سیزدهمین کنفرانس پایش وضعیت و عیب یابی
۷ و ۸ اسفند ۹۷
دانشگاه صنعتی شریف

کارگاه آموزشی:

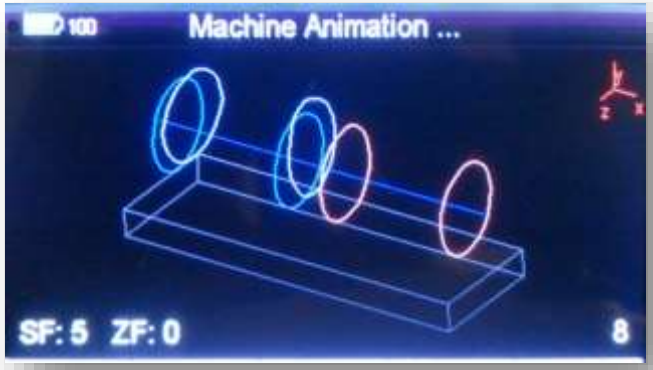
تحلیل حرکت لرزشی ماشین در عیب یابی های فرکانس پایین

علی اکبر وکیلی
شرکت مهندسی تواتر سپاهان

tavator
Vibration Analysis
www.tavator.com

چکیده

- شناخت رفتار ارتعاشی یک ماشین کلید اصلی موفقیت در عیب یابی های لرزشی است. الگوهای استاندارد همیشگی نیست و در بسیاری موارد یک تحلیل گر با چالش تشخیص عیوبی روبروست که طیف فرکانسی و حتی شکل موج زمانی یکسانی دارند. استفاده از آنالیز فاز از دیرباز بعنوان روشی موثر در تفکیک این عیب ها مورد استفاده قرار می گرفت، اما از آنجایی که آنالیز فاز تنها رفتار نقاط مشخصی را آشکار می کند، روشهای ODS و سپس پویا نمایی حرکت ماشین برای به تصویر کشیدن حرکت کل ماشین مورد استفاده قرار گرفته است. ظهور تکنولوژی های جدید تصویر برداری سرعت بالا به همراه الگوریتم های پردازشی پیشرفته امکان تصویر سازی حرکت ماشین را به سادگی فراهم کرده است. در این کارگاه سعی داریم با مرور روشهای استاندارد، روشهای جدید را نیز شرح دهیم. عیب هایی که به دنبال تفکیک آنها هستیم، از موارد زیر است:



- نابالانسی
- ناهمراستایی، خرابی کوپلینگ
- ضعف تکیه گاهی، سافت فوت، شل شدن آنکر بولت ها
- خارج از مرکزی
- رزونانس
- عیوب الکتریکی

فهرست عناوین

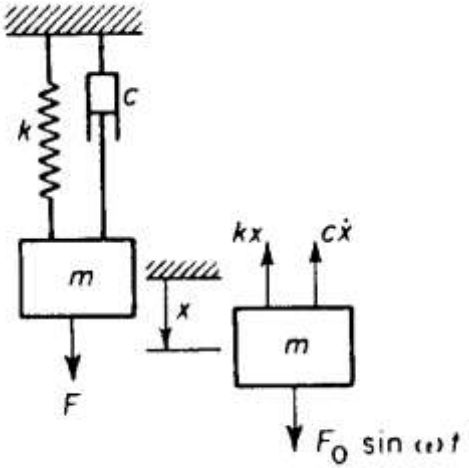
- بخش اول – شناخت حرکت لرزشی
  - نیرو و جابجایی
  - اهمیت جابجایی، سرعت و شتاب.
  - تغییر شکل یا حرکت
  - الگوهای حرکت لرزشی ماشین در اثر خرابی های فرکانس پایین
- بخش دوم – روشهای شناسایی الگوی های حرکت لرزشی.
  - تحلیل اوربیت
    - اوربیت شافت
    - اوربیت یاتاقان
  - تحلیل فاز
  - تحلیل تغییر شکل عملی سازه ODS
  - تحلیل پویا نمایی ماشین به کمک آنالایزر ارتعاش
  - تحلیل پویا نمایی ماشین به روش بزرگنمایی حرکت Motion Amplification

بخش اول:

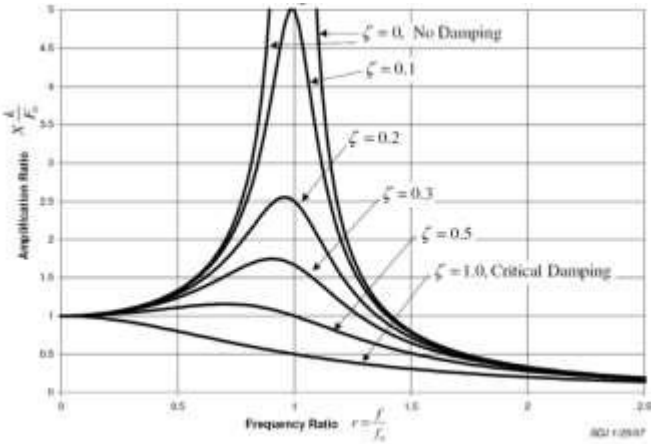
شناخت حرکت لرزشی

نیرو و جابجایی

سیستم یک درجه آزادی



$$X = \frac{F_0}{k} \frac{1}{\sqrt{(1-r^2)^2 + (2\zeta r)^2}}$$



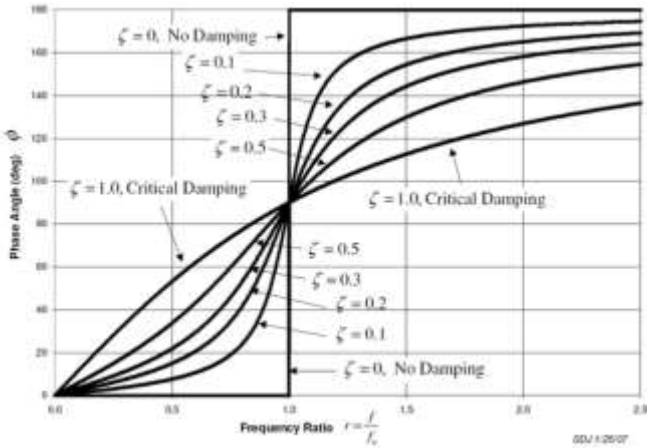
$$F = F_0 \sin(2\pi f t)$$

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F_0 \sin(2\pi f t)$$

$$x(t) = X \sin(2\pi f t + \phi)$$

$$r = \frac{f}{f_n}$$

$$\phi = \arctan\left(\frac{-2\zeta r}{1-r^2}\right)$$



نیرو و جابجایی

Input Force
(*Amplitude*, *Frequency*, *Phase*)

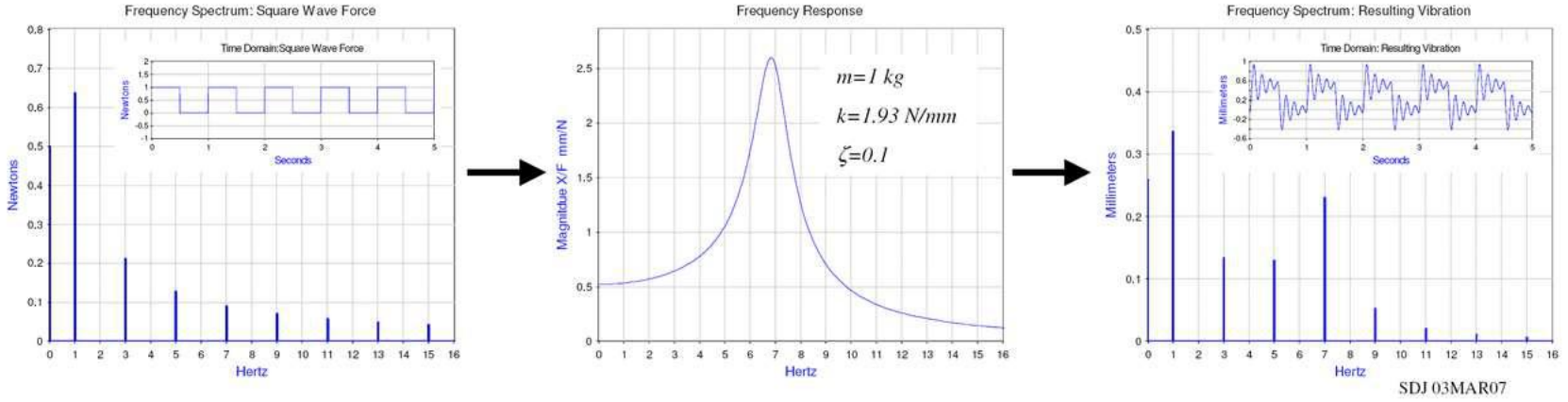
→

Frequency Response
(*mass*, *damping*, *stiffness*)

→

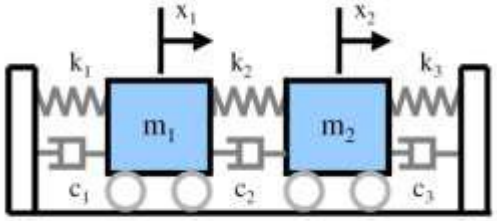
Vibration
(*Amplitude*, *Frequency*, *Phase*)

$$F(\omega) \quad x \quad H(\omega) \quad = \quad X(\omega)$$



نیرو و جابجایی

سیستم چند درجه آزادی



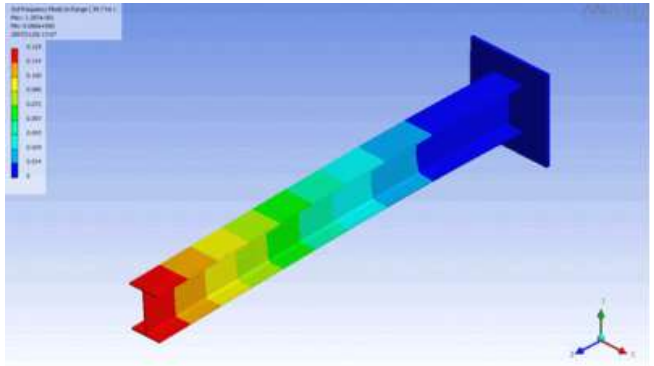
$$m_1\ddot{x}_1 + (c_1 + c_2)\dot{x}_1 - c_2\dot{x}_2 + (k_1 + k_2)x_1 - k_2x_2 = f_1$$

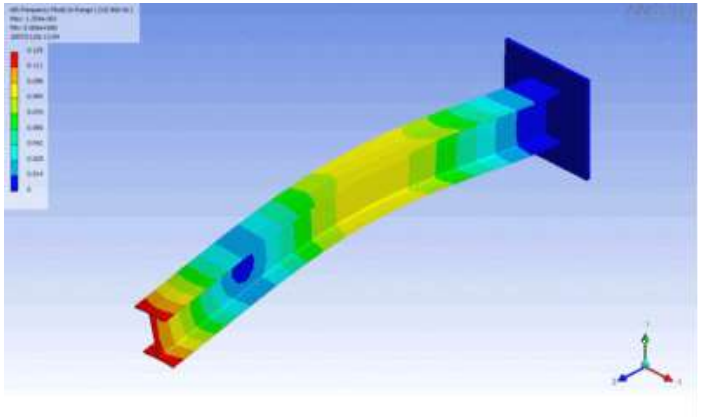
$$m_2\ddot{x}_2 - c_2\dot{x}_1 + (c_2 + c_3)\dot{x}_2 - k_2x_1 + (k_2 + k_3)x_2 = f_2$$

$$\begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix}\begin{Bmatrix} \ddot{x}_1 \\ \ddot{x}_2 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} c_1 + c_2 & -c_2 \\ -c_2 & c_2 + c_3 \end{bmatrix}\begin{Bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 \\ -k_2 & k_2 + k_3 \end{bmatrix}\begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} f_1 \\ f_2 \end{Bmatrix}$$

$$[M]\{\ddot{x}\} + [C]\{\dot{x}\} + [K]\{x\} = \{f\}$$

$$\{x\} = \{X\}e^{i\omega t} \qquad [\omega_r^2] = \begin{bmatrix} \omega_1^2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & \omega_N^2 \end{bmatrix} \text{ and } [\Psi] = [\{\psi_1\}\{\psi_2\}\cdots\{\psi_N\}]$$



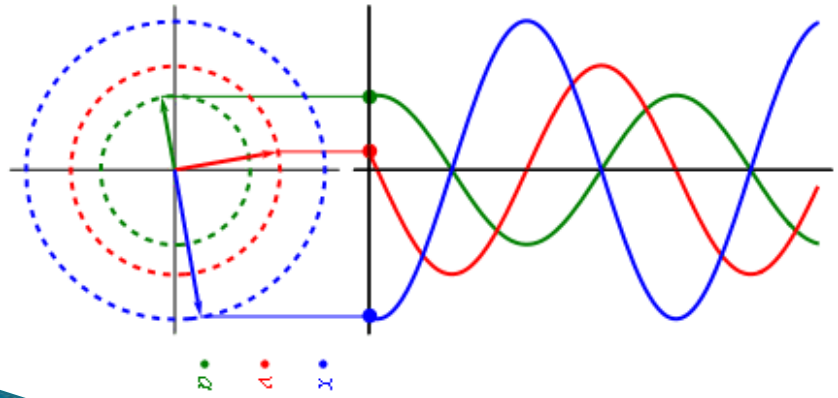


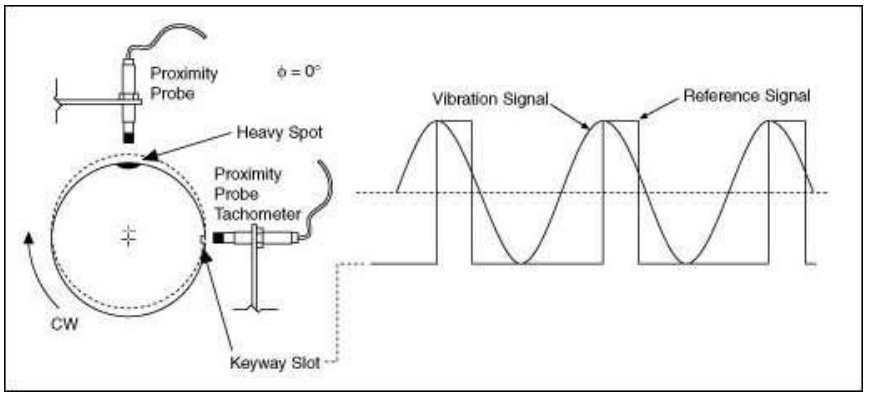
اندازه گیری جابجایی، سرعت و شتاب

سنسور پروکسی → D (p-p)

سنسور سرعت → V (rms)/(Peak) → ∫ → D (p-p)

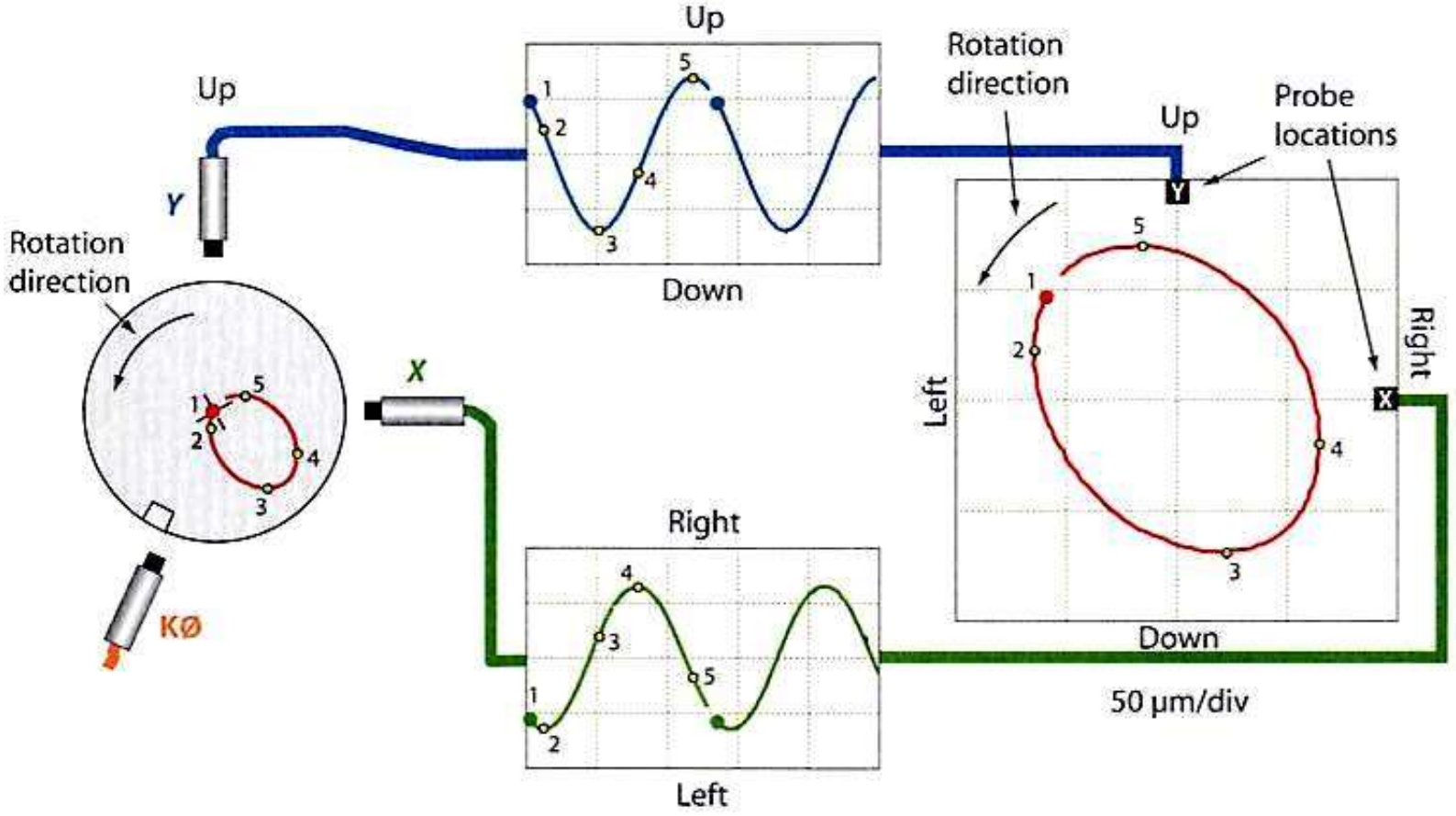
سنسور شتاب → A (rms)/(Peak) → ∫ → V (rms)/(Peak) → ∫ → D (p-p)





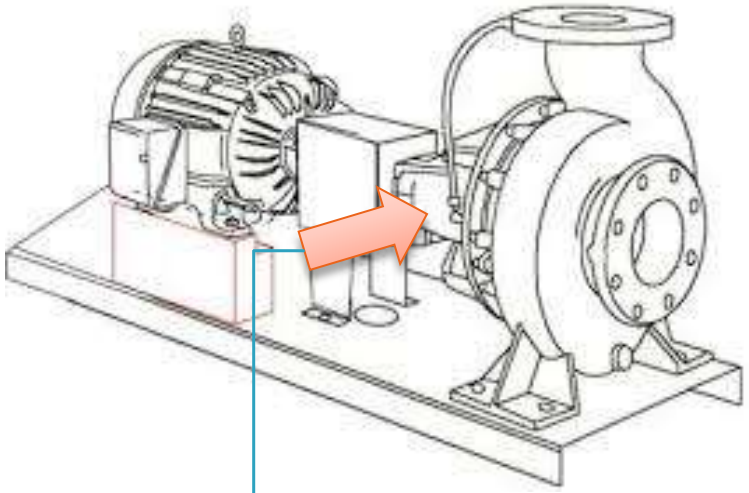
اهمیت جابجایی، سرعت و شتاب

اندازه گیری نسبی شافت

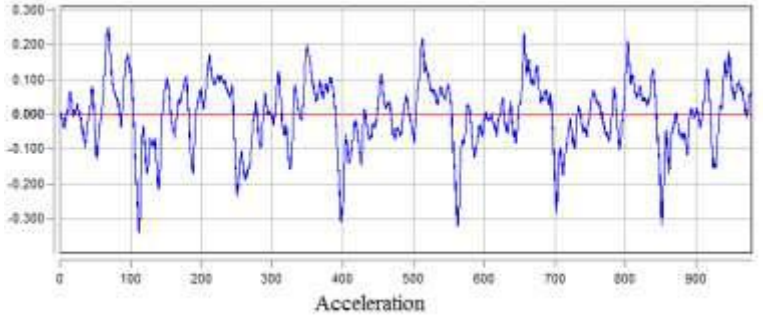


اهمیت جابجایی، سرعت و شتاب

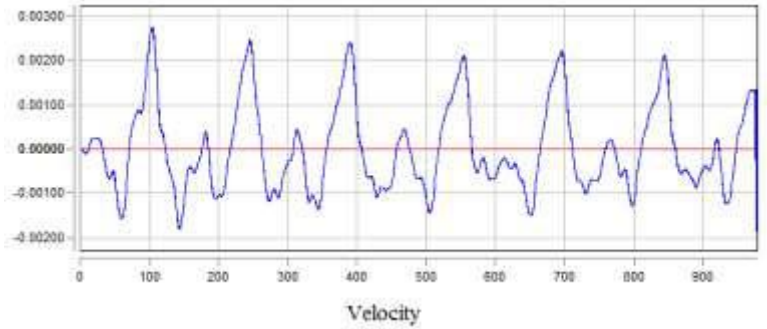
اندازه گیری مطلق بدنه



$a_{(t)}$

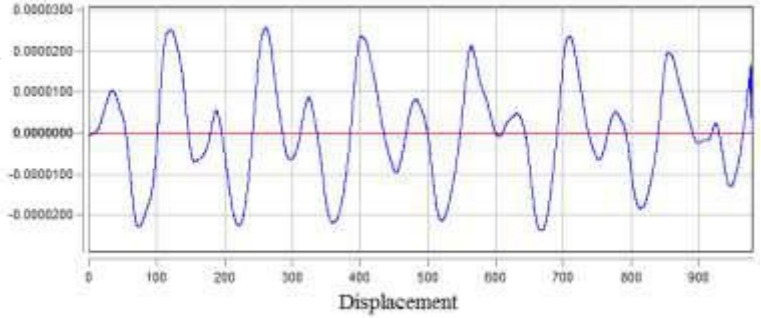


$\int a_{(t)}$



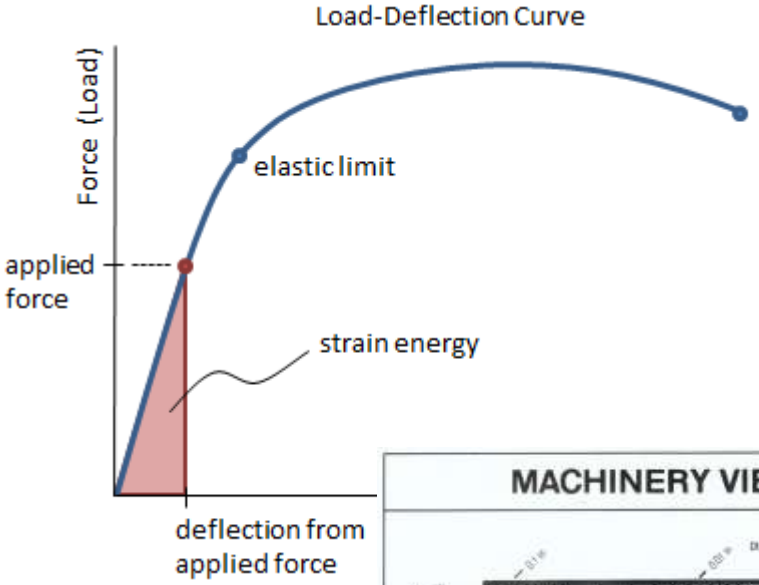
$v_{(t)}$

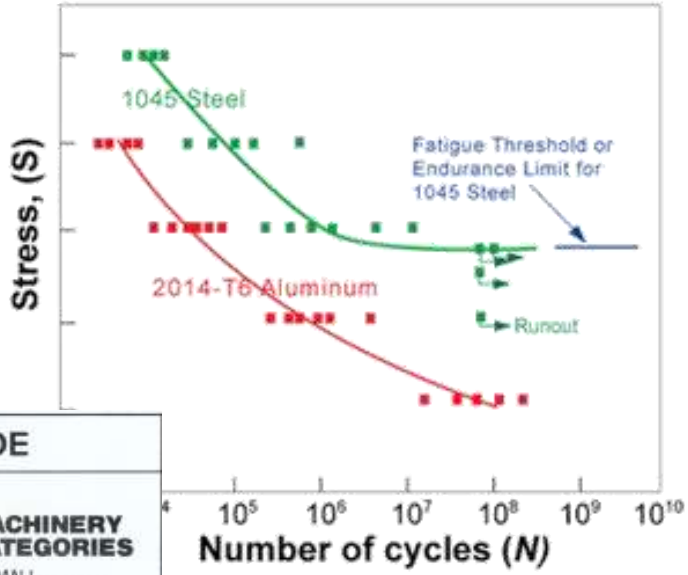
$\iint a_{(t)}$

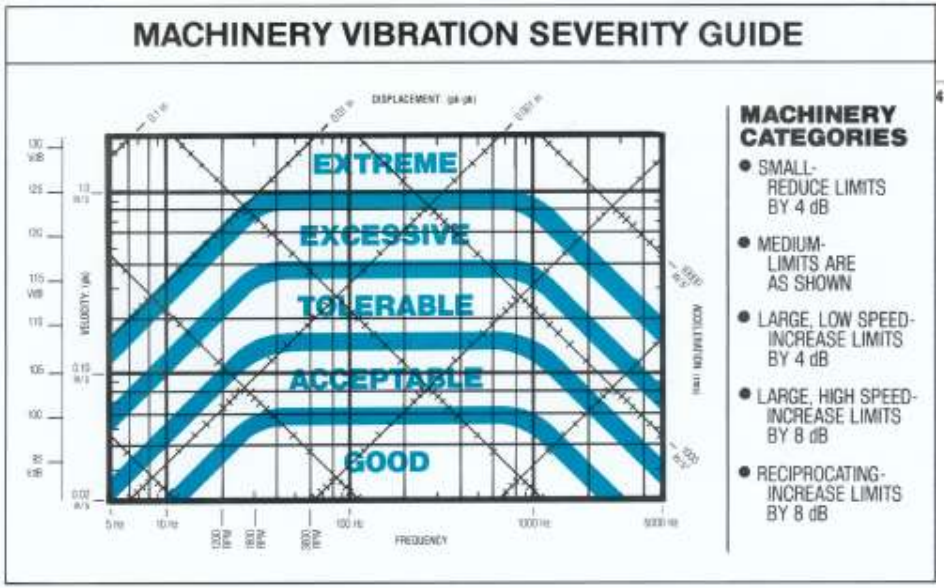


$\int v_{(t)}$

اهمیت جابجایی، سرعت و شتاب

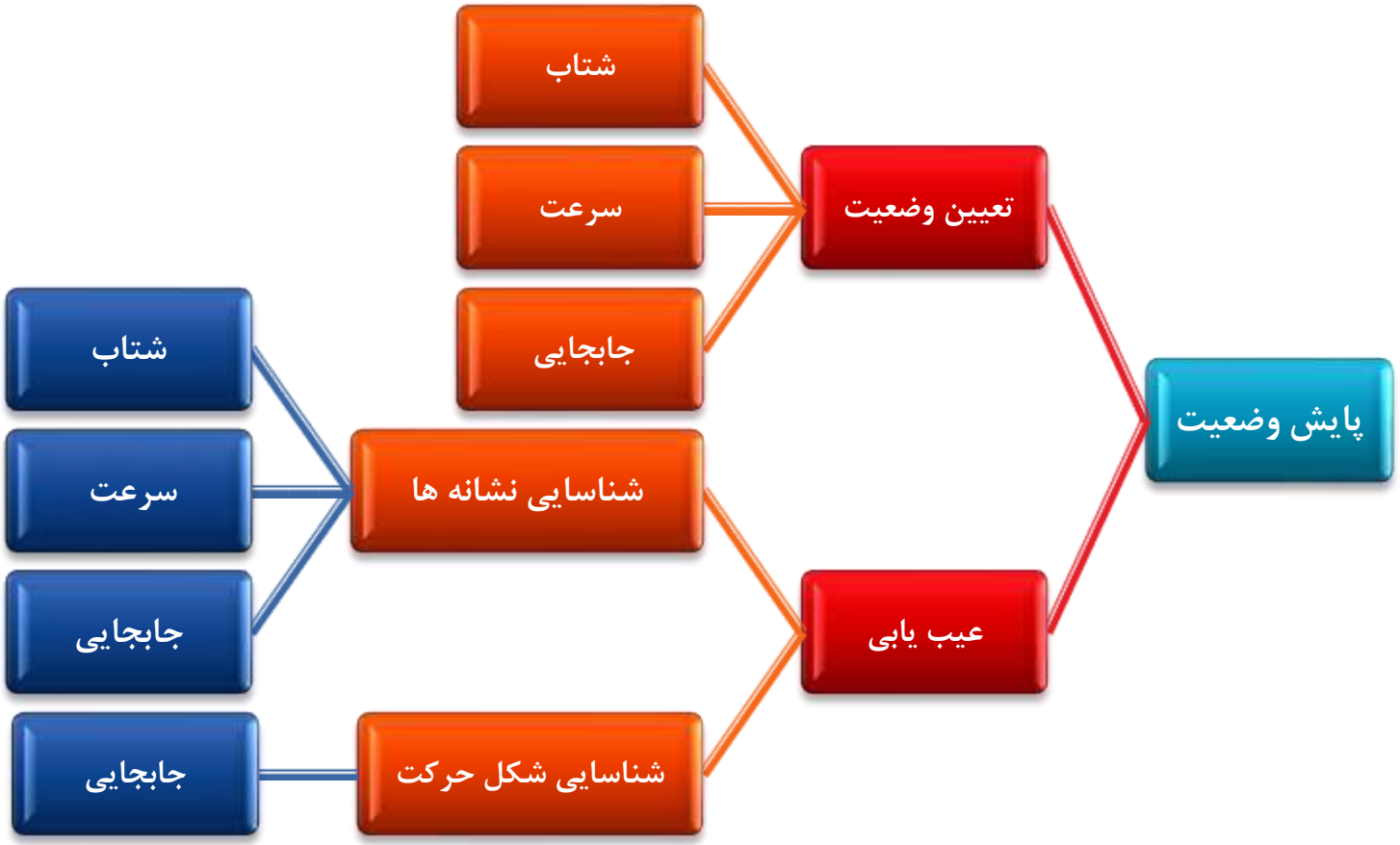






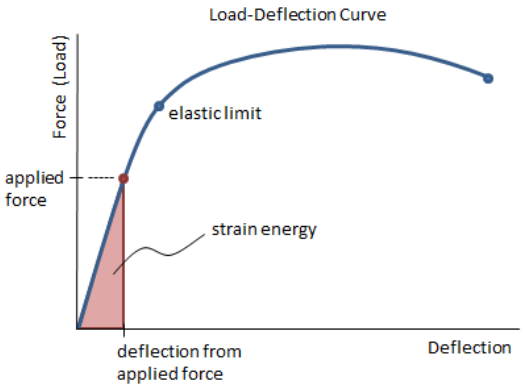
اهمیت جابجایی، سرعت و شتاب

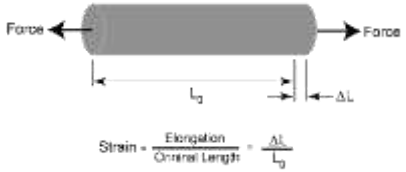
- در پایش وضعیت لرزش ماشین از دو دیدگاه مورد توجه قرار می گیرد.



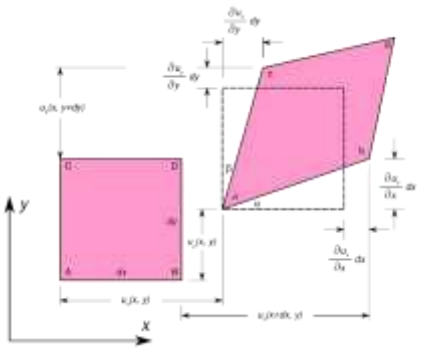
تغییر شکل یا حرکت

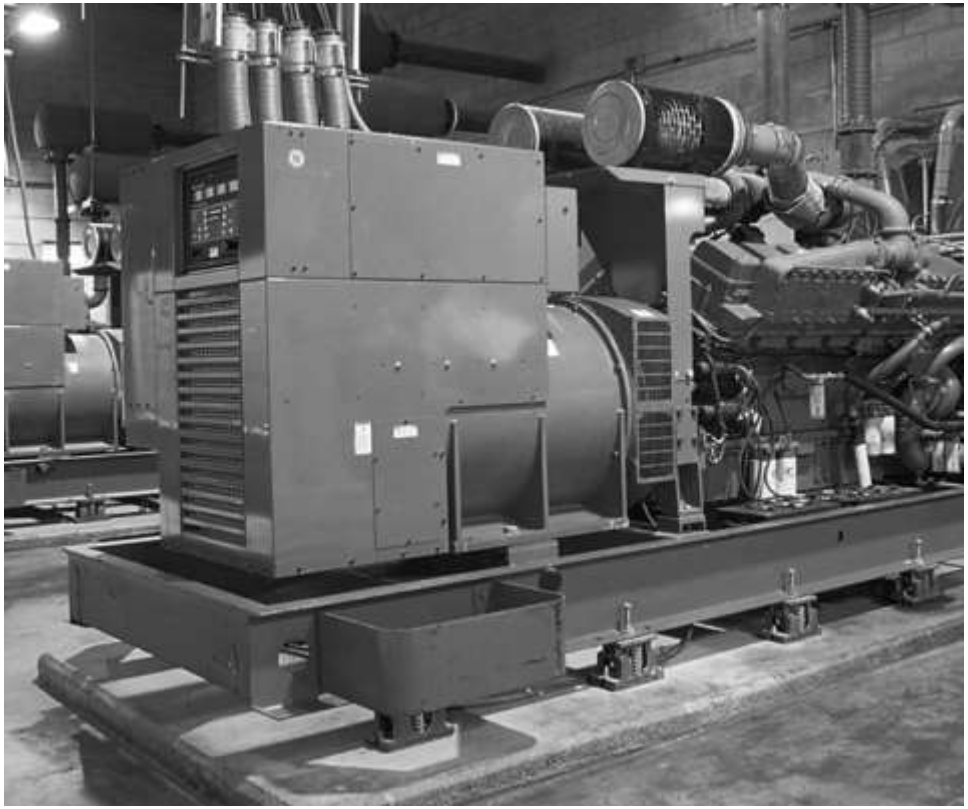
- آنچه باعث استهلاک ماشین می شود تنش است نه ارتعاش!
  بنابراین اگر ارتعاشی، تنش را نمایندگی کند مورد توجه است.



