

ORDER TRACKING

Order Tracking is a general term describing a collection of software functions used for analyzing the mechanical dynamic behavior of rotating or reciprocating machinery for which the rotational speed can change over time. Unlike the power spectrum and other frequency-domain analysis standards where the changing variable is the frequency, Order Tracking functions present the data related to the variable rotating speed, i.e., RPM (revolution per minute).

The most useful measurements are order spectra and order tracks. An order spectrum gives the amplitude of the signal as a function of harmonic order of the rotation frequency. This means that a harmonic or sub-harmonic order component remains in the same analysis line independent of the speed of the machine.

The technique that observes the changes of any quantity vs. RPM is called tracking, as the rotation frequency is being tracked and used for analysis. Most of the dynamic forces exciting a machine are related to the rotation frequency so interpretation and diagnosis can thus be greatly simplified by use of order analysis.

Order tracks are simply the observations to the amplitude of the components with fundamental frequency or harmonics. It is one typical type of tracking. There are other types of tracking. For example, the user can track the FFT-based PSD spectra, a fixed band or an octave band etc.; all these can be called tracking.

With the CI Order Tracking package, the instrument can:

- Process a tachometer signal and give a high fidelity RPM measurement
- Measure the order spectra
- Measure the order tracks
- Measure the RPM FFT spectrum
- Measure the energy in fixed bands vs. RPM
- Measure the amplitude and phase of an order relative to the tachometer.

There are several different applications for order tracking. A discussion of some is given below.

The first application, often referred to Run Up/Run Down, is used to evaluate the noise or vibration dynamic response when RPM is used as a changing variable. In this case, the RPM range can be very large, from a few RPM to 10,000 RPM. Typical application tests are used in the automotive or aircraft engines. The measurements can be any physical quantities such as sound, displacement, velocity, acceleration, torque, etc. The analysis measure can be the amplitude or the power of an order, the energy over a fixed frequency band, a bin of octave filter, etc. The phase information of the responses to tachometer is less important in this type of application. In fact the rotating element might be hidden inside of mechanical system. The primary result for this type of measurement is the magnitude of the responses vs. RPM.

The second application is rotating machine analysis that focuses on the measurement of displacement or velocity of the rotors while it is rotating. The instrument measures the amplitudes of specific orders and their relative phase to a reference signal. The phase is calculated relative to the tachometer input or a separate reference input. This application is common for machine diagnosis and balancing. In

РЕДОВИ СЛЕДЯЩ АНАЛИЗ

Редови следящ анализ (Order Tracking) е общ термин, описващ колекция от софтуерни функции, които се използват за анализ на механичното и динамичното поведение на въртящи се или бутални машини, при които скоростта на въртене може да се променя с течение на времето. За разлика от мощностния спектър и други стандарти за анализ в честотната област, където променящата променлива е честотата, функцията за редово проследяване представя данни, свързани с променливата скорост на въртене, т.е. RPM (об./мин.).

Най-полезните измервания са редовите спектри и редови трасета. Редовия спектър дава амплитудата на сигнала, като функция на хармоничен ред на честота на въртене. Това означава, че хармонична или субхармоничен ред на компонента остава в анализа на една и съща линия, независимо от скоростта на машината.

Техниката, която следи промените на каквото и да е количество спрямо RPM се нарича проследяване, като честота на въртене се проследява и се използва за анализ. Повечето от динамичните сили възбуждащи машината са свързани с честота на въртене, така че тълкуването и диагностика по този начин може да бъде значително опростена, като се използва редовия анализ.

Редови трасета са просто наблюдения на амплитудата на компонентите с основната честота или хармоници. Това е един типичен тип проследяване. Има и други видове на проследяване. Така например, потребителят може да проследи FFT спектри, като PSD, фиксирана лента или една октава и т.н., всичко това може да се нарече проследяване.

С пакета за редови следящ анализ, анализатора може:

- Висока точност на обработка на RPM измерването от сигнал от тахометъра
- Измерване на редови спектри
- Измерване на редови трасета
- Измерване на RPM FFT спектър
- Измерване на енергия във фиксирани честотни ленти в зависимост от RPM
- Измерване на амплитудата и фазата в зависимост от оборотите/тахометъра.

Има няколко различни приложения за редови следящ анализ.

Някои от тях ще бъдат разгледани по-долу.

Първото приложение, често се нарича „Пуск/Стоп анализ“ и се използва за оценка на динамичната характеристика на шума и вибрациите, когато RPM се използва като променлива величина. В този случай, диапазон от обороти може да бъде много голям, от няколко оборота до 10000 RPM. Типични тестове се използват в автомобилни или самолетни двигатели. Измерванията могат да бъдат всички физически величини като звук, преместване, скорост, ускорение, въртящ момент и т.н. При анализа може да бъде измерена амплитудата или силата за даден ред (order), енергия за определен честотен диапазон, отделен октавен филтър, и т.н. Информацията за фазата при измерване с тахометъра е по-важно в този тип приложения. В действителност ротационния елемент може да бъдат скрити във вътрешността на механична система. Основният резултат за този вид измерване е измерването на амплитудата в зависимост от оборотите (RPM).

Второто приложение е анализ на ротационни машини, който се фокусира върху измерване на преместване или скоростта на роторите, докато тя се върти. Инструментът измерва амплитудите на конкретни редове и тяхната относителна фаза спрямо опорния/референтен сигнал. Фаза се изчислява спрямо входа на оборотомера или отделен опорен/референтен вход. Това приложение е обща за диагностика и балансиране на машини. В този случай, оборотите /RPM/ са стабилни или квази-

this case, the RPM is stable or quasi-stable. Order tracking technology is useful to increase the accuracy of the estimation of orders.

Order signals with phase are useful in the test of rotating machine in the Run Up/Run Down process. This is often presented as a "Bode Plot". The Bode Plot is a borrowed concept from control theory; it is a collection of Amplitude and Phase data over a changing speed range (i.e. Run Up or Coast Down). Some of the setup information depends on the rate of change of the RPM. The Run Up or Coast Down could take anywhere from a few minutes to a few hours (such as for a cold startup on a turbine). Other displays such as the orbit plot is useful as well.

The CoCo includes the ability to measure RPM based octave analysis and sound levels. This feature is similar to order tracks except that spectra are recorded in octave bands with A, B, C or Z frequency weighting. This feature is included in the Acoustic Analysis and Sound Level Meter CSA Templates instead of the Order Tracking Template. Refer to these sections for more details.

стабилни. Технология за редови следящ анализ е полезна за да се увеличи точността на оценката на редовете.

Редовите сигнали с фаза са полезни в тест на ротационна машина при „Пуск/Стоп анализа“. Това често се представя като "Бодe диаграма". Бодe диаграмата е заимствана от понятие от теория на управлението, това е събиране на данни за амплитудата и фазата през един променящ се диапазон на скоростта (т.е. при пускане или при спиране по инерция). Някои от информацията за настройката зависят от скоростта на промяна на оборотите. Пускане или спирането по инерция може да отнеме от няколко минути до няколко часа (като за студено пускане на турбината). Други представяне, като графиката на орбитата е също така полезно.

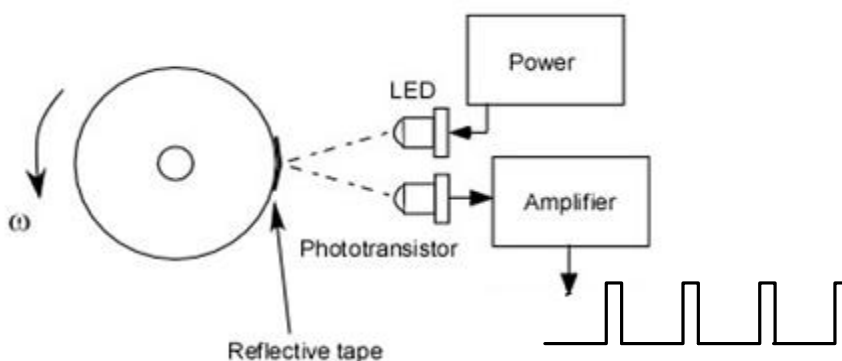
CoCo включва възможността за измерване на RPM базирано на октавния анализ и нива на звука. Тази функция е подобна на редово трасе, с изключение на спектри записани в октава с A, B, C или Z честотно претегляне. Тази функция е включена в Акустичния Анализ и звуковия шумомер и CSA шаблони за редови следящ анализ. Обърнете се към тези секции за повече подробности.

