

# VIBRORACK1000 Analyzer System Hardware Manual

## OPERATION AND MAINTENANCE MANUAL



## Index

❑	Introduction.....	3
❑	VibroRack1000 System Overview .....	3
❑	Function.....	3
❑	Jumper status on VibroRack1000 card.....	5
❑	Potentiometers on VibroRack1000 card.....	10
❑	Power supply LED.....	10
❑	Power Supply maintenance.....	10
❑	Ethernet.....	11
❑	Sensor testing method.....	13
❑	Cable Testing.....	18
❑	Accelerometer mounting.....	19
❑	Software.....	24
-	Vibro-CMS .....	24
-	Vibro-RMDS.....	69

**Copyright © ABPVibro Corporation**  
**All Rights Reserved.**

## □ Introduction:

VIBRORACK1000 is a multi-purpose vibration analyzer which has been developed to be used in different conditions from harsh environmental situations to laboratory modal testing applications. Based on the software and hardware options the customer chooses, it may be used as:

1- Condition monitoring system installed parallel to other 3rd party vibration protection systems:

In this application, VIBRORACK1000 is connected to the buffered output signals of vibration protection systems like Vibrometer® VM-600, Bently-Nevada® 3500, Schenck VibroControl® 4000 etc. and use transducers connected to the aforementioned protection systems as inputs to VIBRORACK1000 and perform all the required on-line vibration analysis like waterfall, FFT spectrum, time signal, historic trend and so on to improve the system from protection monitoring to on-line condition monitoring.

2- Protection & Condition monitoring system:

In this application, vibration transducers are installed on different points of the machine and connected to VIBRORACK1000 through cabling and junction boxes. All the required processes for an on-line condition monitoring system are done and data is monitored to the user via a control PC.

3- Laboratory Vibration Analyzer:

For this application, a pack of useful modal analysis, acoustics and vibration analysis software modules are installed to be used for the determination of mode shapes and natural frequencies of the structure under test (SDOF & MDOF FRF), ODS (Operating Deflection Shape) analysis, sound quality (loudness & harshness) analysis, OMA (Operational Modal Analysis).

## □ VibroRack1000 Overview:

### ◆ Function

The VibroRack1000 System provides continuous, online analyzer suitable for machinery protection applications, and is designed to fully meet the requirements of API 670 standard for such systems. For the majority of applications, ABP Co. recommends the use of our VibroRack1000 Series Machinery Analyzer System.

### - Rack

The VibroRack1000 is available in a 19-inch 2unit Size. VibroRack1000 dimensions defined through following items:

Length: 48 cm

Width: 9 cm

Depth: 27 cm

## - Rear view

At the Back side of VibroRack1000, there are 2 connectors in 1 row (refer to figure1)

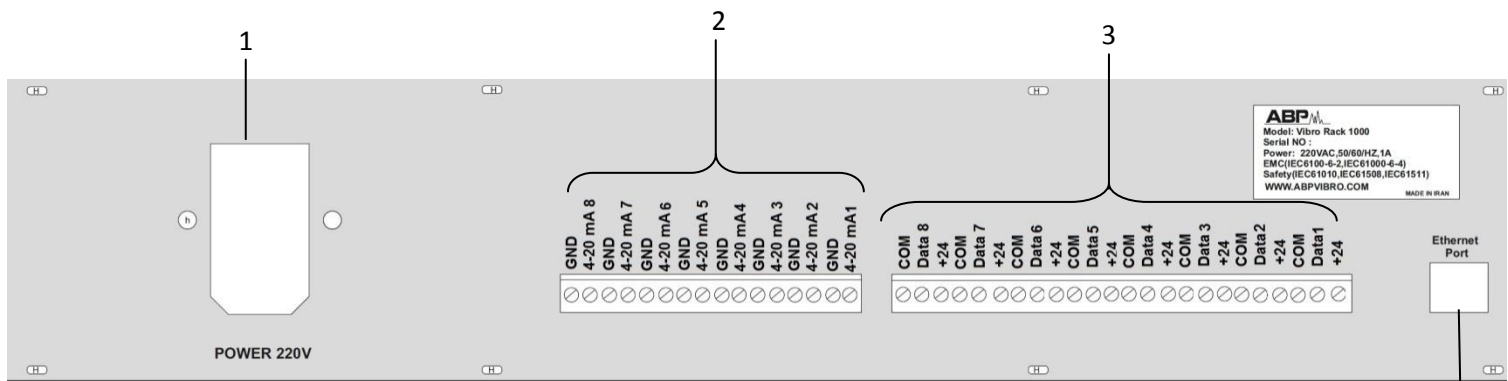


Figure1: rear view of VibroRack1000

4

1. Power supply is available in AC version.
2. Current output of sensors (4~20mA) is available on the each channel which can be used for connecting to PLC or DCS systems.
3. Input vibration sensors (accelerometer sensors, velocity sensors and eddy current sensors) tachometer sensors, conditioners and vibration switches are connected to VibroRack1000

