

آنالیز عیوب (Faults Analyzing)

Faults detection
&
Machine Diagnosis



- آنبالانسی (Unbalance)
- غیر هم محوری (Misalignment)
- خارج از مرکزیت (Eccentricity)
- خم شدگی شفت (Bent shaft)
- ترک در شفت (Shaft crack)
- لقی مکانیکی (Mechanical looseness)
- مسایل بیرینگ های ژورنال (Journal bearing faults)
- مسایل بیرینگ های رولر و ساچمه ای (Rolling element bearing faults)
- سایش روتور (Rotor rub)
- کاویتاسیون (Cavitations)
- مسایل موتورهای الکتریکی (Electrical motor problems)
- عیوب چرخنده ها (Gear faults)

در بخش قبلی تشریح گردید که برای کشف و شناسایی عیوب از FFT Analysis استفاده می کنند. FFT Analysis در شناسایی عیوب اهمیت خاصی دارد و در مواردی که امکان شناسایی توسط FFT Analysis مقدور نشود از High Frequency Detection و اندازه گیری فاز کمک می گیرند.

ابزار اندازه گیری و تجربه کاری و مهارت و تکنیک آنالیز همچنین دانش ماشینری در کشف و تشخیص عیوب و ارزیابی وضعیت ماشین آلات، عوامل لازم و ضروری هستند. در واقع عوامل اصلی می باشند. ضعف در هر یک از زمینه های فوق در کل فرآیند ارزیابی تاثیر می گذارد. لذا با تاکید مجدد به نقش عوامل فوق، مشخصه های عیوب در آنالیز ارتعاشات را با بررسی موارد کلی از عیوب ماشین آلات دوار شروع می کنیم.

مسایل و عیوبی که در بالا ذکر شده اند در اکثر ماشین آلات دیده می شوند. در واقع می توان گفت این عیوب عمومیت دارند. عوامل و عیوبی دیگر ممکن است وجود داشته باشد که منجر به افزایش ارتعاشات و خرابی های کلی در ماشین آلات گردند که در لیست بالایی قید نشده است. مانند تاثیر نیروی های Piping بر روی تجهیزات و غیره که هر کدام در ایجاد ارتعاشات و خرابی ها نقش به سزایی دارد.

این بدان معناست که نباید عوامل ارتعاشات و عیوب را به لیست بالایی محدود کرد. لازم است آنالیز با دید وسیع و علمی، متغیرهای اندازه گیری شده را بررسی کرده و وضعیت ماشین آلات را با در نظر گرفتن تمام پارامترهای طراحی و ساخت و نصب و بهره برداری و نگهداری و تعمیرات ارزیابی کند.

آنبالانسی و اثرات آن Effect Of Unbalance

- آنبالانسی زمانی اتفاق می افتد که در یک جسم چرخان محور مرکز ثقل با محور چرخش یکی نباشد.
- افزایش بار دینامیکی در بیرینگ ها (Higher dynamic bearing loading)
 - شکست های ناشی از خستگی (Fatigue fracture)
 - افزایش لقی مکانیکی (Increased mechanical looseness)
 - افزایش ریسک در بهره برداری و افزایش خستگی پرسنل
 - (Impairment of operational safety and increased human fatigue)
 - کاهش مقادیر مورد استفاده (Reduction of utility value)

آنبالانسی رایج ترین عیب می باشد و اثرات آن زیاد و شدید است:

آنبالانسی بارهای دینامیکی در بیرینگ ها را افزایش می دهد و سرعت سایش را شدت می بخشد و همچنین باعث کاهش عمر بیرینگ ها می گردد. یک روتور بالانس شده امکان می دهد که در ژورنال بیرینگ ها، لایه روغن (Oil film) شکل (Formation) بهتری گرفته و عمل Damping خوب انجام گیرد.

آنبالانسی خستگی به دنبال دارد و موجب شکست و ترک در بدنه و فونداسیون و قطعات چرخنده می گردد. به خصوص زمانی که ماشین از فرکانس رزونانس شفت، بدنه و سایر قطعات عبور می کند آنبالانسی بسیار خطرناک است. بالانسینگ یکی از روش های ساده جهت کاهش نیروهای تحریک کننده و کاهش مشکلات هنگام عبور از فرکانس رزونانس است. فرکانس طبیعی قطعات ماشین آلات معمولاً در محدوده 15 – 60 Hz قرار دارند.

ماشین آلاتی که به واسطه آنبالانسی ارتعاشات مکانیکی زیاد دارند در اثر ارتعاشات و تکان های شدید پیچ و مهره ها و اتصالات آنها شل شده و امکان خرابی های شدید و فاجعه بار را فراهم می کنند.

پرسنلی که با ماشین آلات دارای ارتعاشات زیاد مکانیکی کار می کنند و یا آنها را لمس می کنند دچار خستگی شده و از دقت کنترل های لازم کاسته می شود و در نهایت هم پرسنل و هم تولید در معرض خطر قرار می گیرند.

در اثر آنبالانسی دقت کار تجهیزات کاهش یافته به خصوص در تجهیزاتی که قطعات تولید می کنند عیوب و نواقص محصولات بیشتر است.

انواع آنبالانسی Types of Unbalance

- *Static unbalance*
- *Couple unbalance*
- *Dynamic unbalance*

حال انواع آنبالانسی ها را مورد بررسی قرار می دهیم:

وقتی که در طول یک روتور توزیع جرم در جهت شعاعی نسبت به محور چرخش یکسان نباشد آنبالانسی ایجاد می گردد. سه نوع آنبالانسی وجود دارد که هر کدام به چگونگی توزیع جرم در طول روتور بستگی دارد. یعنی با توجه به وضعیت مرکز ثقل نسبت به محور چرخش سه حالت آنبالانسی ظاهر می گردد:

آنبالانسی استاتیکی

آنبالانسی کوپل

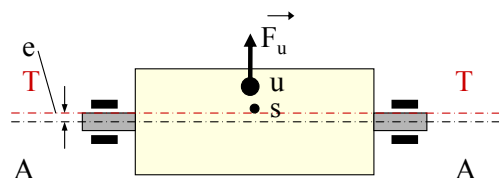
آنبالانسی دینامیکی

توجه:

اگر روتوری آنبالانس بوده و همچنین مواردی دیگری نیز داشته باشد. لازم است ابتداء آن موارد بر طرف گردد و سپس نسبت به بالانس کردن آن اقدام شود. اگر بعد از چند بار تلاش موفق به بالانس روتور نشوید احتمال دارد در یک جایی خطایی رخ داده است و یا اینکه تلاش می کردید یک مساله غیر آنبالانسی را با بالانس کردن بر طرف کنید.

اگر روتوری را مشاهده کنید که در روی آن وزنه های بالانس زیادی جوشکاری شده است. در واقع تلاش های زیادی را ملاحظه می کنید که برای بر طرف کردن یک مساله ارتعاشی از طریق بالانسینگ به عمل آمده است. در صورتیکه روتور آنبالانس نبوده است. البته هر روتوری که دارای مسایل ارتعاشی است نباید آن را بالانس فرض نمود.

Static Unbalance



- ارتعاشات عمدتا در جهت شعاعی است
- e....Center of gravity displacement
- ارتعاشات در یک برابر دور ظاهر می گردد.
- s....Center of gravity
- u....Unbalance mass
- آنبالانسی شدید هارمونیک تولید می کنند.
- A-A....Shaft axis
- T-T....Center of gravity axis
- زاویه فاز در هر دو بیرینگ مساوی است.

وقتی که به یک روتور کاملا بالانس شده یک جرمی در صفحه شعاعی مرکز ثقل افزوده شود آنبالانسی استاتیکی را به وجود می آورد. این آنبالانسی باعث می شود که محور مرکز ثقل در موازات محور چرخش جابجا گردد. کلمه استاتیک به آن خاطر است که این نوع آنبالانسی ها در حالت استاتیکی نیز مشاهده می گردند.

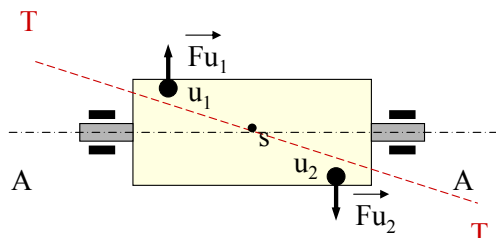
محور مرکز ثقل، محوری است که وزن روتور حول آن به طور یکنواخت توزیع شده است. زمانی که روتور کاملا بالانس شود محور چرخش شفت و محور مرکز ثقل یکی خواهند بود.

ارتعاشات که از آنبالانسی استاتیکی تولید می شود عمدتا شعاعی است. هر موقع مقادیر ارتعاشات در یک برابر دور بیشتر شود به آنبالانسی تعبیر می گردد. ولی با وجود این امکان دارد ارتعاشات در یک برابر دور از غیر هم محوری و خمیدگی شفت و یا ترک در شفت نیز ناشی شود. لذا در بعضی مواقع برای تشخیص آن به بررسی های بیشتر نیاز می باشد.

در آنبالانسی استاتیکی زاویه فاز در دو بیرینگ مساوی بوده و معمولا زاویه فاز ثابت می ماند.

لازم به توضیح است که آنبالانسی های شدید هارمونیک های نیز در 2 RPM و 3 RPM و ... تولید می کنند که دامنه آنها بسیار جزئی است.

Couple Unbalance



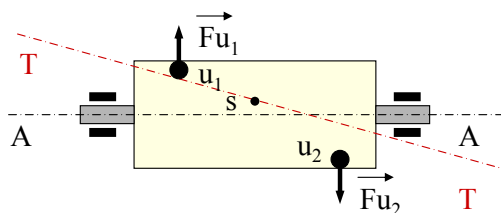
- ارتعاشات عمدتا در جهت شعاعی است
- ارتعاشات در یک برابر دور ظاهر می گردد.
- آنبالانسی شدید هارمونیک تولید می کنند.
- زاویه فاز در هر دو بیرینگ 180 درجه است.
- s....Center of gravity
- u1 , u2....Unbalance masses
- u1 = u2
- A-A....Shaft axis
- T-T....Center of gravity axis

وقتی که به یک روتور کاملا بالانس شده، دو تا وزنه مساوی در شعاع برابر ولی در دو صفحه متقارن و در جهت مخالف هم اضافه شود آنبالانسی کوپل را به وجود می آورند. این نوع آنبالانسی باعث می شود که محور مرکز ثقل از موازات محور چرخش منحرف شده ولی در مرکز ثقل با محور چرخش شفت تلاقی کند. بر خلاف تعادل استاتیکی، این نوع آنبالانسی در حالت استاتیکی قابل شناسایی نیست.

ارتعاشات که ناشی از آنبالانسی کوپل تولید می شود عمدتا شعاعی بوده و در اسپکترام ارتعاشات بیشتر در یک برابر دور ظاهر می گردد.

در دو طرف روتور یعنی در روی بیرینگ ها 180 درجه اختلاف فاز دارد.

Dynamic Unbalance



- ارتعاشات عمدتاً در جهت شعاعی است
- sCenter of gravity
- u_1, u_2Unbalance masses
- ارتعاشات در یک برابر دور ظاهر می گردد.
- $u_1 \neq u_2$
- در جهت محوری نیز ارتعاشات وجود دارد.
- A-A....Shaft axis
- زاویه فاز در هر دو بیرینگ 180 درجه است.
- T-T....Center of gravity axis

در عمل به دلایل ساخت، تمام روتورها هر چند بالانس شده باشند دارای مقداری آنبالانسی استاتیکی و کوپل می باشند که به آن آنبالانسی دینامیکی می گویند. آنبالانسی دینامیکی معمولترین نوع آنبالانسی است. در این نوع آنبالانسی محور مرکز ثقل از موازات محور چرخش منحرف شده ولی در مرکز ثقل با یکدیگر تلاقی ندارند.

این نوع آنبالانسی باعث لنگی روتور شده و ارتعاشات با اختلاف فاز 180 درجه در دو طرف روتور تولید می کنند. در بعضی موارد احتمال دارد اختلاف فاز 180 درجه نباشد. در روتورهای Overhung ضمن آنکه ارتعاشات شعاعی وجود دارد در جهت محوری نیز ارتعاشات مشاهده می گردد. می توان گفت در تمامی روتورها آنبالانسی استاتیکی و آنبالانسی کوپل هر دو با هم وجود دارند.

توجه:

در آنبالانسی های محض موارد زیر حضور ندارد:

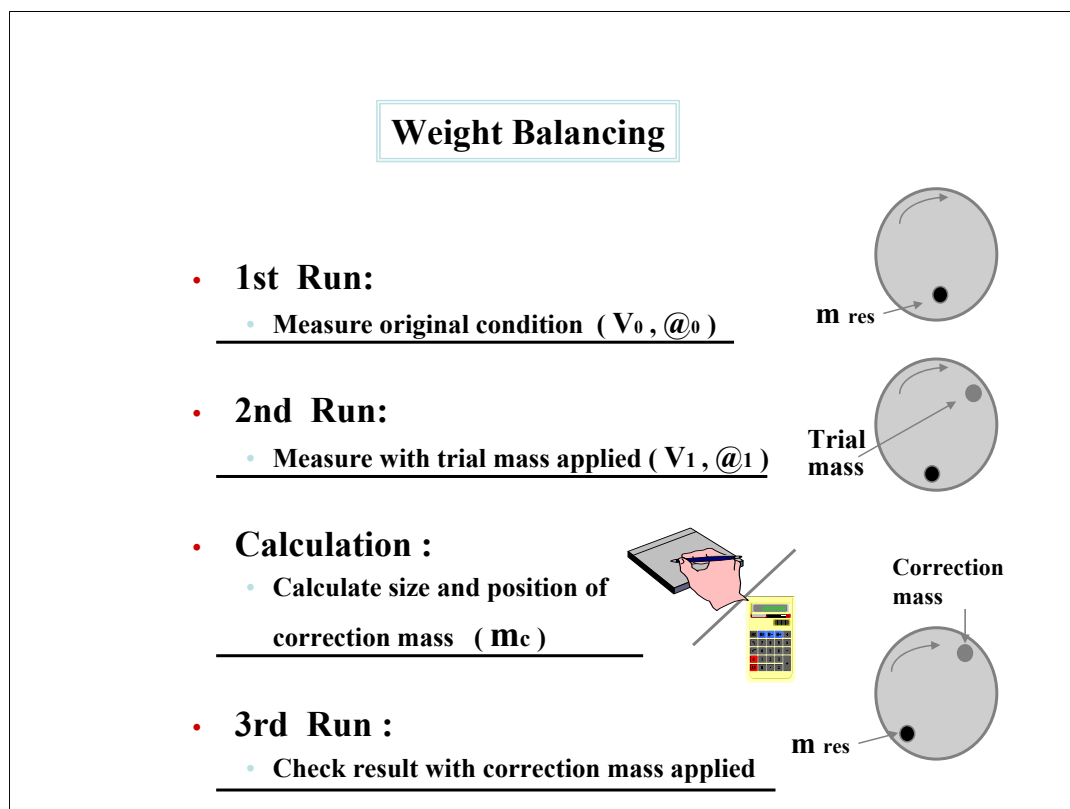
۱- نویز در باند وسیع (Wide-Band Noise)

۲- ارتعاشات در فرکانس های کمتر از دور کاری

۳- هارمونیک های فرکانس پایه در رولر بیرینگ ها و هارمونیک های فرکانس پایه با دامنه زیاد در ژورنال بیرینگ ها

۴- هر گونه ارتعاشات Beat یا مدولاسیون دامنه

در صورتیکه هر کدام از موارد فوق حضور داشته باشد مشخصه ای است از مسایل ارتعاشی که با آنبالانسی همراهی می شوند.



مراحل بالانسینگ در بالا آورده شده است. ابتدا یک Initial Run انجام می دهند در واقع وضعیت اولیه را اندازه گیری می کنند که در آن مقادیر $V_0, @_0$ مشخص می شود. در مرحله دوم یک وزنه آزمایشی (Trial mass) را در شعاع معین و روی روتور قرار می دهند. معمولاً مقدار وزنه آزمایشی از فرمول سرانگشتی زیر محاسبه می کنند:

$$m_{\text{trial}} = 30 * m_{\text{rotor}} / r_{\text{trial}}$$

سپس روتور را به حرکت در آورده و مقادیر جدید را اندازه گیری می کنند. با توجه به مقادیر اندازه گیری شده در مراحل اول و دوم محاسبات برای تعیین مقدار وزنه، تصحیح و محل نصب آن انجام می شود. محاسبات را می توان هم به صورت گرافیکی روی کاغذ و هم به صورت نرم افزاری توسط تجهیزات اندازه گیری انجام داد.

بعد از نصب وزنه تصحیحی در محل مورد نظر Check Run را انجام می دهند. اگر مقدار ارتعاشات مورد قبول باشد عملیات را متوقف می کنند و اگر در حد مورد قبول نبود دوباره مراحل بالا از مرحله دوم به بعد تکرار می شود.

بالانسینگ را به دو روش، بالانس تک صفحه ای و بالانس دو صفحه ای انجام می دهند. ممکن است در مواردی با توجه به شرایط ساختاری روتور و سرعت دورانی بالا بالانس چند صفحه ای نیز مورد نیاز باشد. بالانس تک صفحه ای برای بالانس کردن روتورهای دیسکی بکار می رود. برای تعیین اینکه بالانس تک صفحه ای یا بالانس دو صفحه ای نیاز می باشد یک روش آن است که اگر نسبت طول روتور به قطر آن کمتر از 0.5 بوده و دور آن زیر 1000 rpm باشد. بالانس تک صفحه ای انجام می گیرد در غیر این صورت بالانس دو صفحه ای انجام می گیرد.

Misalignment

- ارتعاشات در جهت شعاعی و محوری می باشد
(Vibration : Radial & axial) –
- فرکانس غیر هم محوری با فرکانس چرخش برابر است.
(Frequency : Rotation Speed) –
- اغلب در هارمونیک دوم مشاهده می شود
(Often 2nd harmonic) –
- بعضی مواقع در هارمونیک های سوم و چهارم نیز دیده می شوند.
(sometimes 3rd and 4th harmonic) –

آمار نشان می دهد که بسیاری از مسایل ماشین آلات ناشی از غیر هم محوری می باشد. غیر هم محوری زمانی به وجود می آید که شفت ها، کوپلینگ ها، بیرینگ ها و ... نسبت به هم درست نصب و تنظیم نشده باشند.

غیر هم محوری باعث وارد آمدن نیروهای دینامیکی بیشتر به بیرینگ ها می گردد. همچنین در اثر افزایش نیروهای دینامیکی فضای بیرینگ ها داغ شده و موجب تغییر ماهیت روانکار می شود. همه اینها در نهایت موجبات افزایش سایش را بوجود می آورند.