Tachometer Signal Processing and RPM Measurement

A **tachometer (tacho)** converts the angular velocity of a rotating shaft into an electrical signal, typically a voltage. It is common for calibrated instruments to provide a measurement of the shaft in units of revolutions per minute (RPM) or revolutions per second (RPS). Many modern rotating machines (electric motors, generators, pumps, turbines, IC engines, etc.) have integrated tachometers that can measure shaft angular velocity. An example of an optical tachometer is shown in the Фигура below.

Обработка на сигнали с тахометър и измерване RPM

Тахометъра (тахо) преобразува ъгловата скорост на въртящ се вал в електрически сигнал, обикновено напрежение. Той е общ за калибрирани инструменти, за да се осигури измерване на вала в единици оборота в минута (RPM) или оборота в секунда (RPS). Много съвременни въртящи машини (електродвигатели, електрически генератори, помпи, турбини, ДВГ и т.н.) имат интегрирани тахометри, така че може да се измери ъглова скорост на вала. Пример за оптичен тахометър е показано на фигурата по-долу.



■ фигура 1. Оптичен тахометър

The goal of tacho signal processing is to get a clean and stable RPM reading. The tacho signal must be carefully processed to provide a base of tracking. Any order tracking results can only be thought of as being as accurate as the tachometer signals that were used to estimate the instantaneous frequency of the order in the analysis process. If the quality of the tachometer channel is poor, the results from all other channels will be poor or even unreliable.

In old analog methods, tacho channels were conditioned with a tracking ratio tuner with a phase

Целта обработката на тахо сигнала е да получите чисто и стабилно четене на RPM. Тахо сигнал трябва внимателно да се обработват с цел предоставянето на база за проследяване. Всички резултати за точно проследяване на редовете може да са тахо сигнали, които се използват, за да се прецени моментната честота на реда в процеса на анализ. Ако качеството на тахо канал е лошо, резултатите от всички други канали ще бъдат слаби или дори ненадеждни.

При старите аналогови методи, тахо каналите бяха с тунер за проследяващо съотношение с фазов затворен контур.

lock loop. The disadvantage of this method is the limited slew rate and the use of complex hardware. To overcome these limitations various digital tachometer processing methods have been developed.

From hardware design point, there are two ways to implement a tachometer input channel: use a dedicated tachometer channel with a digital counter, or use an analog input channel.

Dedicated tachometer channel using counter

Using a dedicated tachometer channel, usually without A/D converter, has been popular. This hardware approach contains its own tachometer clock which runs at a much higher speed; typically in MHz. This tachometer hardware also contains special counters which maintain a continuous counter reading to avoid skipping any triggered cycles of the tachometer signal. There is also an option to allow these counters to "average" several tachometer periods for cases when the input tachometer frequency is very high.

Using Analog Input Channel

Alternatively, some systems use an analog input data channel as a tachometer channel. In this case, the tachometer clock is actually the sample rate of the data channels. This sample rate usually limits the tachometer frequency range since the tachometer range is now set by the input data frequency range requirement. In addition, due to the "frame processing" nature of some not-so-well designed input sampling processes, some instruments may be limited to how they acquire the tachometer signal. This restriction usually means they get several tachometer cycles in every data frame. The result is often an "averaged" value which is okay unless the tachometer signal is changing frequency during the data frame event, which is often the case.

With the advances of electronics and lower cost of electronic components cost is less of a concern. The approach of dedicated tachometer channel with a digital counter, without A/D, may or may not be the best choice.

The CoCo-80/90 can use any of the data channel as tachometer channel. For simple interface design, usually channel 1 is used for the tachometer. While the data input channel is used as a tachometer measurement, the special hardware circuitry allows this data channel to sample at the highest possible sampling rate. In the other words, the accuracy of tachometer speed measurement is depending on the current range of the analysis frequency. This technique has several obvious advantages:

- The time domain signal of the tachometer input is transformed by A/D converter into a digital signal. The user can observe the pulse trains of the tachometer signal and set threshold arbitrarily.
- Accurate phase information can be obtained relative to each data channel because the tachometer channel, which is fed by high frequency sampling counter, is synchronized with data channels.
- The RPM estimation is not influenced by the current data sampling rate.

Недостатъкът на този метод е ограничена скоростта на завъртане и използването на сложни хардуер. За да се преодолеят тези ограничения различни цифрови Тачо методите на преработка са били разработени.

От хардуерна гледна точка на дизайн, има два начина за изпълнение на тахо входен канал: използване на специален тахо канал с дигитален брояч, или да се използва аналогов входен канал.

Собствен тахо канал, използван като брояч

Използването на собствен тахо канал, обикновено без A/D конвертор, е било популярно. Този хардуерен подход съдържа собствена тахо часовник, който работи на много по-висока скорост, обикновено в MHz. Този тахо хардуер също така съдържа специални броячи/таймери/, които поддържат непрекъснато броящо четене, за да се избегне пропускане на цикли на тахо сигнала. Налице е също така опция, за да се даде възможност на тези броячи да "усреднят" няколко тахо периода за случаите, когато на входа тахо честота е много висока.

Използването на аналогов входен канал

Като алтернатива, някои системи използват аналогов входен канал за данни като тахо канал. В този случай, тахо часовникът всъщност, е честотата на дискретизация на канала за данни. Тази честота на дискретизация обикновено ограничава тахо честота от изискването за входния честотен диапазон на данните. Освен това, поради естеството на някои не толкова добре проектирани входни процеси за снемане на данни "обработка на блок", някои инструменти могат да бъдат ограничени за това как те придобиват тахо сигнала. Това ограничение обикновено означава, че те ще се получат няколко ТАХО цикъла във всеки блок/рамка/ данни. Резултатът често е "усреднена стойност", която е наред, освен ако тахо сигнала си променя честотата по време на това събитие на данни, което често се случва.

С напредъка на електрониката и по-ниски разходи на електронни компоненти на разходите са по-малък проблем. Подходът на специален тахо канал с цифров брояч, без A/D, може или не може да бъде най-добрият избор.

CoCo-80 може да използвате всеки канал за данни като тригериращ тахо канал. За опростяване на интерфейсия дизайн, обикновено канал 1 се използва за тригериращ. Когато канал за въвеждане на данни се използва като измерване на обороти, специалната хардуерна схема позволява на този канал за данни да се сканира данните с възможно най-високата честота на дискретизация. С други думи, точността на измерване на скоростта на въртене зависи от текущия диапазон на честота на анализ. Тази техника има няколко очевидни предимства:

- Времевия тахо сигнал на входа е трансформиран от A/D конвертор в цифров сигнал. Потребителят може да наблюдава импулсите на тахо сигнала и да определи прага произволно.
- Точна информация за фаза може да бъде получена по отношение на всеки канал за данни, защото тахо каналът, който се захранва с високо честотен брояч при сканирането, се синхронизира с каналите за данни.
- Определянето на RPM не се влияе от текущата честота на дискретизация.

High Pulse per Rev

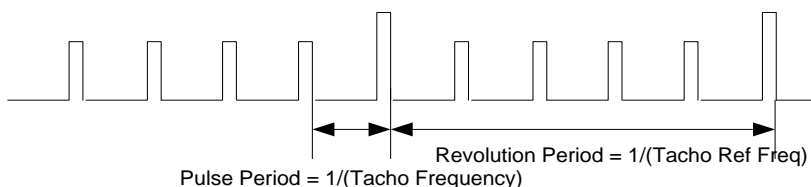
Pulse per Rev is defined as the number of pulses per revolution. Pulse per Rev. must be defined by the user so the instrument can calculate the reference frequency of tacho using tacho frequency. The relationship is:

Tacho Reference freq = Tacho freq / Pulses per Rev

Високи пулсации за оборот

Пулсации за оборот се определят като броят на импулсите на оборот. Пулсации за оборот трябва да бъдат дефинирани от потребителя, така че инструментът може да се изчисли референтната честота на тахометъра използвайки тахо честотата. Връзката е:

Тахо референтна честота = Тахо честота / Пулсации за оборот



■ фигура 2

In most rotor tests, especially in balancing, the Pulses per Rev is simply 1. However, in other cases, such as in flywheel or geared data measurement, the Pulses per Rev can be as high as hundreds. To deal with this situation, a dedicated tacho channel with high speed counter might work better.

In the CoCo-90, in addition to using any data channel as tacho input, a dedicated tacho channel is installed to measure a high speed RPM, or deal with high Pulses/Rev or digital TTL trigger. The counter speed is about 25MHz. This second choice provides a more versatile solution to the user for their applications.

