دهمین کنفرانس پایش وضعیت و عیب یابی
۴ و ۵ اسفند ۹۴
دانشگاه صنعتی شریف

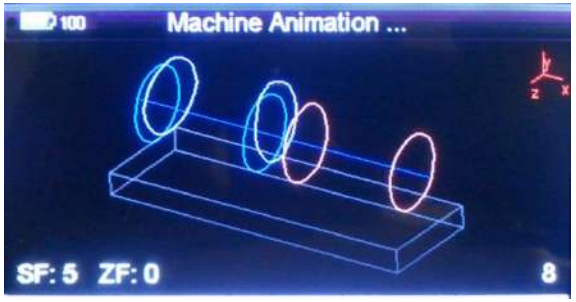
اوربیت و پویانمایی یاتاقان روشی برای تفکیک عیوب فرکانس پایین

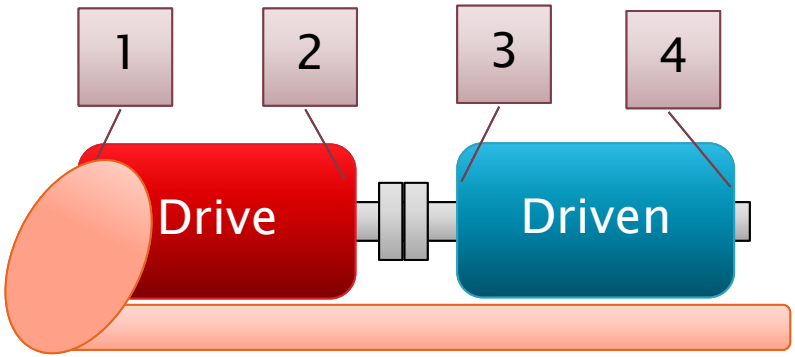
علی اکبر وکیلی
شرکت مهندسی تواتر سپاهان

چکیده

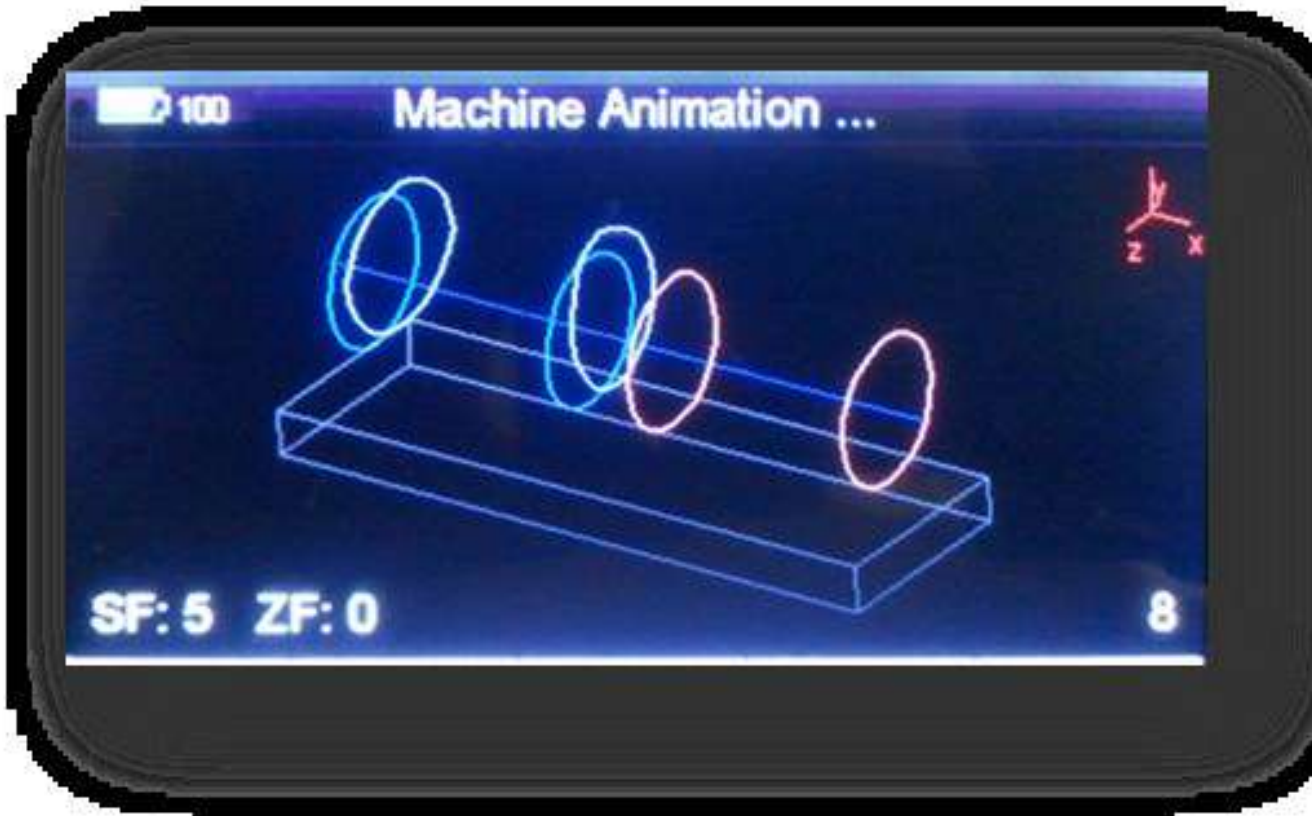
- استفاده از اوربیت و پویا نمایی یاتاقان روشی است که با استفاده از تکنیک اندازه گیری و محاسبه سیگنال جابجایی تنها ۶ جهت از هر یاتاقان (سه جفت اندازه گیری) حرکت کامل یاتاقان های یک ماشین را بصورت پویا نمایی نمایش داده و به روشی ساده و دقیق عکس العمل های مختلف ماشین را نسبت به نیروهایی همچون نابالانسی، ناهمراستایی، لقی، خمش شافت، عیوب برقی و .. به نمایش می گذارد. برخلاف روش تغییر شکل های عملی ODS که از اندازه گیری دامنه و فاز برای یک نقطه استفاده می کند، در این روش از کل سیگنال جابجایی استفاده شده و بنابراین تصویر دقیقی از حرکت ماشین ارائه می شود. استفاده از این روش در دستگاه پرتابل VB92 در محل، سرعت عمل عیب یابی را در اولین مرحله بطور چشم گیری بالا برده و نیاز استفاده از نرم افزارهای معمول ODS توسط کامپیوتر مرتفع شده است.

- Orbit
- Animation
- Operating Deflection Shapes



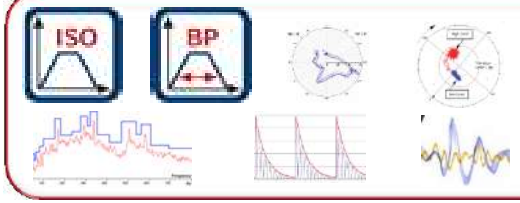

1
2
3
4
Drive
Driven

100
Machine Animation ...


100
Machine Animation ...
SF: 5 ZF: 0
8

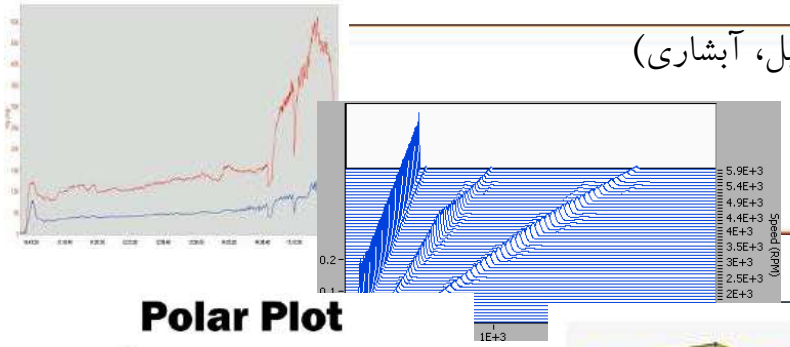
مراحل پایش وضعیت

آشکار سازی



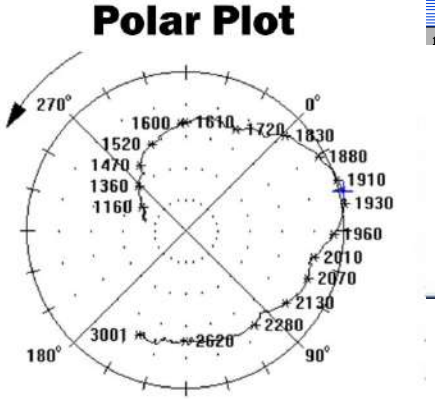
- ارتعاشات کل (باند وسیع، باند باریک)، BCU
- طیف فرکانسی، انولوپ، (شکل موج، اوربیت، موقعیت شافت)
- دامنه و فاز .. ,1x, 2x

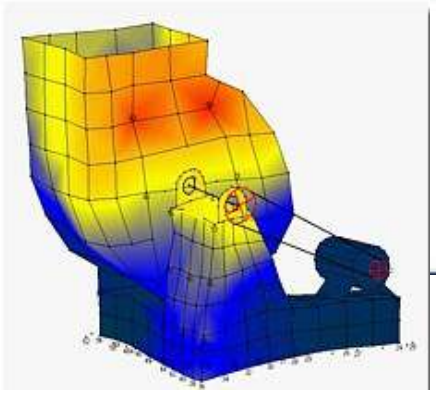
عیب یابی



- آنالیز راه اندازی و توقف (بود و نایکوئیست، کمپبل، آبشاری)
- آنالیز فازی
- آنالیز مودال

رفع عیب





- بالانس
- همراستاسازی
- تنظیمات و کالیبراسیون
- تعویض قطعات

عیب های ارتعاشی

فرکانس بالا

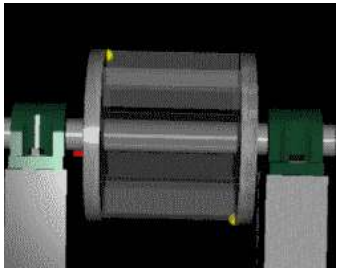
- بلبرینگ ها
- چرخ دنده های پر سرعت
- رزنانس، گذر پره توربین و ..

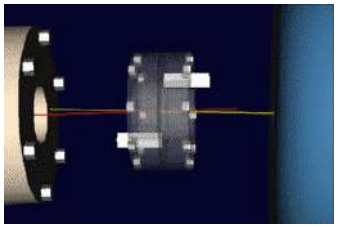
فرکانس متوسط

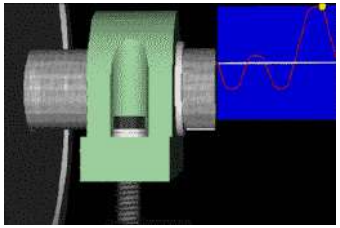
- چرخ دنده ها
- شکستگی روتور بار
- گذر پره، رزنانس و ..

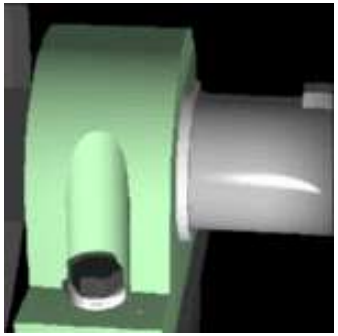
فرکانس پایین

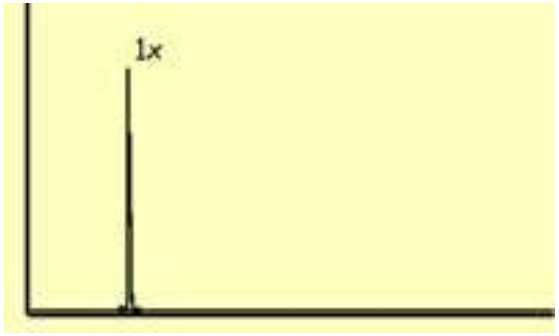
- هارمونیک اول
- نابالانسی، ناهمراستایی، خمش شافت، لقی، عیوب برقی ..
- هارمونیک های بالاتر
- ناهمراستایی، لقی، خمش شافت، عیوب برقی، عیوب بلبرینگ، ..