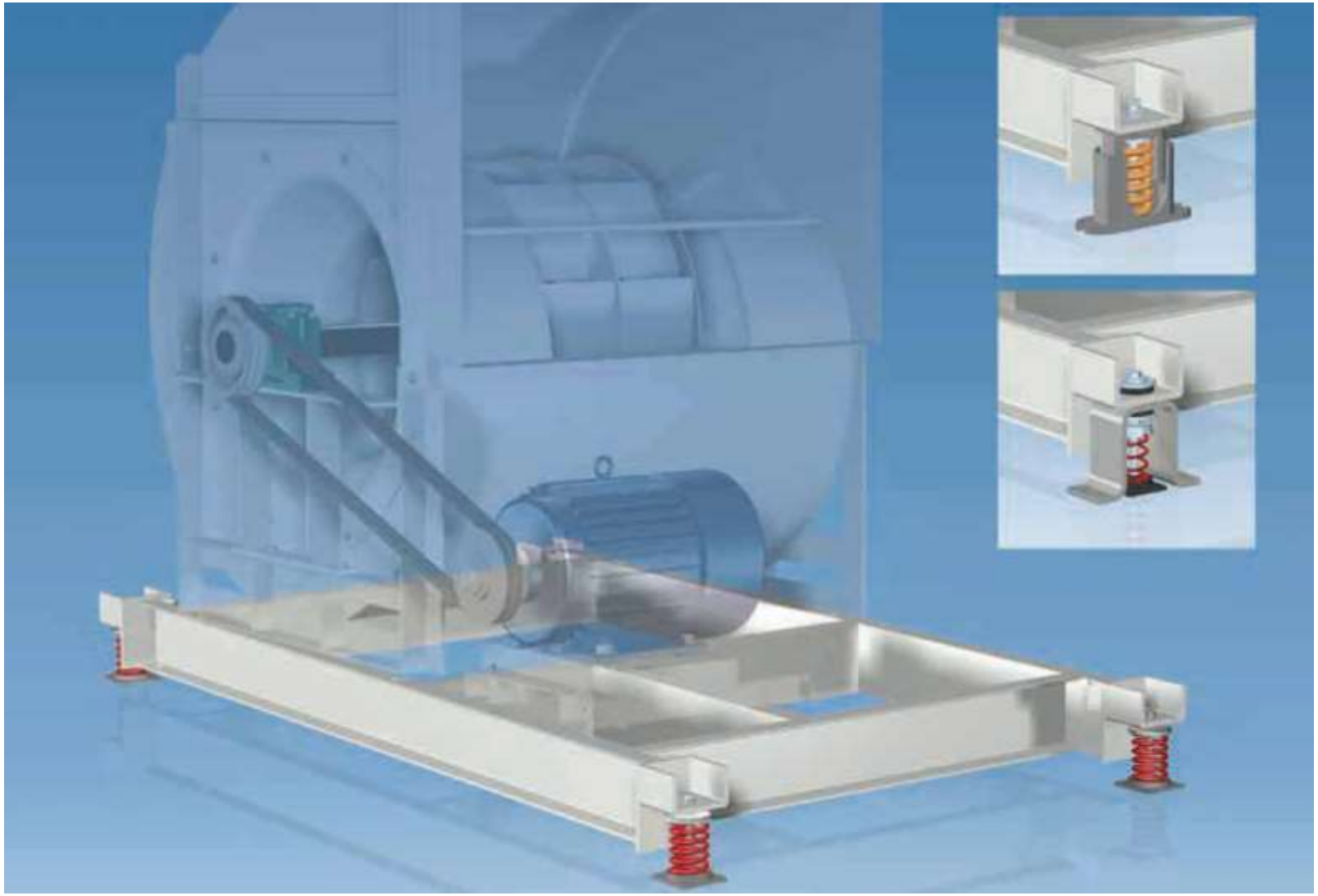


$$\text{Strain} = \frac{\text{Elongation}}{\text{Original Length}} = \frac{\Delta L}{L_0}$$



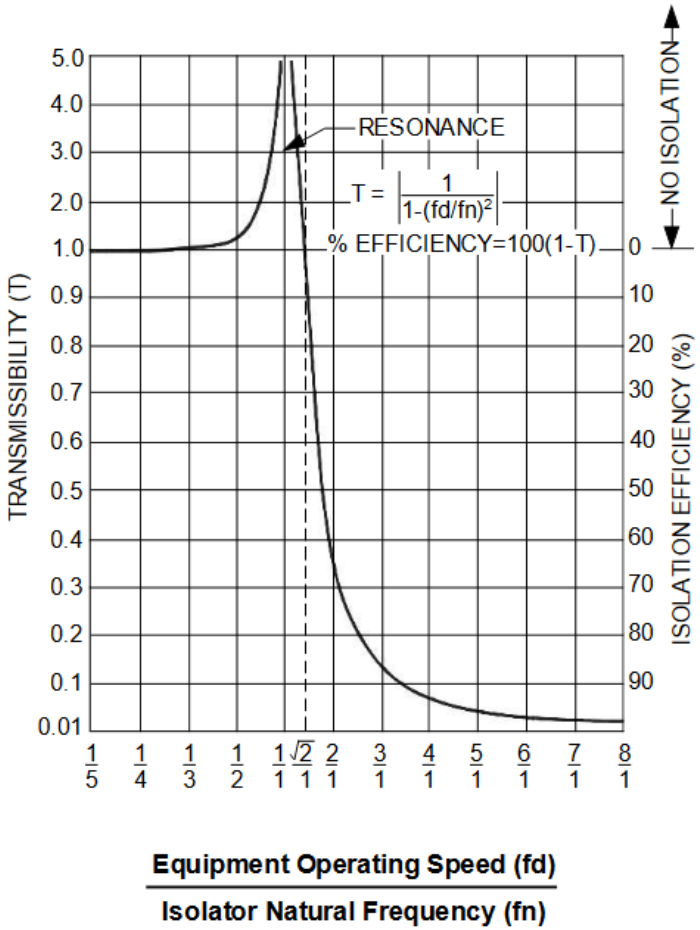


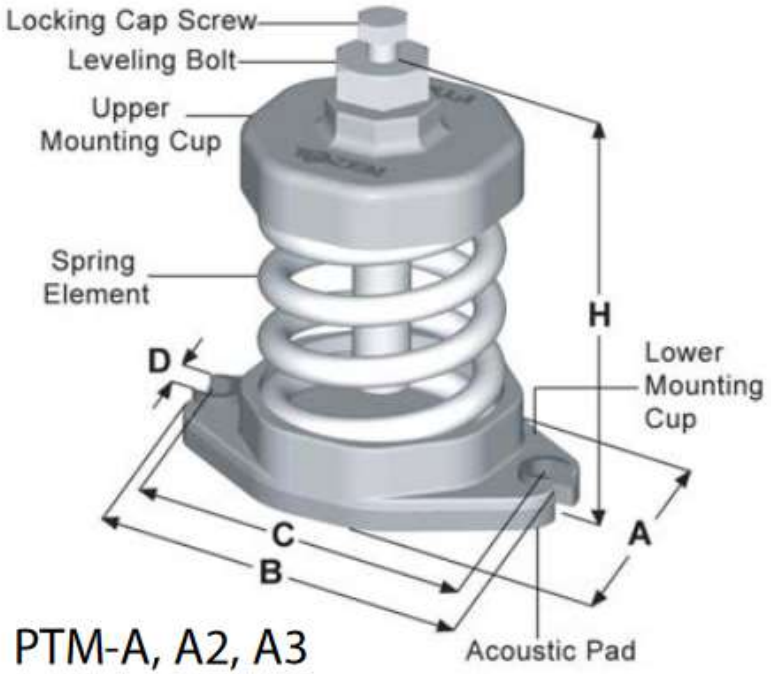
تغییر شکل یا حرکت



تغییر شکل یا حرکت

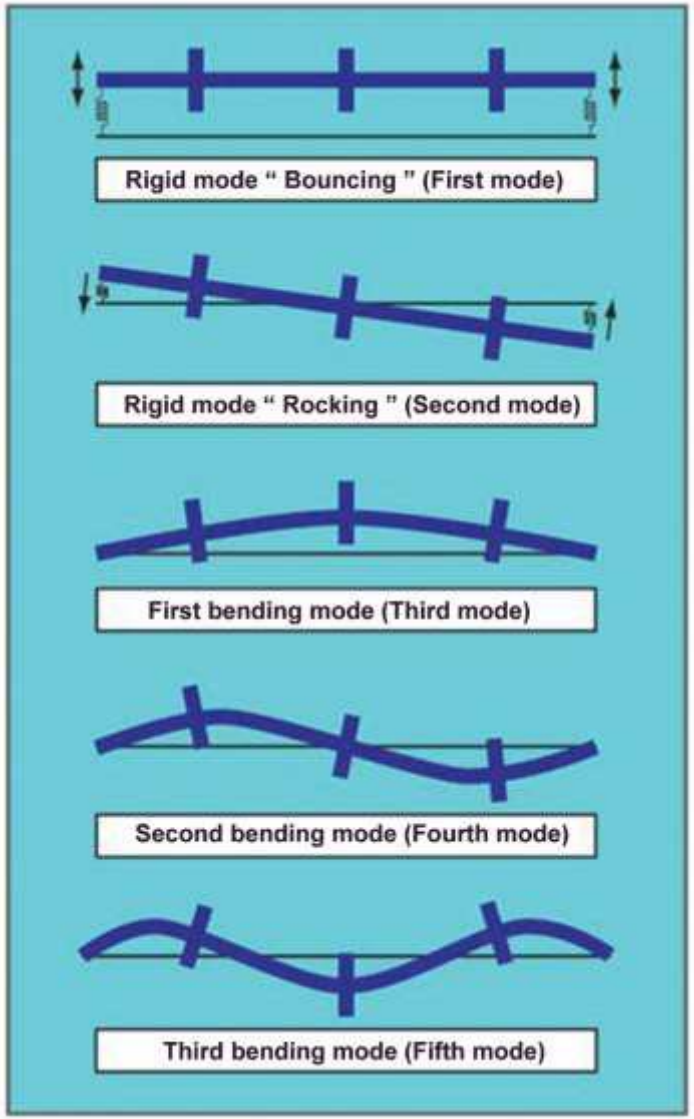
- دمپر ها معمولاً برای جلوگیری از انتقال ارتعاش به سازه طراحی و بکاربرده می شوند و چه بسا ممکن است دامنه ارتعاش روی خود ماشین را افزایش دهند. دراین حالت دامنه بالاتر نماینده تنش بالاتر نیست!

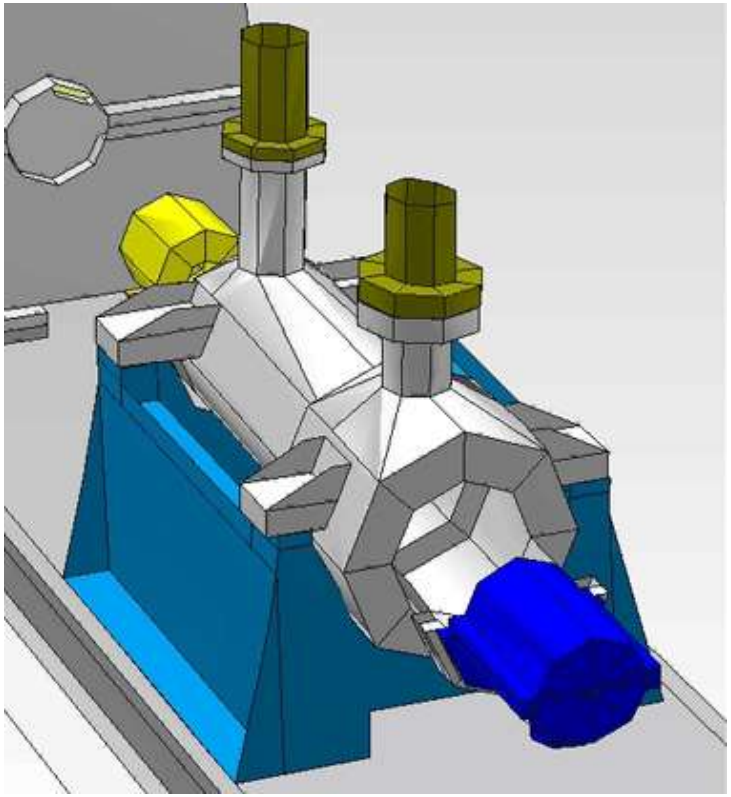




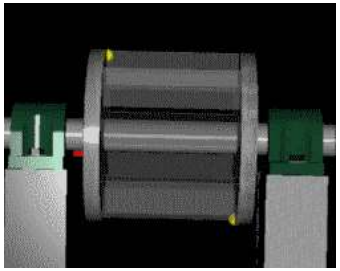
تغییر شکل یا حرکت

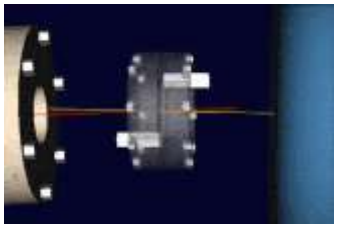
- ارتعاشی که نماینده تغییر شکل و بنابراین نماینده تنش در اجزاء ماشین است، باید مورد توجه قرار گیرد.

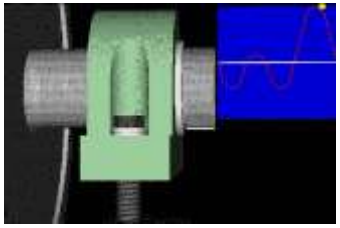


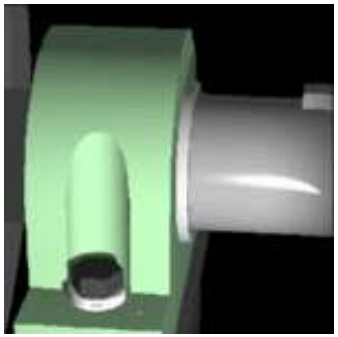


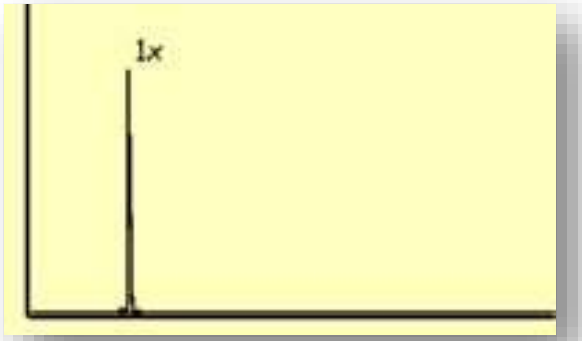
الگوهای حرکت لرزشی ماشین در اثر خرابی های فرکانس پایین



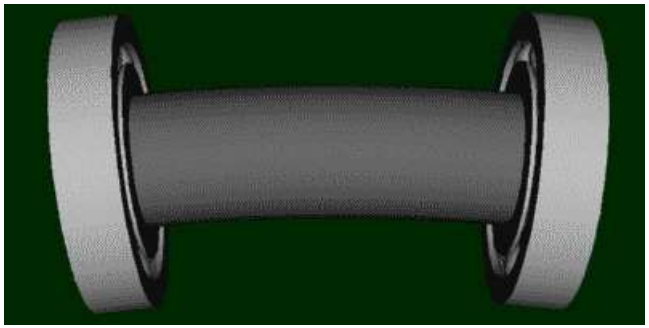






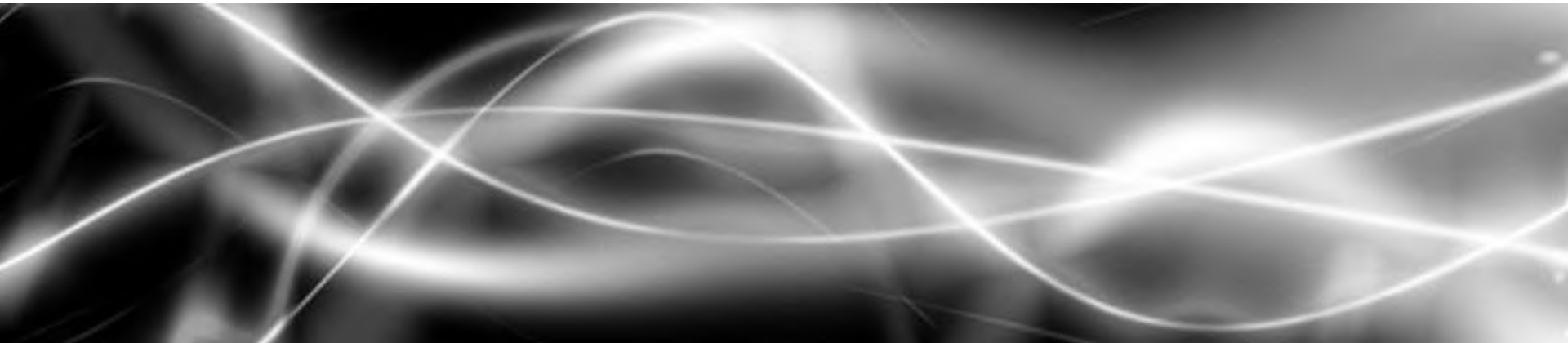


شناسایی شکل حرکت



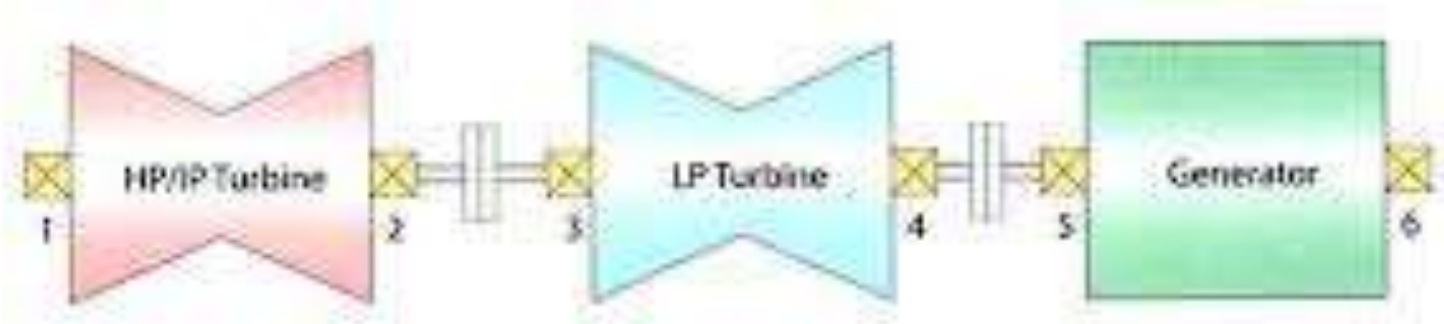
بخش اول:

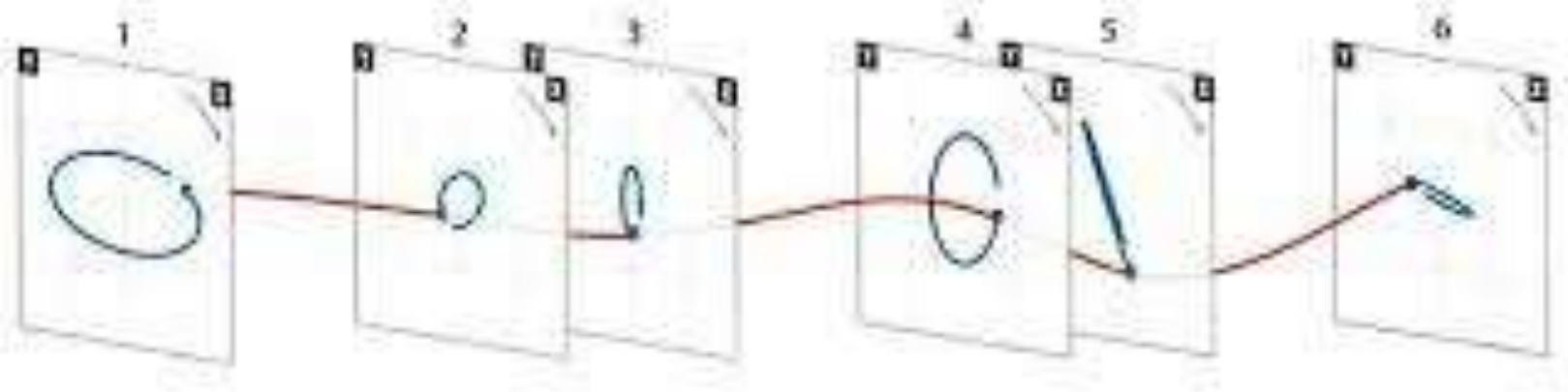
روشهای شناسایی الگوی های حرکت لرزشی



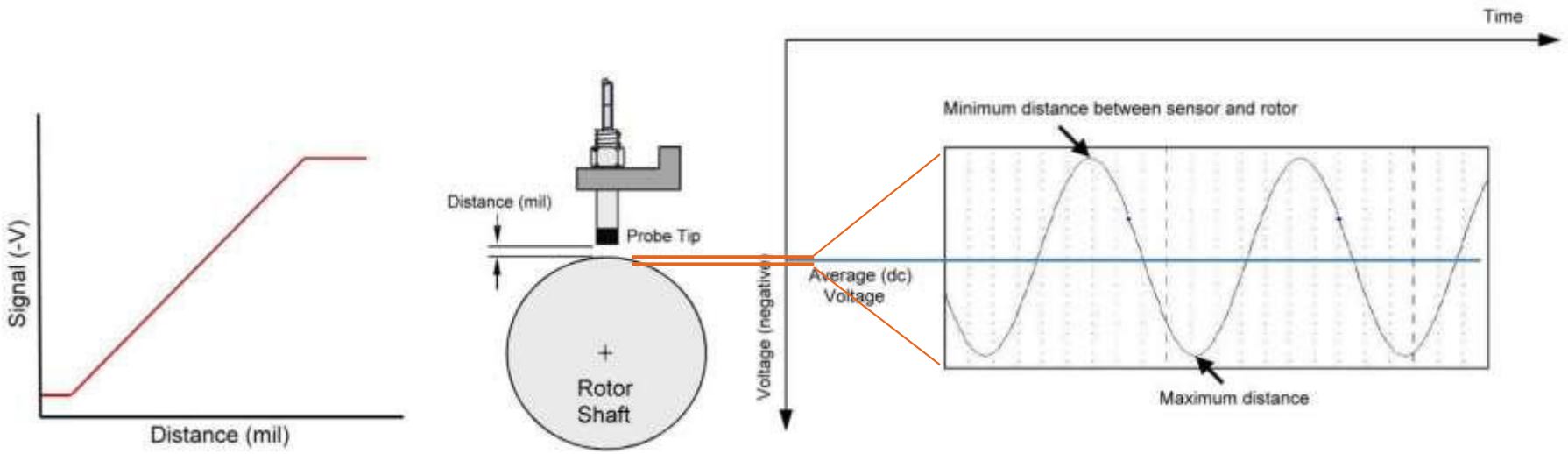
اوربیت

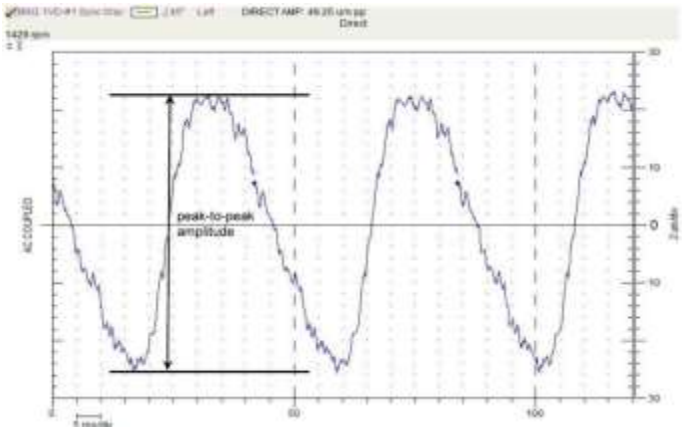
- اوربیت عبارت است حرکت مرکز شافت (اوربیت شافت) و یا حرکت مرکز یاتاقان (اوربیت یاتاقان) نسبت به یک موقعیت ثابت (موقعیت مرکز شافت) در زوایای مختلف چرخش شافت که نهایتاً یک رد مداری از خود بجای می گذارد.



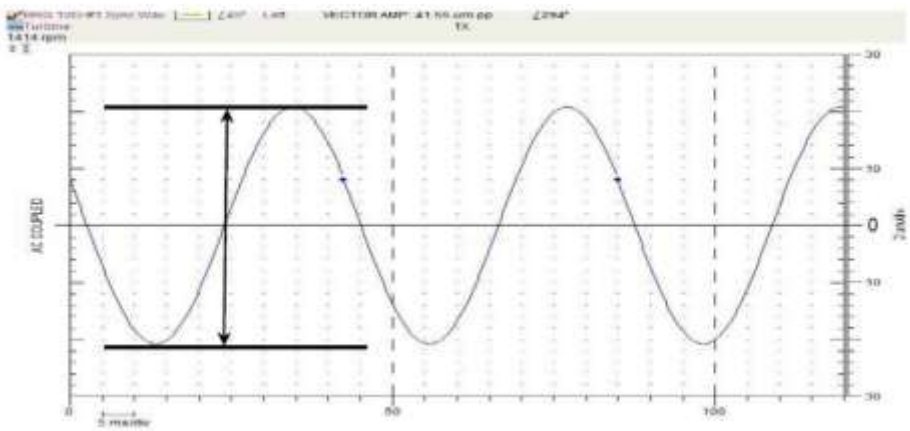


اندازه گیری های پروکسی





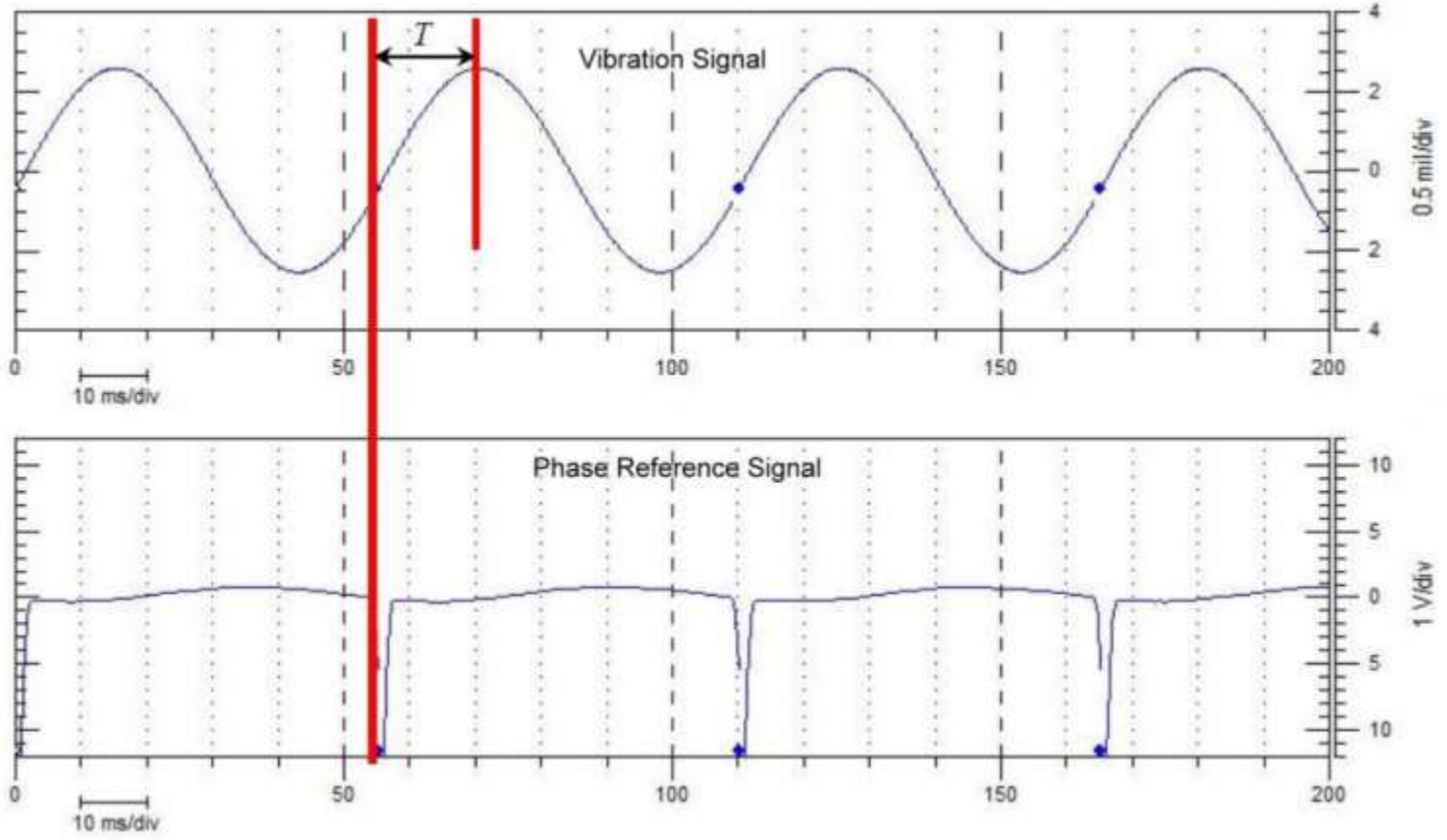
فیلتر نشده (Direct)



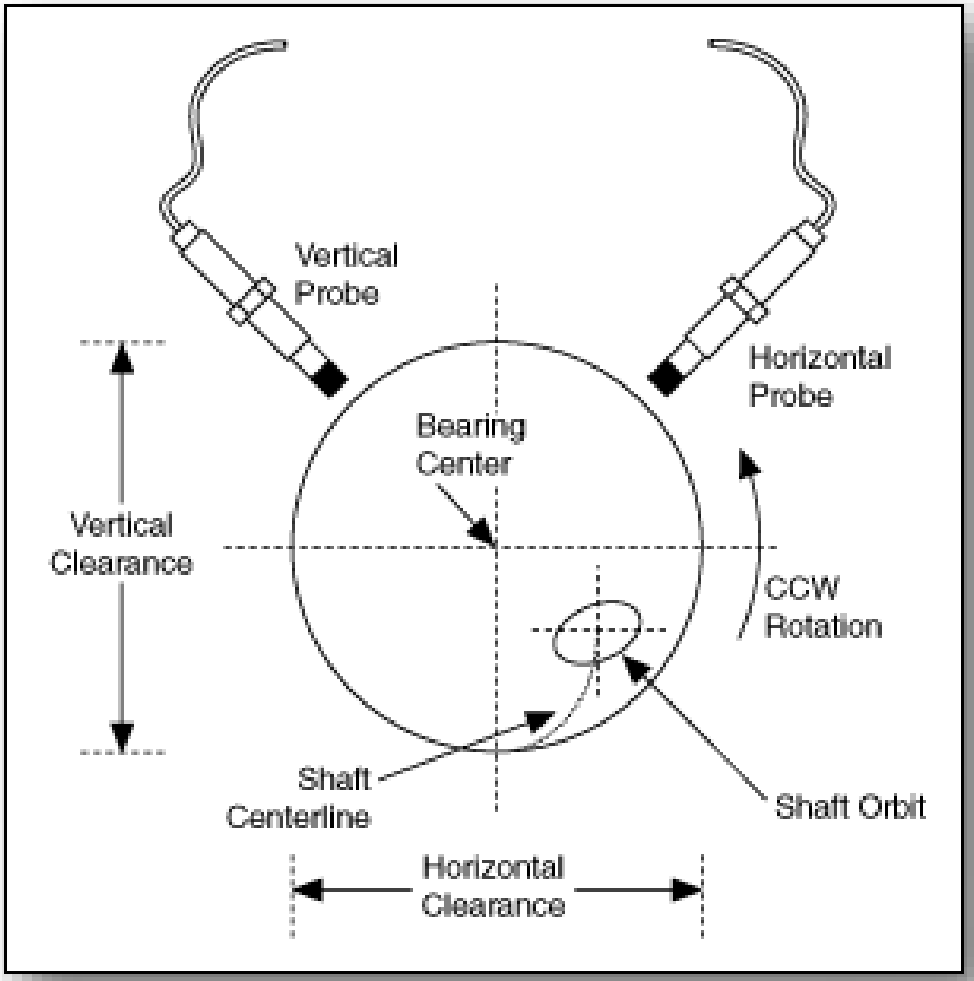
فیلتر شده

اندازه گیری های پروکسی

- برای داشتن اطلاعات فاز، به یک پروب اضافی دیگر که معمولاً بعنوان Key Phasor نام برده می شود نیاز است.