The special tacho hardware design on the CoCo system with the Order Tracking package offers the most accurate possible approach for performing a wide range of Real-Time machinery-related vibration and noise analysis.

В повечето роторни тестове, особено в балансиране, **пулсациите за оборот** е просто едни. Въпреки това, в други случаи, като в маховик или данните от измерване на зъбни предавки, **пулсациите за оборот** може да бъде по-високи, дори със стотици. За да се справят с тази ситуация, отделен тахо канал с брояч с висока скорост може да работи по-добре.

В Сосо-90, в допълнение към използването на всеки канал за данни като тахо вход, има отделен тахо канал инсталиран за измерване на високо RPM скорост, или за справяне с високи обороти/ или цифров TTL тригер. Броячът на скоростта е около 25MHz. Този втори избор осигурява по-гъвкаво решение на потребителя за техните приложения.

Специален хардуерен тахо дизайн на CoCo системата за редови следящ анализ предлага възможно най-точен подход за извършване на широка гама от анализ в реално време на машини, свързани с вибрациите, както и анализ на шум.

Pulse Detection

A good tacho processing device should allow the user to see the tacho signal in its original time waveform visually, and set the Pulse per Rev., the threshold of pulse detection. This will help setup the tachometer and diagnose any problems quickly. In the CoCo hardware, a special display window is created so the user can switch between the RPM trace and the tacho original time waveform displays conveniently. The pulse detection threshold can easily be controlled by using Up/Down buttons.

Откриване на пулсациите

Добро устройство за обработка на тахо процеса, следва да позволи на потребителя да вижда визуално тахо сигнала в оригиналната си времева форма. Това ще ви помогне да се настрои тахометъра и да диагностицирате проблеми бързо. В CoCo хардуера, е създадена специална дисплей, така че потребителят може да превключват между следене на оборотите и показване на времевата форма на тахо сигнала. Прага на реагиране може лесно да се контролира с помощта на бутоните нагоре / надолу.

Order Tracks and Order Spectrum

Knowledge of the rotating speed allows presentation of measurement results in the angle and order domains, corresponding to the time and frequency domains. An order is a frequency normalized with some reference frequency, e.g. the shaft frequency. This means that the order of a vibration component in the order spectrum indicates the number of vibration cycles per shaft revolution.

The magnitude, which can be measured using EU_{pk} , EU_{rms} or EU_{rms}^2 , of an order is the measurement extracted through a tracking filter with the center frequency located at this frequency. Multiple measurements of a range of orders will construct a so called Order Spectrum. An order power spectrum measurement gives a quantitative description of the amplitude, or power, of the orders in a signal. It

Редови трасета и редови спектри

Познаване на скоростта на въртене дава възможност за представяне на резултатите от измерванията в ъгъл и ред, съответстващи на времето и честотата. Реда(порядък) е честотно нормализиран с някоя референтната честота, например честотата на вала. Това означава, че вибрациите в реда на спектър показват броя вибрационни цикли за оборот на вала.

Величина, която може да се измерва като EU_{pk} , EU_{rms} или EU_{rms}^2 на реда е измерването, получена чрез филтър с проследяване на централната честота, разположени в тази честота. Няколко измервания на диапазон от редовете ще изгради т.нар редови спектър. За измерване на спектъра на мощността дава количествено описание на амплитудата, или мощност на редовете в сигнала. Тя осигурява добра видимост на всички редови компоненти на сигнал. Това може да ви помогне да

provides a good view of all order components of a signal. This can help you find significant orders and compare the level of different order components

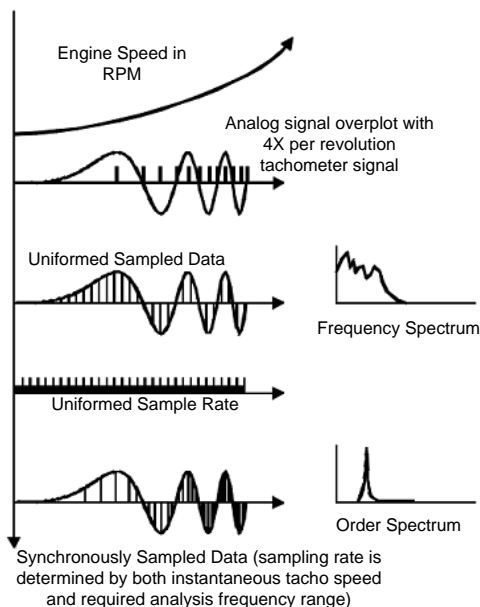
There are two methods to perform rotationally coherent sampling, phase-locked frequency multipliers and digital re-sampling. Phase-locked frequency multipliers were mainly used in early work. They generate sampling pulses based on a rotational reference signal. These sampling pulses control the sampling process. Note that the sampling frequency will depend on the rotational speed, and thus an adjustable anti-aliasing filter is needed. This complicates the method considerably. In the digital re-sampling technique, the time signal is conventionally sampled together with some rotational reference signal. The time signal is then digitally re-sampled to the angle domain by interpolation techniques. The rotational reference signal can be acquired with a tachometer or an incremental pulse encoder.

The following picture shows conceptually how angle data re-sampling can be used to analyze vibrations from an engine during start up. Once the signal has been transformed into its angle domain, the FFT can be applied to analyze the order spectrum of the vibrations.

намерите значителни редове и да се сравни нивото на различните редови компоненти.

Има два метода за извършване следящо въртенето съгласувано сканиране/семплиране/, фазови-заклучени множители на честотата и цифрово повторно сканиране/семплиране/. Фаза заключени множители на честота се използват предимно в началото на работата. Те генерират импулси за вземане на проби, базирани на ротационен референтен сигнал. Тези вземане на проби импулси контролират процеса за вземане на проби. Имайте предвид, че честотата на вземане на проби ще зависи от скоростта на въртене, и по този начин е необходим регулируем Anti-Aliasing филтър. Това значително усложнява метод. В техниката цифрово за вземане на проби, сигнал е условно вземане на проби заедно с някои въртене референтен сигнал. Времето сигналът се цифрово отново в извадката на ъгъла на домейн чрез интерполация техники. Опорния сигнал на въртене може да бъдат смет с тахометър или инкрементален енкoдерен импулс.

Следващата снимка показва концептуално как може да се използва повторно вземане на данни от ъгъла за анализиране на вибрациите от двигателя при стартиране. След като сигналът бъде трансформиран в ъгловата област, FFT може да бъде приложен за анализиране на спектъра на реда на вибрациите



■ фигура 3. Ъглово пре-семплиране на данни

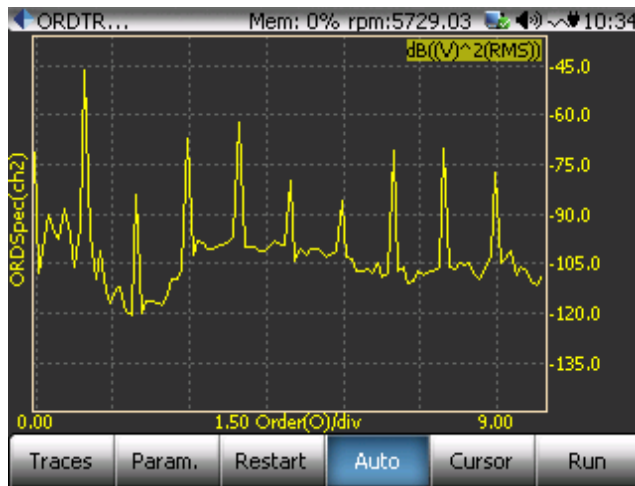
The last plot in the picture shows that the sampling rate will be determined by both instantaneous tachometer speed and required analysis frequency range.

In the CoCo system, the order tracks and order spectrum are computed with a proprietary technology that combines digital re-sampling, data decimation, and interpolation, DFT and FFT calculations.