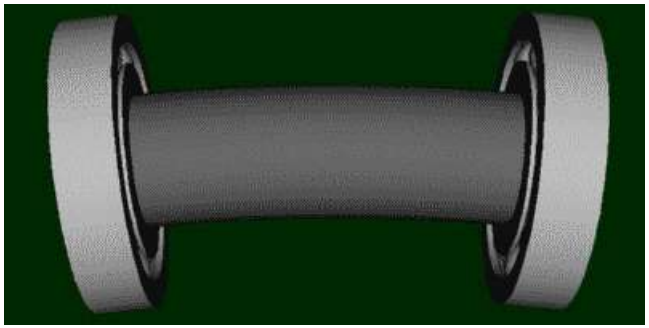






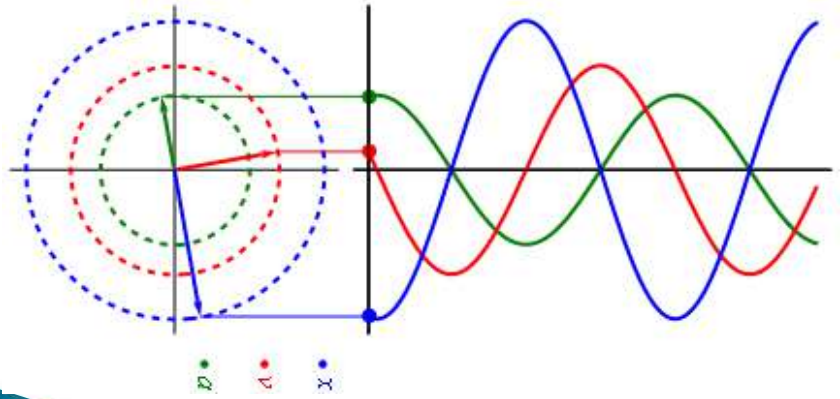


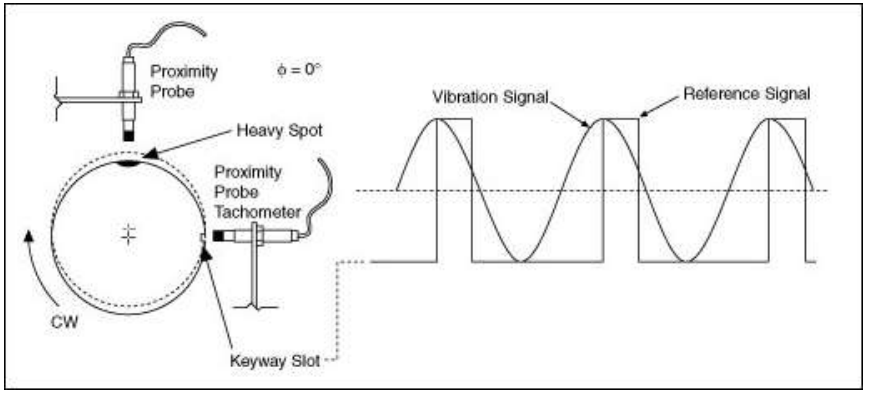
شناسایی شکل حرکت

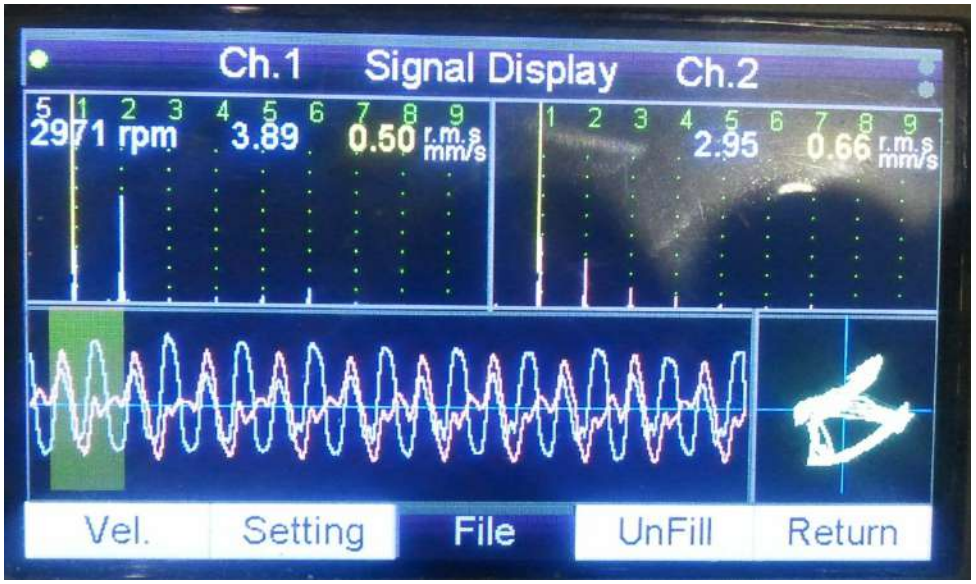


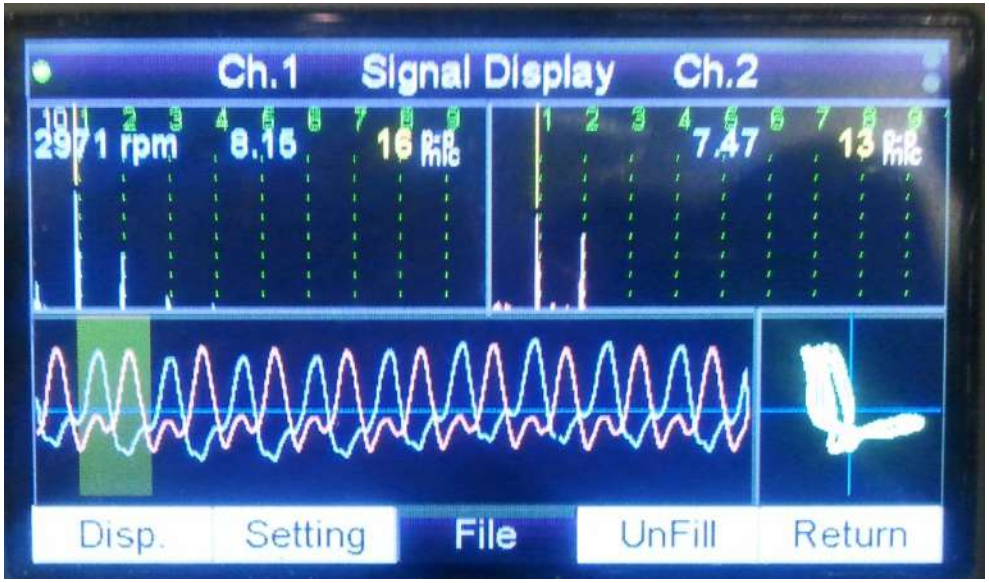
روشهای بدست آوردن شکل حرکت

سنسور پروکسی						D (p-p)
سنسور سرعت				V (rms)/(Peak)	∫	D (p-p)
سنسور شتاب		A (rms)/(Peak)	∫	V (rms)/(Peak)	∫	D (p-p)



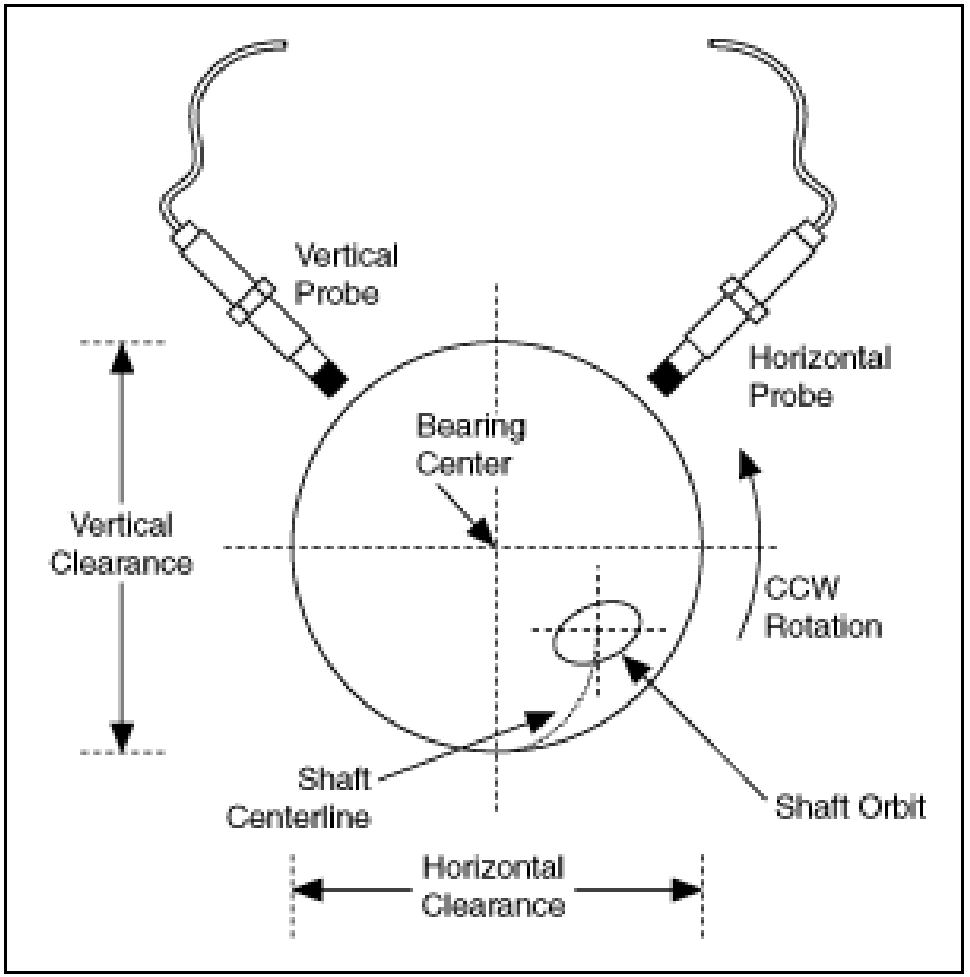



Ch.1 Signal Display Ch.2
2971 rpm
3.89
0.50 r.m.s mm/s
2.95
0.66 r.m.s mm/s
Vel.
Setting
File
UnFill
Return


Ch.1 Signal Display Ch.2
2971 rpm
8.15
16
7.47
13
Disp.
Setting
File
UnFill
Return

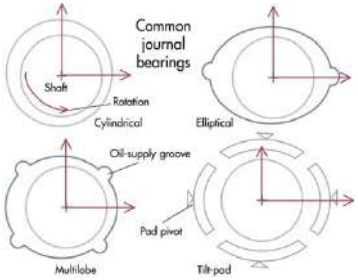
tavator

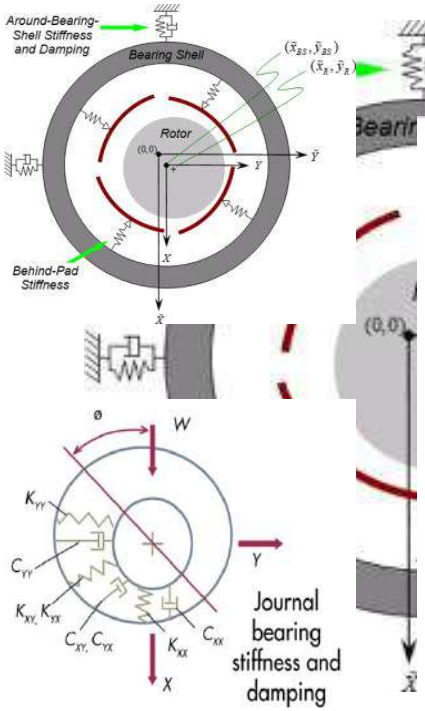
اوربیت شافت

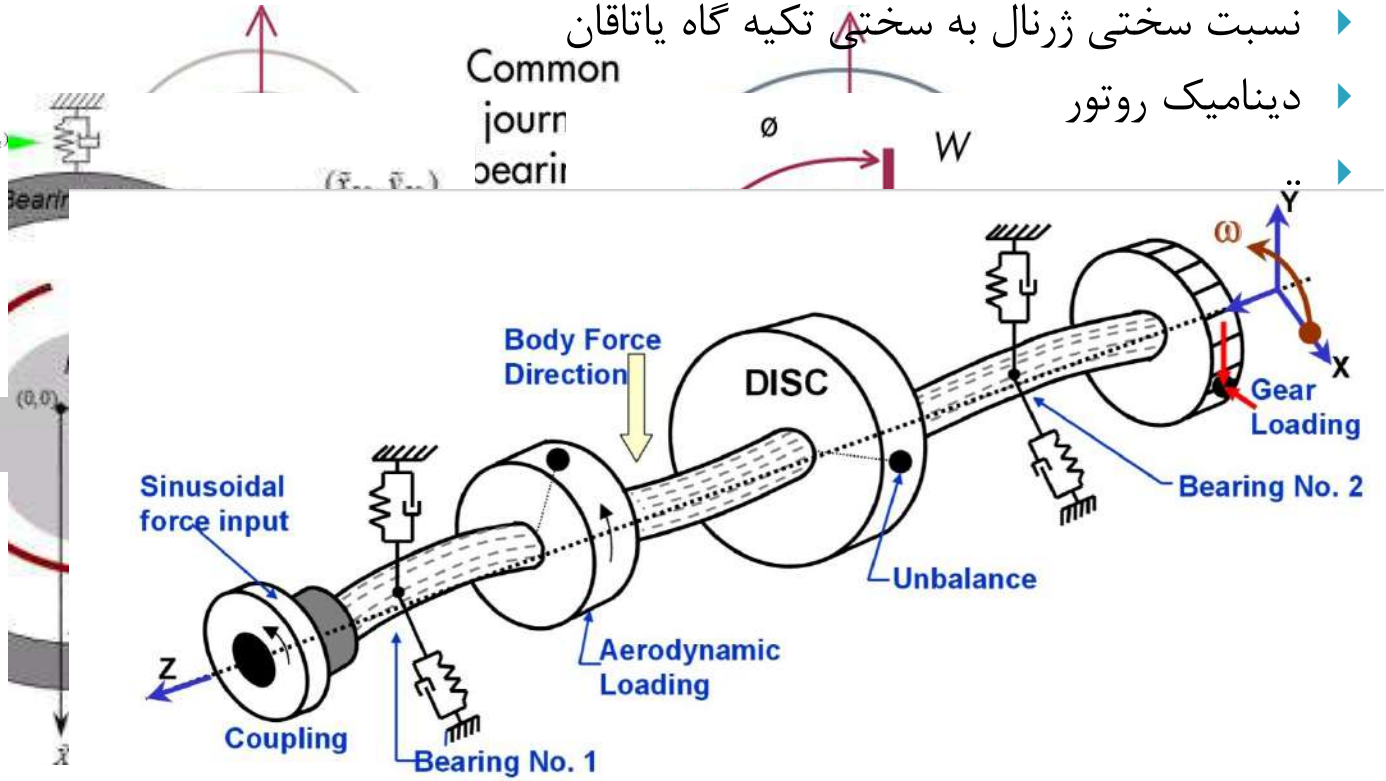

Vertical
Probe
Horizontal
Probe
Bearing
Center
Vertical
Clearance
CCW
Rotation
Shaft
Centerline
Shaft Orbit
Horizontal
Clearance