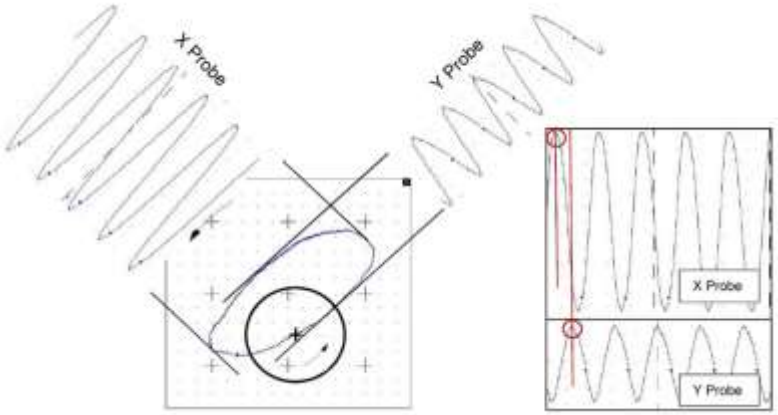


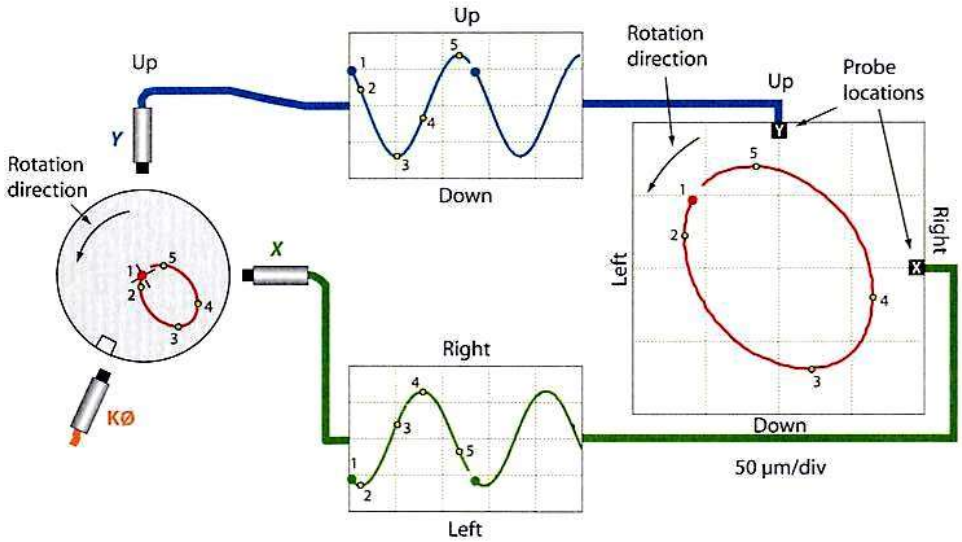
اوربیت شافت

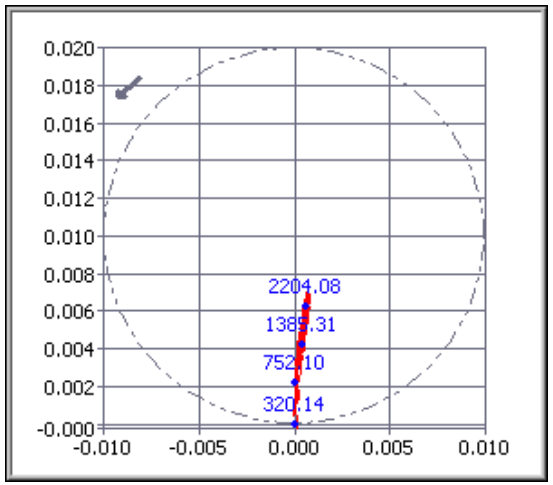

Vertical
Probe
Horizontal
Probe
Bearing
Center
Vertical
Clearance
CCW
Rotation
Shaft
Centerline
Shaft Orbit
Horizontal
Clearance

اوربیت شافت

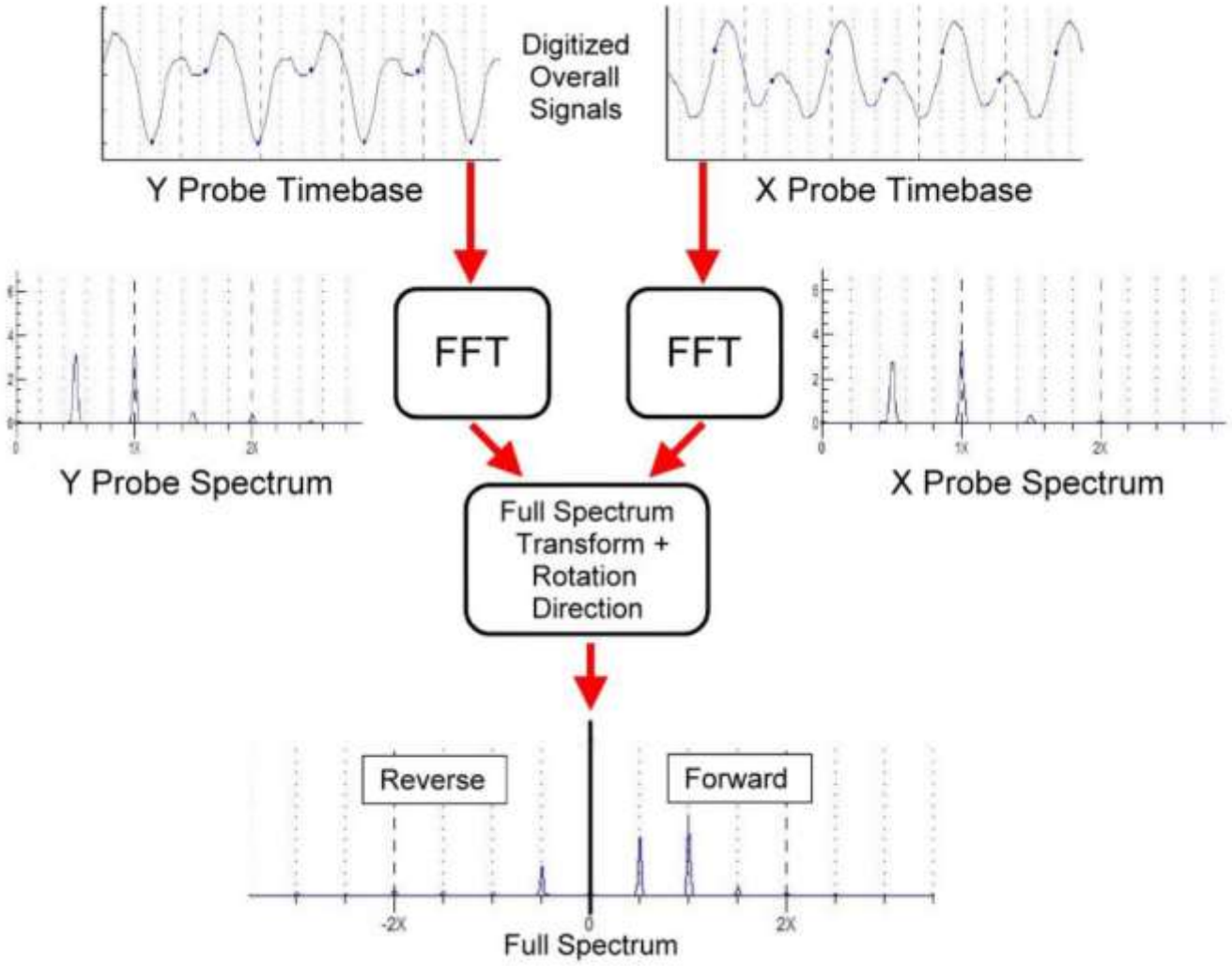
- معمول ترین اوربیت، اوربیت شافت است. اوربیت شافت عبارت است حرکت مداری مرکز شافت نسبت به یاتاقان. برای بدست آوردن حرکت اوربیت نیاز به دو پراب متعامد می باشد. معمولاً همراه با اوربیت شافت (AC) موقعیت مرکز شافت (DC) نیز قابل اندازه گیری است و کمک بزرگی در عیب یابی ها دارد.





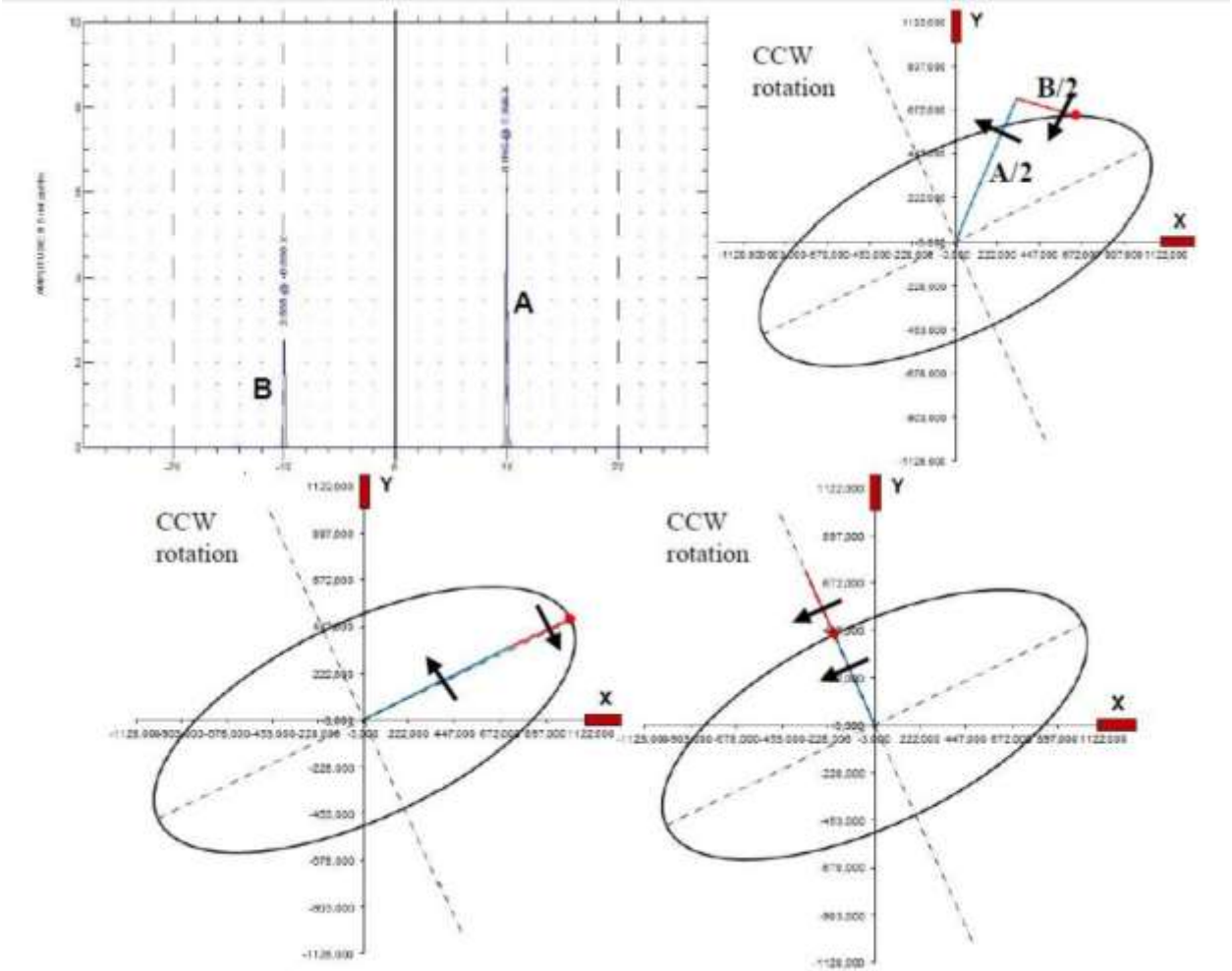


Full Spectrum



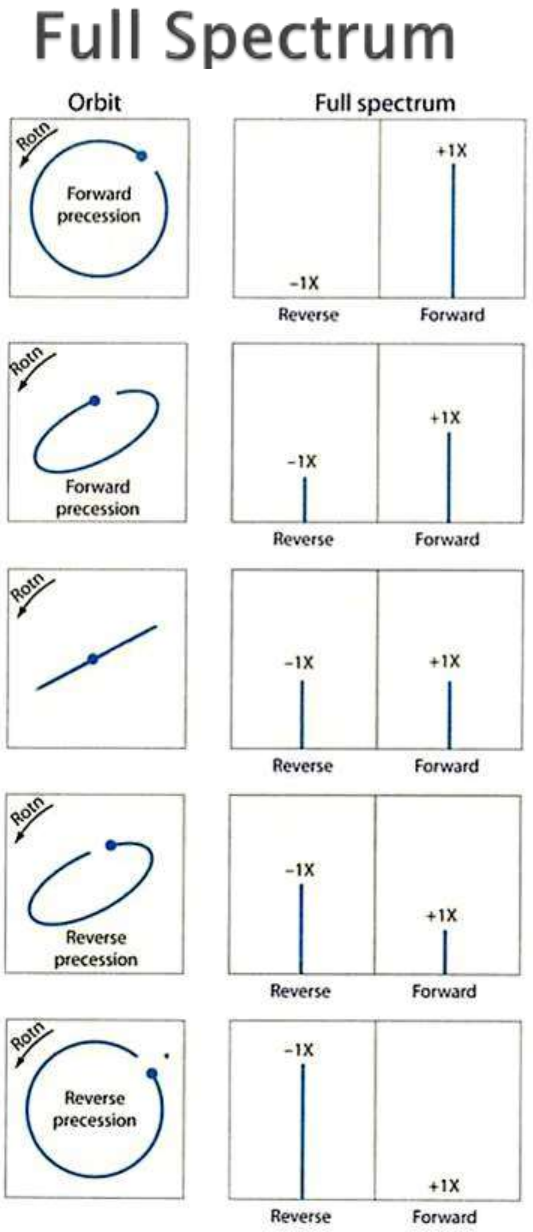
- جهت حرکت اوربیت که به آن Precession می گویند و می تواند هم جهت (Forward) یا خلاف جهت چرخش شافت (Backward) باشد در عیب یابی بسیار اهمیت دارد. طیف کامل روشی است برای تعیین میزان بیضی بودن اوربیت و جهت دوران. بعضی ها می گویند طیف کامل، طیف اوربیت است!

Full Spectrum



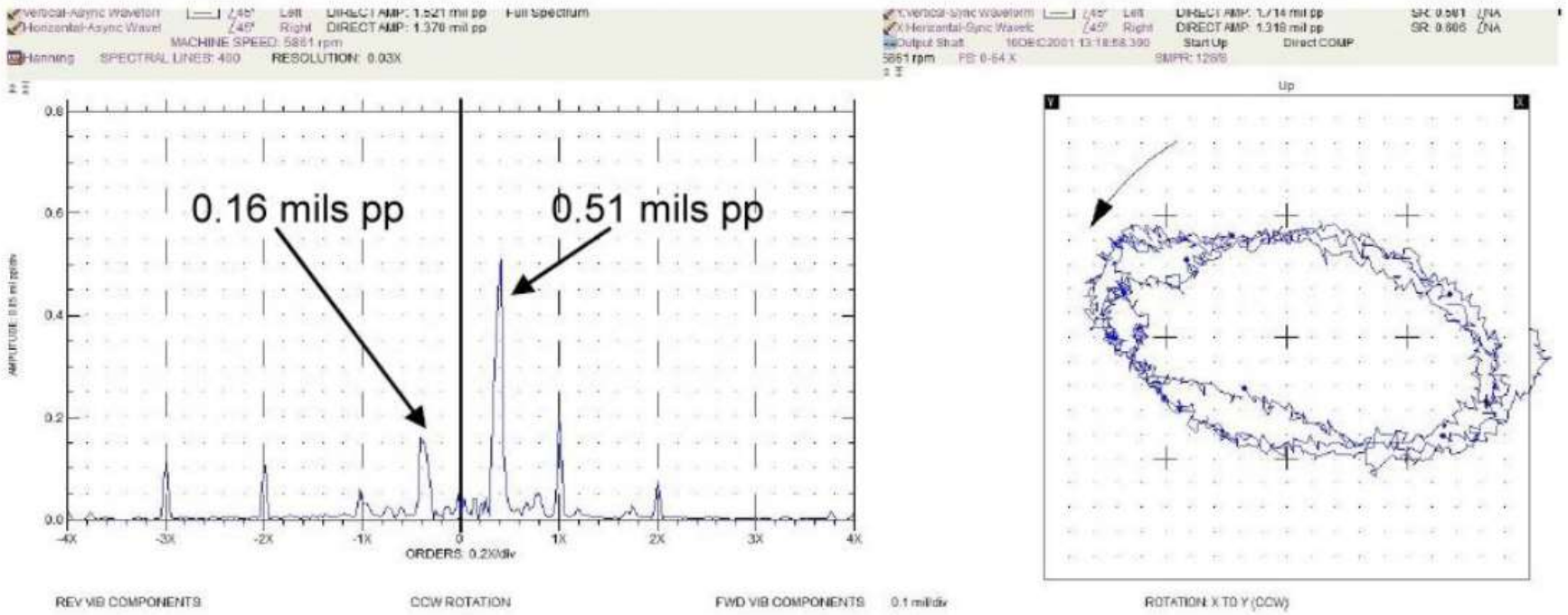
- برای فهم ساده طیف کامل می توان این گونه تصور کرد که برای تعیین شکل یک بیضی در هر فرکانس، می توان شکل بیضی را از جمع دو بردار دوار که یکی هم جهت شافت و دیگری خلاف جهت شافت می چرخد بدست آورد. با ترسیم طیف هر بردار می توان قدرت همجهت بودن یا خلاف جهت بودن و شکل بیضی را بدون نیاز به فیلتر nX شناسایی کرد.

- جهت دوران Precession بوسیله مولفه غالب در طیف های پیش رو و پس رو تعیین می شود.
- میزان پهن بودن بیضی با اختلاف دامنه مولفه های پس رو و پیش رو تعیین می شود.
- وقتی اوربیت کاملاً دایره ای باشد تنها یک مولفه فرکانس وجود دارد.
- وقتی مولفه های پس رو و پیش رو یکسان باشد، اوربیت تبدیل به یک خط مستقیم می شود.
- هر چقدر اختلاف بین دو مولفه فرکانسی کمتر باشد، شکل اوربیت بیضی تر خواهد بود (پهن تر خواهد بود).



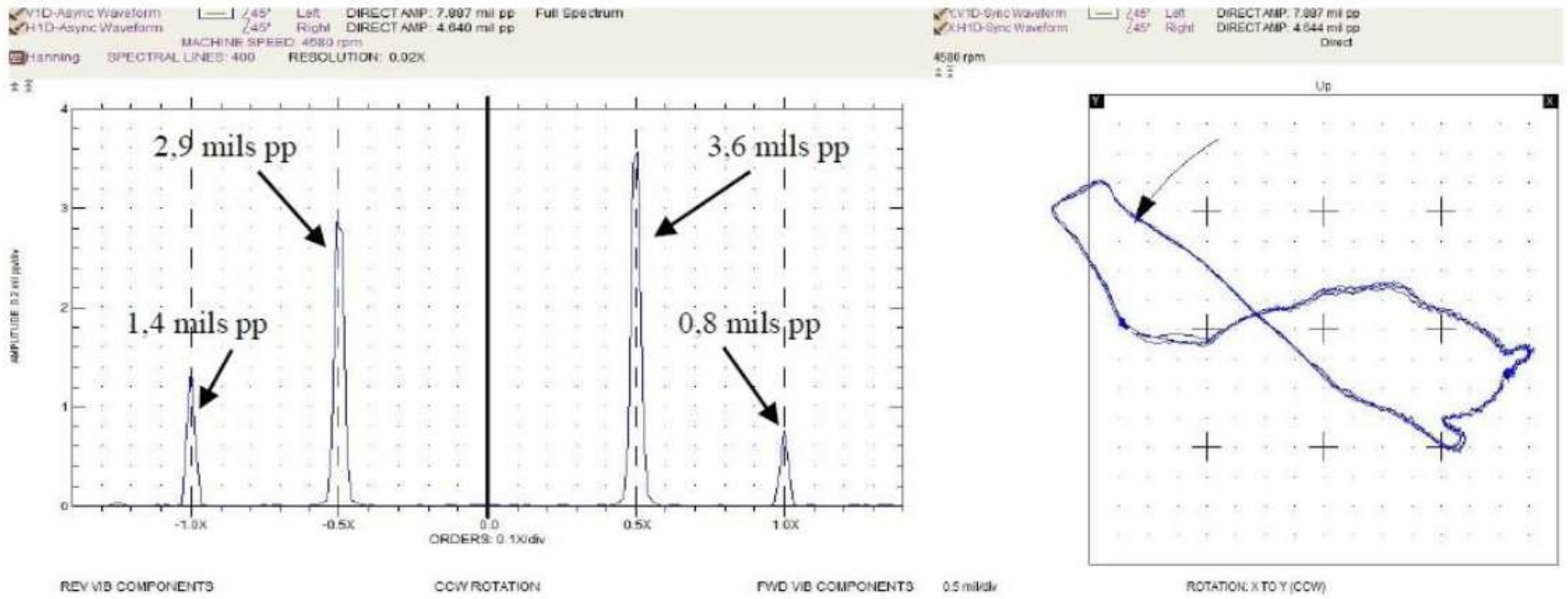
Full Spectrum

- در مثال زیر اوربیت هم همجهت در فرکانس 0.43X ناشی از ناپایداری فیلم روغن به سادگی قابل شناسایی است.



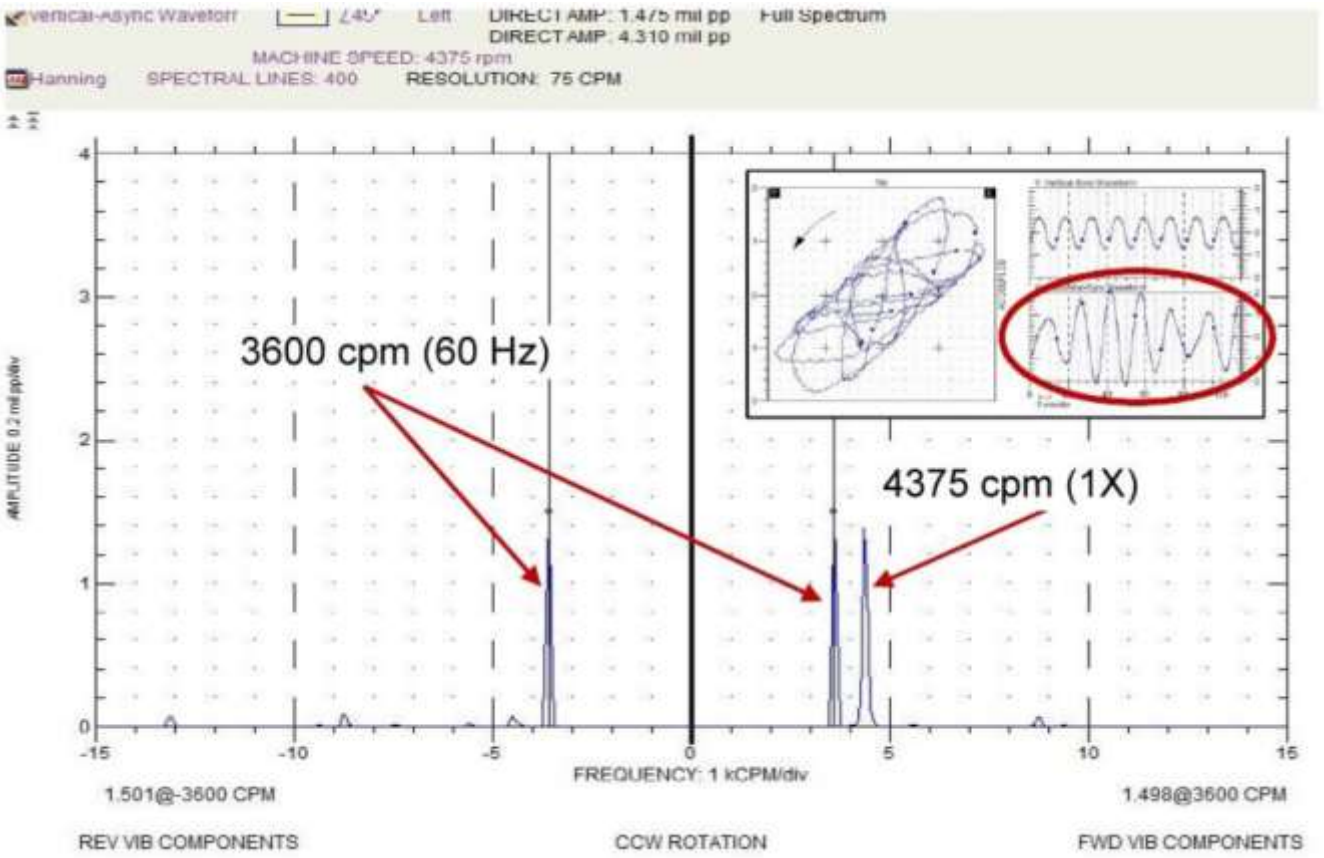
Full Spectrum

- در مثال زیر در فرکانس نیم برابر دور اوربیت همجهت را داریم در حالی که در فرکانس یک برابر دور اوربیت جهت معکوس را مشاهده می کنیم. این وضعیت می تواند ناشی از مالش موضعی اجزاء دوار و ثابت باشد.



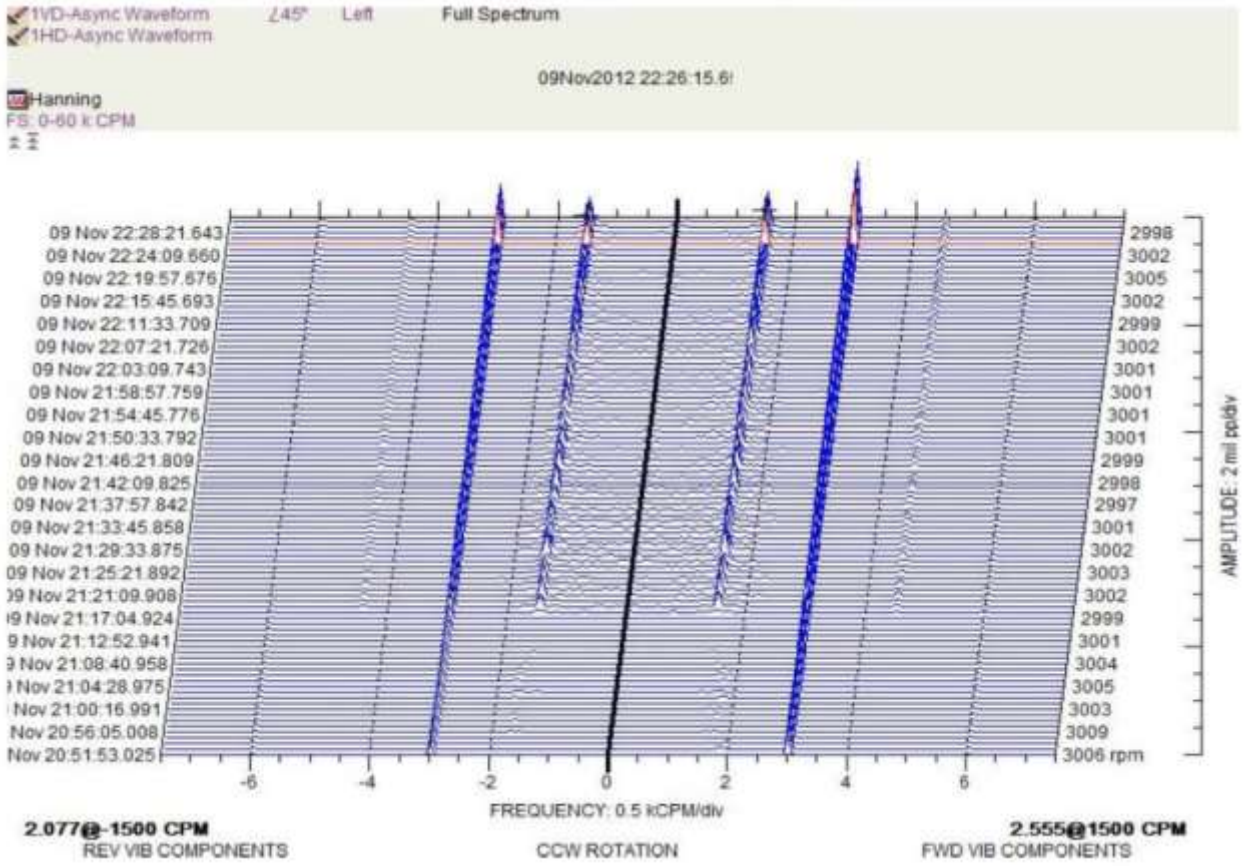
Full Spectrum

- در مواردی که نتوان جهت را تعیین کرد باید خود اوربیت را مشاهده کرد. در تصویر زیر پروب X حاوی فرکانس نویز برق است که هم در شکل موج و هم در طیف فرکانسی معمولی آن پیداست در صورتی که در طیف معمولی پروب Y وجود ندارد.



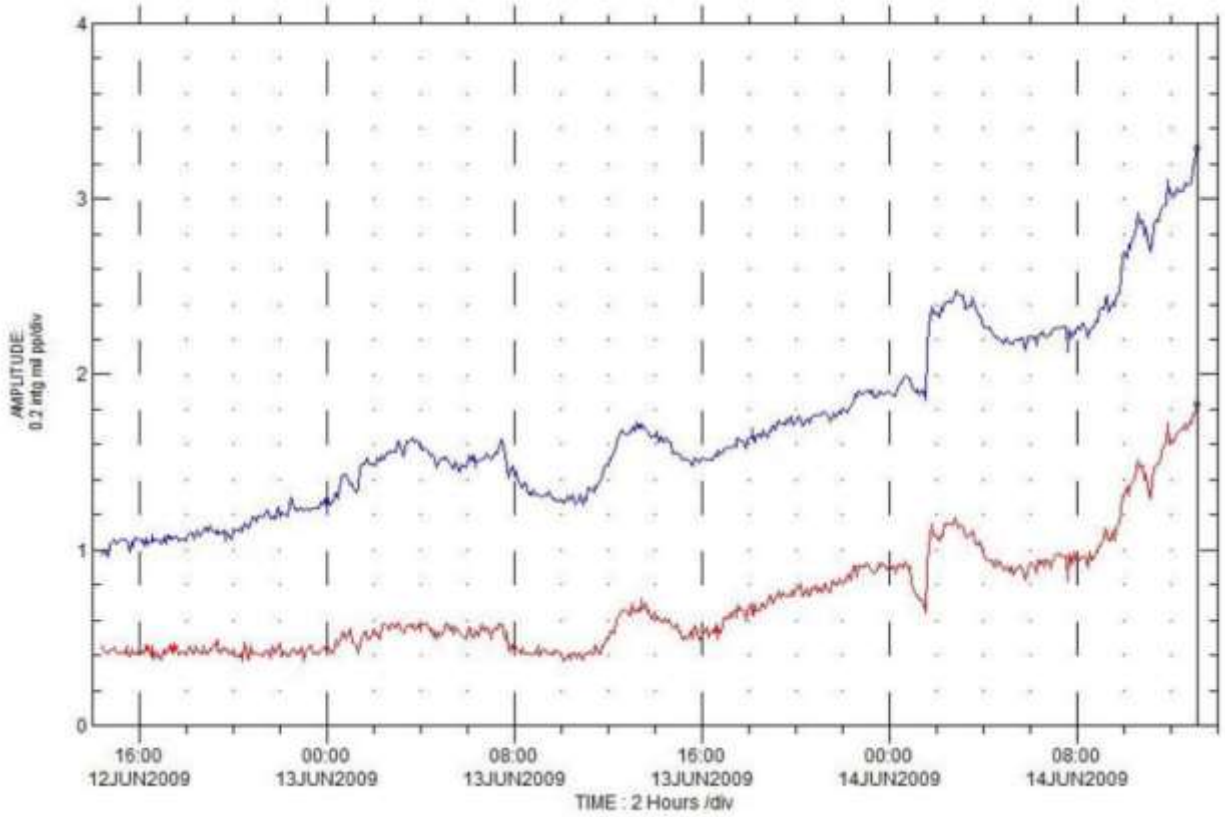
نمودار آبشاری

- طیف کامل را می توان برای زمان های مختلف ترسیم نمود. در این حالت نمودار آبشاری طیف کامل بدست می آید که می توان شکل اوربیت و جهت آن را در زمان های مختلف تعیین کرد.



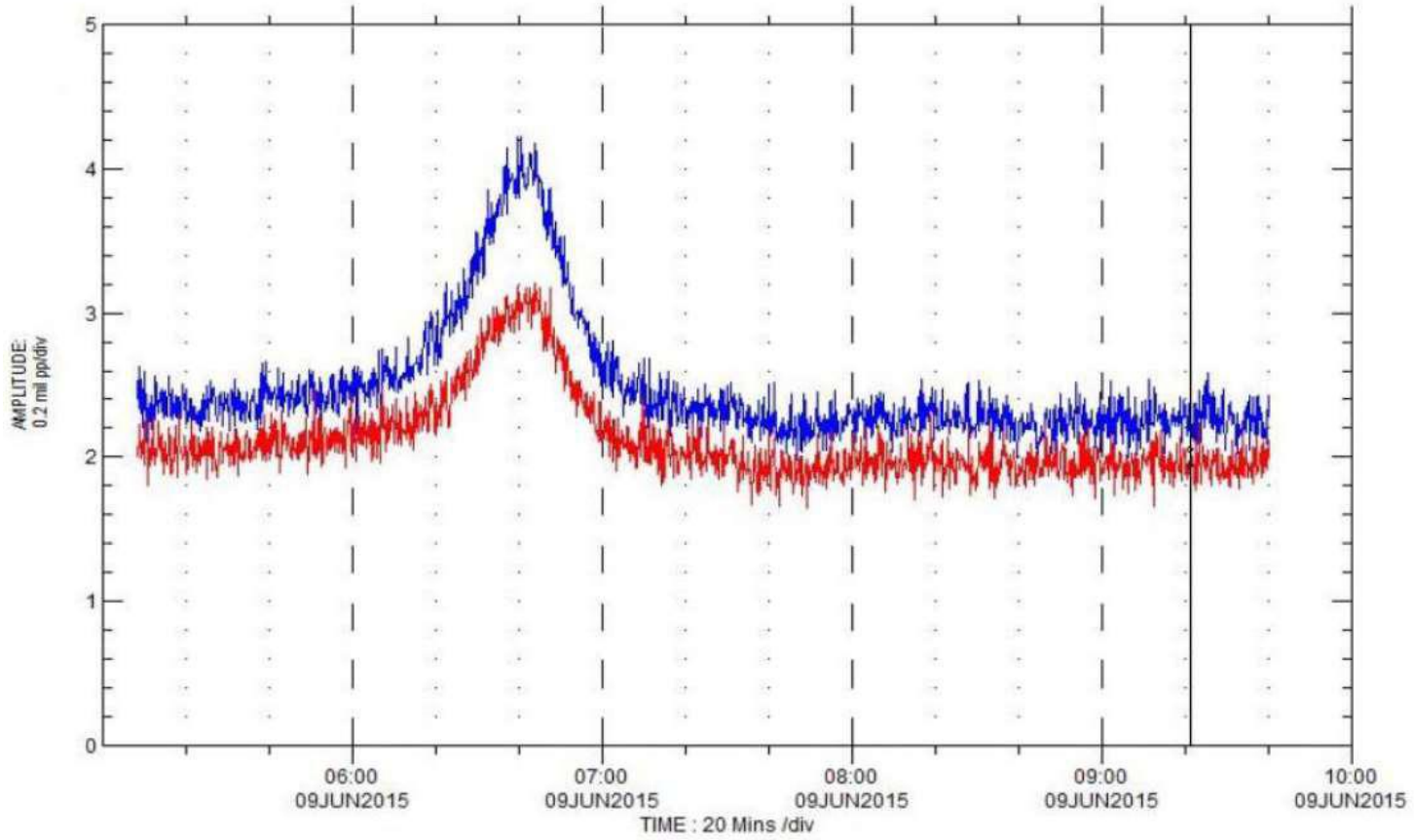
ترند تغییرات

- قبل از بررسی شکل اوربیت و موقعیت شافت، از بررسی روند تغییرات کل در واحد زمان (تاریخ) نیز می توان اطلاعات ارزشمندی بدست آورد.
- شکل زیر افزایش تدریجی ارتعاش دو پروب را در اثر گسترش ترک در روتور نشان می دهد. این تغییرات در مدت تقریباً ۳ روز ایجاد شده است.