غیر هم محوری در فرکانس 1 rpm ظاهر می گردد و از این بابت گاهی با آنبالانسی اشتباه گرفته می شود. ارتعاشات ناشی از غیر هم محوری در هارمونیک های دوم و سوم و چهارم نیز دیده می شود. در بیشتر مواقع به واسطه وجود هارمونیک ها، غیر هم محوری را می توان از سایر عیوب براحتی تشخیص داد و در مواردی نیز، برای متمایز نمودن غیر هم محوری از سایر عیوب به خصوص از آنبالانسی از فاز کمک گرفته می شود.

سه نوع غیر هم محوری وجود دارد:

غیر هم محوری زاویه ای (Angular misalignment)

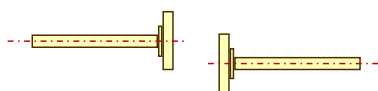
غیر هم محوری موازی (Parallel misalignment)

غیر هم محوری مرکب (Combination misalignment)

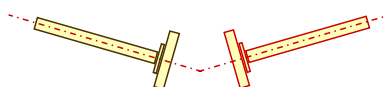
یک روتور Misalign به سایش بیشتر گرایش پیدا می کند. چون بیرینگ ها بعد از مدتی کارکرد دفرمه (Deform) شده و باعث افزایش نیروهای دینامیکی می شود. همچنین به علت گسترش سایش هارمونیک دوم در اسپکترام کاهش یافته و هارمونیک سوم افزایش پیدا می کند.

Misalignments

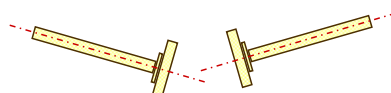
- OFFSET MISALIGNMENT



- ANGULAR MISALIGNMENT :



- COMBINATION ANGULAR / OFFSET MISALIGNMENT



اغلب غیر هم محوری ها زمانی اتفاق می افتد که دو ماشین به هم کوپل می شوند. با وجود این غیر هم محوری ممکن است در قسمت های دیگر ماشین آلات مانند غیر هم محوری شفت نسبت به بیرینگ ها و غیر هم محوری چرخنده ها و یا غیر هم محوری نیمه کوپلینگ ها (Hub) بوجود آید. در نتیجه لازم است ارتعاشات تک تک ماشین آلات (موتورها و توربین ها و گیربکس ها و ...) قبل از آنکه کوپل شوند اندازه گیری گردند.

در شکل های بالا سه نوع غیر هم محوری به صورت شماتیک نشان داده شده است.

غیر هم محوری موازی (Pure Parallel Misalignment):

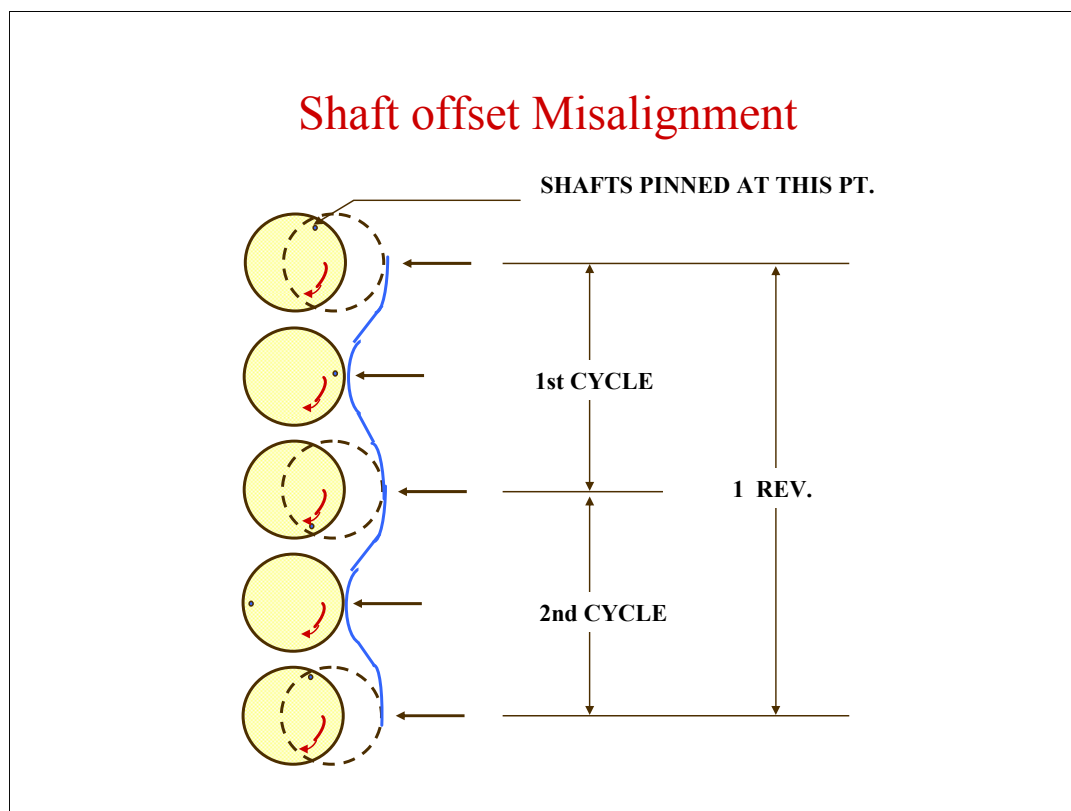
غیر هم محوری موازی ارتعاشاتی در جهت شعاعی در فرکانس های 2 rpm و 3 rpm تولید می کند و در واقع مشکل می توان عیبی را به غیر از Misalignment پیدا کرد که ارتعاشات شدید در 3 rpm تولید کند.

غیر هم محوری زاویه ای (Pure Angular Misalignment):

غیر هم محوری زاویه ای ارتعاشاتی با فرکانس یک برابر دور در جهت محوری تولید می کند.

غیر هم محوری مرکب (Combination Misalignment)

چون اغلب غیر هم محوری ها ترکیبی از غیر هم محوری موازی و زاویه ای می باشند در نتیجه وجود هارمونیک های یک برابر و دو برابر دور را به وجود هر دو نوع غیر هم محوری (موازی و زاویه ای) آنالیز می کنند.

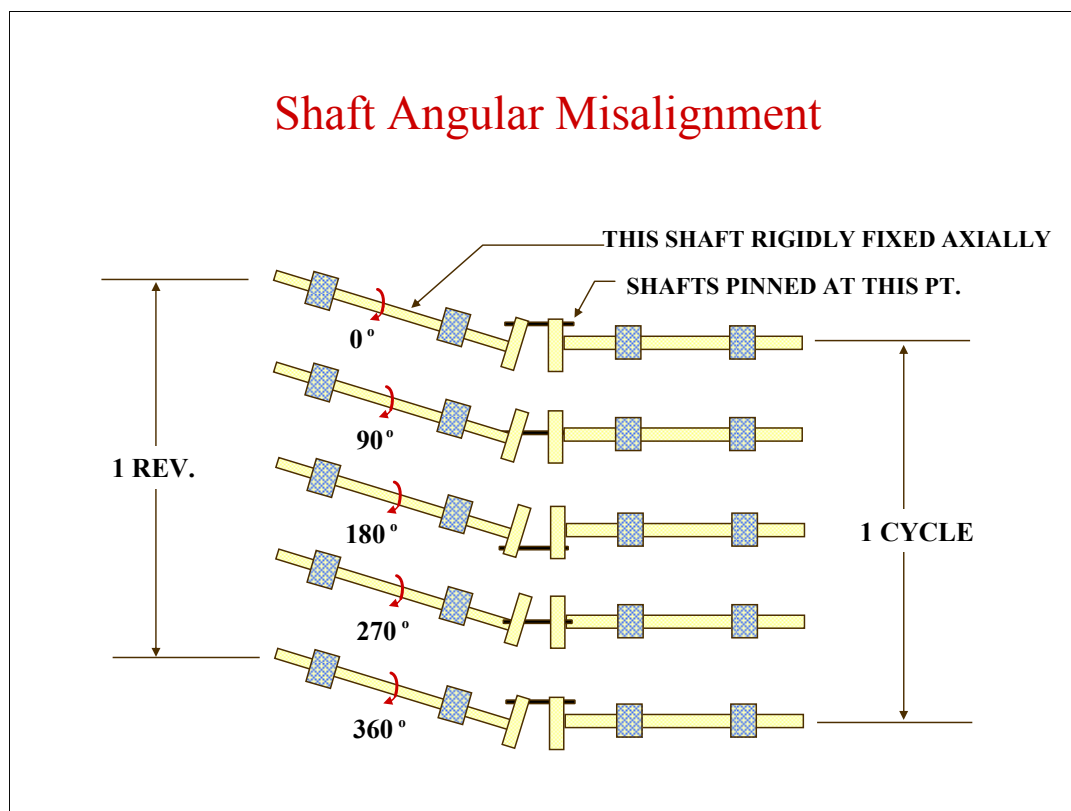


در این شکل غیر هم محوری موازی به صورت شماتیک در یک دور کامل نشان داده شده و چگونگی حرکت شفت و تولید ارتعاشات در جهت شعاعی ترسیم شده است.

در اثر این غیر هم محوری، بار زیاد در جهت شعاعی به بیرینگ ها وارد شده و موجب خستگی بیرینگ ها می شود. شدت خستگی به بارهای وارده بستگی دارد.

خستگی (Fatigue) نتیجه تنش های اعمال شده می باشد. در بعضی مواقع درست در زیر منطقه بارهای وارده در سطح بیرینگ Spalling (پوسته کردن عمیق و شدید) مشاهده می شود که حاصل تنش های سیکلی می باشد. همچنین بارهای وارده موجب مصرف توان بیشتر در موتور الکتریکی و سایر محرک ها می گردد.

بسیاری فکر می کنند که وقتی دامنه ارتعاشات کم است وضعیت ماشین خوب است. این امر می تواند در شرایطی درست باشد. ولی مواردی وجود دارد که با حداقل دامنه اتفاق می افتند و باعث خرابی و استهلاک ماشین آلات می گردند. غیر هم محوری یکی از آن موارد است. در عمل بسیاری از غیر هم محوری ها ناشناخته می مانند و در نتیجه بر طرف نمی شوند تا زمانیکه بیرینگ ها و کوپلینگ دچار خرابی می گردند.

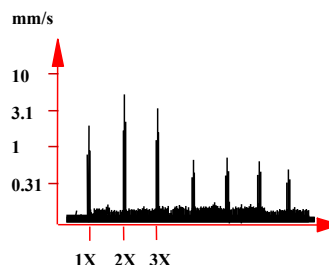
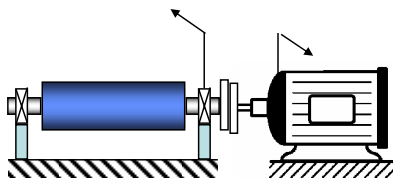


شکل بالا نیز غیر هم محوری زاویه ای (Shaft Angular Misalignment) را به صورت شماتیک در یک دور چرخش 360 درجه نشان می دهد. در این شکل علت و چگونگی تولید ارتعاشات در جهت محوری را به کمک شکل بهتر می توان استنباط کرد. در اثر این غیر هم محوری بار زیاد در جهت محوری به بیرینگ های تراست (Thrust) وارد شده و خستگی زودرس بیرینگ را فراهم می کند و همچنین موجب مصرف توان بیشتر در موتور می گردد.

سیگنالی که از غیر هم محوری دریافت می شود به نوع غیر هم محوری و شدت غیر هم محوری و همچنین به نوع کوپلینگ و سائز شفت و سرعت دورانی بستگی دارد. البته در عمل ممکن است غیر هم محوری با سایر موارد ارتعاشی نیز همراهی شود. در این صورت بعضی از سیگنال ها می توانند بسیار متفاوت باشند.

مشخصه های غیر هم محوری موازی

A. Parallel misalignment



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

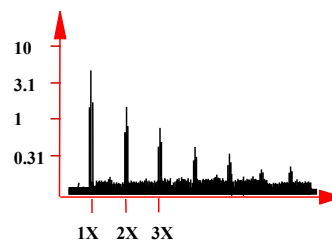
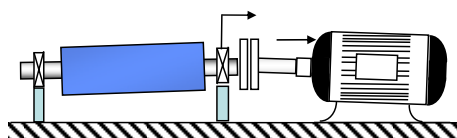
Please Note:
Misalignment often appears on 1X component only

موارد زیر با احتمال زیاد به وجود Parallel Or Offset Misalignment دلالت می کند:

- ارتعاشات کلی بیشتر باشد.
 - مقادیر ارتعاشات در جهت شعاعی و محوری بیشتر باشد.
 - در اسپکترام ارتعاشات هارمونیک های اول و دوم و سوم دیده شوند.
 - ارتعاشات در 2 rpm بیشتر از یک 1 rpm باشد.
 - در جهت شعاعی و در عرض کوپلینگ (در روی بیرینگ ها) 180 درجه اختلاف فاز داشته باشد
 - با جابجایی سنسور از جهت افقی به عمودی در روی یک بیرینگ 0 درجه و یا 180 درجه، زاویه فاز جابجا شود.
- وجود هارمونیک های از 1 تا 10 شدت زیاد غیر هم محوری را نشان می باشد
- در بیشتر مواقع زاویه فاز در غیر هم محوری ها به صورت ناپایدار ظاهر می گردد و این امر یکی از نکات تمایز غیر هم محوری با آنبالانسی می باشد.

مشخصه های غیر هم محوری زاویه ای

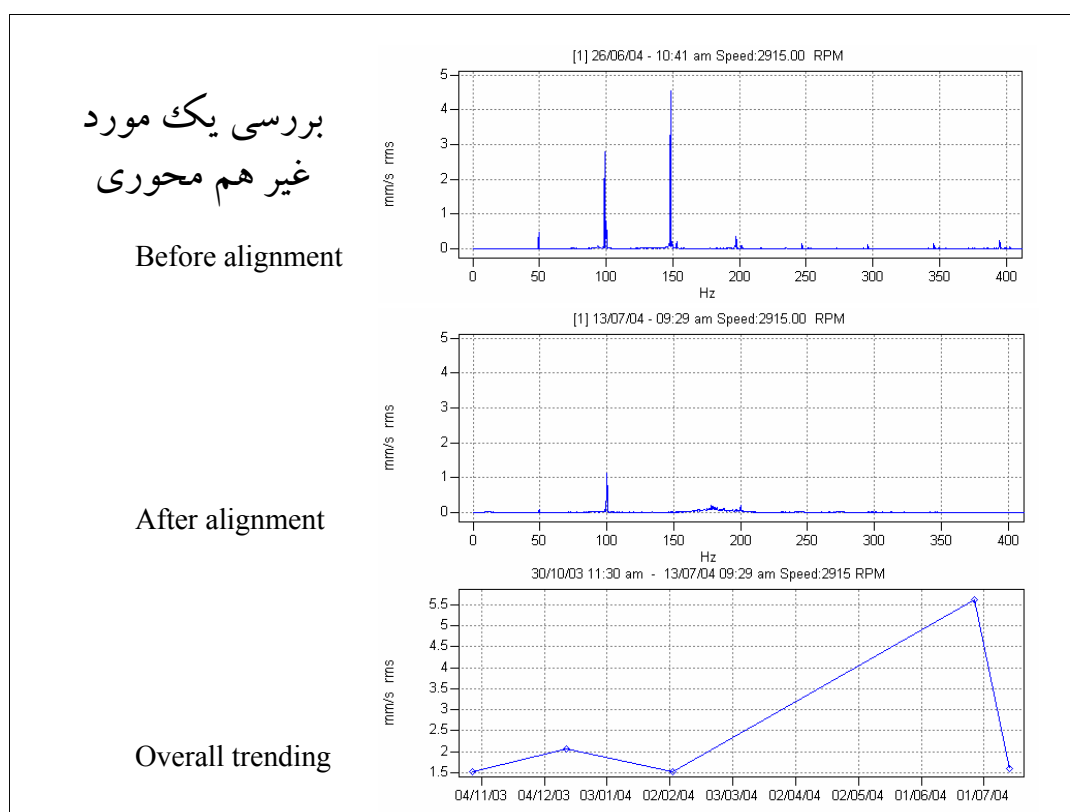
B. Angular misalignment



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

در صورت مشاهده موارد زیر می توان با احتمال زیاد به Angular Misalignment تفسیر کرد:

- ارتعاشات کلی بیشتر باشد
- مقادیر ارتعاشات در جهت شعاعی و محوری بیشتر باشد.
- شدت ارتعاشات در جهت محوری بیشتر باشد.
- در اسپکترام ارتعاشات هارمونیک های اول و دوم و سوم دیده شوند.
- ارتعاشات در 1 rpm بیشتر از 2 rpm باشد.
- در جهت محوری و عرض کولپینگ (در روی بیرینگ ها) 180° درجه اختلاف فاز داشته باشد.
- در روی یک بیرینگ با جابجایی سنسور از جهت افقی به عمودی 0° درجه و یا 180° درجه فاز جابجا شود.
- بایستی اندازه گیری فاز در عرض کولپینگ در یک جهت محوری در روی دوتا بیرینگ انجام گیرد.



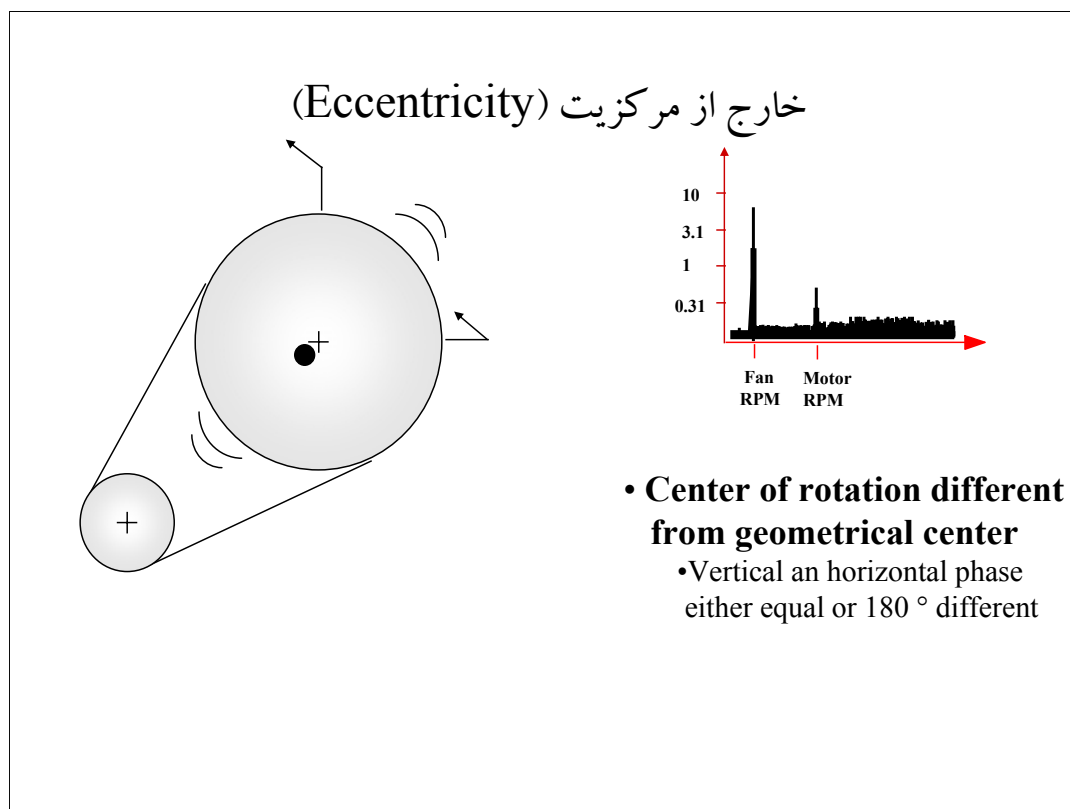
گراف های بالا از بیرینگ طرف کوپلینگ یک الکتروموتور اندازه گیری و ثبت شده است. این الکتروموتور پمپ با دور 2963 rpm کار می کند. در نتیجه فرکانس پایه آن برابر 49.38 Hz است. همانطوریکه قبلا توضیح داده شده است دانستن فرکانس پایه برای تحلیل و آنالیز ارتعاشات برای آنالیز فوق العاده اهمیت دارد.

