گیری باید تمیز و صاف باشد موادی چون گریس و زنگ زیر پیک آپ شتاب سنج مثل یک فنر و عایق عمل میکنند و در نتیجه باعث کاهش فرکانس های طبیعی آن و کاهش دامنه اسپایک انرژی فرکانس بالا می گردند همچنین محور پیک آپ بایستی بر سطح تماس کاملا عمود باشد. هنگام اندازه گیری بهتر است روی سطح تماس پیک آپ 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 مقدار انرژی اسپایک

اگرچه چندین فاکتور مختلف وجود دارد که می تواند در 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 روشهای مقایسه (Comparsion) و تغییرات با زمان Trend است تا تکیه به مقادیر مطلق در چارتهای شدت اسپایک انرژی.

مقادیر مطلق در چارتهای 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 چارتهای را که شرکت IRD برای ماشین آلات خود برای تعیین شدت مقادیر مطلق انرژی اسپایک تهیه کرده اند نشان میدهد 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 بیرینگهای 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 میگیرند. معیار دیگر برای تعیین معیار قضاوت روش Trending است که در این روش مقادیر اسپایک انرژی یک ماشین مشخص بطور پریودیک اندازه گیری می شود اگر هیچ تغییر قابل ملاحظه ای در طول یک زمان طولانی ایجاد نشود مثلاً ۳ تا ۶ ماه این بیانگر آنست که بیرینگها در شرایط خوبی هستند بنابراین میزان اسپایک انرژی اندازه گیری شده معیار مناسبی در مورد سالم بودن یا نبودن بیرینگهای ماشین خواهد بود.



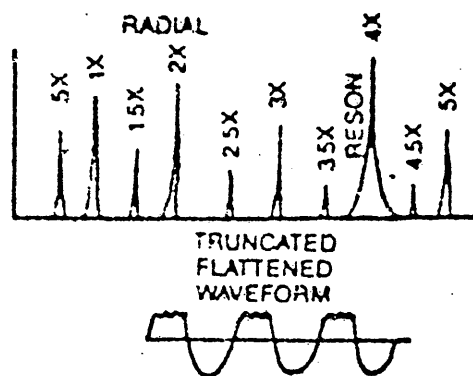
ارتعاشات ناشی از تماس Rubbing

تماس قسمت‌های دوار و ثابت ماشین می‌تواند باعث ارتعاشات روی فرکانس های یک و دو برابر دور یا فرکانس‌های دیگر شود و رفتار آن 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 می‌تواند 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 توربین‌های بخار و ماشین‌های 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 می‌شود. معمولاً در اثر تماس (Rubbing) ناشی از خمیدگی شافت قطعات صدمه دیده یا شکسته می‌شوند و باعث تغییر شکل سیستم می‌شوند. این عیوب با روش‌های آنالیز که در بخش‌های پیشین تشریح گردیده قابل شناسایی 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 می‌تواند ارتعاشات در فرکانس های دیگر نیز اتفاق افتد. که غالباً شکل موج زمانی بهتری می‌تواند کمک کند.

ROTOR RUB



ارتعاشات ناشی از لقی های مکانیکی Mechanical Loosness

لqi مکانیکی باعمل کوبیدن یا ضربه زدن ایجاد ارتعاشات می کند که غالبا دارای فرکانس $2 \times RPM$ با مصارب بیشتر دور شافت میباشد این ارتعاشات ممکن است ناشی از شل بودن پیچها لقی بیش از اندازه قطعات و یا ترک خوردگی در پایه بیرینگ ها و سازه ها و..... باشد .

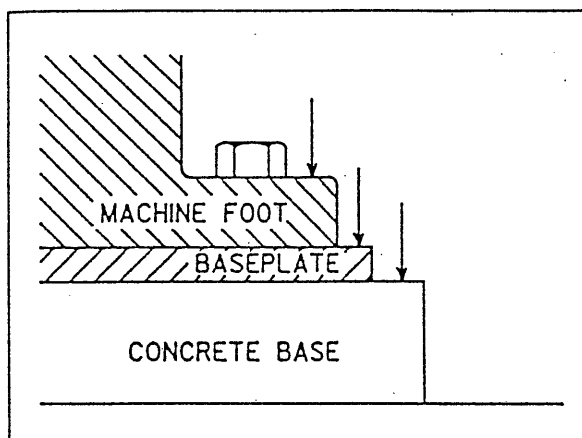
ارتعاشات ناشی از لقی توسط یک نیروی محرک دیگری مثل نابالانسی یا ناهم محوری تشدید می شود و ارتعاشات ناشی از عوامل دیگر را به مقادیر زیادتر ارتعاشات تبدیل می کند. بدین جهت میتوان گفت لقی مکانیکی اجازه می دهد عوامل دیگر ارتعاشات بیشتری رانسبت به حالت عدم وجود لقی به وجود آورند. بنابراین در انالیز ارتعاشات 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 مثلا حذف نابالانسی برای یک ماشین درحین کار نیاز به تجهیزات ویژه ای دارد پس بهتر خواهد بود که ابتدا وجود لقی را تشخیص داد و سپس انرا بر طرف کرد . سپس اگر کاهش بیشتر ارتعاشات نیاز بوده آنوقت به عوامل دیگر پرداخت.

لqi مکانیکی شامل چند حالت است که ذیلا به شرح ان پرداخته می شود:

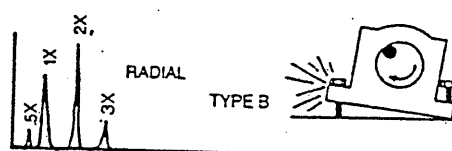
۱- نوع اول ان که در شکل زیر نشان داده شده است به دلیل ضعیف بودن پایه های ماشین ، Baseplate و فوندانسیون از دست رفتن خاصیت گروت فرورفتن پیچ پایه ماشین در داخل Baseplate و تغییر شکل دادن پایه ها (مثل لقی پایه) و شل بودن استرکچر بوجود می آید. که باعث می شود بین سه سطح درگیری کامل برقرار نباشد و نسبت به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

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 .

اندازه گیری فاز وجود لقی را تأیید میکند



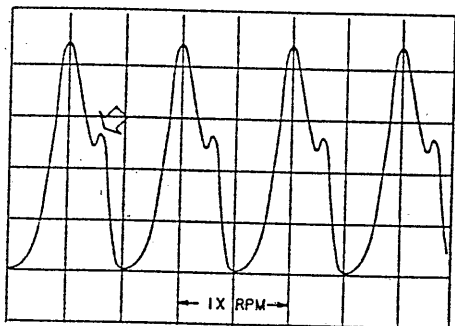
۲- نوع دوم لقی مکانیکی به دلایل شل بودن پیچ های پایه های پیلو بلاک برینگ ها، ویال ایجاد ترک درنشیمن گاه ان یاشکستگی در Padstall باشد که ایجاد ارتعاشاتی در فرکانس های هارمونیک و یا کسری از ان می شود .



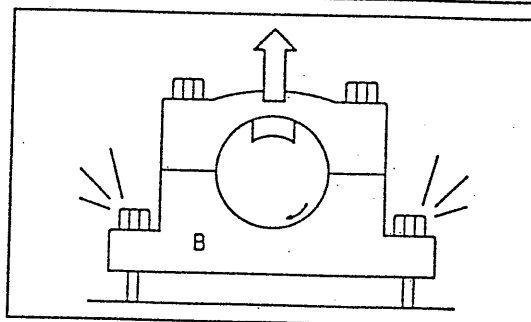
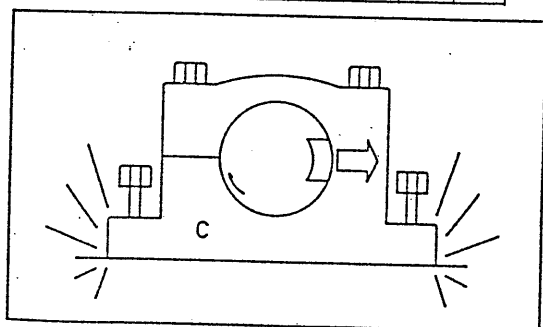
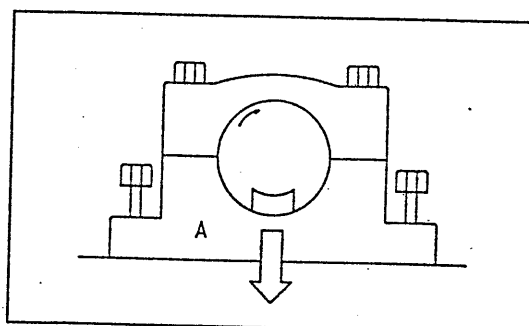
شکل زیر نیز در تشخیص لقی مکانیکی کمک می کند این شکل نشان می دهد که لقی مکانیکی ارتعاشات با فرکانس $2 \times RPM$ ایجاد می شود در اینجا جا نابالانسی عامل اصلی ارتعاشات است موقعی که قسمت سنگین در موقعیت ساعت ۶ است نیروی نابالانسی به سمت پایین می رود و برینگ را به طرف پایه می راند و موقعی که نیروی نابالانسی 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 پهلوی 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 بیرینگ ناشی از جاذبه زمین. بنابراین فرکانس ارتعاشات حاصله روی دوبرابر دوردستگاه خواهد بود.

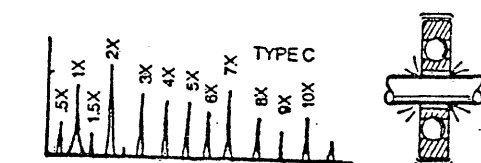
شکل موج ارتعاشات در حالت وجود لقی



ارتعاشات ناشی از لقی



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 غیرمستقیم قطعات شل در اثر نیروهای مکانیکی روی محورهاست که باعث حذف قسمت هائی از موج های زمانی می شود.

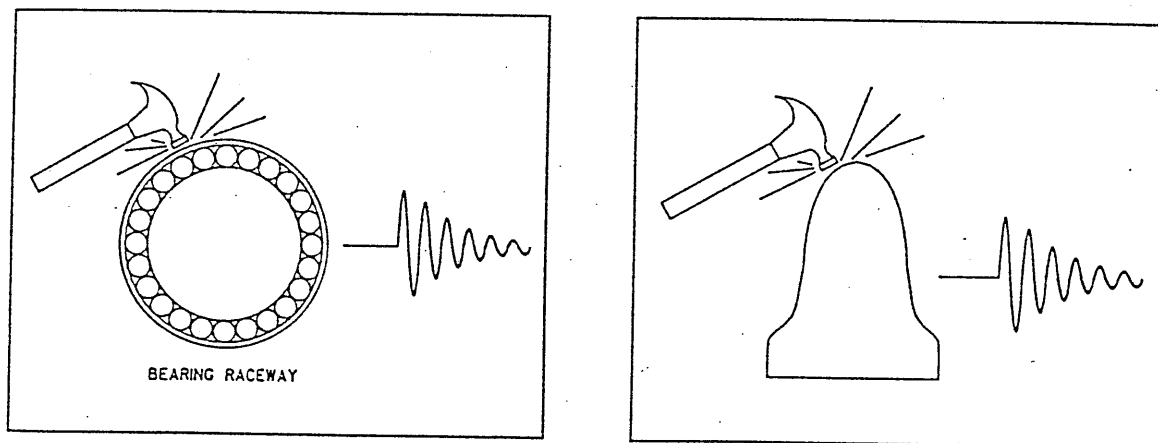


این نوع لقی معمولاً دربرینگ های نوع بوشی یا بال برینگ هایی که در محل قرارگیریشان لق باشند یا پروانه هایی که روی محور ازادند بوجود می آید. که در این صورت زاویه فاز ناپایدار است و در اندازه گیری های مختلف یا باروشن و خاموش کردن ماشین اعداد مختلفی بدست می آید و میزان لرزش در جهت های شعاعی اختلاف قابل ملاحظه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

ارتعاشات ناشی از تشدید

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 های باهم جمع و باعث افزایش ارتعاشات می شوند که 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 بخاطر تغییرات زیاد زاویه فاز است .

ایجاد ارتعاشات در فرکانس طبیعی



هر قطعه Rigid از جمله کلیه قطعات و یا قسمتهای ماشین آلات دارای یک فرکانس تشدید طبیعی (فرکانس نوسان ازاد) 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 .

راههای مختلفی برای اندازه گیری فرکانس طبیعی وجود دارد. که یکی از این راه ها تست ضربه یا Bump Test است بدینصورت که وقتی ماشین خاموش است و به وسیله مناسبی به بدنه آن ضربه زده می شود

تا به ارتعاش بیافتد. در این صورت ضربه زدن باعث می شود تابنده ماشین تحت فرکانس طبیعی خود به نوسان در آید و اگر ارتعاشات با آنالایزر در حالت کلی Filter Out اندازه گیری نشود 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.

چندین راه برای تصحیح ارتعاشات تشدید وجود دارد یکی این است که فرکانس نیروی محرک را تغییر دهیم تا با فرکانس طبیعی برابر نباشد مثلاً اگر نیروی محرک از ماشینی است که در مجاورت ماشین مورد بحث قرار دارد با تغییر دوران در صورت امکان میتوان اثر تشدید را کاهش داد.

راه دیگر این است که جرم ماشین را تغییر دهیم به این طریق فرکانس طبیعی ماشین تغییر یافته و در نتیجه حالت تشدید بوجود نخواهد آمد. البته میتوان از حالت تشدید با حذف کامل نیروی محرک پرهیز کرد مثلاً اگر Unbalance عامل پیدایش حالت تشدید باشد ممکن است بالانس کردن با تولرانس های خیلی پایین غیر معمول 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.

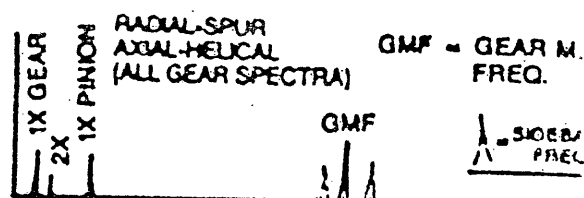
ارتعاشات ناشی از مسائل چرخ دنده ها

ارتعاشات ناشی از مسائل چرخ دنده ها معمولاً در اثر سایش بیش از حد چرخ دنده ها، دقیق نبودن پروفیل دندانه ها، گیر کردن اجسام خارجی در دندانه ها، اشکالات روغنکاری و..... است که به دلیل زیاد بودن تعداد دندانه هایی که در هر بار چرخش با هم درگیری 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 که 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 ها می توان برای محاسبه فرکانسهای Gear Mesh کلیه محورها و شناسائی چرخ دنده خراب که باعث افزایش ارتعاشات شده استفاده کرد.

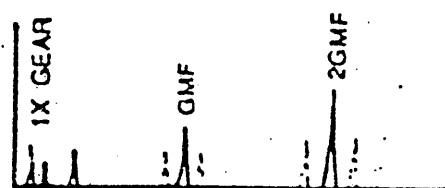
البته لازم به توضیح است که حتی چرخ دنده های سالم نیز در فرکانس های Gear Mesh و هارمونیک های آنها و گاهی فرکانس های طبیعی چرخ دنده ها بطور ذاتی دارای ارتعاش در حد مجازند که در زیر منحنی اسپکتروگرام آن نشان داده شده است.

NORMAL SPECTRUM



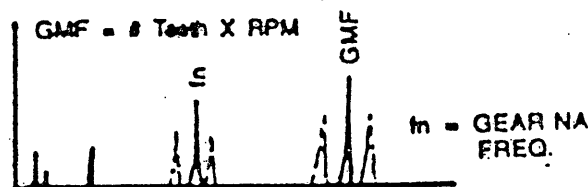
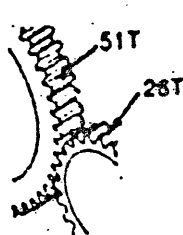
البته لرزش روی فرکانس های بالا در تمام موارد دلیل خرابی چرخ دنده نیست بلکه نیروهای مزاحم دیگری هم می توانند باعث شوند چرخ دنده ها در فرکانس Gear Mesh ایجاد ارتعاش کنند مثل نا هم محوری، خمیدگی شافت، خارج از مرکز بودن، تا بالانس، خرابی برینگ ها، زیاد بودن کلرنس برینگ ها و کلیه مسائل مربوط به آنها می تواند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

GEAR MISALIGNMENT



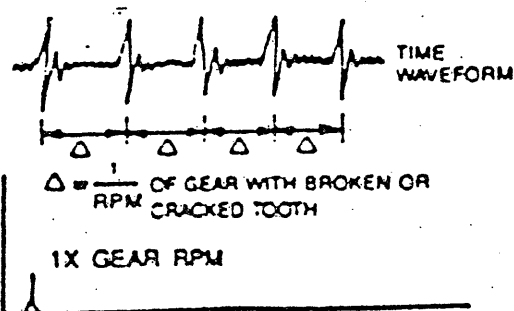
از این رو لازم است کارها یک برنامه اصولی ارتعاشات کلی سیستم بررسی و به خصوص وضعیت Alignment و موارد فوق الذکر بادقت چک و تصحیح گردد و مجدداً آنالیز ارتعاشات انجام گردد تا عیب بهتر مشخص شود. ناهم محوری باعث ایجاد ارتعاشات روی فرکانس های 1 GMF و 2 GMF (یا هارمونیک های دیگر آن) و فرکانس Gear یا Pnion می شود.

TOOTH WEAR



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 دچار 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 جهش های پریودیکی می کنند را تشخیص داد. بدیهی است اگر تعداد دندانه هایی معیوب بیش از یکی باشد فرکانس ارتعاشات مضربی از تعداد آنها خواهد بود.

CRACKED / BROKEN TOOTH

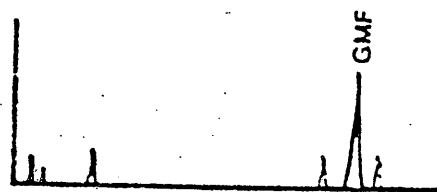


HUNTING TOOTH PROBLEMS

دامنه و فرکانس ارتعاشات ناشی از چرخ دنده ها در برخی موارد ممکن است نامنظم (Erratic) باشد که این شرایط معمولاً زمانی که یک مجموعه چرخ دنده تحت بارهای سبک کار میکند پیش آید که در این گونه موارد بار (Load) ممکن است در پریودهای 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 تاقانها 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 اشکار است مسائل چرخ دنده ها روی دو نقطه یا نقاط بیشتر دیگری روی ماشین هم قابل تشخیص است زیرا محورهای چرخ دنده ها روی دویاتاقان قرار می گیرد.

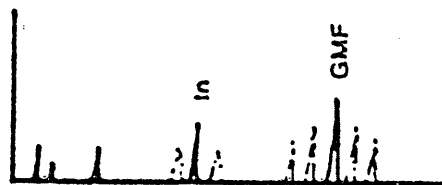
اگر ارتعاشات روی فرکانس های کناری (Sideband Frequency) GMF و همچنین ارتعاشات ناشی از فرکانس های طبیعی روی منحنی های FFT مشاهده نشود می توان نتیجه گرفت که چرخ دنده ها تحت بار اضافی کار می کنند.

TOOTH LOAD



از آنجا که گیربکس ها خود به خانواده ماشین الات دوار تعلق دارند لذا برخی از مسائلی که در مورد ماشین الات 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 اینگونه مسائل معمولاً باعث تحریک فرکانس های دندانها و هارمونیک های آنها در دور محوری شود.

GEAR ECCENTRICITY AND BACKLASH



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 هم 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 جاهایی که ارتعاشات باید در حد بسیار پایین نگهداشته شود.

از آنجائی که حالت حرکت و شلاق زدن تسمه ها بین پولی ها به اسانی دیده می شود (به همین دلیل این که تسمه ها معمولاً در دورهای خیلی بالا استفاده نمی شوند) ارتعاشات آنها بیشتر از سایر قسمتها به چشم می آید. تسمه ها ساده ترین قسمت ماشین الاتند 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، نا هم محوری 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 اجمالی از ارتعاشات ماشین به عمل آورده شود.

فرکانس ارتعاشات در تسمه ها یک فاکتور کلیدی برای تعیین علت ارتعاشات است. اگر تسمه به تنهایی به نیروهای محرک عکس العمل نشان دهد فرکانس ارتعاشات احتمالاً 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 حائز اهمیت است اگر یک یا چند تسمه شل باشند ولی بقیه کشش صحیح داشته باشند تسمه شل با ارتعاشات زیادی کار میکند 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 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 نیاز به داشتن طول تسمه، قطر پولی (Pitch Diameter) و دور پولی است.

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

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 میشود . 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 بالائی داشته باشند. همچنین تسمه هایی که پهنای یکسان ندارد هم می توانند باعث ایجاد ارتعاشات 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 تسمه ها Drive Belt Problem

مسائل ومشكلات تسمه ها كه باعث افزايش ارتعاشات آنها مي شود شامل:

۱- فرسودگی وشل بودن (Worn Loose Or Mismatched Belts)

۲-ناهم محوری پولی ها (Belt/Sheave Misalignment)

۳-خارج از مرکزی پولی ها (Eccentric Sheaves)

۴-رزونانس تسمه ها (Belt Resonance)

كه ذیلا به شرح آنها پرداخته می شود.

فرسودگی تسمه ها

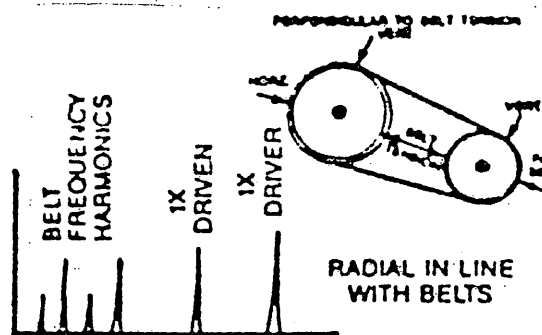
۱- $\text{Belt Frequency} =$

۲- $\text{Timing Belt Frequency} =$

فرکانس تسمه زیردور 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 گاه نیز ایجاد حرکات پالسی روی دور الکترو موتور یا ماشین دیگری کنند و در مواقعی كه شیارهای پولی ها سائیده شده باشند یا پولی ها نا هم محور باشند دامنه ارتعاشات روی فرکانس Timing Belt نمایان می شود و معمولا همراه با سر خوردن تسمه همراه است.