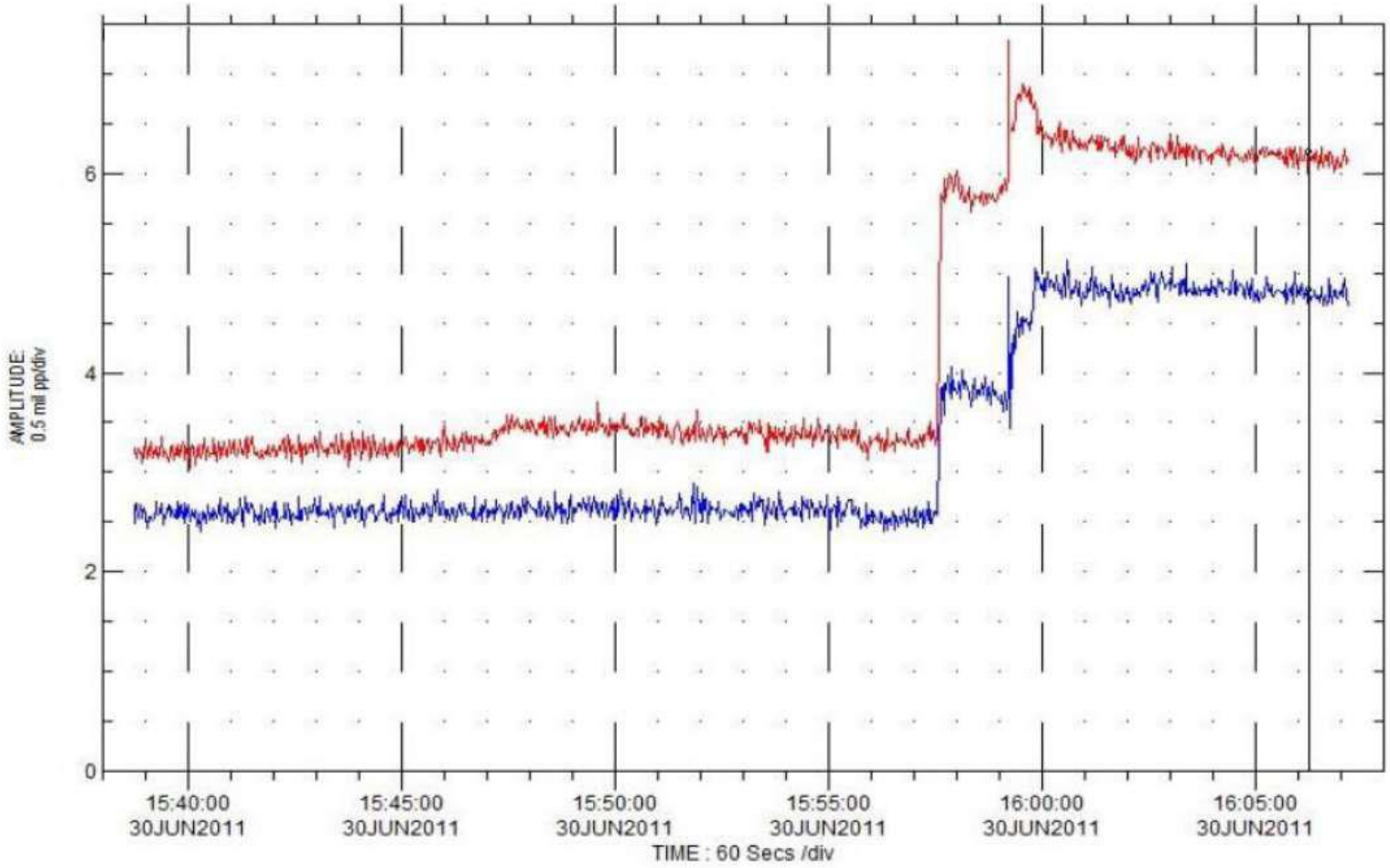
ترند تغییرات

- ارتعاش در مدت زیر نیم ساعت افزایش و خود بخود کاهش داشته است. تشکیل رسوبات و کربنایز شدن روغن در محل سیل به تدریج باعث مالش موضعی و در پی آن کمانش موضعی شافت و سپس برخورد به رسوبات و کنده شدن آن و برگشت کمانش ناشی از گرم شدن موضعی به حالت طبیعی است.



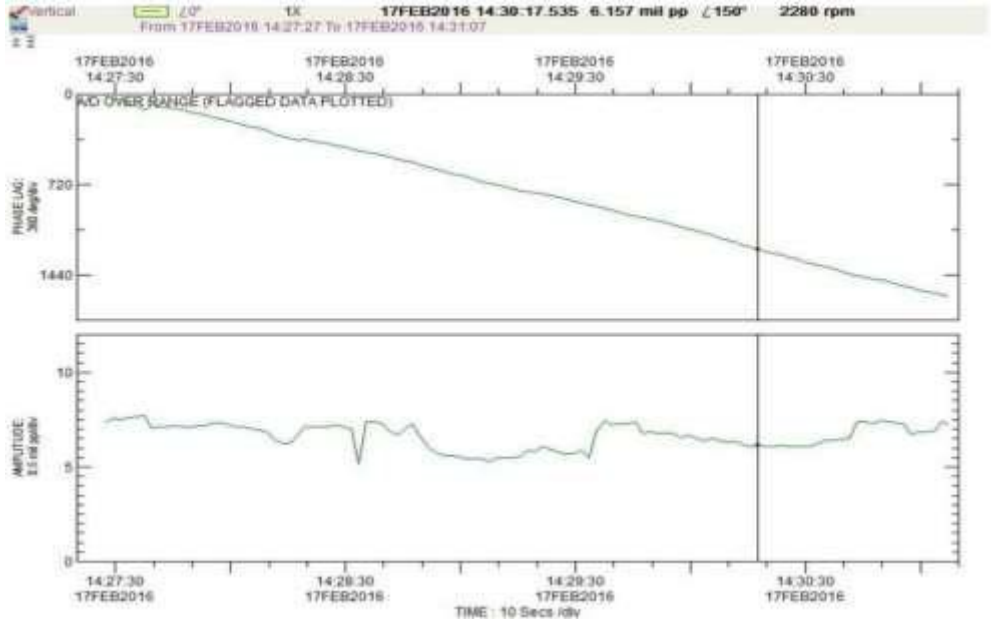
ترند تغییرات

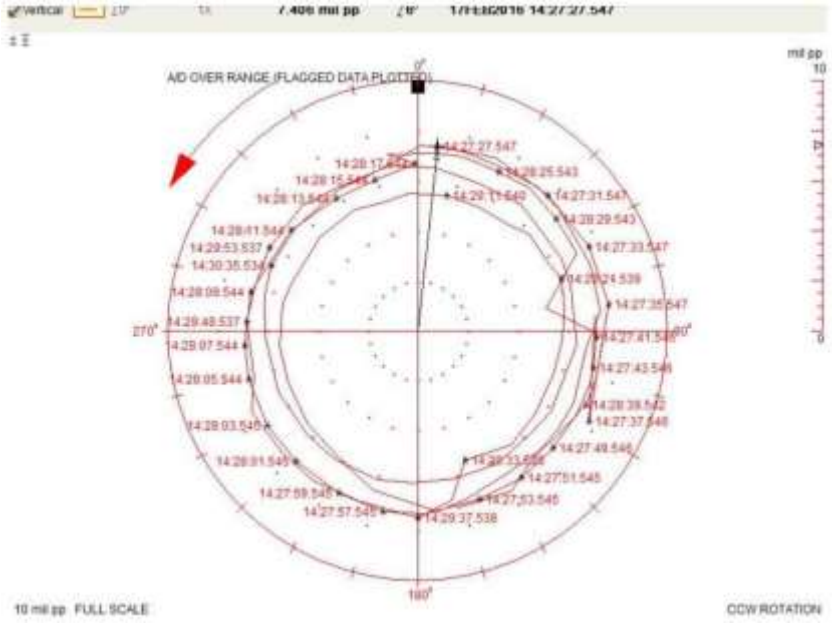
- کنده شدن پره ها، همراه با افزایش ناگهانی دامنه ارتعاش خواهد بود.



ترند تغییرات

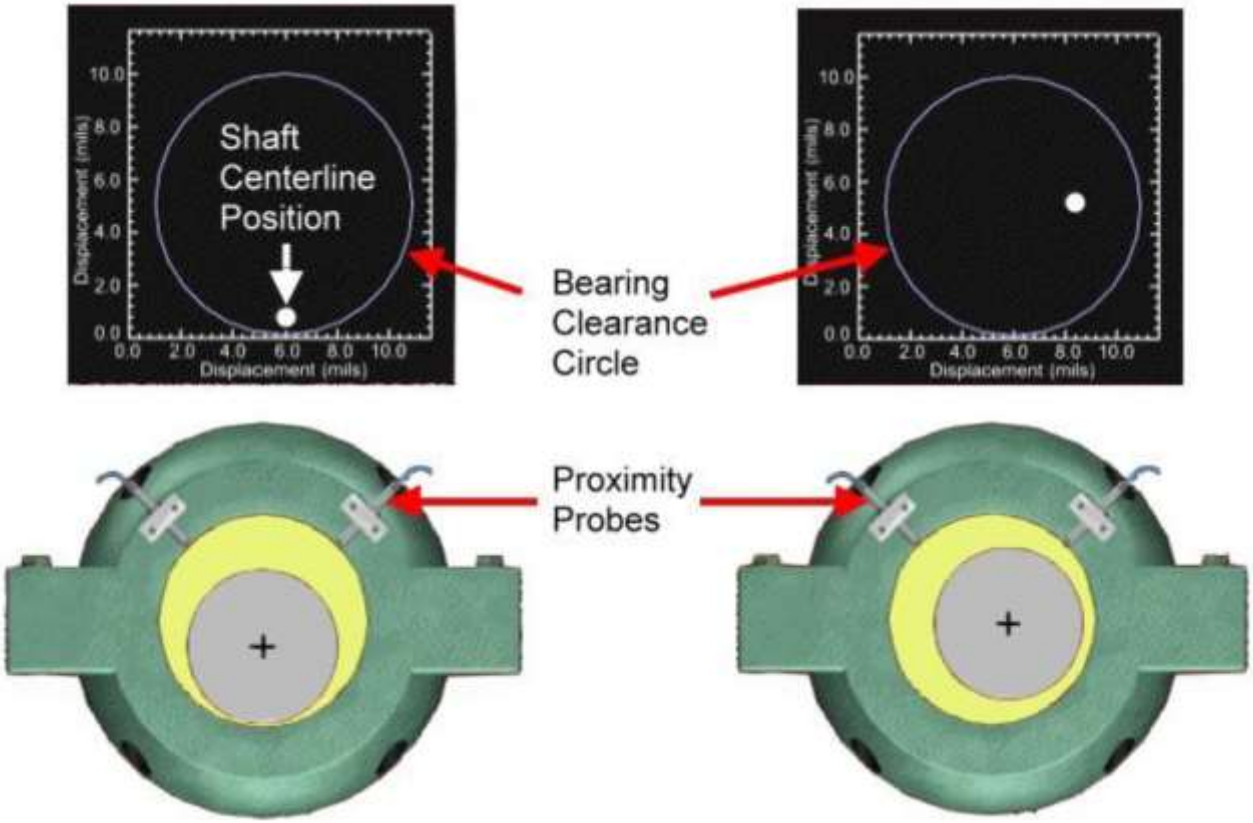
- ترند تغییرات فاز هم می تواند مفید باشد. اگر چه دامنه ثابت است اما تغییرات فاز هنگام کارماشین در سرعت ثابت می تواند ناشی از عوامل متعددی همچون مالش بین اجزاء دوار و ثابت، تغییر موقعیت زاویه ای تداخل های پرسی، گسترش ترک در روتور و ...
- این تغییرات را در نمودار قطبی نیز می توان رصد نمود.





موقعیت شافت

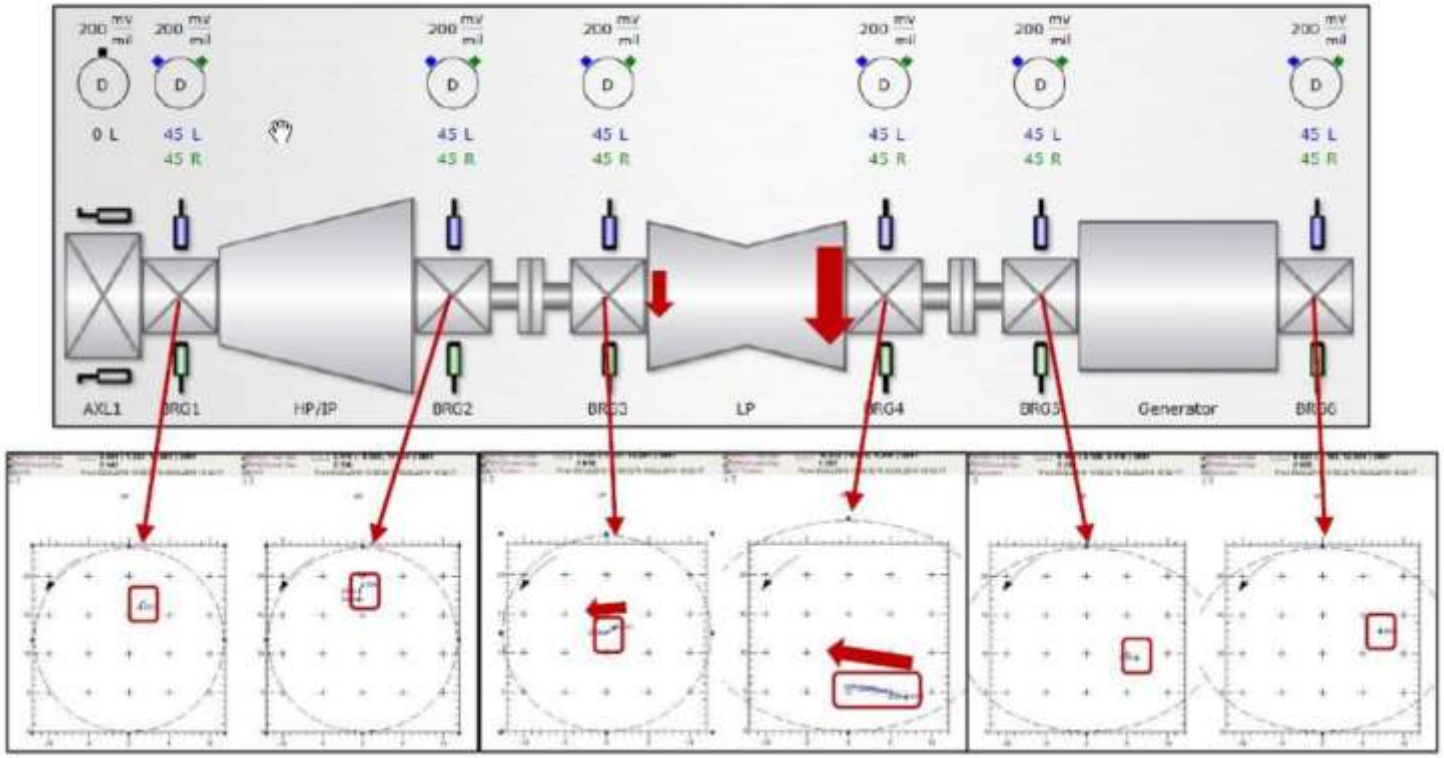
- موقعیت مرکز شافت Shaft Centerline از اندازه گیری مقدار متوسط یا DC پروب های شعاعی بدست می آید و معمولاً مقدار آن در فضای لقی یاتاقان ترسیم می شود تا وضعیت شافت نسبت به دیواره های یاتاقان مشخص شود.



موقعیت مرکز شافت

- عوامل تاثیر گذار در موقعیت مرکز شافت:
  - سرعت چرخش
  - طرح یاتاقان
  - ویژگی های روغن
  - همراستایی بین دو ماشین (مهم)

- در شکل زیر حرکت افقی بدلیل حرکت پوسته توربین LP است نه حرکت شافت.



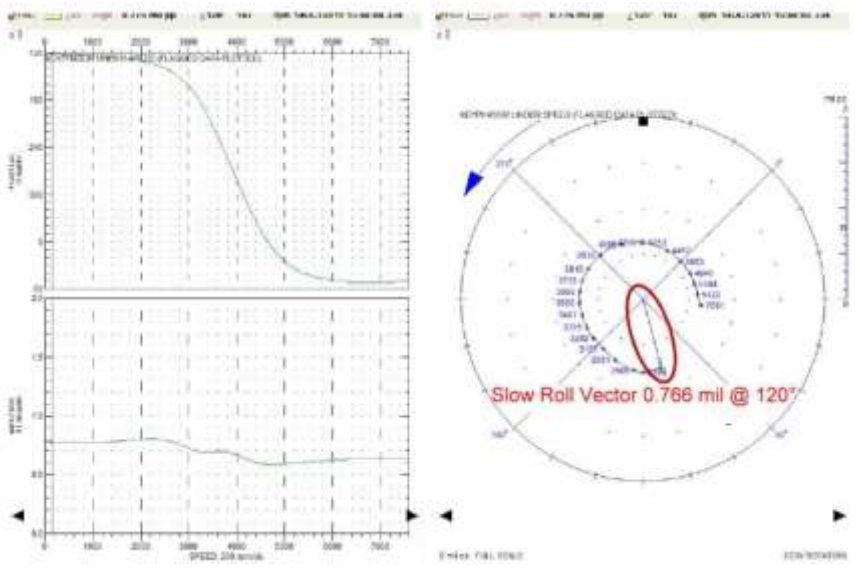
اندازه گیری های گذرا

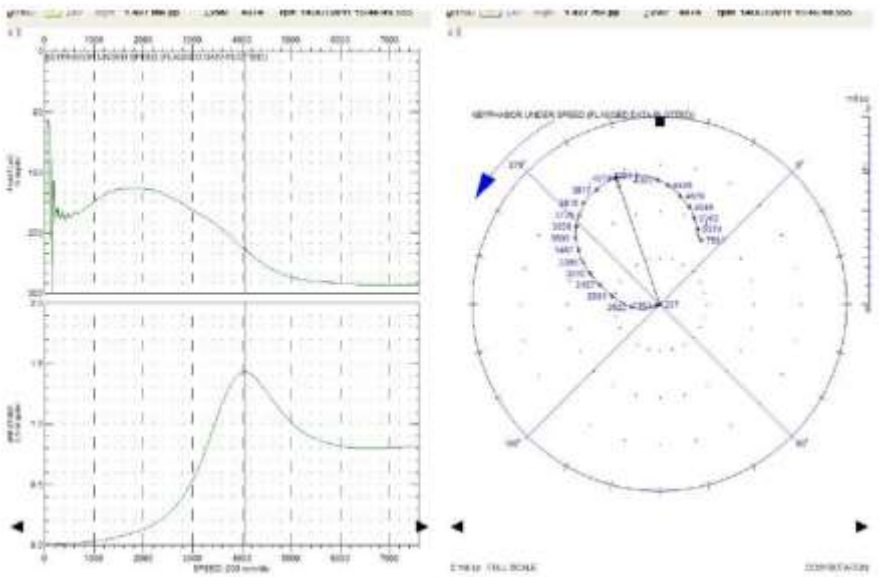
- پاسخ دینامیکی سیستم نسبت به نیروهای وارد بر آن متفاوت است و از آنجایی که نیروها در حالت گذرا و درحالت پایدار متفاوت است، اندازه گیری های گذرا و اندازه گیری های پایدار می تواند متفاوت باشد. برخی عیب ها را با اندازه گیری های گذرا می توان شناسایی کرد.

Diagnostic Information	Plot Type
Slow Roll Speed Range	Bode
Runout Signature	Bode, Overall Orbit
Resonances	Bode, Polar
Heavy Spot / High Spot Angle	Polar
Rotor Mode Shape	Polar, Filtered Orbit
Rotor Average Position	Average Shaft Centerline
Frequency Relationships	Cascade

اندازه گیری های گذرا

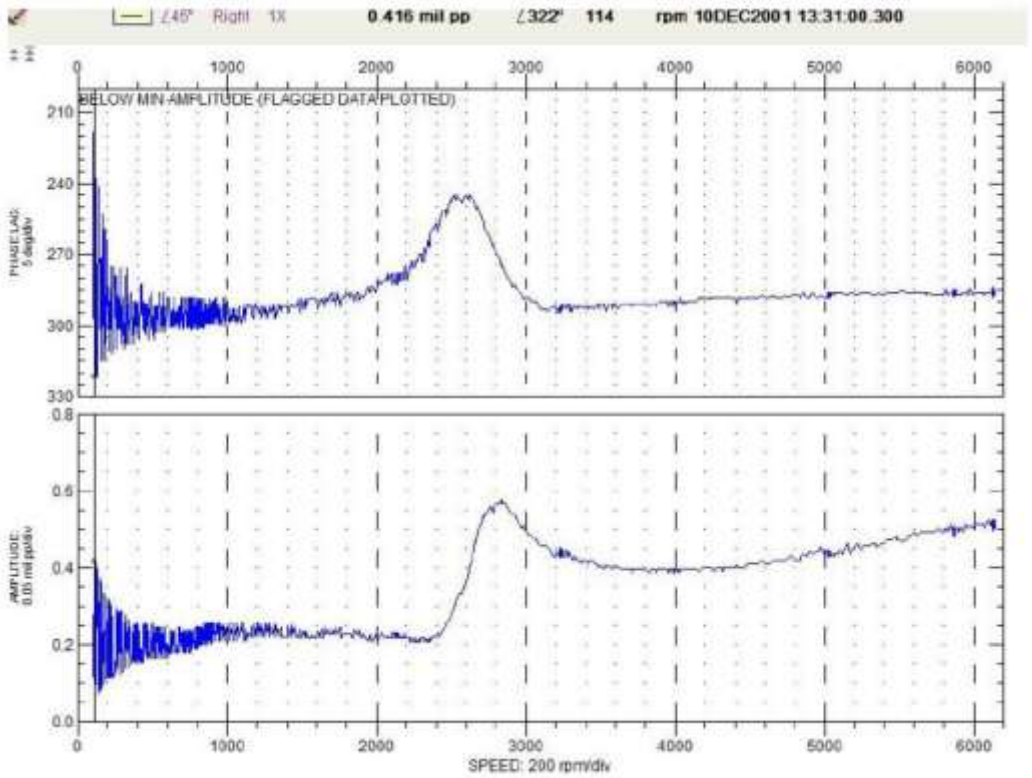
- یکی از کاربردهای اندازه گیری های گذرا محاسبه میزان خطای ران اوت مکانیکی و الکتریکی است که با انجام Slow roll Vector و جبران آن Compensate در اندازه گیری های حالت پایدار برای اندازه گیری های فیلتر شده انجام می شود. این جبران را در نمودار قطبی انجام می دهند.





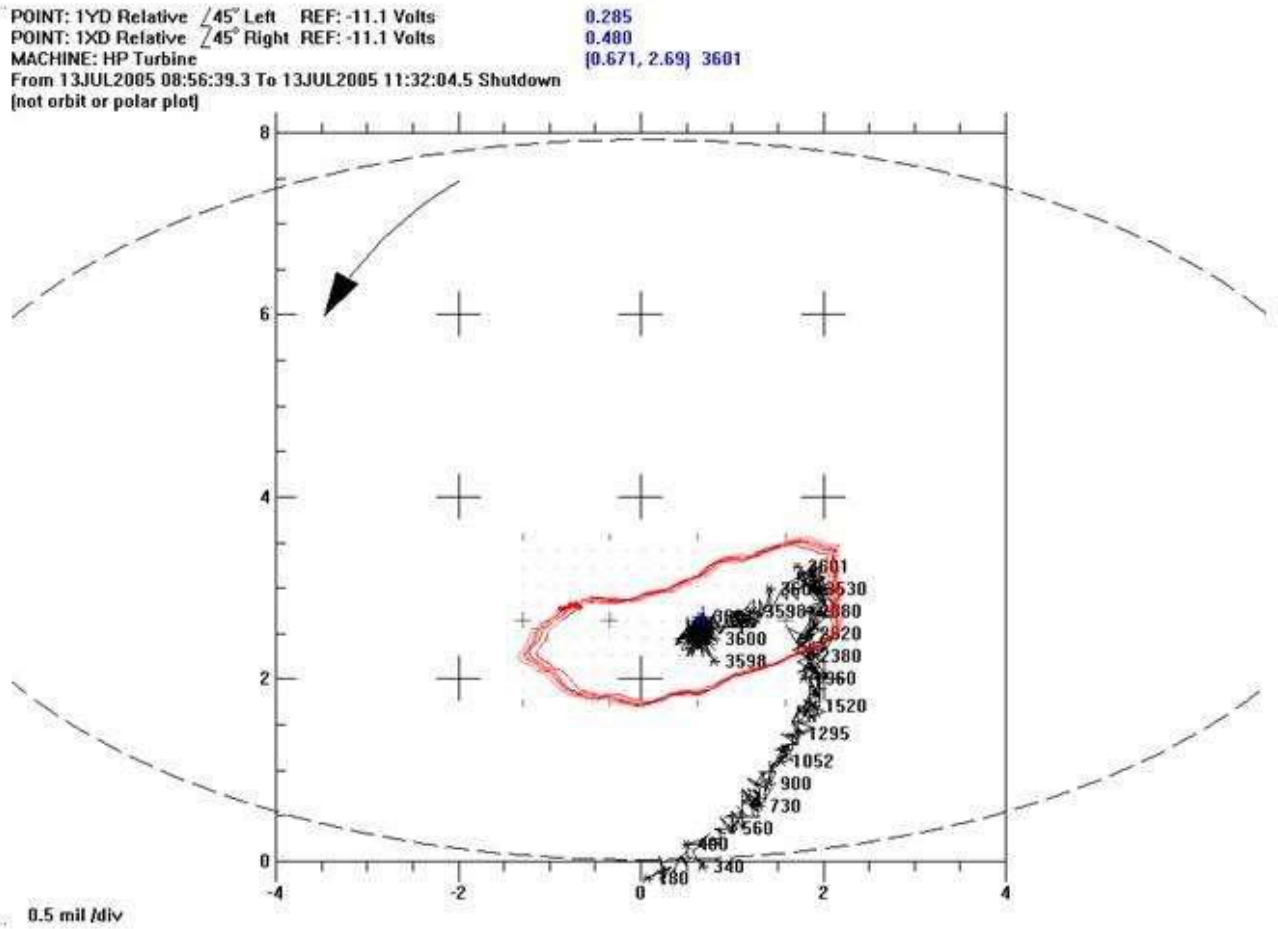
اندازه گیری های گذرا

- در صورت انتخاب فیلتر با پهنای باند پهن تر، اندازه گیری دامنه و فاز در سرعت پایین همراه با خطا و پرش خواهد بود و بنابراین امکان محاسبه Slow roll vector با دقت مناسب وجود نخواهد داشت. از طرفی اگر پهنای باند باریک باشد سرعت اندازه گیری کاهش خواهد یافت، بنابراین باید بالانسی بین این دو ایجاد کرد.



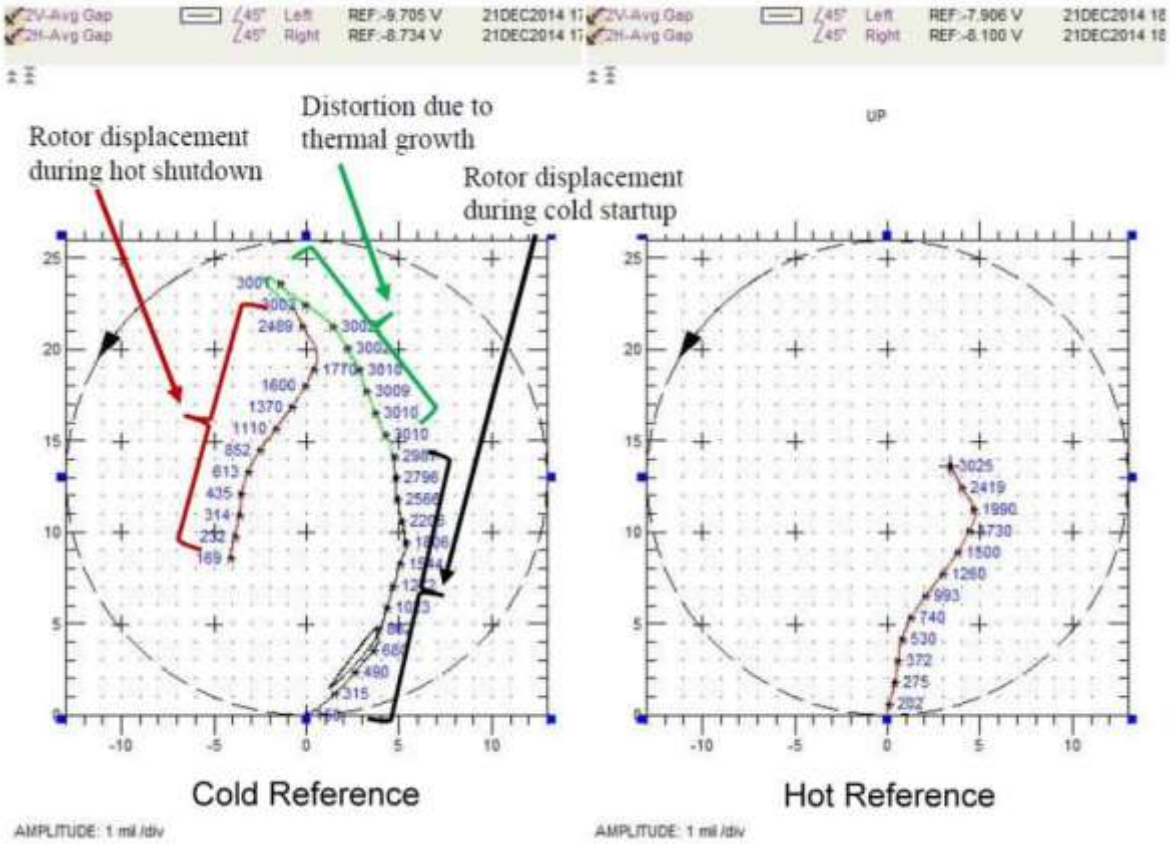
اندازه گیری های گذرا- موقعیت شافت

- نمودار موقعیت مرکز شافت هم برای حالت پایدار و هم برای حالت گذرا در راه اندازی و توقف مورد استفاده قرار می گیرد. تعیین موقعیت مرجع DC برای تعیین نقطه سکون شافت و نقطه شروع در نمودار بسیار حائذ اهمیت است.

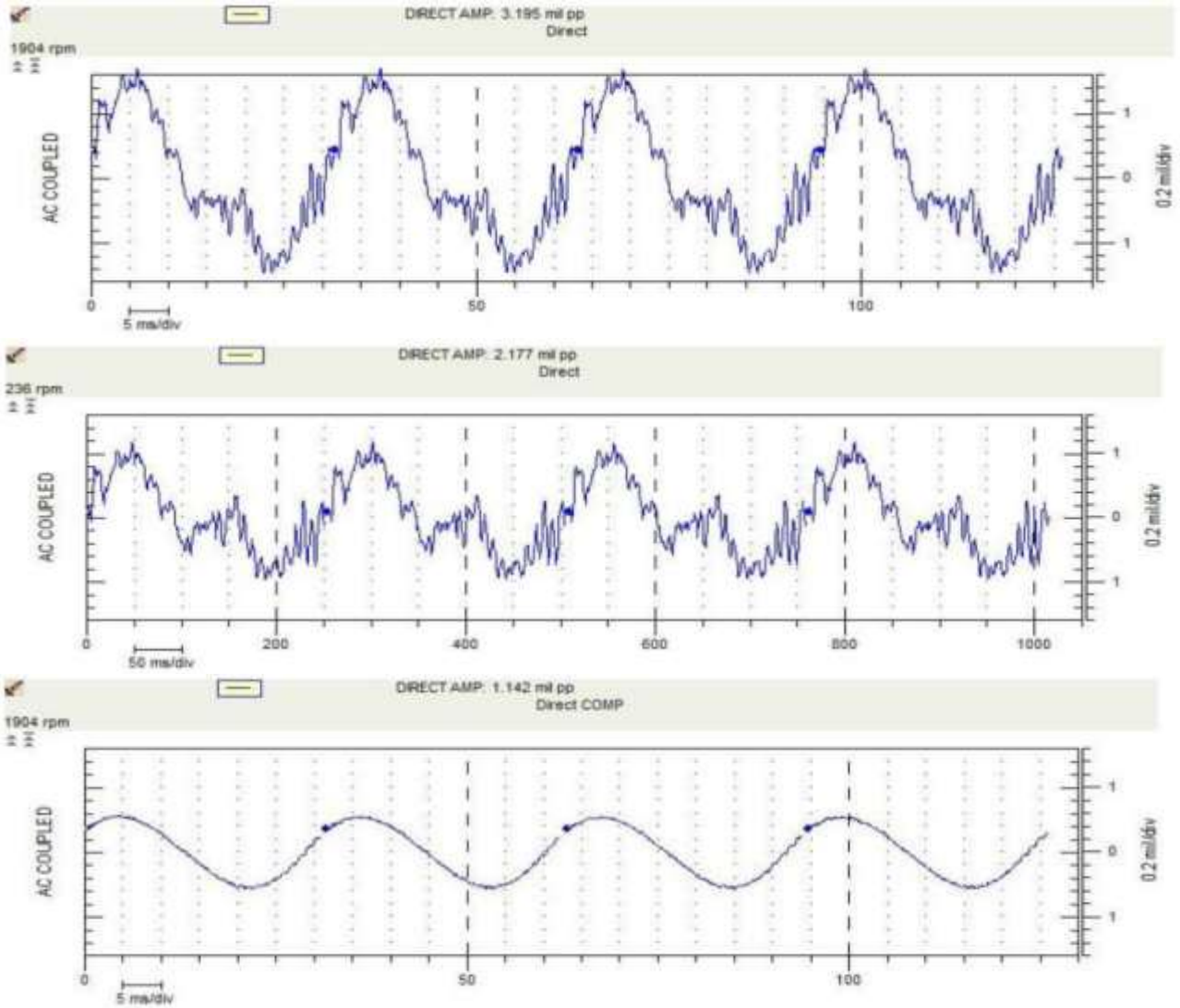


اندازه گیری های گذرا- موقعیت شافت

- هنگام راه اندازی ماشین های داغ مانند توربین های گازی و بخار، انبساط تدریجی بدنه و تکیه گاه سنسورها باعث می شود حرکت های اضافی (قسمت سبز رنگ) در موقعیت شافت مشاهده شود. بعد از توقف شافت به موقعیت اولیه سکون بر میگردد، (قسمت قرمز رنگ). با جبران این اثر می توان مقدار واقعی را در نمودار سمت راست بدست آورد.