گراف پائینی روند ارتعاشات کلی را نشان می دهد و آنالیز با مشاهده این گراف متوجه می شود که وضعیت ماشین از حالت عادی خارج شده است و لازم است آنالیز و تفسیر انجام شود. برای آنالیز و پیدا کردن عیب به اسپکتروگرام نیاز است.

گراف بالایی اسپکتروگرام ارتعاشات بیرینگ را قبل از هر گونه اقدام نشان می دهد. پیک هایی در هارمونیک اول 49.38 Hz و هارمونیک دوم 98.38 Hz و هارمونیک سوم 148.1 Hz دیده می شود. با توجه مشخصه های گفته شده این وضعیت به غیر هم محوری تفسیر می گردد و به خصوص هارمونیک سوم شدت غیر هم محوری را نشان می دهد.

گراف وسطی، اسپکتروگرام ارتعاشات را بعد از Alignment نشان می دهد که ارتعاشات در اسپکتروگرام کاهش بسیاری یافته و این کاهش را گراف Overall نیز تأیید می کند.

غیر هم محوری که در اینجا مشاهده می شود از نوع مرکب است ولی طبق تعریف با توجه به دامنه هارمونیک دوم، میزان غیر هم محوری موازی باید از غیر هم محوری زاویه ای بیشتر باشد.



خارج از مرکزیت (Eccentricity):

خارج از مرکزیت زمانی به وجود می آید که مرکز دوران با مرکز هندسی یکی نباشد. خارج از مرکزیت (Eccentricity) باعث می گردد وزن بیشتری در یک طرف جمع شده و موجب آنبالانسی نیز می شود. بدین ترتیب علائم ناشی از خارج از مرکزیت مشابه آنبالانسی است.

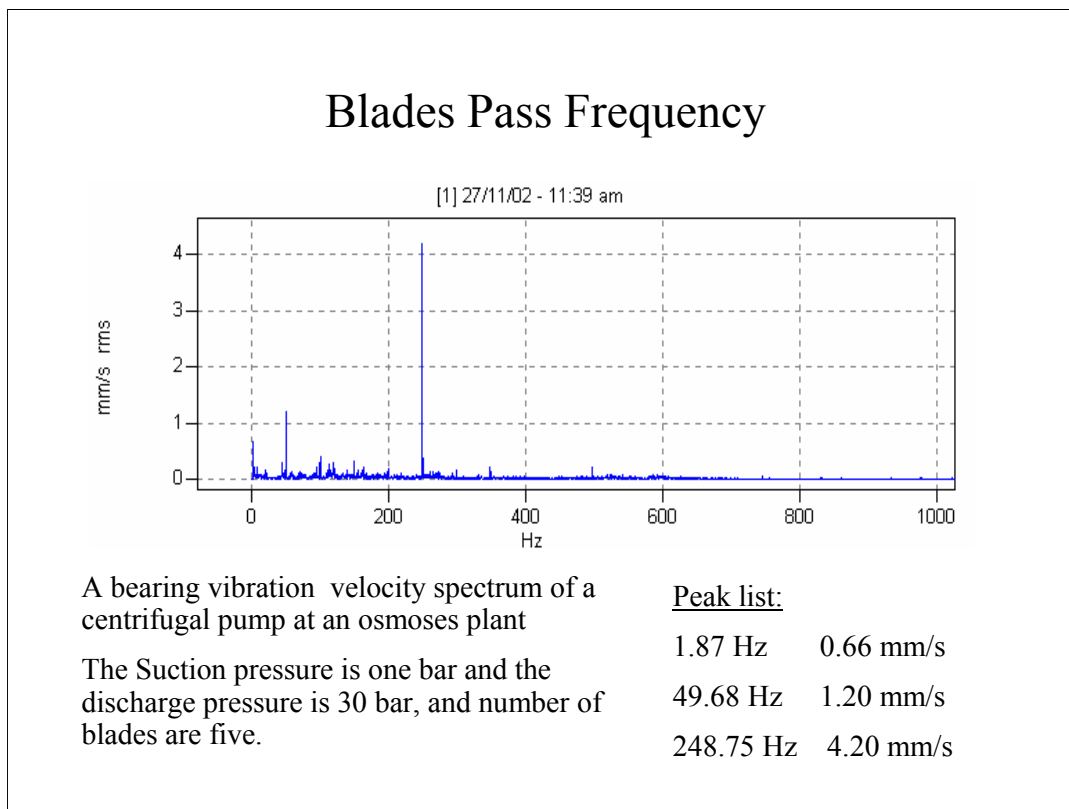
به غیر از موارد استثنایی، با بالانس کردن مشکل یک سیستم Eccentricity رفع نمی شود و حتی موجب بدتر شدن نیز می گردد. اگر سعی کنید که ارتعاشات ناشی از Eccentricity را با بالانسینگ در یک جهت کم کنید مقدار ارتعاشات در جهت دیگر افزایش می یابد.

در سیستم های که تسمه و پولی به کار رفته، در اثر نزدیک و دور شدن مرکز پولی ناشی از خارج از مرکزیت (Eccentricity) موجب کشش و شل شدن تسمه ها و تولید ارتعاشات نظیر آنبالانسی در فرکانس یک برابر دور می گردد.

در سیستم های دارای چرخدنده، با حرکت چرخدنده ها و نزدیک شدت مرکز چرخدنده ها در اثر Eccentricity، نیروهای عمل و عکس العمل ایجاد می شود. بیشترین میزان ارتعاشات نیز در راستایی خطی که مرکز دو تا چرخدنده را به هم وصل می کند و که در فرکانس یک برابر دور تولید می گردد.

• خارج از مرکزیت (Eccentricity) ارتعاشاتی برابر با دور شفت تولید می کند.

• فاز در جهت افقی و عمودی معمولاً یکسان است و گاهی 180° نیز درجه اختلاف نشان می دهد



در ماشین آلاتی که به منظور جابجایی سیالات (مایعات و گازها) به کار می روند تجهیزاتی نظیر پمپ ها و کمپرسورها و فن ها ارتعاشاتی تولید می گردد که ناشی از برخورد پره های روتور با سیال می باشد که به آن فرکانس عبوری پره (Blade-pass frequency) و یا به اختصار فرکانس پره می گویند. فرکانس پره با حاصل ضرب تعداد پره ها در فرکانس پایه برابر است.

ارتعاشات فرکانس پره ها یک پدیده ذاتی است و معمولا در ماشین آلات دواری که با جابجایی سیالات سروکار دارند این ارتعاشات مشاهده می شود و به ندرت مساله ساز هستند.

فرکانس پره ها در ماشین آلاتی که اختلاف فشار ورودی و خروجی زیاد است بیشتر دیده می شود و برای رفع آن نمی توان کاری کرد مگر اینکه تغییراتی در شرایط کاری ماشین آلات بوجود آورد.

اسپکترامی که در بالا مشاهده می شود از پمپ سانتریفوژ اسمز معکوس یک واحد تصفیه آب گرفته شده است که فشار وردی 1 bar و فشار خروجی 30 bar است. این پمپ پنج تا پره دارد و از آنجاییکه فرکانس پایه 49.68 Hz می باشد و در نتیجه فرکانس پره 248.5 Hz می شود. در اسپکترام به راحتی فرکانس پره ها قابل شناسایی است. مقدار دامنه آن نسبت به هارمونیک اول و دوم که معمولا ناشی از آنبالانسی و یا غیر هم محوری می باشد بیشتر است.

تشخیص آنبالانسی الکتریکی از مکانیکی

- *Mechanical imbalance appear with rotational speed.*
- *Electrical imbalance appear with synchronous speed.*
- *There is a different between RPM and Synchronous speed that is called Slip.*

$$\text{Slip} = \text{Synchronous} - \text{RPM}$$

$$\text{Slip} = 0.1\% \text{ to } 15\% \text{ of } N$$

Slip value depends on size motor

Bigger motors have less slip

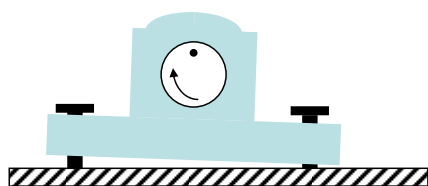
آنبالانسی مکانیکی و آنبالانسی الکتریکی را از روی فرکانس های آنها تشخیص می دهند. آنبالانسی مکانیکی در فرکانس چرخش شفت ظاهر می شود ولی آنبالانسی الکتریکی در فرکانس سنکرون وجود می آید.

اختلاف این دو از لغزش بوجود می آید. موتورهای اندکسیونی یک فرکانس لغزش دارند و مقدار آن با اختلاف دور روتور و فرکانس الکتریکی برابر است. فرکانس لغزش به سائز موتور بستگی دارد و معمولاً فرکانس لغزش 0.1% - 15% فرکانس سنکرون می باشد.

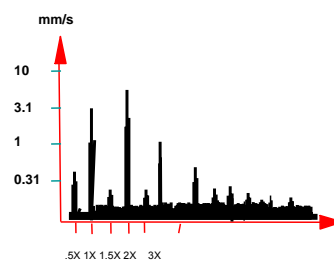
بطور کلی می توان گفت ارتعاشات ناشی از مسایل برقی نتیجه نابرابری نیروهای الکترومغناطیسی در روتور و استاتور می باشد. نابرابری نیروهای الکترومغناطیسی می توانند از یک یا چند عامل مانند Rotor not round، خارج از مرکزیت در محفظه استاتور و یا نامیزان بودن روتور نسبت به استاتور (Unequal air Gap) و عوامل دیگر در موتورهای برقی ناشی گردند.

مسایل الکتروموتور های برقی در قسمت بررسی عیوب الکتروموتورها با جزییات بیشتری مورد بررسی قرار گرفته است.

لقی مکانیکی در قسمت های ثابت

Vibration : Mainly Radial**Frequencies : Increase in low harmonics
plus sub-harmonics and
inter-harmonics**

Loose Foundation
2X often high
Sub-harmonics

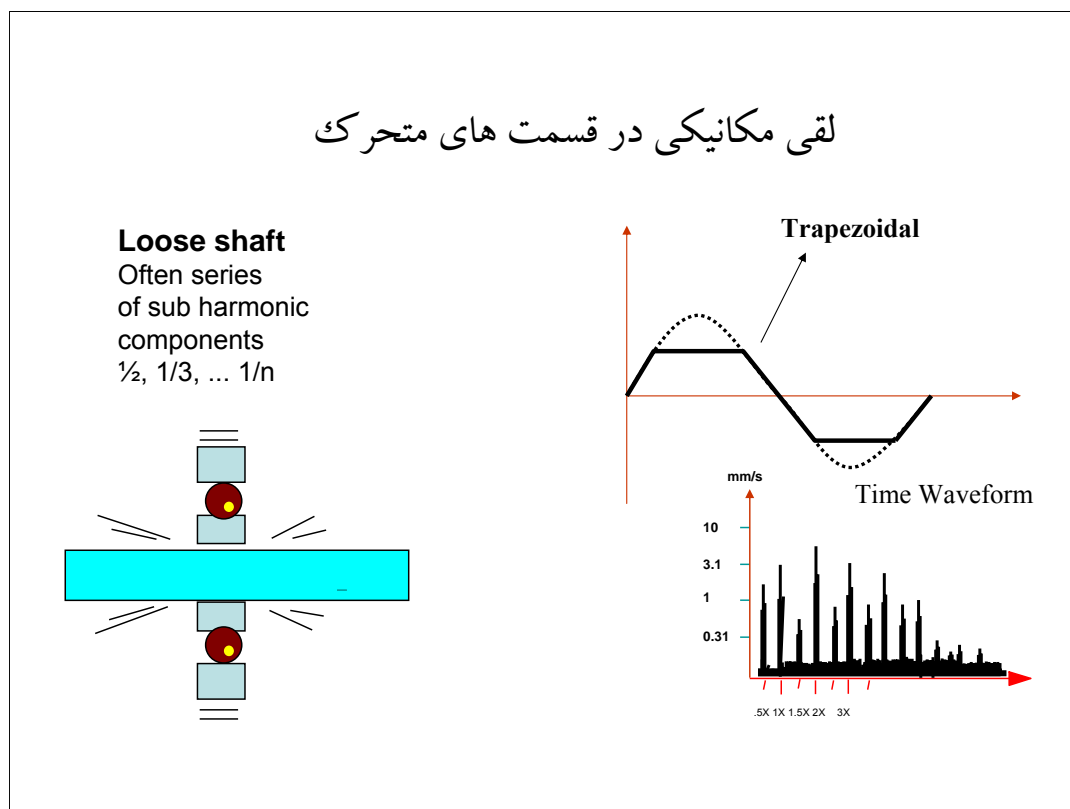


در ماشین آلات همیشه نیروهای محرک ارتعاشات ناشی از آنبالانسی جزئی و غیرهم محوری جزئی و مسایل تفرانس در ساخت و نصب وجود دارند. در این حالت وجود لقی مکانیکی شرایط را تشدید می کند یعنی مقدار کم ارتعاشات ناشی از عوامل فوق را به مقادیر زیاد ارتعاشات تبدیل می کند.

لقی مکانیکی در قسمت های مختلف تجهیزات بوجود می آید. لقی قسمت های ثابت (شل بودن پایه ها و سازه ها و....) از جمله لقی مکانیکی می باشد که در اثر نصب غیر صحیح و یا در اثر کارکرد ماشین در ارتعاشات بالا، مثلاً ناشی از آنبالانسی بوجود می آید.

در شکل بالا اسپکترام لقی مکانیکی ناشی از شل بودن پیچ و مهره بیرینگ ها در محل نصب دیده می شود. ارتعاشات معمولاً در جهت افقی به علت **Stiffness** کم نسبت به جهت عمودی بیشتر است و این نسبت تا 1:5 عادی می باشد.

اگر در جایی ارتعاشات عمودی بیشتر از افقی باشد به احتمال زیاد ناشی از لقی مکانیکی می باشد. ارتعاشات ناشی از لقی مکانیکی در فرکانس پایه و هارمونیک های آن و هارمونیک های میانی و همچنین در زیر هارمونیک ها دیده می شوند. در این حالت ارتعاشات در هارمونیک های پائین تر دامنه بیشتر دارد. معمولاً در این نوع لقی مکانیکی ارتعاشات در هارمونیک دوم بیشتر از سایر هارمونیک ها می باشد.



وقتی که بیرینگ روی شفت به اندازه کافی محکم نباشد در اثر بارهای وارده Inner Ring بیرینگ در روی شفت حرکت کرده و ارتعاشاتی تولید می کند که مشخصه آن در اسپکترا بالا نشان داده شده است. اگر از لقی مکانیکی موج زمانی (Time waveform) ثبت شود به شکل ذوزنقه دیده می شود.

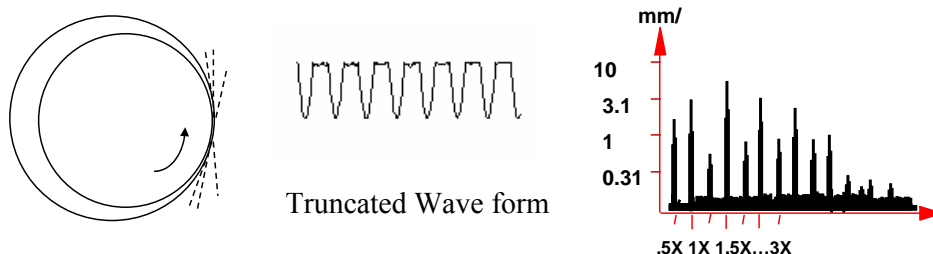
ارتعاشات در هارمونیک های فرکانس پایه و هارمونیک های میانی و زیر هارمونیک ها نیز ظاهر می گردد. معمولاً سطح نویز در اسپکترا بالا است.

افزایش کلیرنس در در سلیو بیرینگ ها (sleeve) و رولر بیرینگ ها و پروانه لق در روی شفت و غیره در ردیف این نوع لقی مکانیکی می باشد و ارتعاشاتی با مشخصه های فوق تولید می کنند.

در این نوع لقی مکانیکی فاز بسیار ناپایدار باشد. ممکن است از یک اندازه گیری نسبت به اندازه گیری بعدی تغییر زیادی کند. همچنین وضعیت روتور در روی شفت در هر استارت تغییر می کند و منجر به تغییر فاز می شود.

مقدار ارتعاشات لقی مکانیکی بیشتر به جهت اندازه گیری بستگی دارد. با تغییر جهت اندازه گیری در پیرامون محفظه بیرینگ مقادیر متفاوتی خوانده می شود.

سایش روتور



Symptoms same as Mechanical Looseness

- Sub-harmonics 1/2 ,1/3 etc.
- Strong Harmonic pattern Caused by truncation

سایش کلی (Rub) همان تماس مداوم دو قسمت (سطوح ثابت و متحرک) می باشد که باعث اصطکاک و حرارت زیاد می گردد. وقتی این نوع سایش (Rub) اتفاق می افتد و نویز در باند وسیع (Wide-Band Noise) تولید می کند. سایش کلی در نهایت به خرابی ناگهانی و کلی دستگاه منجر می شود.