BELT DRIVE PROBLEMS

WORN, LOOSE OR MISMATCHED BELTS

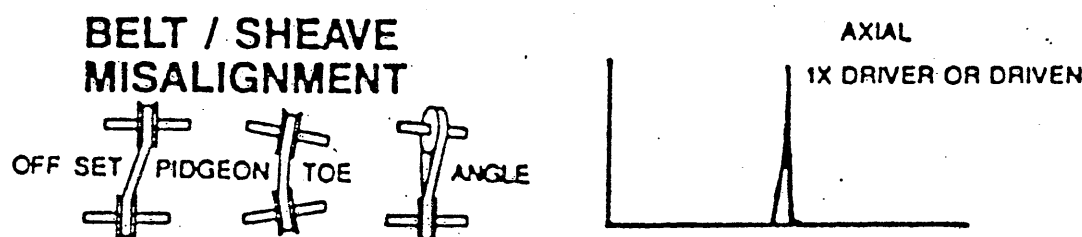


سر خوردن تسمه معمولاً به دلیل کافی نبودن کشش تسمه، تراز نبودن پولی ها، نامناسب بودن جنس تسمه، نامناسب بودن چرخ تسمه (شیارهای پولی) و یادراثر بار و قدرت بیش از حد توان تسمه بوجود می آید که گاه نیز ارتعاشات و صدای بافرکانس بالا ایجاد می کند. ارتعاشات حاصله غالباً دامنه ناپایداری دارند این به خصوص در سیستم های چند تسمه ای صادق است. در جاهایی که تسمه ها به درجات مختلف سرمی خورد گاهی دامنه ارتعاشات کم و گاهی زیادی 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 میشود 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 آنالایزر 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.

۲- ناهم محوری پولی ها

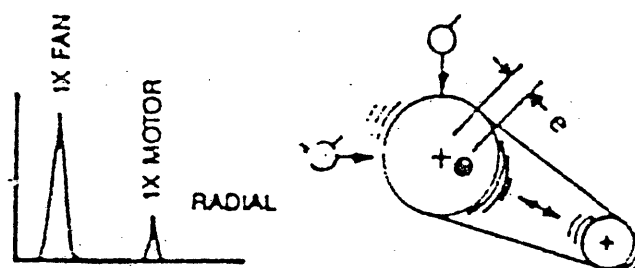
نا هم محوری پولی ها باعث ایجاد ارتعاشات در فرکانس برابر دور در جهت محوری (موازی تسمه) روی فرکانس های سیستم محرک یا متحرک می کنند و ارتعاشات محوری الکتروموتور برابر دور فن است.



۳-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 کرده پولی وضعیت بدتر شده و باعث ایجاد ارتعاشات القائی و افزایش تنش های خستگی روی تسمه می شود.

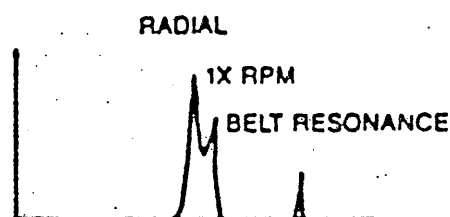
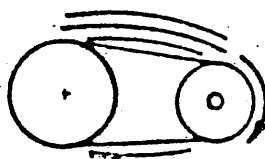
ECCENTRIC ROTOR



۴-رزونانس تسمه ها

رزونانس در تسمه های تواندها باعث ارتعاشات روی فرکانس طبیعی تسمه و همچنین فرکانس دور هر دو پولی گردد. فرکانس طبیعی تسمه ها را می توان با سفت کردن انهایا تغییر طول دادن انها (تغییر سایز تسمه) تغییر داد که این موضوع را می توان با سفت کردن تسمه در حین کار و اندازه گیری پاسخ ارتعاشی آن روی پولی ها و یا برینگ ها مورد بررسی قرار داد.

BELT RESONANCE



ارتعاشات ناشی از مسائل برقی در الکتروموتورها Electrical Faults

ارتعاشات الکتروموتورها ناشی از دو عامل است:

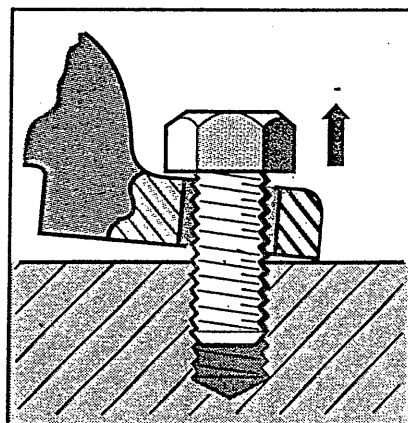
۱- عوامل مکانیکی

۲- عوامل الکتریکی

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



عواملی که باعث Soft Foot می شود شامل:

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

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- بهم خوردن وضعیت Alignment.
 - ۵- بهم 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 پیدامی شود که باید با قراردادن 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 الکترو موتور نیز میتواند باعث لرزش شود عدم تماس کامل پایه روی بدنه الکترو موتور 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 دیگری روی فرکانس 2 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 این کار وجود دارد.

البته این عیب بیشتر روی الکترموتورهایی 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 های 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 همزمان تغییر دامنه را روی دستگاه ارتعاشی سنج مشاهده نمائیم اگر با قطع برق بلافاصله ارتعاشات کاهش پیدا کرد ارتعاشات احتمالا ناشی از عوامل برقی خواهد بود در صورت اخیر باروشهای سنتی تستهای 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 الکترموتور 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 میدهد با تغییر بار دامنه و یا فرکانس ارتعاشات میتواند تغییر قابل ملاحظه ای را نشان دهند.

در رابطه با موتورهای برقی Induction مسائل برقی میتواند 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 القایی فرکانس Slip همشه حضور دارد اما هنگامیکه 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 دمیايد فرکانس Beat حاصله در میزان دامنه کلی یک Swing پایدار و قابل توجه ایجاد میکند. چراغ استروب هم Swing منظم علامت رفرنس روی شافت رانمایش میدهد. 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 قطعا میتواند صدای ازاردهنده ای ایجاد کنند.

در موتورهای برقی همچنن یک ارتعاشات ذاتی از پالسهای گشتاوری Torque Pulses وجود دارد. پالسهای گشتاوری هنگامیکه میدان مغناطیسی موتور قطبهای 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 پالسهای گشتاوری بندرت 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

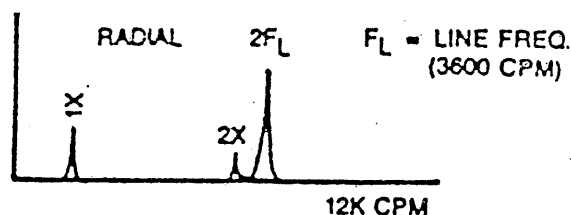
۲- مسائل رتور

است که ذیلا به آنها اشاره می شود.

۱- مسائل روی استاتورها

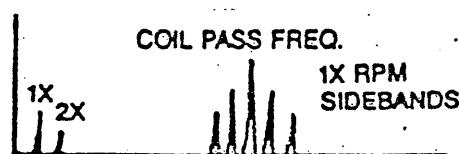
این مسائل شامل خارج از مرکزی (استوانه ای نبودن داخل استاتور) اتصال کوتاه شدن تیغه ها (لایه ها) شل شدن هسته های آهنی و شل شدن سیم پیچ های استاتور است که معمولاً باعث ایجاد ارتعاشات زیاد در فرکانس های دوبرابر فرکانس برق (Line Frequency) می شود. خارج از مرکزی استاتور باعث عدم یکنواختی Air Gap بین رتور و استاتور می شود و باعث ایجاد ارتعاشات زیاد به دلیل نابالانسی الکتریکی می شود. Air Gap در موتورهای القایی نباید بیش از پنج درصد در موتورهای سنکرون نباید بیش از ده درصد اختلاف داشته باشند. لقی پایه و پیچیدگی پایه ها می توانند 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 القایی ناشی از درجه حرارت گردد که معمولاً با گذشت زمان و گرم تر شدن موتور ارتعاشات زیادتری شود.

STATOR ECCENTRICITY, SHORTED LAMINATIONS AND LOOSE IRON



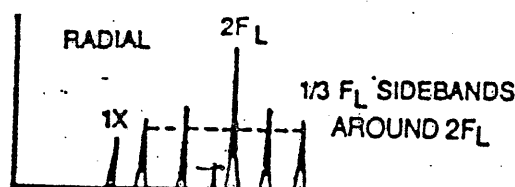
همچنین شل بودن سیم پیچ ها در داخل استاتور موتورهای سنکرون باعث ایجاد ارتعاشات بالا در فرکانس (Coil Pass Frequency (CPF می شود که عبارت از حاصل ضرب تعداد کویل های استاتور در RPM موتور (قطب / تعداد سیم پیچ تعداد قطب ها = Stator Coil) است. که این ارتعاشات معمولاً با ارتعاشات برابر دور همراه است.

SYNCHRONOUS MOTORS (Loose Stator Coils)



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 $1/3$ برقی باشند. که فرکانس دوبرابر معمولاً بر فرکانس های دیگر غالب است.

PHASING PROBLEM (Loose Connector)

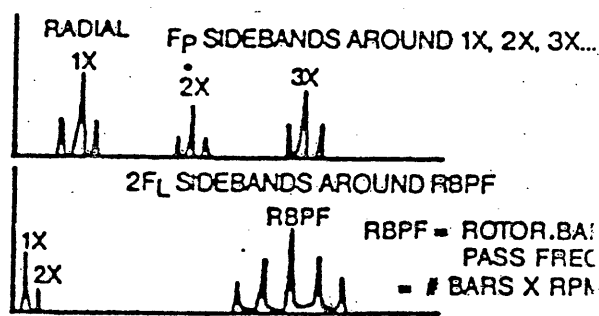
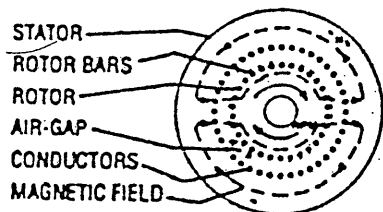


۲- مسائل روی رتورها

مسائل رتورها شامل خارج از مرکزی ان و شکستگی میله های آنهاست که رفتار ارتعاشی آنها ذیلاً مورد بحث قرار می گیرند.

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 لایه های رتور باعث ایجاد ارتعاشات روی فرکانس برابر دور و همراه بالرزش روی فرکانس های کناری قطب ها (Pole Pass Frequency) می شود به علاوه اینکه ترک های میله های رتور باعث ایجاد ارتعاشات روی هارمونیک های تا چند برابر فرکانس قطب ها (FP) می کند. و شل شدن میله های رتور باعث افزایش ارتعاشات روی فرکانس های دوبرابر فرکانس برق همراه با فرکانس های کناری می کند.

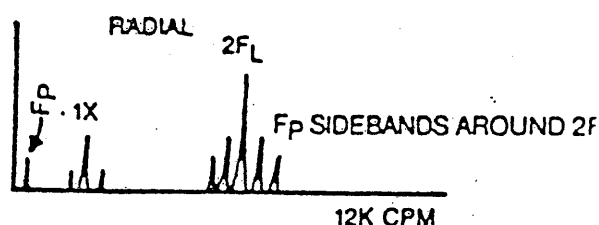
ROTOR PROBLEMS



خارج از مرکز بودن رتور باعث بوجود آمدن Air Gap های نامساوی بین رتور و استاتور می شود که باعث ارتعاشات پالسی (ارتعاشاتی که دامنه آن کم و زیاد می شود) معمولاً بین فرکانس های دوبرابر 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 دوبرابر فرکانس برقی (FL) همراه با هارمونیک فرکانس های Pole Pass در اطراف فرکانس دور موتور می کنند. معمولاً فرکانس های قطبی (FP) در دورهای پایین (حدود ۲۰-۱۲۰ CPM) وجود می آیند.

ECCENTRIC ROTOR (Variable Air Gap)

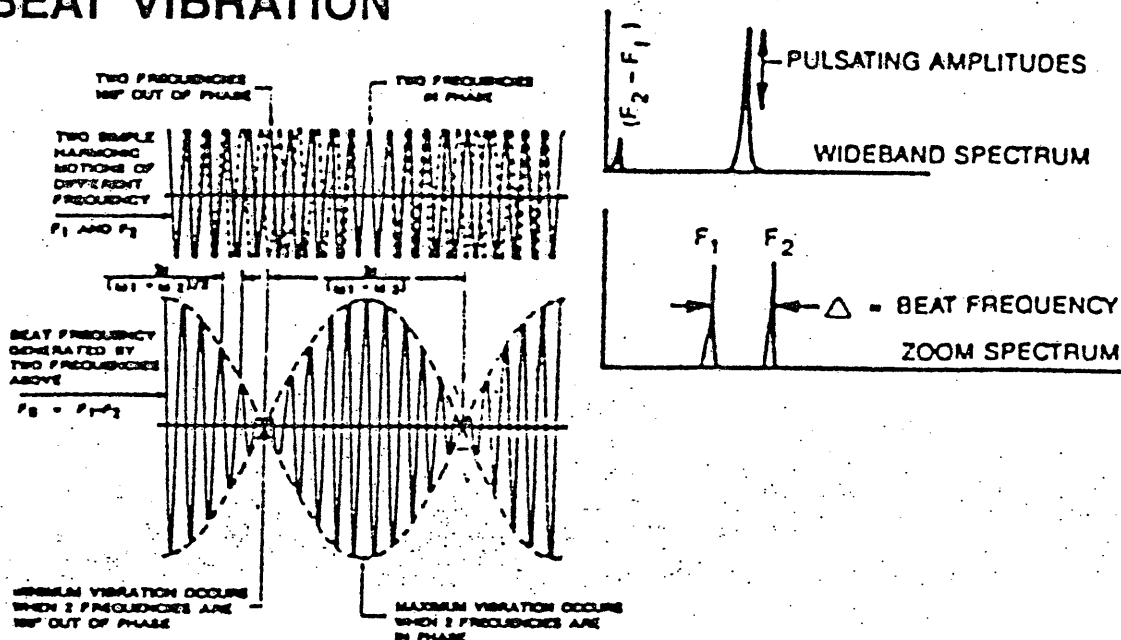
F_L = Electrical Line Freq.
 N_S = Synch. Speed = $\frac{120 F_L}{P}$
 F_S = Slip Freq. = $N_S - \text{RPM}$
 F_P = Pole Pass Freq. = $F_S \times P$
 P = # Poles



ارتعاشات پالسی Beat

ارتعاشات Beat نتیجه ترکیب دو حرکت ارتعاشی است که فرکانس های آنها نزدیک به هم باشد و دامنه آنها با گذشت زمان کم و زیاد می شود. این ارتعاشات میتواند 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 فرکانسهای 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 180° درجه اختلاف داشته باشند.

BEAT VIBRATION



مثال آن 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 سرعت‌های متفاوت (نزدیک به هم) کار می‌کنند به وجود می‌آید.

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 پاره ای موارد ممکن است ارتعاشاتی با فرکانس مجموع فرکانسهای محرک ملاحظه شود. همیشه فرکانس Beat بالاتر، کمتر قابل تشخیص است مگر آنکه ایجاد تشدید کنند.

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- فونداسیون های زیر زمینی ثابت

۲- فونداسیون های سطحی

۳- فونداسیون های آزاد

۴- فونداسیون های معلق است

باتوجه به این که ساختمان فونداسیون پیچیده نیست ولی از نظر مسائل ارتعاشی اهمیت خاصی دارد و عیوبی نظیر تحریک سازه ای (Resonance) نشست هایی تکیه گاهی، لقی، انعطاف پذیری عرضی و..... وجود دارد که همه آنها ایجاد ارتعاشاتی با فرکانس های مختلف می‌کنند. این عیوب گاهی خیلی ساده و قابل رفع و گاهی نیز ماهیت پیچیده تری دارند. لقی در اجزا غیر دوار توسط هارمونیک های دور

اصلی $1 \times \text{RPM}$ و بویژه نصف آن $\frac{1}{2} \times \text{RPM}$ 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 پیچ های تکیه گاه همراه با شوک های مداوم خود بسادگی کل تجهیزات را تاثیر قرار می دهد و باعث به هم خوردن وضعیت هم محوری می شوند و همین طور جدا شدن اپوکسی زیر Base Plate باعث ایجاد لرزش شود.

ارتعاشات ناشی از نیروهای رفت و آمدی Reciprocating Action

ماشین الاتی مثل پمپ ها 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 پیستونهاست.

آنالیز ارتعاشات ماشین های رفت و آمدی میتواند بدلیل فرکانسهای مختلفی که وجود دارد گاهی نسبتا پیچیده شود فرکانسهای که به طور نرمال به آنها برخورد می شود ۱ و ۲ برار دور RPM اند اگر چه مضارب بالاتر هم بسته به تعداد پیستون ها و ارتباطشان با یکدیگر متداول می باشد.

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

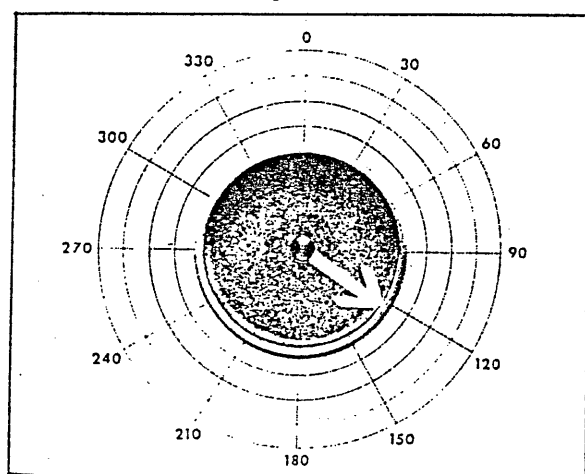
مسائل ارتعاشی حاد روی ماشینهای رفت و آمدی میتواند ناشی از مسائل مکانیکی یا عملیاتی باشند مسائل مکانیکی شامل نابالانسی و ناهم محوری، خمیدگی شافت، لقی برینگها و است. چند راه برای تشخیص مسائل مکانیکی از عملیاتی وجود دارد برای مثال یک مسئله ای مثل اشکال در جرقه زدن معمولا علاوه بر افزایش لرزش باعث کاهش شدیدی در 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 می توان انتظار داشت که در جهت موازی حرکت رفت و آمد، افزایش ارتعاشات زیاد و در جهت عمود به این حرکت ارتعاش 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.

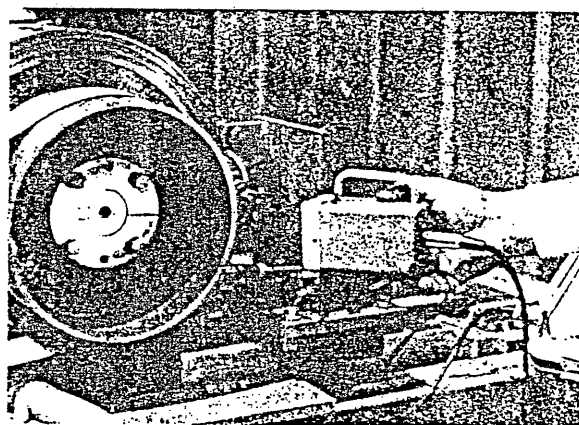
آنالیز ارتعاشات بر اساس اندازه گیری زاویه فاز ارتعاشات

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 . با اندازه گیری زاویه فاز در نقاط و جهت های مختلف و مطالعه آنها امکان تشخیص و تفکیک عیوب میسر می گردد .

کارت رفرنس فاز



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



موارد کاربرد زاویه فاز ارتعاشات

۱- برای بالانس جرمی رتورهای ماشین الات .

۲- برای تفکیک عیوبی که رفتار ارتعاشی یکسانی دارند .

الف- برای تشخیص نا هم محوری از خمیدگی (تفکیک آنها از یکدیگر) .

ب- برای تشخیص خمیدگی محور از نابالانسی .

ج- برای تشخیص نابالانسی از نا هم محوری .

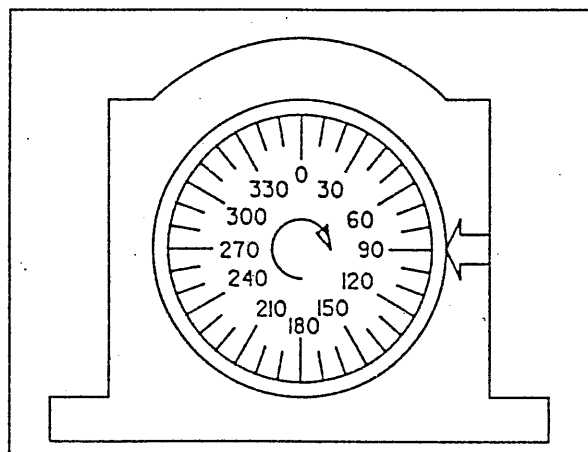
۳- برای چک کردن لقی ها .

۴- تعیین شکل موج های ارتعاشی .

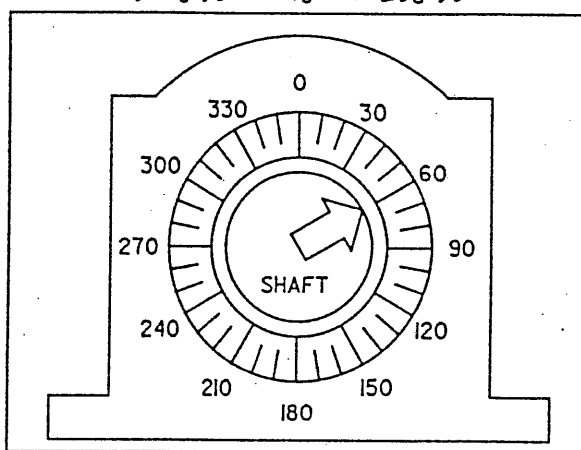
برای اندازه گیری زاویه فاز لازم است یک نقطه مرجع (Refrence) روی یک قسمت از محور در نظر گرفته شود . اگر زاویه فاز با چراغ استروب اندازه گیری می شود از یک علامت مرجع زاویه ای ثابت

و اگر از فتوسل استفاده می شود باید از یک قطعه شبرنگ (Reflector Tape) که نور را منعکس میکند باید روی محور چسبانده شود.