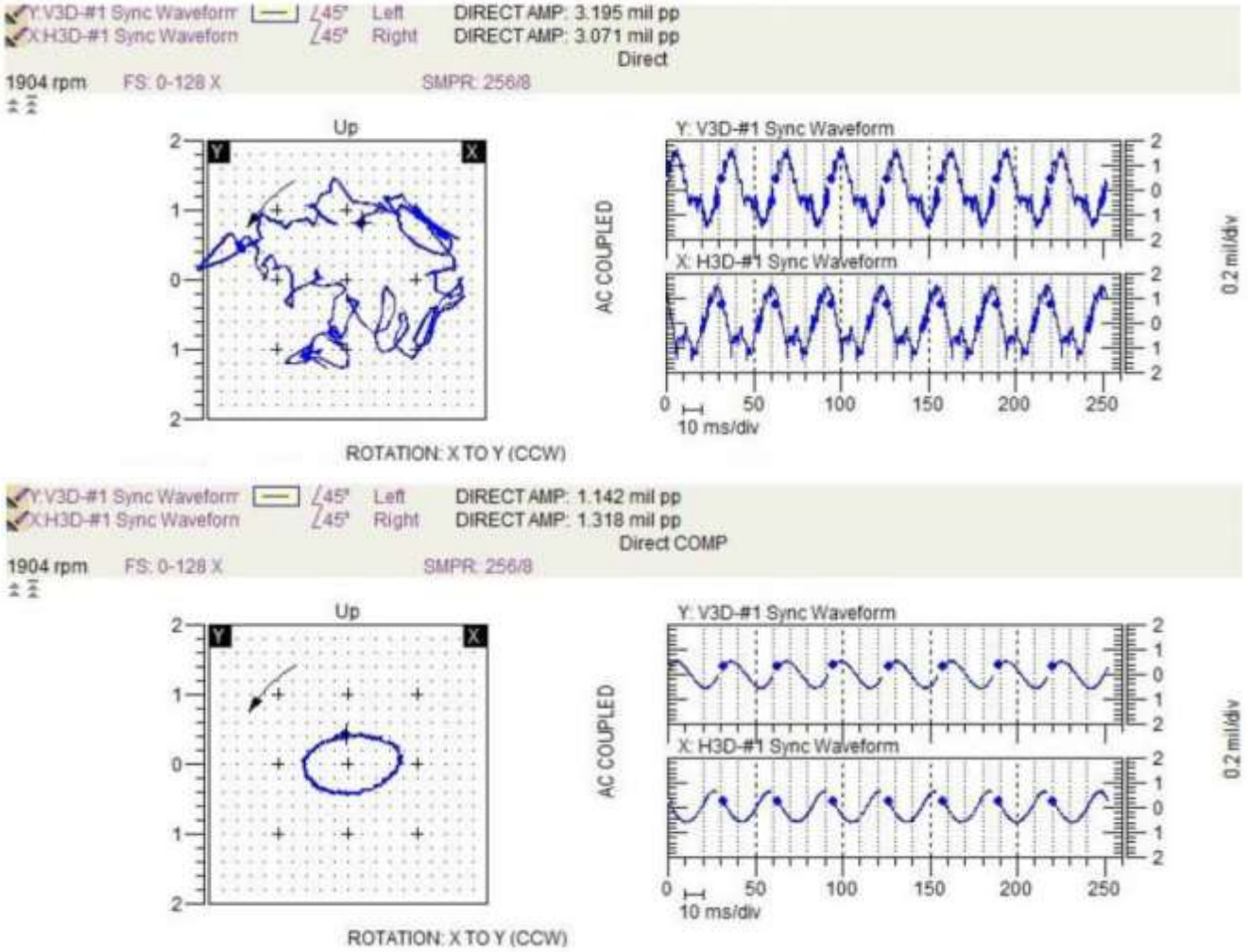
اندازه گیری های گذرا- جبران Run out در شکل موج



- در صورت آنالیز شکل موج و وجود خارج از مرکزی مکانیکی و الکتریکی (نویز) مجداً خطای اندازه گیری خواهیم داشت. برای جبران این خطا باید بجای اندازه گیری بردار دوران آهسته، شکل موج دوارن آهسته را اندازه گیری و از شکل موج اصلی کسر نمود.

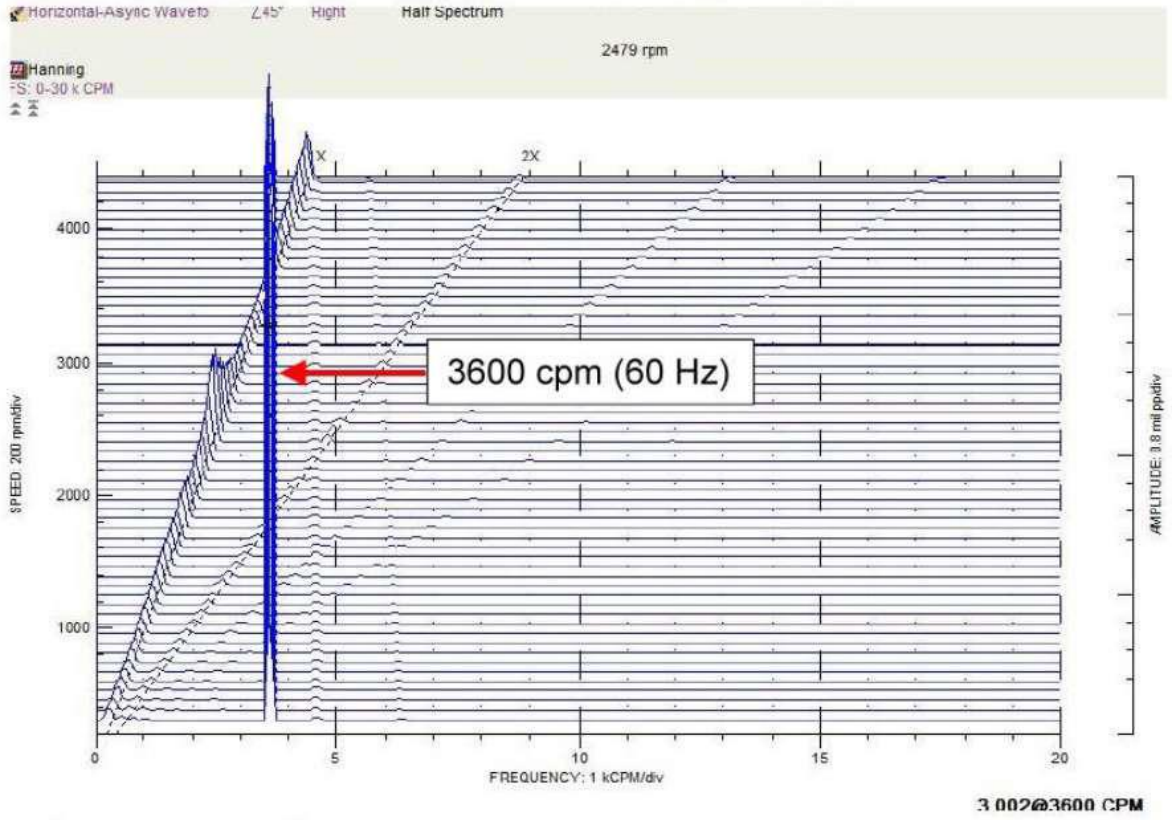
اندازه گیری های گذرا- جبران Run out در شکل اوربیت

- در نمودار اوربیت نیز خطای خارج از مرکزی می تواند تاثیر گذار باشد. دقیقاً مانند جبران خطای خارج از مرکزی در شکل موج، در اوربیت نیز می توان به روش مشابه این مشکل را برطرف نمود.



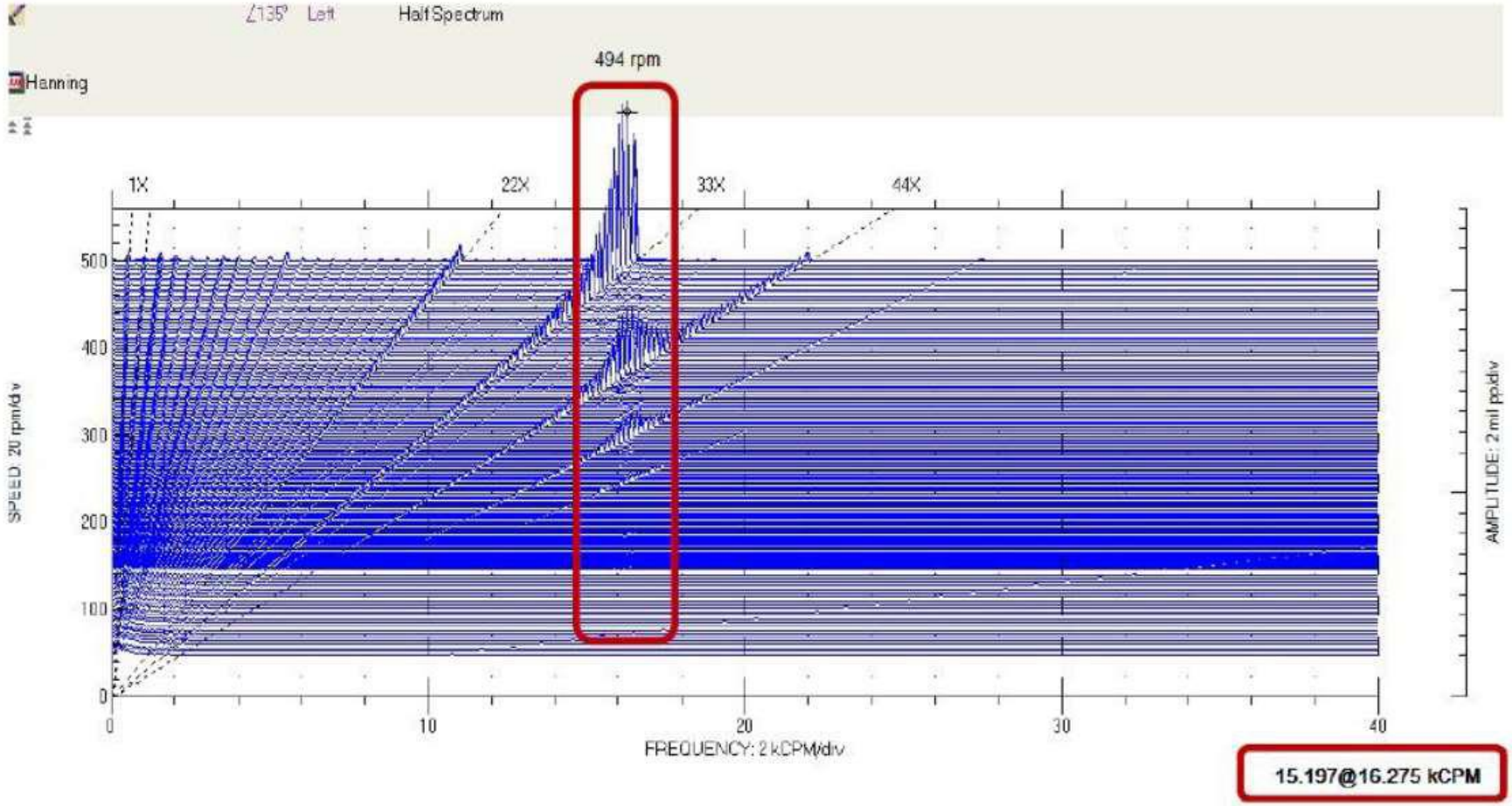
اندازه گیری های گذرا- نمودار Cascade

- نمودارد کسکید یک نمودار آبشاری است که بجای اینکه محور سوم زمان باشد، سرعت دورانی شافت است. بنابراین، این نمودار یک نمودار حالت گذرا در حالت راه اندازی یا توقف است. این نمودار می تواند وقایع مرتبط با سرعت چرخشی (سنکرون) را از وقایع غیر مرتبط با سرعت چرخشی (غیر سنکرون) تمیز دهد. در نمودار زیر ظهور فرکانس برق به سادگی قابل شناسایی است.



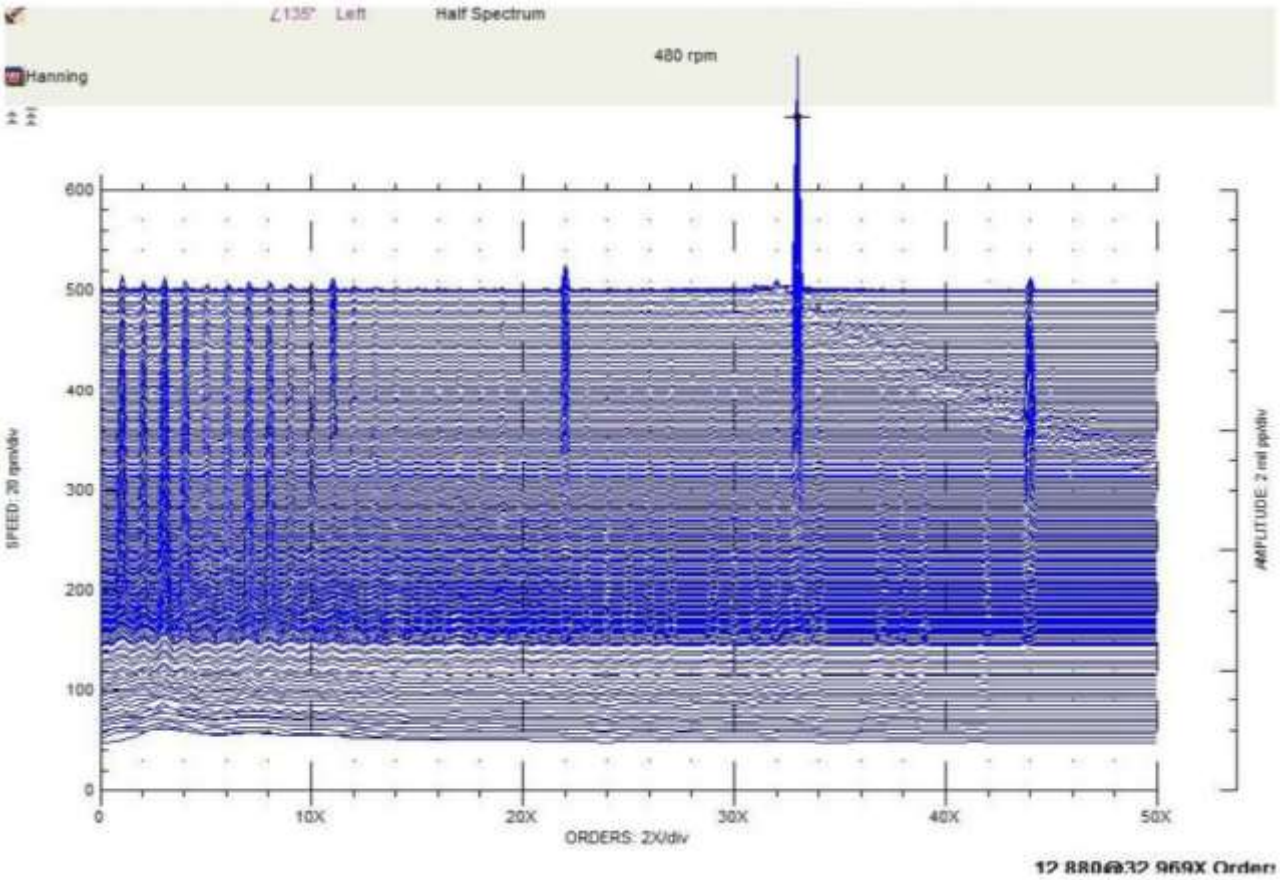
اندازه گیری های گذرا- نمودار Cascade

- در مثال زیر وجود فرکانس طبیعی که در مراحل مختلف توسط 33X, 44X, 55X تحریک شده مشخص است. این فرکانس طبیعی پایه نگهدارنده پروب است نه فرکانس طبیعی روتور!



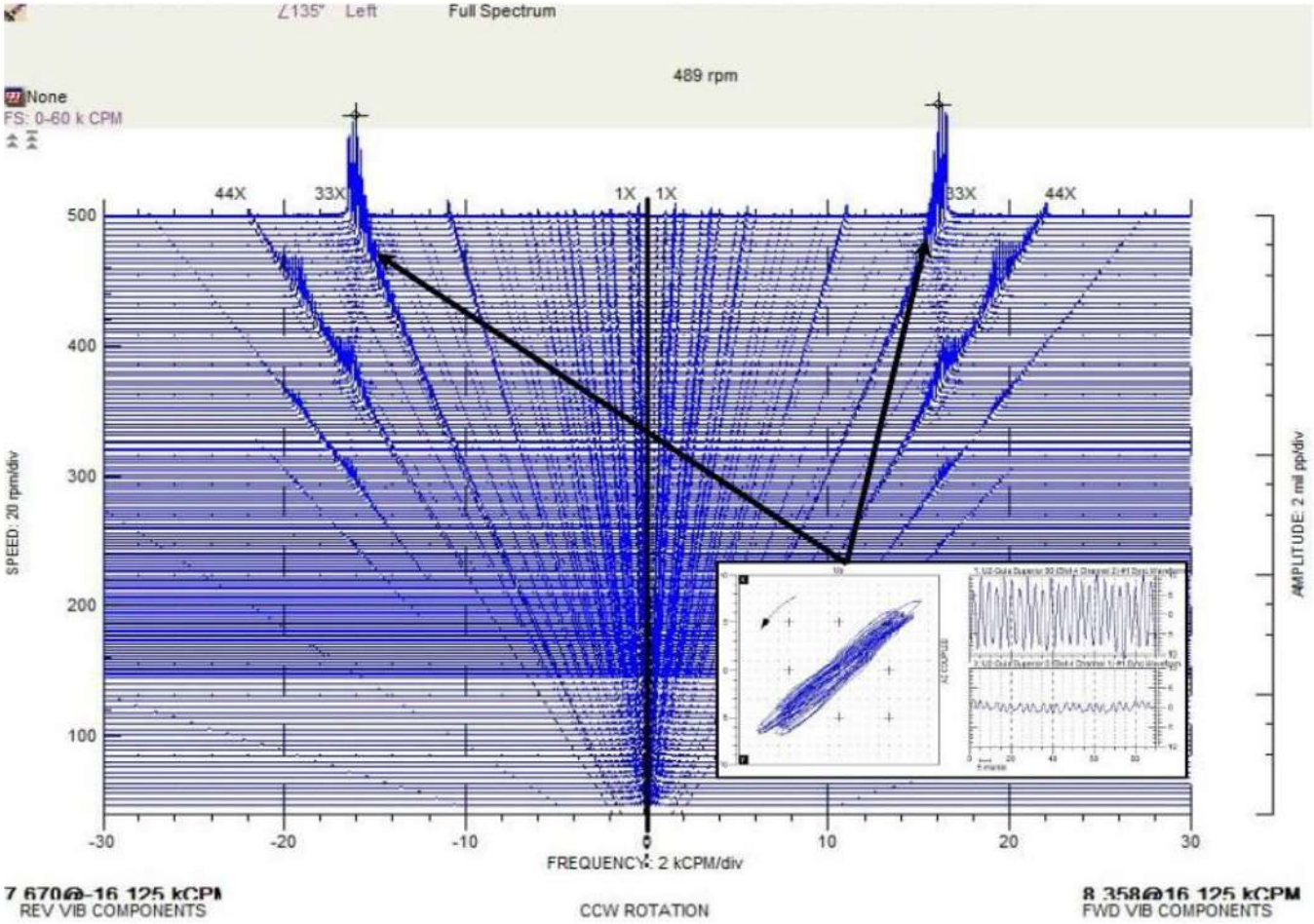
اندازه گیری های گذرا- نمودار Cascade – Order

- اگر در مثال قبل بجای فرکانس در محور افقی از Order (ضریب سرعت چرخشی) استفاده کنیم نمودار کسکید Order به صورت زیر بدست خواهد آمد.



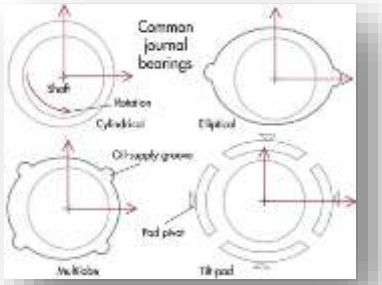
اندازه گیری های گذرا- نمودار Full Cascade

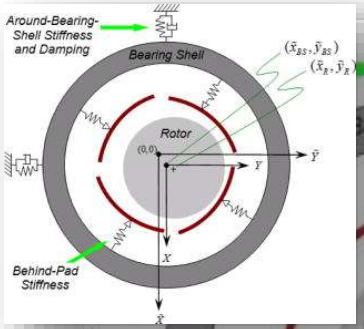
- همانند Full Spectrum می توان Full Cascade را نیز بدست آورد و از مزایای آن همچون تعیین جهت اوربیت و شکل اوربیت استفاده کرد. نمودار زیر مربوط به رزنانس در یکی از پایه های پروب است.

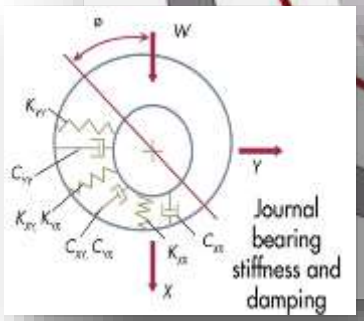


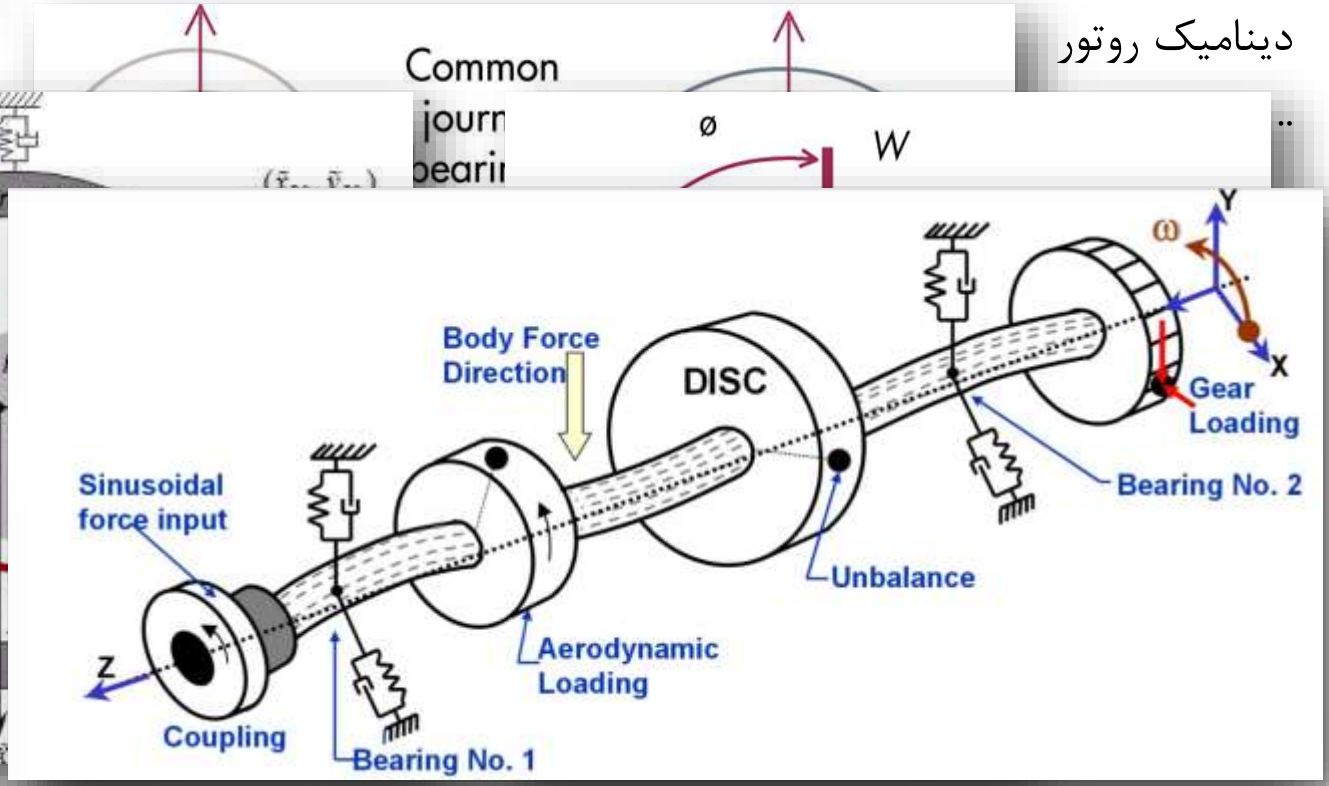
عوامل تاثیر گذار در اوربیت شافت

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



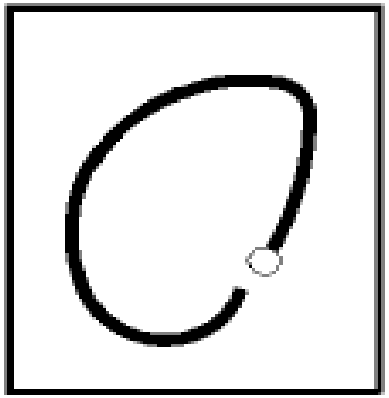


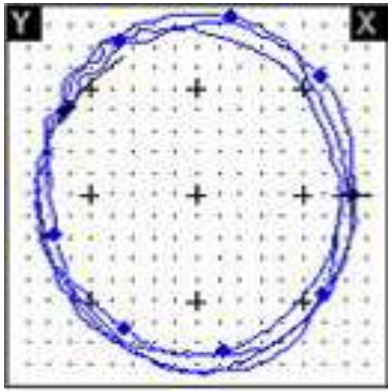


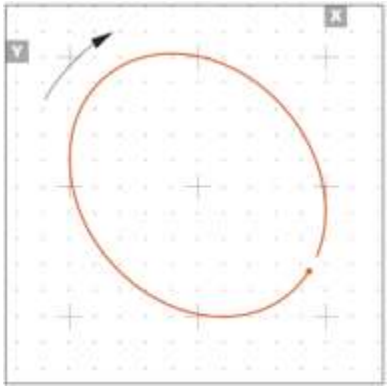


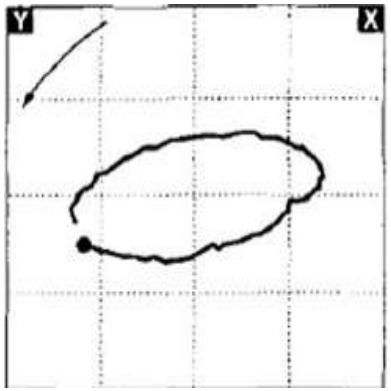
شکل های عمومی اوربیت شافت نسبت به یاتاقان

نابالانسی

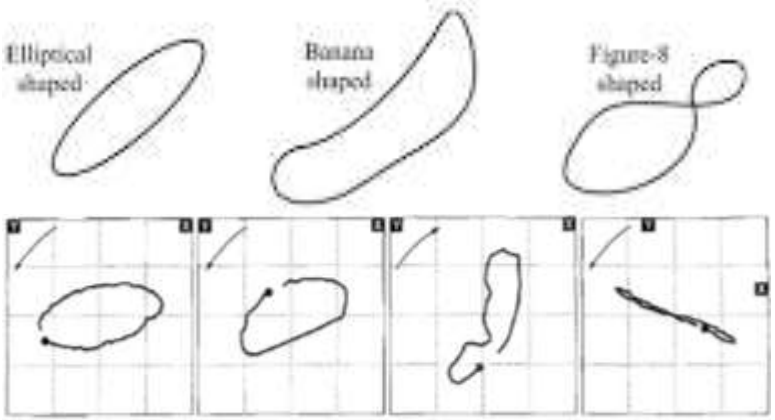


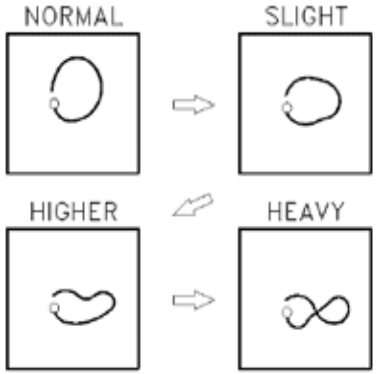


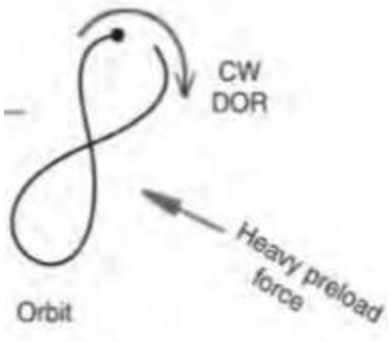




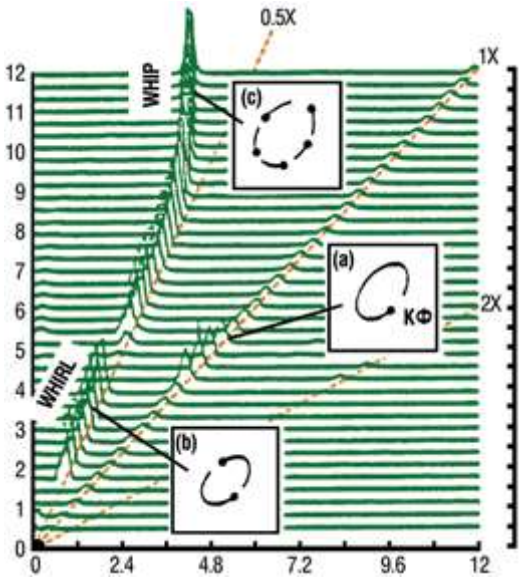
ناهمراستایی / پیش بار

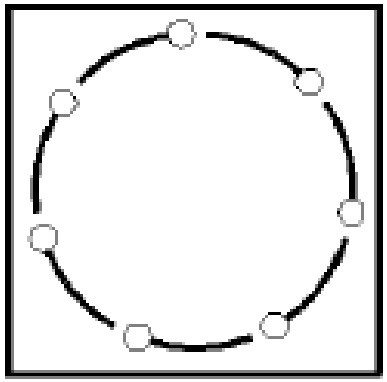




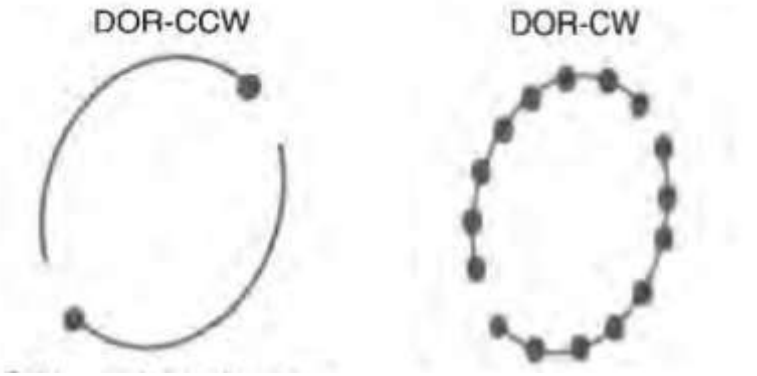


شکل های عمومی اوربیت شافت نسبت به یاتاقان

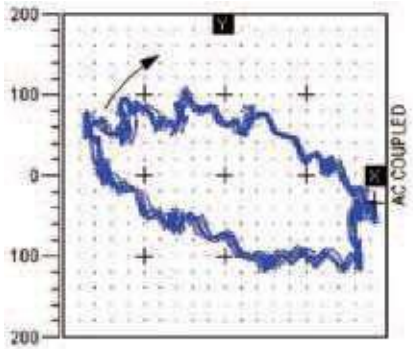


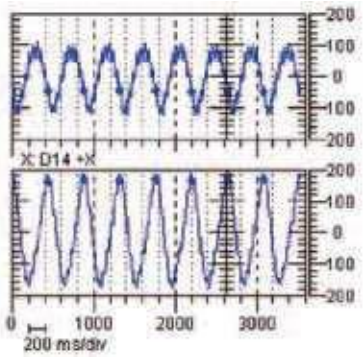


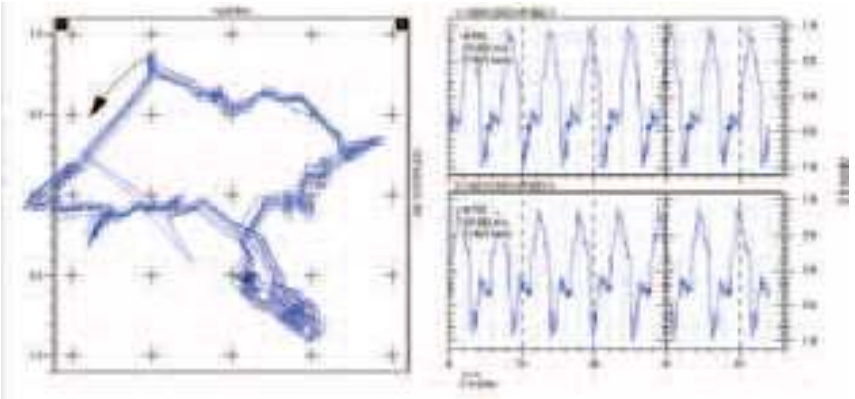
چرخش روغن /شلاق روغن



تخلیه الکتریکی/ خرابی سطح مقابل سنسور

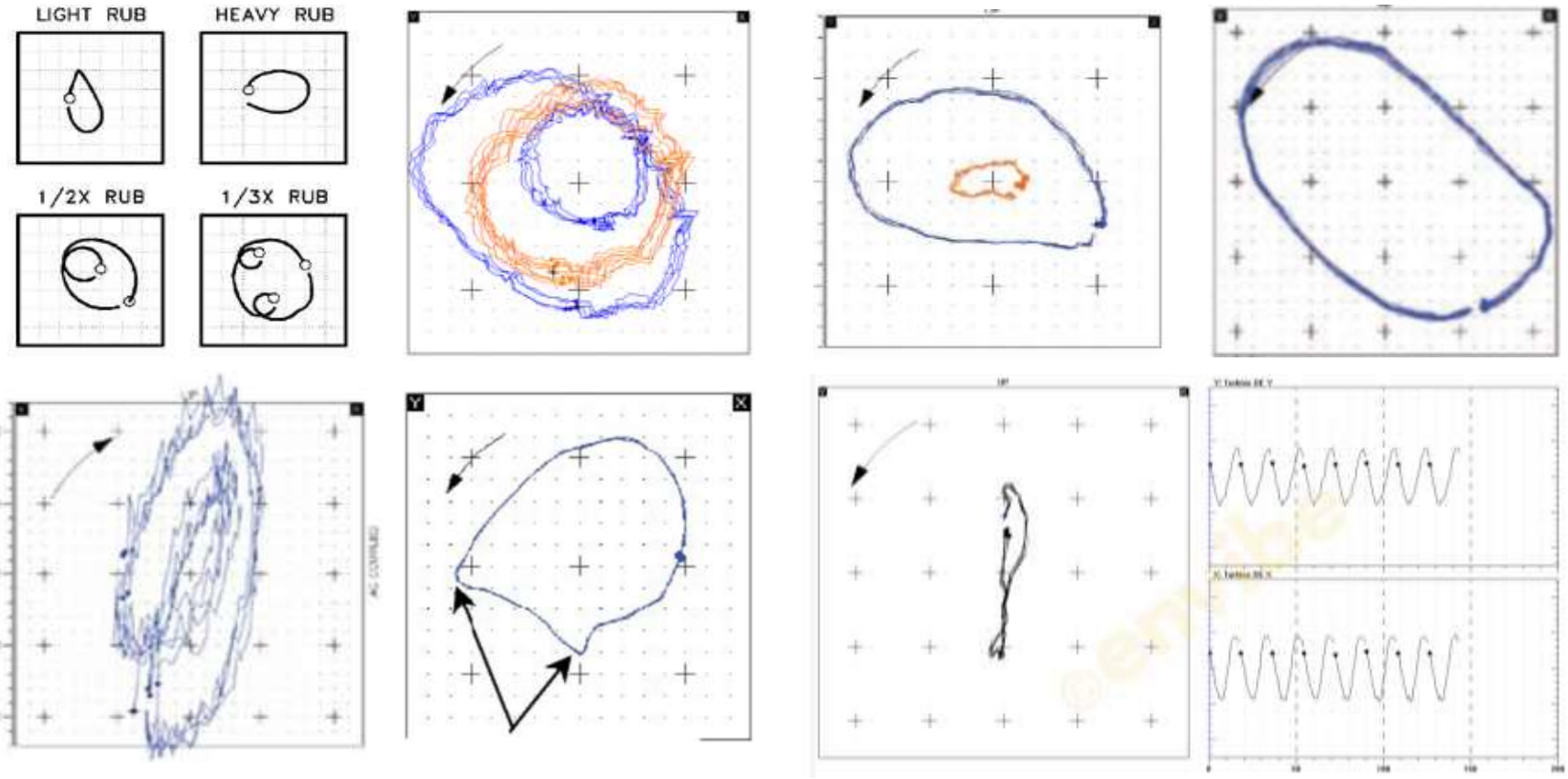






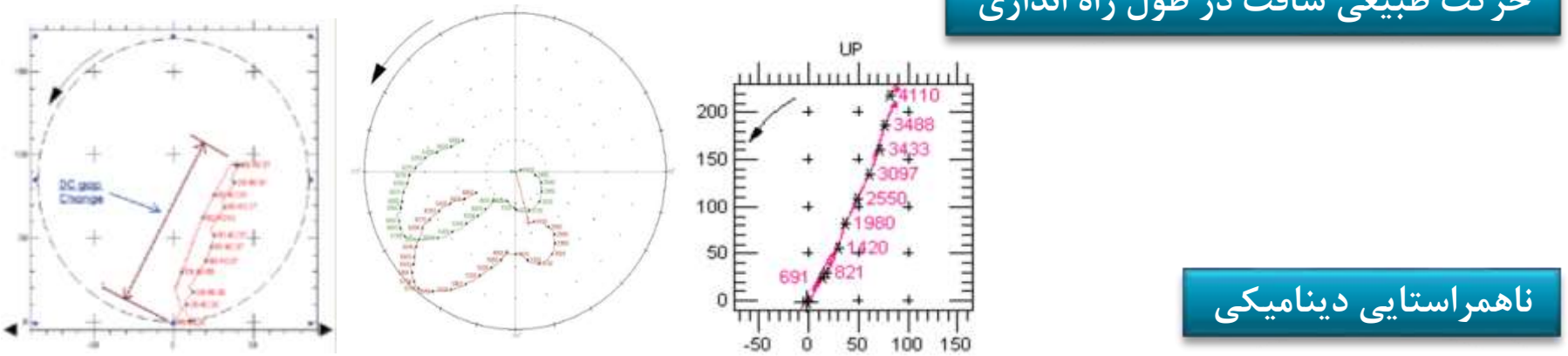
شکل های عمومی اوربیت های یاتاقان

مالش (به همراه ناپایداری)

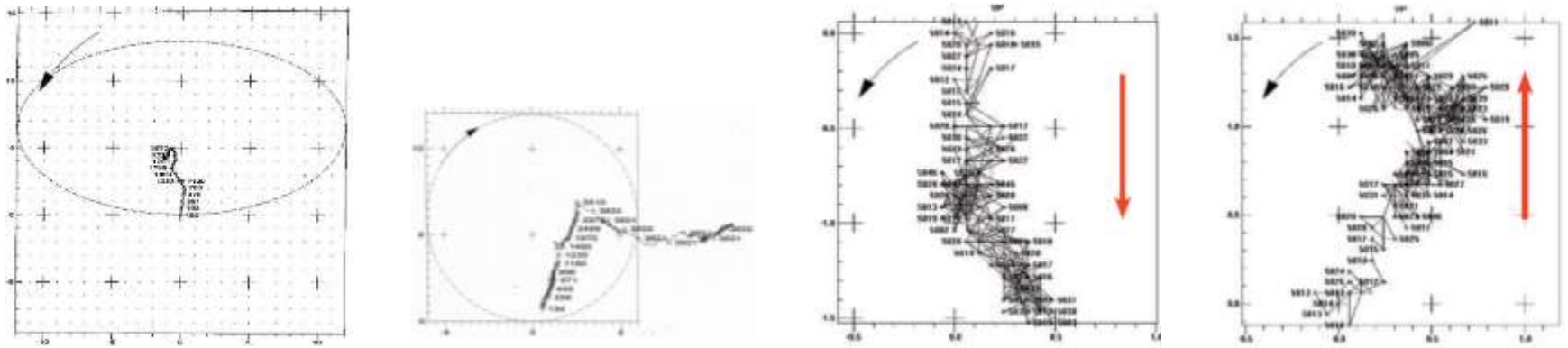


شکل های عمومی جابجایی استاتیک مرکز شافت در یاتاقان

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.