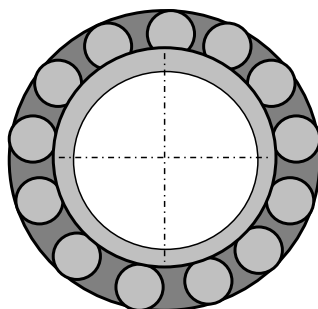
سایش معمول، زمانی اتفاق می افتد که قسمت چرخنده در طول یک سیکل (یک دور) یک یا چند بار به قسمت های ثابت برخورد می کند و ضربه (Hit) می زند. وقتی در طول یک دور یک برخورد و ضربه اتفاق می افتد یک پالس تولید می شود. ممکن است در طول یک سیکل چند برخورد و ضربه اتفاق افتد در این حالت پالس های زیادی تولید می گردد.

سایش می تواند در حالت های مختلف اتفاق افتد. مثلا اگر پره های فن یک موتور به بدنه برخورد کنند در این صورت سیگنال تولید شده با تعداد پره ها و سرعت دورانی بستگی پیدا می کند. ارتعاشات در فرکانس پره با هارمونیک های کناری (sidebands) با فواصل سرعت دورانی بوجود می آید.

احتمال دارد سایش فرکانس طبیعی را تحریک کند به خصوص زمانی که برخورد حالت ضربه داشته باشد. مشخصات ارتعاشات Rotor Rub همانند لقی مکانیکی می باشد که در بالا آمده است.

بیرینگ های رولر و ساچمه ای

چگونه می توان رفتار بیرینگ های رولر و ساچمه ای بررسی کرد و عیوب آنها را کشف و آنالیز نمود



در بخش آنالیز فرکانس در مورد اهمیت بیرینگ ها و تکنیک های بررسی رفتار و کشف عیوب و آنالیز وضعیت آنها صحبت شد. در آنجا به دو شیوه High Frequency detection و FFT Analyzing اشاره گردید. در این بخش در مورد انواع عیوب بیرینگ ها و فرکانس های عیوب و علایم مشخصه آنها در اسپکترام و Envelope بررسی های بیشتر به عمل می آید.

فاکتورهای که در عمر بیرینگ ها تاثیر دارند عبارتند از:

مسایل ساخت – متریکال هموزن نباشد و تolerانس ها رعایت نشود

مسایل انبار کردن – در بسته بندی خوب نباشند. در انبار درست چیده نشوند. در محل دارای ارتعاشات نگهداری نشوند

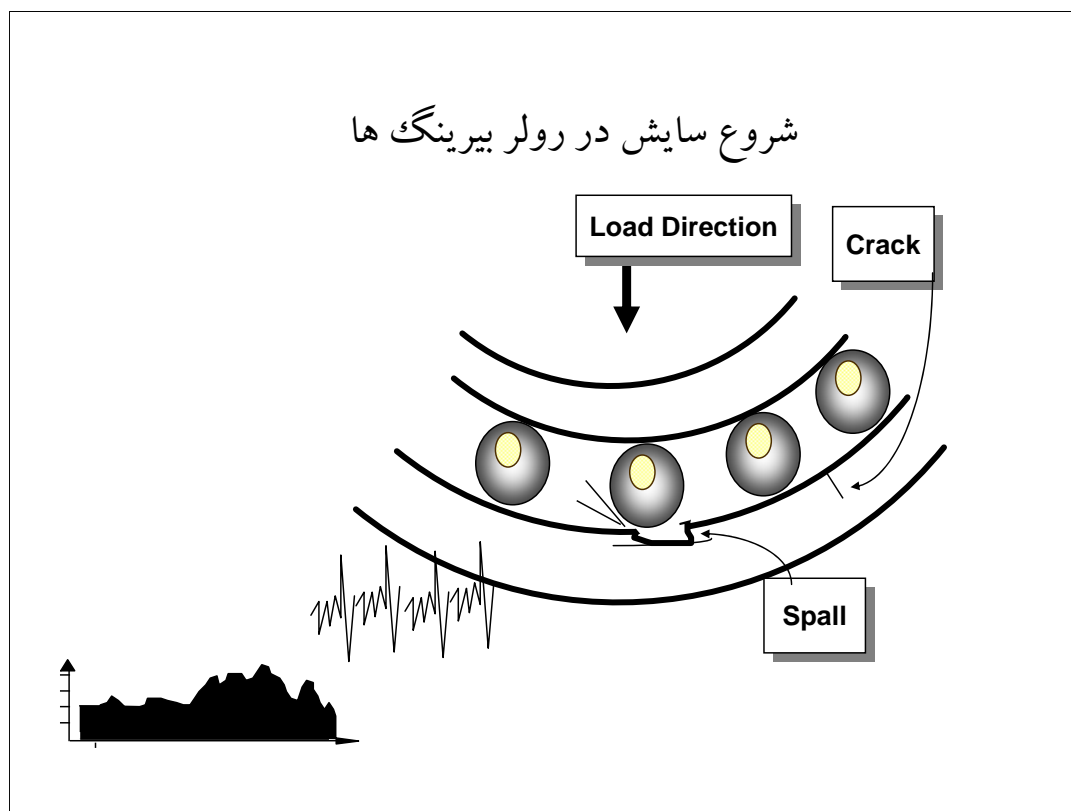
مسایل نصب – نصب و مونتاژ درست انجام نشود و در نتیجه بارگذاری نادرست بوجود بیاید. خطاهای هم محوری وجود داشته باشد.

مسایل عملیاتی – دما بیش از اندازه باشد و روانکاری درست انجام نشود. مواد خارجی داخل بیرینگ گردد. رطوبت محیط زیاد باشد و بار بیش از طراحی اعمال شود.

عوامل خرابی در بیرینگ های غلتشی در دو گروه عادی و غیرعادی قرار می گیرند:

عوامل عادی (Normal): شامل سایش و خستگی و خوردگی می باشد.

عوامل غیر عادی (Abnormal): شامل تغییر کل، شکست، ترک و داغ شدن بیش از حد می باشد.

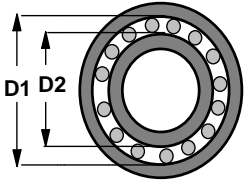


به طور کلی می توان گفت که عیوب بیرینگ های رولر و ساچمه ای با ترک های کوچک و یا Spalls شروع می شود. این ترک ها ناشی از تنش هایی در سطح فلز و در منطقه بار (Load) به وجود می آیند. وقتی که ساچمه ها و یا رولرها از روی ترک ها و Spall ها رد می شوند ضرباتی ایجاد می گردد که ضمن تولید ارتعاشات در فرکانس های بالا، موجب تحریک فرکانس طبیعی سنسور نیز می شوند. همانطوریکه در بخش قبل تشریح شد از این مساله در کشف و شناسایی عیوب بیرینگ ها استفاده می کنند. همچنین این برخورد ها باعث می شود ترک ها و spalls رشد و گسترش سریع یابند.

شدت سایش و خرابی بیرینگ ها کلا به بارهای وارده بستگی دارد. نصب نامناسب و روانکاری ناصحیح از عوامل اصلی خرابی بیرینگ ها می باشد.

در حالت کلی برای کشف و شناسایی عیوب بیرینگ های غلتشی روش های خاص اندازه گیری مانند High Frequency Detection (HFD) و Selective Envelope Detection (SED) نیاز است.

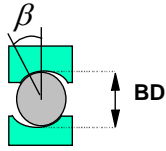
فرکانس های عیوب رولر بیرینگ ها



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

$n = \text{number of balls}$

$f_r = \text{rotation frequency}$



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

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

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

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

می توان عیوب بیرینگ ها به چهار نوع رده بندی کرد:

(۱) عیوب موضعی که در قسمت های Inner Race و Outer Race و Balls و Cages و Rollers ایجاد می شود که فرکانس عیوب آنها با توجه به فرمول های بالا محاسبه می گردند.

(۲) سایش کلی بیرینگ ها فرکانس خاصی ندارد و معمولاً در اسپکترام در بازه وسیع فرکانسی 2 kHz – 17 kHz ظاهر می شوند.

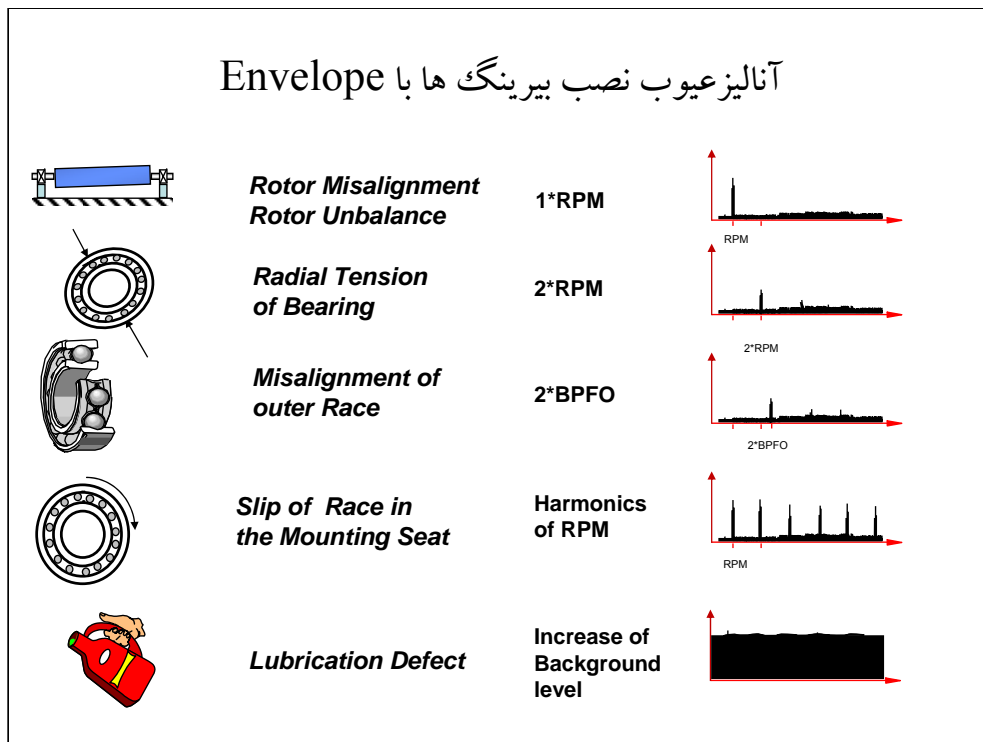
(۳) عیوب نصب بیرینگ ها در اسپکترام فرکانس با هارمونیک های از فرکانس پایه ظاهر می شود.

(۴) عیوب ناشی از روانکاری ناصحیح که این هم فرکانس خاصی ندارد و معمولاً زمینه های نویز بیشتر در اسپکترام مشاهده می گردد.

عیب در Outer Race بیرینگ در فرکانس (Ball Pass Frequency BPFO) Outer Race هارمونیک های آن ظاهر می گردد که امکان دارد ماه ها طول بکشد تا به خرابی کلی منجر گردد.

عیب در Inner Race بیرینگ در فرکانس BPFI با هارمونیک های کناری ظاهر می گردد. ممکن است روزها و هفته ها طول بکشد تا به خرابی منجر گردد.

عیب در Ball در فرکانس (Ball Spin Frequency BSF) و هارمونیک های آن بوجود می آید و ممکن است هارمونیک های میانی نیز دیده شود. در صورت مشاهده این نوع عیب باید اقدام سریع انجام گیرد.



در شکل های بالا انواع عیوب نصب بیرینگ ها دیده می شوند که در فرکانس های خاص خود را نشان می دهند. در شکل پائینی نیز، اسپکترام Envelope ناشی از مسایل روانکاری ناصحیح دیده می شود.

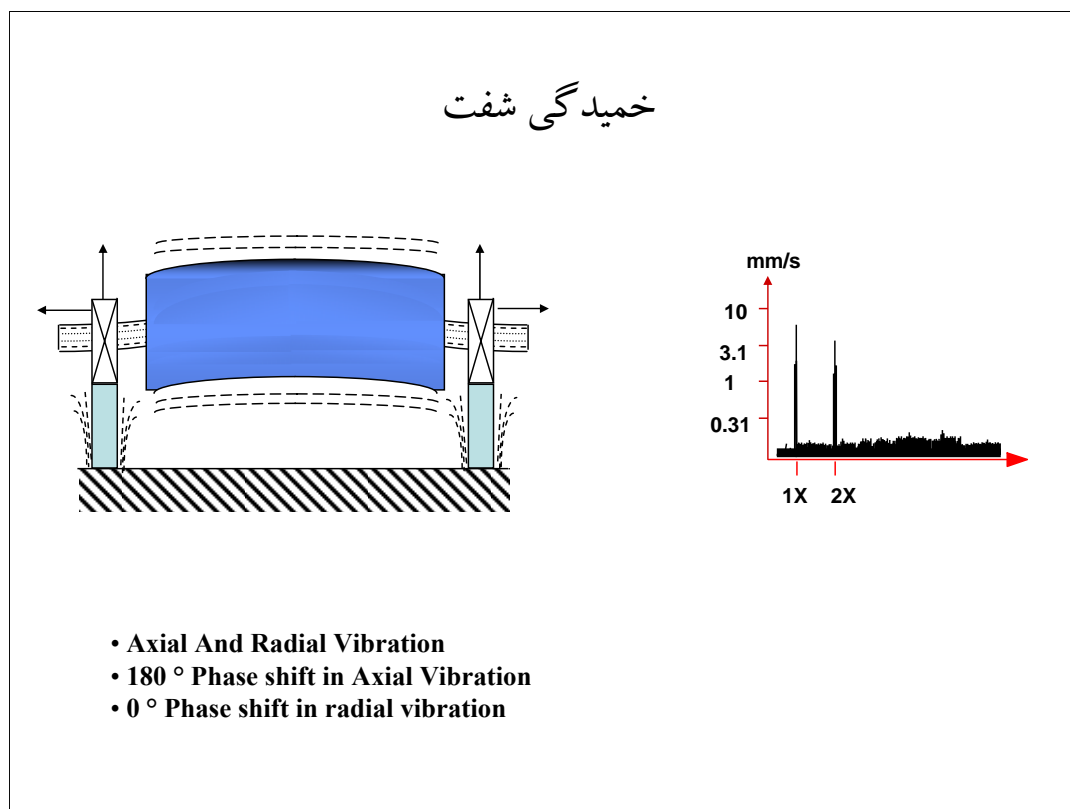
شکل اولی یک روتور آنبالانس و یا Misalign را نشان می دهد که ارتعاشات در 1RPM را تحریک می کند.

شکل دومی بیرینگی را نشان می دهد که تحت تنش های شعاعی می باشد و در این حالت ارتعاشاتی در 2RPM تولید می شود.

شکل سومی بیرینگی را نشان می دهد که Outer Race آن Misalign می باشد و ارتعاشات در 2BPFO تولید می کند.

شکل چهارم بیرینگی را نشان می دهد که در محل نصب خود لغزش دارد و در این حالت ارتعاشاتی در فرکانس پایه و هارمونیک های آن تولید می کند.

شکل پنجم مسایل روانکاری را نشان می دهد که اسپکترام مسطحی دارد.



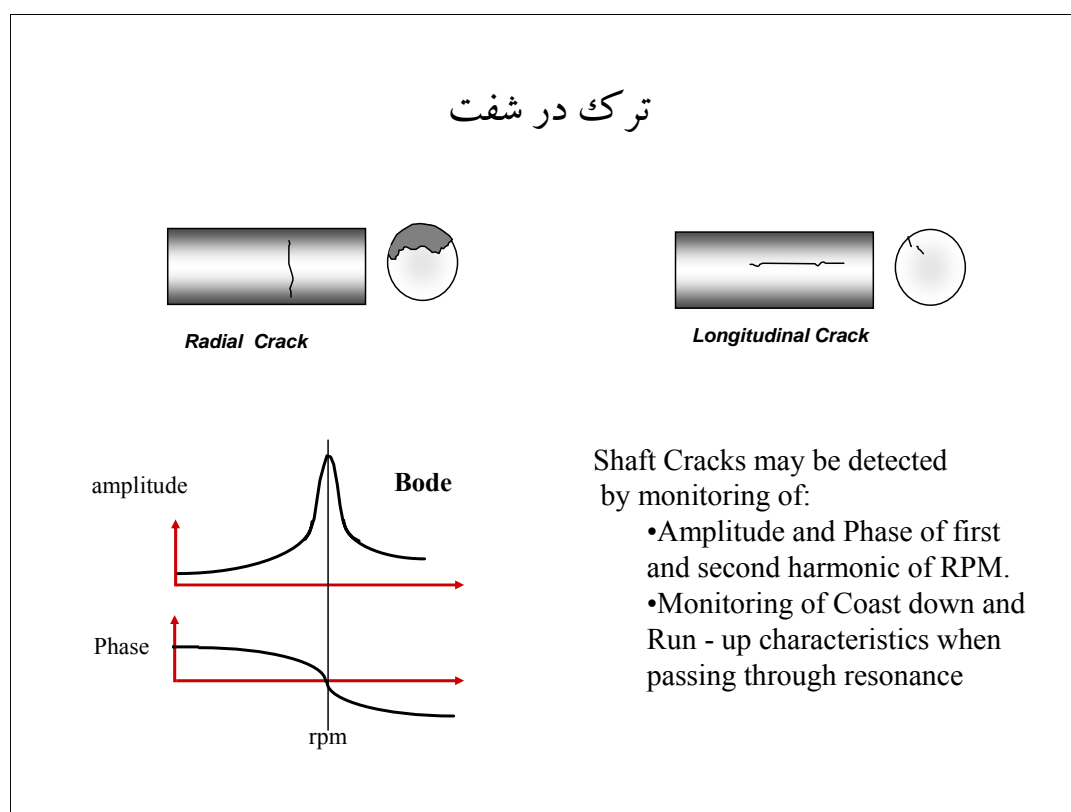
زمانیکه روتوری برای مدت طولانی در یک جا قرار داده شود در اثر وزن خود خم می گردد. اگر این روتور در سرعت کم چرخانده شود خمیدگی از بین می رود مگر اینکه تغییر شکل دائمی پیدا کند. معمولاً روتورهای که برای مدت طولانی در انبار نگهداری می گردند جهت اجتناب از خمیدگی شفت و تغییر شکل دائمی طبق توصیه سازندگان هر از چند گاهی شفت را به حرکت در می آورند.

خمیدگی شفت آنبالانسی بوجود می آورد و با بالانس کردن می توان سطح ارتعاشات را کاهش داد. با وجود این، بالانسینگ نمی تواند شفت را از حالت خمیدگی خارج کرده و آن را راست کند. در مواردی خمیدگی شفت مانع از هم محور کردن دقیق می شود. اگر شفت به اندازه کافی خم شده باشد باعث غیر هم محوری نیز می گردد.

وقتی شفتی خم شده باشد انتهای شفت در مداری چرخش خواهد کرد. در این حالت یک نیروی در شفت کوپل شده و در طول 360 درجه به چرخش در می آید. این نیرو سیگنالی با دامنه بالا در فرکانس پایه تولید می کند. هارمونیک دوم نیز یکی از مشخصه های خمیدگی شفت است.