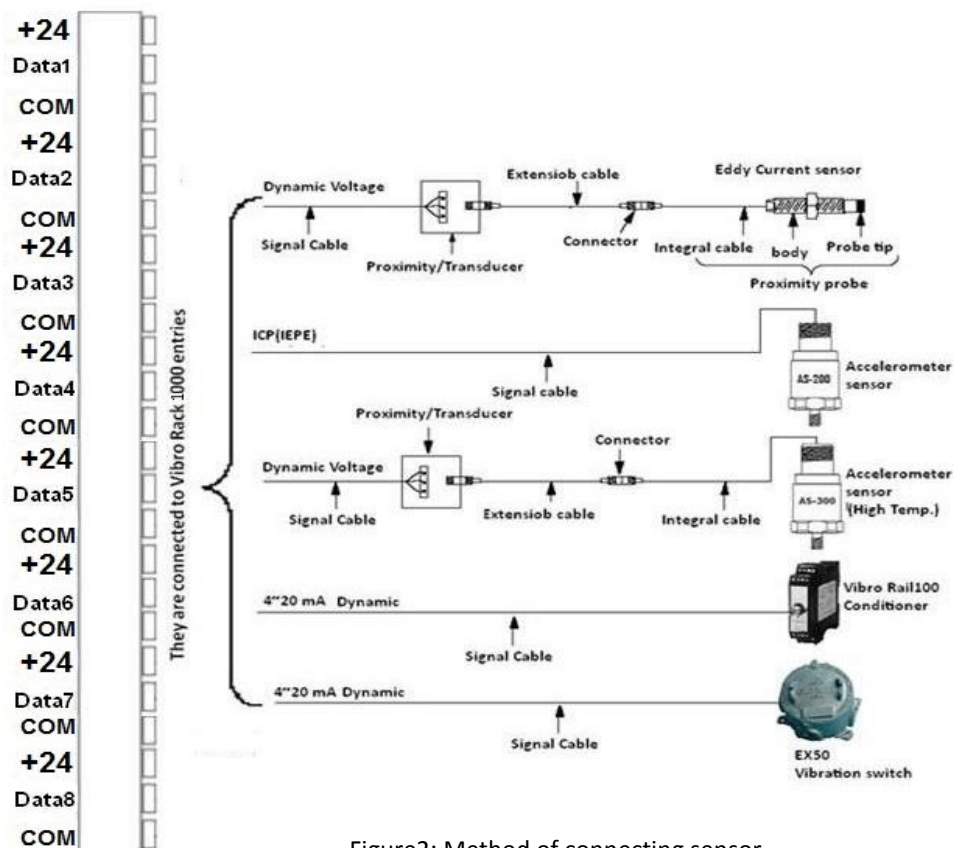


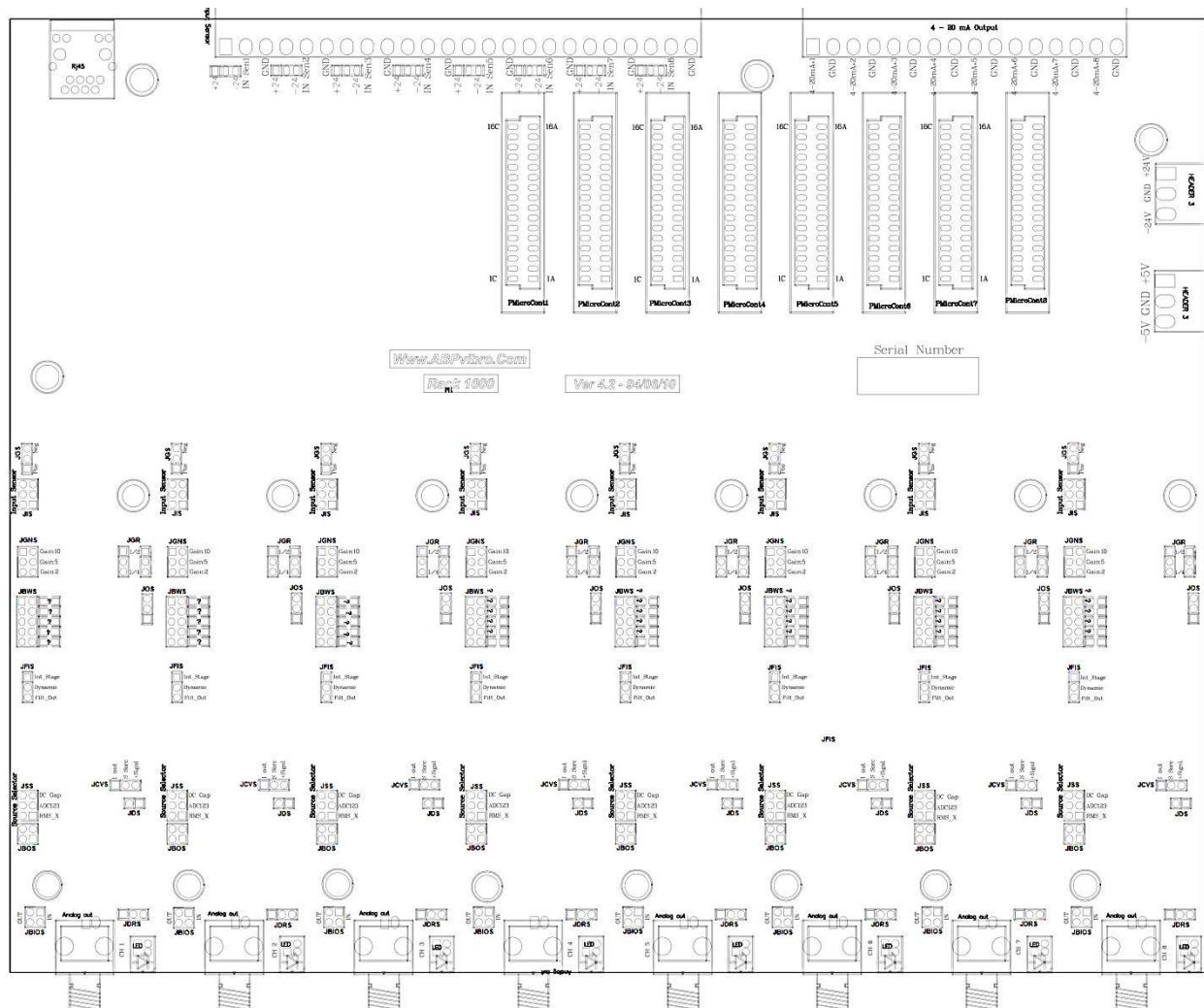
Figure2: Method of connecting sensor



4. Ethernet port which provides TCP/IP protocol. Via this port, VibroRack1000 can be connected to a diagnosis software installed on for example panel PC

### ❑ Jumper status on VibroRack1000 card:

There are several jumpers on the VibroRack1000 card; in the following each of them will be explained.



Status of jumper on PCB board of VibroRack1000

### - JGNS-X and JGR-X jumper:

Gain is an approach to define a particular range to display units in a better manner. You can observe gains with each defined range per them at 1000 system (refer to table 1) Gain is adjusted to gain1 by default which values between (1200mv) Can be displayed by this gain and user can select other range by changing gain jumper. (Refer to table1)

Vibration Range: .....0~48 g (RMS)













Jumper	Jumper Status	Jumper	Jumper Status	Comment	Range(RMS)
JGNS-X		JGR-X		Gain10 ( 0- 35 $\mu$ m P-P)	Max 120 mv
				Gain5 (0-80 $\mu$ m P-P)	Max 240 mv
				Gain2 (0-160 $\mu$ m P-P)	Max 600 mv
				Gain1 (0-375 $\mu$ m P-P)	Max 1200 mv
JGNS-X		JGR-X		Gain0.5 (0-750 $\mu$ m P-P)	Max 2400 mv
JGNS-X		JGR-X		Gain0.25 (0-1500 $\mu$ m P-P)	Max 4800 mv

Table 1: JGNS-X and JGR-X jumper

◆ Best point of measuring for eddy current sensor is 10 V.

#### - filter jumpers:

There are 3 jumpers about filter:

**1. JBWS-X (jumper band width selector-channel No.):** Operator can select the value of filter with JBWS-X jumper. (Refer to table2)






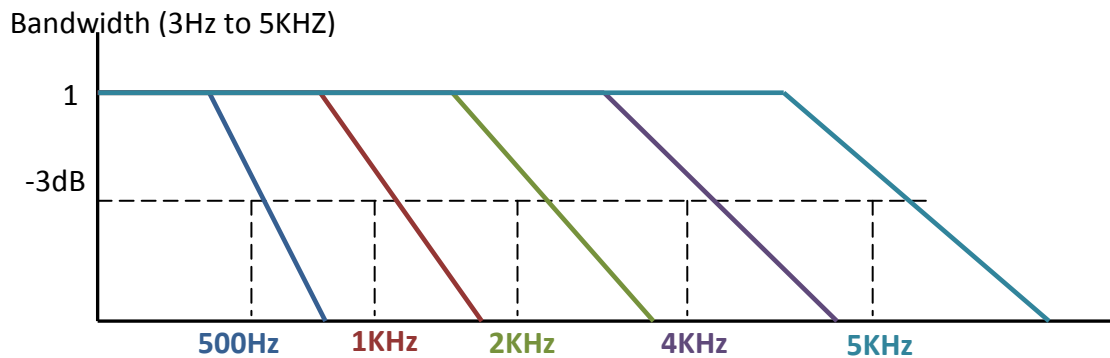
Jumper	Jumper Status	Comment
JBWS-X		500 Hz Bandwidth
		1KHz Bandwidth
		2KHz Bandwidth
		4KHz Bandwidth
		5KHz Bandwidth

Table 2: JBWS-X jumper



**Note:** In order to minimize noise effect it is strongly recommended to set filter jumpers either on 500 Hz or 5000 Hz when using displacement sensors.

## 2. JOS-X jumper (jumper order selector-channel No.):

Operator identifies the order of filter with select filter out jumper. (Refer to table3)

Jumper	Jumper Status	Comment
JOS-X		Root raised cosine linear phase 5 <sup>th</sup> order lowpass filter
		Root raised cosine linear phase 10 <sup>th</sup> order lowpass filter

Table 3: JOS-X jumper

## 3. JFIS-X jumper (jumper firs integrator selector-channel No.):

(Refer to table 4)

Jumper	Jumper Status	Comment
JFIS-X		Integrator (mm/s)
		Filter output (m/s <sup>2</sup> )

Table 4: JFIS-X jumper

- **JIS-X jumper (jumper input sensor selector-channel No.):**

To select this jumper depends on the type of input sensors. For example: if input sensor is accelerometer, operator must choose ICP select. (Refer to table5)




Jumper	Jumper Status	Comment
JIS-X		Current input Select
		DC-gap Select
		ICP Select

Table 5: JIS-X jumper

- **JCVS-X jumper (jumper current/voltage selector-channel No.):**

If JCVS-X jumper is used to select source signal for related channel, then output will be 0 -5 Volt or 4-20 MA.