عوامل تاثیر گذار در اوربیت شافت

- طرح یاتاقان ژرنال
- نسبت سختی ژرنال به سختی تکیه گاه یاتاقان
- دینامیک روتور
-

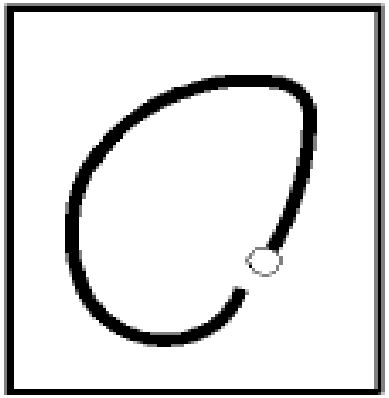


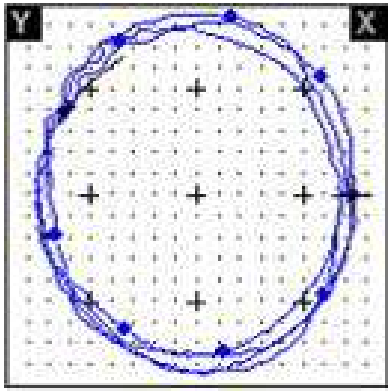


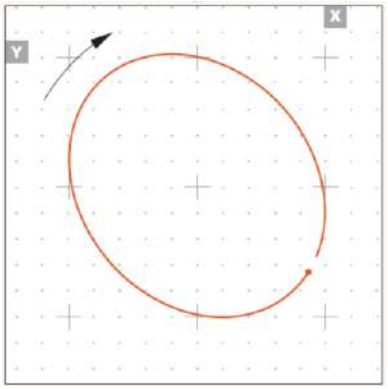


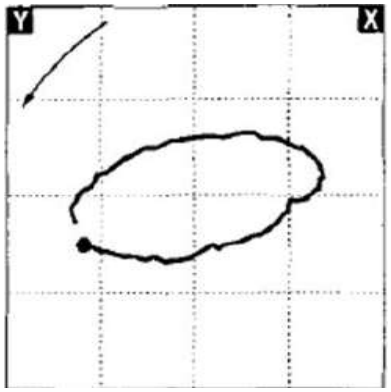
شکل های عمومی اوربیت شافت نسبت به یاتاقان

نابالانسی

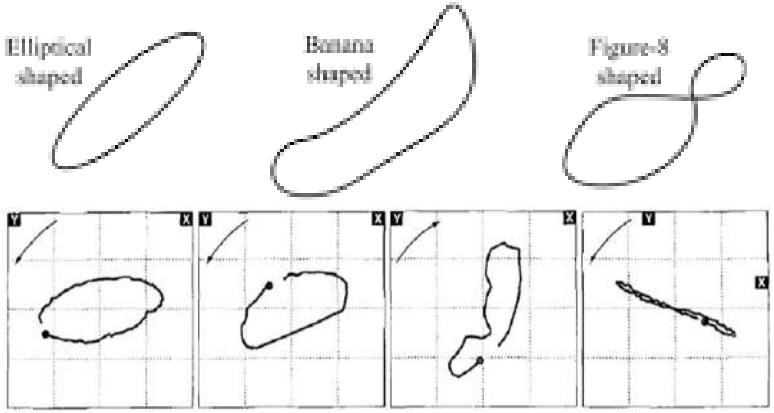


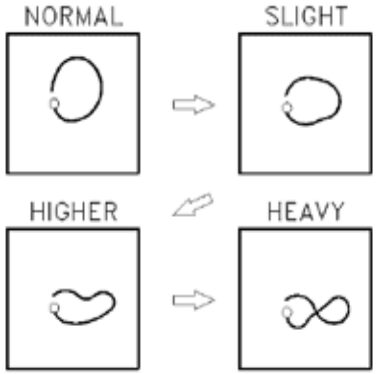


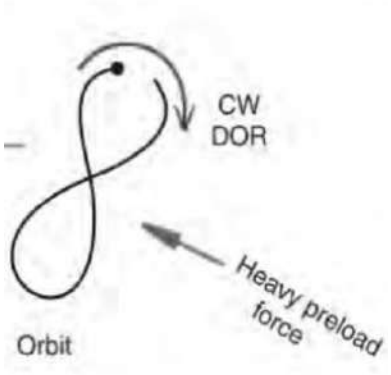




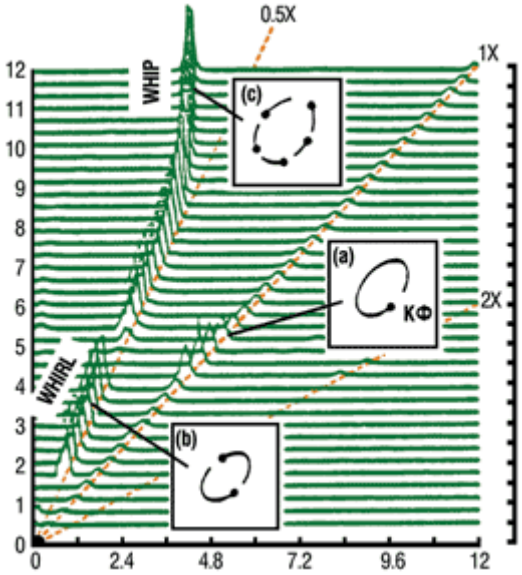
ناهمراستایی / پیش بار

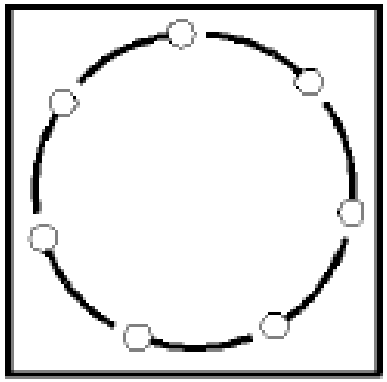




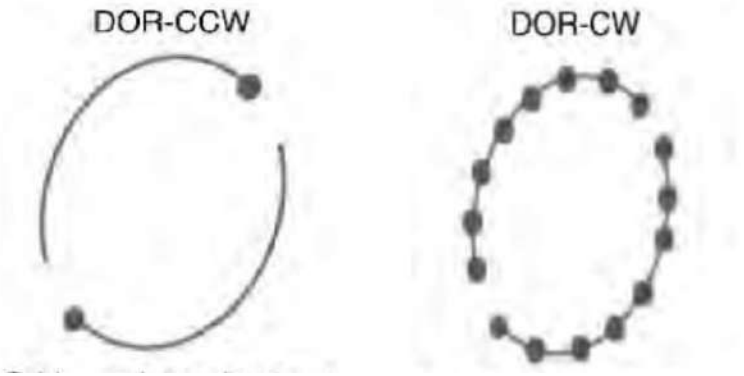


شکل های عمومی اوربیت شافت نسبت به یاتاقان

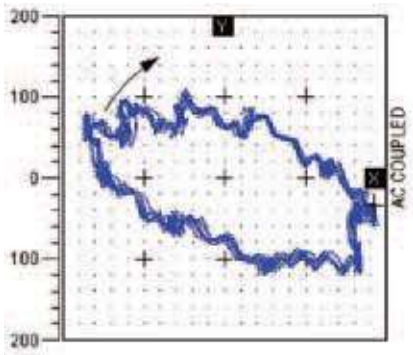


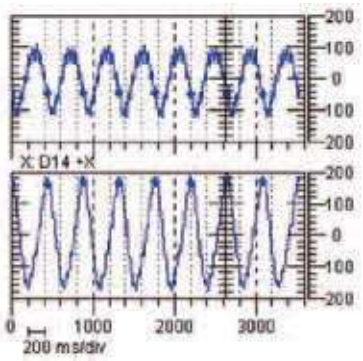


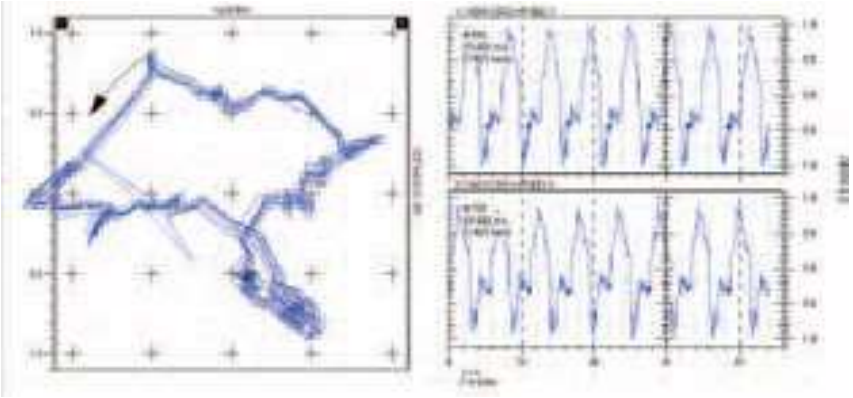
چرخش روغن /شلاق روغن



تخلیه الکتریکی/ خرابی سطح مقابل سنسور

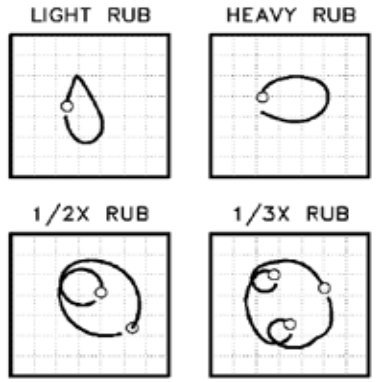


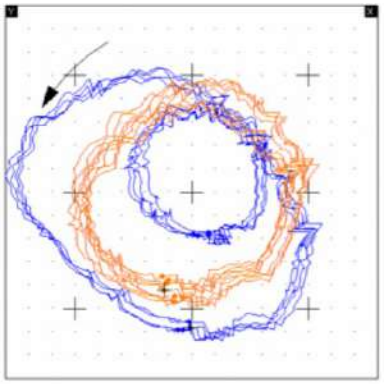


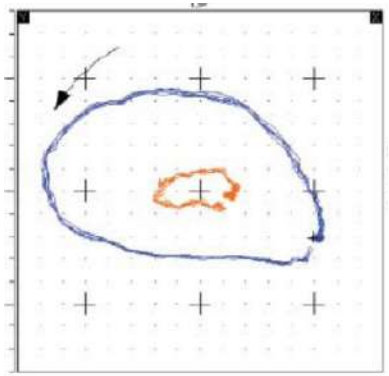


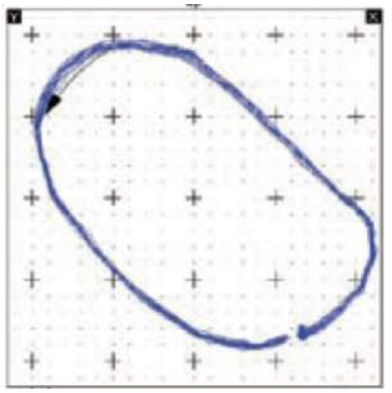
شکل های عمومی اوربیت های یاتاقان

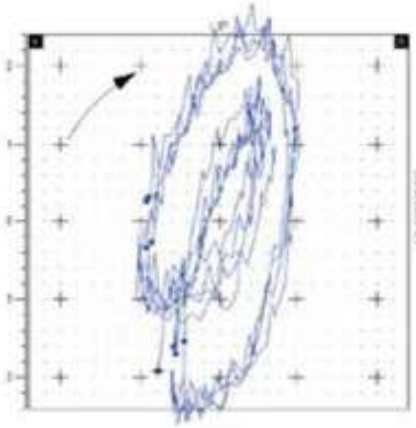
مالش (به همراه ناپایداری)