رفرنس زاویه ای متحرک با علامت رفرنس ساکن



رفرنس زاویه ای ساکن با علامت رفرنس متحرک

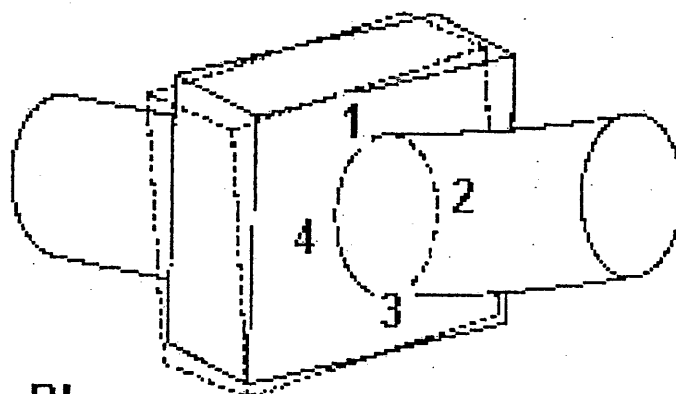


در طی اندازه گیری زاویه فاز علامت Refrence ثابت باقی می ماند و پیک آپ اندازه گیر لرزش در نقاط مختلف قرار می گیرد که در هر نقطه یک زاویه فاز قرائت می شود. روش کار به اینصورت است که روی هر یاتاقان در جهت های محوری یا جهت های شعاعی (در هر دوطرف محل قرار گیری یاتاقان روی هورینگ برینگ ها) اندازه گیری و یاد داشت می شود و بسته به اینکه چه نقاطی با 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 میگردد.

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، ۴، ۶، ۹) تفاوت قابل ملاحظه ای داشته باشند مبین حرکت و پیچشی شافت در داخل یاتاقان است (یاخمیدگی یا کج بودن هوزینگ برینگ نسبت به بدنه دستگاه)



Psn Phase

1 2:00

2 5:00

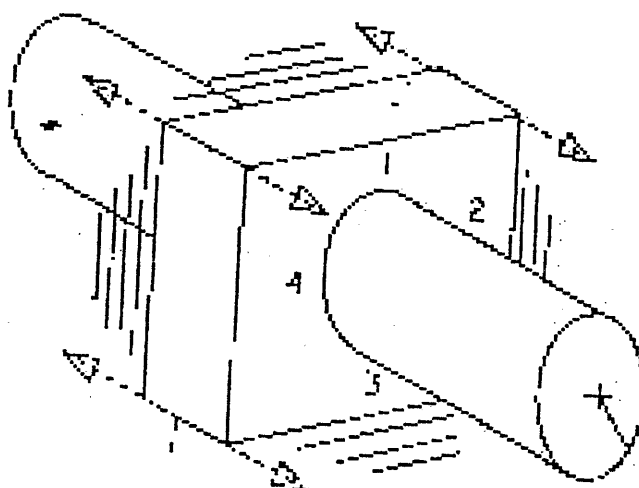
3 8:00

4 11:00

Bent shaft

Or misalignment

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 تنهائی مشکل مشخص نمی شود و نیاز به اندازه گیری های بیشتری روی دیگر یاتاقانها است.



Psn Phase

1 5:00

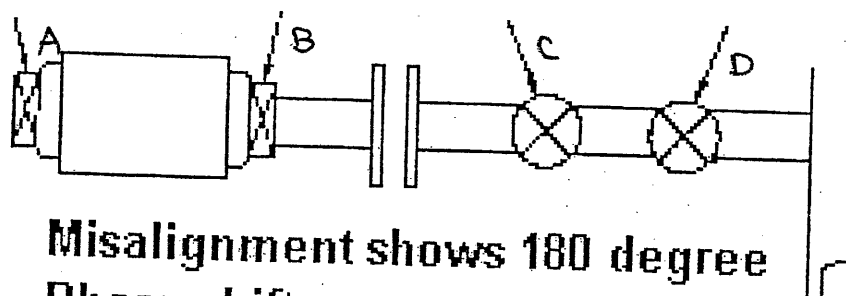
2 5:00

3 5:00

4 5:00

Shaft is straight

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



Misalignment shows 180 degree Phase shift across coupling

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

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.

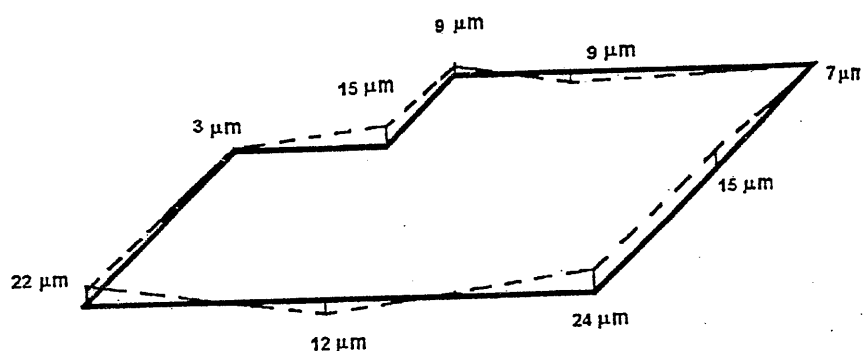
۶- اگر تمامی برینگ ها در کل یک سیستم هم فاز باشند بیشترین شکل نابالانسی است.

۷- اگر با تغییر موقعیت پیک اپ (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 درحین ارتعاش که بیشترین کاربرد آن در سازه ها، فونداسیون ها لوله ها و است. روش کار به این صورت است که درحین کار ماشین زاویه فاز در طول سازه و در نقاط معین اندازه گیری و سپس آن را 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 رانشان می دهد و باتوجه به این مد شیپ 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.

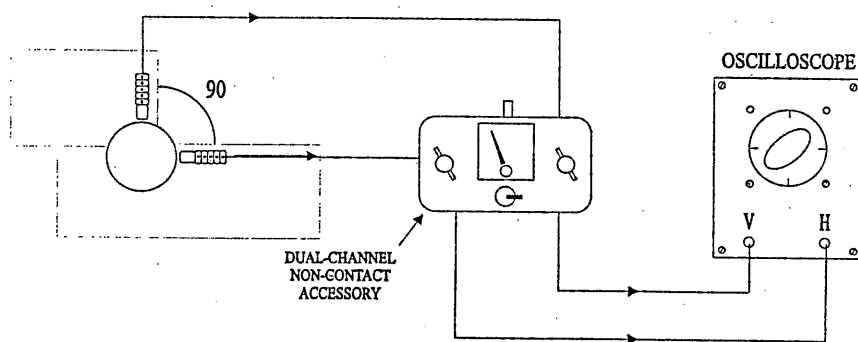
در زیر چند نمونه آورده شده است.



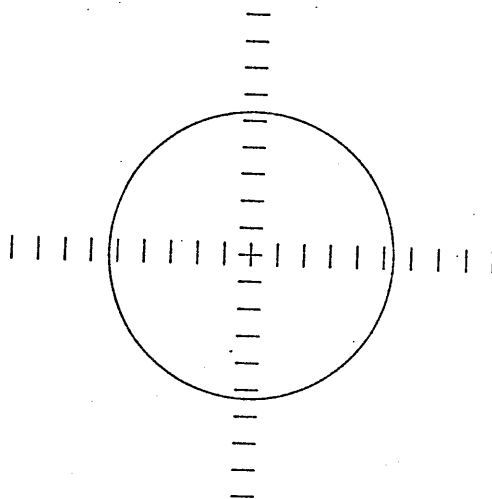
آنالیز ارتعاشات با استفاده از منحنی های Orbit

در این روش از دو پیک آپ Non Contact که یکی بصورت افقی و دیگری به صورت عمودی روی محور نصب می شود (با زاویه ۹۰ درجه) استفاده می شود و خروجی آنها به دستگاه آنالایزر دو کاناله متصل می شود و خروجی های اسیلاتور داخلی دستگاه آنالایزر نیز به محورهای افقی و عمودی اسیلوسکوپ متصل می شود در حین کار دستگاه منحنی هایی روی دستگاه اسیلوسکوپ مشاهده می شود که هر کدام از آنها مبین نارسائی ماشین است که ذیلا چندین نمونه ان همراه با علت مربوطه نشان داده شده است. البته کاربرد این روش برای ماشین الاتی است که یاتاقان های نوع ژورنال داشته باشند.

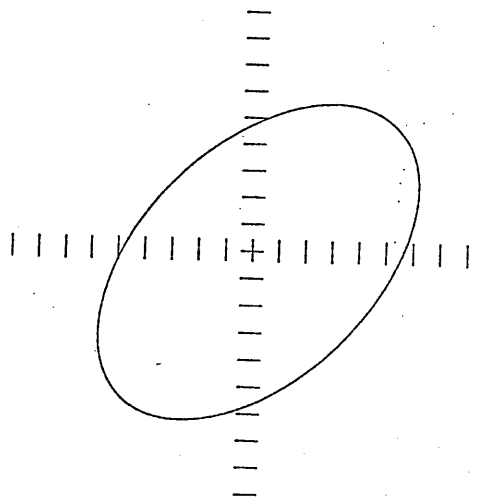
A typical setup for generating Lissajous Orbits



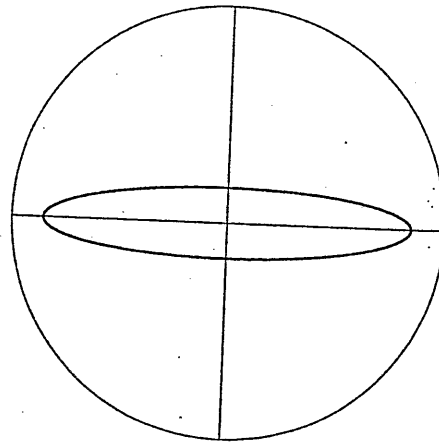
No problem Plot



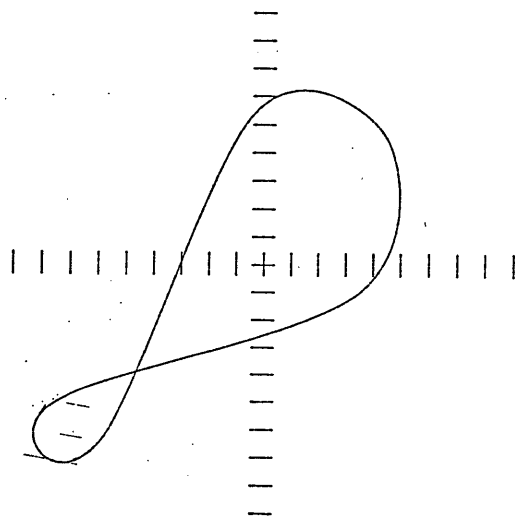
Unbalance



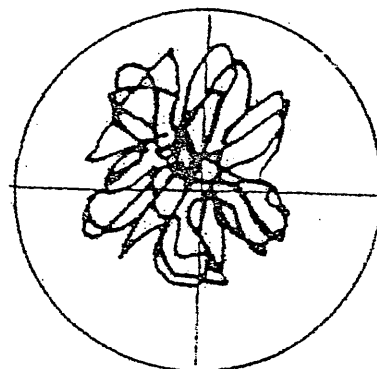
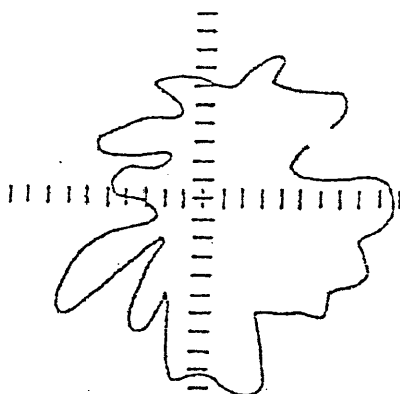
Misalignment



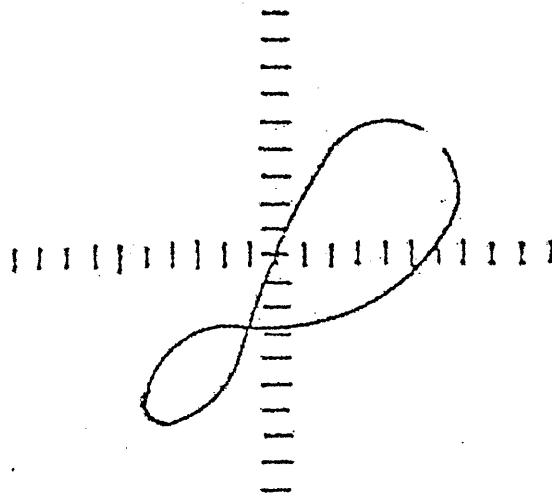
Misalignment and looseness combined



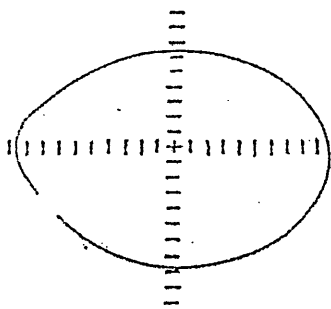
Heavy or full Rub



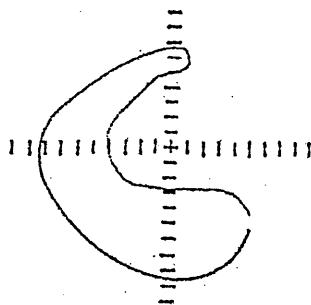
Misalignment where 1xrpm 2xrpm have 2:1 ratio



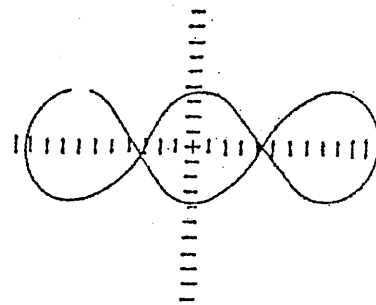
Excessive misalignment examples



(a) A TRUNCATED ORBIT

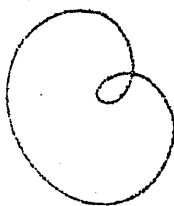


(b) A BANANA-SHAPED ORBIT

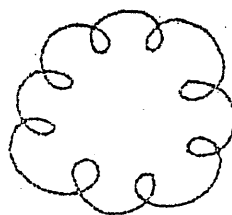


(c) A COMPLEX-SHAPED ORBIT

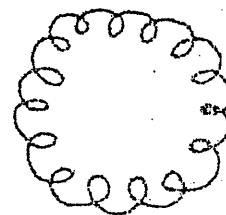
Hit and bounce in a rotor rub situation



LIGHT
HIT



MEDIUM
HIT



HEAVY
HIT

فصل چهارم

رسول نگهداري ماشین الات بر اساس

انالیز روغن

Oil Analysis

آنالیز روغن Oil Analysis

یکی از مهمترین پارامترهایی که در بحث Condition Monitoring برای مراقبت و کنترل خرابی ها و تعمیرات دستگاهها و ماشین آلات مورد استفاده قرار می گیرد روغن است زیرا ماشین های مکانیکی بر روی یک لایه ده میکرونی روغن (فیلم روغن) که به طور تقریبی با قطر سلول خون برابر است سوار می باشند و به کلیه نقاط مهم و اساسی دستگاه ها که نسبت به هم حرکت دارند و ... سرکشی می کند و یک نمونه واقعی آن دارای اطلاعات بسیار زیادی از شرایط کار دستگاه است.

کنترل اینکه درحین کار دستگاه روغن تمیز و بدون هر گونه آلودگی (آب ، گرد و خاک و ...) باقی مانده بسیار مهم و حیاتی و حائز اهمیت است که با آنالیز روغن این هدف محقق می شود . به علاوه اینکه روغن همانند خون در بدن انسان نشانه های سلامتی ماشین را با خود حمل می کند و با آزمایش یک نمونه آن به خیلی از بیماریها می توان پی برد آنالیز روغن نیز این نشانه ها را به اطلاعات با ارزشی که به اهداف نگهداری و تعمیرات کمک می کند تبدیل می نماید .

آنالیز روغن از چندین سال پیش در اکثر صنایع کشورهای پیشرفته به عنوان یک ابزار بسیار مناسب برای اهداف و مقاصد زیادی مورد استفاده قرار گرفته و در صورت اجرای صحیح آن در صنایع مختلف کشور ما می تواند گامی بلند و تحولی اساسی در جهت حفظ سرمایه های ملی و کاهش وابستگی ها و مصرف بهینه آن بوجود آورد .

استخراج مستمر و منظم اطلاعات روغن از درون دستگاهها و ماشین آلات از طریق نمونه گیری و آزمایش روغن به منظورهای زیر انجام می شود :

۱- حصول اطمینان از سلامت دستگاه .

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

۳- شناسایی عوامل فرسایش و استهلاک های غیر عادی .

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

۵- اقدامات اصلاحی به موقع و قبل از بروز خسارات .

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 مواد مصرفی .

۱۰- بهینه نمودن سیستم PM و کنترل کردن اجرای آن .

۱۱- کنترل های مدیریت برکل سیستم

۱۲- افزایش طول عمر و کار آیی دستگاه ها .

۱۳- کنترل کیفی تدارکات و خریدروغن .

۱۴- کنترل سیستم انبار داری .

۱۵- انجام امور تحقیقاتی

۱۶- هشدار به موقع و تشخیص عیب مدت ها قبل از بروز خسارت

۱۷- کنترل مطمئن اقدامات پیشگیرانه

حسن روش عیب یابی دستگاهها بر اساس Condition Monitoring روغن این است که قبل از بروز خرابی 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 آن انجام می شود) البته این دلیل برکنار گذاشتن آنالیز ارتعاشات نیست بلکه این روش ها و روشهای دیگر در کنار هم و باهم دارای بهترین راندمان و کارآیی می باشند .

اصول کلی آنالیز روغن

این روش شامل مراحل اجرایی زیر است:

۱- نمونه گیری طبق روشهای استاندارد در فواصل زمانی معین .

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

۳- انجام آزمایش ها و مقایسه نتایج با نتیجه های نمونه های قبلی .

۴- تحلیل جواب های بدست آمده و ارائه توصیه های فنی .

۵- انجام اقدامات پیشگیرانه و توصیه های اصلاحی لازم .

در مراکز صنعتی و ماشین الاتسیستم Condition Monitoring روغن غالباً به صورت Off Line مورد استفاده قرار می گیرد یعنی نمونه برداری ها در فواصل زمانی معین بایک روتین مشخص گرفته می شوند و کارهای آزمایشگاهی روی انها انجام می شود که یکی از مهمترین مراحل اجرای کار نمونه گیری روغن است که باید به روش صحیح انجام شود.

نکات مهم در نمونه گیری روغن از ماشین آلات

- ۱- بسته به شرایط محیطی کار دستگاه معمولاً فاصله های زمانی نمونه گیری توسط مهندس مراقب وضعیت تعیین می گردد و بستگی به نوع ماشین دارد.
- ۲- بجز موارد خاص، نمونه گیری در ساعت کارکرد پایین توصیه نمی شود زیرا معمولاً نمونه روغن با ساعت کارایی 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 بصورت موردی 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 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 $\frac{1}{3}$ آنها باید خالی باشد.
- ۸- نمونه گیری باید قبل از فیلتر انجام شود.
- ۹- نمونه روغن باید طوری باشد که نماینده واقعی روغن ماشین باشد.
- ۱۰- قبل از نمونه گیری باید دستگاه 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- 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 یکبار مصرف تمیز شود .

ب - ظروف نمونه دور ریز را به پمپ بسته و اقدام به کشیدن نمونه می شود پس از پر شدن ظرف آنرا از پمپ باز نموده و محتوای آن دورریخته شود .

ج- ظرف تمیز نمونه برای آزمایش به پمپ بسته می شود و نمونه گیری در آن انجام شود .

۱۳- اطراف محل نمونه گیری باید قبلاً تمیز شده باشد.

۱۴- دقت شود هنگام نمونه گیری ، آلودگی های محیطی نظیر آب ، باران یا گرد و خاک وارد ظرف نمونه نشود.

آزمایشات که روی نمونه روغن ها انجام می شود شامل :

الف - بازدید های چشمی از روغن مصرف شده

برای این کار لازم است که حدود ۵۰۰ تا ۱۰۰ 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 آنرا به مدت یک ساعت در دمای 40°C نگهداری نمود حال بر اساس ظاهر آن می توان اطلاعات مختصری از آن بدست آورد .
جدول زیر راهنمای مناسبی برای این کار است.

ظاهر نمونه		دلیل	عملی که باید انجام شود	
هنگام گرفتن	یک ساعت پس از گرفتن		سیستم بدون فیلتر یا سانترفیوژ (۱)	سیستم با فیلتر یا سانترفیوژ
شفاف	-	-	نیاز به عملی نیست	نیاز به عملی نیست
کدر	شفاف	کف کردن	علت کف کردن باید جستجو شود (۳)	علت کف کردن باید مشخص شود (۳)

کدر	روغن شفاف با لایه آب جدا شده	امولسیون نا پایدار (۴)	جدا کردن آب و رسوب ها از محل تخلیه	بازرسی سانترفیوژ (۵)
کدر	بدون تغییر	امولسیون پایدار	نمونه باید مورد آزمایش و تحلیل قرار گیرد (۶)	بررسی سانترفیوژ یا تعویض روغن
کشیف	ذرات ته نشین شده	آلودگی	نمونه باید مورد آزمایش و تحلیل قرار گیرد (۶)	بررسی فیلتر و یا سانترفیوژ
سیاه با بوی تند	بدون تغییر	روغن اکسید شده	نمونه باید مورد آزمایش و تحلیل قرار گیرد (۶)	نمونه باید مورد آزمایش و تحلیل قرار گیرد (۶)

توضیح :

- (۱)- فیلتر به قسمت هایی اطلاق می شود که ذرات با سایز کمتر از ۵۰ میکرون را جدا می کنند .
- (۲)- کف مخلوط هوا و روغن) و امولسیون ها (مخلوط آب و روغن) باعث کدر شدن روغن می شوند .
- (۳)- کف یک پدیده مکانیکی است که از هم زدن روغن و یا سر ریز پر فشار روغن از بالاتر از سطح روغن بر روی آن پدید می آید. کف در خصوص گریس و پاره ای از الاینده ها ، حلال ها و افزودنی های ضد خوردگی می تواند پایدار شود .
- (۴)- اقدامات باید برای هرچه سریعتر جدا سازی آب صورت گیرد آب نه تنها باعث ناتوانی روغن می شود بلکه باعث زنگ زدگی قطعات آهنی نیز می شود .
- (۵)- دلیل معمول برای آنکه سانترفیوژ عملش را بخوبی انجام ندهد پایین بودن درجه حرارت است که روغن باید تا 80°C گرم شود و بعد سانترفیوژ شود .
- (۶)- همیشه امکان ندارد که بتوان در مورد روغن با مشاهده آن اظهار نظر کرد لذا آنالیز و آزمایشات بر روی آن ضروری است .