There are two jumpers on the vibroRack1000 card for each channel to select overall/dynamic data or signal source. These two jumpers let you select overall/dynamic data of channels for sending analog output (4~20MA) or vibration source signal. (Refer to table 6).



Jumper	Jumper Status	Comment
JCVS-X		Voltage signal , 0-5 V
		Current signal, Dynamic/ Overall

Table 6: JCVS-X jumper

- **JDS-X jumper (jumper DC-Gap signal-channel No.):**

This jumper is used when the JVCS jumper is selected in Voltage mode. (Refer to table7).



Jumper	Jumper Status	Comment
JDS-X		In this mode ,Current signal of JCVS-X must be selected
		-

Table 7: JDS jumper

- **JSS-X jumper (jumper source selector-channel No.):**

This jumper let operator to select the output type. The signal is transferred to JCVS jumper after through from JSS jumper. (Refer to table8)




Jumper	Jumper Status	Comment
JSS-X		DC-gap output value
		Output Dynamic signal
		Overall output value

Table 8: JSS-X jumper

- **JGS-X jumper (jumper DC-gap signal-channel No.):**

For measuring the DCgap, there is one jumper on the VibroRack1000 card that can select negative or positive power supply for eddy current sensor: (refer to table9)



Jumper	Jumper Status	Comment
JGS-X		Select Negative Power Supply
		Select Positive Power Supply

Table9: JGS-X jumper

- **JDRS-X jumper (jumper DC reference selector-channel No.):**

Operator can choose DC reference with JDRS-X jumper. (Refer to table10)



Jumper	Jumper Status	Comment
JDRS-X		If input sensor isn't eddy current, this jumper will be selected in this mode and use the DC-gap reference value (2.5VDC)
		If input sensor is eddy current, this jumper will be selected in this mode and use the DC-gap value of sensor

Table10: JDRS-X jumper

- **JBOS-X jumper (jumper buffer output selector-channel No.):**

The status of this jumper depends on the input sensor (accelerometer sensor or eddy current sensor). (Refer to table 11)



Jumper	Jumper Status	Comment
JBOS-X		If input sensor is accelerometer (absolute),this mode will be selected and the signal is without DC
		If input sensor is eddy current (relative),this mode will be selected and the signal have DC value

Table11: JBOS-X jumper

**- JBIOS-X jumper (jumper BNC Input/output selector-channel No.):**

This jumper let operator select BNC as a buffer output or a sensor input. (Refer to table 12)



Jumper	Jumper Status	Comment
JBIOS-X		BNC as a sensor input
		BNC as a buffer output

Table12: JBIOS-X jumper

**□ Potentiometers on VibroRack1000 card:**

Potentiometers	Application
POT1	Identify the value of ICP
POT3	Identify the value of DC-gap
POT4	For calibration of integrator of Filter out jumper
POT5	Voltage divider only for channel one

Table13: Potentiometers

## ❑ Power supply LED

There are 3 LEDs on vibrorack1000 card for test point.

	Application
+5v and – 5 v	Indicates that Internal system boards voltage and COMMUNICATION voltage is provided or not.
+24v	Indicate that the driving power of sensor is provided or not
The related LED will be turned off, during disconnection or fuse defection.	

Table14: LED status of power supply

## ❑ Power Supply Maintenance

This section shows how to verify that the system is operating properly and identify parts of the system that are not working properly.

When performed properly, this module may be removed from the rack while power is applied to the rack.



### CAUTION

Proper rack chassis grounding requires that this metal strap remain connected. Failure to follow this warning could expose personnel to dangerously high voltage levels that could cause shock, burns, or death.



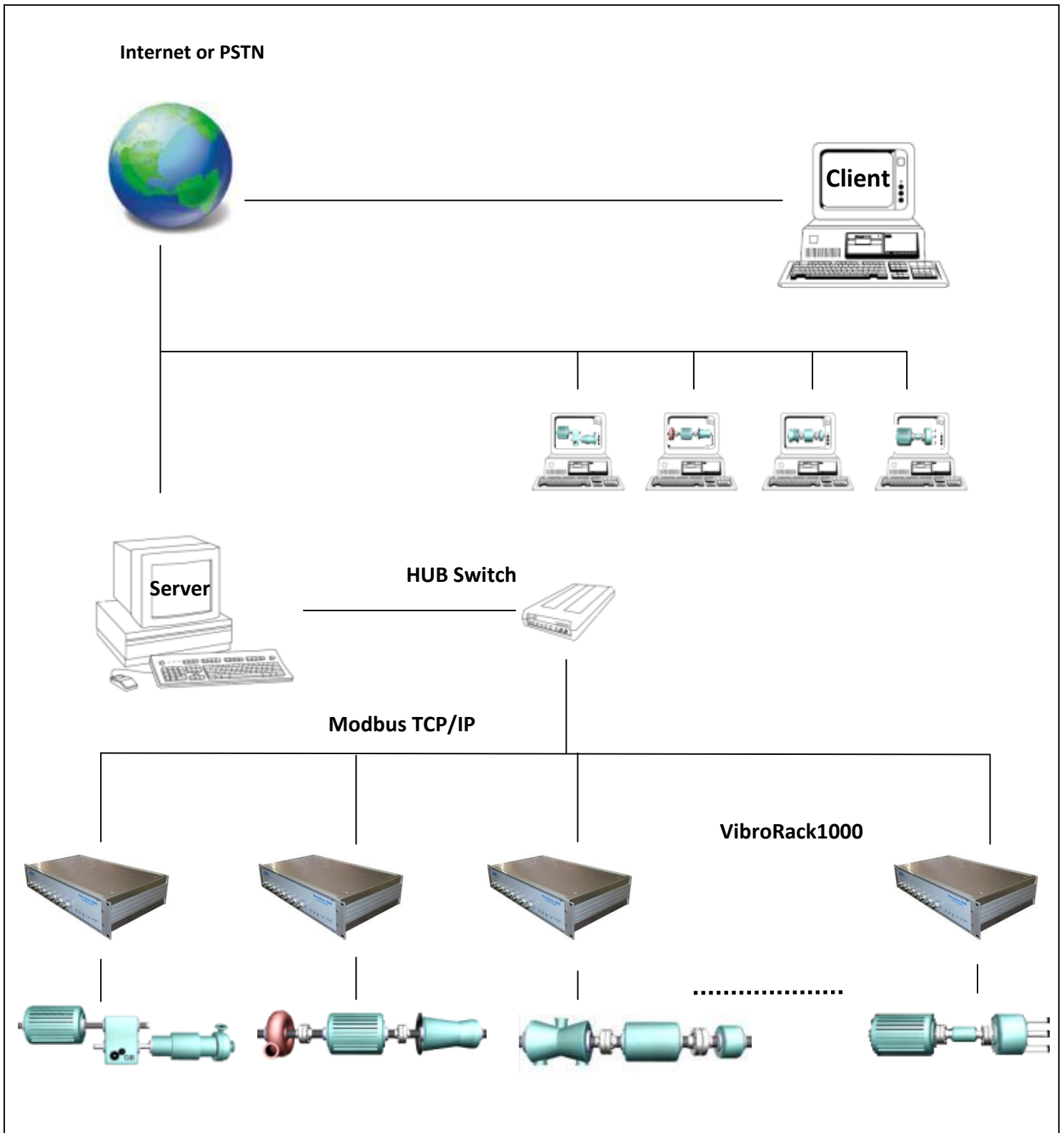
### Warning

Power Supply shield may be hot when the rack is operating at elevated temperatures or under full load.

## ❑ Ethernet

Ethernet refers to a hardware protocol. Many VibroRack1000 systems can be connected on a Ethernet protocol network and can communicate with each other. By TCP/IP protocol you can connect two or more VibroRack1000 systems and they either connect to HMI software by this protocol. The VibroRack1000 diagnostic software uses Modbus Ethernet protocol for all its network transmissions. This means it can be integrated to an already existing Ethernet network without affecting the current operation of the existing one.