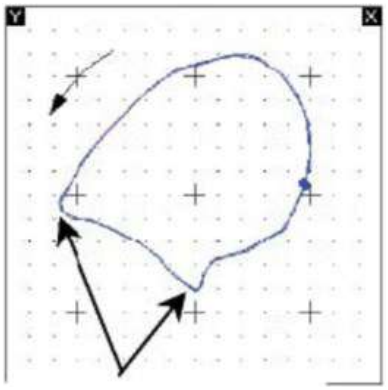


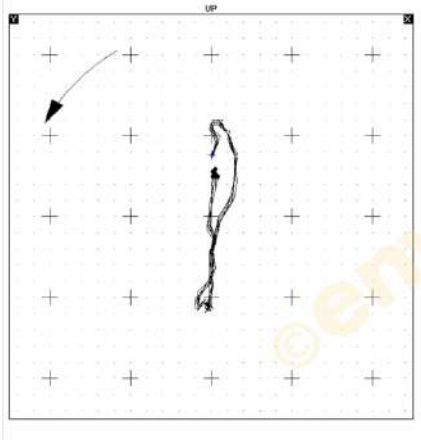


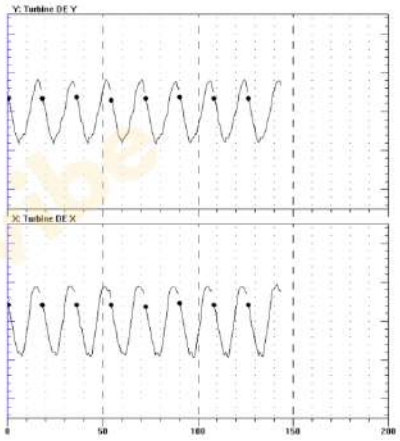






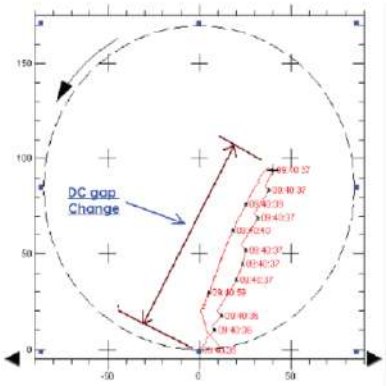


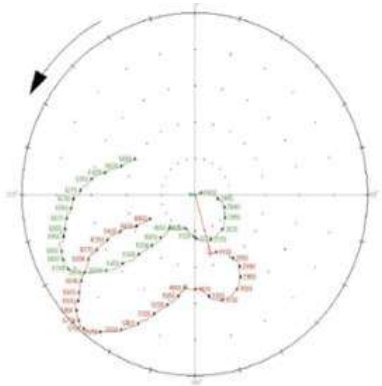


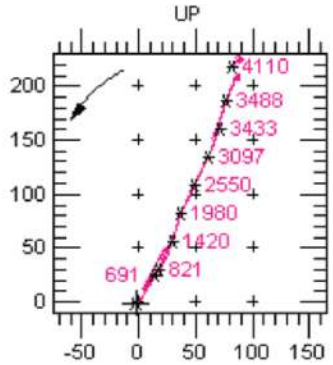


شکل های عمومی جابجایی استاتیک مرکز شافت در یاتاقان

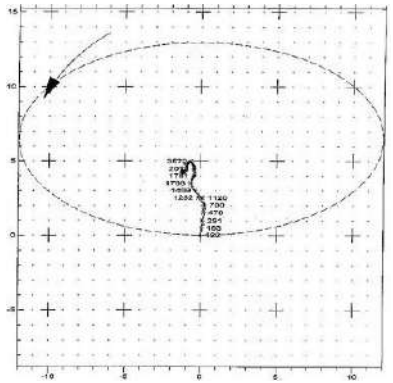
حرکت طبیعی شافت در طول راه اندازی

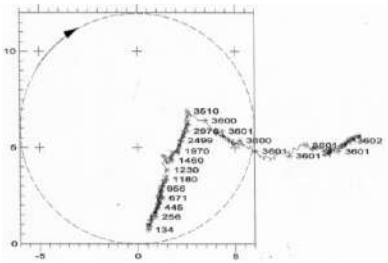


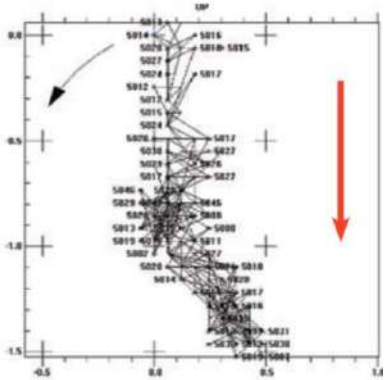


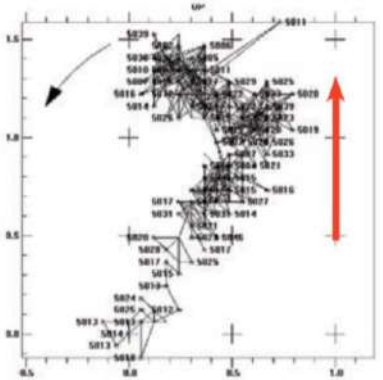


ناهمراستایی دینامیکی









عیب یابی های مبتنی بر حرکت یاتاقان و بدنه

- تکنیک های عیب یابی ارتعاشی ماشین های دوار بر پایه عکس العمل ماشین نسبت به نیروهای ناشی از عیوب استوار است. با شناخت عیوب و روش اعمال نیروی آنها به ماشین می توان پیش بینی نمود شکل ارتعاش ماشین یعنی "جابجایی ارتعاشی" به چه شکل خواهد بود. بنابراین آنچه در عیب یابی مهم است، شناخت جابجایی است نه سرعت و شتاب. اگر چه در ارزیابی شدت ارتعاش، معمولاً از سرعت موثر یا شتاب موثر مخصوصاً برای فرکانس های بالا استفاده می شود. اما وقتی صحبت از عیب یابی عیب های فرکانس پایین می شود، لازم است شکل حرکت بصورت جابجایی درک شود.

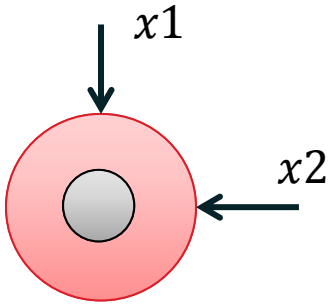
آنالیز فازی

- سنسورهای اندازه گیری بدنی که برای ارتعاش سنجی یاتاقان و بدنه مورد استفاده قرار می گیرد، از نوع شتاب سنج و سرعت سنج هستند و امروزه شتاب سنج ها بسیار رایج هستند،
- برای شناخت حرکت باید از سیگنال اندازه گیری شده انتگرال گیری نمود تا جابجایی ارتعاشی بدست آید. اما بعلت محدودیت انتگرال گیری سیگنال و محدودیت های نمایشی، ساده ترین روش شناسایی حرکت، تعیین دامنه و فاز حرکت شتاب یا سرعت می باشد.
- اندازه گیری دامنه و فاز تنها برای هارمونیک های سرعت چرخشی nXمفهوم دارد زیرا مرجع فاز معمولاً توسط مرجع خارجی (برچسب روی شافت یا جای کلید و ..) تعیین می گردد.
- با توجه به اینکه جابجایی و سرعت و شتاب ارتعاشی که معمولاً هارمونیک هستند، اختلاف فاز ثابتی دارند، لذا می توان برای تعیین اختلاف فاز حرکت یک نقطه با نقطه دیگر، بجای جابجایی، از اختلاف فاز سرعت یا شتاب نیز استفاده نمود.
- معمولاً در آنالیز فازی از دامنه و فاز سرعت برای این منظور استفاده می شود اما فراموش نشود که: **برای تحلیل حرکت بصورت کامل باید حتماً سیگنال جابجایی بدست آید.** به همین خاطر است که در تحلیل های شکل موج زمانی و اوربیت تنها استفاده از سیگنال جابجایی منطقی و صحیح است و نمی توان از شکل موج سرعت یا شتاب اطلاعات دقیقی بدست آورد.

آنالیز فازی

$$x = X_1 \cos(\omega t - \varphi_1) + X_2 \cos(2\omega t - \varphi_2) + X_3 \cos(3\omega t - \varphi_3) + \ \dots$$
$$v = -\omega X_1 \sin(\omega t - \varphi_1) - 2\omega X_2 \ \sin(2\omega t - \varphi_2) + 3\omega X_3 \sin(3\omega t - \varphi_3) + \ \dots)$$
$$v = V_1 \sin(\omega t - \varphi_1) + V_2 \ \sin(2\omega t - \varphi_2) + V_3 \sin(3\omega t - \varphi_3) + \ \dots)$$
$$a = -\omega^2 X_1 \cos(\omega t - \varphi_1) - 4\omega^2 X_2 \ \cos(2\omega t - \varphi_2) + 9\omega^2 X_3 \cos(3\omega t - \varphi_3) + \ \dots)$$
$$a = A_1 \cos(\omega t - \varphi_1) + A_2 \cos(2\omega t - \varphi_2) + A_3 \cos(3\omega t - \varphi_3) + \ \dots$$

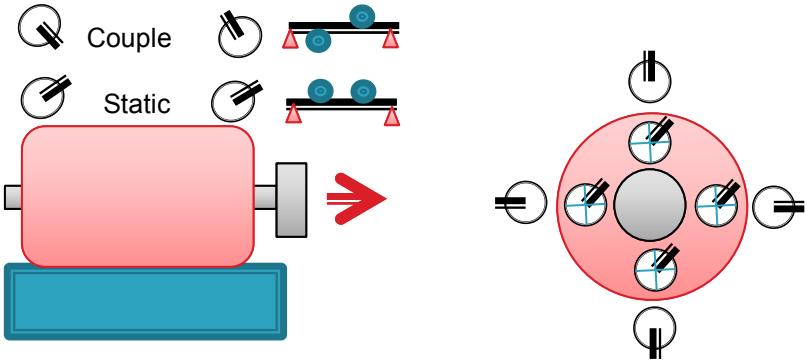
$$x_{(filtered\ in\ 1X)} = X_1 \cos(\omega t - \varphi_1)$$
$$v_{(filtered\ in\ 1X)} = V_1 \sin(\omega t - \varphi_1)$$
$$a_{(filtered\ in\ 1X)} = A_1 \cos(\omega t - \varphi_1)$$



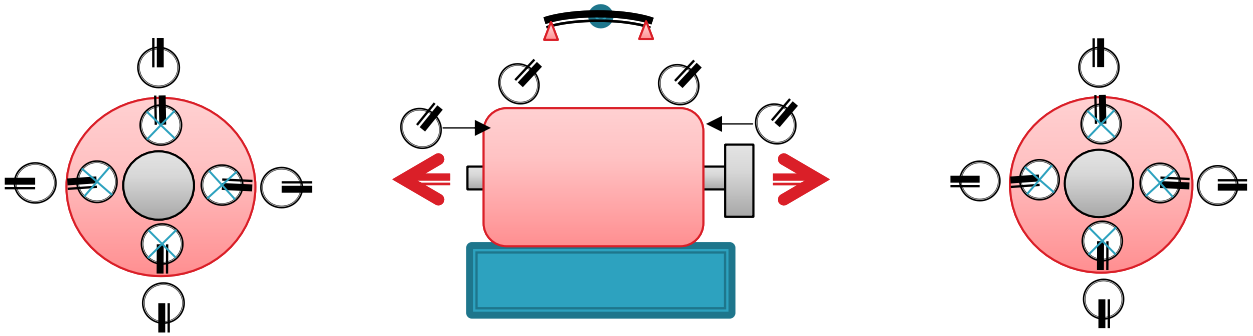
$$\frac{x1_f}{x2_f} = \frac{v1_f}{v2_f} = \frac{a1_f}{a2_f}$$