ب - 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 الاینده های موجود در روغن .

۱- 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 مقادیری که 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 اینکه روغن صحیح در دستگاه مصرف شده .

خ-تایید تمیز کاری سیستم ها 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 هائی که (قبل از ورود به انبار) وارد کارخانه می شود.

۲- آزمایش روغن جهت بررسی ذرات فلزی

آزمایش روغن جهت بررسی ذرات فلزی موجود در روغن که با استفاده از تحلیل اسپکترومتری ذرات سائیده شده درون روغن و همچنین تعیین منابع آن که معمولا به کمک گرادیان مغناطیسی ذرات سائیده شده جدا سازی می شوند و اندازه های نسبی آنها تعیین می شود که می تواند در راستای جدی بودن خسارات 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 آنالیزو 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 رفع می گردد.

البته روغن از لحاظ شبکه های کریستالی و مولکولی نیز می تواند تحت آزمایش قرار گیرد تا وضعیت مناسب یا نامناسب آن از لحاظ شکست مولکولی و..... نیز مورد تحلیل قرار گیرد تا از عملکرد آن در حین کار مطمئن شد.

با استفاده از آزمایش ذرات فلزی موجود در روغن می توان به نتایج زیر رسید :

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

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

ج- تشخیص شدت مشکل ایجاد شده از طریق نرخ تغییرات بدست آمده از جواب آزمایشات .

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

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

ح- ضرورت انجام یک اقدام نگهداری و تعمیر

تکنیک های آزمایش ذرات سائیده شده در روغن

۱- اسپکتروسکوپی جذب اتمی

در این روش نمونه روغن در شعله سوزانده می شود و باریکه های پرتوهای با طول موج های مشخص هر المان به شعله تابانده می شود که میزان نوری که جذب می شود مبین مقدار آن المان (فلز) در نمونه روغن است . کاربرد آن برای جستجوی فلزاتی است که ریزتر از ۱۵ میکرون باشند و دقت آن در رسوب های کمتر از 5PPM است .

۲- 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) مستقیماً 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.

۳- فروگرافی

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 آن برای توزیع اندازه ذرات است که حکایت از جدی بودن سایش دارد و همچنین شکل ذرات نیز تعیین کننده نوع مکانیزم سایش است.

۴- رسوب دهنده دورانی ذرات

در این روش نمونه روغن بر روی درپوش شیشه ای مغناطیسی دوار قرار داده می شود که این عمل باعث رسوب ذرات سائیده شده بصورت 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.

۵- فلورسنت پرتو ایکس

هنگامی که نمونه در معرض با ریکه رادیو اکتیو قرار داده می شود باعث می شود پرتو ایکس بامشخصه ماده موجود در داخل روغن انتشار یابد که در این روش اکثر فلزات یافت می شوند ولی دقت آن در حد ۱5PPM است.

۶- اسپکتروسکوپی انتشاری (پلاسمایی - القایی)

در این روش نمونه روغن داخل یک مشعل پلازما ارگون 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 ۱ppb است.

۷- مشاهده میکروسکوپی

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

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 ان پرداخته می شود:

۱- فلزات فرسایشی

که مهمترین هدف آزمایش روغن است و شامل عناصری نظیر آهن (Fe)، کروم (Cr)، آلومینیوم (Al)، مس (Cu)، سرب (Pb)، قلع (Sn)، نیکل (Ni)، نقره (Ag).
برای راهنمایی و تحلیل ذره هایی که در نمونه روغن یافت شده اند جدول زیر کمک موثری به اینکه چه عناصری در چه قطعاتی یافت می شوند خواهد کرد.

آلومینیوم	در فاصله اندازه ها (Spacer)، شمیذا، واشرها، پیستون های موتورهای رفت و برگشتی، قفسه یاتاقانها، پوسته موتورهای احتراق داخلی، سطوح پاره ای از یاتاقانهای لغزشی و ...
آنتیموان	در آلیاژهای یاتاقانهای لغزشی، گریس ها
باریم	افزودنی های روغن، گریس، آب بندها
بر	در آب بندها، گرد و خاک، آب، مبردها
کلسیم	افزو دنی های روغنی، گریس، پاره ای از یاتاقانهای لغزشی
کروم	در آب بندها، قفسه های یاتاقانهای غلتشی (Cage)، رینگ های پیستون، دیواره سیلندرهای موتورهای احتراق داخلی، بازدارنده کرومات برای ضد خوردگی
مس	یاتاقانهای کف گرد، بوش ها، کولرهای روغن، چرخ دنده ها، ولوها، برش ها، واشرها، رادیاتورهای مسی

آهن	دیواره های سیلندرها ، راهنمای ولوها ، بازوها ، رینگ های پیستون ، یاتاقانهای غلتشی ، فنرها ، چرخ دنده ها ، واشرهای قفلی - مهره ها قفلی ، پین ها ، پیچ و مهره ها.....
سرب	در آستر یاتاقانهای لغزشی (معمولا همراه با مقدار زیادی مس یا آلومینیوم) ، آب بندها ، لحیم ها ، رنگ ها ، گریس ها و.....که گاه با سرب موجود در سوخت می تواند اشتباه گرفته شود.
منگنز	در ولوها ، فن ها ، سیستم های تهویه (دمنده یا مکنده)
مولیبدن	در رینگ های پیستون (پاره ای از موتورهای دیزلی) ، موتورهای الکتریکی ، افزودنی های روغن
نیکل	فلزات یاتاقانهای لغزشی ، پره های توربین
فسفر	افزودنی های روغن ، نشتی مبردها
سیلیکون	گرد و خاک ، افزودنی های ضد کف در روغن نو (در پاره ای از روغن ها)
نقره	قفسه های یاتاقان ها ، پاره ای پمپ ها ، دندانه های چرخ دنده ها ، شافت ها ، یاتاقان ها
سدیم	نشتی مبرد ، گریس ، تجهیزات دریایی (آب دریا)
قلع	فلزات استری یاتاقان لغزشی ، برش های فلزی ، گژن پین ، پیستون ها ، رینگ ها ، آب بندهای روغن ، لحیم
تیتانیوم	پره های کمپرسورها ، موتورهای هوایی ، پاره ای فنرها
روی	در قطعات برنجی ، کاسه نمد ها ، گریس ها ، افزودنی های روغن

لازم به توضیح است که مس عموماً به شکل یک آلیاژ بصورت برنز ظاهر می شود و همراه با قلع (در برنز (وروی (در برنج) است .

۲- فلزاتی که در خود روغن وجود دارند

و به عنوان افزودنی های روغن مورد استفاده قرار می گیرند شامل روی (Zn) فسفر (P) کلسیم (Ca) منیزیم (Mn) باریوم (Ba) مولیبدن (Mo) که با انجام آزمایش روی روغن کار نکرده (نو) مشخص می شود که مربوط به روغن است یا ذرات فرسایشی

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

۴- ذرات ناشی از مواد آلاینده و فلزات فرسایشی مثل وانادیوم (v)

۵- ذرات ناشی از خنک کننده ها و افزودنی ها مثل سدیم (Na) و بر (B)

که البته منابع یاد شده فوق فقط به عنوان یک مرجع کلی است و برای بدست آوردن جزییات بیشتر باید به نقشه ها اجرایی دستگاه ها و ماشین الات 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 .

مواد افزودنی (Additive)

موادافزودنی به روغن برای بهبود دادن شرایط روغن مورد استفاده قرار می گیرد و دارای انواع کاربرد های مختلفی است مثلاً مواد افزودنی ضد کف ،مواد افزودنی ضد اکسیداسیون ،مواد افزودنی ضد سایش ،مواد افزودنی بهبود دهنده ویسکوزیته و ویسکوزینه اندیکس ،مواد افزودنی ضد زنگ مواد افزودنی خنثی کننده اسید هاوبازها ، مواد افزودنی پاک کننده و ... که این افزودنی ها شامل مواد پلی مری و فلزی هستند که با انجام آزمایشات روی نمونه روغن واندازه گیری آنها و روند تغییرات آنها می توان پی به شرایط روغن برد . وقتی یک روغن خواص لازمه خود را از دست می دهد(موادافزودنی ان کارائی لازم رانداشته باشند) روغن دیگر قابل استفاده نیست و باید تعویض شود که با استفاده از آزمایش و آنالیز روغن می توان با تعویض به موقع روغن از تعویض های بی رویه و افزایش هزینه ها ممانعت به عمل آورده و باعث صرفه جوئی در مصرف روغن شد .

البته با اندازه گیری بعضی از خواص روغن هم می توان تاحدی راجع به آن اطلاعات بدست آورد مثلاً بالا رفتن اسیدیتی روغن ناشی از اکسیداسیون آن است که به دلیل کارکرد روغن در دمای بالا یا در معرض هوا بودن آن بوجود می آید باعث افزایش ویسکوزیته روغن می شود همچنین تشکیل لجن و رسوبات روی قطعات باعث تیره شدن رنگ روغن و همچنین افزایش اسیدی و ویسکوزیته روغن می شود مبین عملکرد نامناسب روغن درحین کار است . البته روغن باید در حین کار تغییر رنگ و خواص بدهد و روغنی که تغییر خواص ندهد مبین این است که وظایف محوله به آن را را بخوبی انجام نمی دهد .

وظایف روغن های روان کننده :

۱- ایجاد یکفیلیم مایع بین دوسطح وانجام روانکاری بین قطعات متحرک

۲- جذب و انتقال حرارت

۳- شستشو و تمیز کردن قطعات

۴- انتقال ذرات سایشی

۵- کم کردن اثرات ضربه قطعات بر یکدیگر

۶- آب بندی بین فواصل

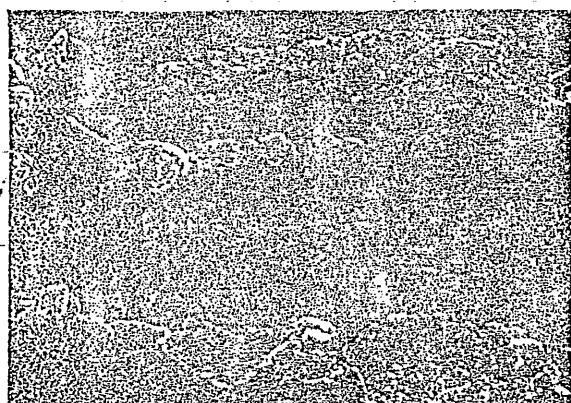
که بسته به نوع کاربرد روغن در دستگاه اعم از روغن سیستم هیدرولیک ، روغن انتقال حرارت ، روغن دنده ، روغن روانکار ، روغن موتور ، روغن سیل کننده و ... روغن باید بتواند وظیفه اصلی خود را به نحو احسن انجام دهد که مستلزم تغییر خواص الزامی درحین کار می شود . اگر روغن تمام مواد پاک کننده اش را از دست بدهد دیگر قادر به تمیزکاری سطوح رانداشته و برای شرایطی که نیاز به تمیزکاری از اهمیت ویژه ای برخوردار است قابل استفاده نخواهد بود یا به عبارت دیگر یکی از وظایفش را انجام نمی دهد و باید آن را تعویض کرد .

مشخصه های فیزیکی ذرات سائیده شده :

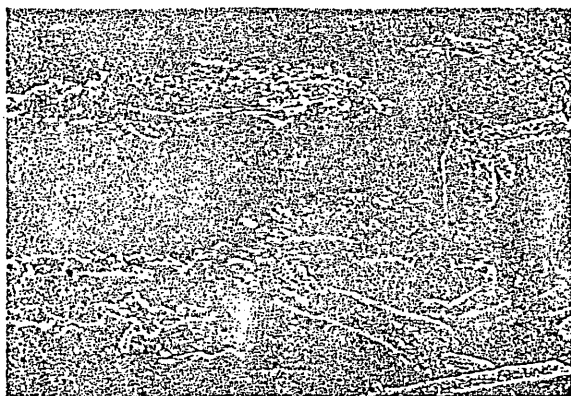
همانطور که قبلا نیز توضیح داده شد اکثر آزمایشات روی روغن برای شناسایی عیوب احتمالی است که پس از شناسایی نوع ذرات پارامتر مهم شناسایی مشخصه های فیزیکی ذرات از لحاظ ، سائز ، شکل و خواص آن برای تحلیل روی روغن است که البته در آزمایشگاههای آنالیز روغن اطلس های زیادی وجود دارد که مشخصه های فیزیکی ذرات همراه با علت های سائش در آنها به تصویر کشیده شده و بواقعی می توان نمونه ها را با یکی از آنها تطبیق داده و علت سائش را شناسایی کرد ولی به طور نمونه نیز چندین مورد از این مشخصه ها در شکل زیر ارائه شده است .

سائش لغزشی طبیعی

ذرات طبیعی هستند که حاصل سائش خوش خیم سطوح لغزنده بر روی هم هستند این ذرات



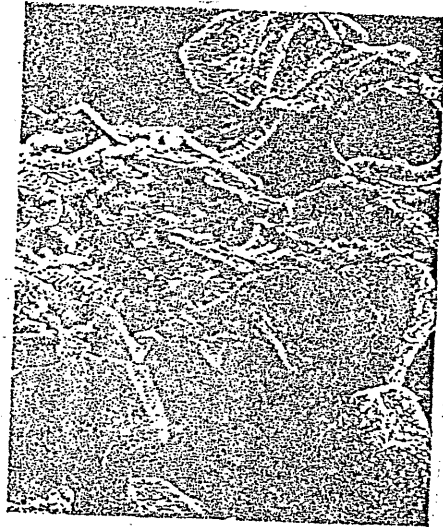
به شکل صفحات مسطح و کوچکی اند که بسیار نرم هستند. معمولا سطوح لغزنده متقابل دارای سختی یکسانی هستند و بطور کلی و عموما حداکثر اندازه این ذرات 15 میکرون است .



ذرات سائیده شده ناشی از کنده شدن قطعاتی است که سطح آنها ماشینکاری 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

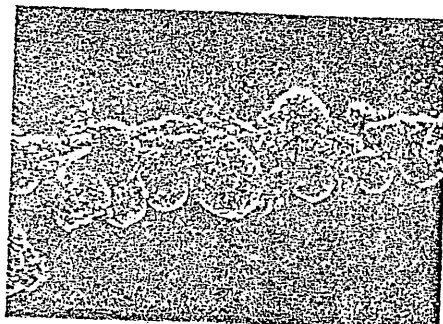
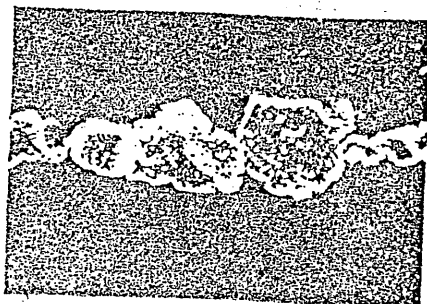
و غالبا اندازه آنها طولی معادل 50 میکرون است .

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 که در سطح 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 مطلب را ایجاد کند گستره اندازه ذرات ممکن است 2-5 میکرون پهنا 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 ریز در مراحل اولیه تشکیل می شوند که در حین عمل ورقه شدن خیلی ریز 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

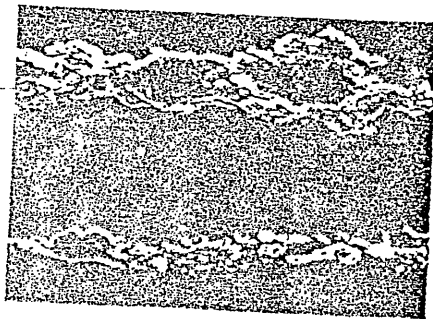
در رابطه با خستگی یاتاقانها غلتشی است که در یاتاقان ایجاد ترک های ناشی از خستگی می کنند. کره ها معمولا دارای قطر کمتر از 3 میکرون هستند.



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.

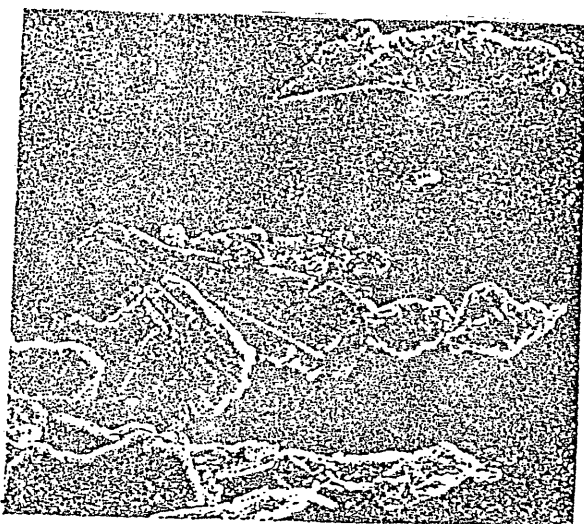
ترکیب غلتش و لغزش (در چرخ دنده ها)

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 یاتاقانها دارند. ذرات ممکن است دارای نسبت بزرگترین اندازه به ضخامت بین ۴ به ۱ تا ۱۰ به ۱ داشته 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 کاملا مشهودند.



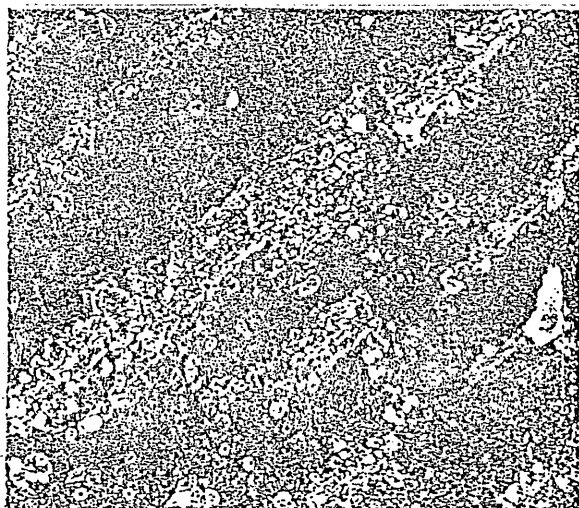
سایش لغزشی پیش رونده

ذرات سایش ناشی از لغزش پیش رونده دارای گستره اندازه ۲۰ میکرون و بزرگتر است. 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. شن تحت نور پلاریزه و وضعیت نوری فعالی دارد.



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 وجداکردن 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 انالیز کننده باید علاوه بر اطلاعات روغن نسبت به دستگاهی هم که نمونه روغن ازان گرفته شده اطلاعات کافی داشته باشد تا نتایج ثمر بخش باشد.

فصل پنجم

آنالیز صوت

ارتعاشات صوتی

یکی دیگر از پارامترهائی که در سیستم های Condition Monitoring برای تعیین وضعیت دستگاه ها و ماشین آلات مورد استفاده قرار می گیرد سروصدای آن است که مبین سالم یا ناسالم بودن آن است ارتعاشات صوتی است که دارای مشخصاتی مشابه با ارتعاشات مکانیکی است و می توان از آن در عیب یابی ماشین استفاده کرد. که به دلیل بالا بودن هزینه های آن و به دلیل این که نتایج حاصل از آن براحتی تحت تاثیر عوامل خارجی مزاحم قرار می گیرد تا بحال در صنعت کمتر مورد استفاده قرار گرفته است ولی در طی سال های گذشته کم کم جای خود را باز نموده است .

ارتعاشات صوتی قادرند اطلاعات تکمیلی درباره وضعیت کلی ماشین و اجزاء مستقل آنرا فراهم سازند. بنابراین بسیار مناسب است که اندازه گیری صوت ماشین آلات نیز انجام پذیرد. ارتعاشات صوتی در جامدات ، مایعات و گازها 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 ارتعاش می کند، 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 از اندازه گیری و ارزیابی صدا :

هدف از اندازه گیری صوت بطور 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 روشهای 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 ماشینها) برای بدست آوردن اطلاعاتی دربارهٔ 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 کاربرد دارد که از اهمیت زیادی برخوردار است

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 انسانها و عکس العمل انسانها به آن بنا گذاشته شده اند که مهمترین متغیر اندازه گیری مناسب، حساس بودن گوش انسان به ارتعاش است که این همان فشار صوت است.

تمام اثرات صوت روی انسانها ، در نتیجهٔ فشار صوت است. فشار صوت یک متغیر قابل اندازه گیری برای ارتعاش مولکولهای 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) تا 200pa را دارد. صوت با شدت $20 \mu\text{pa}$ تقریباً باعث ارتعاش پردهٔ 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 آنجائیکه مقادیر اندازه گیری شده فشار صوت برحسب واحد پاسکال خیلی بزرگ و غیرعادی است، به همین دلیل از مواحد 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 .

$$L_p = 20 \log \frac{P}{P_0}$$

که :

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.