- **VibroRack1000 (TCP/IP) Networking Diagram**





## ❑ Sensor testing method:

### - Accelerometer sensor

For Accelerometer sensor testing with ICP type and voltage type, sensor data connector should be connected to VibroRack1000 card sensor connector and sensor com connector should be connected to VibroRack1000 card GND connector.

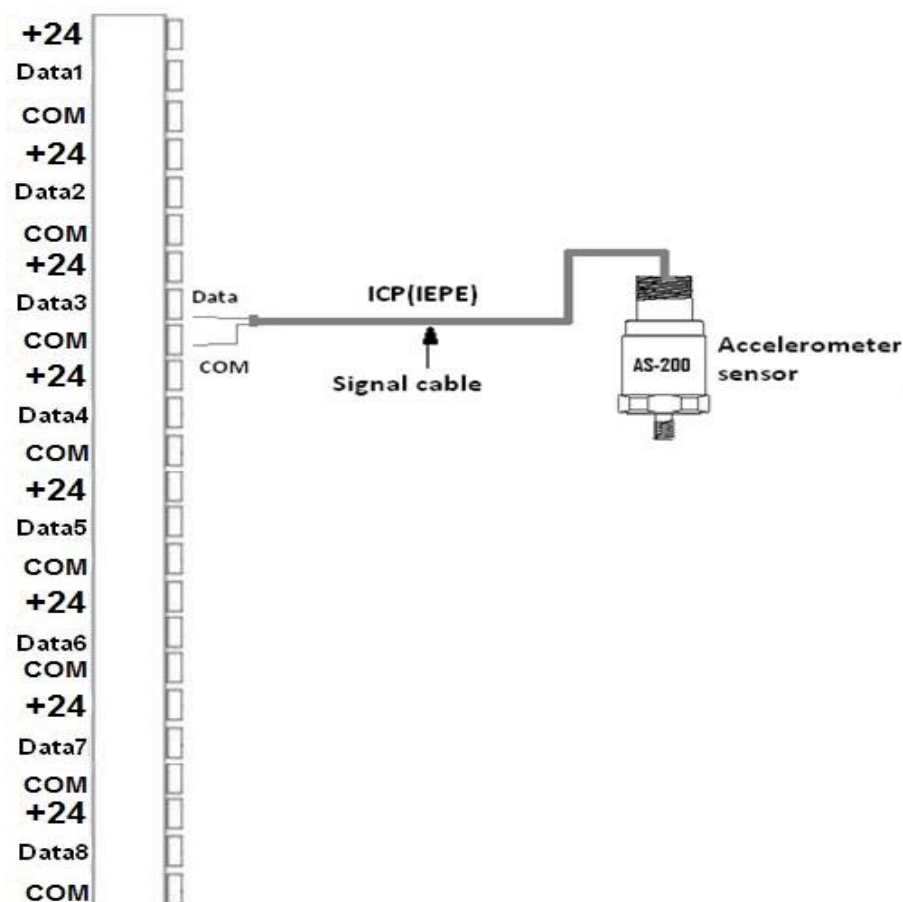


Figure5: Accelerometer sensor testing with ICP mode (3ma)

## - Accelerometer sensor

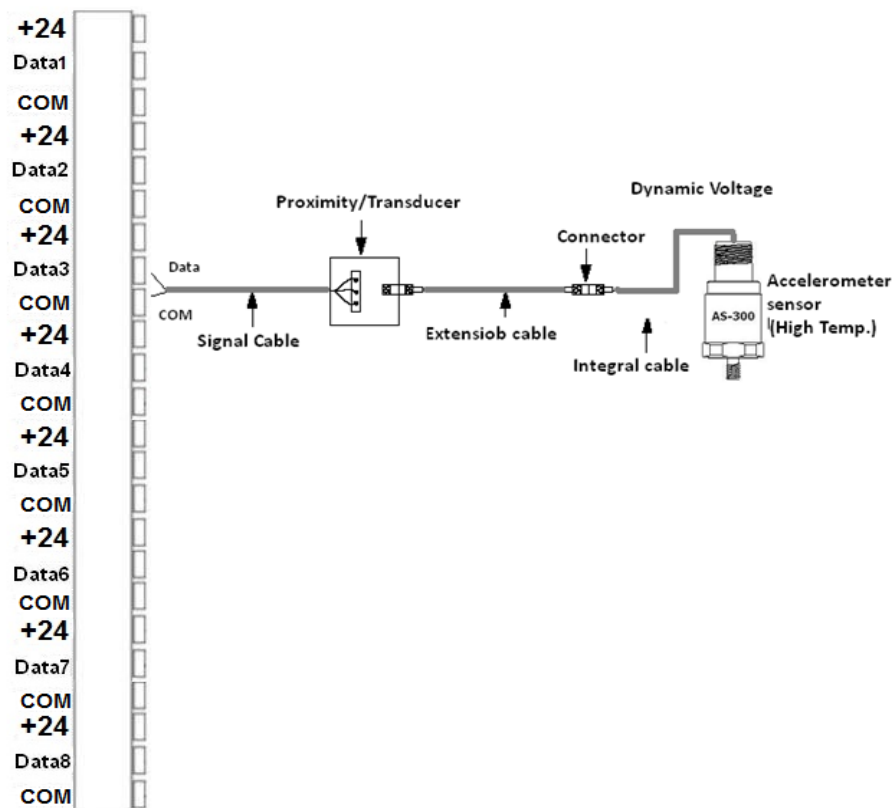


Figure 12: Accelerometer sensor testing with voltage mode

## - Eddy current sensor

For Eddy current sensor testing with voltage type, sensor data connector should be connected to VibroRack1000 sensor connector, sensor com connector should be connected to VibroRack1000 GND connector and sensor third connector should be connected to -24v.

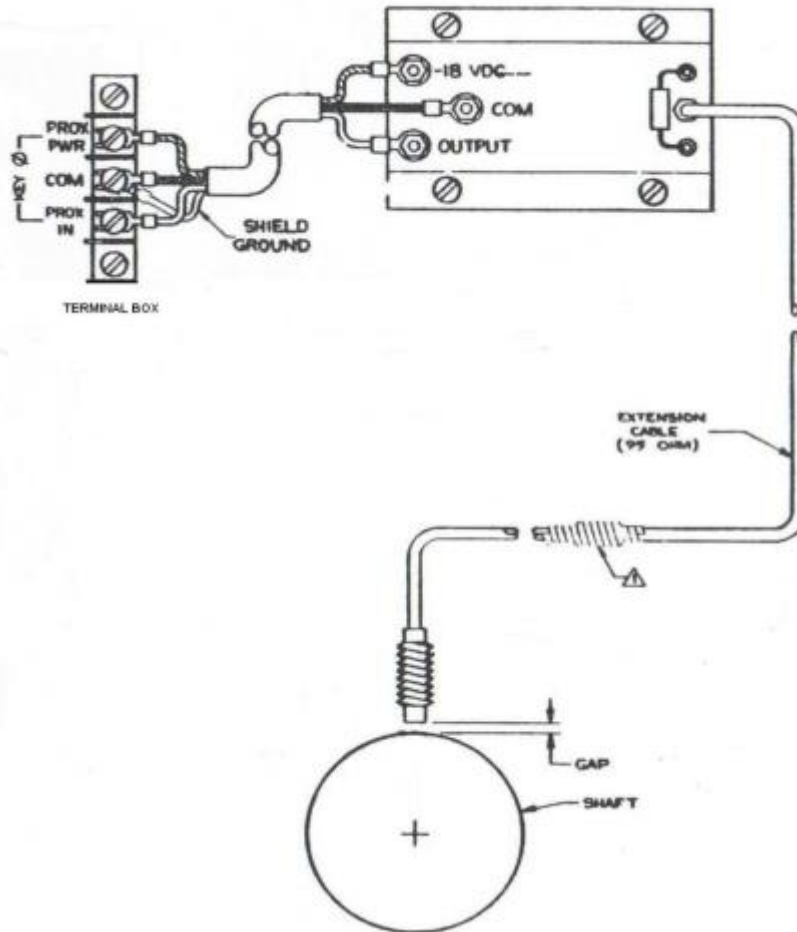


Figure 5: Eddy current sensor testing with voltage mode

- There are 8 LEDs on the front view of the VibroRack1000 for each channel that shows the testing of sensors is OK and sensor operate correctly.