آنالیز فازی - برخی رفتار فازی یاتاقان ها برای عیب های مختلف

نابالانسی

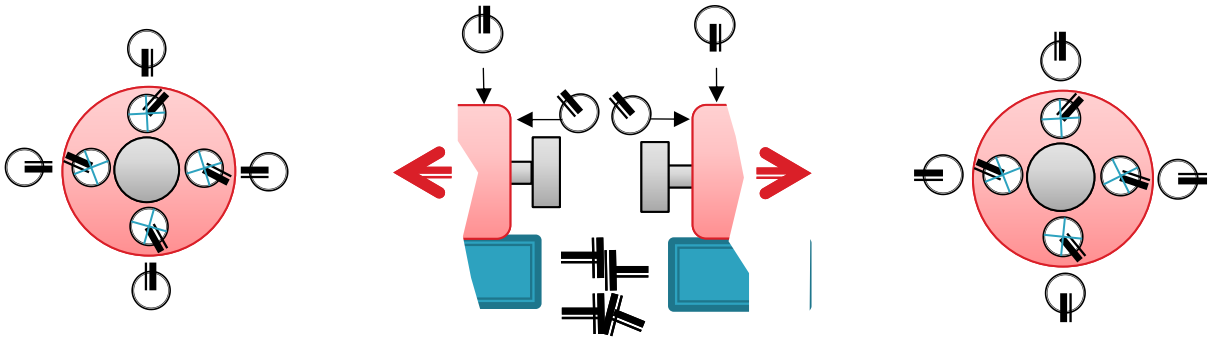


خمش شافت

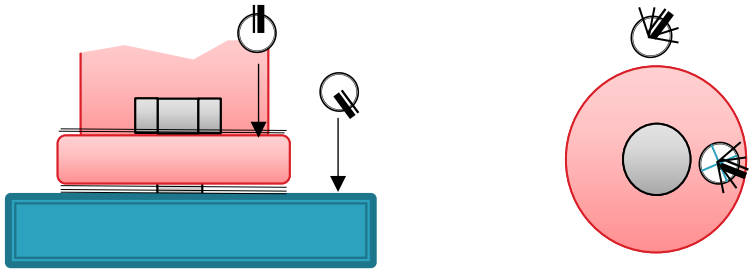


آنالیز فازی - برخی رفتار فازی یاتاقان ها برای عیب های مختلف

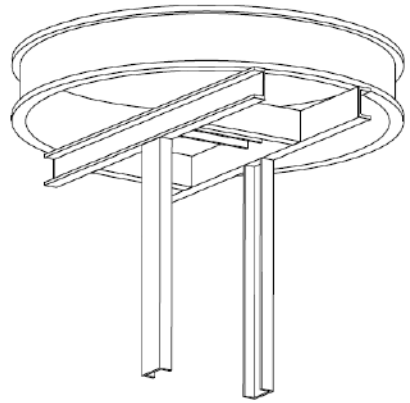
ناهمراستایی

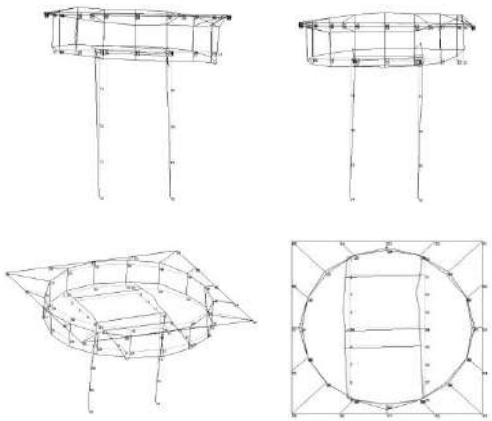


لقی



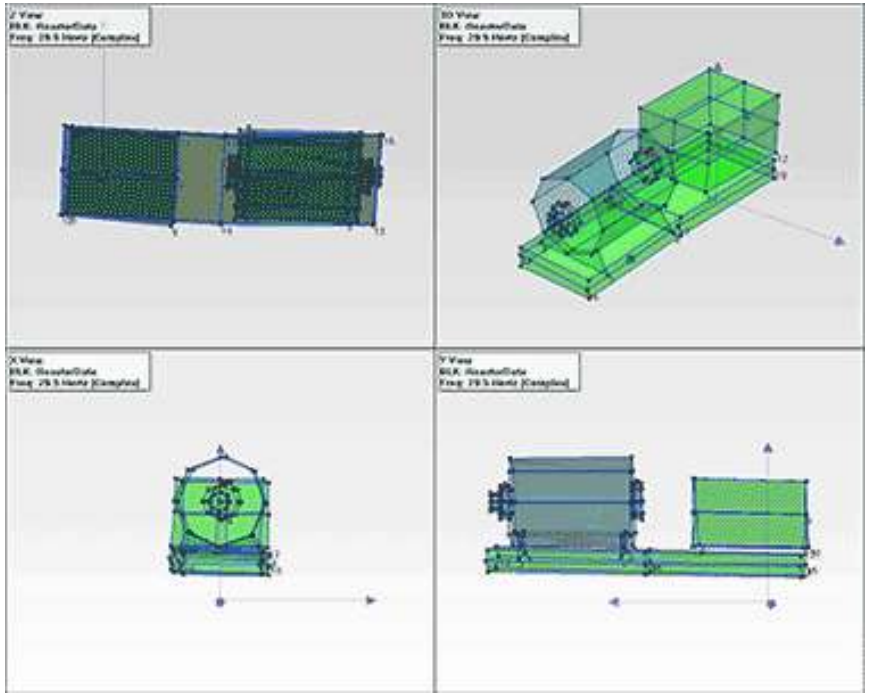
تغییر شکل های عملی سازه ODS

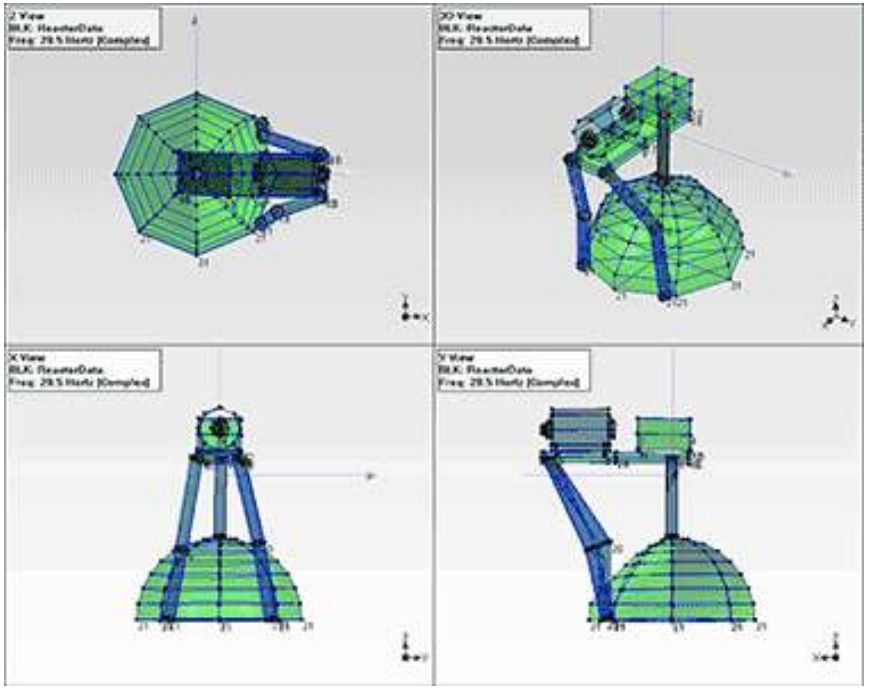


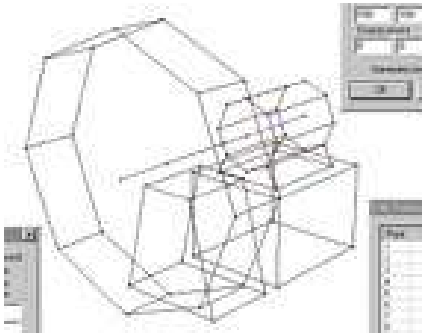


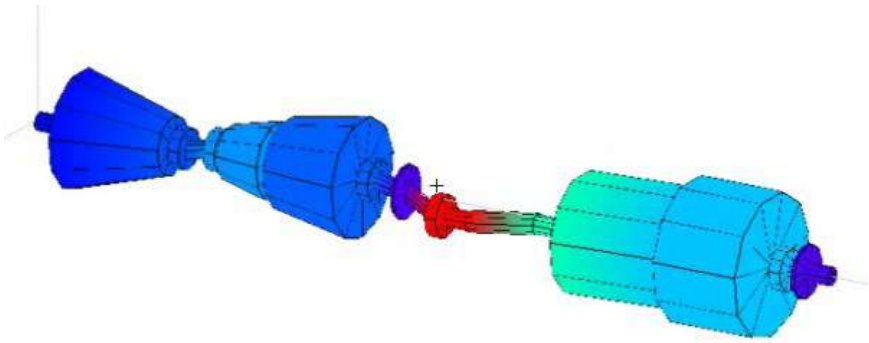
- یکی از تکنیک های بررسی مشکلات ارتعاشی سازه ها روش تحلیل تغییر شکل های عملی سازه است. در این روش مانند روش المان محدود نقاط مختلف یک سازه نشان گذاری (گره بندی) می شود و دامنه و فاز nX (عمدتاً 1X) نسبی برای این نقاط اندازه گیری می شود (دامنه نقطه A نسبت به دامنه نقطه مرجع B و اختلاف فاز نقطه A نسبت به فاز نقطه مرجع B) .
- سپس مقادیر اندازه گیری شده توسط یک نرم افزار کامپیوتری بصورت پویانمایی نمایش داده می شود. در این روش حرکت سازه تنها در فرکانس های مشخص مانند 1X قابل مشاهده است و اگر چه نمی توان درک کاملی از حرکت دقیق سازه بدست آورد، با این وجود در بسیاری از حالت ها نتایج خوبی از رفتار ماشین قابل دستیابی است.

تغییر شکل های عملی سازه ODS



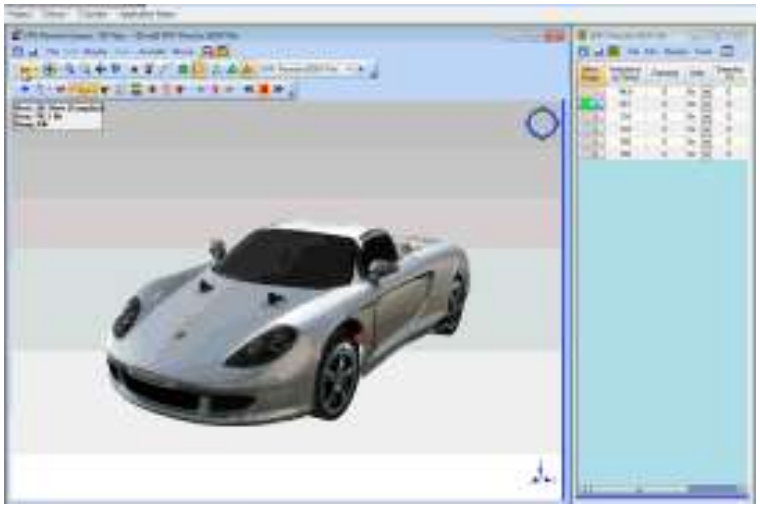




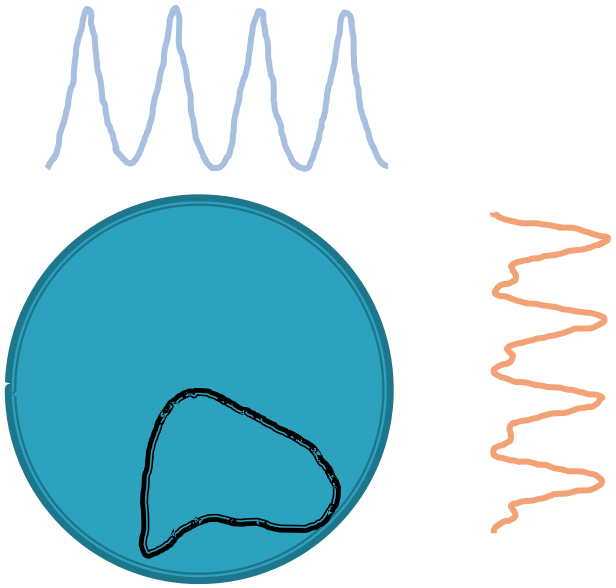


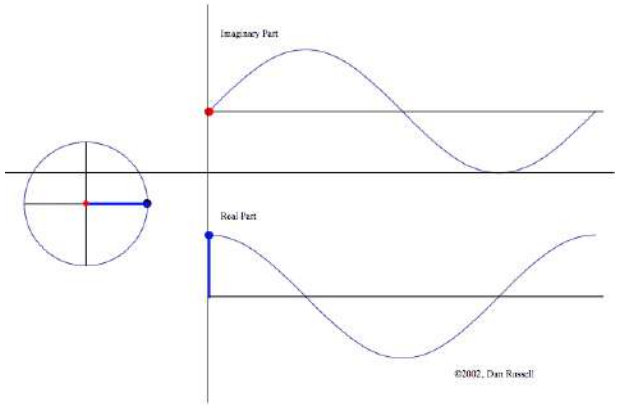
آنالیز مودال و روشهای تحلیلی

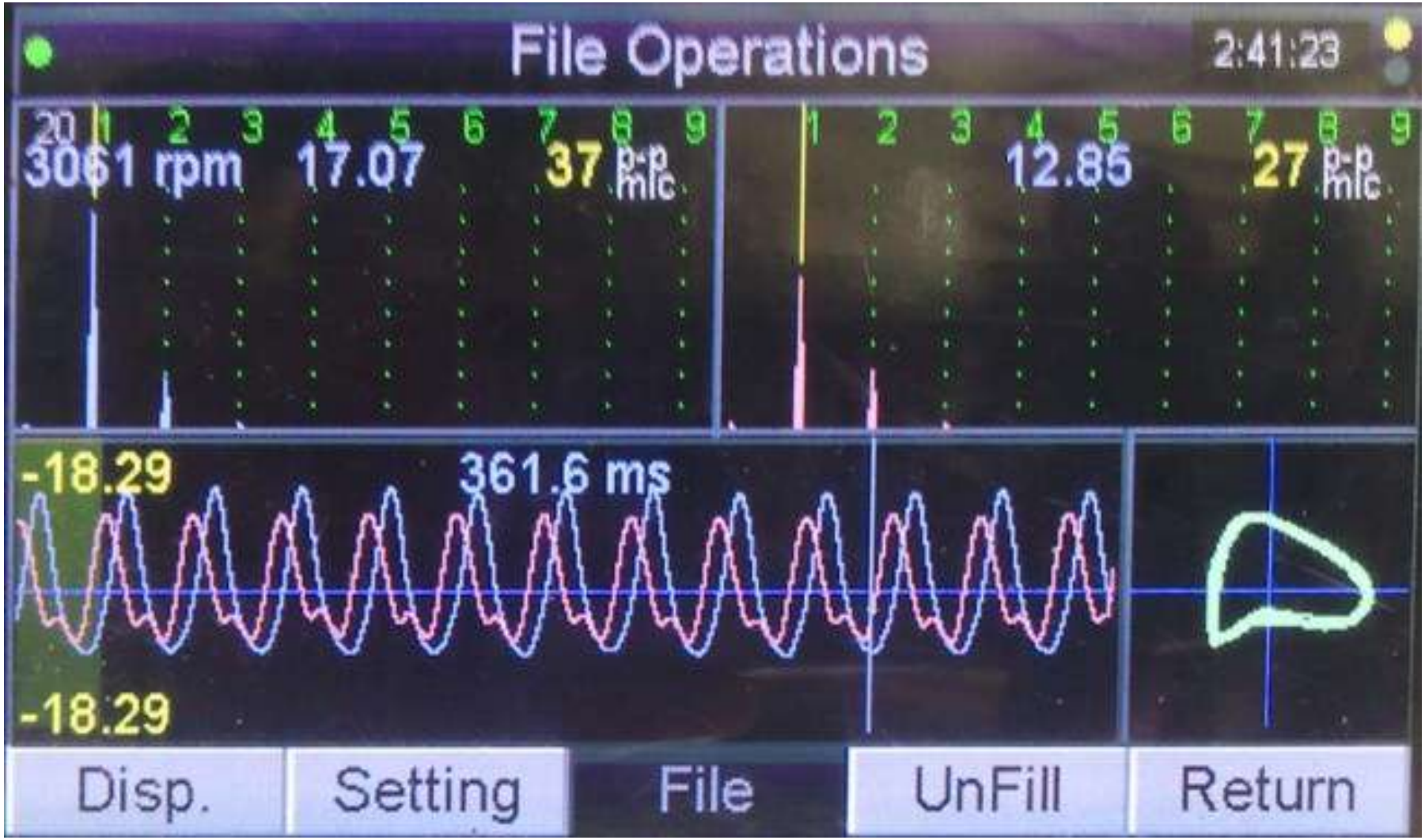
- در بررسی سازه هایی که عیوب اساسی ارتعاشی دارند از جمله مشکلات فرکانس طبیعی و ضعف سازه، آنالیز مودال یک روش اندازه گیری عملی برای تعیین فرکانس های طبیعی و شکل مودهای ارتعاشی است. در این روش نیاز به تجهیزات اندازه گیری و نرم افزارهای خاص تحلیل مودال است.
- روشهای تحلیلی المان محدود روشی ارزان تر برای دستیابی به فرکانس های طبیعی و شکل مودهای ارتعاشی سازه ها است. در بسیاری از موارد از ترکیب تحلیل المان محدود و تحلیل ODS برای ریشه یابی عیوب و تعیین راه حل های عملی استفاده می شود.