مقدار مطلق بر حسب Pa	تبدیل شده بر حسب dB
$20 \mu\text{pa}$	0 dB
$200 \mu\text{pa}$	20 dB
$2000 \mu\text{pa}$	40 dB
$20/000 \mu\text{pa}$	60 dB
.	.
.	.
200 pa	140 dB

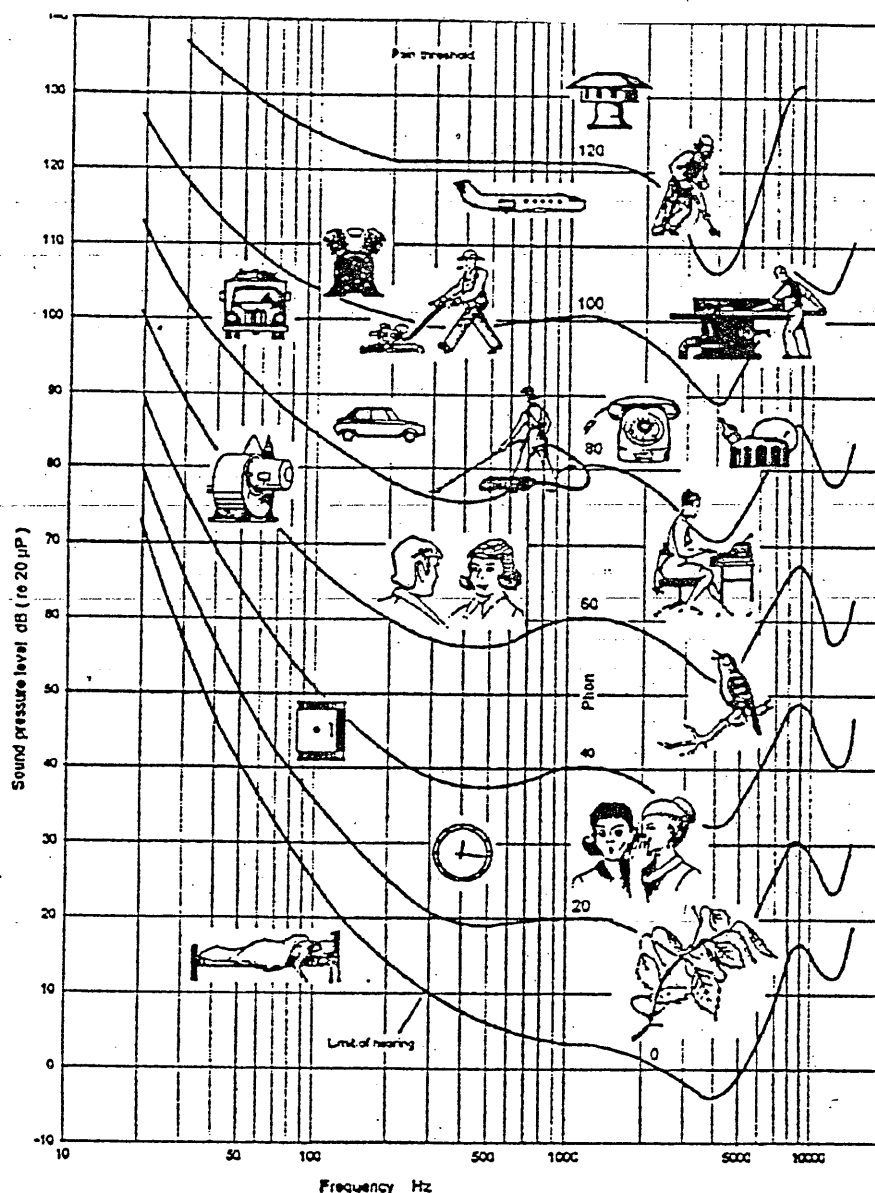
رابطه بین مقدار مطلق فشار صوت و مقدار dB

توزین فرکانس فشار صوت Frequency Assesment

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 تستهای مقایسه ای با سیگنال استاندارد شده، بوسیله گروهی از نمونه های مورد تست می توانند تعیین گردند. برای معادل سازی بین میزان بلندی صدا بر حسب Phon و میزان فشار صوت بر حسب dB، سیگنالی با فرکانس 1000 Hz و استاندارد شده انتخاب می شود.

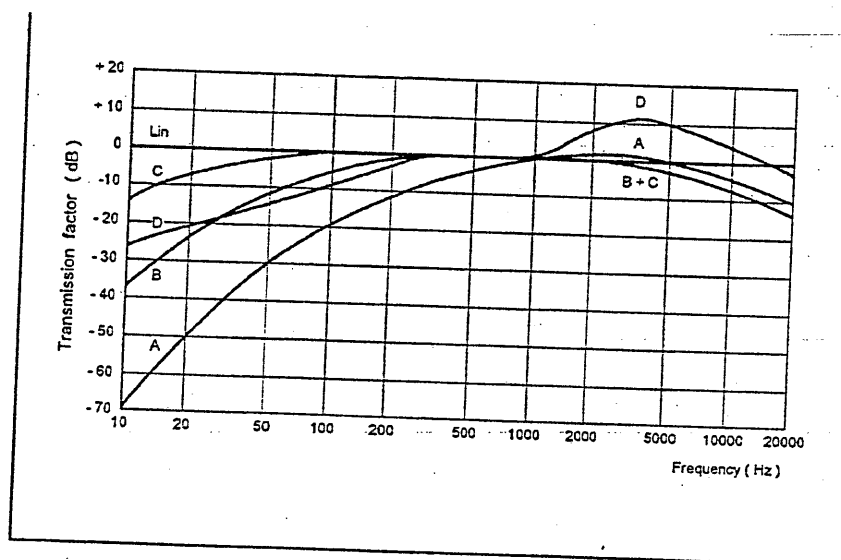
در شکل زیر رابطه بین میزان بلندی و فشار صوت در کل محدوده فرکانس شنوایی انسان نشان داده شده است.



بیشترین حساسیت گوش انسان بین ۲ تا ۵ KHZ است. در فرکانسهای بالا و پائین این محدوده، حساسیت گوش کاهش پیدامی کند. کل محدوده شنوایی گوش افراد متوسط ۱۶ HZ تا ۱۶ KHZ است. از نظر فنی برای شبیه سازی اثر صدا روی انسانها، سیگنال خطی توزین نشده حاصل از سنسور فشار صوت (میکروفن) را بایستی 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 می شود.

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 [۴۳].

منحنی های توزین اندازه گیری فشار صوت با فیلترهای توزین A,B,C,D منحنی خطی توزین نشده
که در شکل فوق منحنی های توزین عبارتند از:

A برای میزان فشار صوت پایین تا ۵۵ dB

B برای میزان فشار صوت متوسط تا ۸۵ dB

C برای میزان فشار صوت بالای ۸۵ dB

D مخصوصاً برای اندازه گیری سروصدای هواپیما در محدوده تقریباً ۲-۸ 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 پرانتز 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 بعنوان متغیر اندازه گیری بکار می برند.

شبکه سرعت پاسخ دستگاه Time Weighting

گوش انسان همیشه اثرات کوتاه مدت فشار صوت را بصورت 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 آهسته با مجموع زمانی ۱S ، انجام قرائتهای خوب از حدود متغیر را امکان پذیر می کند و تغییرات کوچک را میانگین گیری می کند. این روش، ارزیابی کردن اندازه گیریها در درازمدت ممکن می کند.

شبکه سرعت پاسخ سریع (با مجموع زمانی ۱۲۵ms) برای زمانی که تغییرات در حدود فشار صوت با تکرار سریع اتفاق می افتند بکار می رود.

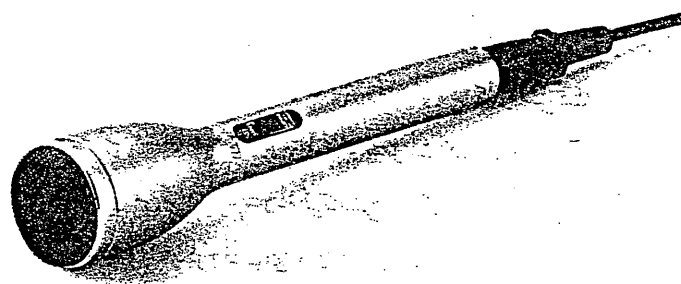
شبکه سرعت پاسخ لحظه ای برای نمایش دادن صداهای بسیار کوتاه مدت و ناگهانی بکار می رود (تقریباً زیر ۱۰۰ms)

در عمل اکثر اندازه گیریهای فشار صوت با حالتهای 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 L_{eq} را محاسبه کرد.

زمانیکه میزان تغییرات حداکثر تا ۵ dB باشد، مقدار میانگین در وسط محدوده تغییرات قرار می گیرد .
اگر میزان تغییرات حداکثر تا ۱۰ dB باشد ، مقدار میانگین نزدیک $\frac{1}{3}$ محدوده تغییرات و زیر بیشترین مقدار قرار می گیرد.

میکروفون

میکروفن بعنوان 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.



مثالی از یک میکروفون نوع الکتره

انواع میکروفونها

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).

اصل الکترواستاتیک	اصل پیزوالکتریک	اصل الکترو دینامیک
میکروفون الکتره	میکروفون سرامیکی	میکروفون با سیم پیچ متحرک

انواع ساختمان میکروفونها

۱) میکروفونهای دینامیکی

این نوع میکروفون هامتعلق به سنسورهای گروه الکترو دینامیکی هستند که اصول کار آنها در توضیحات مربوط به سنسورهای سرعت سنج بیان شده است.

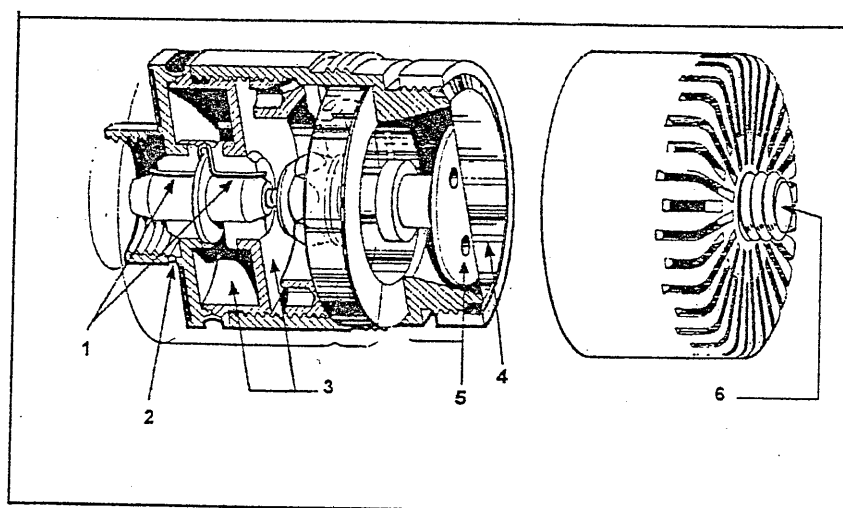
که یک عدد سیم پیچ بصورت مکانیکی به دیافراگم متصل شده است و وقتی سیم پیچ در میدان مغناطیسی قرار می گیرد ، وادار به ارتعاش شده و ولتاژی در آن القاء می شود. تغییرات ولتاژ در سیم پیچ به میزان حرکت آن بستگی دارد و بنابراین معرف صدائی است که باعث ارتعاش دیافراگم شده است.

معایب این میکروفونها عبارت است از:

الف- اندازه بزرگ

ب- محدوده فرکانسی محدود

ت- غیر خطی بودن آنهاست



ساختمان یک میکروفون الکترواستاتیک [۳۳]

۱.لوله موئی^(۳) برای متعادل سازی فشار ۲.سوراخ متعادل سازی فشار^(۴) ۳.فضای باز ۴.صفحات فتری ۵.

الکترو دپشت سری ۶.شبکه محافظ

۲) میکروفونهای سرامیکی

این میکروفونها بر اساس اصل پیزوالکتریک کار می کنند. در اینجا صفحات فنی 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. محدوده فرکانسی بزرگ و پاسخ فرکانسی خطی بهتر در این میکروفونها در مقایسه با میکروفونهای دینامیکی ، با معایبی چون حساسیت به لرزش و حرکت ، (مثلا در قدم زدن) جبران می شود.

اصولا میکروفونهای با کیفیت بالا طبق یک اصل بصورت میکروفونهای الکترواستاتیک ساخته می شوند . در ساختمان این میکروفن ، ظرفیت یک خازن در اثر تغییر میزان فشار صوت ، تغییر می یابد.

۳) میکروفونهای 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.

زمانیکه صفحه در اثر صدا به ارتعاش در می آید یا بطور دقیق، زمانیکه 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 سوراخهایی ایجاد شده است . همچنین برای متعادل سازی فشار در بدنه میکروفن سوراخهای ریزی تعبیه شده است.

میکروفون الکتره

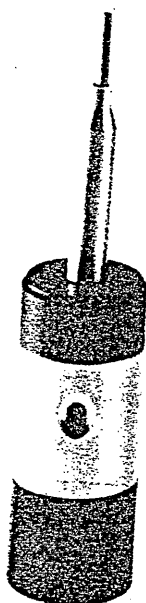
در این میکروفن نیازی به ولتاژ پلاریزاسیون نیست و بجای آن از یک فویل مخصوص الکترواستاتیکی پلاریزه شده در پشت الکتروود استفاده می شود . اساس کار این میکروفن مثل میکروفن خازنی بوده، اما در این میکروفن به ولتاژ پلاریزاسیون بیرونی نیازی نیست. میکروفنهای الکتره با حساسیت بالا ، محدوده

فرکانسی پهن و دقت خوب شناخته می شوند. این میکروفنها همیشه دارای یک پیش تقویت کننده جهت تبدیل امپدانس بالای خروجی میکروفن به امپدانس پائین برای وصل اتصال بدون مشکل به تجهیزات اندازه گیری می باشند.

در موقع اندازه گیری صوت بایستی تغییرات محیطی اثرگذار روی میکروفن را در نظر گرفت. میکروفنها به صداهاى رسیده از تمام جهت عکس العمل نشان می دهند و در حالت کلی دارای بعل کروی برای دریافت امواج صوتی می باشند.

کالیبراسیون

در کالیبراسیون تمام اثرات محیطی که باعث مخدوش شدن نتایج اندازه گیریها می شوند را در نظر گرفته می شوند. لذا بایستی کالیبراسیون را در محل اندازه گیری و تحت همان شرایط اندازه گیری انجام داد. ساده ترین و دقیق ترین روش، استفاده از یک کالیبراتور صوت است. این کالیبراتور به میکروفن 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.



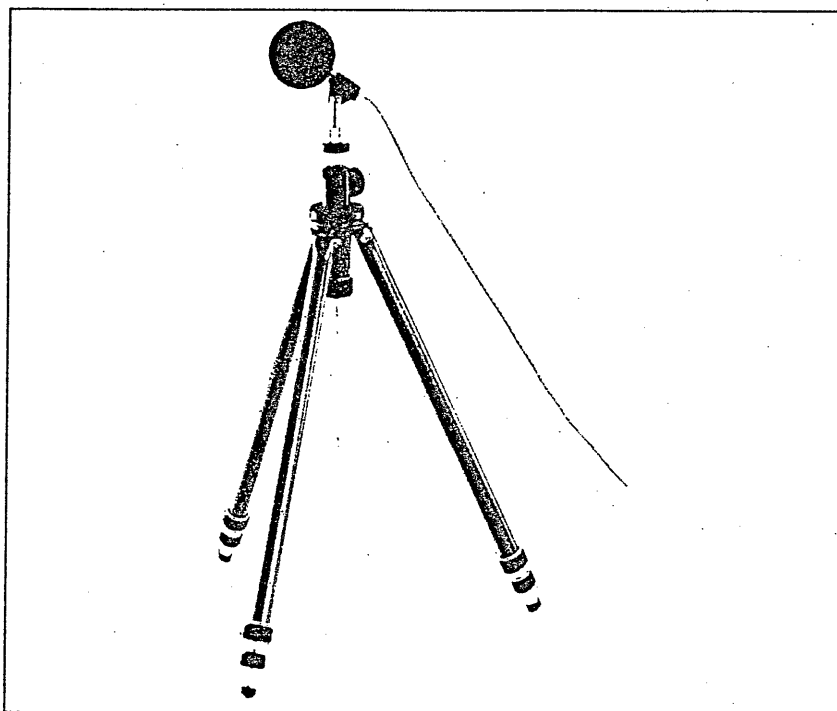
شکل ۷۸-۳: کالیبراتور صوت

اثرات	عامل مؤثر
صدای مزاحمی تولید می کند که با قرار دادن یک بادگیر ^(۱) روی یک میکروفن، کاهش می یابد.	باد
محدوده دمایی کارکرد (۵۰°C ~ -۱۰°C)، اما از تغییرات ناگهانی دما بایستی پرهیز کرد.	دما
حدا کثر رطوبت نسبی مجاز ۹۰٪ است. میکروفن را با یک پوشش در مقابل آسیبها حفاظت کنید.	رطوبت
می تواند چشم پوشی گردد.	فشار جوی
مهم نیست	میدانهای الکترومغناطیسی

اثر شرایط محیطی روی میکروفن.

متعلقات

استفاده از یک سه پایه که میکروفن بتوان روی آن با گیره یا پیچ بسته شود ، توصیه می گردد. وقتی که میکروفن در فضای باز بکار برده می شود توصیه می شود جهت حفاظت در مقابل باد از یک پوشش مخصوص باد بر روی میکروفن استفاده گردد . به هنگام وزش باد این عمل باعث کاهش اثر صدای مزاحم می گردد.



میکروفن با پوشش مخصوص باد و سه پایه

صدا بعنوان یک متغیر شاخص

در استفاده از صدا بعنوان یک متغیر شاخص ، بایستی بین دو روش کاربردی زیر فرق قائل شد.

- اندازه گیریهای صدا جهت ارزیابی اثر صدا روی افراد، محل کار ، محیط و غیره
- اندازه گیریهای صدا جهت ارزیابی صدای منتشر شده از منابع صوتی

۱- صدا بعنوان یک متغیر شاخص در اندازه گیریها بمنظور 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 گیریهای توصیه شده برای ارزیابی اثر صدا روی محیط عبارتند از:

DIN ۴۵۶۴۵/۲: برآورد یکنواخت از سطوح ارزیابی اثرات صداهای مزاحم روی محیط {۳۴}

VDI ۲۰۵۸: ارزیابی صداهای مزاحم عملیاتی {۳۵}

TALarm: اصول فنی برای حفاظت در مقابل صداهای مزاحم {۳۶}

UVV "Larm": اصول جلوگیری از صداهای مزاحم ناگهانی {۳۴}

دستور العمل محیط کار {۳۸}

سایر راهنماها عبارتند از: ISO ۱۹۹۶ و ISO ۱۹۹۹، ISO ۲۲۰۴ و ISO ۳۷۴۶ بعلاوه تعداد زیادی از راهنماها و دستورالعملهای ملی.

مثال: اندازه گیری و ارزیابی آلودگی صوتی یک ماشین ابزار

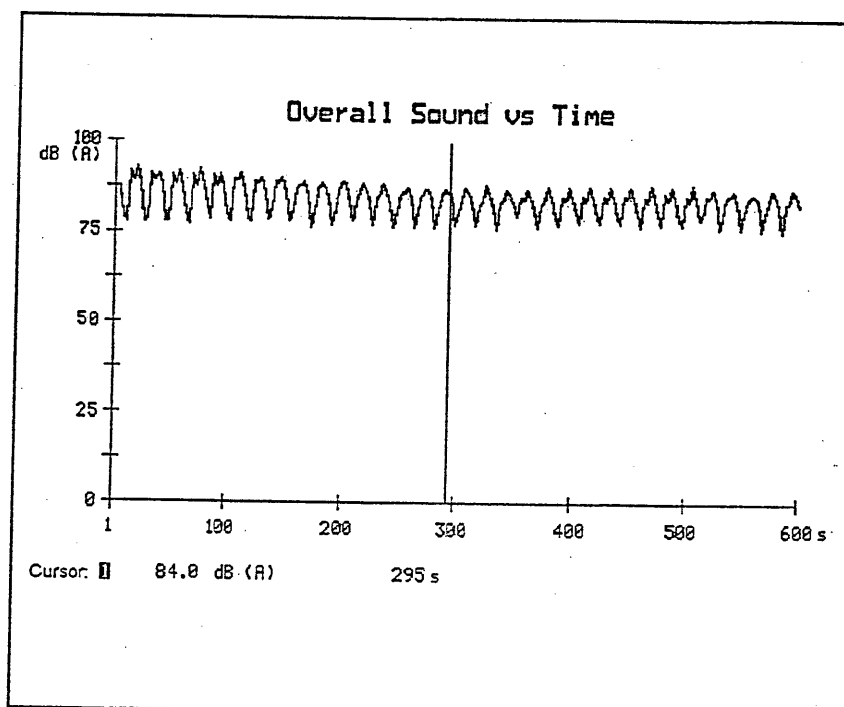
شرح کار

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 ماشینها جدا شده بود.

انجام اندازه گیریها

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. میکروفن بر اساس استاندارد VDI ۲۰۵۸، تنظیم گردید.

همیشه اندازه گیریها 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 سرو صدا در محل نیز مهم نیستند. برای اندازه گیری میزان فشار صوت بایستی از واحد اندازه گیری dB(A) استفاده گردد.



روند تغییرات میزان فشار صوت، اندازه گیری شده در محل کار

مقدار فشار صوت اندازه گیری شده، که میانگین فشار صوت در طول زمان اندازه گیری می باشد تقریباً 84 dB(A) بود.

ارزیابی

طبق استاندارد $\text{VDI } 2058$ ، چنانچه میزان فشار صوتی که با منحنی A برآورد می گردد، مقدارش بیشتر از 85 dB(A) در طول زمان باشد، باعث کاهش بازدهی افراد می گردد.