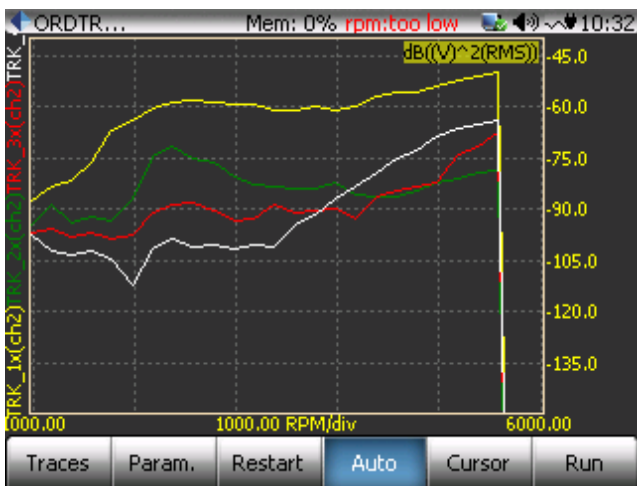
Three measurements can be generated from order tracking computation: Order Spectrum shown in **Error! Reference source not found.** Order Tracks shown in **Error! Reference source not found.**, and the 3D RPM Order Spectrum shown in **Error! Reference source not found.** The 3D RPM Order Spectrum is simply the a 3-dimensional view of the other two types of measurement. Another way to visualize these types of plots is that the order spectrum is a cross section of the 3D plot along a fixed RPM value while the order track is a cross section along a fixed order number. The relationship of them is:

Последният участък от фигурата показва, че честотата на дискретизация ще бъде определена както чрез моментна скорост на въртене, така и чрез необходимия честотен обхват на анализа. В системата CoCo редовите трасета и редовите спектри се изчисляват с патентована технология, която комбинира цифрово повторно вземане на проби, децимация на данни и интерполация, изчисления DFT и FFT.

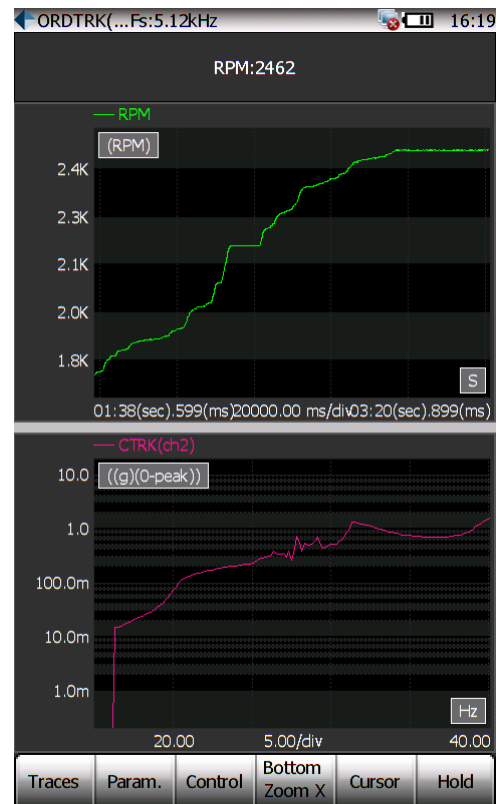
Могат да се генерират три измервания от изчисляването на проследяването на редове: Редовия спектър показан в **Грешка! Референтният източник не е намерен.** Редовите трасета показани с грешка! Не е намерен референтен източник и 3D RPM Редовия спектър показан в **Грешка! Референтният източник не е намерен.** 3D RPM Редовия спектър е просто триизмерен изглед на другите два вида измервания. Друг начин за визуализиране на тези типове участъци е, че Редовия спектър е напречно сечение на 3D графиката по фиксирана стойност на RPM, докато Редовото трасе е напречно сечение по фиксиран редови номер. Връзката между тях е показана на следните графики:

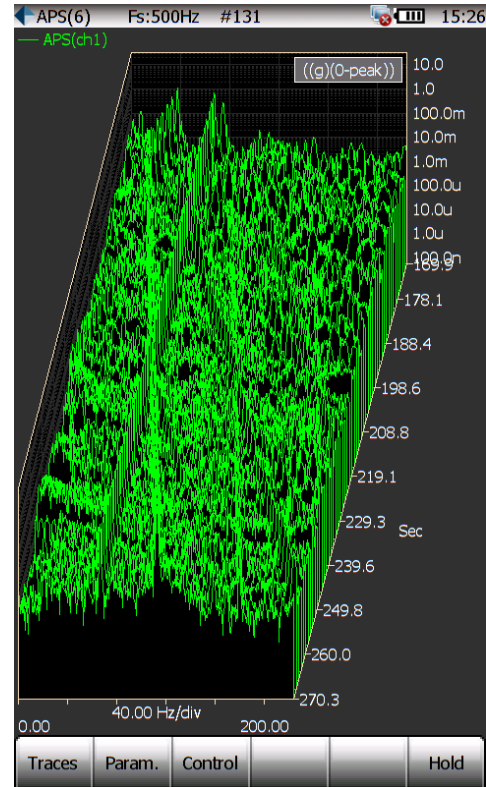
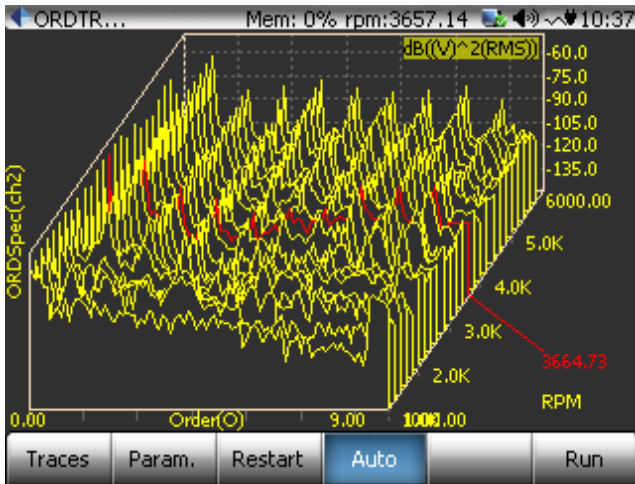


■ фигура 4. Типичен редови спектър / Typical order spectrum.



■ фигура 5 . Типични редови трасета / Typical order tracks.



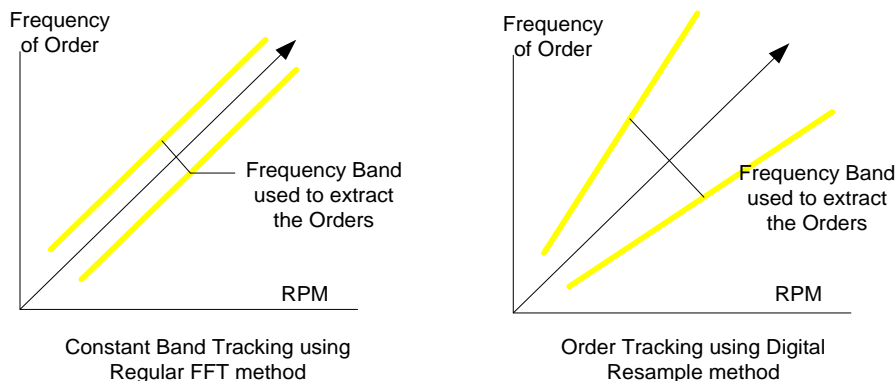


■ фигура 6. Типичен 3D редови водопаден плот. / Typical 3D order track waterfall plot

An important concept that must be introduced now is called delta order, Δ Order. In the FFT based frequency spectrum analysis, the frequency span and frequency resolution are fixed. The capability of discriminating frequency components is equal in both low and high frequency. In rotating machine analysis, we want to have better analysis resolution in the low frequency than that in high frequency. For example, if the rotating speed is at 60 RPM, we definitely care if the instrument can tell the difference between 1Hz (order 1) and 2Hz (order 2); on the contrary, if the rotating speed is at 6000 RPM, the user probably won't care if the instrument can discriminate the measurement between 100Hz (order 1) and 101Hz. With the digital re-sampling technique, the order tracks and order spectrum are extracted based on a filter with equal Δ Order instead of equal Δ Frequency. The concept is illustrated in the following Фигура:

Важна концепция, която трябва да се въведе сега, се нарича делта ред, Δ Order. В анализа на честотния спектър, базиран на FFT, честотната лента и честотната резолюция са фиксирани. Способността на дискретизиращите честотни компоненти е равна както при ниска, така и при висока честота. При ротационен анализ на машината искаме да имаме по-добра разделителна способност при ниска честота, отколкото при висока честота. Например, ако скоростта на въртене е 60 оборота, ние определено се интересуваме дали инструментът може да различа разликата между 1Hz (ред 1) и 2Hz (ред 2); напротив, ако скоростта на въртене е при 6000 RPM, потребителят вероятно няма да се интересува дали инструментът може да дискриминира измерването между 100Hz (ред 1) и 101Hz.