## ❑ **VibroRack1000 card and sensor Testing steps through digital Shaker**

The shaker is a portable calibration device for accelerometers, velocity sensors, vibration transmitters, and proximity probes. The portability of the shaker allows for using in the laboratory and site. The shaker has a built-in electro-magnetic shaking head that will generate vibration. The vibration can be digitally tuned for acceleration, velocity, or displacement with RMS, peak, or peak-peak readings. There is a display option for English or metric units. To obtain the standard calibration curve, the shaker will supply sensor power, receive the output from the sensor and compare the sensor output vs. the standard accelerometer output. The shaker is digitally controlled. Software is available to remotely control or display the calibration status. It can also be used as an automatic vibration test device by using third party software that interfaces with a standard RS232 port.

### - **Sensor Installation steps**

1. Remove the wrench attached on the portable shaker. Fix the shaker head with one hand. And mount the seismic sensor onto the shaker head with another hand. There are four different screws inside the shaker. You may just pick the one that fit the thread size on the seismic sensor. The thread on the shaker head is a standard 1/4-28 English thread.
  2. Connecting the sensor with connectors and monitors.
  3. Different seismic sensors have different ways in connection. Be aware of that the shaker head will not withstand large torque. Minimum vertical displacement should also be maintained while connecting the connectors to the sensor. If necessary, the wrench has to be fixed on the shaker head to protect it.
  4. Connecting the signal cables to monitor. Be aware of the field-wiring connection of the monitor
  5. For calibration the sensor with shaker's internal circuitry, signal cable will connect with the green connectors on the front panel of the shaker.
  6. Operation of the shaker.
- After performing this setting for this module, the observed overall vibration data on the shaker display should be equal to the observed overall vibration data on the Vibro-CMS software.
- The low percent of fault can be ignored.

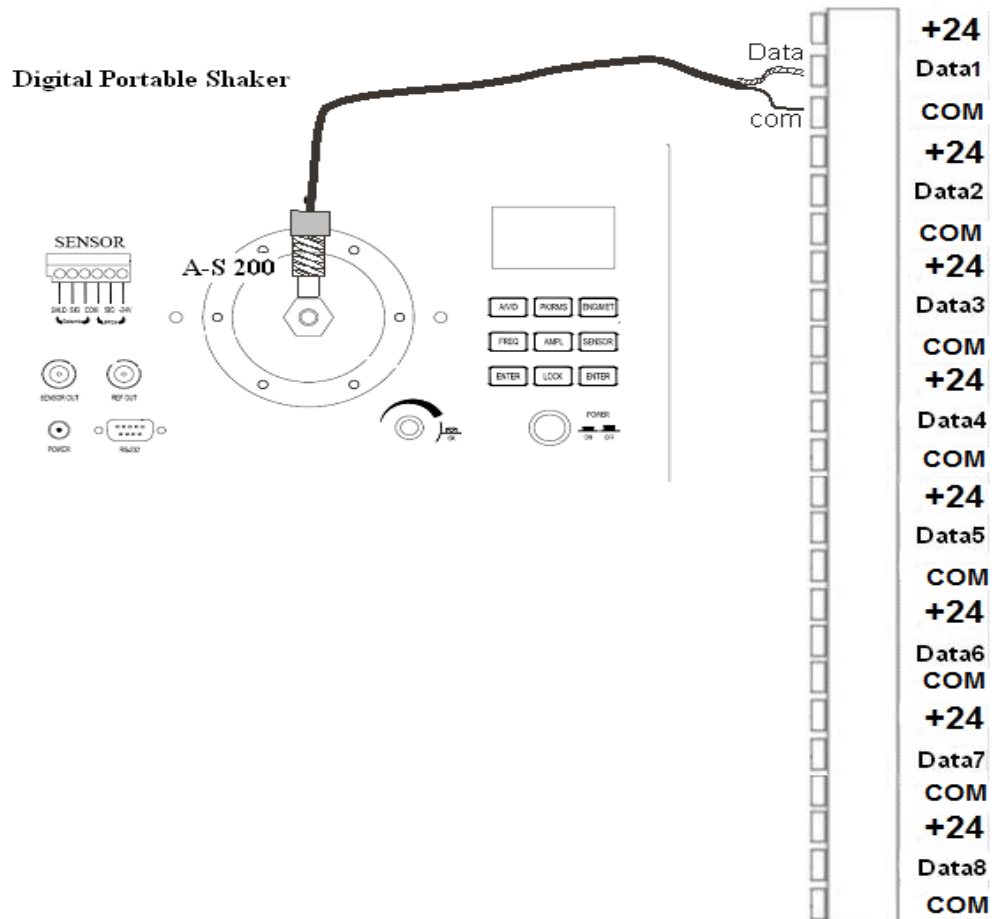


Figure6: VibroRack1000 card and sensor testing with shaker

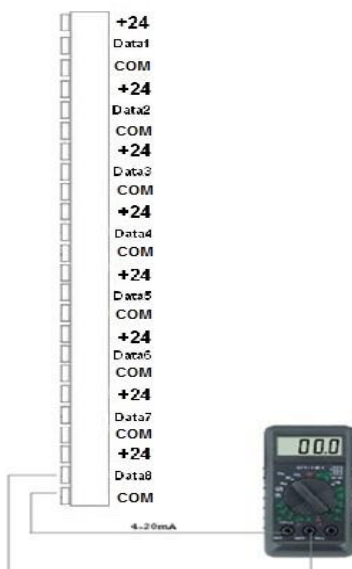


Figure7-current mode

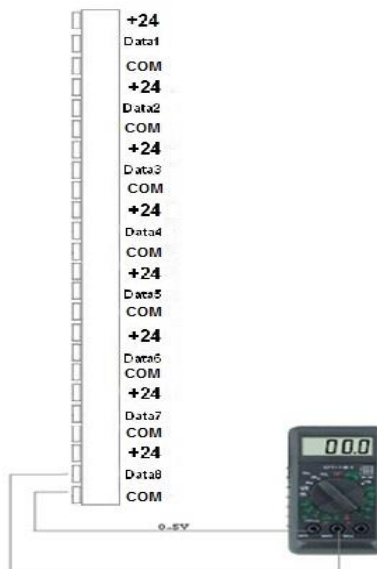


Figure8-voltage mode

We have applied calibrated signal to shaker and read output current and voltage for Gain 1. (Refer to Table 12)

Read vibration was logged from shaker	4-20 mA out put	0-5 volt out put
5mm/s	4.4mA	49mV

Table12- vibration was logged from shaker (for Gain 1)

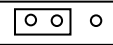
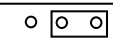
Jumper	STATUS	Application
Signal-Source		0-5 volt output signal considered
		4-20 ma output signal considered

Table13: output signal Jumper status

## ❑ Cable Testing

In case of long length, in which both sides of cable can't be connected to the ohm meter simultaneously, so this approach will be advised in such case:

- 1) If user applies short circuit on pins( no.2,3) and checks green and black wires on the other side of cable by ohmmeter, low ohm(0~3) should be observed.
- 2) If user applies short circuit on pins( no.2,4) and checks red and black wires on the other side of cable by ohmmeter, low ohm(0~3) should be observed.
- 3) If no pins has been short circuited, by checking wires on the other side of cable, no value should be displayed.