خمیدگی شفت در مواردی به صورت غیر هم محوری در اسپکترا ظاهر می شود. ارتعاشات در جهت شعاعی و محوری تولید می کند. با اندازه گیری فاز می توان آن را از غیر هم محوری (Misalignment) متمایز کرد:

- در جهت شعاعی با جابجایی سنسور اختلاف فاز به وجود نمی آید.
- فاز در طول شفت یا روتور 180 درجه اختلاف پیدا می کند.
- هارمونیک دوم با فرکانس پایه هم فاز می باشد.
- وقتی هارمونیک دوم با فرکانس پایه هم فاز نباشد و یا نسبت به آن تغییر کند در این صورت لقی مکانیکی احتمال داده می شود.



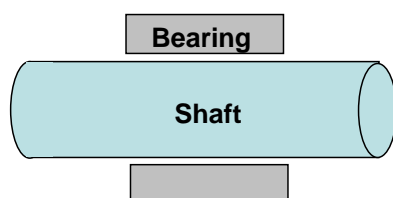
بعضی مواقع ترک در شفت روتورهای سنگین و دور بالا ناشی از خستگی (Fatigue) مشاهده می شود. معمولاً ترک از یک آسیب موضعی و یا جائیکه تمرکز تنش زیاد است شروع می شود. ترکیب تنش های یکنواخت و دینامیکی در ایجاد و شروع تنش های ناشی از خستگی نقش اساسی دارد. در نتیجه اثر بارهای ناگهانی و گذرا در شروع ترک بیشتر است. وقتی در اثر تنش های زیاد ترک شروع شد با تنش های کم و حتی با تنش های نرمال کاری دستگاه رشد و گسترش می یابد. ترک باعث کاهش سختی (Stiffness) شفت می شود و در نتیجه فرکانس طبیعی و سرعت بحرانی آن تغییر می کند. شناسایی ترک در شفت های در حال کار هنوز هم مشکل است مگر اینکه ترک به اندازه کافی گسترش یافته باشد. هر چه عمق ترک بیشتر شود رشد و گسترش آن سرعت بیشتری می یابد. در نتیجه با شروع ناپایداری تا شکست زمان کمی وجود خواهد داشت.

یکی از روش های که در شناسایی ترک بکار می رود استفاده از منحنی Bode می باشد. در این روش مقدار ارتعاشات و فاز را در دورهای مختلف یعنی از ابتدای راه اندازی تا دور معینی اندازه گیری می کنند. نمایش هم زمان این دو را منحنی Bode می گویند. زمانی که شفت از فرکانس طبیعی خود عبور می کند منحنی ارتعاشات تغییر می کند. پس منحنی Bode در زمان Start up و Run down کاربرد دارد. سرعت بحرانی (Critical Speed) شفت در منحنی Bode نقطه عطف در فاز می باشد. در این نقطه فاز 180 درجه اختلاف پیدا می کند. یعنی در غیاب گراف دامنه - دور از روی گراف فاز - دور می توان سرعت بحرانی شفت را پیدا کرد. با رشد ترک سرعت بحرانی شفت کاهش می یابد.

با مونیتورینگ هارمونیک های اول و دوم ممکن است ترک شناسایی شود. با گسترش ترک (شعاعی) شفت مقدار ارتعاشات در هارمونیک اول و دوم و حتی در هارمونیک سوم افزایش می یابد. معمولاً مقدار ارتعاشات در هارمونیک دوم غالب است و زاویه فاز تغییرات قابل ملاحظه ای پیدا می کند.

بیرینگ های ژورنال

- ارتعاشات در ژورنال بیرینگ ها:
- کلیرنس داخلی (internal clearance)
- بار گذاری نامناسب (improper loading of bearing)
- روانکاری نامناسب (improper lubrication)
- ضعف طراحی (poor design)



ژورنال بیرینگ ها در ماشین آلاتی که دور بالا و توان مصرفی زیادی دارند مانند توربین ها و کمپرسورها و پمپ ها و ... مورد استفاده قرار می گیرند. ساده ترین شکل ژورنال بیرینگ ها استوانه یا سیلندری است که در دور شفت قرار می گیرد و با فرم خاصی با سیال روانکار پر می شود که ضمن استهلاک نیروهای وارده از برخورد فلز به فلز محافظت می کند. ارتعاشات در ژورنال بیرینگ ها به عوامل مختلفی بستگی دارد.

کلیرنس داخلی، بارگذاری نامناسب، روانکاری نامناسب و طراحی ضعیف هر کدام می توانند در ژورنال بیرینگ ها ارتعاشات بالا و خطرناک تولید کنند.

کلیرنس داخلی:

وقتی که کلیرنس داخلی افزایش یابد حتی با کمترین نیروهای تحریک کننده مانند آنبالانسی جزئی ارتعاشات بالایی در بیرینگ ها ایجاد می گردد.

بارگذاری نامناسب:

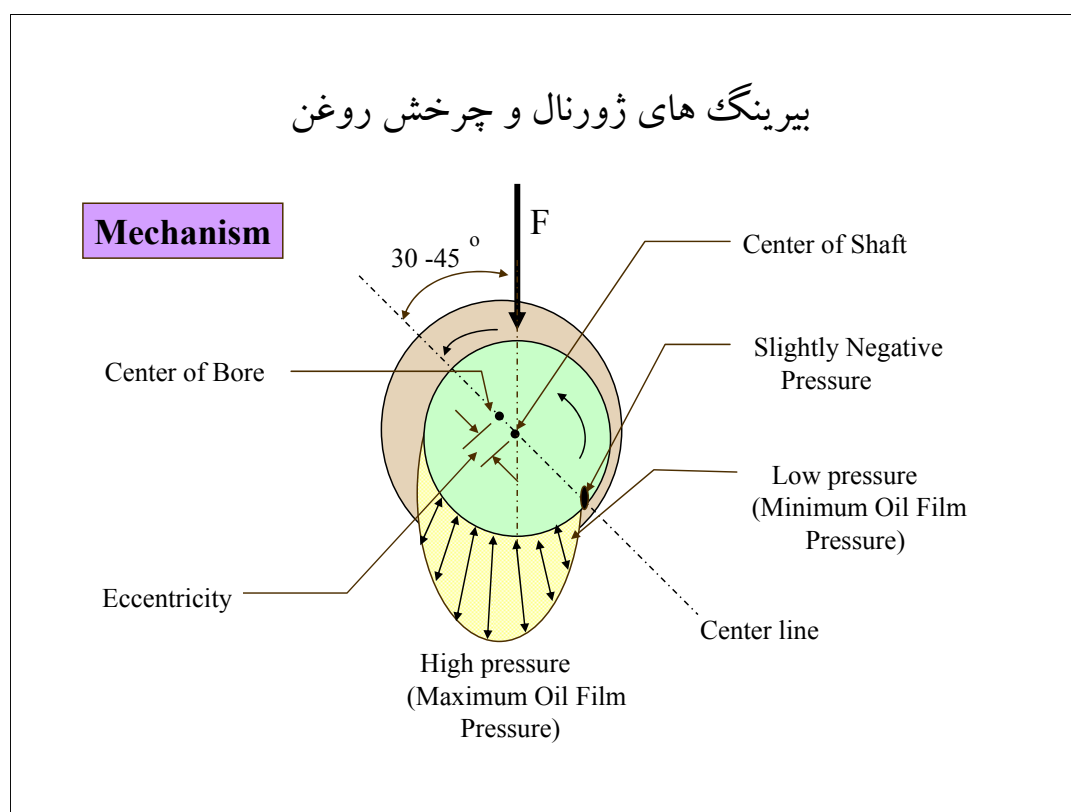
اگر به بیرینگ ها نیروهای بیشتری وارد شود عمر بیرینگ ها کم می گردد. البته نیروهای بسیار کم هم می توانند خرابی های بیشتری به بار آورند. و این در حالت Oil whirl اتفاق می افتد.

روانکاری نامناسب:

روانکاری نامناسب می تواند فرکانس های بالا تولید کند. در حالت های که دمای بیرینگ ها کنترل نمی شوند توصیه می شود ارتعاشات در فرکانس های بالا نیز مونیتور شده تا از صحت روانکاری مناسب اطمینان حاصل شود.

ضعف در طراحی:

عدم دقت در طراحی و رعایت ابعاد بیرینگ ها می تواند در ایجاد ارتعاشات مؤثر باشد.

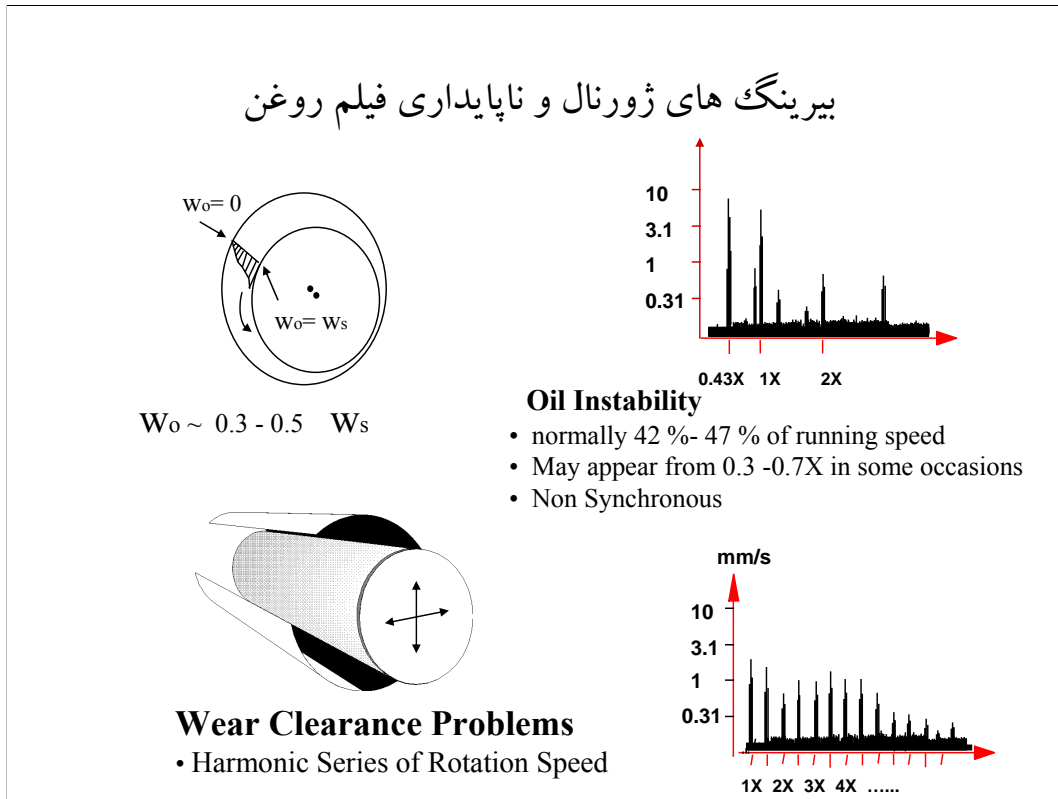


شکل بالا مکانیزم نیروهای وارده در ژورنال بیرینگ ها را نشان می دهد. شفت روی گوه ای از روغن سوار شده و موجب می شود که روغن در اثر نیروهای وارده در مسیر اطراف بیرینگ به چرخش در آید. اگر فرکانس چرخش روغن با سرعت بحرانی شفت برابر باشد باعث می شود پدیده Oil Whip اتفاق بیافتد که دامنه بالایی دارد:

Rotational Speed of oil wedge= Slightly less than $\frac{1}{2}$ RPM

مسایل طراحی و سایش بیرینگ ها و تغییرات فشار روغن و بارگذاری نامناسب و حتی نیروهای تحریک کننده جانبی مانند Misalignment و Unbalance می توانند به Oil Whip منجر شوند.

طبق اصول هیدرولیک، وقتی شفتی دوران می کند یک گوه روغن در زیر شفت ایجاد می گردد. با توجه به جهت چرخش مرکز شفت در یکی از ربع های پایین دایره بیرینگ (طرف راست یا چپ) قرار می گیرد. مقدار بلند شدن شفت به دور، وزن روتور و فشار روغن بستگی دارد. نیروهای خارجی نیز در جابجایی شفت و موقعیت قرار گرفتن آن تاثیر می گذارند. یکی از معایب ژورنال بیرینگ ها ناپایداری روغن می باشد که به صورت Oil Whirl و Oil Whip آشکار می شود. ناپایداری روغن بخصوص Oil Whip بسیار خطرناک است.

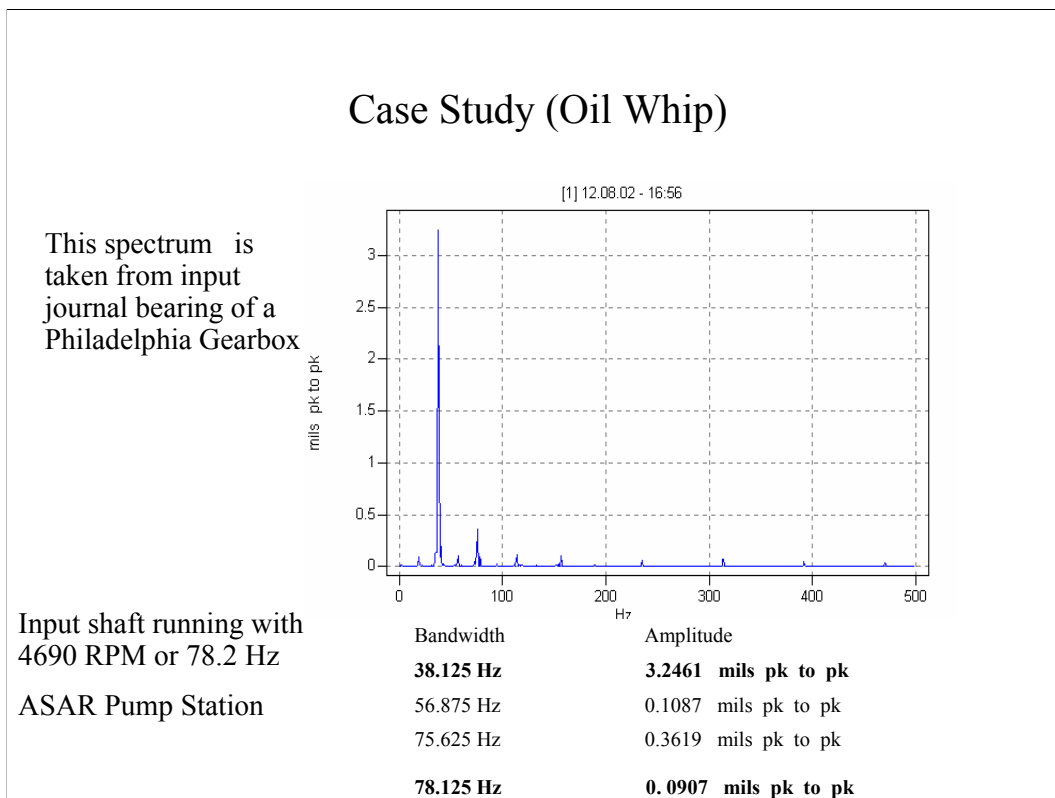


وقتی که ناپایداری روغن به وجود می آید ارتعاشات بالا تولید می شود. ناپایداری روغن (Oil Instability) در محدوده فرکانس 0.38 rpm - 0.48 rpm ظاهر می شود و در مواردی 0.3 rpm – 0.7 rpm نیز مشاهده شده است.

در صورتیکه سایش بیشتر باشد و کلیرنس افزایش یابد ارتعاشات در فرکانس پایه و سری از هارمونیک های از فرکانس پایه در اسپکترام مشاهده می گردد.

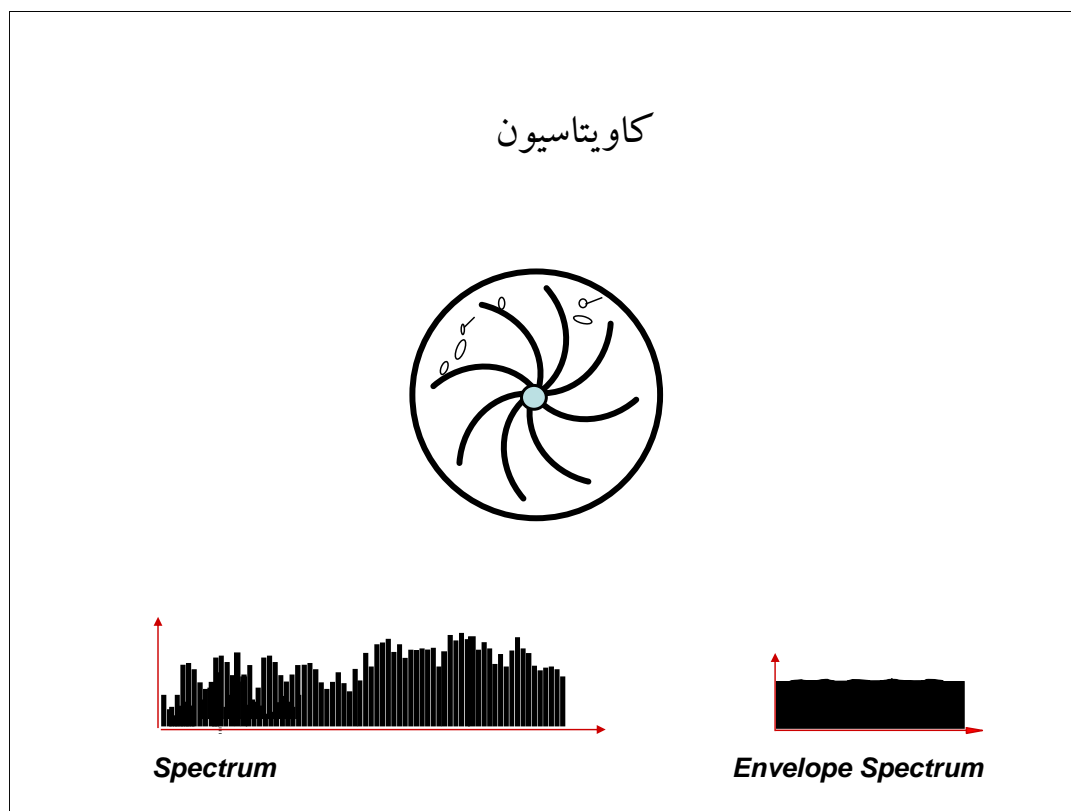
برای از بین بردن ناپایداری روغن تغییراتی در ساختار ژورنال بیرینگ ها بوجود آوردند. ژورنال بیرینگ ها بصورت Lemon Bore و Pressure Dam و Axial Groove و Tilting Pad ساخته می شوند که اشکال بیضوی و شیارهای محوری و Pad ها در مقابل چرخش روغن مقاومت ایجاد کرده و باعث پایداری روغن می شوند.