اوربیت یاتاقان

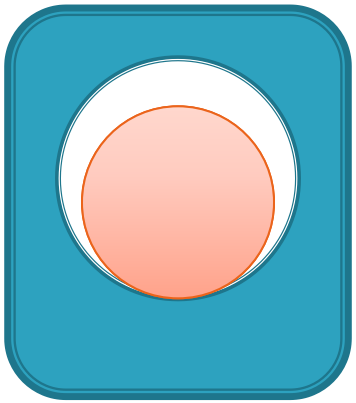


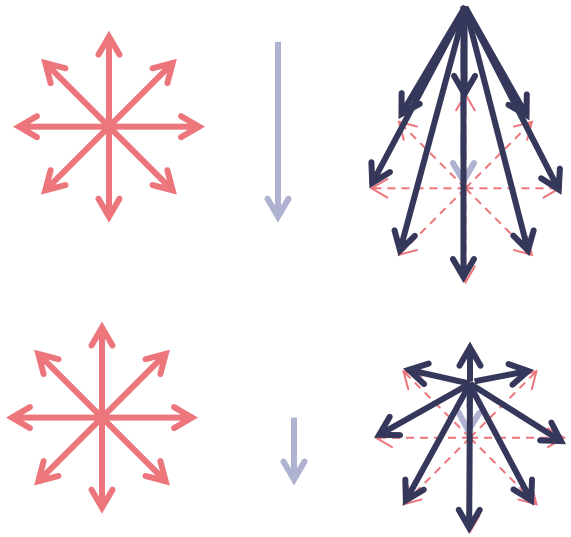



File Operations
2:41:23
3061 rpm
17.07
37 p-p mic
12.85
27 p-p mic
-18.29
361.6 ms
-18.29
Disp.
Setting
File
UnFill
Return

کاربرد اوربیت یاتاقان

- مخصوص یاتاقان های المان غلطکی
- قابل استفاده برای یاتاقان های ژرنال
  - در یاتاقان های ژرنال باید به بالانس نیروها در زوایای چرخش مختلف توجه داشت. در این حالت ممکن است شافت حالت معلق در یاتاقان پیدا کرده و رفتاری غیر خطی ایجاد کند و می تواند اوربیت یاتاقان را نا مشخص کند.

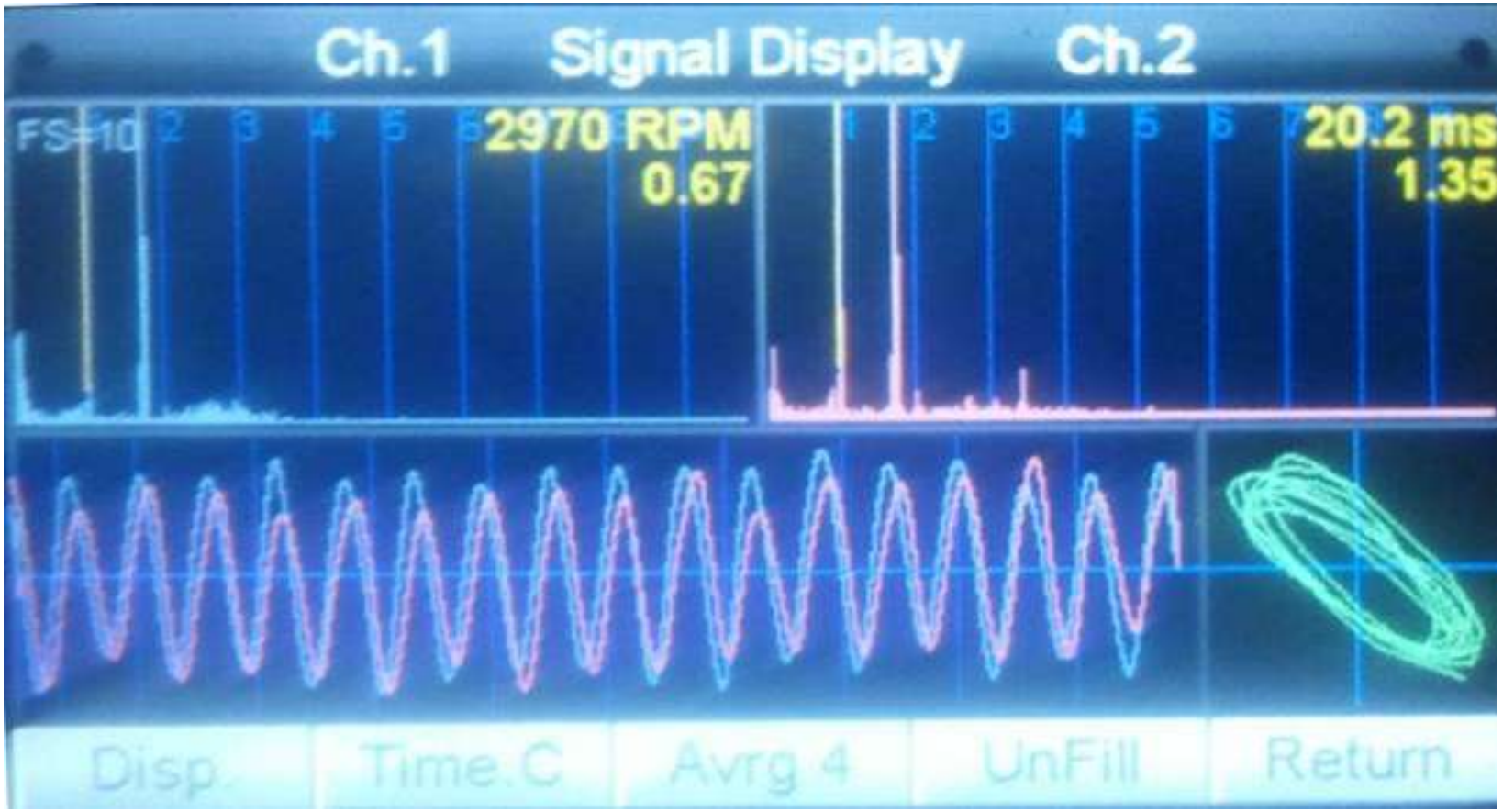




نمونه رفتار غیر خطی در اوربیت یاتاقان

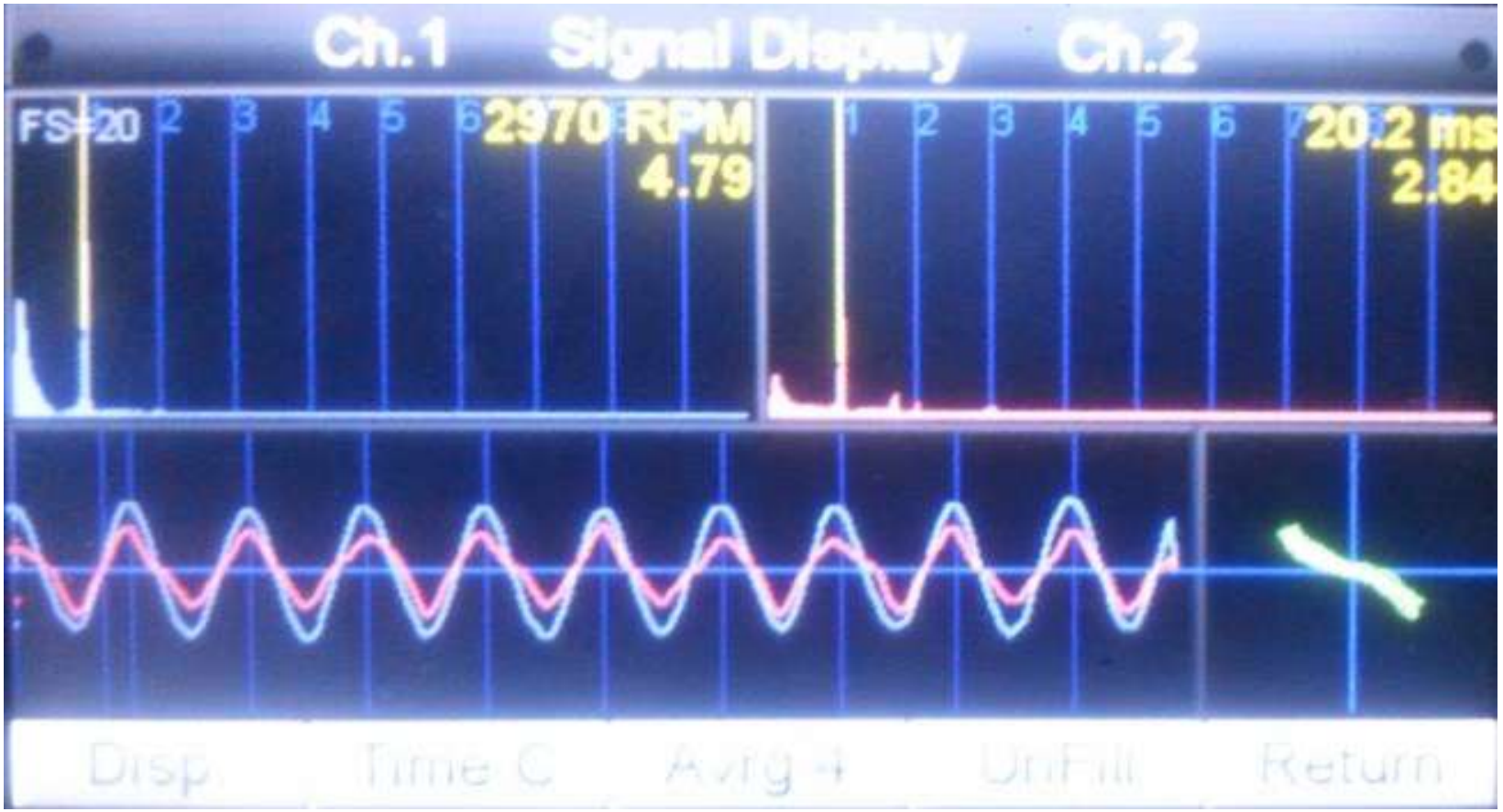
- نکته: رفتار غیر خطی جهت عمودی در شکل اوربیت مشهود است. بنابراین برای محاسبات بالانس انتخاب جهت افقی مناسب تر است.