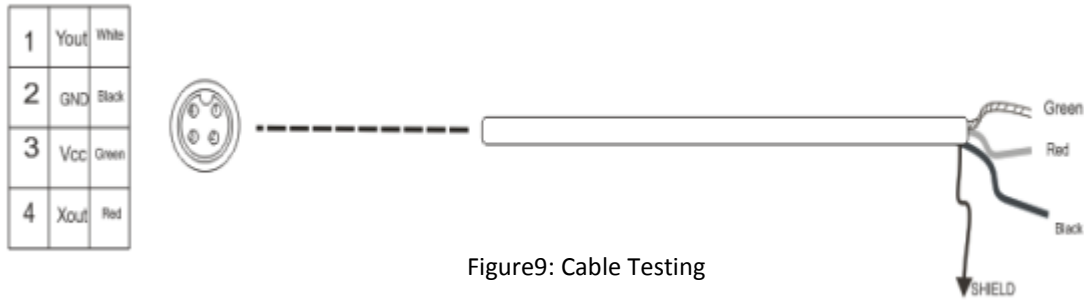


Figure9: Cable Testing

## Accelerometer mounting:

### Coupling:

#### General rule.

The weight of the acceleration sensor should always be lower at least by a Factor ten than the weight of the object onto which it is mounted.

The acceleration sensor is an additional parasitic mass which loads the object on which it is mounted and this changes the vibration behavior if it is too large.

### Mounting the acceleration sensor

The acceleration sensor requires a friction-locked, contact resonance-free, rigid mounting to the object, particularly for measurements at high frequencies.

- ◆ The sensor is to be attached using the supplied threaded stud, either:
- ◆ Threaded stud M5

The sensor may be mounted in any direction.

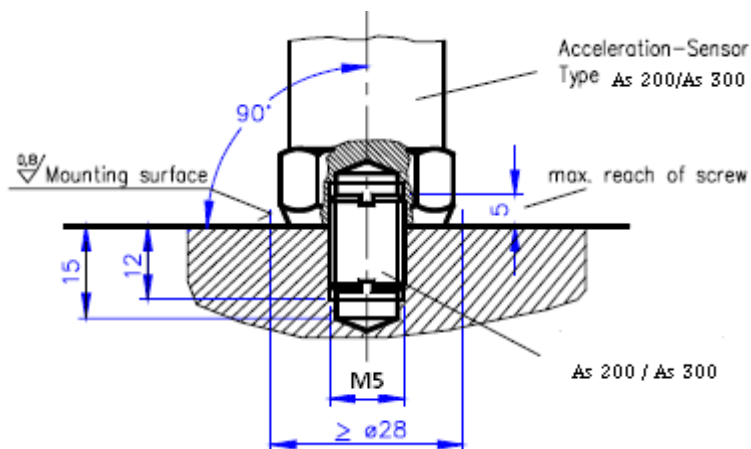


Figure10- Accelerometer Sensor Mounting

- ◆ The mounting surface in the area of the sensor must be flat and machined
- ◆ Provide a size M5, resp. 1/4" threaded hole 12 mm deep in the surface of the machine
- ◆ Apply a thin film of silicone grease on the mounting surface to prevent contact resonance
- ◆ Screw the M5, resp. 1/4", stud into the mounting surface in accordance with Fig. 4 and secure it with sealing, e.g. LOCTITE 243 medium strength, or LOCTITE 270 high strength
- ◆ Maintain a max. length of the threaded stud  $\leq 5$  mm for acceleration sensors
- ◆ Screw the sensor onto the threaded stud, observing the corresponding maximum torque for the threaded stud
- ◆ Recommended maximum torque for the supplied threaded stud is 3,5 Nm

### Bearing Housing Mounting:



#### Notes:

1. Drill and tap housing for 3/4"NPT (typical).

2. Set sealing adapter tight in bearing housing before pulling lead wires.

3. Identify leads prior to installation. Use tag numbers as required.

\* Probes must be mounted perpendicular to shaft.

\* Do not pull thermocouple wire and probe lead wires into same outlet without Engineering Department approval.

6. Check gap Volts after Es500 assembly has been installed.

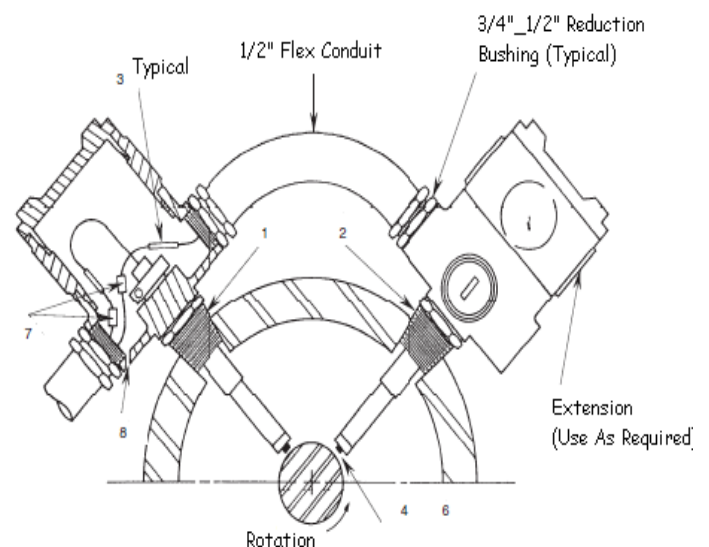


Figure11



Set gap at -10 volts (50mil)

7. Extending cable connectors. Then wrap connections with Teflon tape (typical).

8. Drill 1/4" drain hole in lowest point of box (typical)

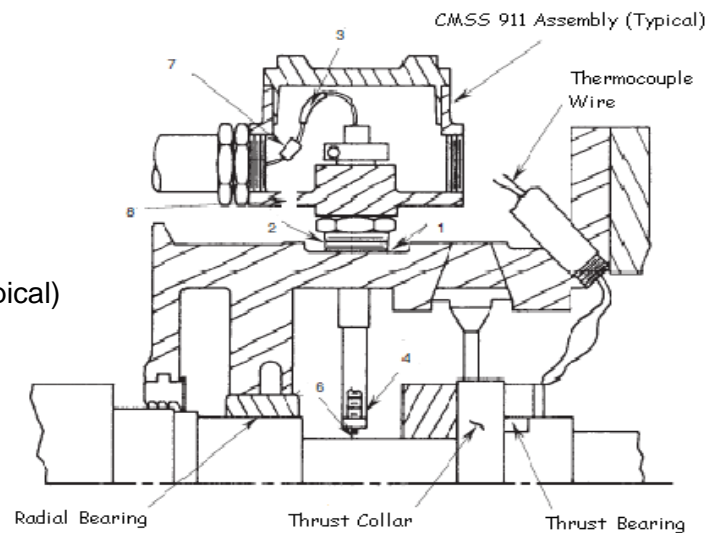


Figure12

## Axial Probe Installation:

## Thrust Probe Installation

## Recommendations:

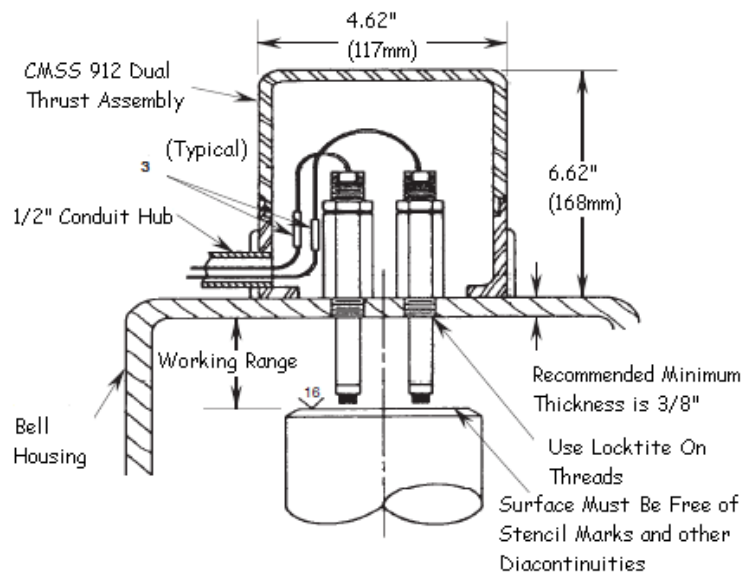


Figure 13

- \* At least two probes per rotor are recommended.
- \* Where the probes cannot be changed without shutting down the machine, install spare probes.
- \* Calibrate probe, cable and driver and record final response curves for primary as well as spare probes. The ABP Condition Monitoring Gjx-3 Static Calibrator may be used.
- \* Try to observe the thrust collar with one probe and the shaft with the other.
- \* Probes must be mounted within one foot of the thrust collar.