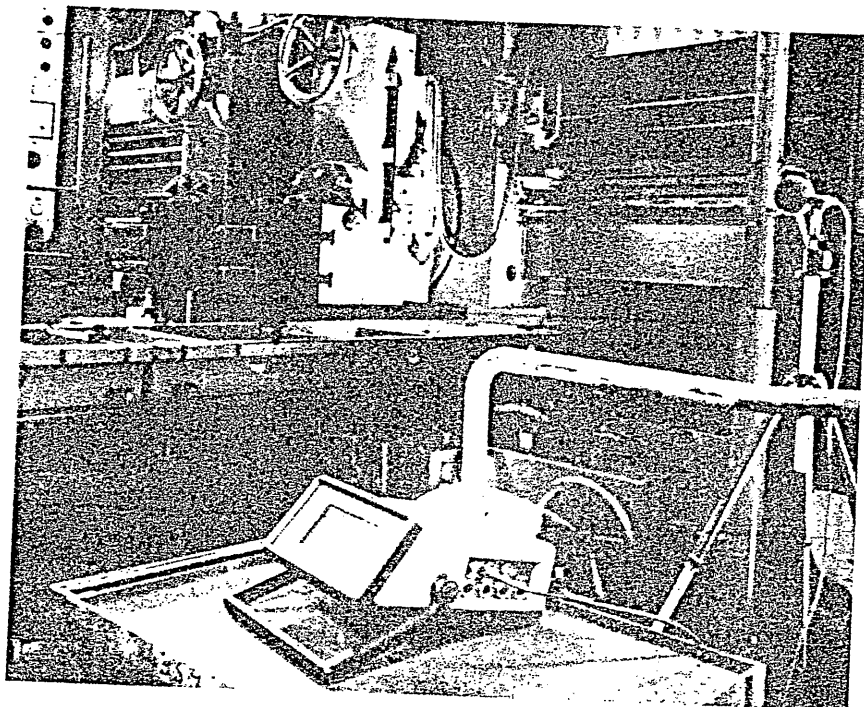
نتیجه

میزان سرو صدا 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 آرزایی	دستور العمل
حدا کثر مجاز	55dB(A) در محیطهایی که اکثر فعالیتها در آنجا تفریحی است	دستور العمل محیط کار ۱۵۴
حدا کثر مجاز	70dB(A) در نواحی که اکثر فعالیتها در آنجا اداری و نظیر آن است.	دستور العمل محیط کار ۱۵۴
حدا کثر مجاز	85dB(A) در تمامی محیطهایی که سایر فعالیتها بغیر از دو فعالیت ذکر شده در بالا، انجام می شوند.	دستور العمل محیط کار ۱۵۴
حدا کثر مجاز	90dB(A) تحت شرایط ویژه	دستور العمل محیط کار ۱۵۴
حدا کثر مجاز	155dB(A) تا تهای استراحت و غیره	دستور العمل محیط کار ۱۵۴
ناحیه پر صدا و شلوغ	85dB(A)	UVV "Lärm" 2 Abs. 1
ناحیه پر صدا و شلوغ ثبت بعنوان محوطه الزام آور	90dB(A)	UVV "Lärm" 7 Abs. 2

مقادیر حدی برای اندازه گیری آلودگی صوتی



اندازه گیری آلودگی صوتی ناشی از یک ماشین ابزار

۲- صدا بعنوان متغیر شاخص در اندازه گیریهای 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:

- مقادیر حدی مشخص شده توسط راهنماهای فنی یا رسمی برای نوع ماشین مورد نظر
- مقادیر توافق شده بین سازنده و خریدار ماشین
- مقادیر اندازه گیری شده قبلی برای تشخیص دادن تغییرات در وضعیت ماشین صورت پذیرد.

انتخاب پارامتر اندازه گیری و تنظیم میکروفن برای این نوع اندازه گیریها بایستی بر حسب نوع اندازه گیری مربوطه انجام شوند.

برای انجام اندازه گیری، بایستی میکروفن را به صورت مستقیم بطرف منبع صوتی گرفت. در هنگام بکار بردن میکروفن بایستی از یک سه پایه استفاده شود یا اینکه بایستی میکروفن را با دست در راستای بازو نگه داشت تا از هرگونه ایجاد لرزش توسط بدن جلوگیری شود.

اساساً بایستی در محللهائی عاری از سطوح انعکاسی قرار گرفت. میکروفن نیز بایستی $1/2$ تا $1/5$ متر بالاتر از کف قرار داده شود. زمانیکه میکروفن در فضای باز استفاده می شود، بایستی حداقل یک الی ۲ متر از سطوح انعکاسی ضعیف و حداقل $3/5$ متر از سطوح انعکاسی قوی فاصله داشته باشد. در زمان اندازه گیری در داخل اتاق، حداقل ۱ متر فاصله از دیوارها و $1/5$ متر فاصله از سطوح شیشه ای بایستی 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.

بایستی توجه گردد که در این نوع اندازه گیریها ، وجود منابع صوتی اضافی در همان محلی که منبع صوتی اصلی بررسی می گردد، روی اندازه گیریها تاثیر خواهند گذاشت . این اثر بعنوان نویز زمینه شناخته می شود.

برای بدست آوردن دیدگاه کلی از نویز زمینه بایستی دو اندازه گیری انجام داد:

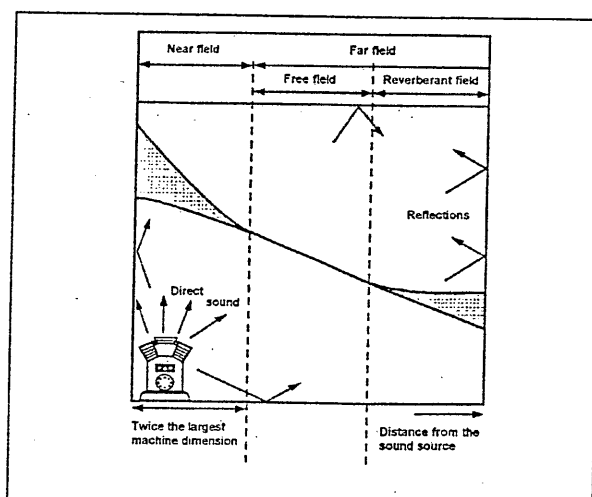
۱- اندازه گیری مقدار کلی صدا به همراه منبع صوتی که در حال بررسی می باشد.

۲- 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 بعنوان مقدار مشخصه بکار برد.

طبق یک قاعده در مورد اندازه گیری صداهای منتشر شده از منابع صوتی ، فاصله بین میکروفن و جسم مورد نظر، براساس دستورالعمل اندازه گیری تعریف می شود.

زمانیکه اندازه گیریها در فاصله بسیار نزدیک به منبع صوتی انجام می شوند ، یک تغییر کوچک در موقعیت میکروفن باعث تغییری بزرگ در میزان فشار صدا خواهد شد. به این ناحیه نزدیک به ماشین ، "میدان نزدیک" می گویند .



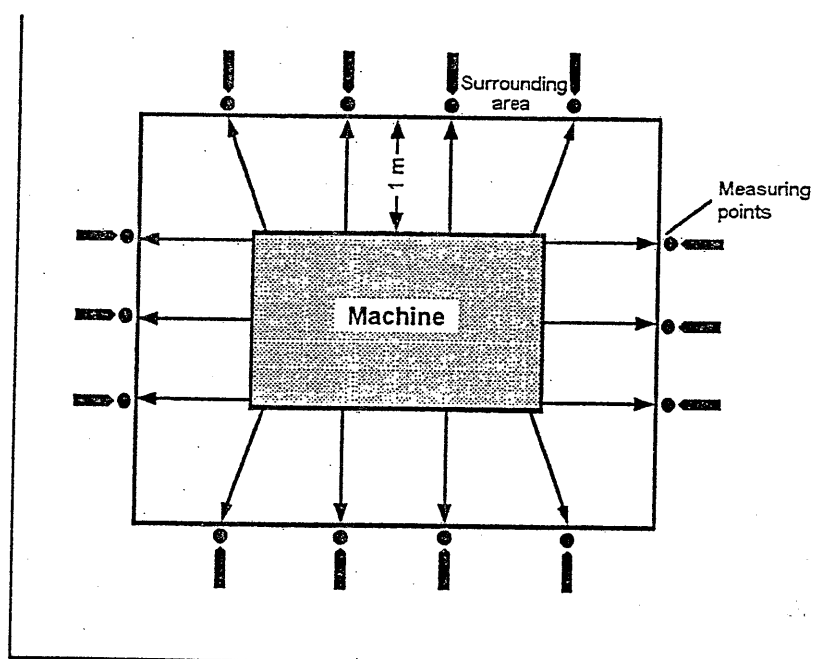
موقعیت ایده آل میکروفن برای اندازه گیری صداهای منتشر شده از ماشین [۳۲]

زمانیکه میکروفن در فاصله دوری از منبع صوتی قرار گیرد ف سایر منابع صوتی و یا انعکاسها می توانند اندازه گیریها را تحت تاثیر قرار دهند. این ناحیه بعنوان "میدان پرنعکاس" نامیده می شود.

زمانیکه محل قرار گرفتن میکروفن معلوم نباشد، قانون تجربی زیر می تواند مورد استفاده قرار گیرد:

حداکثر ابعاد جسم $\times 2$ > فاصله میکروفن 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 حالاتی، راهنماها و دستور العملها، اندازه گیری در نقاطی که حداقل ۱ متر از اطراف ماشین فاصله دارند را توصیه می کنند.



محل های مختلف برای اندازه گیری صدا های منتشر شده از ماشین

آنگاه، مقدار مشخصه، بوسیله مقادیر اندازه گیری شده و مشخصات صوتی ناحیه، محاسبه می شوند.

جزئیات بیشتر را می توان از راهنماهای جامع زیر بدست آورد؛

۱- اندازه گیری نویز در ماشین الات [۴۰] DIN ۴۵۶۳۵

۲- روشهای آماری برای تعیین و مشخص نمودن مقادیر نویز ماشینها و دستگاهها [۴۱]

DIN EN ۲۷۵۷۴

۳-مقادیر مشخصه صداهای منتشر شده برای منابع صوتی صنعتی برای انواع ماشینهای گوناگون [۴۲]

$$\begin{cases} VDI 2159 \\ VDI 3729 - 3737 \\ VDI 3739 - 3744 \end{cases}$$

۴-روشهای اندازه گیری صداهای منتشر شده از ماشینهای الکتریکی در حال کار [۴۳]

DIN EN ۲۱۶۸۰

مثال : اندازه گیری صدای منتشر شده از یک ماشین تست چرخش

شرح کار:

اندازه گیریهای مربوط به انجام تست پذیرش در ماشین تست چرخش سرعت بالا، برای چرخ آسیابها، کوپلینگها و روتورهای پره دار، جهت اطمینان از رعایت شدن توافق بعمل آمده بین سازنده و خریدار برای میزان صوت ۹۰ dB(A) در سرعت های تا ۶۲۰۰ rpm، انجام می گردند.

فصل هشتم

ضوابط

در این فصل جدول و منحنی های متعددی ارائه شده است که حدود مجاز ارتعاشات را برای دستگاه ها و ماشین آلات مختلف ارائه می نماید که بعضی از آنها مربوط به استانداردها و بعضی دیگر مربوط به کارخانجات یا مراجع معتبر دیگر است که می تواند مرجع مناسبی برای شروع کار و مقایسه ارتعاشات ماشین آلات با آن باشد

PROPOSED API 610, 8TH EDITION Dec-93

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 Overhung and Between Bearings Pumps

Item	Location of Vibration Measurement	
	Bearing Housing (see Figure 2-5A)	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)	$A_u < (5.2 \times 10^6)^{0.5} \frac{\mu\text{m}}{N} \text{ pk/pk}$ $((8000/N)^{0.5} \text{ mils pk/pk})$ 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).

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)	$A_u < (6.5 \times 10^6)^{0.5} \frac{\mu\text{m}}{N} \text{ pk/pk}$ $((10,000/N)^{0.5} \text{ mils pk/pk})$ 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).

Recommended Limits of Vibration Severity for Electric Motors
(After ISO IS 2373.⁶)

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.

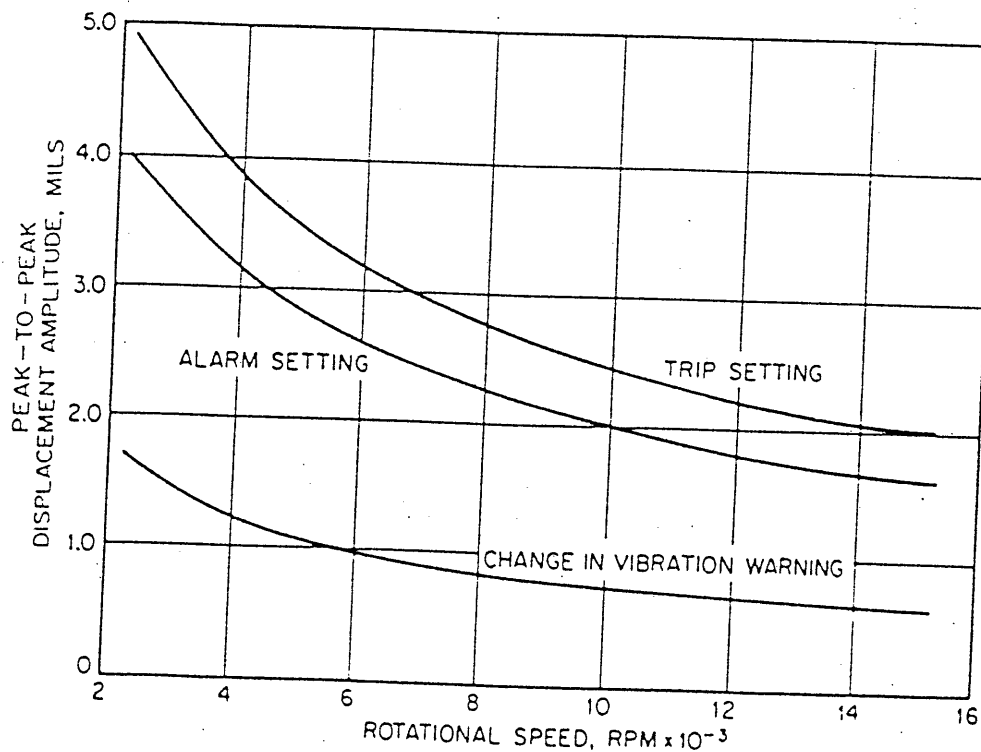
Maximum Permissible Vibration for Large Induction Motors
(After MEMA MG1-20.52.⁹)

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

(After API STD 541.¹¹)

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

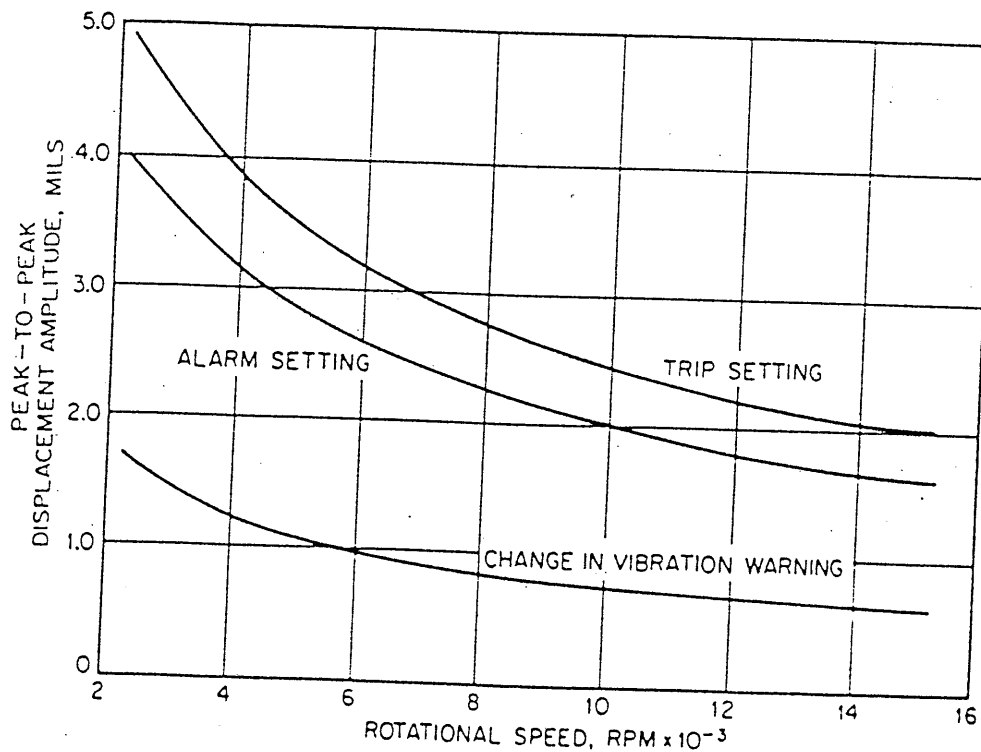


In-service vibration criteria for centrifugal compressors as a function of shaft speed.
(After Compressed Air and Gas Institute.²⁰)

Maximum Permissible Vibration for Form-wound Squirrel-cage Induction Motors

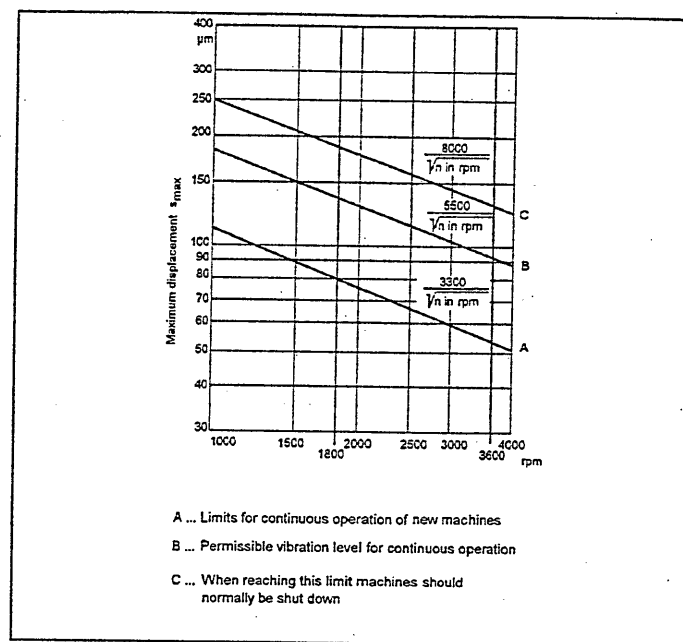
(After API STD 541.¹¹)

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

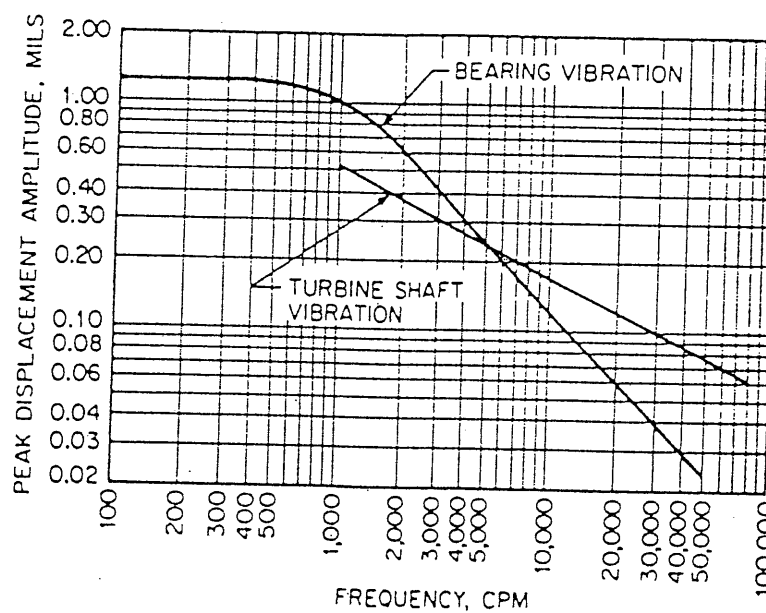


In-service vibration criteria for centrifugal compressors as a function of shaft speed.
(After Compressed Air and Gas Institute.²⁰)

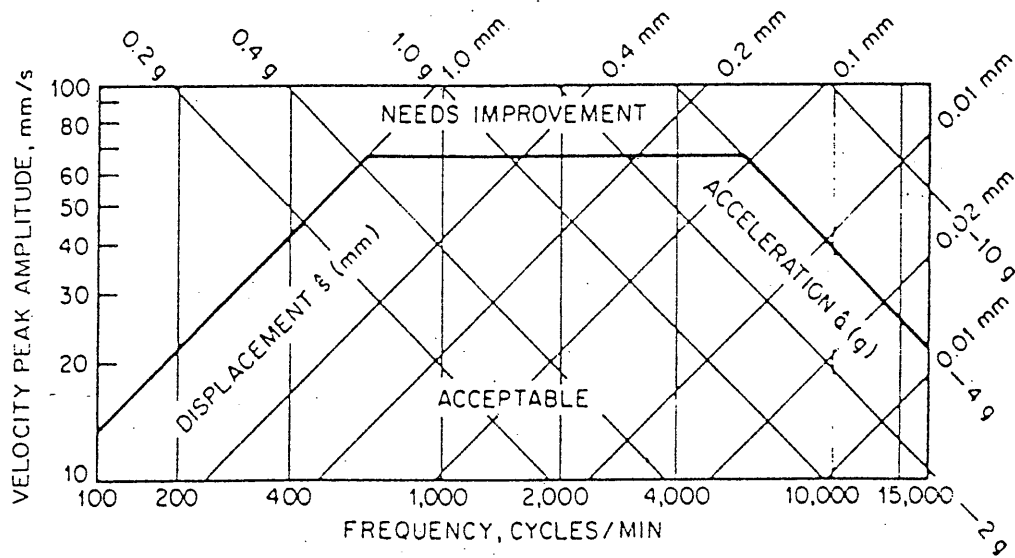
از راهنمای VDI ۲۰۵۹: ارتعاشات شفت توربینهای بخار



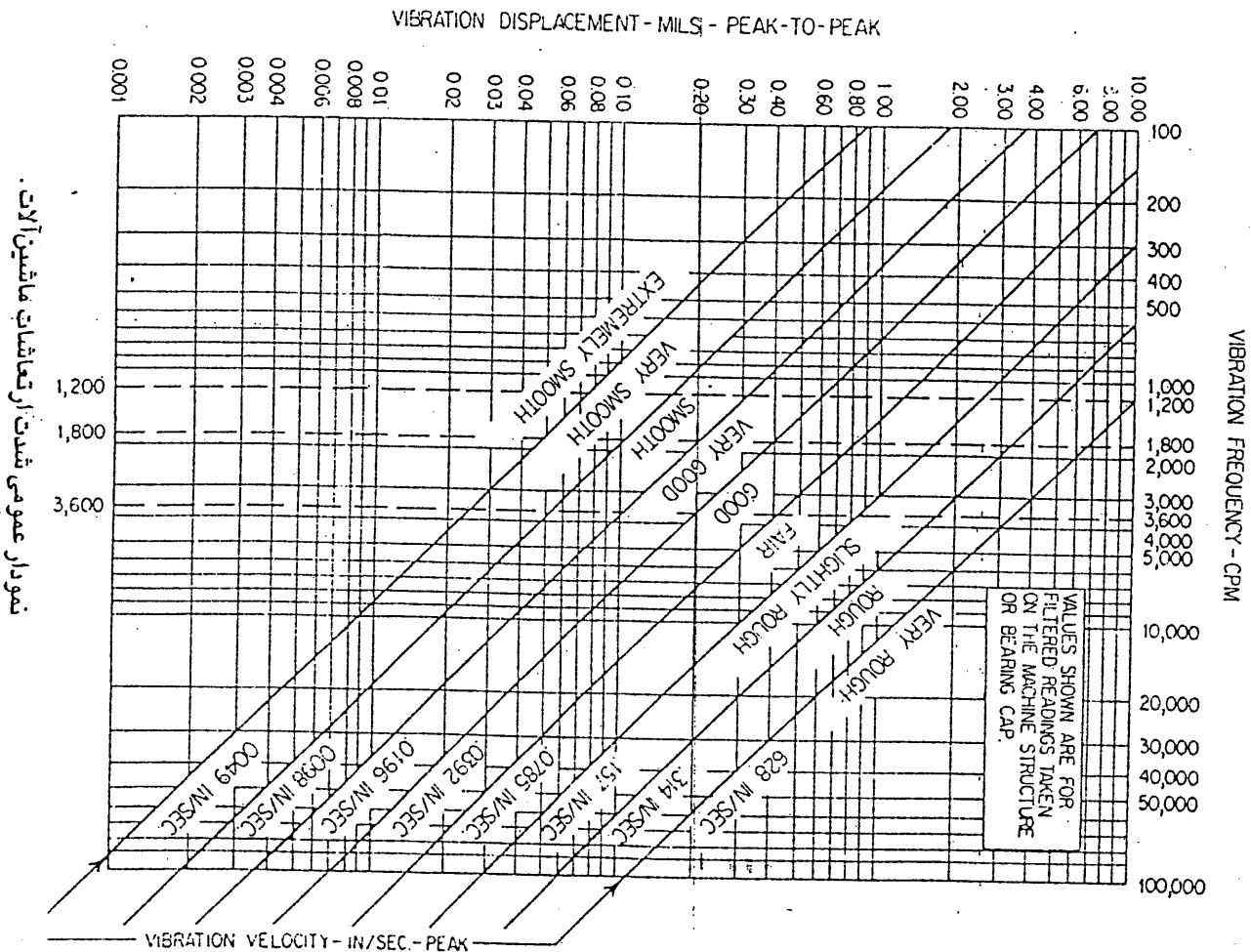
شکل (۳-۶۱): مقادیر حدی برای حداکثر جابجائی ارتعاشات نسبی شفت توربینهای بخار.