عیب های ارتعاشی

فرکانس بالا

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

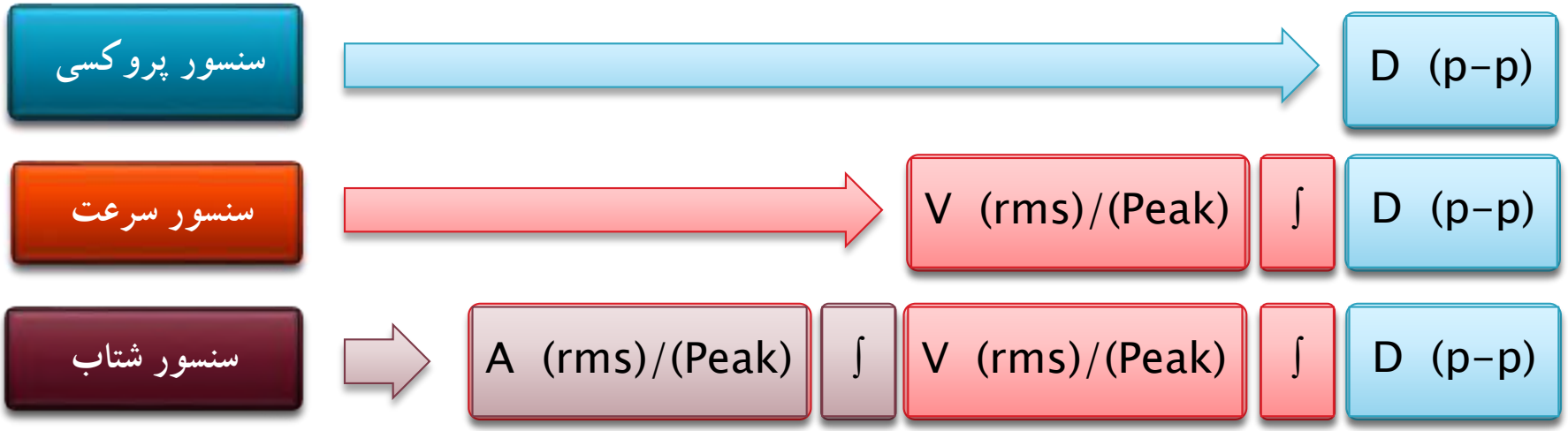
فرکانس متوسط

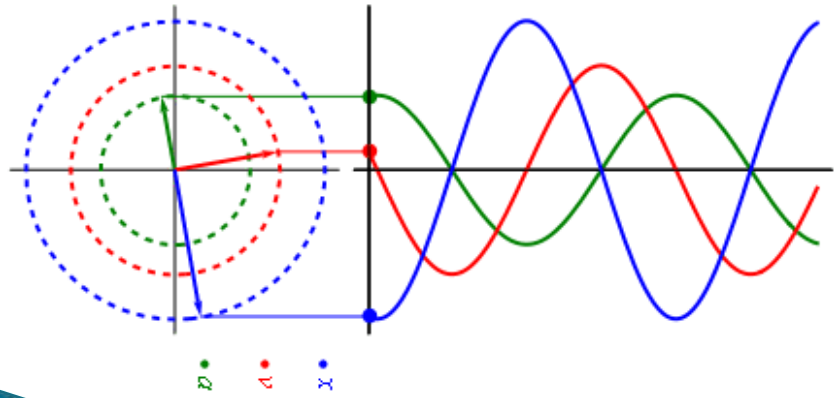
- چرخ دنده ها
- شکستگی روتور بار
- گذر پره، رزنانس و ..

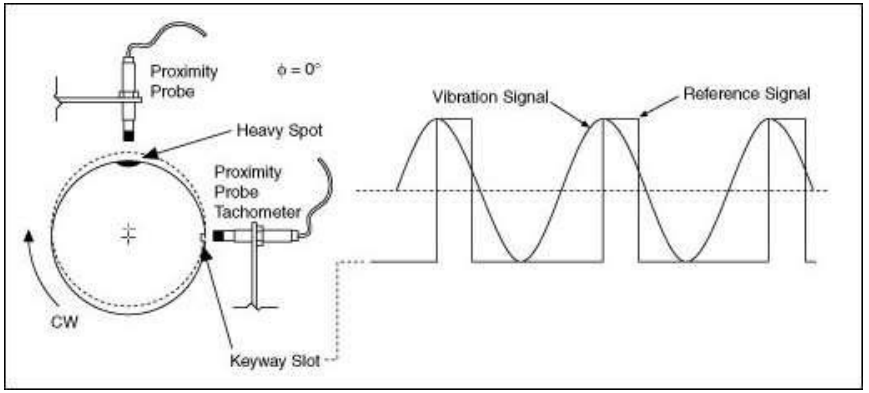
فرکانس پایین

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

روشهای بدست آوردن شکل حرکت







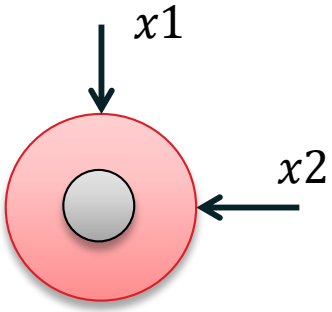
آنالیز فازی

- 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

$$x_t = X_1 \cos(\omega t - \varphi_1) + X_2 \cos(2\omega t - \varphi_2) + X_3 \cos(3\omega t - \varphi_3) + \ \ldots$$
$$v_t = -\omega X_1 \sin(\omega t - \varphi_1) - 2\omega X_2 \ \sin(2\omega t - \varphi_2) + 3\omega X_3 \sin(3\omega t - \varphi_3) + \ \ldots)$$
$$v_t = V_1 \sin(\omega t - \varphi_1) + V_2 \ \sin(2\omega t - \varphi_2) + V_3 \sin(3\omega t - \varphi_3) + \ \ldots)$$
$$a_t = -\omega^2 X_1 \cos(\omega t - \varphi_1) - 4\omega^2 X_2 \ \cos(2\omega t - \varphi_2) + 9\omega^2 X_3 \cos(3\omega t - \varphi_3) + \ \ldots)$$
$$a_t = A_1 \cos(\omega t - \varphi_1) + A_2 \cos(2\omega t - \varphi_2) + A_3 \cos(3\omega t - \varphi_3) + \ \ldots$$

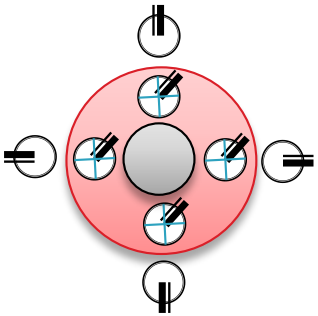
$$x_{(filtered\ in\ 1X)} = X_1 \cos(\omega t - \varphi_1)$$
$$v_{(filtered\ in\ 1X)} = V_1 \sin(\omega t - \varphi_1)$$
$$a_{(filtered\ in\ 1X)} = A_1 \cos(\omega t - \varphi_1)$$

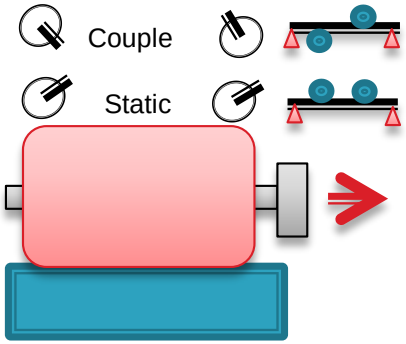


$$\frac{x1_f}{x2_f} = \frac{v1_f}{v2_f} = \frac{a1_f}{a2_f}$$

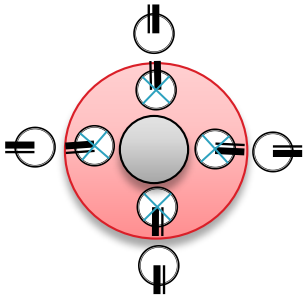
آنالیز فازی - برخی رفتار فازی یاتاقان ها برای عیب های مختلف

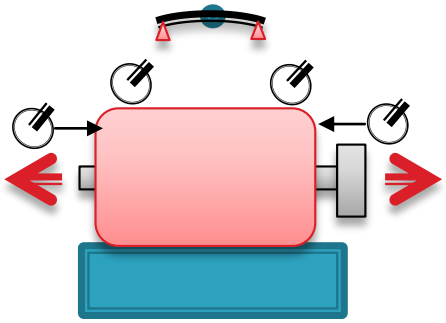
نابالانسی

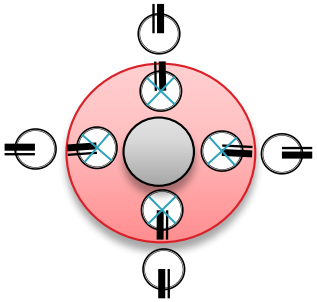




خمش شافت

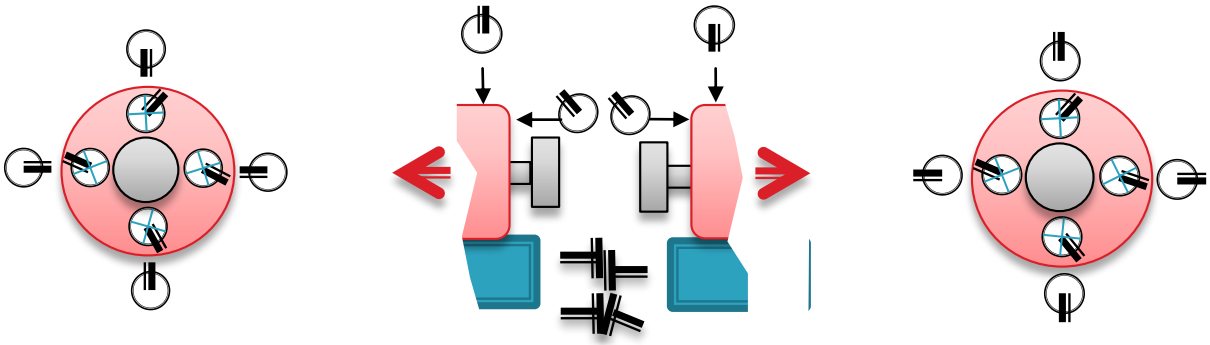




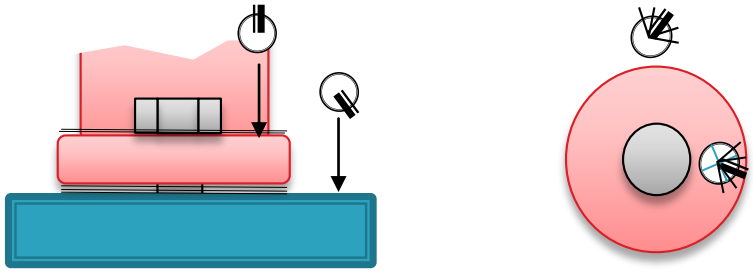


آنالیز فازی - برخی رفتار فازی یاتاقان ها برای عیب های مختلف

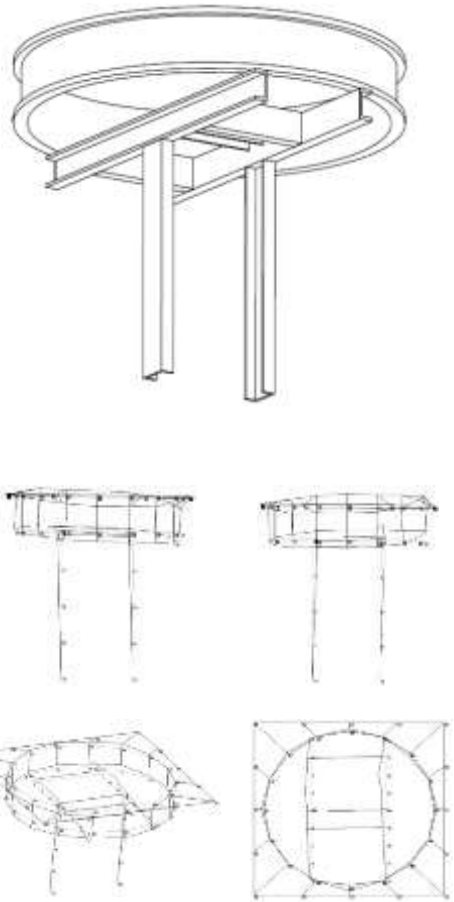
ناهمراستایی



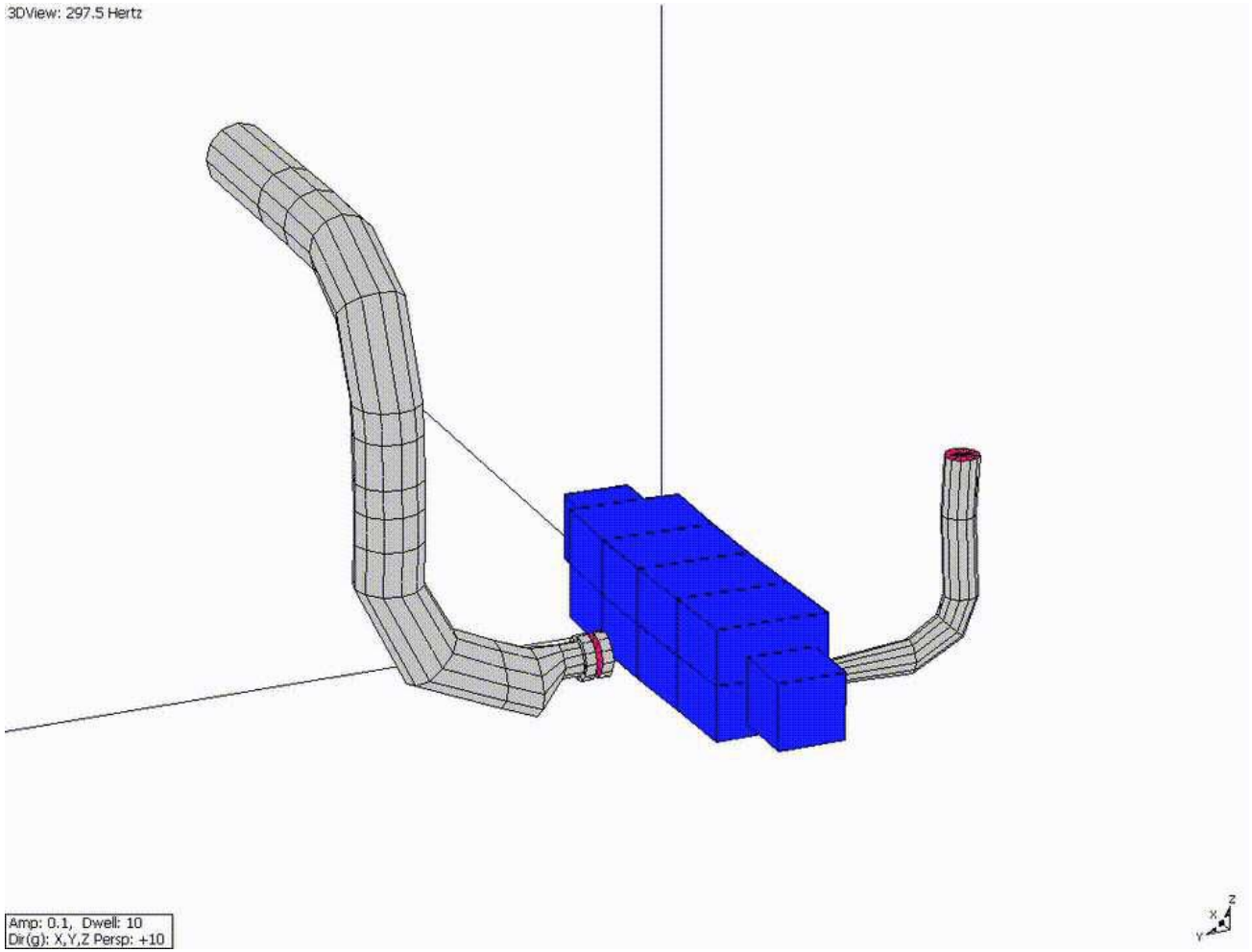
لقی

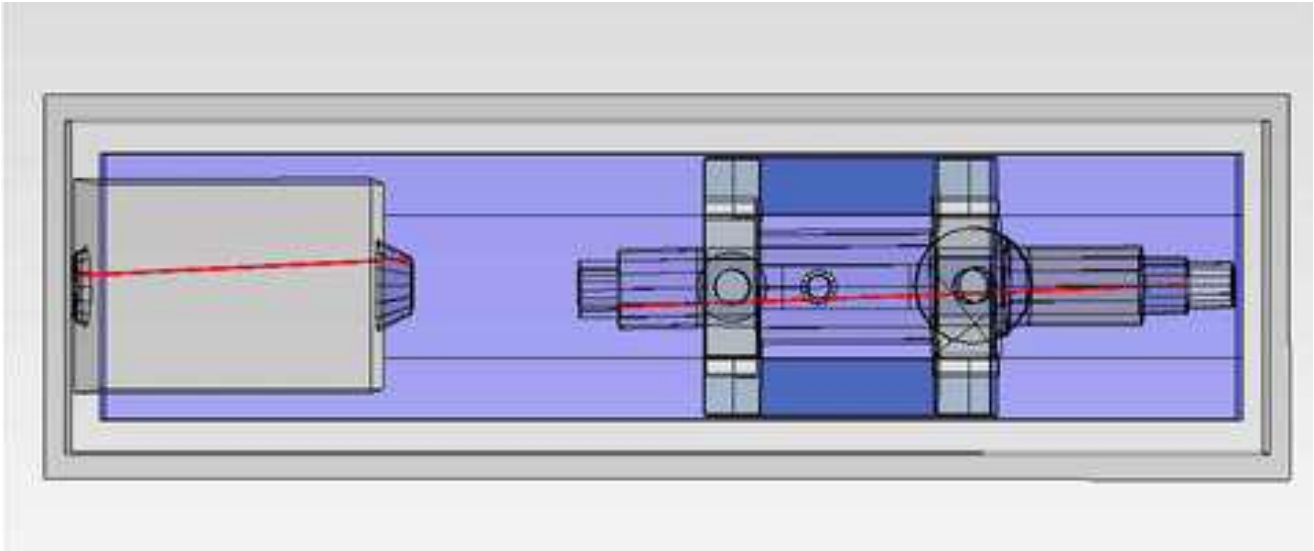


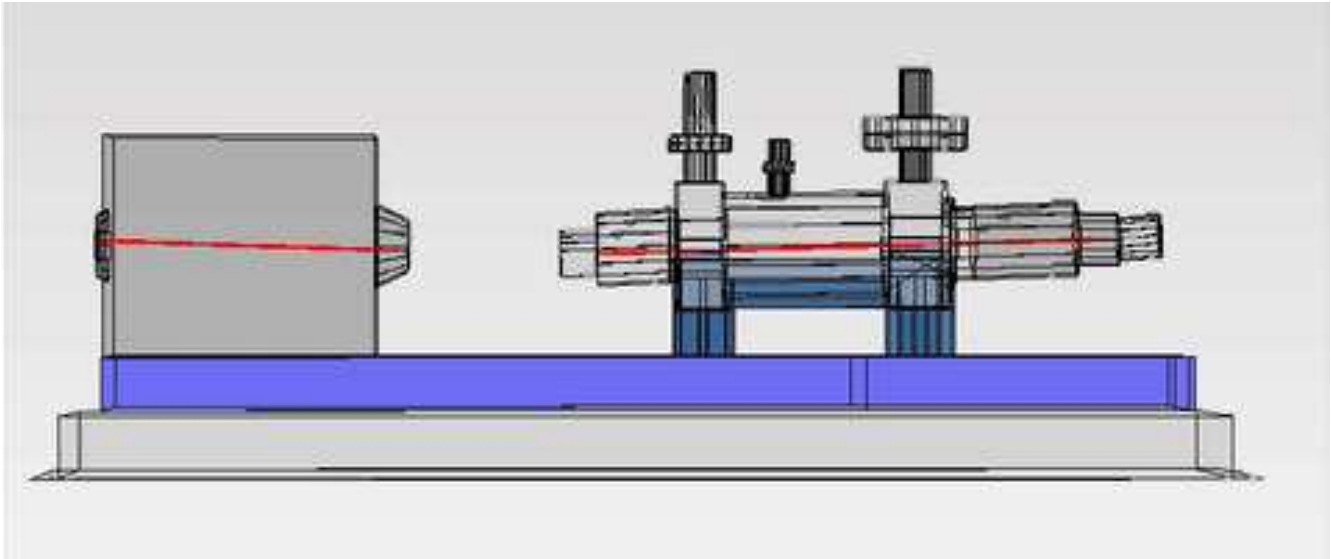
تغییر شکل های عملی سازه ODS

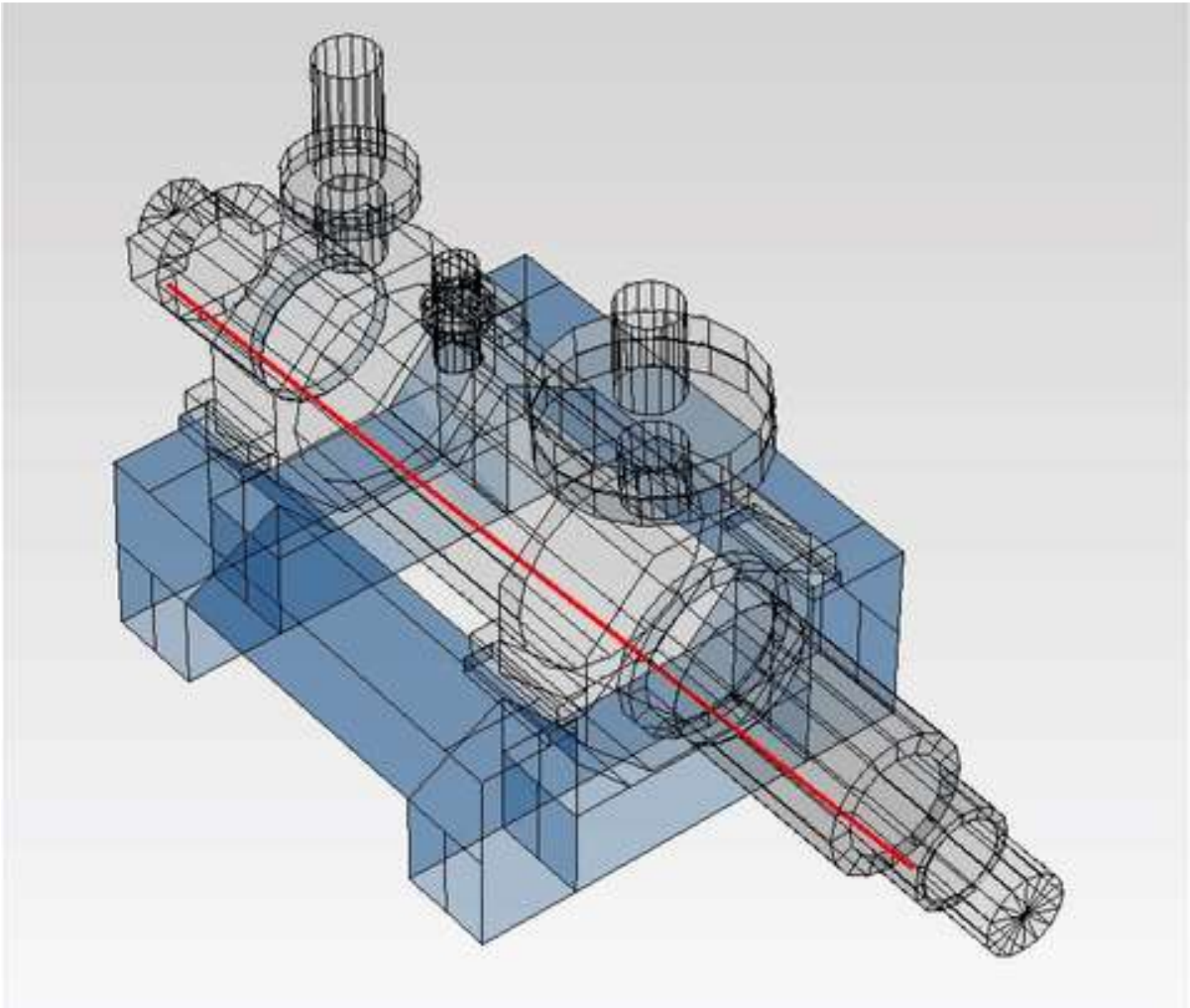


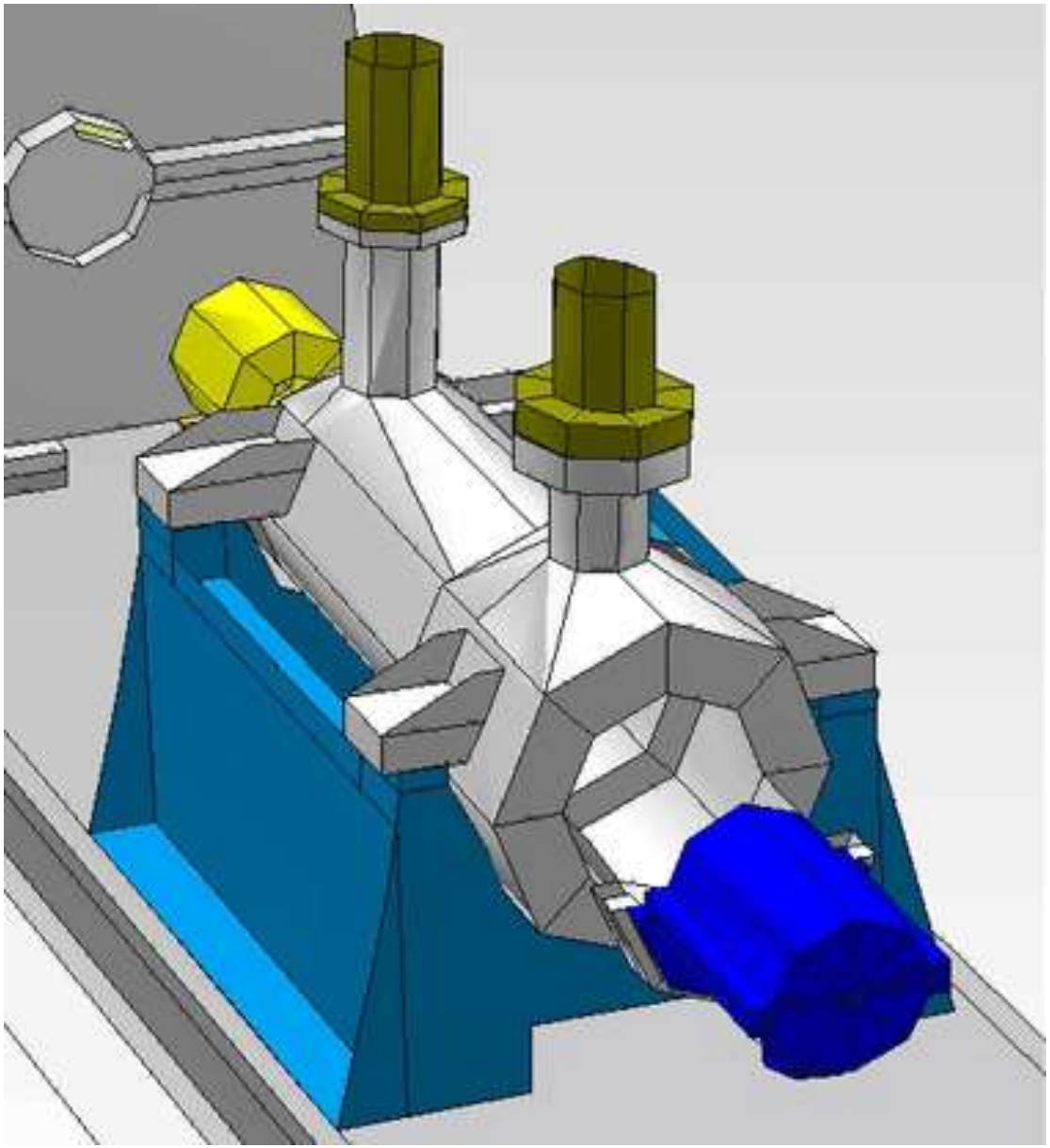
- یکی از تکنیک های بررسی مشکلات ارتعاشی سازه ها روش تحلیل تغییر شکل های عملی سازه است. در این روش مانند روش المان محدود نقاط مختلف یک سازه نشان گذاری (گره بندی) می شود و دامنه و فاز nX (عمدتاً 1X) نسبی برای این نقاط اندازه گیری می شود (دامنه نقطه A نسبت به دامنه نقطه مرجع B و اختلاف فاز نقطه A نسبت به 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.