\* Avoid mounting probes through thin plates or bell housings that may bow with thermal expansion.

\* Determine the float zone of the rotor by jacking the rotor in both directions. Use up to 2 tons pressure.

\* Measure the rotor movement with

dual indicators on the shaft, the

Eddy Probe voltage change at the

driver and the monitor reading. (All

three should agree.)

\* Jack the shaft several times each way to verify readings.

\* Set the probe gap so that the center of the probe's range is in the center of the float zone.

\* Securely lock the probe and any adapters in place.

\* Be sure the probe tip has a side clearance of at least 0.200".

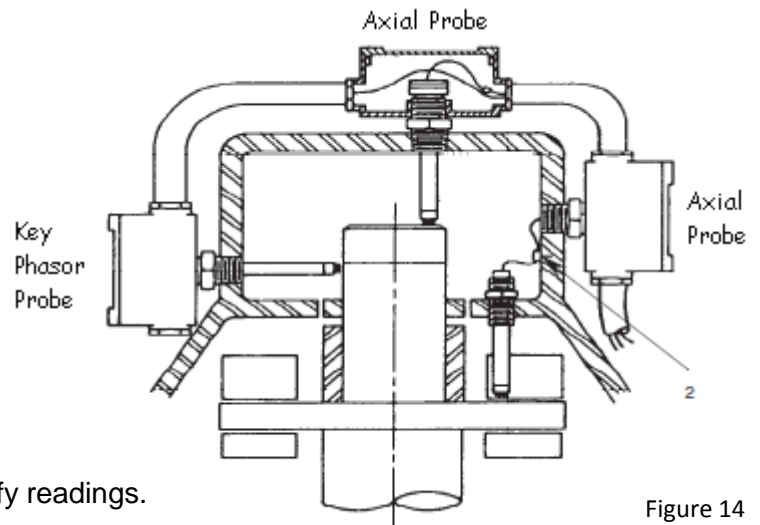


Figure 14



#### Notes:

There are other types of mounting for Eddy current sensors:

1. Set sealing adapter tight in housing before pulling lead wires through.

2. Probe lead wires must be secured against internal whipping and rubbing.

\* Identify probe leads prior to installation. Use tag numbers as required.

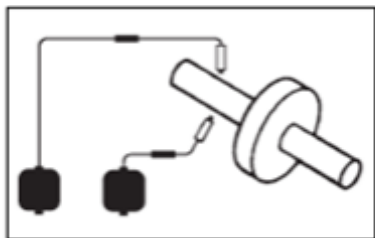
\* Probes must be mounted perpendicular to shaft or surface it is "seeing".

\* Do not pull thermocouple wires and probe lead wires into same outlet without engineering department approval.

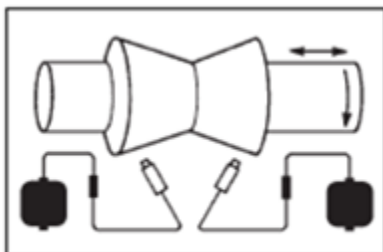
\* Check gap volts after Es-500 assemblies have been installed. Use digital voltmeter

\* Set gap at midpoint of probe range at the center of the shaft float zone.

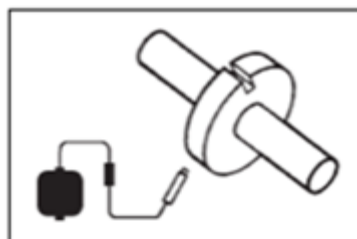
\*extending cable connectors . Then wrap connectors with Teflon tape.



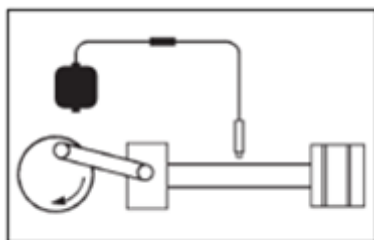
**Radial Motion of Rotating Shaft**



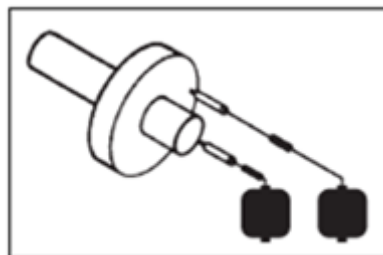
**Differential Expansion**



**Key phasor/Speed**



**Rod Drop**



**Axial (Thrust) Position**

# دفترچه راهنمای نرم افزار Vibro-CMS

# فصل اول : تنظیمات

## ۱-۱ معرفی نرم افزار CMS (Condition Monitoring Systems)

نرم افزار CMS همان طور که از نام آن پیداست، از جمله نرم افزارهای پایش وضعیت می باشد که امکان مشاهده و ذخیره سازی داده های جمع آوری شده از مبدل ها و حسگرها<sup>۱</sup> را فراهم می آورد. سنسورها و مبدل های متصل به بخش های مختلف دستگاه های واحد های صنعتی و یا نمونه های آزمایشی مورد مطالعه در آزمایشگاه ها و مراکز علمی به سیستم های جمع آوری داده که شامل vibrorack1000 و vibrorack3000 متصل می باشند. نرم افزار CMS با اعمال تنظیمات مربوط به نوع اندازه گیری و نوع ذخیره سازی امکان مشاهده و تحلیل به صورت آنلاین سیگنال های جمع آوری شده را فراهم می آورد. همچنین داده های جمع آوری شده را می توان به فراخور نیاز کاربر ذخیره کرد تا برای تحلیل های آفلاین در نرم افزار vibro-RMDS و به عنوان ورودی سایر نرم افزارهای تحلیل داده و همچنین نرم افزارهای برنامه نویسی مورد استفاده های علمی و صنعتی قرار گیرد.

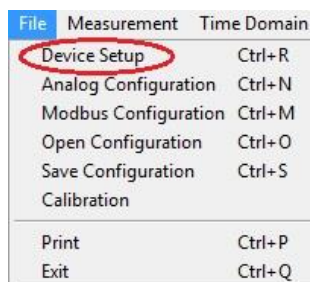
## ۲-۱ تنظیمات نرم افزار CMS

قبل از هرگونه داده برداری نیاز است تا تنظیمات صحیح مربوط به نحوه داده برداری و ذخیره سازی داده اعمال گردد. در واقع صحیح اجرا شدن مراحل بعدی و بدست آمدن یک نتیجه صحیح از تحلیل داده ها منوط بر این است که در ابتدا داده برداری صحیح صورت بگیرد. لذا اعمال تنظیمات صحیح در دستگاه جمع آوری داده مرحله مهم در کار پایش وضعیت محسوب می شود. تنظیمات نرم افزار به معنای پیکربندی سیستم تحلیلگر برای کار داده برداری می باشد. این پیکربندی شامل نوع سنسورهای متصل به دستگاه جمع آوری داده، نوع ارتباط گیری آنها، بازه های اندازه گیری و داده برداری و ... می باشد. در ادامه مراحل مختلف مربوط به تنظیمات توضیح داده خواهد شد.