یکی از خصوصیات بیرینگ های ژورنال به دلیل استفاده از روغن، Damping است که به ویسکوزیته و ضخامت لایه روغن بستگی دارد. ویسکوزیته بالا و لایه ضخیم تر میرایی بیشتر ایجاد می کند.



اسپکترام بالا از ایستگاه پمپاژ نفت خام آسار واقع در پل دختر از یک توربوپمپ گرفته شده که یک فرکانس Oil whip را در 0.48 rpm نشان می دهد. این اسپکترام از بیرینگ ورودی گیربکس کاهنده برداشته شده است.

علت بوجود آمدن این فرکانس مورد آنالیز و بررسی قرار گرفت. یعنی فشار روغن و کلیرنس داخلی بیرینگ ها و بارهای وارده کنترل گردید و در نهایت مشخص شد که بیرینگ نصب شده مربوط به یک دستگاه دیگر بوده و به علت نبود یدکی مجبورا مورد استفاده قرار گرفته است.



کاویتاسیون در جاهای که سیال مایع جابجا می شود تحت شرایطی اتفاق می افتد و یکی از پدیده های است که در پمپ ها ارتعاشات و نویز تولید می کند.

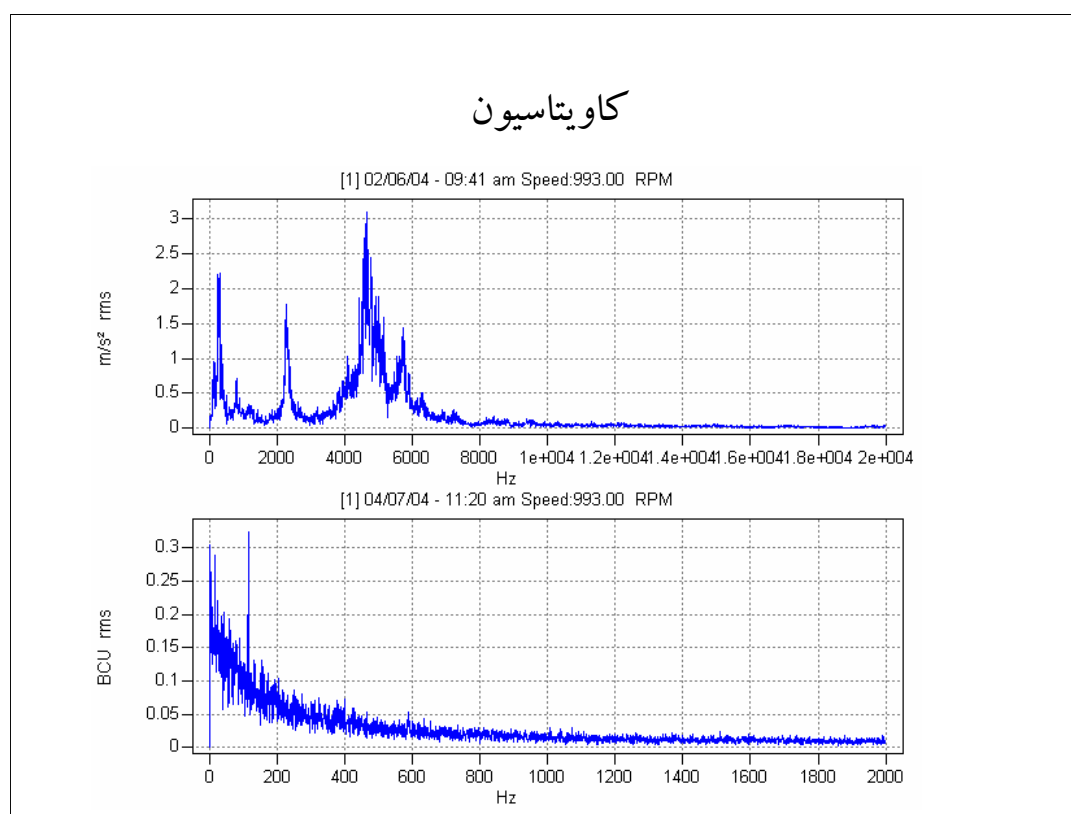
زمانی که فشار در قسمت مکش پمپ به فشار بخار کاهش می یابد مقداری از مایع به بخار تبدیل می شود. حباب های بخار در داخل مایع بوجود می آیند. وقتی که این حباب ها از ناحیه کم فشار به قسمت های فشار بالا در داخل پروانه پمپ وارد می شوند ریزش (Collapse) می کنند. در اثر ریزش و انفجار حباب ها مولکول های مایع با شدت و سرعت زیاد به دیواره ها برخورد کرده و باعث کنده شدن فلز (Caviting) می شوند و بدین ترتیب پدیده کاویتاسیون بوجود می آید. اگر پمپی در حالت کاویتاسیون کار کند در معرض آسیب های مکانیکی قرار می گیرد پروانه پمپ خورده می شود و منجر به آنبالانسی و خرابی بیرینگ ها نیز می گردد.

این پدیده در پمپ ها با ارتعاشات و نویز همراه است و تا حدودی در جریان سیال ناپایداری بوجود می آورد. اگر شدت ناپایداری سیال بیشتر باشد موجب ارتعاشات Piping در قسمت خروجی (Discharge) نیز می گردد.

روش های تشخیص کاویتاسیون عبارتند از:

- (۱) - روش محاسبات NPSHA و NPSHR
- (۲) - روش باز کردن پمپ و بررسی محل خوردگی
- (۳) - صدا: در پمپ های که با کاویتاسیون کار می کنند صدای مانند حرکت شن و ماسه در روی فلز تولید می کنند.
- (۴) - روش آنالیز ارتعاشات

در صفحه بعد به تجزیه و تحلیل کاویتاسیون با آنالیز ارتعاشات می پردازیم



اسپیکترام های بالا از یک پمپ با دبی $4600 m^3/hour$ و توان مصرفی $759 kw$ و سرعت دورانی 995 rpm که در شرایط پدیده کاویتاسیون کار می کند برداشته شده است. شدت ارتعاشات در این پمپ ها در حدود $3.5 mm/s$ rms می باشد و همچنین ارتعاشات با نویز همراه است و مشخصه نویز همان است که در صفحه قبل در ایتیم ۳ ذکر شد. البته در پمپ های که در شرایط پدیده کاویتاسیون کار می کند شدت ارتعاشات چندان بالا نیست. اگر بخواهیم وضعیت ارتعاشات این نوع پمپ ها را نسبت به مقادیر مجاز در مدارک سازنده (ماکزیمم مقدار مجاز $11 mm/s$ rms) و یا نسبت به استاندارد ISO 10816-3 با بال بیرینگ و فونداسیون صلب ($7.1 mm/s$ rms) ارزیابی کنیم وضعیت آنها خوب ارزیابی می شود. ولی در عمل این پمپ ها در معرض آسیب های مکانیکی زیادی قرار دارند.

بررسی اسپیکترام های فوق نشان می دهد که ارتعاشات ناشی از کاویتاسیون باند وسیع فرکانسی را در اسپیکترام شتاب پوشش می دهد بطوریکه از $300 Hz - 7 kHz$ را در بر می گیرد. در اسپیکترام ارتعاشات، مؤلفه واحدی (پیک) به آن صورت دیده نمی شود و معمولاً اسپیکترام ارتعاشات متغیر است. در اسپیکترام ارتعاشی سرعت ارتعاشات ناشی از کاویتاسیون بیشتر در باند فرکانسی $300 Hz - 3000 Hz$ قابل مشاهده است.

از آنجائیکه برخورد مولکول های مایع به فلز در اثر ریزش حباب های بخار ماهیت ضربه دارند و پالس های کوچک در فرکانس های بالا تولید می کنند در نتیجه اندازه گیری Envelope یا BCU یکی از ابزار مناسب تشخیص کاویتاسیون می باشد. در گراف BCS (شکل پائینی) ملاحظه می گردد. پس زمینه سطح اسپیکترام پر می باشد. همانطوریکه گفته شد در اسپیکترام خطوط مشخصی وجود ندارد. تنها یک پیک دیده می شود که احتمال دارد فرکانس عبوری پره ها باشد و یا اینکه فرکانس طبیعی یکی از قطعات است.

کاویتاسیون



خوردگی پره های طرف مکش یک پمپ کولینگ

شکل بالا تصویر پروانه پمپ صفحه قبل است که اسپکترام های آن نیز مورد بررسی قرار گرفت. محل خوردگی ناشی از کاویتاسیون دیده می شود. خوردگی (کنده شدگی) در ورودی پره های پروانه اتفاق افتاده است. جاییکه فشار شروع به افزایش می کند. خوردگی پره های پمپ از کمبود NPSHA (Net Positive Suction Head Available) می باشد.

کاویتاسیون ناشی از دو عامل می باشد:

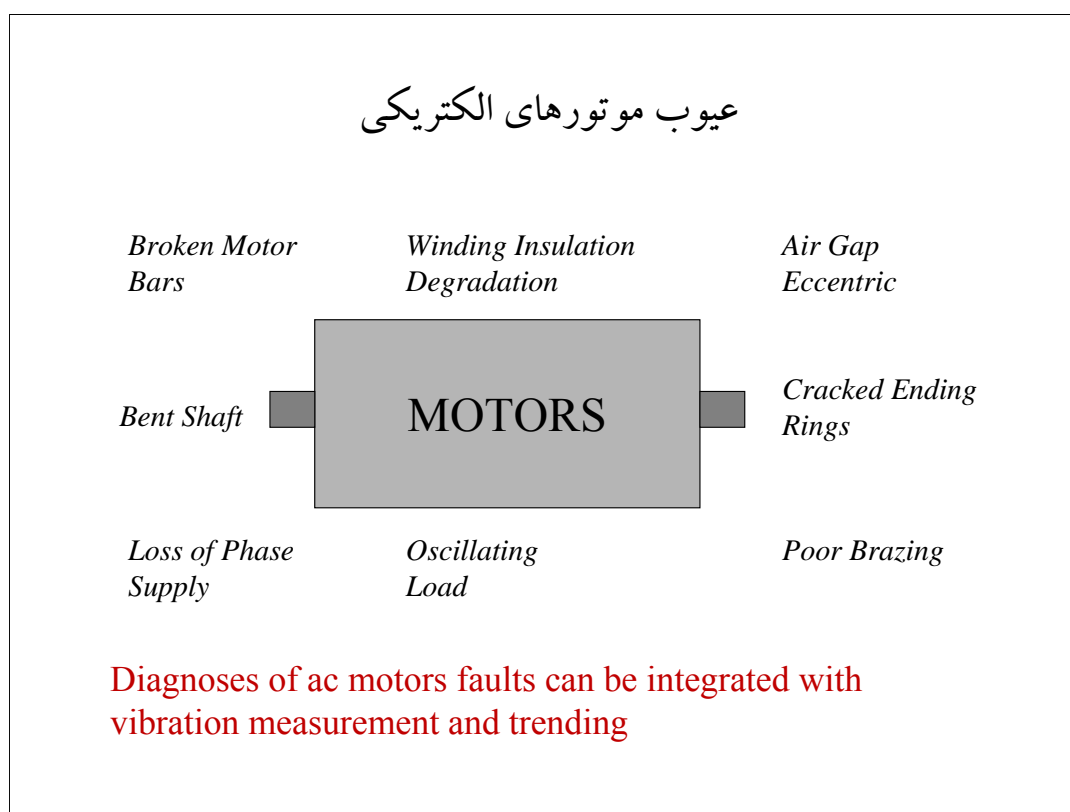
(۱) - کاویتاسیون ناشی از کمبود NPSHA

(۲) - کاویتاسیون ناشی از Recirculation سیال مایع

اگر محل خوردگی در ورودی پره های پروانه و طرف Suction Side باشد ناشی از کمبود NPSHA است.

اگر محل خوردگی در خروجی پره های پروانه و طرف Pressure Side باشد ناشی از چرخش دوباره سیال (Recirculation) است

برای از بین بردن پدیده کاویتاسیون روش های مختلفی ارائه می شود که امکان استفاده از هر کدام به شرایط کاری و ساختار پمپ ها بستگی دارد. روش های از قبیل افزایش فشار در قسمت مکش پمپ در واقع بالا بردن NPSHA (مثلا با افزایش ارتفاع آب در مخزن مکش) و یا افزایش قطر لوله مکش (کاهش افت فشار و اتلافات) و یا نصب Inducer در ورودی پروانه (دادن انرژی به سیال وردی) و یا استفاده از متریال سخت برای جنس پروانه و حتی استفاده از چسب رویه ضد کاویتاسیون پیشنهاد می شود. حتی در پمپ های که مخزن مکش آنها بالاتر از Center Line پمپ قرار گرفته است تزریق مقدار کمی هوا توصیه شده است. لازم به توضیح است در پمپ های با دبی بالا وجود پدیده کاویتاسیون اجتناب ناپذیر است.



الکتروموتورها، از جمله ماشین آلات دواری هستند که در صنعت کاربرد فراوان دارند. موتورها در انواع سازه‌ها ساخته شده و آنالیز وضعیت بعضی از آنها مانند ماشین آلات حساس لازم و ضروری می‌باشد. موتورها دارای دو نوع ساختار هستند:

(۱) - ساختار مکانیکی

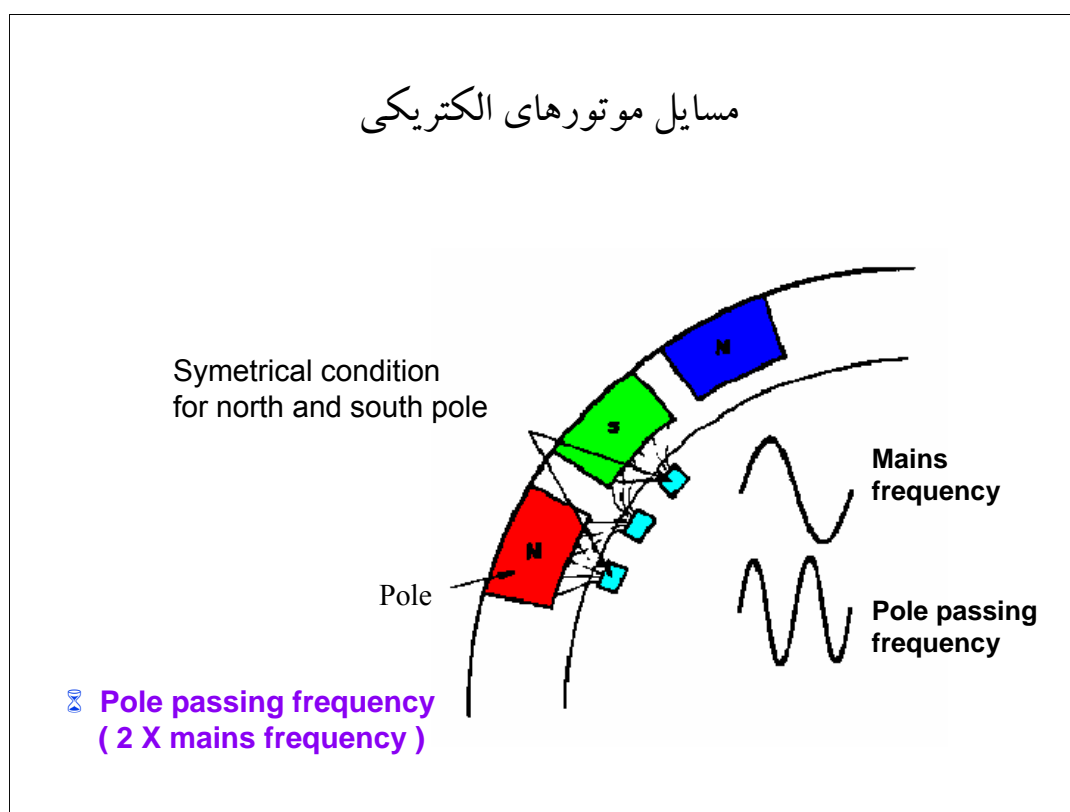
(۲) - ساختار الکتریکی

مسایل و عیوب مکانیکی موتورها (نظیر آنبالانسی و عیوب بیرینگ‌ها و ...) با روش‌های که قبلاً در مورد ماشین‌آلات مکانیکی گفته شد قابل شناسایی و آنالیز می‌باشند. اما مسایل برقی ماهیت متفاوت از مسایل مکانیکی دارند. می‌توان گفت مسایل برقی که منجر به ایجاد ارتعاشات در موتورها می‌شود از نتیجه نابرابری نیروی‌های (مغناطیسی) اعمال شده در روتور و استاتور می‌باشد. از طرفی ساختار برقی و مکانیکی موتورهای الکتریکی از هم تفکیک‌ناپذیر هستند و بیشتر معایب احتمالی آنها می‌توانند متأثر از هم باشند.

یکی از روش‌های که در تمایز مسایل برقی و مکانیکی به کار می‌رود این است که ارتعاشات کلی را اندازه‌گیری کرده و سپس برق دستگاه را خاموش می‌کنند. اگر ارتعاشات و نوسانات بلافاصله قطع شد ناشی از مسایل برقی است.

ارتعاشات ناشی از مسایل برقی نسبت به باری که به موتور وارد می‌شود عکس‌العمل نشان می‌دهند. در نتیجه بهتر است موتورهای برقی تحت شرایط کاری تست و اندازه‌گیری کرد.

در شکل بالا مسایل مختلف موتورهای اندک‌سیونی مشاهده می‌گردد که می‌توان آنها را از طریق اندازه‌گیری و آنالیز ارتعاشات تشخیص داد.