نمونه اوربیت های یاتاقان در حالت عیب های مختلف



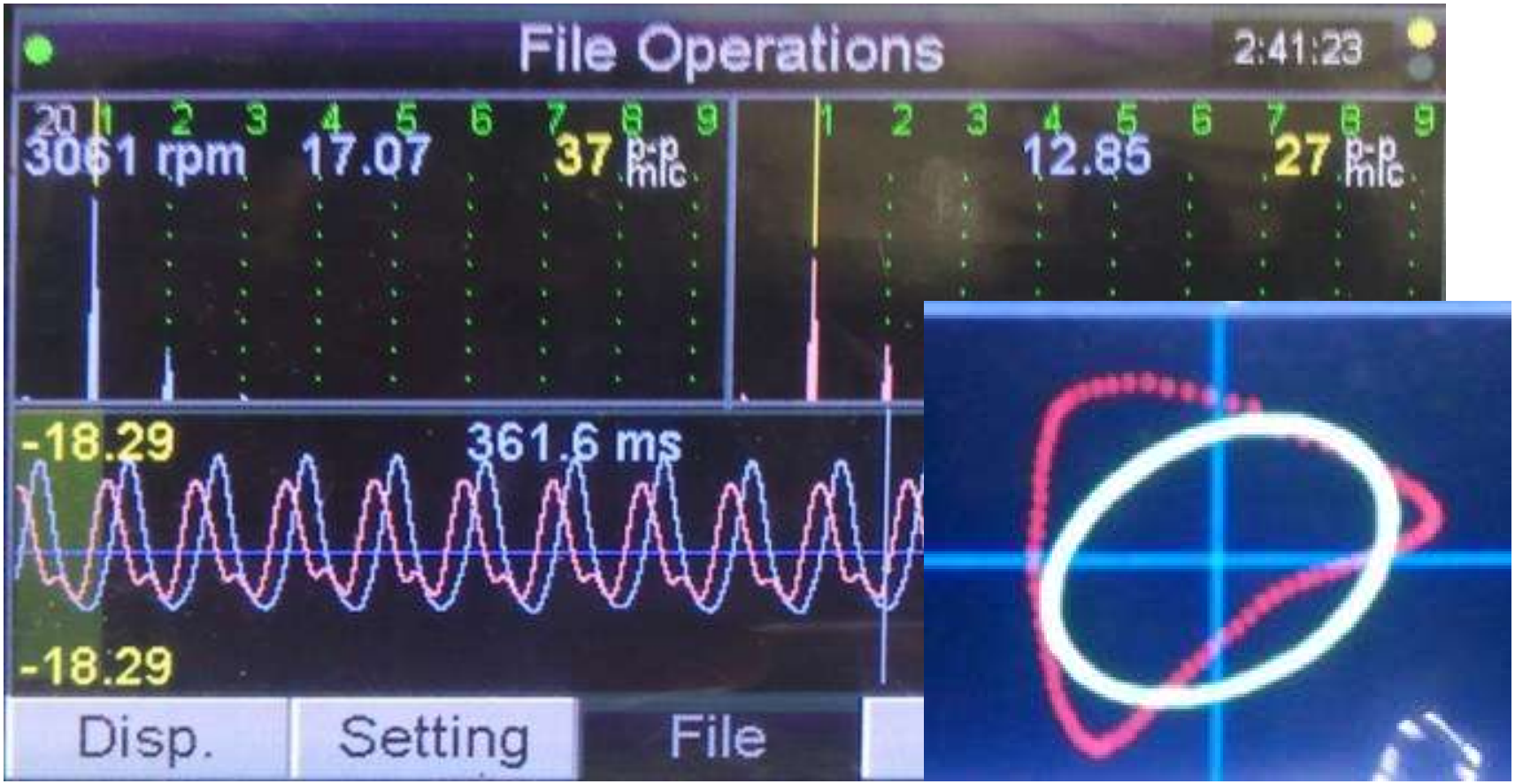
نابالانسی روتور توربین گازی 25MW سمت استارتر.

نمونه اوربیت های یاتاقان در حالت عیب های مختلف



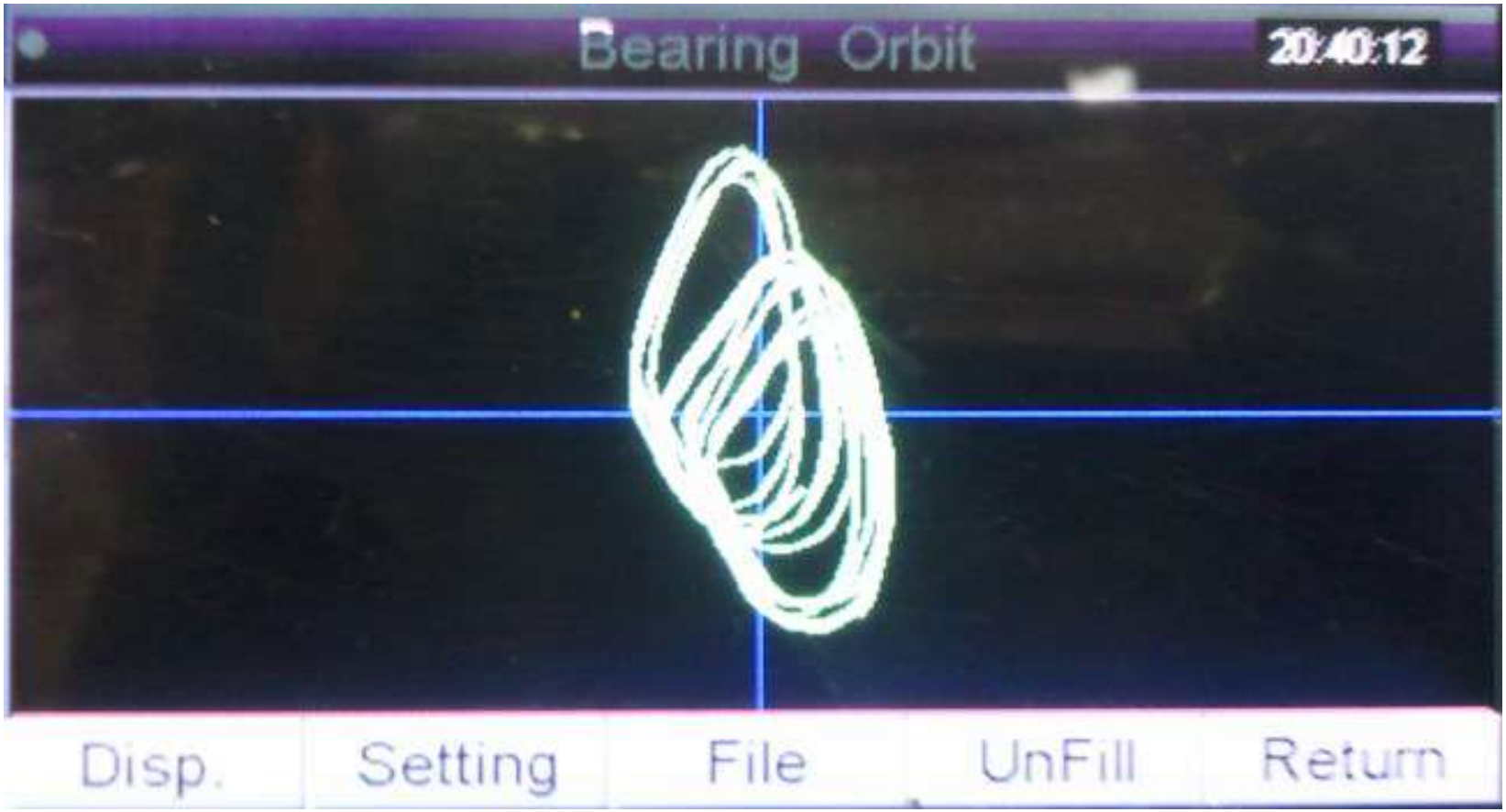
پیش بار در یاتاقان سمت اکسایتر ژنراتور 25MW اشکال در تنظیمات داخلی یاتاقان.

نمونه اوربیت های یاتاقان در حالت عیب های مختلف



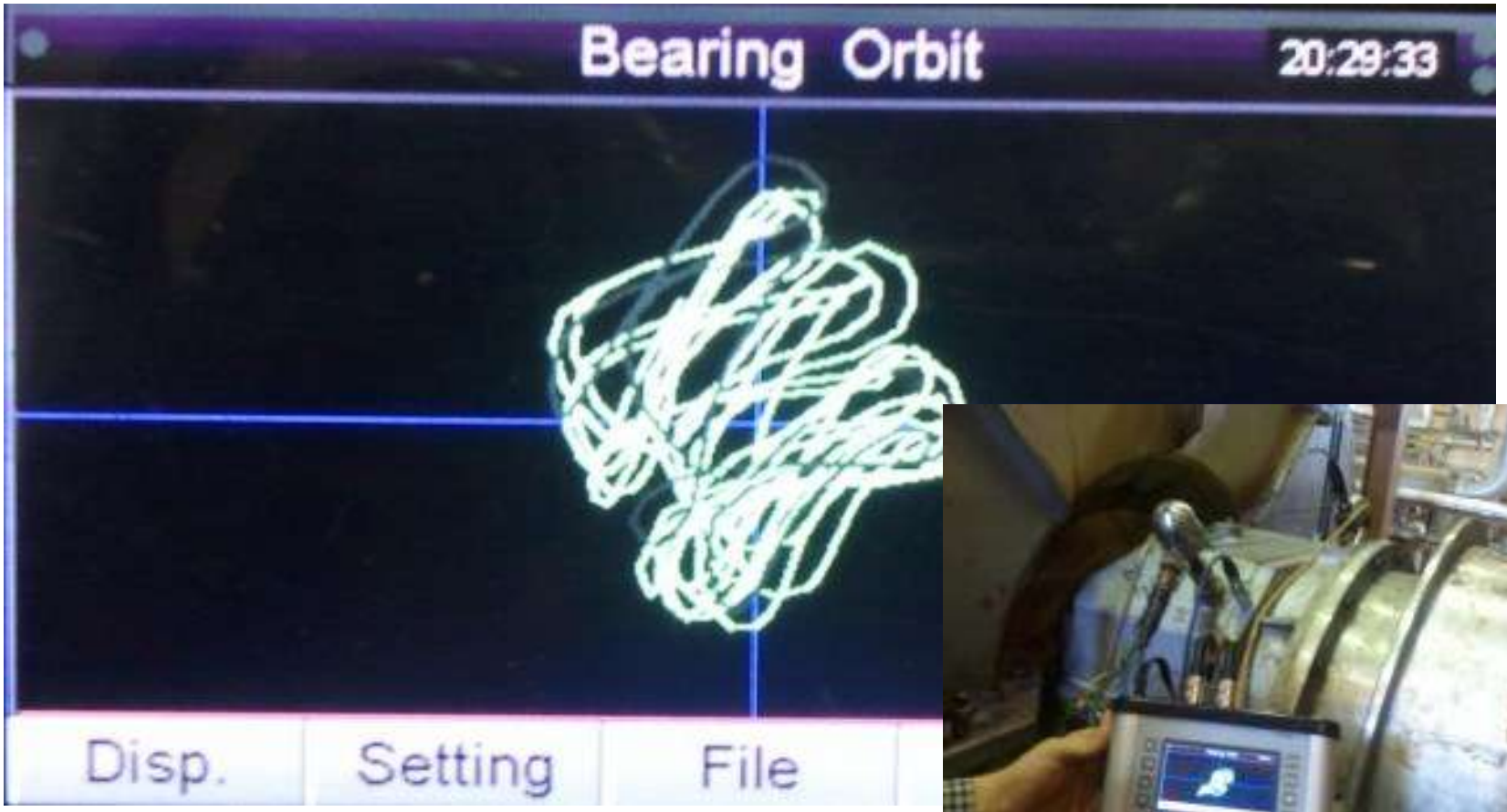
نابالانسی به همراه پیش بار در یاتاقان سمت آزاد ژنراتور 200 MW.

نمونه اوربیت های یاتاقان در حالت عیب های مختلف



نابالانسی به همراه پیش بار در یاتاقان سمت کوپل توربین بخار 50 MW.

نمونه اوربیت های یاتاقان در حالت عیب های مختلف



انتخاب نامناسب محل اندازه گیری (کاور کوپلینگ). اندازه گیری حاوی فرکانس های طبیعی پوسته کاور کوپلینگ است.

آنالیز فازی بدون نیاز به سنسور مرجع فاز !

- یکی از ویژگی های مهم اوربیت یاتاقان این است که می توان آن را بدون مرجع فاز هم اندازه گیری نمود (مانند اوربیت شافت بدون مرجع که تفاوت آن با اوربیت با مرجع، عدم نمایش نقطه مرجع و جهت اوربیت است).
- این یک امتیاز خوب برای کارشناسانی است که می خواهند بدون توقف ماشین و چسباندن برچسب در شرایط موجود اوربیت را مشاهده کنند. بنابراین یک ابزار مناسب در کنار طیف فرکانسی و سیگنال زمانی خواهد بود.
- با استفاده از تصویر اوربیت یاتاقان می توان در رابطه با اختلاف فاز نقاط نیز قضاوت نمود.
- در این روش نیازی به نصب سنسورها بصورت متعامد نیست بلکه هر دو نقطه دلخواه در بدنه ماشین را می توان انتخاب و اختلاف فاز بین آن دو را بدست آورد.
- در بسیاری از عیب یابی ها دانستن اختلاف فاز ۰ یا ۱۸۰ کفایت می کند بنابراین مطابق تصاویری که در زیر نمایش داده شده است براحتی می توان در رابطه با این اختلاف فاز ها بدون نیاز به سنسور مرجع فاز قضاوت نمود.

آنالیز فازی بدون سنسور مرجع فاز - دو نقطه هم فاز است: $\Delta\varphi \approx 0$

- شکل اوربیت به شکل یک خط مستقیم نزدیک می شود و در ربع اول و سوم دایره قطبی قرار می گیرد.
- اختلاف دامنه تعیین کننده میزان شیب خط است. هر چقدر دامنه افقی بیشتر باشد شیب خط به سمت صفر نزدیک تر می شود.

آنالیز فازی بدون سنسور مرجع فاز – دو نقطه فاز مخالف دارد: $\Delta\varphi \approx 180$

- شکل اوربیت به شکل یک خط مستقیم نزدیک می شود و در ربع دوم و چهارم دایره قطبی قرار می گیرد.