С помощта на техниката за цифрова пре-дискретизация редовите трасета и редовия спектър се извличат въз основа на филтър с еднакъв Δ Order вместо с еднаква Δ Frequency. Концепцията е илюстрирана на следната фигура:



■ фигура 7 Сравнение на метода за проследяване с постоянна лента и на метода за цифрово пре-семплиране

In this Фигура, the left side shows when the order tracks are extracted using conventional FFT method

На тази фигура, лявата страна показва, когато редовите трасета се извличат с помощта на конвенционален FFT метод с

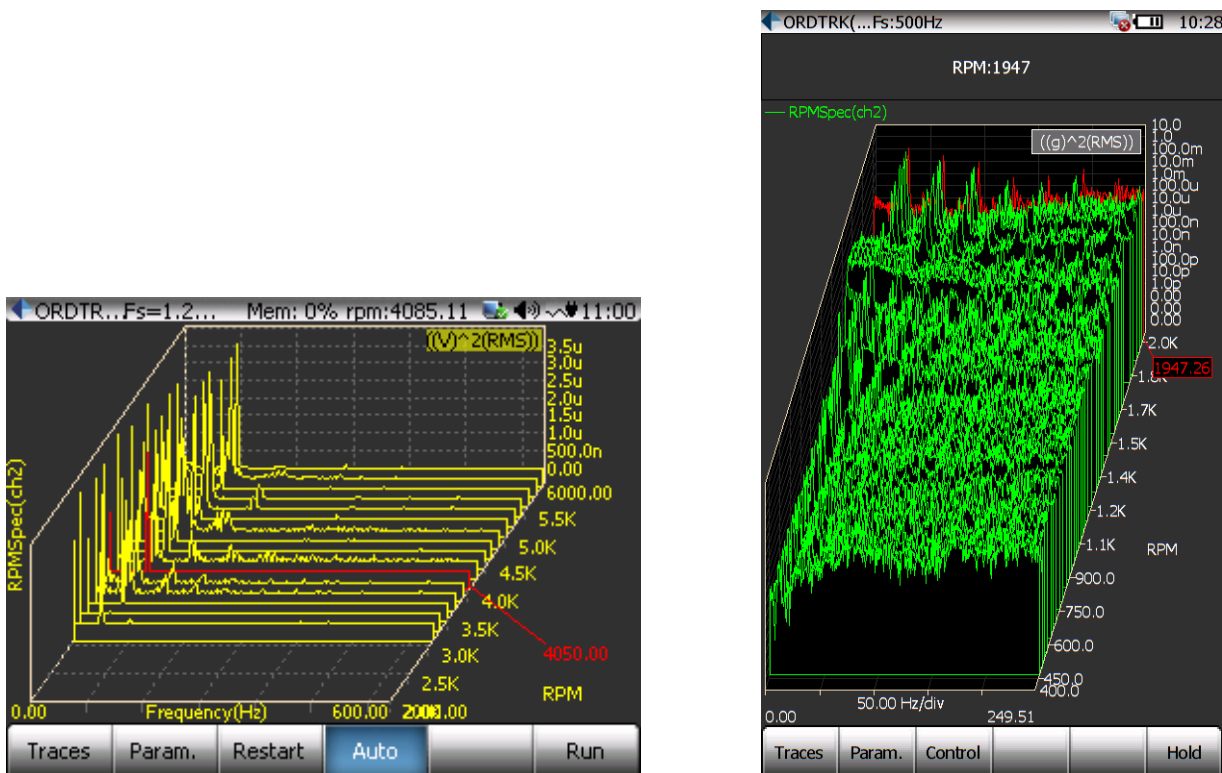
with fixed resolution, the Δ Frequency of tracking filter will be fixed; the right side shows that if the order tracks are extracted using digital re-sampling, the Δ Frequency tracking filter will be increased proportionally with the RPM. Obviously, the method of digital re-sampling is more desirable in extracting the measurement of orders.

фиксирана резолюция, ΔF честотата на филтъра за проследяване ще бъде фиксирана; дясната страна показва, че ако редовите трасета се извличат чрез цифрова пре-дискретизация, филтърът за проследяване на честотата ΔF ще се увеличи пропорционално с RPM. Очевидно е, че методът за цифрова пре-дискретизация е по-желателен при извличането и измерването на редовете.

RPM Frequency Spectrum

While the order and order spectra are developed to analyze the characteristics of the system on the order space, the measures of fixed bands are also helpful for analysis. Similar to the RMS time trace for a given frequency band with time as variable, the RMS trace can be extracted for a given frequency band with RPM as the independent variable. This is simply called an RPM Spectrum. An RPM Spectrum can be described as a 3D waterfall as shown below:

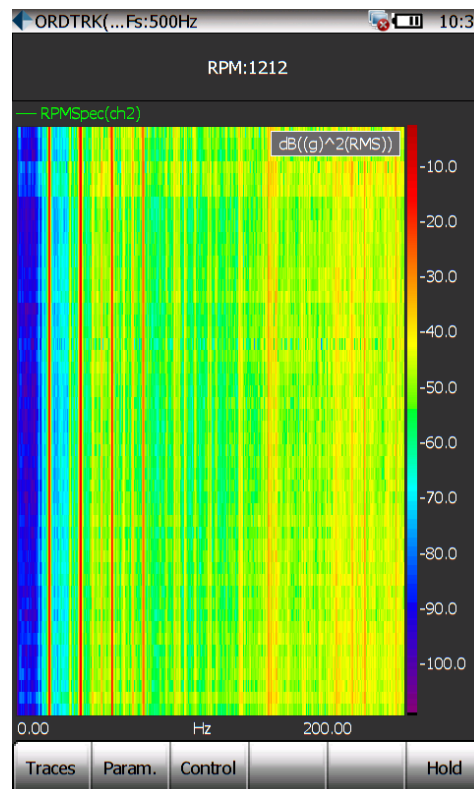
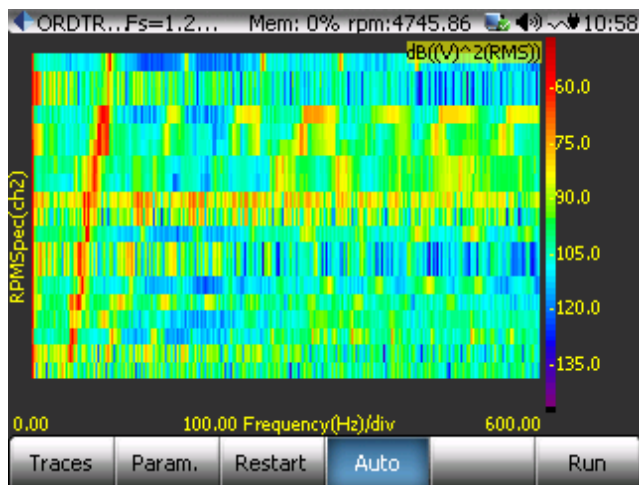
Докато редовите трасета и редовите спектрите са разработени, за да анализират характеристиките на системата в пространството за редове, измерванията на фиксирани ленти също са полезни при анализа. Подобно на следата за времето на RMS за дадена честотна лента с времето като променлива, следа от RMS може да бъде извлечена за дадена честотна лента с RPM като независима променлива. Това просто се нарича RPM Spectrum. RPM спектър може да бъде описан като 3D водопад, както е показано по-долу:



■ фигура 8. RPM spectrum

The horizontal axis of the 3D RPM Spectrum is frequency. The Z axis is RPM and the measurement unit is usually EU_{rms}^2 or EU_{rms} . A color map can also be used to describe the magnitude of the whole range as shown below.

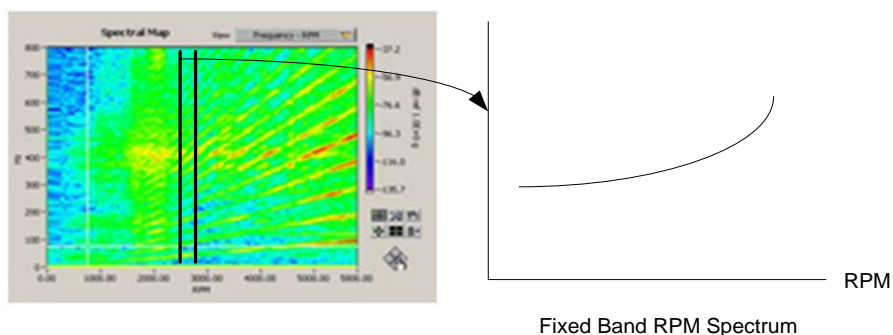
Хоризонталната ос на 3D RPM спектъра е честота. Оста Z е RPM, а измервателната единица обикновено е EU_{rms}^2 или EU_{rms} . Цветна спектрограма може да се използва и за описание на амплитудата на целия диапазон, както е показано по-долу.