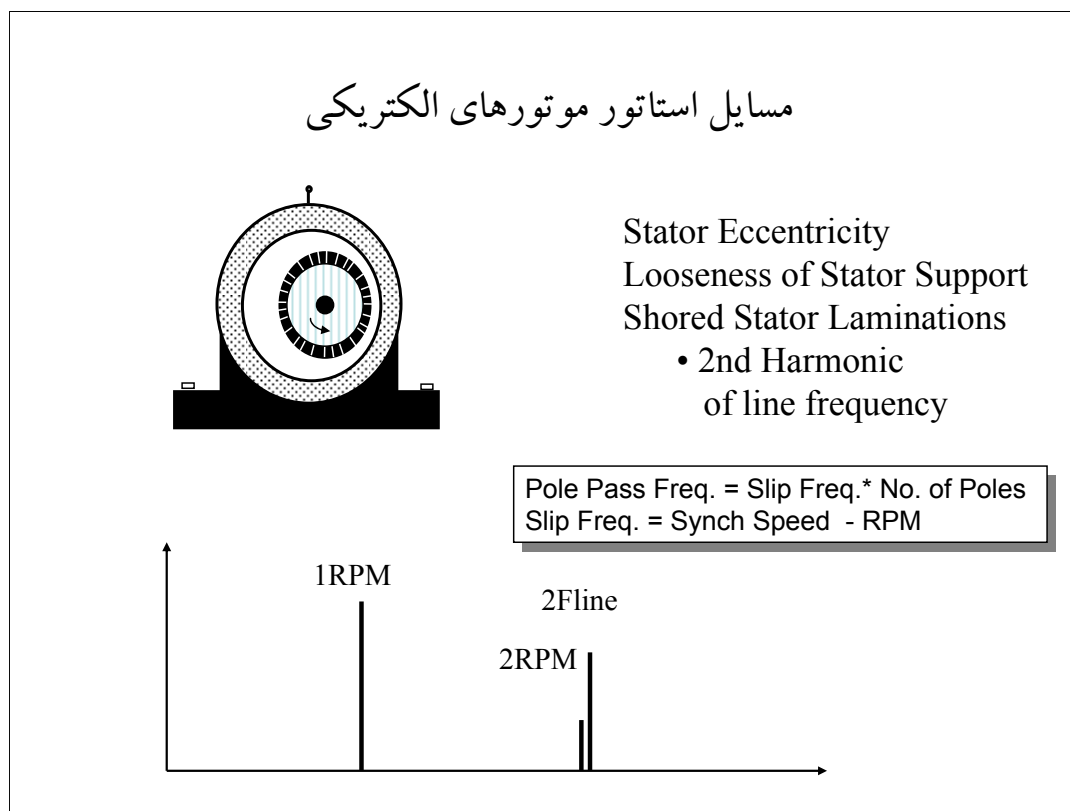


برق متناوب (AC power) در الکتروموتورها ارتعاشات مکانیکی تولید می کند. جریان الکتریکی متناوب (سینوسی)، هر قطب را با انرژی الکتریکی دوبار یعنی یک بار با "Peak +" و بار دیگر با "Peak -" در هر سیکل تحریک می کند. این بدین معناست که ارتعاشات مکانیکی معمولاً در Line Frequency نیست. بلکه ارتعاشات اغلب در دو برابر Line Frequency می باشد. در بیشتر اوقات ارتعاشات در $2F_L$ در اسپیکترام دیده می شود.

تعدادی از اصطلاحات و فرکانس ها در آنالیز ارتعاشات موتورها به قرار زیر است:

- F_{line} = Electrical line frequency (Normally 50 Hz)
- $2 F_{line}$ = Torque pulse frequency
- P = # of poles on the motor (the number poles always is even number 2, 4, 6, etc.)
- $F_{synch.}$ = synchronous electrical speed = $2 F_{line}/P$ (سرعت میدان مغناطیسی)
- $WSPS$ = # winding slot * RPM
- $RBPF$ = # rotor bars * RPM
- F_{Pole} = Pole Pass Frequency = $P * F_{slip}$
- F_{slip} = Slip Frequency = $F_{synch.} - RPM$

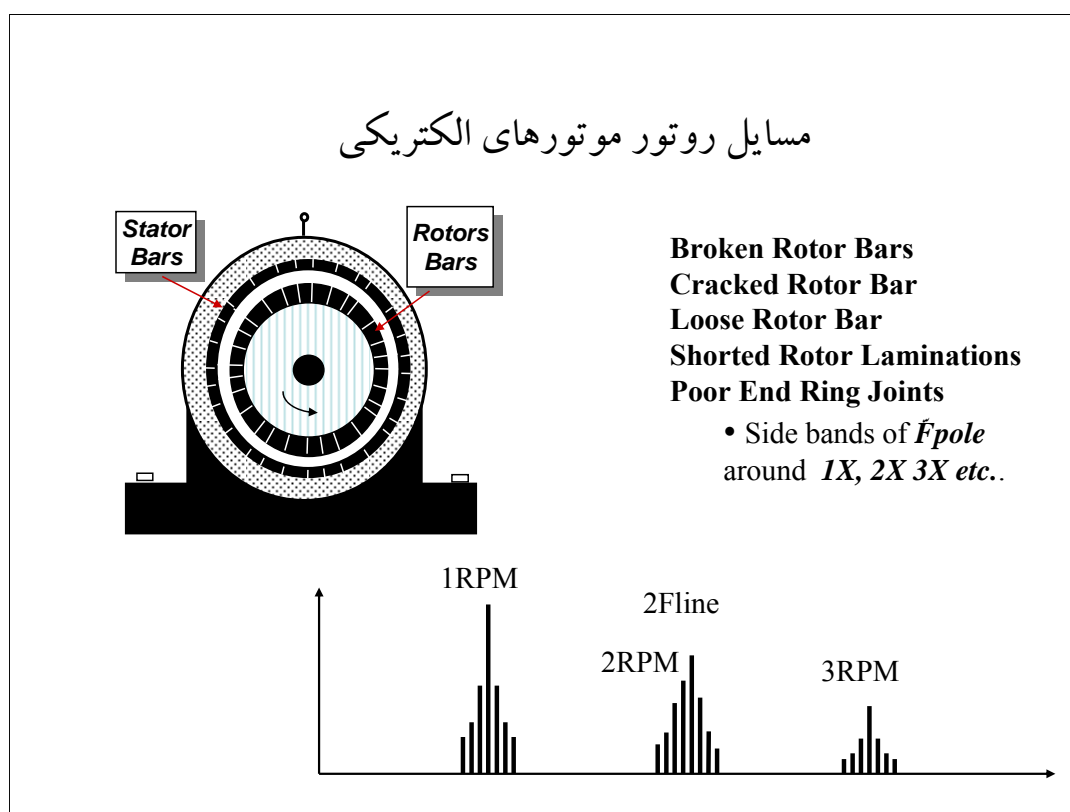
باید توجه نمود که در ارزیابی وضعیت الکتروموتورها افزایش دامنه ارتعاشات بیش از وجود یک فرکانس اهمیت دارد. همچنین از آنجائیکه آنالیز ارتعاشات برای اغلب مسایل برقی بهترین روش نیست لازم است در مواقع ضروری تست های اضافی نظیر آنالیز جریان و ... نیز انجام گیرد.



استاتور شامل Winding و فلز بدنه موتور است. از عیوب مربوط به استاتور می توان به Stator Eccentricity و Looseness/Weakness of Stator و Winding Shorts اشاره کرد. آثار Eccentricity استاتور به صورت تغییرات Air Gap ظاهر می گردد. چون میدان مغناطیسی در روی روتور یکسان اعمال نمی شود. در جاهای که Air Gap کم است میدان مغناطیسی قوی و جاهای که Air Gap بیشتر است میدان مغناطیسی ضعیف می باشد. این تغییرات Air Gap است که ارتعاشات در فرکانس 2FL را بوجود می آورد.

در ضمن مسایل مکانیکی چون Soft Foot (که موجب تنش و خرابی بدنه می شود) و لقی استاتور و ضعف استاتور (که باعث تاثیر نیروهای مغناطیسی با شدت بالا می گردد) و Winding Shorts (که عامل داغ شدن موضعی و خرابی تنش های حرارتی می باشد) می تواند به Air Gap منجر گردد که تنها Soft Foot به راحتی قابل تست است. در صورت وجود ارتعاشات در 2Fline لازم است غیر هم محوری و Soft Foot کنترل گردد و همچنین تست های لازم جهت حصول اطمینان از Insulation به عمل آید. در غیر اینصورت یا باید با شرایط موتور کنار آمد و یا آن را تعویض نمود.

خارج از مرکزیت مغناطیسی (Motors Out-of-Magnetic Center) در موتورهای الکتریکی نیز ارتعاشات تولید می کند. وقتی که روتوری در جهت محوری و یا جانبی خارج از مرکز مغناطیسی استاتور قرار گیرد این حالت اتفاق می افتد. یعنی زمانیکه فاصله هوایی مابین روتور و استاتور یکسان نباشد خارج از مرکزیت مغناطیسی شعاعی (Lateral) بوجود می آید که باعث ارتعاشات در جهت شعاعی می شود. همچنین وقتی که روتوری در جهت محوری خارج از مرکز مغناطیسی استاتور قرار گیرد ارتعاشات در جهت محوری ایجاد می شود. اگر شدت آن بیشتر باشد باعث وارد آمدن بار زیاد در جهت محوری به خصوص در روی بیرینگ های تراست می شود که به استهلاک و خرابی زودرس بیرینگ ها منجر می گردد.



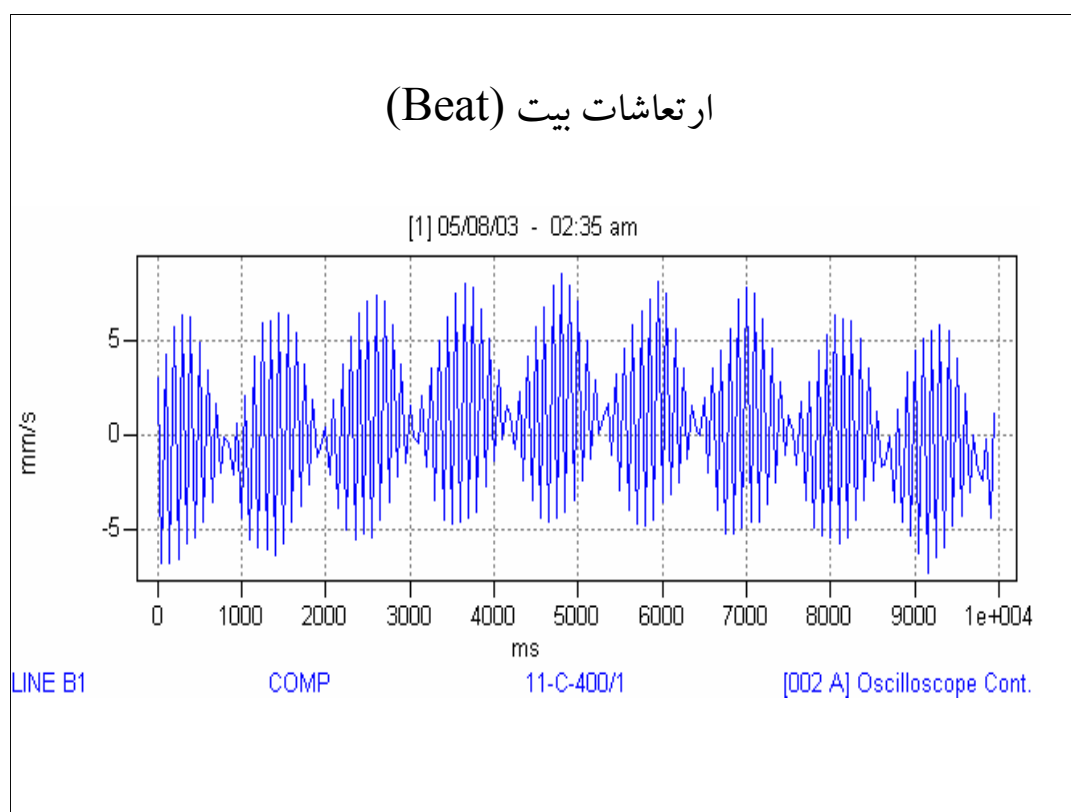
عیوب روتورها را می توان از طریق اندازه گیری و آنالیز ارتعاشات تشخیص داد. ارتعاشات ناشی از مسایل Broken/Cracked rotor bars, bad joints در فرکانس های 1RPM و 2RPM و 3RPM با Sideband های f_{pole} ظاهر می گردند. در زمانی که شدت خرابی بیشتر است موتور صدای Humming و Pulsing تولید می کند. با پیشرفت خرابی تعداد Sideband ها افزایش می یابد.

در ضمن باید به افزایش تعداد Sideband ها با هر دامنه ای دقت شود و بهتر است اسپکترام در مقیاس لگاریتمی نمایش داده شده تا هارمونیک های کناری که دامنه کمتری دارند واضح تر دیده شوند.

همچنین وقتی روتوری با Loose bar از یک winding slot عبور می کند نیروهای مغناطیسی باعث می شود Loose bar کشیده شده و رها گردد. در نتیجه این عیب در WSPF ظاهر می شود و هارمونیک های کناری آن 2FLine می باشد. معمولاً تعداد winding slot در موتورها معلوم نیست. ولی هارمونیک های کناری با فرکانس 2FLine شناسایی آن را آسان می کند.

یکی از مسایلی که در الکتروموتورها منجر به ارتعاشات می شود Elliptical Rotor است و مانند Eccentric Stator باعث تغییرات در Air Gap می شود و ارتعاشات در 2FLine ظاهر می کند. همچنین در بعضی مواقع Sideband های کناری Pole Pass Frequency نیز در 1FLine و 2FLine مشاهده می شود.

در این حالت آنالیز جریان توصیه می شود و همچنین از استارت ها زیاد اجتناب شود.



یک نوع از ارتعاشات وجود دارد که به آن **Beat Vibration** می گویند. وقتی که دو یا چند ماشین در کنار هم کار می کنند و سرعت دورانی آنها نزدیک به هم هستند معمولاً **Beat Vibration** بوجود می آید.

یعنی زمانی که اختلاف فرکانس ها کم باشد فرکانسی که بیشتر است در فواصل زمانی منظم از فرکانس پائین تر رد می شود و باعث می گردد این دو فرکانس یکدیگر را تضعیف و تقویت کنند. یعنی دامنه یکدیگر را تشدید کرده و یا خنثی کنند.

در موتورهای اندوکسیونی فرکانس **Slip** همیشه حضور دارد. هنگامیکه یک مساله مکانیکی مانند آنبالانسی هم وجود داشته باشد. در این حالت نیز دو سیگنال به تناوب یکدیگر را با نرخی معادل اختلاف دو فرکانس تقویت و تضعیف می کند و **Beat Vibration** وجود می آید.

در شکل بالا منحنی **Beat Vibration** را نشان می دهد که یک الکتروموتور با قدرت 3700 kw و با دور 2975 RPM که کمپرسور سانتریفیوژ را به حرکت در می آورد برداشته است.

ارتعاشات در این الکتروموتور با نوسانات صدا (کم و زیاد شدن صدا) همراه است. مقدار دامنه ارتعاشات در فرکانس پایه بیشتر است.

چرخنده ها و مسایل گیربکس ها

- انتقال قدرت و تغییرات سرعت
- انتقال گشتاور سرعت بدون لغزش
- فهم ارتعاشات چرخنده به آشنایی به تئوری آن نیاز دارد
- برای قدرت و سرعت های متفاوت چرخنده های متفاوتی وجود دارد.

The goal of a gearbox is to provide power and or speed changes with a minimum of excessive noise and vibration.

چرخنده ها جهت انتقال قدرت و تغییر سرعت مابین محرک و متحرک به کار می روند. طراحی و ساخت آنها بر اساس تئوری های چرخنده ها به دقت انجام می شود. فهم ارتعاشات چرخنده ها به اطلاعات پایه ای در مورد تئوری چرخنده نیاز دارد. با شناخت چرخنده ها امکان شناسایی و فهم عیوب چرخنده ها فراهم می شود و می توان از طریق آنالیز ارتعاشات عوامل را به راحتی شناسایی کرد. در آنالیز چرخنده ها انتخاب سنسور مناسب و محل اندازه گیری مناسب و محدوده فرکانس اهمیت زیادی دارد.

انواع چرخدنده ها (Gears types)

- Spur Gears
- Helical Gears
- Bevel Gears
- Worm Gears



Spur Gears



*TYPICAL BEVEL GEAR MARKINGS



Helical Gears

:Spur Gears

این نوع چرخ دنده ها در سطح وسیع مورد استفاده قرار می گیرند. دنده های آنها با شفت موازی هستند. این چرخدنده ها برای انتقال قدرت و تغییر سرعت بسیار مناسب هستند ولی نویز (Noise) بیشتر نسبت به سایر چرخدنده ها تولید می کنند.

:Helical Gears

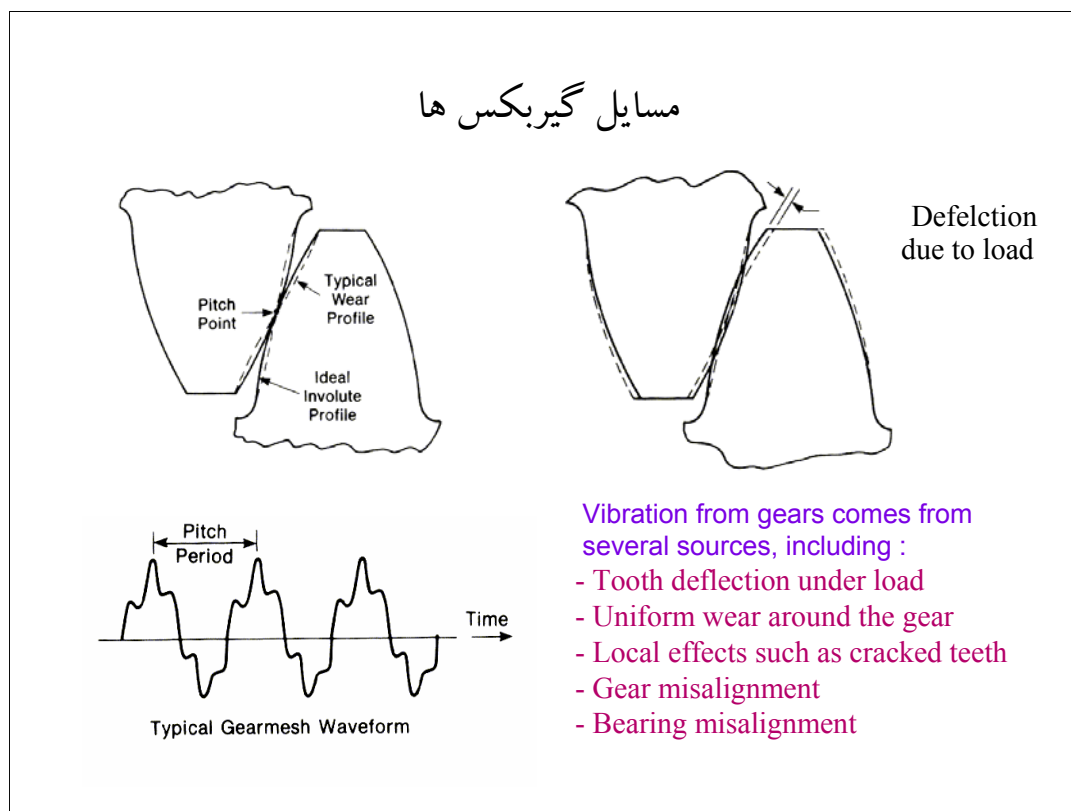
دنده های Helical شفت چرخ دنده را با یک زاویه قطع می کنند. این چرخ دنده ها نسبت به Spurها آرامتر کار می کنند. ولی به دلیل زاویه چرخ ها نسبت به شفت یک نیروی Thrust و در نتیجه ارتعاشات محوری تولید می کنند. جهت اجتناب از نیروهای محوری زیاد از Double Helical Gears استفاده می کنند که به اینها Herringbone Gears می گویند.