آنالیز فازی بدون سنسور مرجع فاز - اختلاف فاز عمومی: $0 < \Delta\varphi < 180$

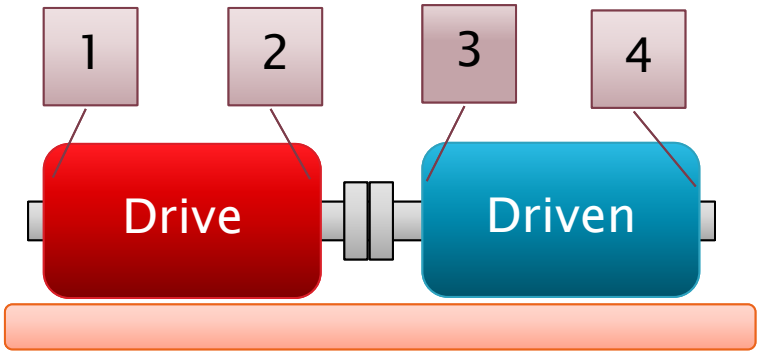
- اوربیت به شکل یک دایره یا بیضی مشاهده می شود.

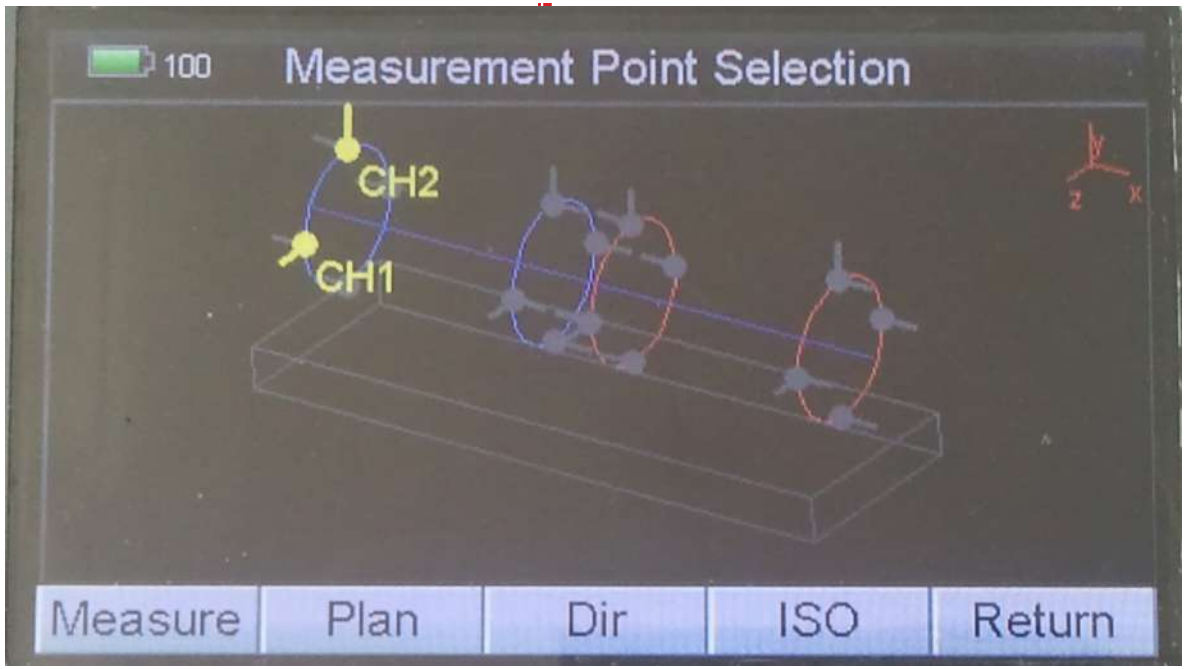
پویا نمایی حرکت یاتاقان

- برای پویا نمایی کافیست موقعیت جسم (یاتاقان) را در چند لحظه (فریم) از یک سیکل تکراری اندازه گیری و سپس نمایش داده شود. برای این کار علاوه بر اندازه گیری حرکت شعاعی (اوربیت یاتاقان) باید حرکت محوری نیز اندازه گیری شود.
- Animation

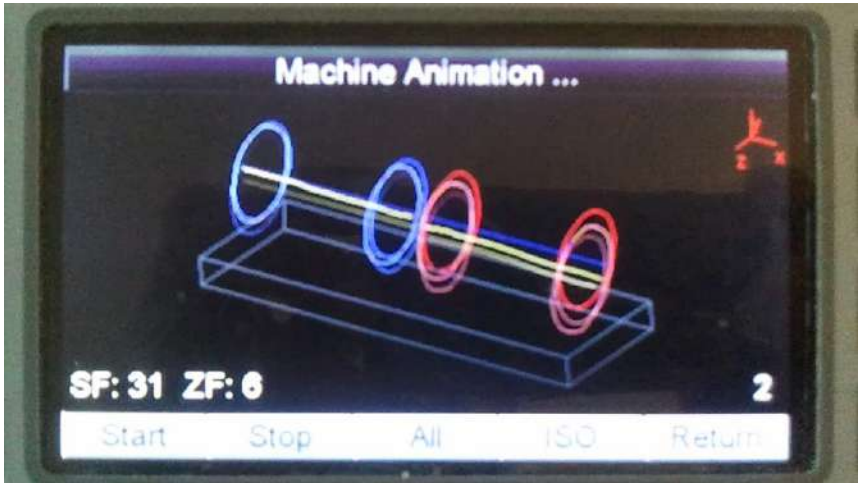
پویا نمایی حرکت یاتاقان

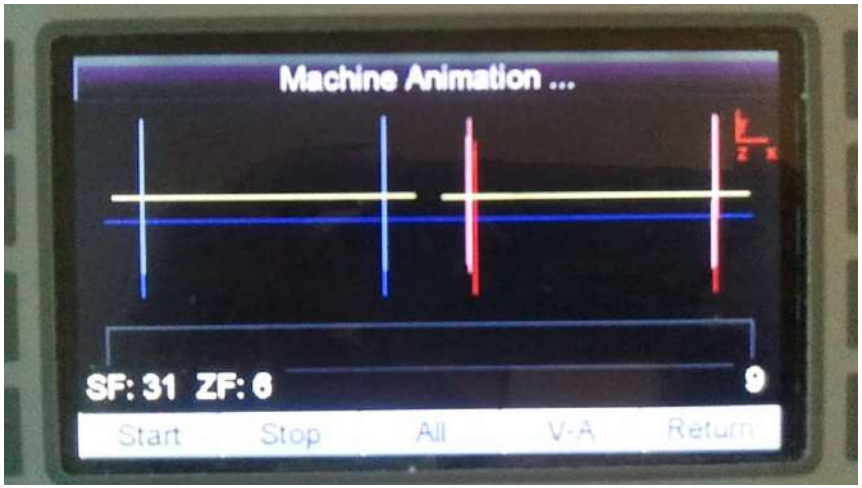
- اوربیت یاتاقان حاوی اطلاعات حرکت شعاعی است. حال اگر اطلاعات حرکت محوری را نیز به آن اضافه کنیم می توان حرکت عمومی یاتاقان را بدست آورد.
- معمولاً اگر مجموعه یاتاقان (اطراف شافت نه پایه یاتاقان) را صلب در نظر بگیریم، حرکت شعاعی را می توان برای کلیه نقاط اطراف یاتاقان یکسان با حرکت مرکز یاتاقان در نظر گرفت و با استفاده از دو عدد سنسور متعامد این حرکت را بدست آورد، دقیقاً کاری که برای اوربیت یاتاقان انجام گرفت.
- برای نقاط اطراف یاتاقان در حالت عمومی حرکت محوری یکسانی وجود ندارد.
- برای تعیین حرکت محوری نقاط اطراف یاتاقان، می توان حرکت چهار نقطه را در ساعت ۰ و ۳ و ۶ و ۹ بدست آورد سپس با استفاده از تکنیک های تطبیق منحنی حرکت سایر نقاط را تعیین نمود.
- با داشتن حرکت عمومی کلیه نقاط اطراف یک یاتاقان می توان حرکت فضایی آن را تعیین کرد.
- در پویا نمایی معمولاً از چهار یاتاقان برای دو ماشین استفاده می شود و برای هر کدام لازم است ۶ اندازه گیری سیگنال جابجایی بدست آید. با یک آنالیزر دو کاناله لازم است از مرجع فاز برای این منظور استفاده کنیم تا اندازه گیری ها با مرجع فاز خارجی انجام شود و حرکت های بدست آمده همزمان باشند. سپس برای هر یاتاقان می توان ۳ سری اندازه گیری (دو کاناله) انجام داد تا حرکت کل ماشین در ناحیه یاتاقان ها بدست آید.

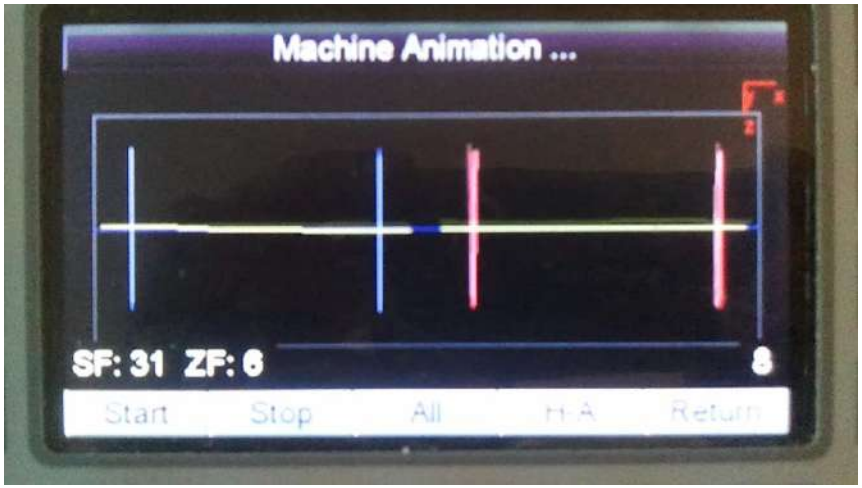

1
2
3
4
Drive
Driven


100
Measurement Point Selection
CH2
CH1
Measure
Plan
Dir
ISO
Return

نمونه هایی از پویا نمایی برای عیب های مختلف – نابالانسی







معدل گیری فاز

- در انجام اندازه گیری های فاز باید به این نکته دقت داشت که سیگنال اندازه گیری شده باید فاز پایداری داشته باشد. از این رو در بسیاری از تجهیزات از تکنیک معدل گیری فاز برای دستیابی به یک مقدار دامنه و فاز پایدار و ثابت استفاده می کنند.
- هنگام استفاده از این تکنیک باید توجه داشت که تکنیک های فازی را برای مواردی می توان استفاده نمود که عیوب مورد نظر با گردش شافتی که سنسور مرجع فاز روی آن نصب است همزمان باشد. بعنوان مثال اگر ارتعاش مربوط به عیب الکتریکی باشد که فرکانس آن با فرکانس مکانیکی متفاوت است، معدل گیری دامنه و فاز اختلاف فاحشی با مقدار اندازه گیری ارتعاش کل خواهد داشت و نشان دهنده تضعیف بردار در معدل گیری است.
- تصویر زیر یک نمونه از معدل گیری فاز را همراه با مقدارهای معدل گیری نشده نشان می دهد. در این تصویر مقادیر معدل گیری نشده تا ۱۰ مقدار قبلی بصورت علامت + در تصویر نمایش داده شده است.
- با توجه به تصویر می توان دریافت که مقدار دامنه و فاز جاری بصورت مداری در اطراف مقدار معدل گیری شده در جهت حرکت عقربه های ساعت در هر دو کانال اول (افقی) و دوم (عمودی) در حال چرخش است و نشان دهنده این حقیقت است که ارتعاش غالب با فرکانسی متفاوت با فرکانس مرجع فاز وجود دارد. مقدار معدل گیری شده حدود یک سوم مقدار حداکثر دامنه و فاز می باشد.

معدل گیری فاز

نتیجه گیری

- مشابه تکنیک اوربیت شافت در یاتاقان های ژرنال، تکنیک اوربیت یاتاقان نیز می تواند بعنوان ابزاری بسیار قوی در تفکیک بسیاری از عیوب فرکانس پایین مخصوصاً برای یاتاقان های المان غلطکی و همچنین برای یاتاقان های ژرنال مورد استفاده قرار گیرد.
- در بسیاری موارد نصب سنسور مرجع فاز نیاز به توقف ماشین و نصب برچسب می باشد، اما با استفاده از اوربیت یاتاقان می توان بدون سنسور فاز نیز اختلاف فاز دو نقطه را بسرعت و بسادگی بدست آورد.
- روش ODS نیاز به تحلیل های کامپیوتری داشته و عموماً برای سازه ها مورد استفاده قرار می گیرد. اما روش پویا نمایی یاتاقان قابیت اجرا در یک آنالیزر پرتابل در کنار سایر تکنیک های آنالیز ارتعاشات را داشته و کارشناسان آنالیز ارتعاشات قادر خواهند شد به سرعت و با دقت کافی و بدون نیاز به تجهیزات اضافی، شناسایی حرکت ماشین را براحتی در سایت انجام دهند. این روش تفکیک عیوب فرکانس پایین را بسیار ساده و سریع امکان پذیر می سازد.

منابع

- اینترنت
- کاتالوگ و راهنمای دستگاه آنالایزر/بالانسر پرتابل VB92 محصول شرکت مهندسی تواتر سپاهان.