■ фигура 9. Color map of an RPM spectrum

With a 3D RPM frequency spectrum, the instrument can extract the total energy over a fixed frequency band, and plot it with RPM as the independent variable. This is called *Fixed Band RPM Spectrum* as shown below.

С 3D RPM честотен спектър, приборът може да извлече общата енергия през фиксирана честотна лента и да я изобрази с RPM като независима променлива. Това се нарича Фиксиран лентови RPM спектър, както е показано по-долу.



■ фигура 10. Fixed band RPM spectrum / Фиксиран лентови RPM спектър

The measurement engineering unit of Fixed Band RPM Spectrum is EU_{rms}^2 or EU_{rms} representing the total power in a fixed band measured versus rotating speed change. This data is particularly useful to watch the total magnitude in a resonance area when the rotating speed of the shaft is changing. You can define the frequency band around the resonant frequency and perform a run up/down test. Both order tracking and order spectrum cannot extract the response magnitude of the resonance as accurately as a fixed band RPM spectrum because the bandwidth of the tracking filter of order tracking is not explicitly controlled.

Инженерната измервателна единица на фиксирания лентови RPM спектър е EU_{rms}^2 или EU_{rms} , представляващ общата мощност във фиксирана честотна лента, измерена спрямо промяната на скоростта на въртене. Тези данни са особено полезни за наблюдение на общата амплитуда в зоната на резонанса, когато скоростта на въртене на вала се променя. Можете да определите честотната лента около резонансната честота и да извършите пуск/стоп тест. Както проследяването на редовете, така и спектърът на редовете не могат да извлекат максимума на отговора на резонанса точно както фиксирания лентови RPM спектър, тъй като честотната лента на проследявания филтър за проследяване на редовете не е изрично контролирана.

Overall Level Measurement

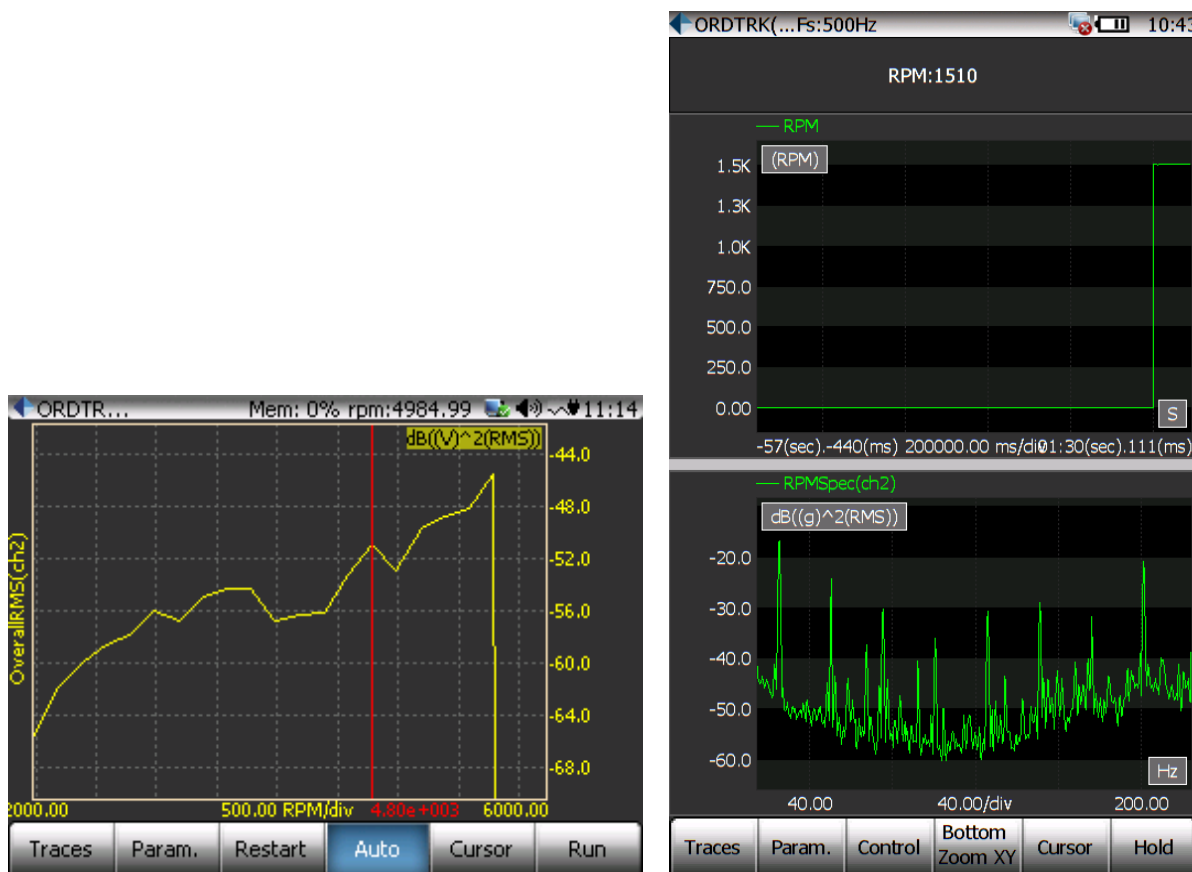
In order tracking, about it is important to monitor the overall RMS level or power level of the measurement versus RPM. The overall level is a good reference for comparing with other signals such as order tracks or fixed band RPM spectrum.

Overall level can be in unit of RMS (EU_{rms}) or power (EU_{rms}^2). The horizontal axis is RPM. Below is a typical overall level display.

Измерване на общи нива

За проследяване е важно да се наблюдава общото ниво RMS или нивото на мощността на измерването спрямо RPM. Общото ниво е добра референция за сравняване с други сигнали, като например редови трасета или фиксиран лентови RPM спектър.

Общото ниво може да бъде в единица RMS (EU_{rms}) или мощност (EU_{rms}^2). Хоризонталната ос е RPM. По-долу е показано едно типично общо показване на ниво.



■ фигура 11. Overall RMS level plot.

Raw Data Time Streams

In many other order tracking software products, the user can either conduct real-time order tracking analysis, or record the data with other tools and then post process the order tracks, but not both at the same time. The CoCo is a high performance data recorder in addition to a real time analyzer and can do both at the same time. Continuous time streams of each input channels are always available even while order track data is computed.

Непрекъснати потоци от данни

В много други софтуерни продукти за проследяване на редове потребителят може или да извърши анализ за проследяване на редовете в реално време, или да запише данните с други инструменти и след това да обработва редовите трасета, но не и двете едновременно. CoCo е записващо устройство за данни с висока производителност в допълнение към анализатор за реално време и може да направи и двете едновременно. Непрекъснато времевите потоци на всеки входен канал са винаги налични, дори когато се изчисляват данните.

Order Tracks with Phase

Редови трасета с фаза

The Phase in Rotating Machine Analysis

Many mechanical faults are associated with certain orders, analyzing order magnitude and phase can help you detect mechanical faults directly. For example, a strong first order magnitude indicates imbalance in most cases. Analyzing the first order magnitude can help you identify the imbalance. Moreover, the magnitude and phase of the first order can help you correct the imbalance by adding weights on the appropriate rotor positions. However to fix such an imbalance problem requires phase information of order tracks. A list of the sources of vibration in the rotating machine are:

Фазата в анализа на въртящите се машини

Много механични неизправности са свързани с определени редове, анализирайки амплитудата на реда и фазата, може да ви помогне да откривате механични грешки директно. Например, голяма амплитуда от първи ред/порядък показва дисбаланс в повечето случаи. Анализирването на амплитудата от първи ред/порядък може да ви помогне да установите дисбаланса. Освен това, амплитудата и фазата на първия ред/порядък могат да ви помогнат да коригирате дисбаланса чрез добавяне на тежести на подходящите позиции на ротора. Все пак, за да се реши такъв проблем с дисбаланс изисква фазова информация за редовите трасета. Списък на източниците на вибрации във въртящата се машина са:

Order	Source of Problem	Източник на проблема
0.05X~0.35X	Diffuser Stall	Нестабилност в дифузора (неравномерно обтичане)
0.43X~0.49X	Instability	Нестабилност
0.5X	Rubbing	Закачане/триене
0.65X~0.95X	Impeller Stall	Нестабилност в импелера (неравномерно обтичане)
1X	Imbalance	Дисбаланс
1X+2X	Misalignment	Разцентровка
(#Vane)X	Vane/Volute gap	Неравномерност в разстоянията между перките и корпуса
(#Blades)X	Blade/Diffuser Gap	Неравномерност в разстоянията между лопатките и дифузора

As previously discussed, an order track is the measurement taken for an order, i.e., normalized frequency, versus RPM. In most of the applications of engine related test, the phase information of order tracks are not important. In rotating machine analysis, the phase of the signal is vitally important.