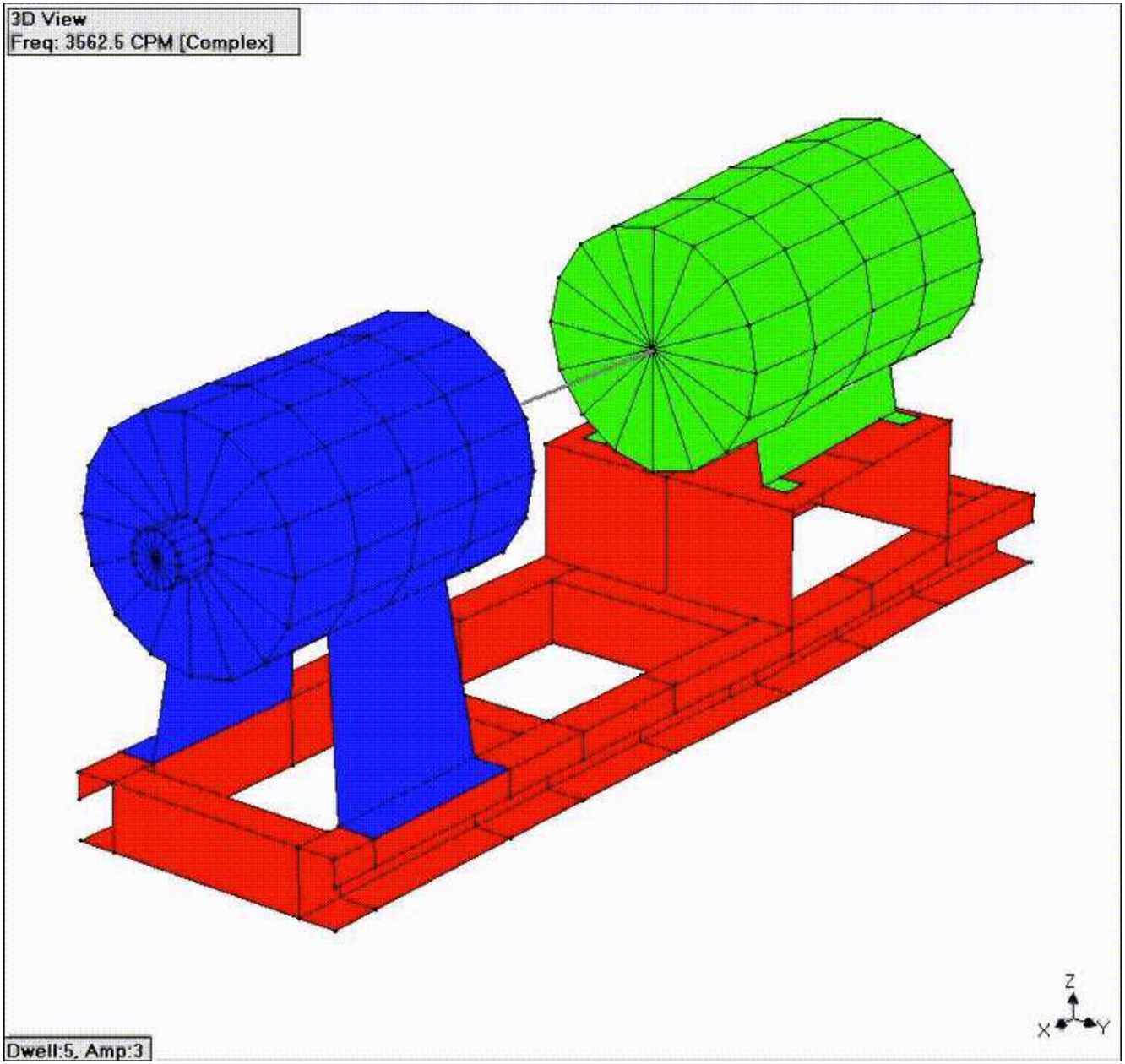

3DView: 297.5 Hertz
Amp: 0.1, Dwell: 10
Dir(g): X,Y,Z Persp: +10





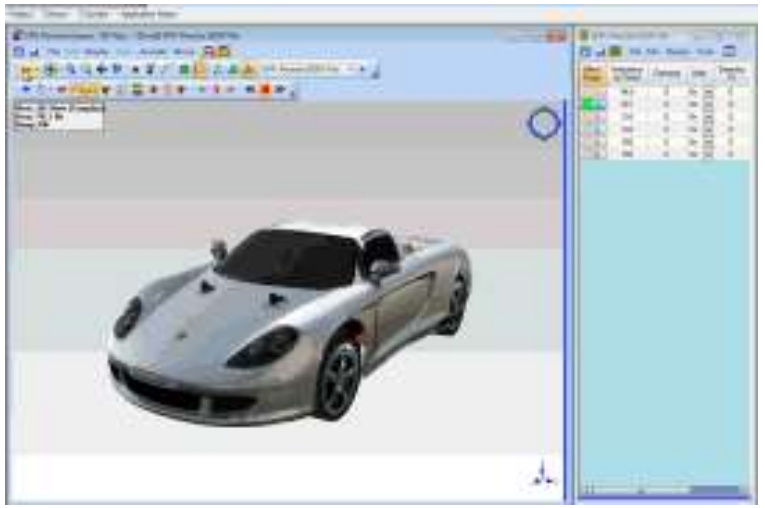




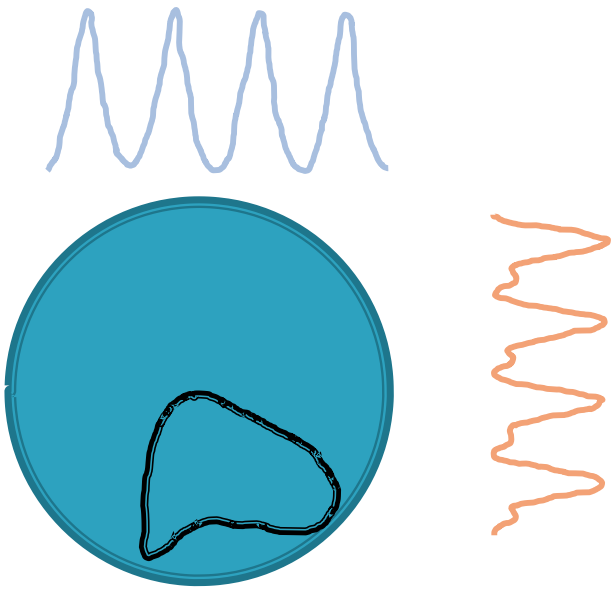

3D View
Freq: 3562.5 CPM [Complex]
Dwell:5, Amp:3
Z
X
Y

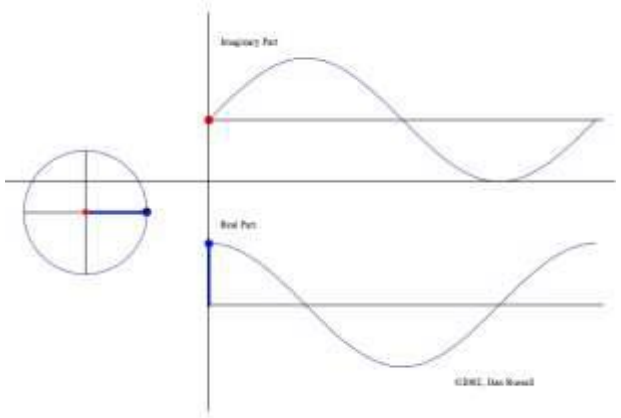
آنالیز مودال و روشهای تحلیلی

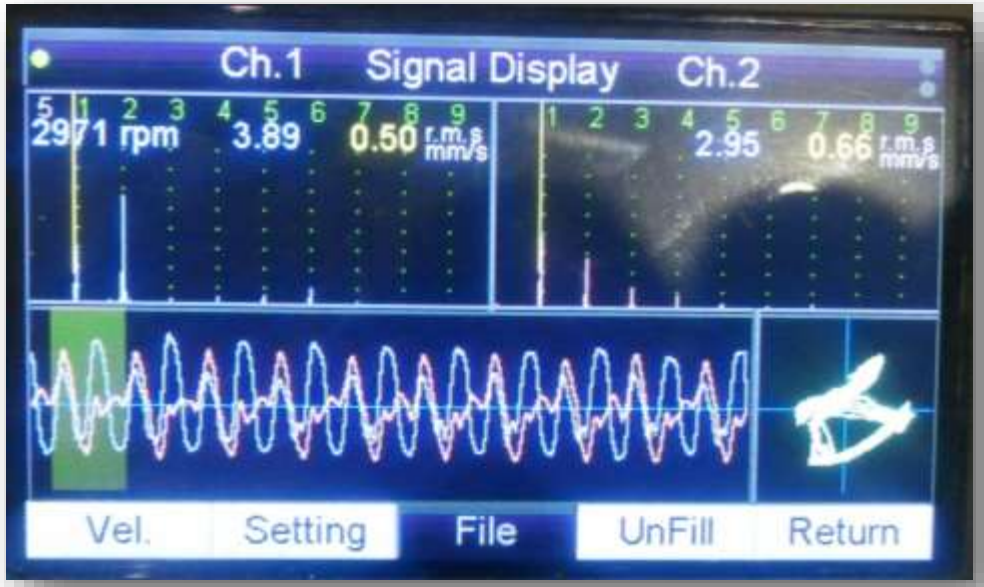
- در بررسی سازه هایی که عیوب اساسی ارتعاشی دارند از جمله مشکلات فرکانس طبیعی و ضعف سازه، آنالیز مودال یک روش اندازه گیری عملی برای تعیین فرکانس های طبیعی و شکل مودهای ارتعاشی است. در این روش نیاز به تجهیزات اندازه گیری و نرم افزارهای خاص تحلیل مودال است.
- روشهای تحلیلی المان محدود روشی ارزان تر برای 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.

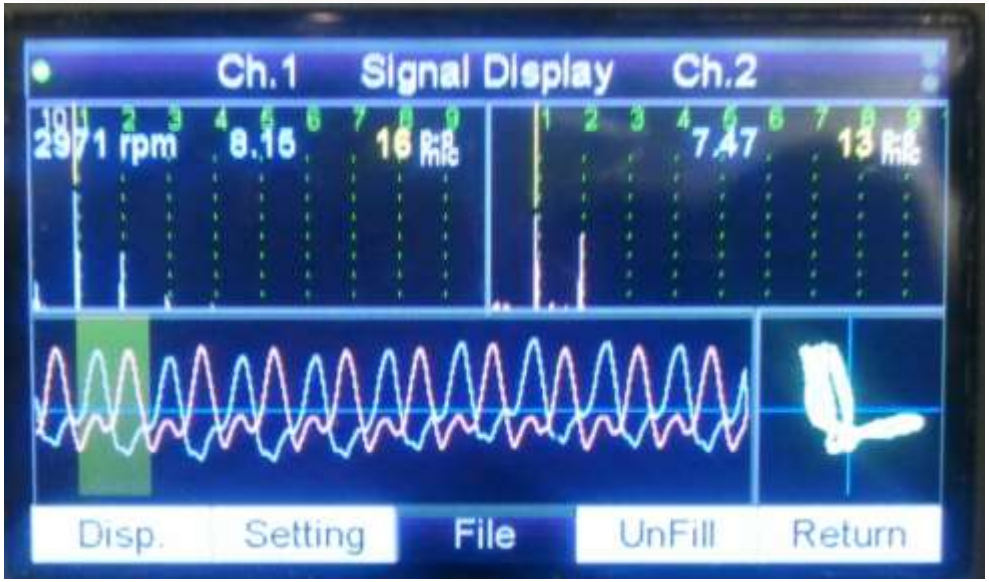


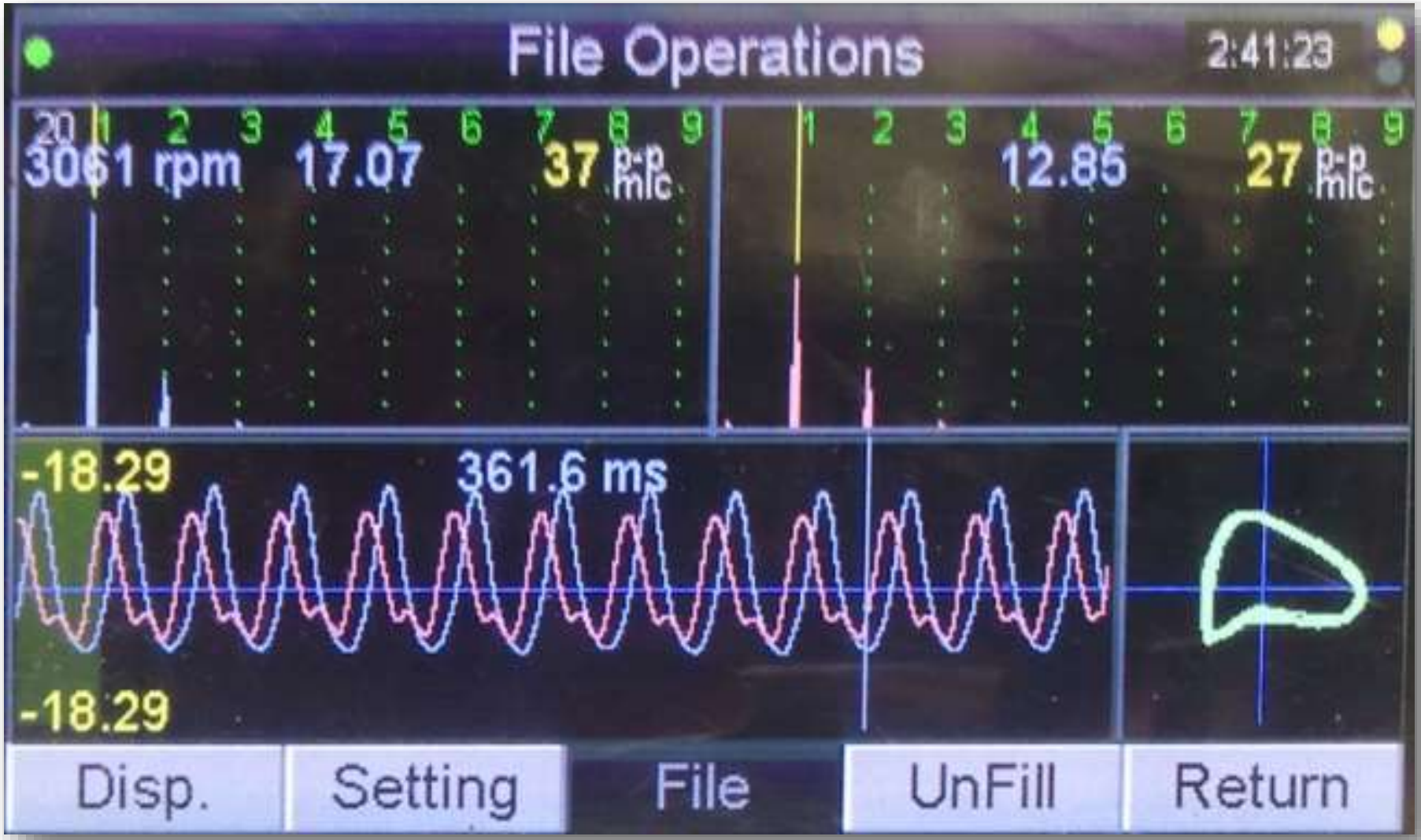
اوربیت یاتاقان





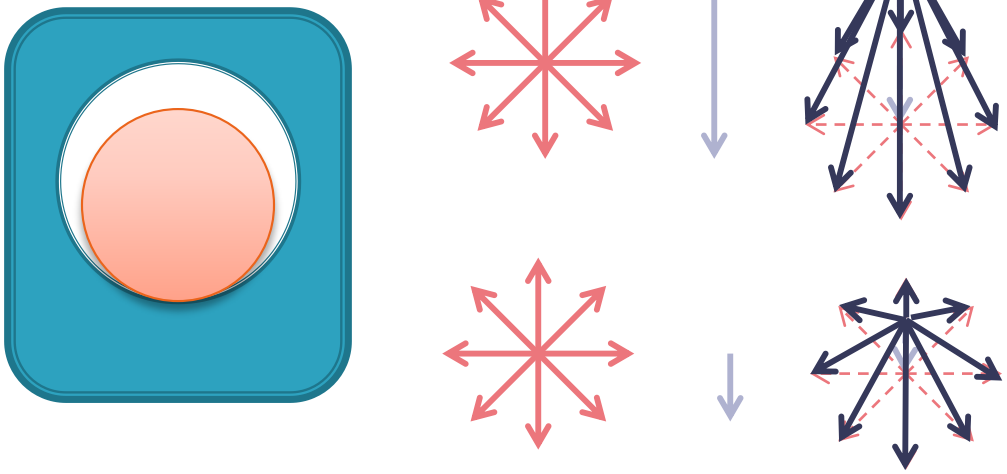

Ch.1 Signal Display Ch.2
2971 rpm
3.89
0.50 r.m.s mm/s
2.95
0.66 r.m.s mm/s
Vel.
Setting
File
UnFill
Return


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

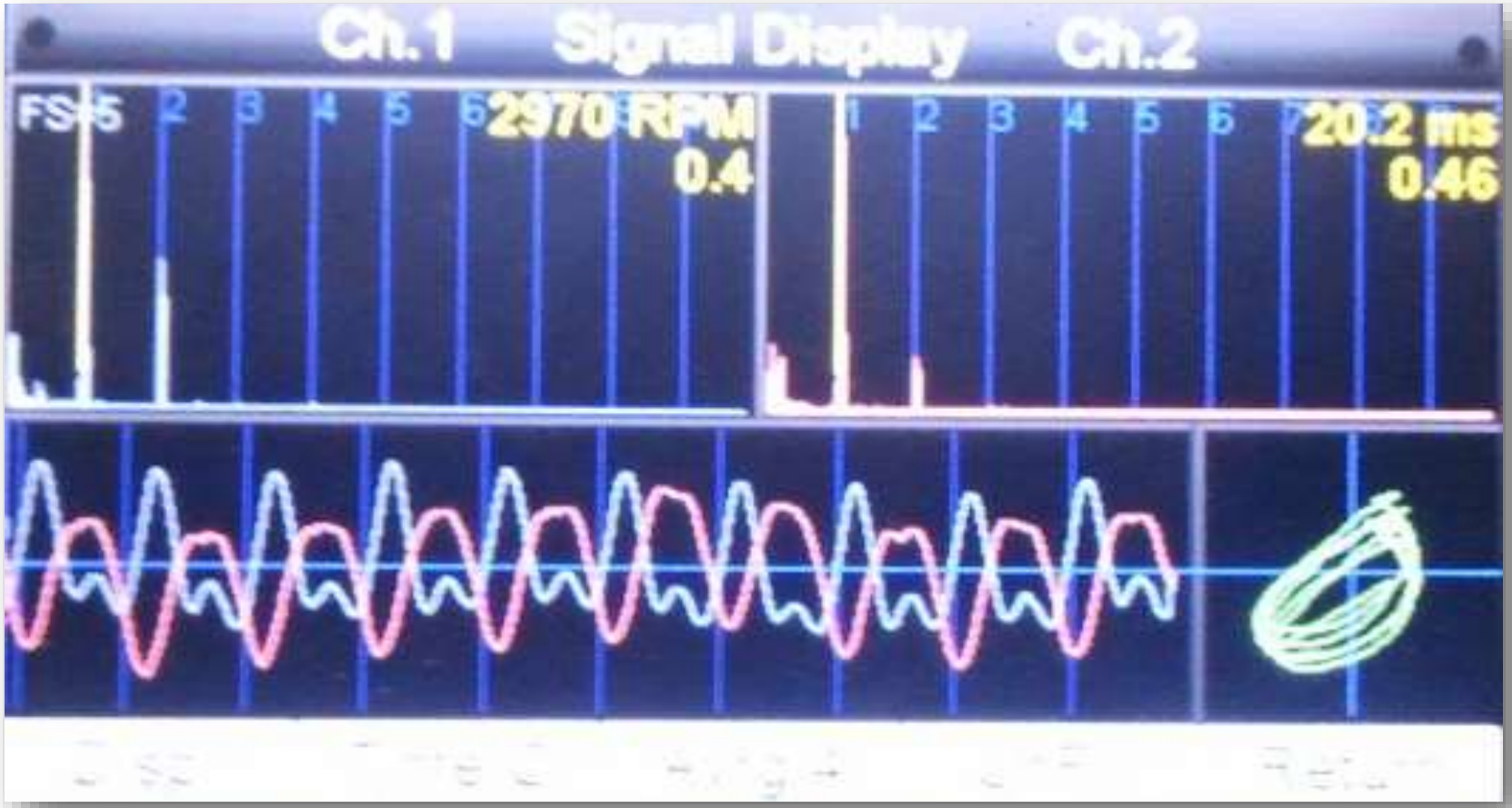

File Operations
2:41:23
3061 rpm
17.07
37 P-P mic
12.85
27 P-P mic
-18.29
361.6 ms
-18.29
Disp.
Setting
File
UnFill
Return

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.

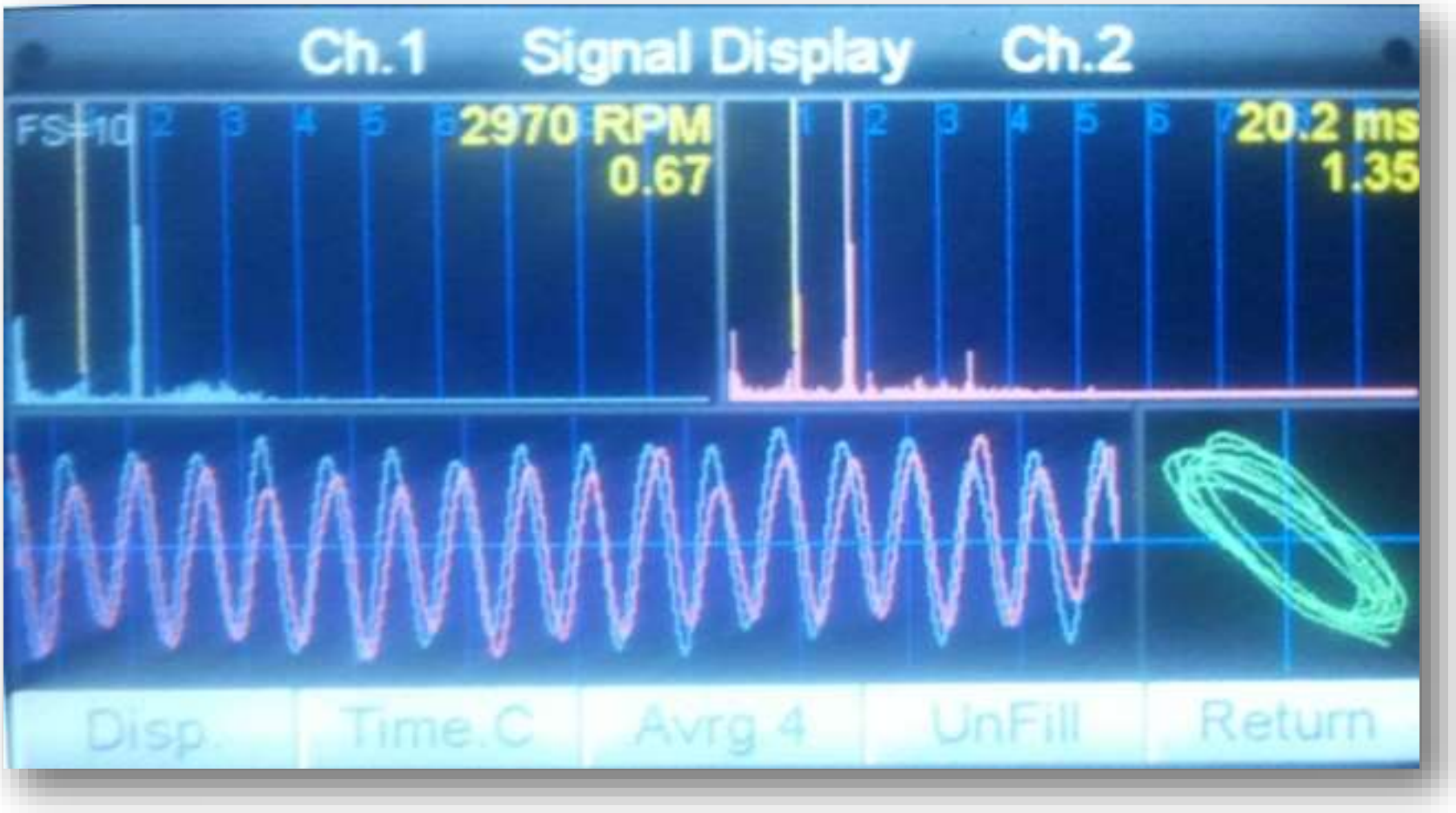


نمونه رفتار غیر خطی در اوربیت یاتاقان



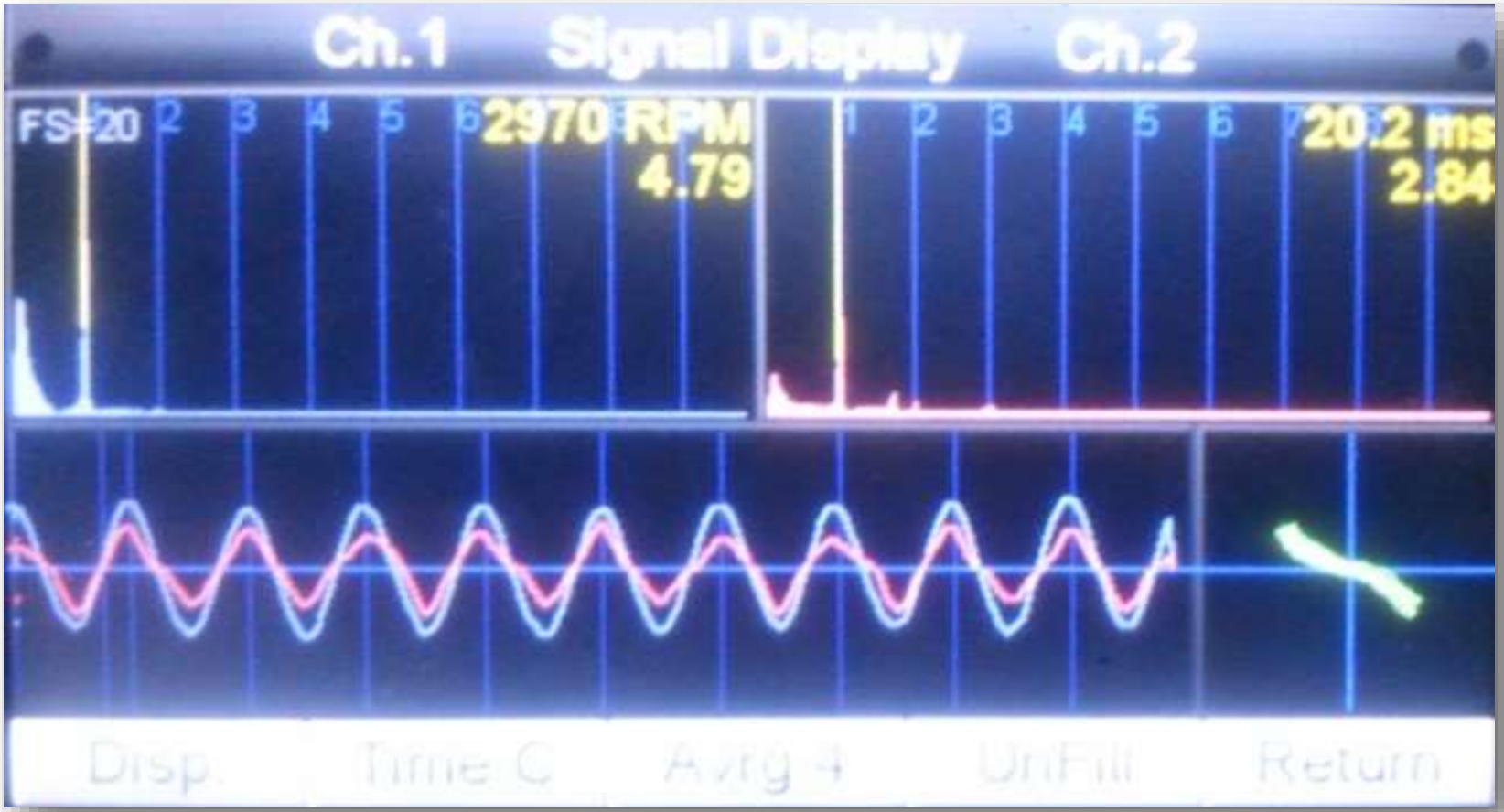
- نکته: رفتار غیر خطی جهت عمودی در شکل اوربیت مشهود است. بنابراین برای محاسبات بالانس انتخاب جهت افقی مناسب تر است.

نمونه اوربیت های یاتاقان در حالت عیب های مختلف



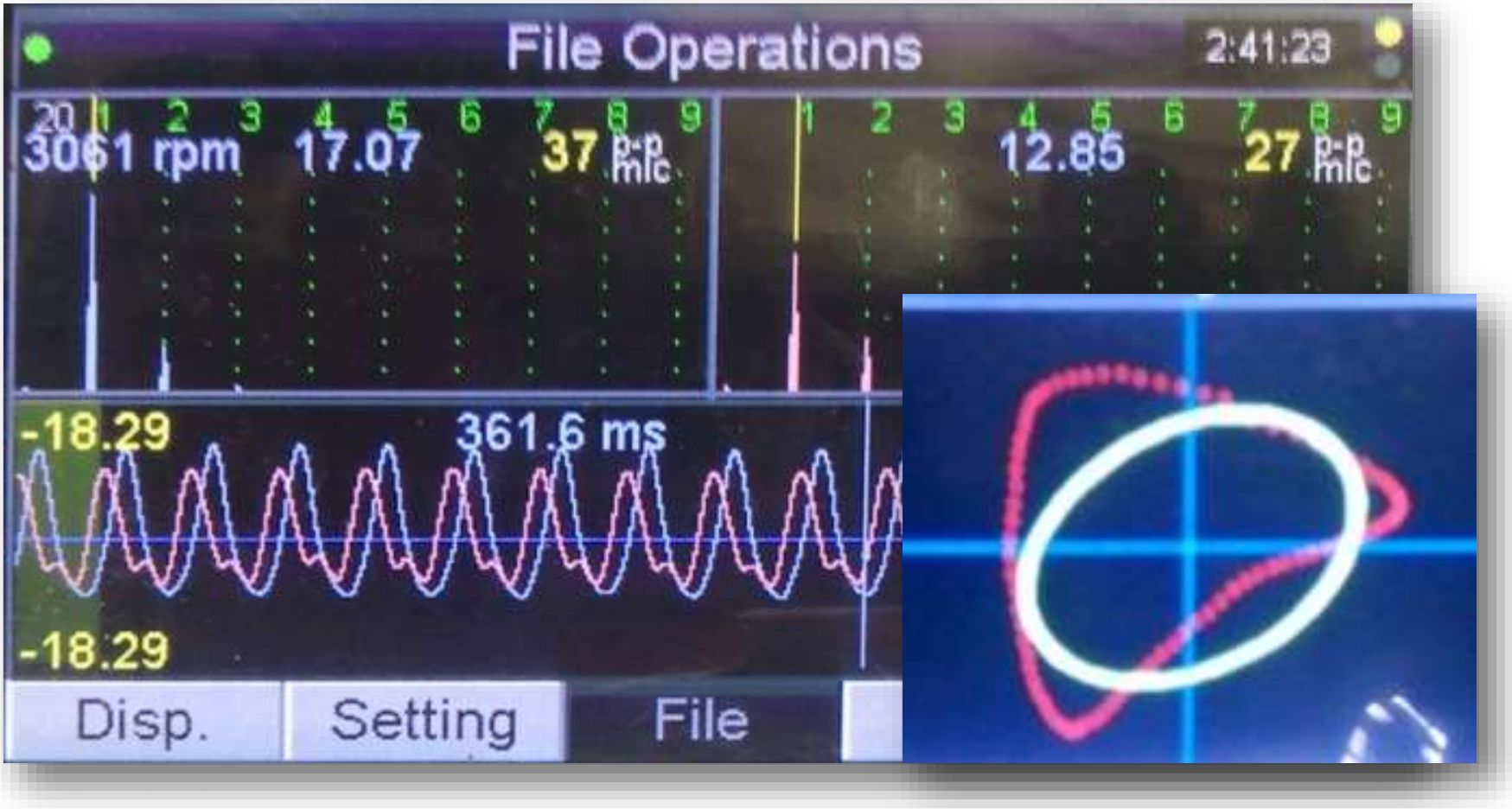
نابالانسی روتور توربین گازی 25MW سمت استارتر.

نمونه اوربیت های یاتاقان در حالت عیب های مختلف



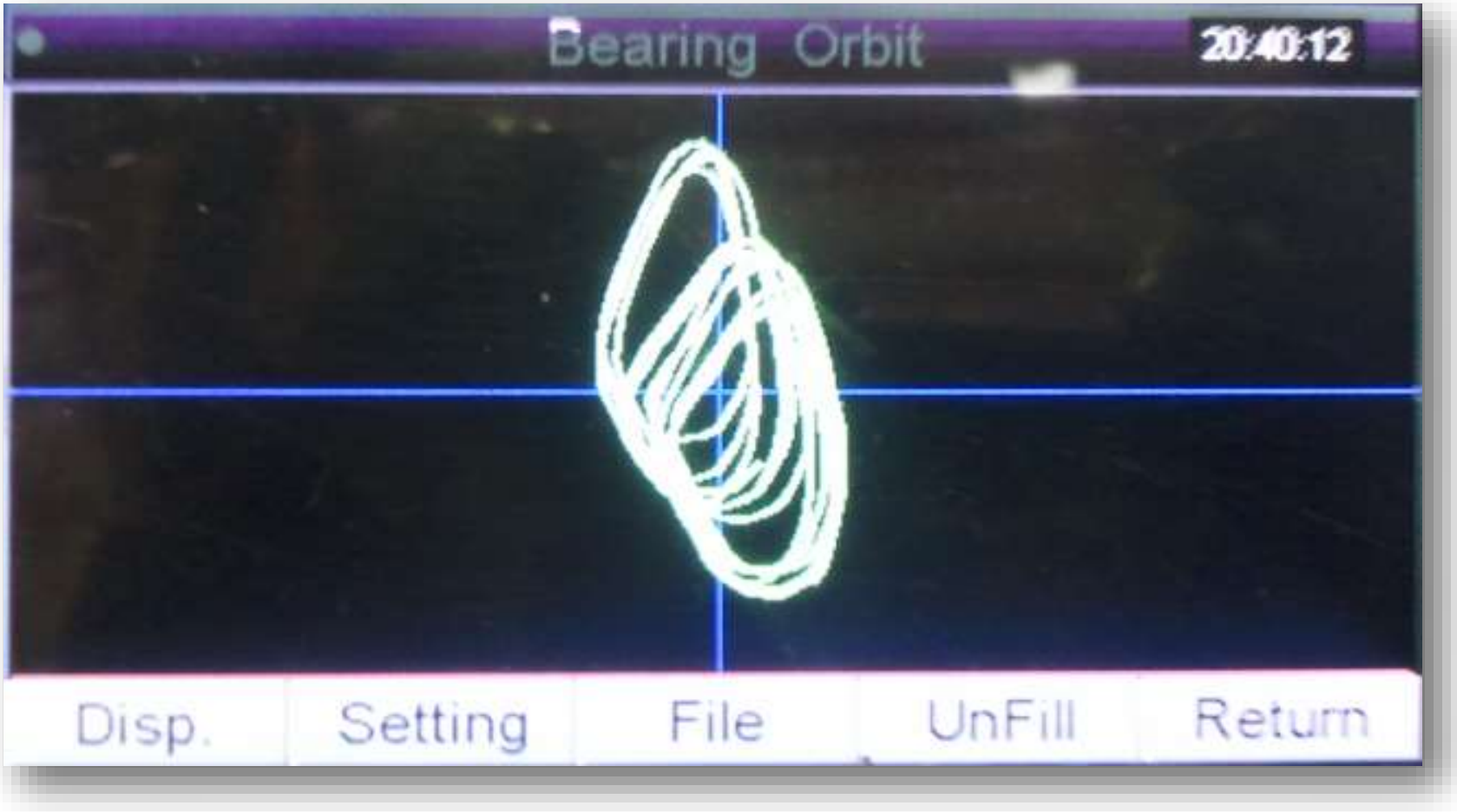
پیش بار در یاتاقان سمت اکسایتر ژنراتور 25MW اشکال در تنظیمات داخلی یاتاقان.