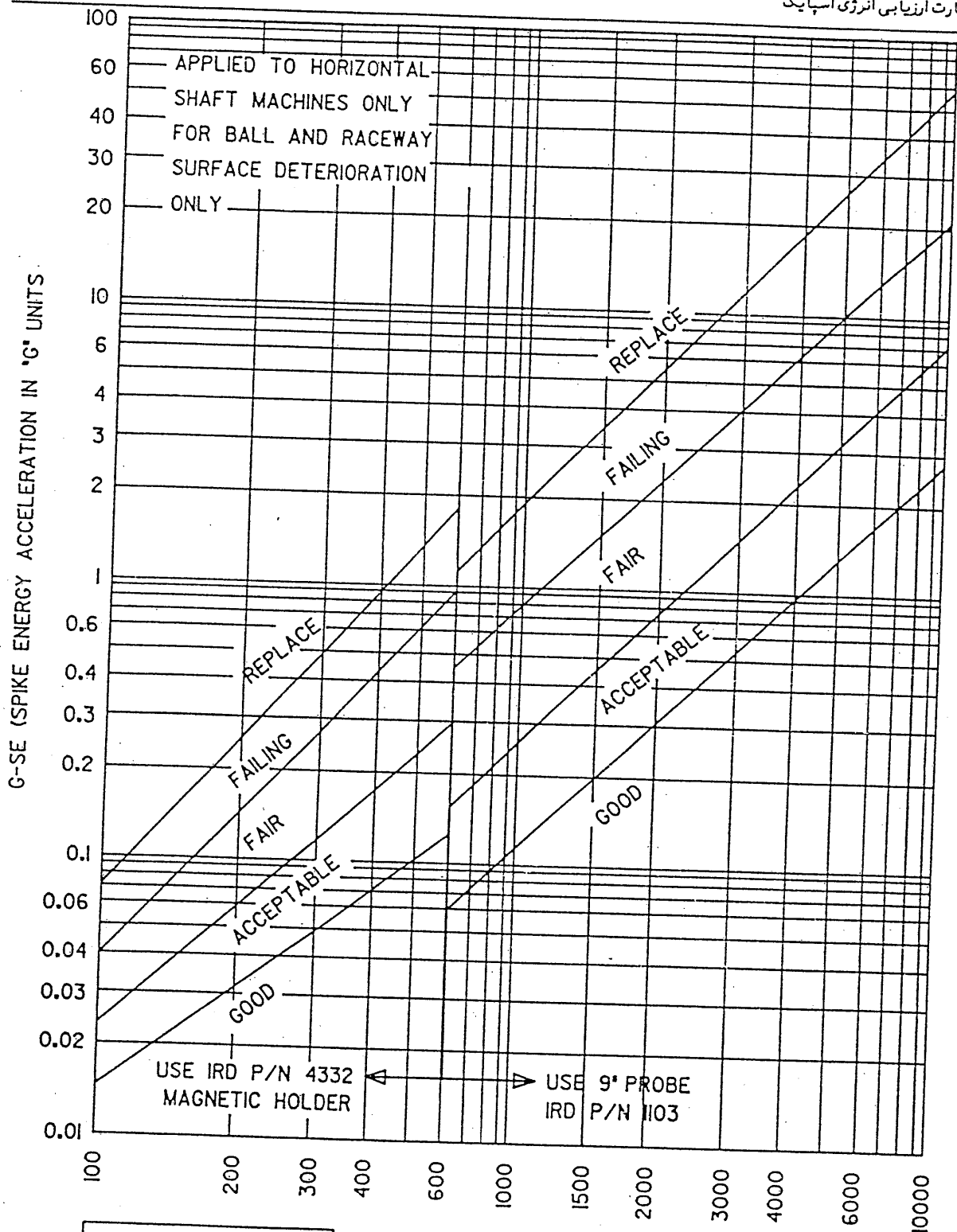
Maximum allowable machinery vibration on shipboard. (After MIL-STD-167-1)



Vibration severity limits for reciprocating machinery. (After VDI 2063.¹³)



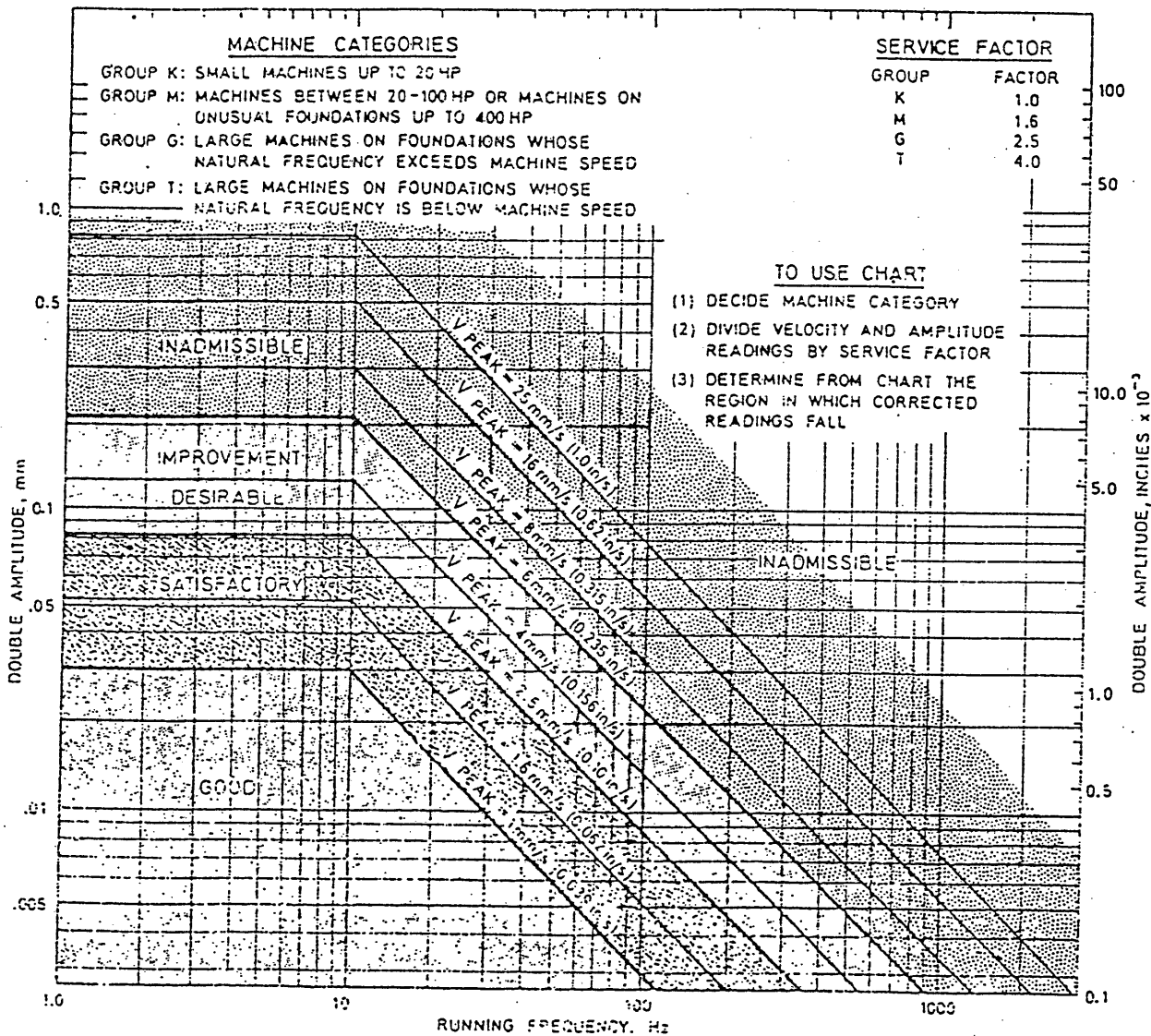
نمودار عمومی شدت ارتعاشات ماشین آلات



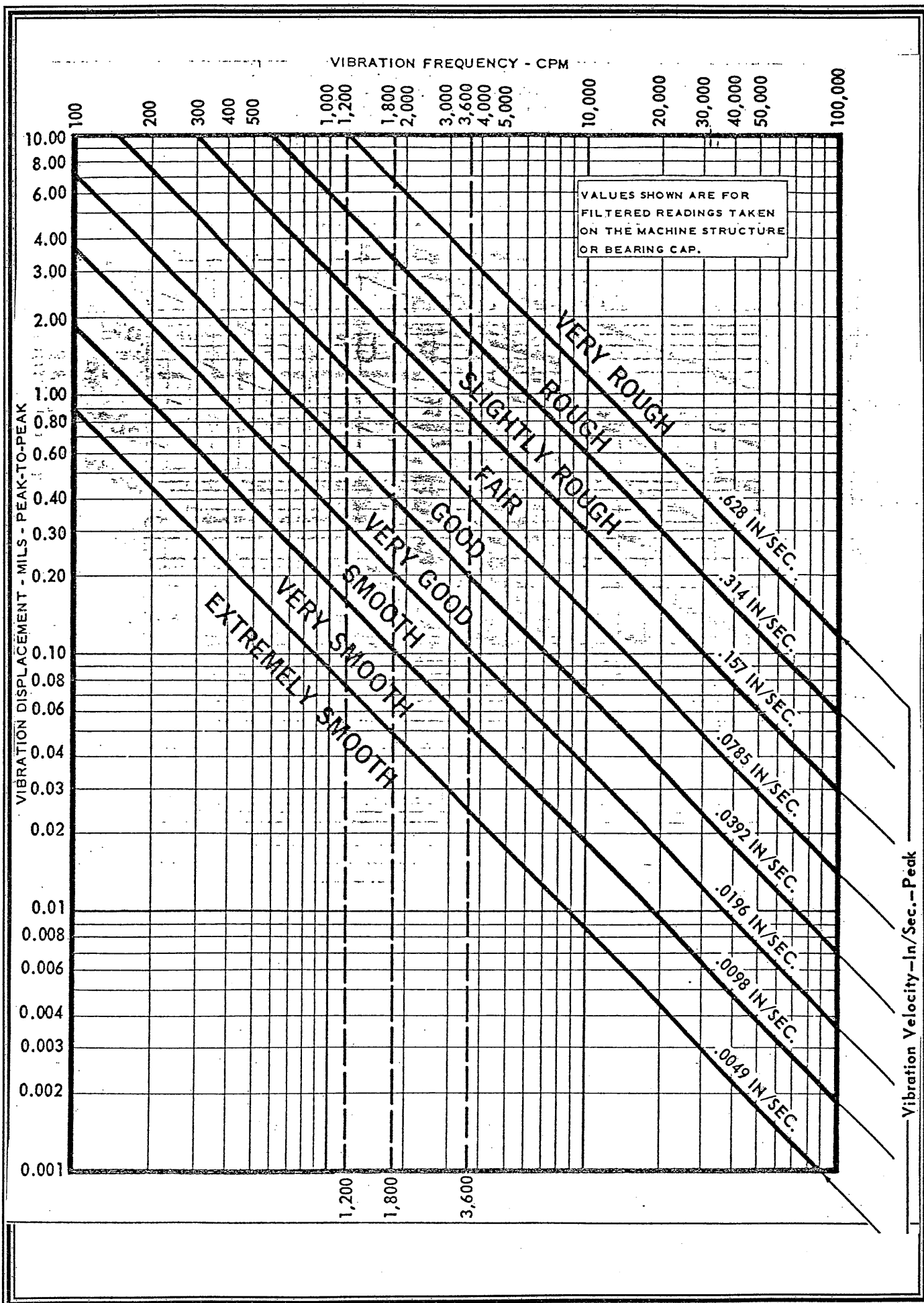
LOW SPEED DATA
SUBJECT TO FURTHER
FIELD EXPERIENCE

SHAFT RPM

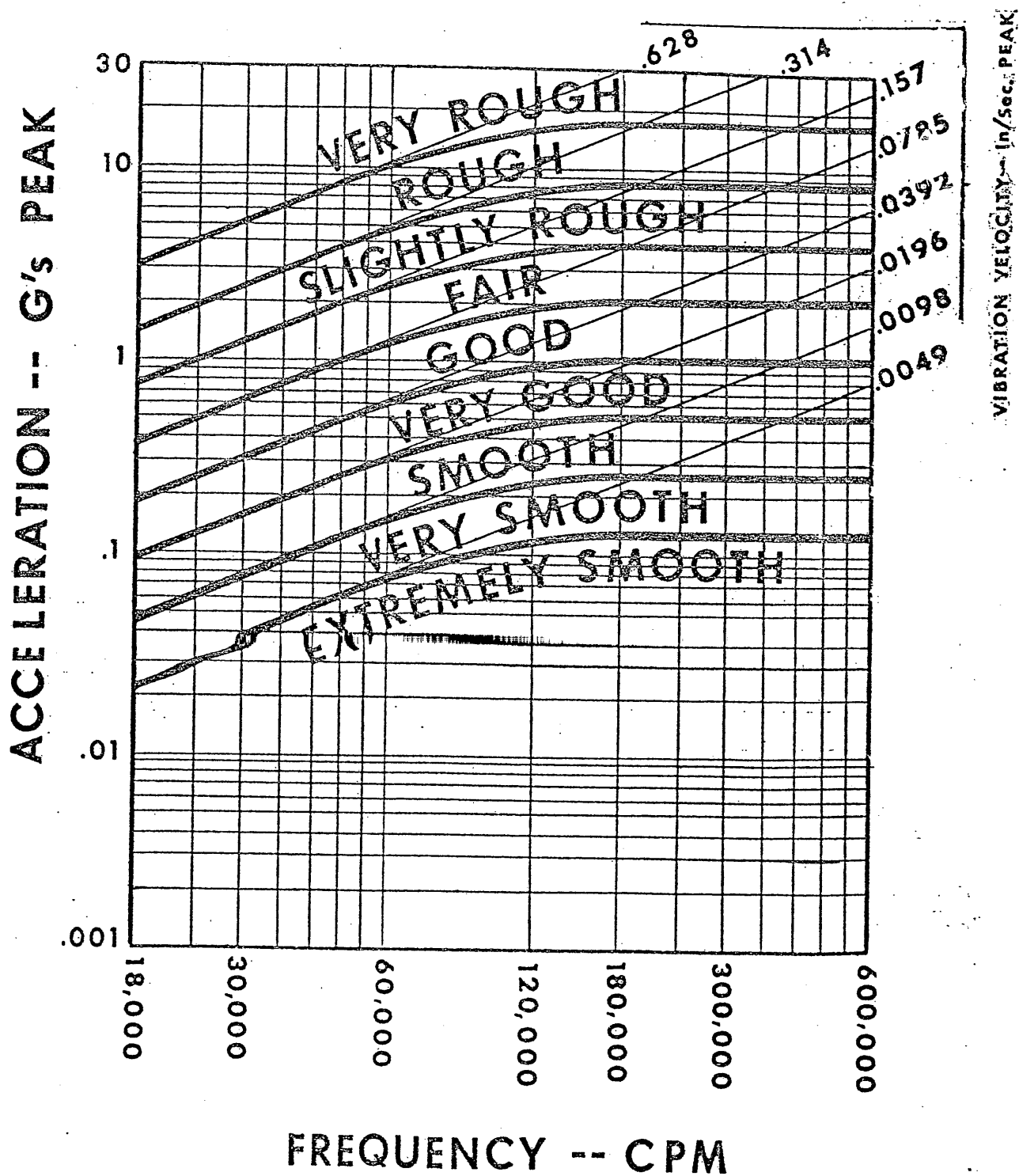
USED BY PERMISSION:
WISHAW ENGINEERING SERVICES
1 SHIELDS CRES., BOORAGOON, W.A.



Guidance on the levels of overall vibration of machines



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 10,000 HP)	120 1.0	140 10	145 18	150 32
(10 to 10,000 HP)	115 0.56	135 5.6	145 18	150 32
(up to 10,000 HP)	110 0.32	130 3.2	140 10	145 18
Ref. 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				



جداول این فصل کمک زیادی برای آنالیز و عیب یابی مشکلات روی دستگاه ها و ماشین الات می کند که از منابع مختلفی تهیه شده است ولی ممکن است در بعضی موارد بایکدیگر اختلافاتی هم داشته باشند. البته در مواردی که عیوب مختلفی روی دستگاه وجود داشته باشد امکان تشخیص عیب از طریق این جداول امکان پذیر نیست چون در این گونه موارد لرزش در فرکانس های مختلفی ایجاد می شود و شناسایی عامل لرزش نیاز به تجربه تخصص و دقت زیاد دارد و گاهی نیاز به استفاده از فنون و تکنیک های دیگری هم الزامی است .

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.

IRD Mechanalysis, Inc. Vibration and Noise Identification Chart

Causes of Vibration
(RELATIVE PROBABILITY RATINGS: 1 THRU 10)

Causes of Vibration (RELATIVE PROBABILITY RATINGS: 1 THRU 10)		PREDOMINANT FREQUENCIES										PREDOMINANT AMPLITUDE								
												DIRECT		PROBABLE LOCATE						
		6-10%	10-30%	30-100%	1 X RPM	2 X RPM	Higher Multiples	1/2 RPM	Lower Multiples	Odd Multiples	Very High Freq.	Horizontal	Vertical	Axial	Rotor (Shaft)	Bearings	Casing	Foundation	Piping	Couplings
UNBALANCE	Initial Unbalance			10								5	4	1	9	1				
	Shoft Bow-Loose Parts			10								5	4	1	9	1				
MISALIGNMENT LOOSENESS AND DISTORTION	Misalignment				4	5	1					3	2	5	8	1	1			
	Mechanical Looseness				8	1			1			5	4	1		3	2	2	2	
	Clearance Induced Vibration	1	8	1								5	4	1	7	1	1			
	Foundation Distortion		2		5	2			1			5	4	4	3	1	1	1		
	Case Distortion	←	1	→	8	1	1					5	4	1	9	1				
	Seal Rub	1	1	1	2	1	1		1	1	1	4	3	3	8	1	1			
	Rotor Rub (Axial)	←	2	→	3	1	1		1	1	1	4	3	3	7	1	2			
Piping Forces				4	5	1					3	2	5	8	1	1				
BAD BEARINGS AND JOURNALS	Journal & Bearing Eccentric			8	2						5	4	1	9	1					
	Radial Bar Damage	1	→	4	2				2		4	3	3	7	2	1				
	Thrust Brg. Damage	9	→	→	→				1		3	2	5	6	2	2				
	Bearing Excited Vibration	←	10	→	→						5	4	1	5	2	2	2			
	Unequal Brg. Stiff. Horiz. Vert.				9	CR					5	4	1	4	3	3				
GEARING AND COUPLINGS	Gear Inaccuracies				2			2	6		5	3	2	8	1	1				
	Coupling Inaccuracy				1	8	1				4	3	3	7	2				1	
CRITICALS	Critical Speed			10							5	4	1	6	4					
	Rotor & Brg. Sys. Critical			10							5	4	1	7	3					
	Coupling Critical			10							4	2	4	1	1				8	
	Overhang Critical			10							5	4	1	7	1				2	
RESONANCE	Resonant Vibration			10							4	4	2	2	1	2	3	2		
	Sub-Harmonic Resonance										3	3	4	2	2	2	2	2		
	Harmonic Resonance				←	10	→				4	4	2	2	1	1	3	3		
	Casing Resonance			8	1		1				5	4	1		4	4	1	1		
	Support Resonance			8	1		1				5	4	1		2	5	2	1		
	Foundation Resonance			8	1		1				4	3	3		1	4	4	1		
	Torsional Resonance			4	2	2			2		Torsion			1	4	4			1	
MISCELLANEOUS BASIC CAUSES	Bad Drive Belts			←	10	→					4	3	3	5	3		2			
	Reciprocating Forces			3	5	2					3	6	1	5	3	1	1			
	Aero. Hydr. Forces			2		6			2		5	4	1	4	3	2	1			
	Friction Induced Whirl	8	1	1							5	4	1	8	2					
	Oil Whirl		10								5	4	1	8	2					
	Resonant Whirl		10								5	4	1	2	2	2	2	2		
	Dry Whirl								10		4	3	3	4	2	2	1		1	
ELECTRICAL	Rotor Not Round			10							5	4	1	9	1					
	Rotor Stator Misalignment			10							4	3	3	8	2					
	Elliptical Stator Core			10							5	4	1	8	2					
	Defective Bar			10							5	4	1	9	1					
	Bent Rotor Shaft			10							3	2	5	9	1					
	Rotor Not Elect. Centered			10							3	2	5	6	4					
NOISE RADIATION	Mechanical and Electrical Defects are noise sources which appear initially as vibration and are later transferred into airborne noise. Mechanical Noise may be associated with Fan/Motor Unbalance; Bearing Noise; Alignment, Duct and Panel Flutter-Oil Canning Effect; Flutter of dampers, blades, vanes, tubes and support as well as structural vibration. Electrical Noise may be due to Electrical Energy transformation: 1) Magnetic Forces-A function of flux densities, number and shape of poles or slots and air gap geometry. 2) Random Electrical Noise-Brushes, electrical arcing, sparks, etc.																			