Phase is a relative measurement quantity and can only be measured with a pair of signals. It indicates the time delay at certain frequency between two signals. The phase value can be translated into the difference of relative angle, relative position or propagation time if additional information is given. When we refer to the phase information of one signal, we imply its phase is relative to a reference signal that was mentioned in context.

In rotating machine analysis, the phase of the first order of the rotor can be directly mapped to an angular difference between a signal and the reference signal. The reference signal can be another channel of measurement, or the tachometer signal. The phase difference between two waveforms is often called a phase shift or phase delay. A phase shift of 360 degrees is a time delay of one cycle, or one period of the wave, which actually amounts to no phase shift at all. A phase shift of 90 degrees is a shift of 1/4 of the period of the wave, etc. Phase shift may be considered positive or negative, i.e., one waveform may be delayed relative to another one, or one waveform may be advanced relative to another one. These conditions are called phase lag and phase lead respectively.

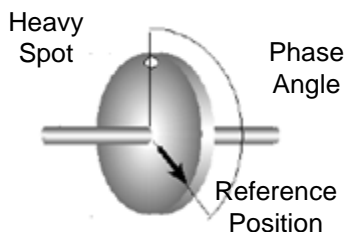
An example of this is the phase of an imbalance component in a rotor with reference to a fixed point on the rotor, such as a key way. To measure this phase, a trigger-pulse must be generated from a certain reference point on the shaft. This trigger can be generated by a tachometer or some type of optical or magnetic probe that senses a discontinuity on the rotor, and is sometimes called a "tach" pulse.

Както беше обсъдено по-рано, следата на реда е измерване, взето за ред, т.е. нормализирана честота, спрямо оборотите/RPM. При повечето от приложенията на изпитването, свързано с машината, фазовата информация за редовите трасета не е важна. При ротационен анализ на машината фазата на сигнала е жизнено важна.

Фазата е относително измерване и може да бъде измерена само с двойка сигнали. Показва времето закъснение при определена честота между два сигнала. Стойността на фазата може да бъде преведена в разликата от относителния ъгъл, относителната позиция или времето на разпространение, ако е дадена допълнителна информация. Когато се отнасяме до фазовата информация на един сигнал, предполагаме, че неговата фаза е относителна към референтния сигнал, който е споменат в контекста.

При ротационен машинен анализ фазата на първия ред/порядък/ на ротора може да бъде директно определена като ъглова разлика между сигнала и референтния сигнал. Референтният сигнал може да бъде друг канал за измерване или тахометричен сигнал. Фазовата разлика между две вълни често се нарича фазова разлика или фазово закъснение. Една фазова разлика от 360 градуса е закъснение от един цикъл или един период от вълната, което всъщност няма никаква фазова разлика. Една фазова разлика от 90 градуса е изместване на 1/4 от периода на вълната и т.н. Фазовата разлика може да се счита за положителна или отрицателна, т.е. една форма на вълната може да се забави по отношение на друга, или една форма на вълната може да изпреварва спрямо друга. Тези условия се наричат съответно фазово закъснение и фазово изпреварване.

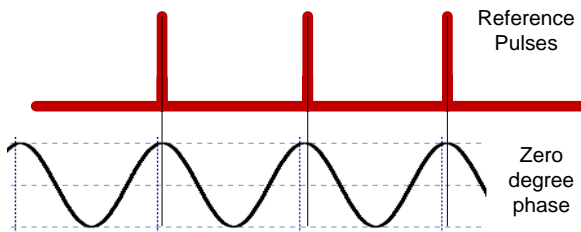
Пример за това е фазата на елемент на дисбаланс в ротора, свързан с фиксирана точка на ротора, като например ключова пътека. За да се измери тази фаза, трябва да се генерира тригериращ импулс от определена референтна точка на вала. Това задействане може да се генерира от тахометър или някакъв вид оптична или магнитна сонда, която усеща прекъсване на ротора и понякога се нарича "тахо" импулс.



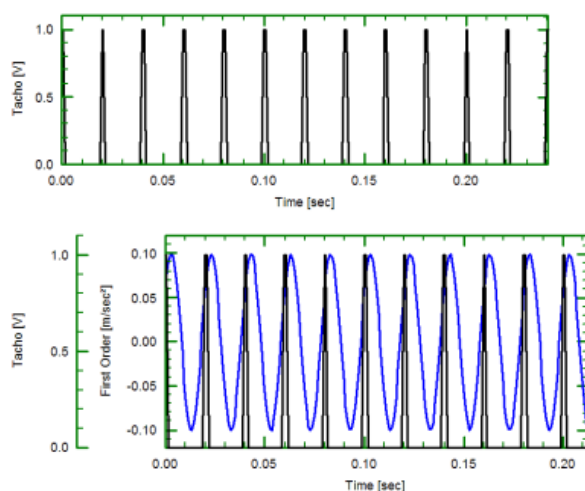
■ фигура 12

A zero degree phase delay at a frequency can be depicted as a series of pulses overlaid with a sine wave where the pulse edge is exactly located in peak position of the sine wave.

Едно фазово закъснение с нулева честота може да бъде изобразено като серия от импулси, покрити със синусова вълна, където ръбът на импулса е точно разположен в пикова позиция на синусоидата.



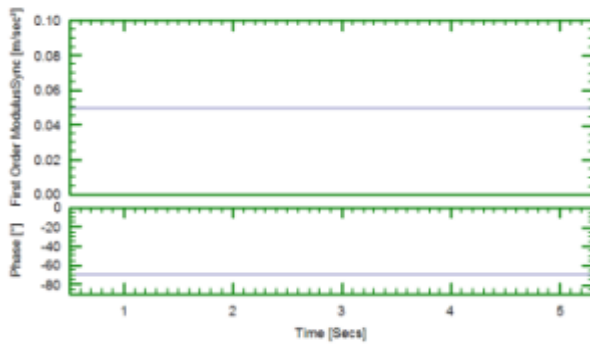
■ фигура 13



■ фигура 14

In Фигура 14 a section of the tacho signal is shown on its own and then overlaid on the vibration signal. The tacho signal in this example crosses the vibration signal at exactly the same point on each cycle. If the phase of the vibration signal were to change then its position relative to the tacho pulse would also change. Extracting the first order modulus and phase, as before, gives the curves shown in Фигура 15. The phase is now constant near -60° as it should be for such a signal. Because the rotating period of the signal is about 20ms, -60° corresponds to a $20 \times 60 / 360 = 3.3$ ms delay.

На фиг. 14 е показана извадка на тахо сигнала сама по себе си и след това заедно с вибрационния сигнал. Таховият сигнал в този пример пресича вибрационния сигнал точно в една и съща точка на всеки цикъл. Ако фазата на вибрационния сигнал трябваше да се промени, тогава също би се променила и неговата позиция спрямо тахотовия импулс. Извличането на модула и фазата от първи ред, както и преди, дава кривите, показани на фигура 15. Фазата сега е постоянна близо до -60° , както би трябвало да бъде за такъв сигнал. Тъй като периодът на въртене на сигнала е около 20ms, -60° съответства на забавяне $20 \times 60 / 360 = 3,3$ ms.



■ фигура 15

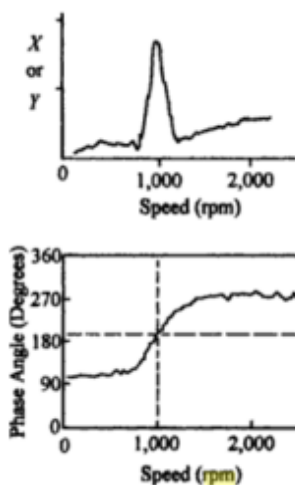
The phase measurement at higher orders will have the similar physical interpretation although they are difficult to comprehend intuitively.