نمونه اوربیت های یاتاقان در حالت عیب های مختلف



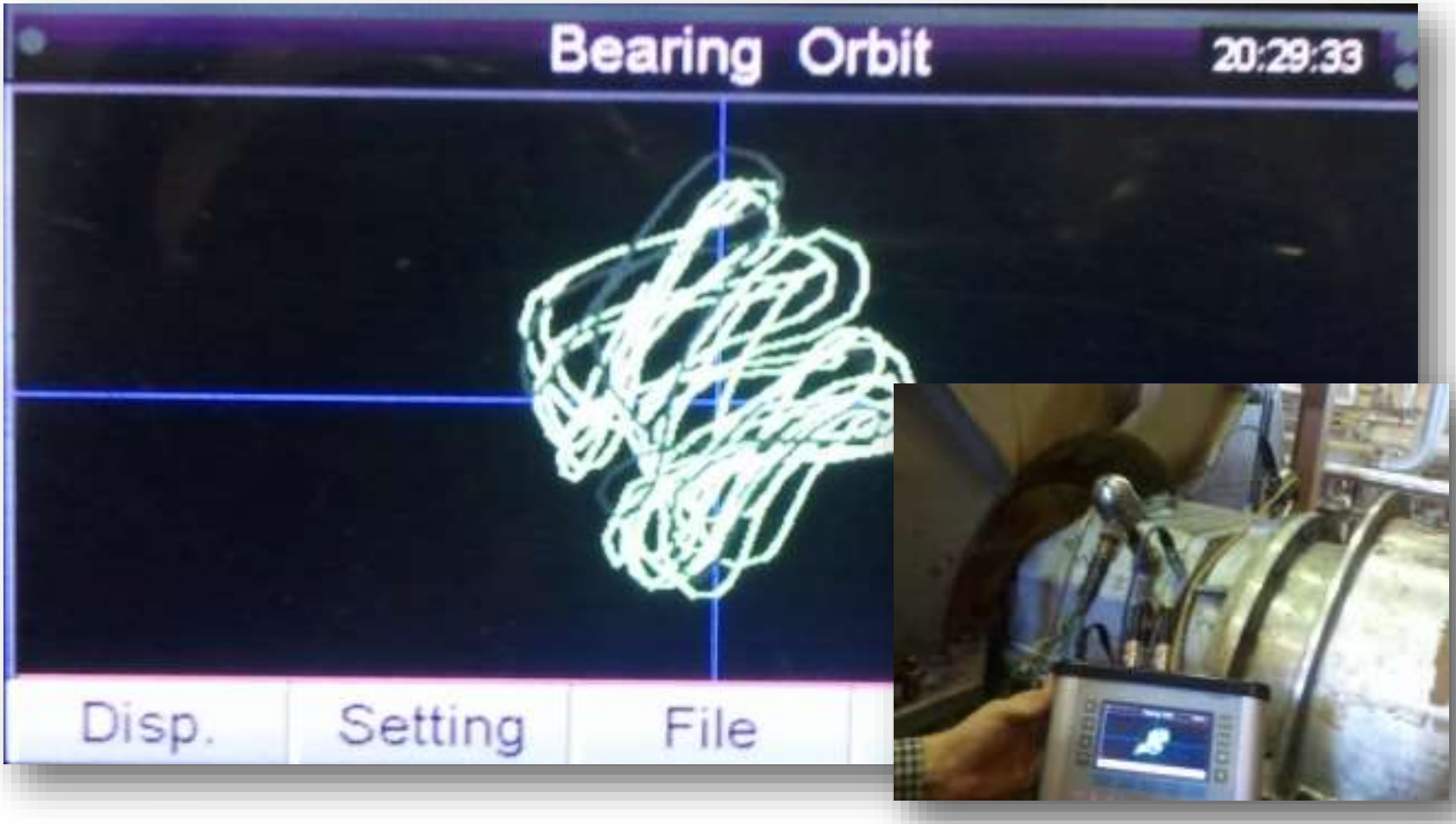
نابالانسی به همراه پیش بار در یاتاقان سمت آزاد ژنراتور 200 MW.

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.

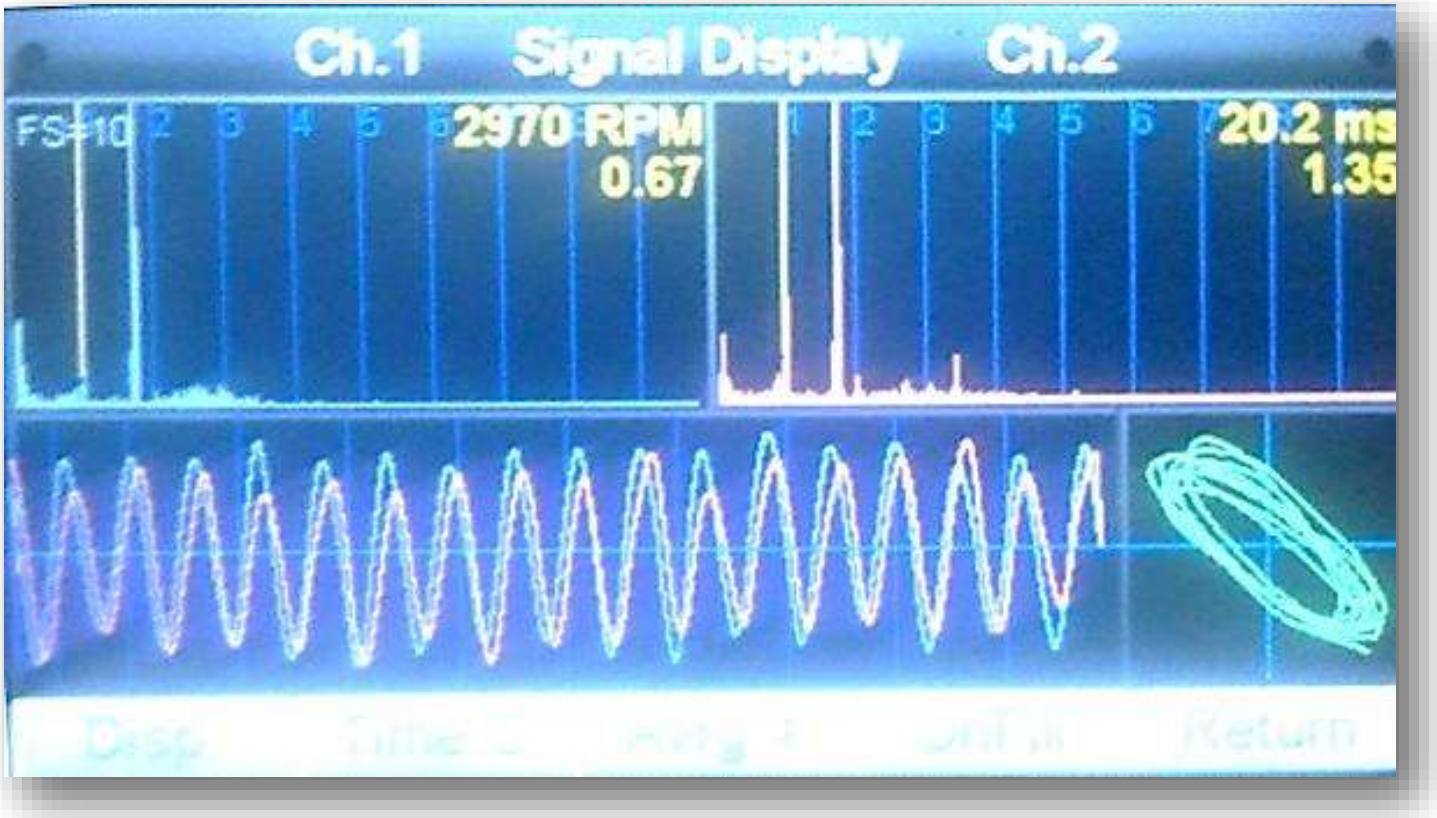
آنالیز فازی بدون سنسور مرجع فاز - دو نقطه هم فاز است: $\Delta\varphi \approx 0$

- 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: $0 < \Delta\varphi < 180$



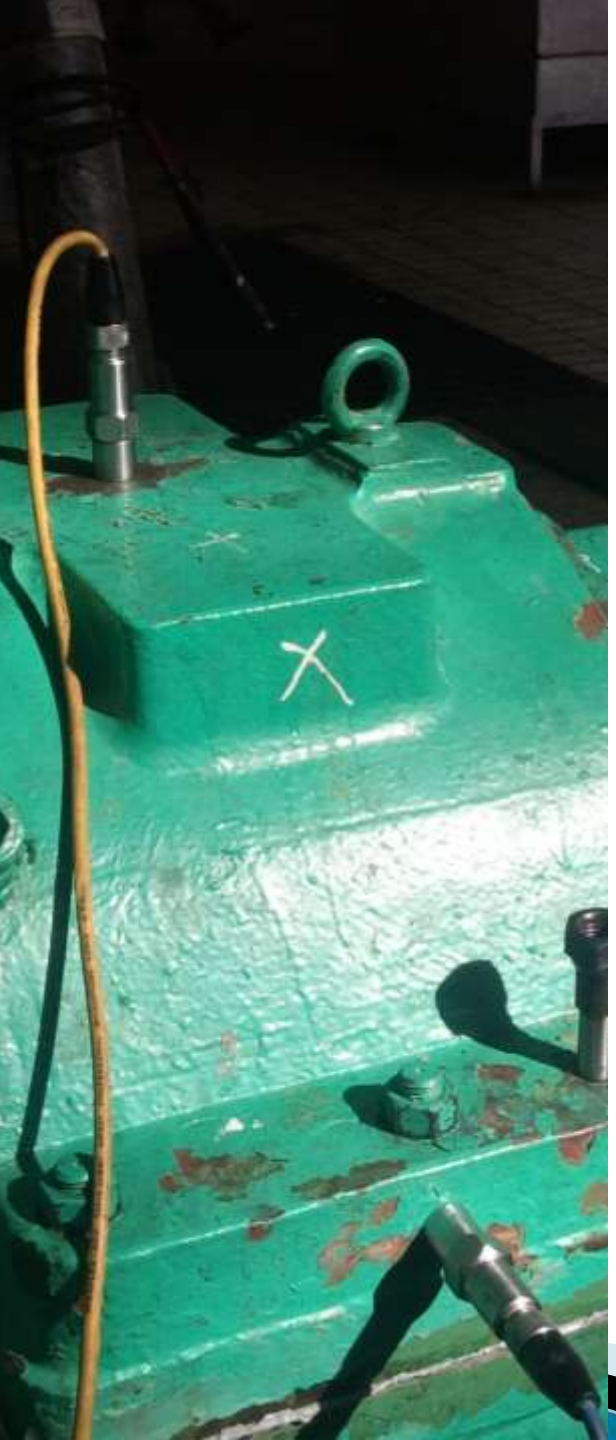
- اوربیت به شکل یک دایره یا بیضی مشاهده می شود.

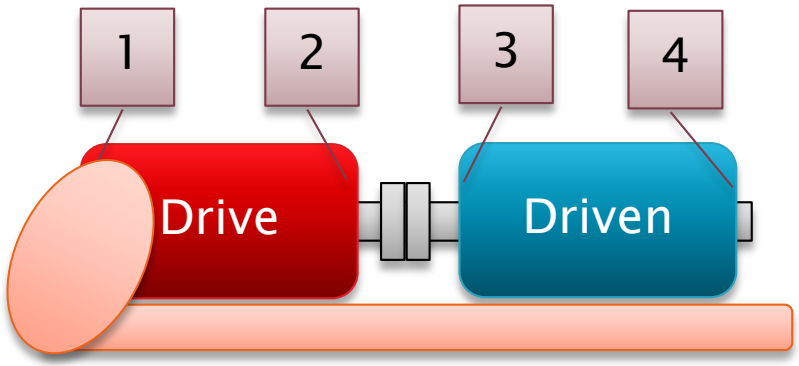
پویا نمایی حرکت یاتاقان

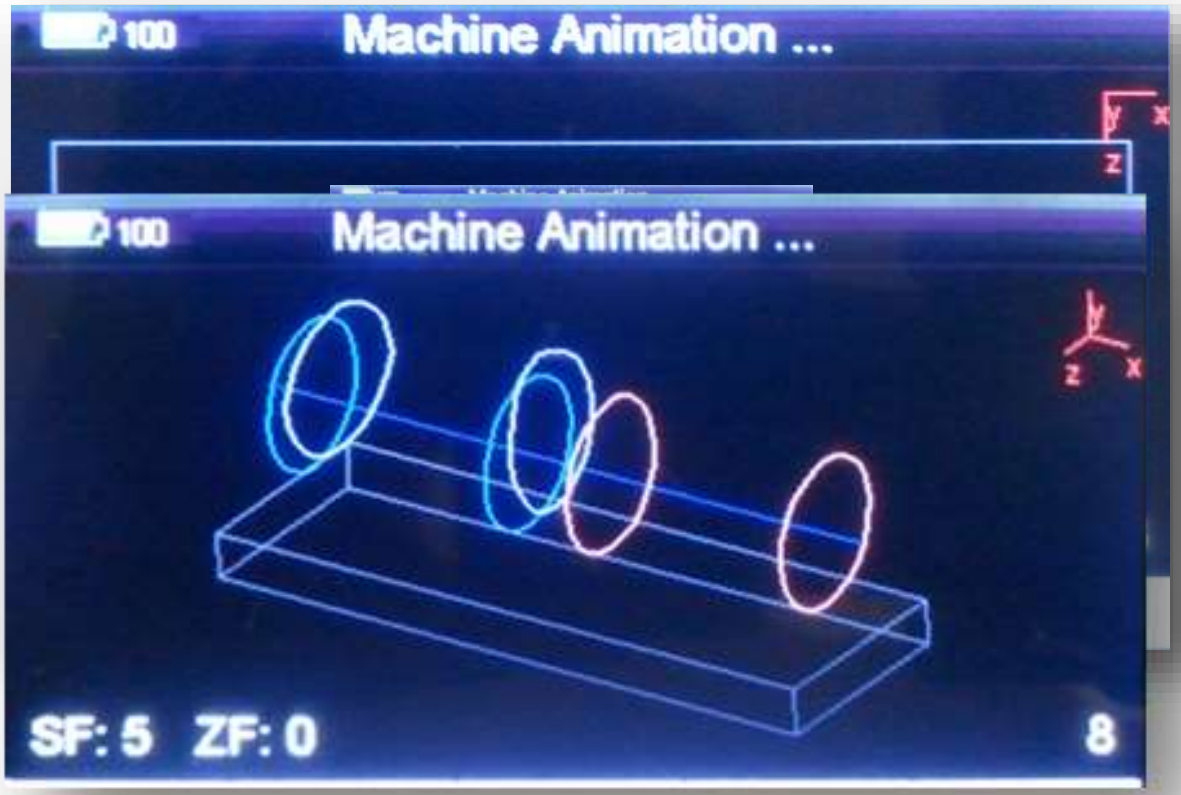
- برای پویا نمایی کافیست موقعیت جسم (یاتاقان) را در چند لحظه (فریم) از یک سیکل تکراری اندازه گیری و سپس نمایش داده شود. برای این کار علاوه بر اندازه گیری حرکت شعاعی (اوربیت یاتاقان) باید حرکت محوری نیز اندازه گیری شود.
- Animation

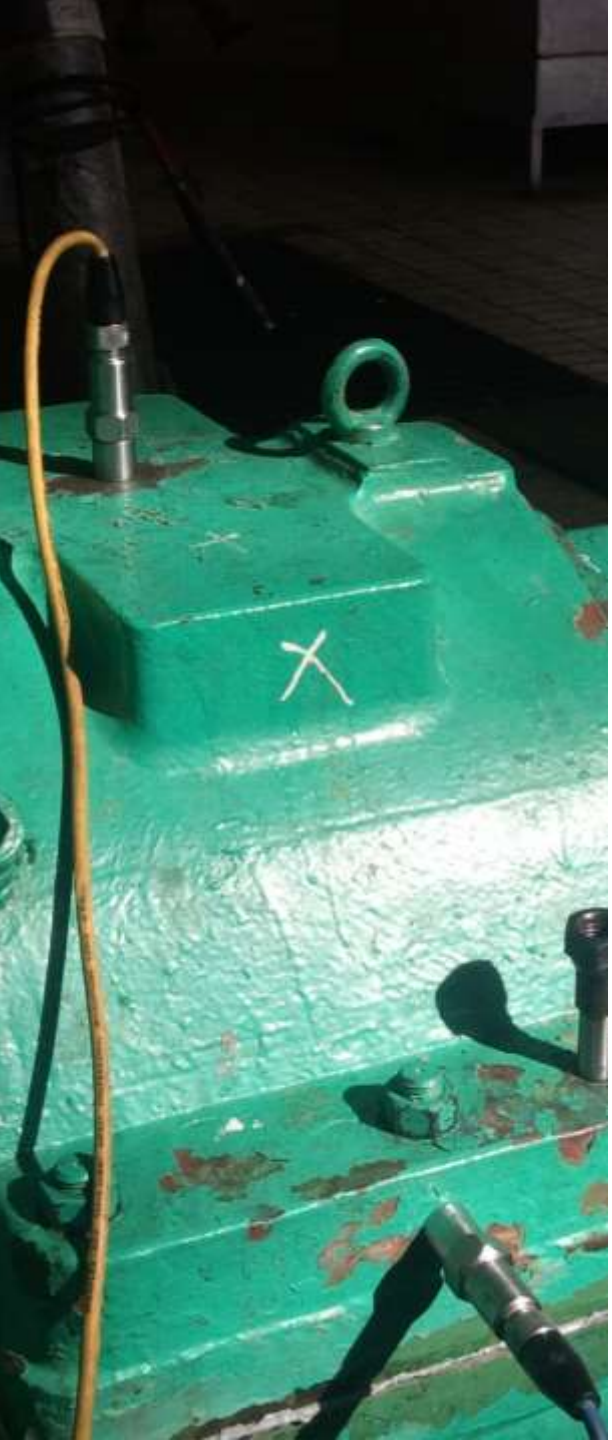
پویا نمایی حرکت یاتاقان

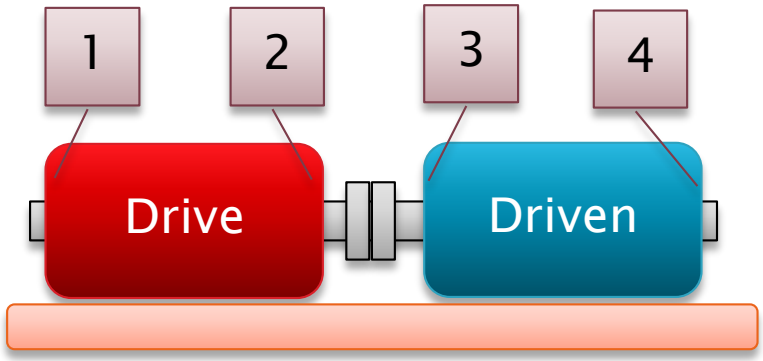
- اوربیت یاتاقان حاوی اطلاعات حرکت شعاعی است. حال اگر اطلاعات حرکت محوری را نیز به آن اضافه کنیم می توان حرکت عمومی یاتاقان را بدست آورد.
- معمولاً اگر مجموعه یاتاقان (اطراف شافت نه پایه یاتاقان) را صلب در نظر بگیریم، حرکت شعاعی را می توان برای کلیه نقاط اطراف یاتاقان یکسان با حرکت مرکز یاتاقان در نظر 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.

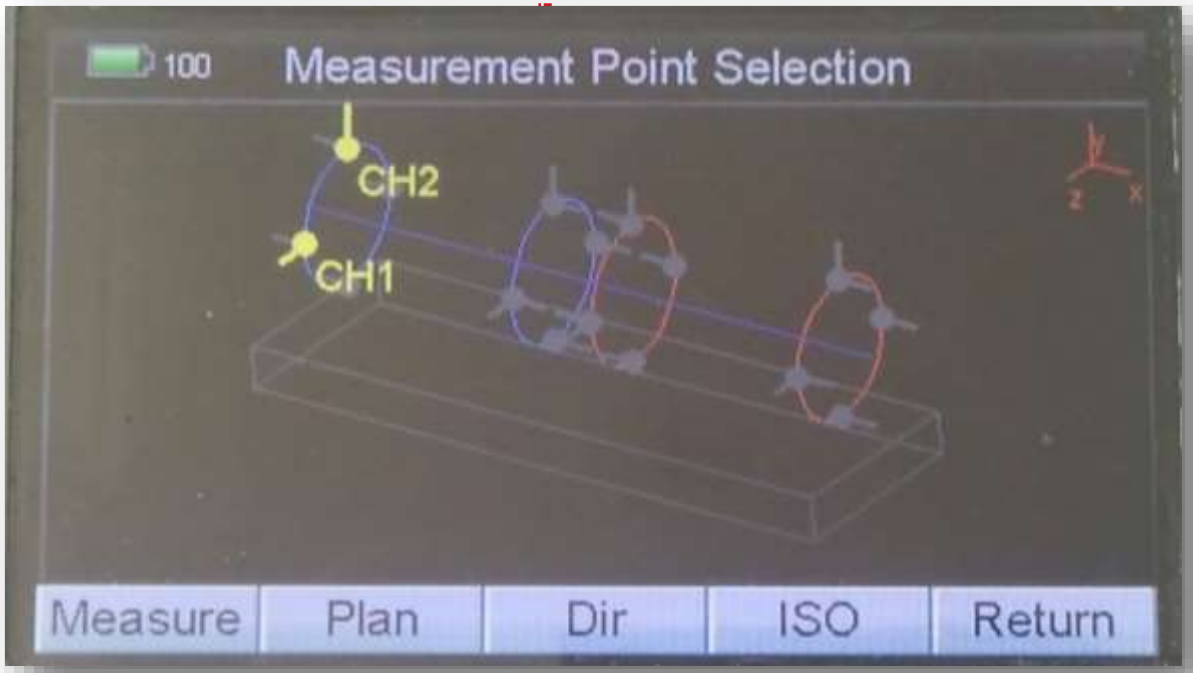



1
2
3
4
Drive
Driven

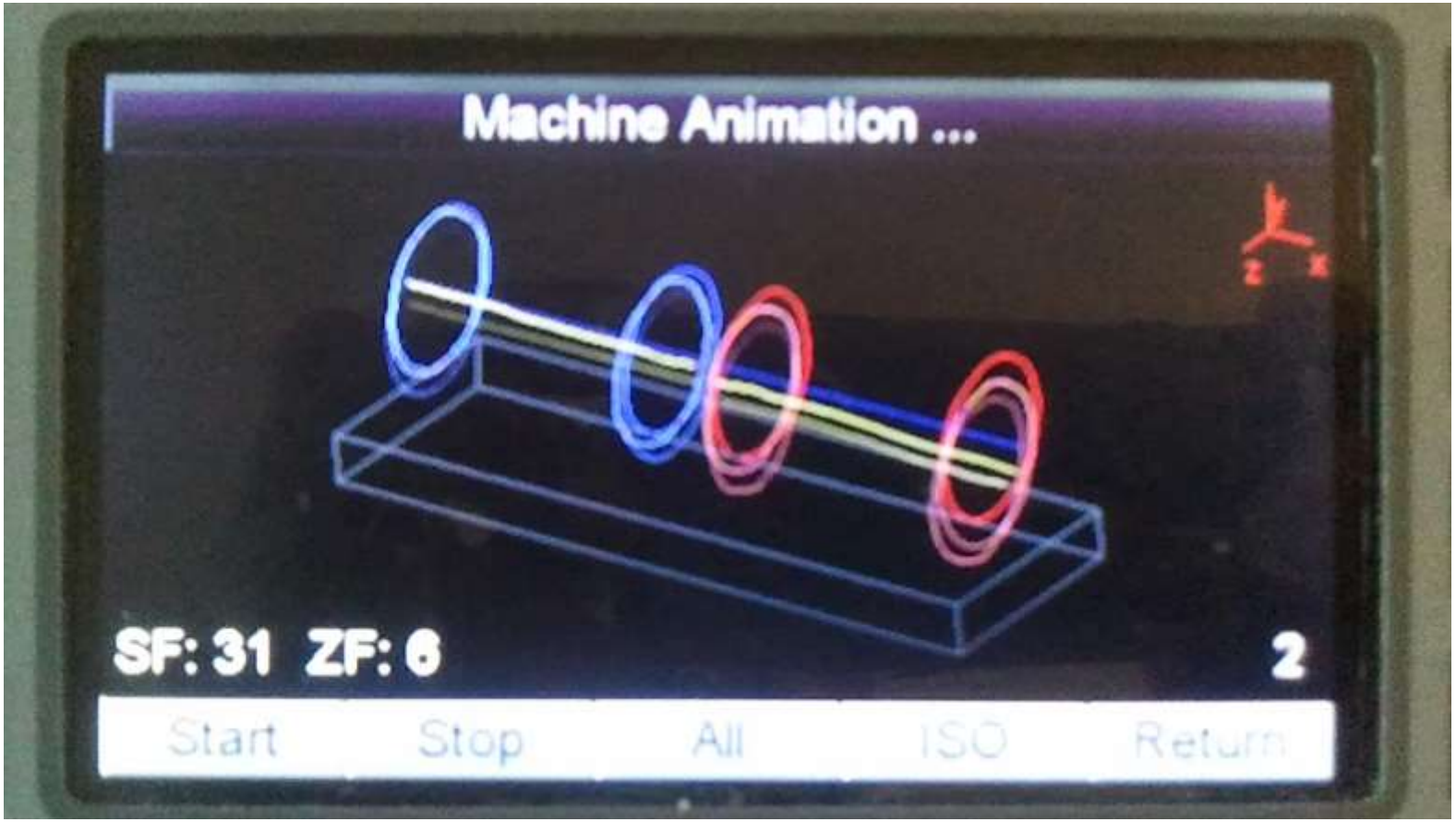

100
Machine Animation ...
100
Machine Animation ...
SF: 5
ZF: 0
8



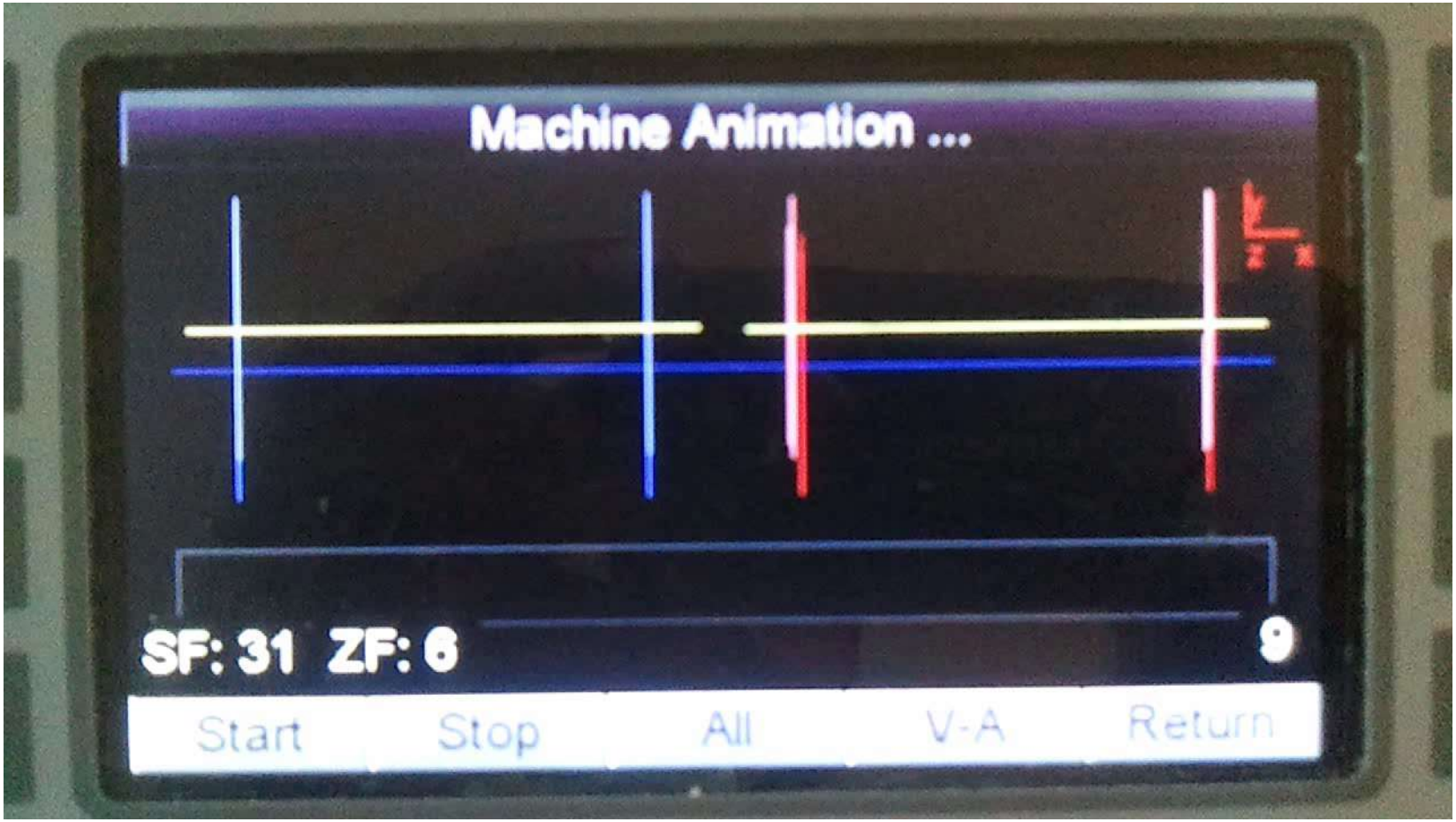

1
2
3
4
Drive
Driven


100
Measurement Point Selection
CH2
CH1
Measure
Plan
Dir
ISO
Return

نمونه هایی از پویا نمایی برای عیب های مختلف - نابالانسی

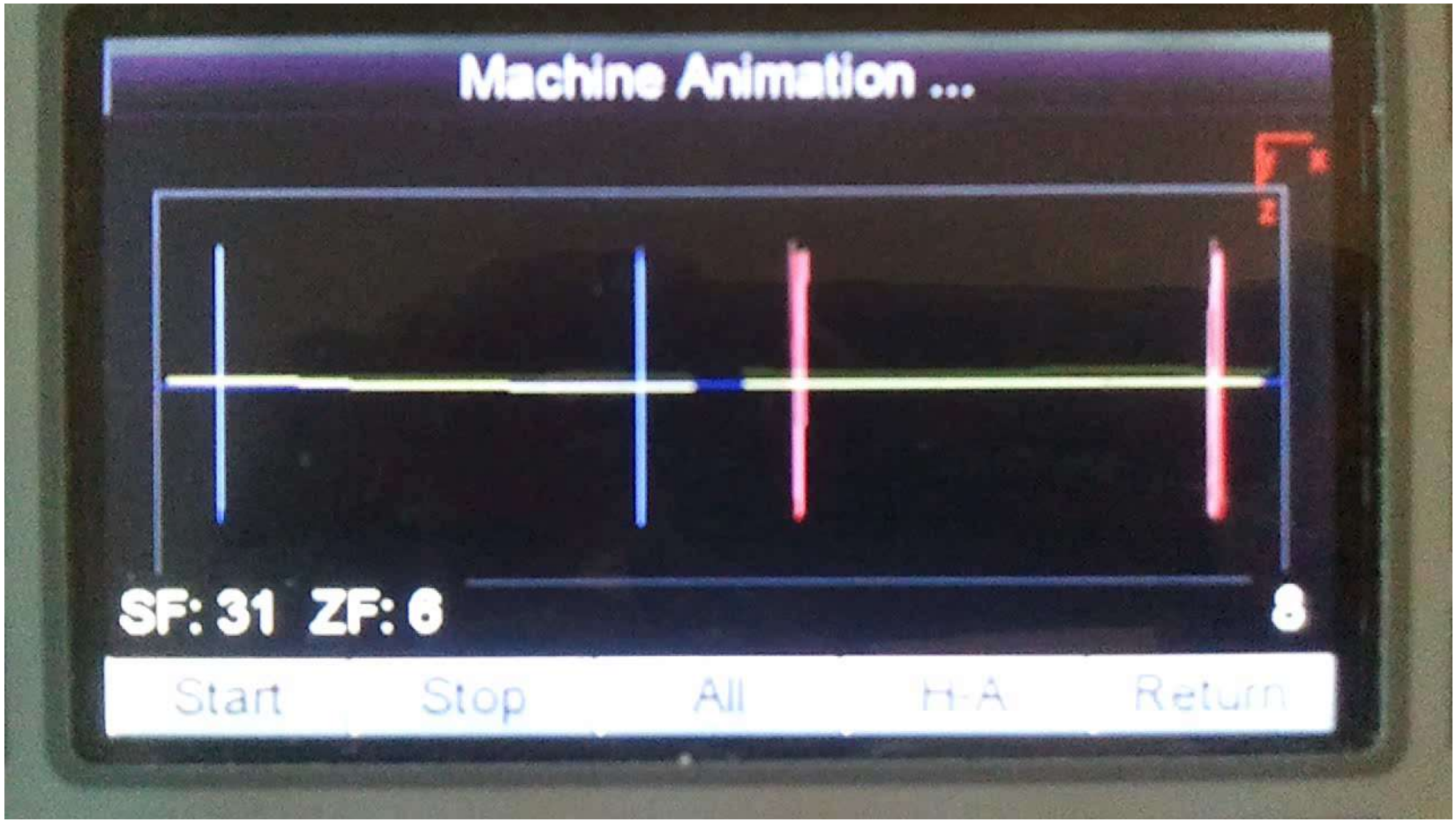


نمونه هایی از پویا نمایی برای عیب های مختلف - نابالانسی



نمونه هایی از پویا نمایی برای عیب های مختلف - نابالانسی

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

Motion Amplification Technology

Motion Amplification Technology

- تکنولوژی بزرگنمایی حرکت، یک تکنولوژی ابداعی جدید است که در آن با استفاده از دوربین های بسیار سریع و الگوریتم های پردازش تصویر پیشرفته، هر حرکت پیکسل تصاویر فریم فیلم مورد پردازش قرار گرفته و مانند یک سنسور حرکت کلیه نقاط را محاسبه می کند. در این تکنیک هر جابجایی، تغییر شکل و حرکت و لرزش که با چشم غیر مسلح قابل اندازه گیری نیست اندازه گیری و بزرگنمایی می شود. این تکنیک مانند ODS عمل کرده ولی برای کلیه پیکسل های تصویر امکان مشاهده حرکت ها را فراهم می سازد.
- با این تکنیک می توان کلیه محاسنODS را بدون نیاز به اندازه گیری های وقت گیر، تنها در مدت چند ثانیه بدست آورد.
- این تکنولوژی هنوز در ابتدای راه است و مشکلاتی مانند لرزش پایه از چالش هایی است که کارشناسان این تکنیک به دنبال بهبود آن هستند.

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.
- تکنیک بزرگنمایی حرکت، یک تکنولوژی رو به رشد است که در آینده می تواند جایگزین قدرتمندی برای ODS های مرسوم باشد.

پایان

از توجه شما سپاسگزارم

برای آشنایی با کاربردهای و مطالعات موردی به کانال تلگرامی زیر مراجع فرمایید:

https://t.me/TavatorSepahanCo
https://t.me/AliAkbarVakili