جدول شناسایی ارتعاشات									
منبع ارتعاش		فرکانسهای ارتعاشات مربوطه							
		۰-۱۰٪ f _{دوتور}	۱۰-۵۰٪ f _{دوتور}	۵۰-۱۰۰٪ f _{دوتور}	f _{دوتور}	f _{دوتور} ۷۰٪	مشارب صبح دوتور f	فرکانسهای مختلف	فرکانسهای خیلی بالا
نامیزانی جرمی	توزیع نامتناسب جرم در اجزاء دوار				•	○	○		
خطای نامم محوری	خطای نامم محوری				•	•	○		
	تغییر شکل فرکانسین		○		•	○	○		
	کج شدن بدنه	↔			•	○			
	تناس محوری دوتور		○		•	↔			
باتاقهای غلتشی معیوب و باتاقهای ژورنال غیردایره‌ای شکل	باتاقهای غلتشی معیوب				○			•	○
	باتاقان محوری آسیب دیده	↔							•
	خارج از محوری باتاقها و ژورنالها				•	○			
عبرب الکتریکی و مغناطیسی	ناشتارن بودن استاتور								•
	ناشتارن بودن روتور	•							
	فاصله هوائی خارج از مرکز	↔ وابسته به مشخصات ساختاری							
تسمه های رانش معیوب	تسمه های نامقطع غیر یکپارچه یا تابیدگی تسمه						○		•
تشدیدها	بدنه ها، پایه ها، فرکانسین و اجزاء	↔ در کل محدوده فرکانسی می تواند تحریک گردد							
	سرعت برآورد دوتور یا سیستم باتاقان دوتور				•				
نیروهای آئرو-دینامیکی و هیدرولیکی					○		•	○	
تابپذیریها	حرکت چرخشی روغن		•						
	حرکت گردانی روغن		*	○					
	بی نظمی های ناشی از سایشیدگی	•	○	○					
	تحریک فاصله هوائی	○	•	○					
چرخشند ها و کوبیدگیها	خطاهای چرخشند						○	○	•
	کوبیدگیهای آسیب دیده		○		○	○	•		
ارتعاشات منتقل شده از ماشینهای مجاور		↔ می توانند در کل محدوده فرکانسی اتفاق بیافتند							
• فرکانسهای مشخصه ارتعاش ○ فرکانسهای ارتعاشی که علاوه بر فرکانسهای مشخصه ارتعاش اتفاق می افتند.		• فرکانسهای مشخصه ارتعاش ○ فرکانسهای ارتعاشی که علاوه بر فرکانسهای مشخصه ارتعاش اتفاق می افتند.							
بیشترین فرکانس برای دوتور $f_{دوتور} > f_{بافتن اتفاق}$ می افتند. دوتور در اولین فرکانس برآورد خرد تحریک گردیده است.									

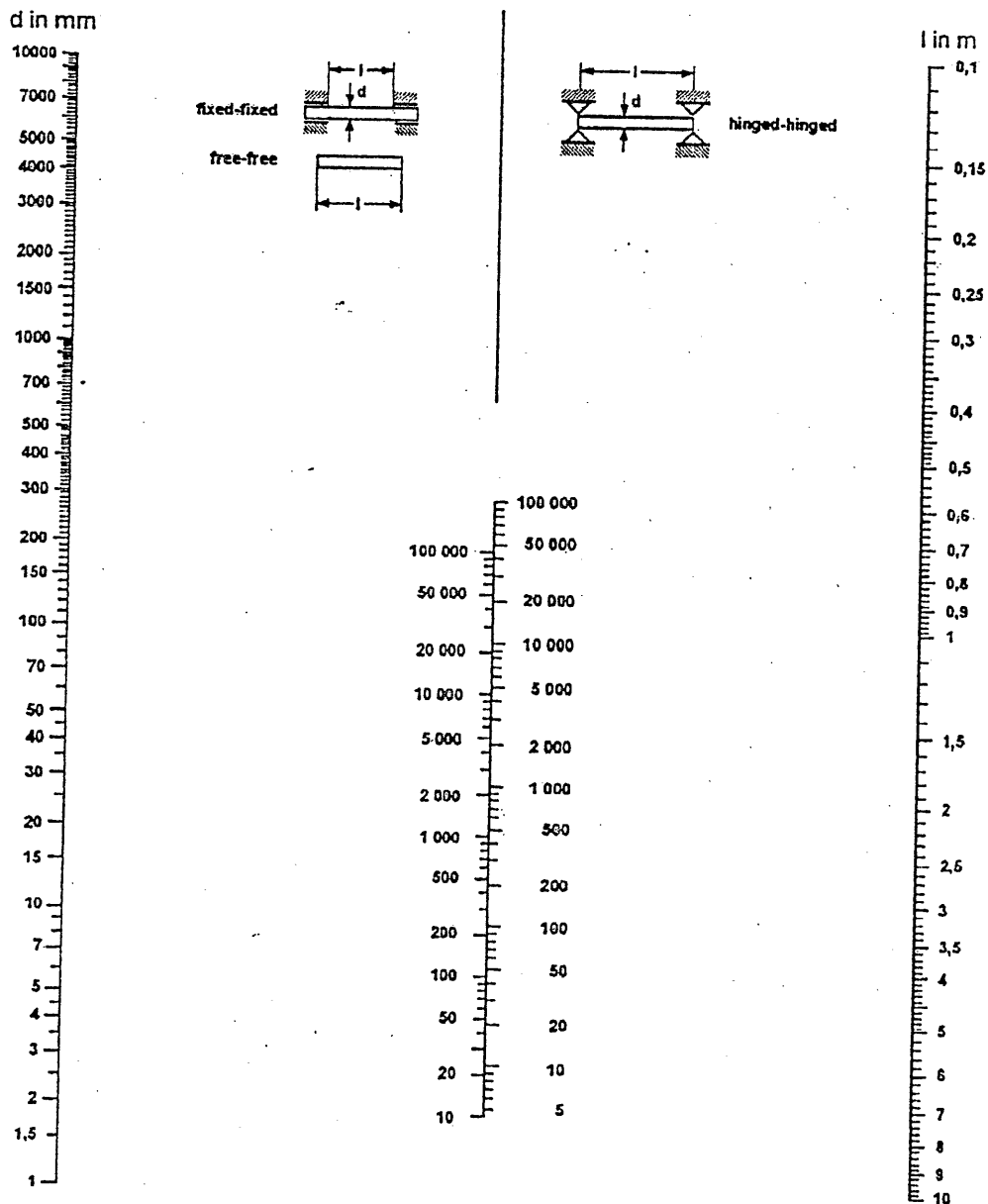
شکل (۵-۷) جدول شناسایی ارتعاش

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
DAMAGED BEARINGS										⊙
MECHANICAL CONTACT	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ			Δ		⊙
CAVITATION										⊙
DAMAGED 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	⊙									

Cause of vibration	Predominant frequencies										Direction and location of predominant amplitude										Amplitude response to speed variation during vibration-test runs																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
	0-40%			40-50%			50-100%			1 X running frequency			2 X running frequency			Higher multiples			Lower multiples			Odd frequency			Very high frequency			Vert.	Hor.	Axial	Shaft	Bearings	Casing	Foundation	Piping	Coupling	Coming up					Slowing down																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										

Cause of vibration	Predominant frequencies										Direction and location of predominant amplitude						Amplitude response to speed variation during vibration-test runs															
	0-40%	40-50%	50-100%	1X running frequency	2X running frequency	Higher multiples	1/2 running frequency	Lower multiples	Odd frequency	Very high frequency	Vert.	Hor.	Axial	Shaft	Bearings	Casing	Foundation	Piping	Coupling	Coming up						Slowing down				Cause		
																				Increases	Decreases	Peaks	Comes out suddenly	Drops out suddenly	Stays same	Increases	Decreases	Comes out suddenly	Drops out suddenly			
21. Motor & bearing system critical	..	..	..	100	..	..	..	..	..	..	40	50	10	70	30	..	..	..	..	..	20	..	80	..	..	20	..	..	..	21		
22. Coupling critical	..	..	..	100	..	Also make sure tooth fit is tight!					20	40	40	10	10	..	..	..	80	..	20	..	80	..	50 if loose	20	..	..	22			
23. Overhang critical	..	..	..	100	..	..	..	..	..	..	40	50	10	70	10	..	..	..	20	..	30	..	70	..	..	30	..	..	..	23		
24. Casing structural resonance of:	..	10	..	70	10	..	..	..	..	..	40	50	10	..	40	40	10	..	..	20	..	80	..	..	20	..	..	..	..	24		
	..	10	..	70	10	..	..	..	..	..	40	50	10	..	20	50	20	10	..	..	20	..	80	..	..	20	..	..	..	25		
26. Foundation	..	20	..	60	10	..	..	..	..	..	30	40	30	..	10	40	40	10	..	..	20	..	80	..	..	20	..	..	..	26		
27. Pressure pulsations	..	..	..	Most troublesome if combined with resonance							100	..	30	40	30	Can excite which or resonance		30	30	40	..	90	10%—Depending on origin of disturbance						90	10	..	27
28. Electrically excited vibration	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	30	40	30	..	..	40	40	20	..	90	..	..	..	..	90	..	..	..	..	28		
29. Vibration transmission	..	..	..	..	..	..	..	..	90	..	30	40	30	..	..	40	40	20	..	90	..	..	..	..	90	..	..	..	..	29		
30. Valve vibration	..	..	..	..	..	..	..	..	..	100	30	40	30	..	..	80	10	10	..	80	..	..	..	10	10	80	..	10	10	30		
Problem	The section below is meant to identify basic mechanisms																															
31. Subharmonic resonance	..	..	..	Rare—Look for aerodynamic origin (seals)			100			..	30	30	40	20	80	20	20	20	..	..	20	..	20	20	30	30	20	..	30	30	31	
32. Harmonic resonance	..	..	..	..	..	100	..	..	..	..	40	40	20	20	10	10	30	30	..	20	20	..	60	..	..	20	..	..	..	..	32	
33. Friction induced whirl	80	10	10	..	..	..	..	..	..	..	40	50	10	80	20	..	..	..	..	..	..	..	..	90	10	..	..	10	90	33		
34. Critical speed	..	..	..	100	..	..	..	..	..	..	40	50	10	60	40	..	..	..	..	20	20	..	80	..	..	20	..	..	..	..	34	
35. Resonant vibration	..	..	..	100	..	..	..	..	..	..	40	40	20	20	10	20	30	20	..	..	20	..	80	..	..	20	..	..	..	..	35	
36. Oil whirl	..	100	..	Watch for aerodynamic rotor-lift (partial admission, etc.)							40	50	10	80	20	..	..	..	..	..	..	..	..	100	..	..	..	..	100	36		
37. Resonant whirl	..	100	..	..	..	..	..	..	..	..	40	50	10	20	20	20	20	20	..	..	..	..	..	80	20	..	..	20	80	37		
38. Dry whirl	..	..	..	..	..	..	..	..	..	100	30	40	30	40	20	20	10	..	10	..	..	..	..	80	20	80	..	..	20	38		
39. Clearance induced vibrations	10	80	10	..	..	..	..	..	..	..	40	50	10	70	10	10	..	..	10	..	..	..	..	80	20	20	..	20	60	39		
40. Torsional resonance	..	..	..	40	20	20	..	..	20	..	Torsional		..	100	40	40	..	..	10	..	20	..	30	30	20	20	..	..	20	30	40	
41. Transient torsional	..	..	..	50	..	..	..	..	50	..	Torsional		..	100	40	40	..	..	10	..	..	..	50	30	20	..	..	..	30	20	41	



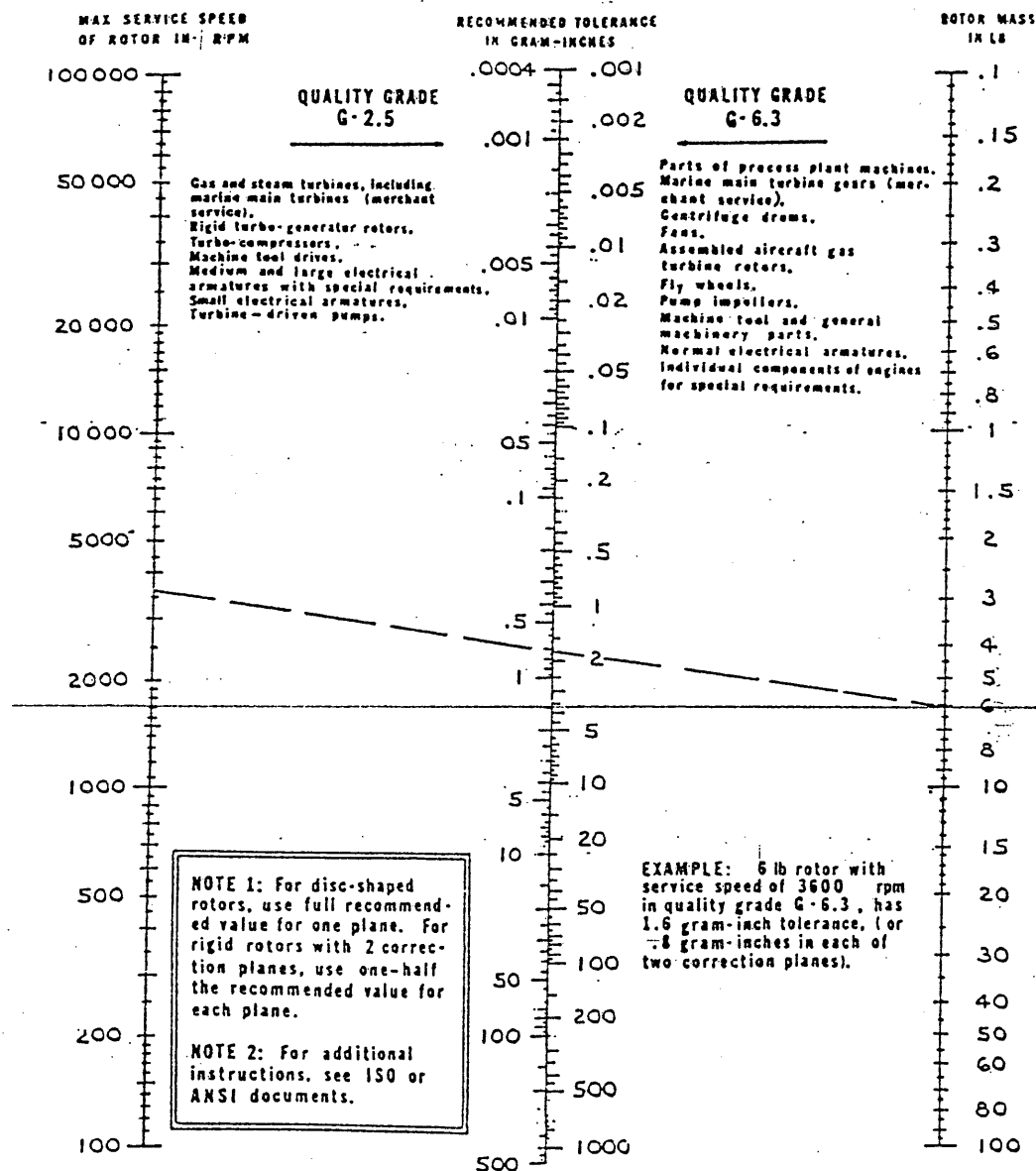
For steel with a density $\rho_s = 7,8 \text{ g/cm}^3$ and elasticity modulus $E_s = 20,5 \cdot 10^6 \text{ N/cm}^2$.
For other materials with constants ρ_w and E_w recalculate the speed n_c as follows:

$$n_w = n_s \sqrt{\frac{E_w \rho_s}{E_s \rho_w}}$$

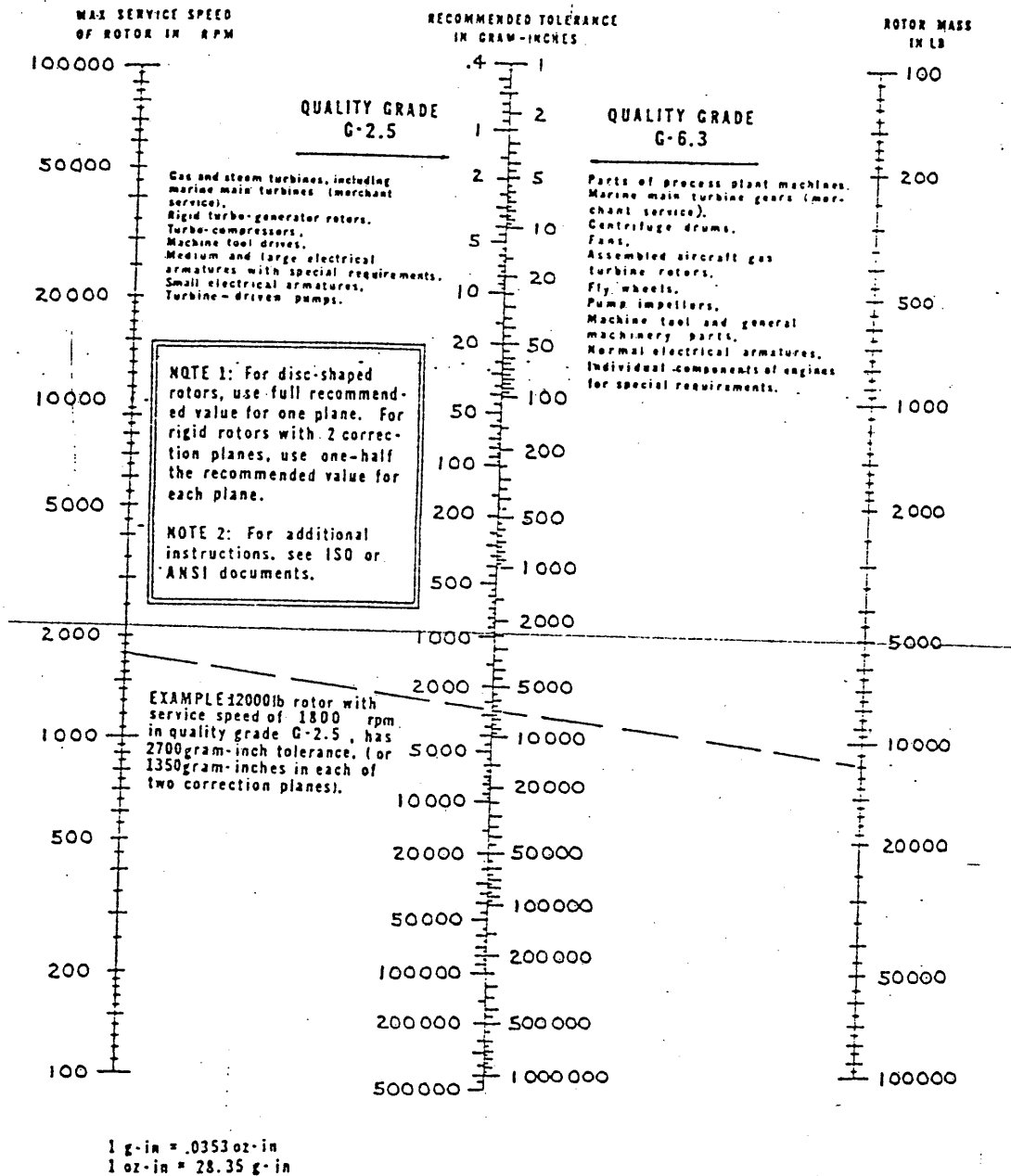
The values are given for solid shafts. For hollow shafts with internal diameter d_i :

$$n_{\text{hollow}} = n_{\text{solid}} \sqrt{1 + \left(\frac{d_i}{d_s}\right)^2}$$

نموگرام تعیین سرعتهای بحرانی شفت ها



حد مجاز (تولانس) بالانس کردن برای رتورهای کوچک (گروه G-2.5 و G-6.3)



حد مجاز اتزان (بالانس کردن برای رتورهای بزرگ) (گروه G-2.5 و G-6.3)

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.