It must be noted that the order tracks with phase, or Complex Order Tracks by name, are not regular complex signals as frequency response or cross spectrum. They are really auto-spectra with assigned phase. These synthesized signals can certainly be viewed as a complex signal using tools including Bode Plot, polar and orbit diagram. However the user must keep in mind that the magnitude and phase of a complex order track are calculated separately.

In the following sections, we will present how the order tracks with phase can be presented graphically with the Bode, polar and orbit plot.

Bode Plot

The term Bode Plot is borrowed from the field of control theory, referring to a plot of magnitude and phase angle between the input and output versus frequency of a control system. Many in the rotating machine vibration industry have adopted this term to describe the steady-state vibration response amplitude and phase angle versus rotational speed (RPM). It turns out that the Bode Plot is the best way to describe order tracks with phase. You typically use Bode plots for transient analysis in both start-up and coast-down conditions. A Bode plot can help to identify the resonance speed of a rotor or examine the rotor dynamics on an order basis. A typical Bode Plot for an order track is shown below:



■ фигура 16

In the CoCo system, after the order tracks are acquired together with their phase information then the Bode Plot can show one or multiple tracks.

Измерването на фазите при по-високи редове/порядъци/ ще има подобна физическа интерпретация, въпреки че е трудно да се разбере интуитивно.

Трябва да се отбележи, че редовите трасета с фаза или комплексни редови трасета по име, не са нормални комплексни сигнали като честотна характеристика или кръстосан спектър. Те са наистина авто-спектри с определена фаза. Тези синтезирани сигнали със сигурност могат да бъдат разглеждани като сложен сигнал, използвайки инструменти, включително бод, полярна и орбита диаграма. Потребителят обаче трябва да има предвид, че амплитудата и фазата на комплексно редово трасе се изчисляват отделно.

В следващите раздели ще представим как траекторията на редово трасе с фаза може да бъде представена графично с бод, полярна и орбитална графика.

Боде плот / диаграма

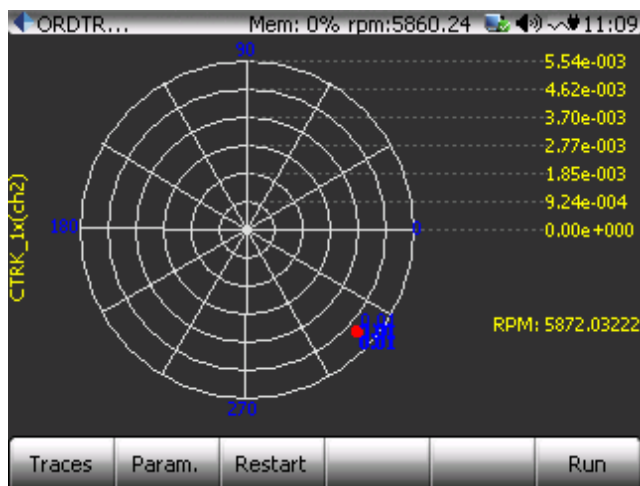
Терминът „боде плот“ се заема от областта на теорията на контрола, отнасяща се до графика на амплитудата и фазовия ъгъл в зависимост от честотата за отношението между входните и изходни сигнали на контролната система. Много от индустриите за вибрации на въртящи се машини са приели този термин, за да опишат амплитудата на вибрационната реакция и фазовия ъгъл спрямо скоростта на въртене (RPM). Оказва се, боде плот е най-добрият начин да се опишат редовите трасета с фаза. Обикновено използват боде графика за преходен анализ както при начални, така и при крайни условия. Графика на боде може да ви помогне да определите честотата на резонанс на ротора или да проверите динамиката на ротора по реда. Типичен боде плот за поръчка е показан по-долу:

Polar Plot

The Polar Plot is another useful tool to view the order tracks for both amplitude and phase information. A polar plot draws the amplitude and phase on a polar coordinate. A typical polar plot is shown below.

Полярен плот / графика

Полярната графика е друг полезен инструмент за преглед на редовите трасета както за амплитудата, така и за фазовата информация. Полярната графика извежда амплитудата и фазата на полярната координата. Типична полярна графика е показан по-долу.



■ фигура 17. Полярния плот показва амплитуда и фаза по полярна ос

In the polar plot, the dot shows the current order track value. The distance between the dot and the center indicates the magnitude of the order track while the angle corresponds to the phase measurement. The polar plot only shows the instantaneous measurement. It cannot keep the history versus RPM.

В полярния плот точката показва текущата стойност на редовото трасе. Разстоянието между точката и центъра показва, а ъгълът съответства на измерването на фазата. Полярният плот показва само моментното измерване. Той не съдържа историята в зависимост от RPM.

Orbit Display

The Orbit display uses two data channels in the time domain. The signals from two channels are drawn on an X and Y plane to display the shaft position change versus angle of rotation. Orbit displays give a two dimensional visual picture of the motion of a rotating shaft.

A well balanced shaft with no movement in any direction and would produce a dot in the middle of the plot. The shaft movement can give an indication of the vibration source e.g. if there is a lot of up/down movement it may be that the machine feet are not bolted down tightly enough.

To create an orbit plot you need to take a dual channel simultaneous measurement to capture data at the horizontal and vertical axes at the same time. The displacement or acceleration sensors must be placed 90° apart from each other.

Orbit display uses a pair of measurement in time domain. It does not need the technique of *order tracking*.

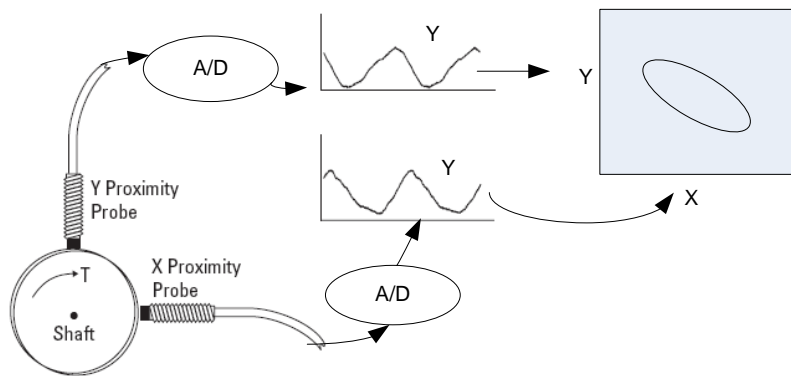
Орбита

Орбитата изобразява два канала/сигнала за данни във времето. Сигналите от два канала се извеждат на равнини X и Y, за да се покаже промяната на позицията на вала спрямо ъгъла на въртене. Орбитата дават двуизмерна визуална картина на движението на въртящия се вал.

Добре балансиран вал без движение в никоя посока и ще създаде точка в средата на участъка. Движението на вала може да даде индикация за източника на вибрации, напр. ако има голямо движение нагоре / надолу, може да се окаже, че петите на машината не са достатъчно затегнати.

За да създадете графика на орбита, трябва да извършите едновременно измерване с два канала, за да заснемете данните по двете оси (хоризонталната и вертикалната) едновременно. Сензорите за преместване или ускорение трябва да бъдат поставени на разстояние 90° една от друга.

Дисплеят на орбита използва двойка измервания във времевата област. Не е необходима техниката за проследяване на редовете.



■ фигура 18

The orbit display is similar to the Polar display in that it only displays the instantaneous status at the current RPM. In theory, the orbit display does not need a tachometer or another reference signal because X and Y reference to each other.

Орбитата е подобна на полярната графика, тъй като показва само моментното състояние при текущи обороти(RPM). На теория орбитата не се нуждае от тахометър или друг референтен сигнал, тъй като X и Y се отнасят един към друг.

Summary

With the Bode, polar and orbit plots, the order tracks with phase can be presented visually. These are effective tools used for rotating machine analysis. Bode plot is mostly used in the Run Up/Coast Down process. Polar plot and orbit, which only show the instantaneous status of an order at current RPM, are adequate for applications at steady or quasi-steady rotating speed such as dynamic balancing.

Резюме

С бодe, полярни и орбити редовите трасета с фаза могат да бъдат представени визуално. Това са ефективни инструменти, използвани за ротационен машинен анализ. Бодe графиката се използва предимно в процеса Пуск/Стоп на машината. Полярната графика и орбитата, които показват само моментното състояние на реда при текущи обороти/RPM, са подходящи за приложения при стабилна или почти стабилна скорост на въртене, като динамично балансиране.