:Bevel Gears

این چرخدنده ها جهت انتقال قدرت به شفت عمود بر شفت محرک بکار می رود. ممکن است دنده های Straight Bevel و یا Spiral Bevel داشته باشند.

:Worm Gears

این چرخدنده ها نیز جهت انتقال حرکت چرخشی دو شفت عمود بر هم به کار می روند. Worm یک یا چند دنده پیچی دارد که روی شفت قرار گرفته است.



ارتعاشاتی که در گیربکس ها ایجاد می شود از بار، سایش دنده ها، عیوب موضعی، نامیزانی چرخدنده و نامیزانی بیرینگ ها و ... ناشی می گردد. هر کدام از اینها علایم و مشخصاتی دارند که در اسپکترام ظاهر می گردند که در صفحات بعد تشریح می شود

در شکل بالا پروفیل دنده ها و سطوح درگیری و سایش نشان داده شده است. همچنین Deflection دنده ها در برابر بارهای وارده دیده می شود. می توان گفت بیشتر مسایل چرخدنده ها در این ناحیه ها اتفاق می افتد.

شکل پائینی موج زمانی یک چرخدنده را نشان می دهد که در آنالیز وضعیت چرخدنده ها به آنالیز کمک زیادی می کند.

در اغلب چرخدنده ها فرکانس درگیری چرخدنده وجود دارد که به آن Gear Mesh Frequency (GMF) می گویند. این فرکانس صرف نظر از شرایط چرخدنده ها، به دلیل انتقال انرژی و برخورد دنده ها بوجود می آید. وجود GMF به معنای وجود عیب نیست. GMF به سادگی قابل محاسبه است.

$$GMF = (\# \text{ Teeth}) * (\text{Running Speed})$$

و رابطه دیگر:

$$(\# \text{ Teeth})_{in} * (\text{RPM})_{in} = GMF = (\# \text{ Teeth})_{out} * (\text{RPM})_{out}$$

مسایل گیربکس ها

- **Gear Mesh Frequency**

GMF = No. of gear teeth × gear turning speed

- **The Amplitude**

Gear mesh Peak

- **Sidebands**

Spaced peaks around the of the gear mesh frequency

- **Resonance**

May be excited by gearmesh energy.



Worm Gear

چون گیربکس ها ساختار پیچیده ای دارند معمولاً تفسیر اسپکترام آنها مشکل است و بدین منظور در اینجا مفاهیمی تعریف می شود که در تفسیر و ارزیابی وضعیت چرخدنده ها کمک می کنند.

دامنه (Amplitude):

البته دامنه Gear Mesh Frequency مورد نظر است که با تغییرات بار کم و زیاد می شود. در بعضی از گیربکس ها مقدار ارتعاشات با کاهش بار نیز افزایش می یابد.

هارمونیک های کناری (Sideband):

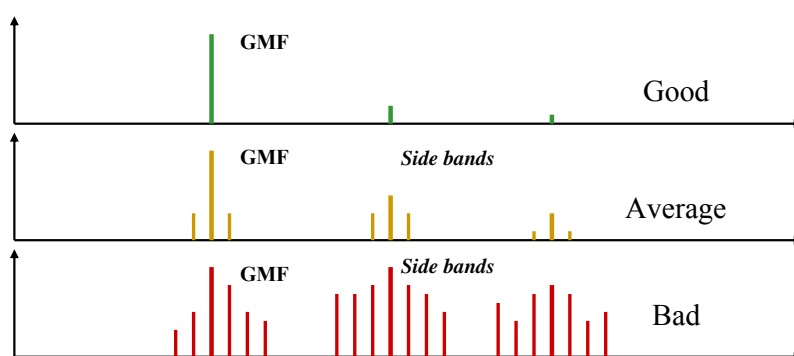
هارمونیک های کناری با بدتر شدن وضعیت چرخدنده ها در اطراف GMF رشد می کنند. بدین معنا هارمونیک های کناری با فواصل یکسان در اطراف پیک مورد نظر ظاهر می شوند. فواصل هارمونیک های کناری (Sidebands) با فرکانس پایه شفت ها برابر است و معمولاً از روی فرکانس هارمونیک های کناری تشخیص می دهند که عیب در چرخ دنده کدام شفت می باشد. افزایش تعداد و دامنه هارمونیک های کناری وخامت وضعیت گیربکس را نشان می دهد.

Resonance Frequency:

ممکن است فرکانس شفت و یا چرخدنده ها در اثر انرژی درگیری چرخدنده تحریک شود. اگر شفت و یا چرخدنده با رزونانس تحریک شود Backlash از پیش قرارداده شده مورد مصالحه قرار می گیرد و این مساله به سایش و نویز بیشتر می انجامد.

چرخنده ها و مسایل گیربکس ها

- Amplitude mesh frequency doesn't matter.
- Gearbox condition classified as bellow:
 - 1 GMF, and 2 GMF & 3 GMF are very low → **Good**
 - 1, 2 & 3 GMF are above, but Sidebands are below → **Average**
 - 1, 2&3 GMF and sidebands are above → **Bad**



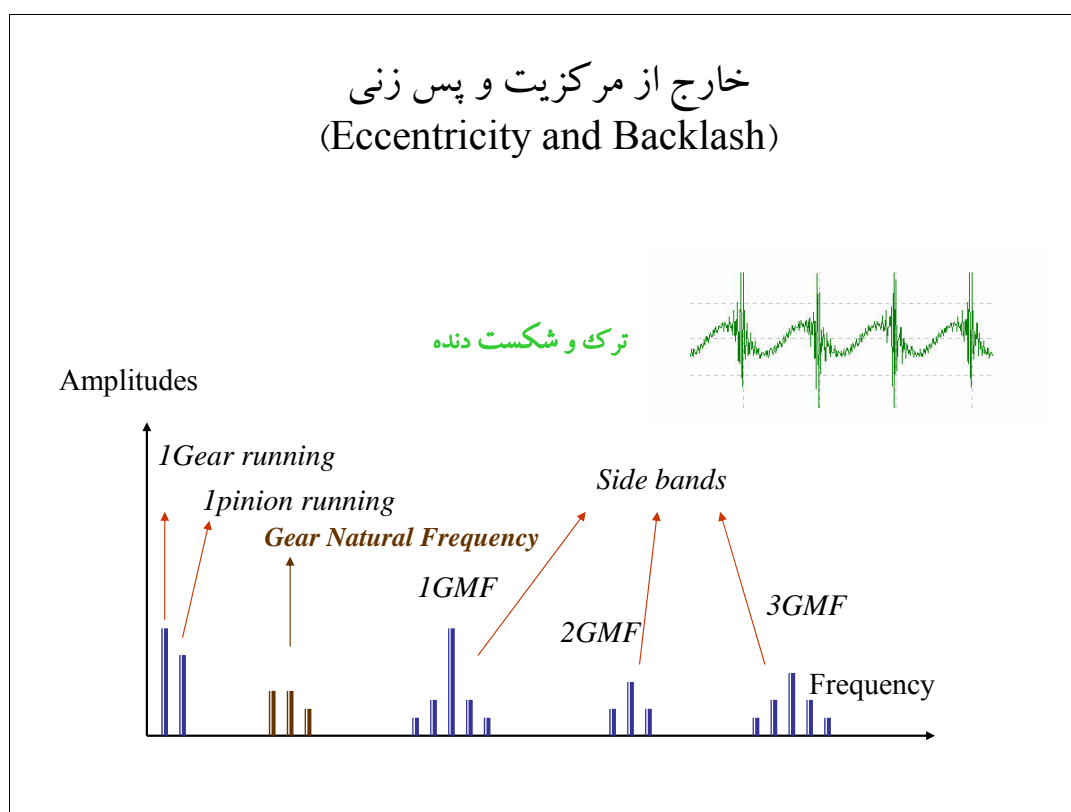
به طور کلی ارتعاشات در GMF وجود دارد. وجود فرکانس GMF و همچنین وجود هارمونیک های دوم و سوم آن با دامنه کم در اسپکترام چندان با اهمیت تلقی نمی شود و وضعیت گیربکس نرمال ارزیابی می شود. ولی وقتی که مقدار دامنه هارمونیک های دوم و سوم افزایش یافت و در اطراف پیک ها، هارمونیک های کناری رشد کرد وضعیت گیربکس از حالت عادی خارج می شود.

با رشد هارمونیک های کناری و افزایش دامنه آنها وضعیت گیربکس بدتر می شود. به طور کلی تعداد و دامنه Sideband ها با وضعیت گیربکس ارتباط دارد. هر چه مقدار دامنه و تعداد sideband ها بیشتر باشد وضعیت گیربکس بدتر و پتانسیل خرابی بیشتر است.

اگر دامنه یکی از هارمونیک های کناری از دامنه فرکانس درگیری چرخنده و یا هارمونیک های آن بیشتر باشد وضعیت گیربکس فوق العاده بد است و باید اقدام لازم هر چه سریعتر انجام شود.

سایش چرخنده ها موجب تحریک فرکانس طبیعی چرخنده می شود. پس وجود فرکانس طبیعی چرخنده با هارمونیک های کناری (Sidebands) فرکانس پایه نشانه قاطعی بر وجود سایش می باشد. وقتی که سایش در چرخنده ها قابل توجه باشد و تعداد sideband ها بیشتر شود و اگرچه دامنه sideband ها افزایش می یابد دامنه GMF ممکن است تغییر یابد و احتمال دارد تغییر نداشته باشد. البته خود هارمونیک های کناری بهتر از فرکانس های درگیری چرخنده ها و هارمونیک های آن، سایش را مشخص می کند.

همچنین در صورت وجود سایش هارمونیک 2GMF و 3GMF با دامنه زیاد دیده می شوند. حتی زمانی که دامنه GMF در حد قابل قبول است.



موارد زیر اغلب به خارج از مرکزیت (Eccentricity) و شفت های غیر موازی و یا پس زنی (Backlash) در چرخنده ها تفسیر می شود:

- دامنه زیاد در 1&2&3 GMF

- دامنه زیاد هارمونیک های کناری 1&2&3 GMF با فواصل 1rpm

در حالت Eccentricity در چرخنده، دامنه در 1RPM بیشتر است.

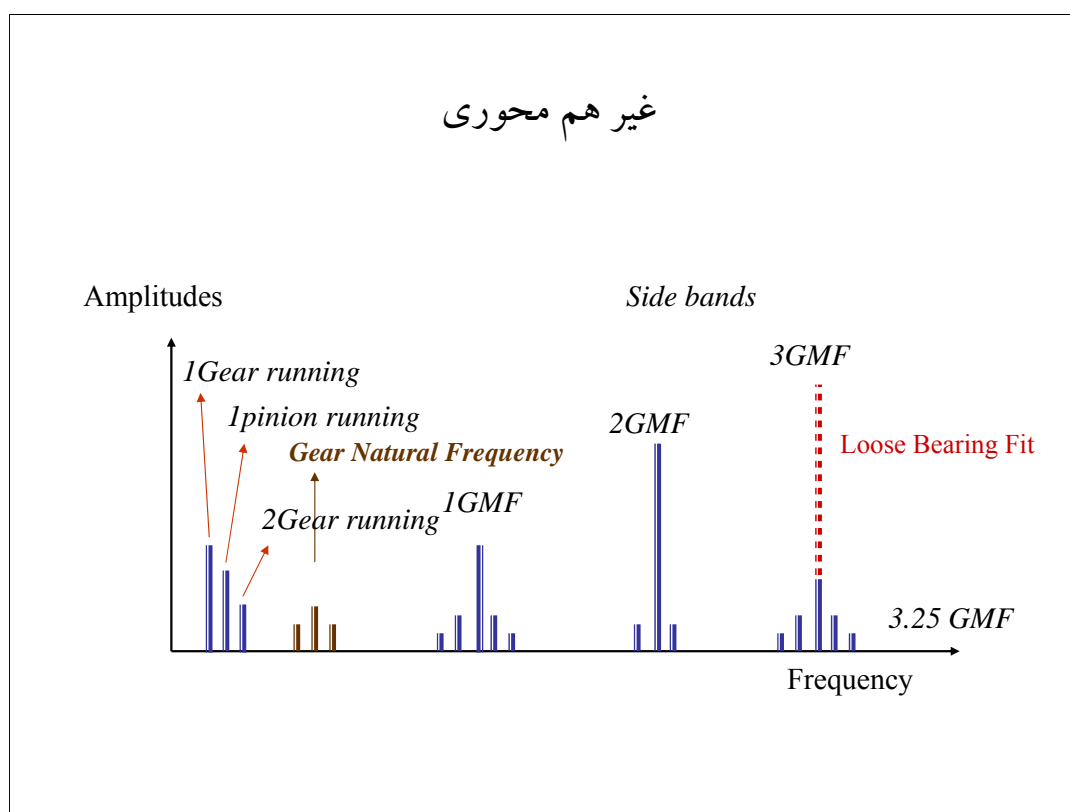
در حالت Backlash نامناسب، هارمونیک های GMF و فرکانس طبیعی چرخنده را تحریک می کند و هر کدام از اینها با هارمونیک های کناری با فواصل 1RPM همراه است.

اگر مساله Backlash وجود داشته باشد اغلب دامنه GMF با افزایش بار کاهش می یابد.

دندانه شکسته و یا ترک برداشته ارتعاشاتی با دامنه زیاد در 1RPM تولید می کند که به صورت یک پیک در Time Waveform چرخنده مربوطه مشاهده می شود. همچنین این عیب باعث تحریک فرکانس طبیعی چرخنده شده و هارمونیک های کناری با فواصل 1RPM تولید می کند.

شکست و ترک در دندانه در Time Waveform بهتر دیده می شود. زمانی که دندانه معیوب از نقطه درگیری چرخنده ها رد می شود موجب ایجاد ضربه شده و مقدار دامنه در آن لحظه تقویت می شود. زمان تکرار ضربه ها متناسب با 1/RPM چرخنده معیوب می باشد.

دامنه ضربه ها که در Time Waveform مشاهده می شود اغلب 20 - 10 برابر بیشتر از دامنه 1RPM در اسپکترا FFT می باشد.

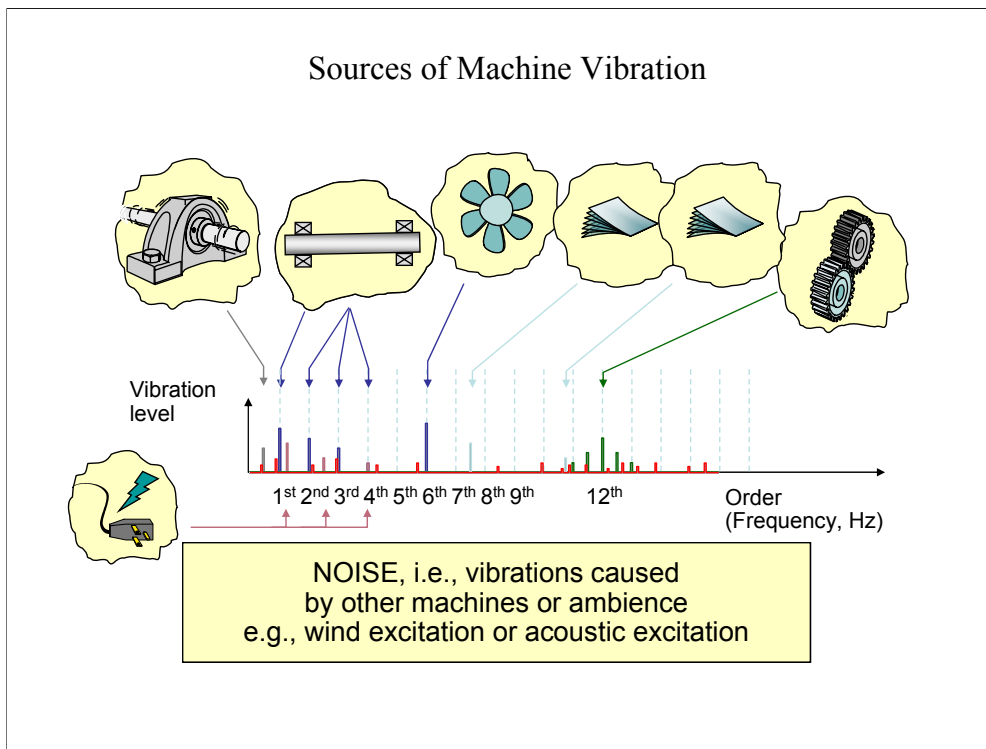


Misalignment در چرخنده همیشه باعث تحریک هارمونیک دوم و یا هارمونیک های بالای GMF می گردد. البته این هارمونیک ها با Sideband های به فواصل Running Speed همراهی می شوند. در حالت Misalignment مقدار دامنه در 1GMF اغلب کم است. ولی در 2GMF و 3GMF دامنه بیشتر است. البته توجه کرد که Fmax باید طوری تنظیم شود که بتوان هارمونیک 3GMF را اندازه گیری نموده تا افزایش دامنه آن را مشاهده کرد.

همچنین اغلب Sideband های در 2GMF با فواصل 2RPM قرار می گیرند. به این نکته توجه شود که دامنه sideband در طرف راست و چپ در فرکانس GMF و هارمونیک های GMF به دلیل Misalignment دندانها معمولا برابر نیستند و این مساله سایش ناهموار را نیز بوجود می آورد.

افزایش کلیرنس بیرینگ های چرخنده ها نه تنها باعث تحریک هارمونیک های Running Speed می شود بلکه موجب افزایش دامنه در 1GMF و 2GMF و 3GMF می گردد. دامنه بالای ارتعاشات عامل افزایش کلیرنس بیرینگ ها نیست در واقع دامنه بالای ارتعاشات در GMF پاسخ سیستم نسبت به کلیرنس بیش از اندازه بیرینگ می باشد.

افزایش کلیرنس بیرینگ ها می تواند از سایش بیرینگ ها و یا عدم نصب صحیح آن ناشی شود و این امر موجب سایش و وارد آمدن صدمات به سایر قسمت ها نیز می گردد.



در شکل بالا انواع عیوب ماشین آلات را در محدوده فرکانس های که ظاهر می شوند نشان داده شده است. این شکل یک سیمای کلی از اسپکترام ارتعاشات را به نمایش می گذارد که در آن عیوب مختلف ارتعاشات ماشین آلات را در فرکانس پائین و یا میانی و فرکانس های بالا تحریک می کنند و این شکل کمک می کند که آنالیست برای پیدا کردن عیوب ماشین آلات در محدوده های خاص دنبال عیوب مربوطه بگردد.