<sup>1</sup> Sensors

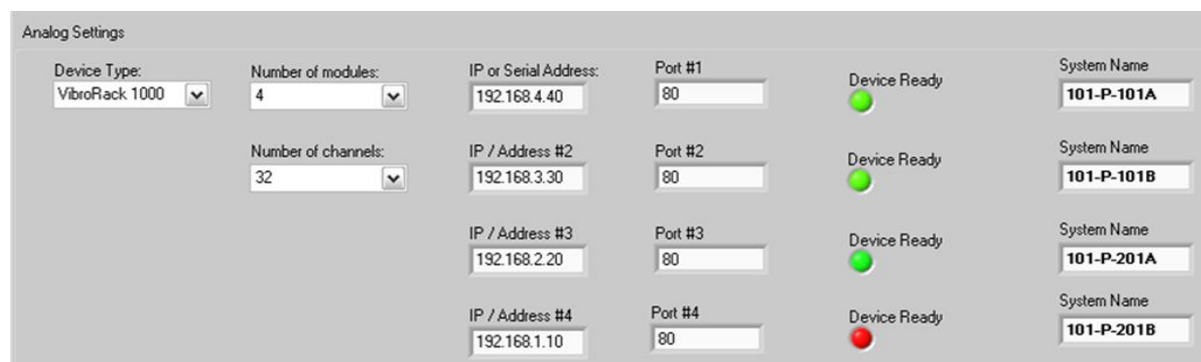
## ۱-۲-۱ انتخاب نوع سیستم داده برداری

در محیط نرم افزار در منوی file گزینه device setup تنظیمات مربوط به نوع تحلیلگر و یا پروتکل های ارتباطی می باشد که به فراخور نیاز واحد صنعتی انتخاب می شود.



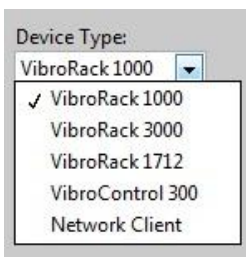
### ❖ Analog setting

بعد از انتخاب گزینه device type امکان انتخاب نوع تحلیل گر در مطابق شکل (1-1) Analog setting وجود دارد. این دستگاه ها به فراخور سیستمی که کار پایش وضعیت روی آن صورت می گیرد، محیطی که در آن نصب می گردد و در دسترس بودن یا نبودن ماشین آلات، وضعیت حساسیت و ... انتخاب می گردد. انواع تحلیل گر ها در ادامه به صورت مختصر معرفی شده اند.



شکل (1-1). نمایش بخش تنظیمات آنالوگ

✓ انواع تحلیل گر ها



- vibroRack1000
- vibroRack3000
- vibroRack1712
- VibroControl 300
- Network client

### ✓ تعیین تعداد تحلیل گر ها و تعداد کانال های ورودی

در این بخش پس از انتخاب نوع تحلیل گر، تعداد آن از گزینه number of modules و تعداد کانال های آنالوگ آن از گزینه Input قابل تعیین است. گاهی در واحدهای صنعتی چندین دستگاه تحلیل گر نیاز است که نقاط بیشتری از دستگاه را بتوان مورد پایش قرار داد. لذا لازم است تعداد دستگاه های تحلیل گر و تعداد ورودی های هر کدام در ابتدای کار داده برداری تعیین گردد. ( معمولاً در مواردی که سیستم تحلیلیگر به صورت دائمی در واحد صنعتی نصب می شود این تنظیمات در ابتدای کار توسط مجری طرح انجام می گیرد و هر بار نیاز به تنظیم وجود ندارد).

### ✓ شناسایی سیستم تحلیل گر به نرم افزار

تمام دستگاه های تحلیل گر یک شماره سریال<sup>۲</sup> یا آدرس پروتکل اینترنتی<sup>۳</sup> دارند که برای شناختن سیستم باید به نرم افزار داده شود ( برای سیستم های دائمی در ابتدا این سریال به نرم افزار داده می شود). اگر نرم افزار سیستم تحلیل گر را بشناسد چراغ مربوط به گزینه device Ready از رنگ قرمز به رنگ سبز ( ثابت یا چشمک زن) در می آید. در چنین حالتی نرم افزار سیستم تحلیل گر را به طور کامل شناخته و می تواند داده ها را از آن تحلیل گر دریافت کند. برای اطمینان از اینکه حتما ارتباط بین نرم افزار و دستگاه تحلیل گر وجود دارد می توان در قسمت سیستم عامل ویندوز (run) با تایپ cmd که مخفف command میباشد وارد محیط سیستم عامل شده و عبارت زیر را تایپ کرد:

#### Ping+ IP address

آدرس پروتکل اینترنتی دستگاه های تحلیل گر در پشت دستگاه ها برچسب خورده و قابل دسترسی می باشد. اگر از سیستم عامل پاسخ گرفته شود نشان دهنده اتصال نرم افزار و تحلیل گر می باشد.

<sup>2</sup> Serial address

<sup>3</sup> IP ( Internet protocol)



### ✓ معرفی ماشین آلات تحت پایش در نرم افزار

در این بخش می توان طبق اصول نام گذاری ماشین ها در واحد های صنعتی نام گذاری مربوط به ماشین ها را در نرم افزار اعمال کرد تا کاربر و یا اپراتور از دستگاهی که در حال پایش و تحلیل است اطلاع داشته باشد. نام ماشین را می توان از بخش system name به نرم افزار اضافه نمود.

### ❖ Modbus setting

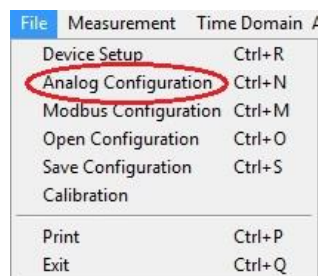
در سیستم های حفاظتی معمولاً علاوه بر حسگرهای شتاب سنج، سرعت و جابجایی حسگرهای دیگری مربوط به دما، فشار و دبی و ... وجود دارند که این حسگر ها باید به یک پروتکل ارتباطی (Modbus) متصل شوند تا سیگنال های آنها نیز جمع آوری گردد. تنظیمات مربوط به پروتکل ارتباطی مطابق شکل (2-1) در بخش Modbus setting انجام می گیرد.

Number of Remote I/O:	Port:	Inputs:	Starting Address:	Baud Rate:	Parity:	Flow Control:	Timeout:	Slave Address:
4	COM1	8	0	9600	None	None	2000	4
	COM1	8	0	9600	None	None	2000	3
	COM1	8	0	9600	None	None	2000	2
	COM1	8	0	9600	None	None	2000	1

شکل (2-1). نمایش بخش مربوط به تنظیمات سایر پروتکل های ارتباطی

### ۲-۲-۱ انتخاب مشخصات مربوط به حسگرهای ارتعاشات Analog Configuration

در محیط نرم افزار در منوی file گزینه Analog Configuration تنظیمات مربوط به نوع حسگرهای نصب شده روی ماشین آلات می باشد که به فراخور نیاز واحد صنعتی می تواند از مقدار جابجایی<sup>۴</sup>، سرعت<sup>۵</sup> و شتاب<sup>۶</sup> و یا برای اندازه گیری فاز از دور خوان و ... استفاده شود.



همان طور که در شکل (۳-۱) مشاهده می شود، منوی بالا نام ماشین تحت پایش را نمایش می دهد ( مانند 101-P-101A). در زیر مجموعه هر ماشین نام سنسور هایی که به آن متصل هست، در ستون با عنوان

<sup>4</sup> Displacement

<sup>5</sup> Velocity

<sup>6</sup> Acceleration

Channel Label قابل مشاهده می باشد. اگر سنسوری به سیستم تحلیلی متصل نباشد نام آن سنسور با عنوان Spare# نمایش داده خواهد شد و در بقیه بخش ها با التبع هیچ داده ای از آن دریافت نخواهد شد. این سنسورها می توانند از انواع مختلفی روی ماشین آلات تعبیه شوند که نوع سنسور از ستونی با عنوان Transducer Family قابل تنظیم می باشد. حساسیت سنسور ها توسط شرکت مجری طرح در ابتدای تنظیمان سیستم به همراه واحد های حساسیت بر اسا کاتالوگ های شرکت های سازنده سنسور در ستون های Sensitivity unit و Sensitivity نمایش داده می شود. در ستون با عنوان overall Type پارامتری که برای نمایش سیگنال های ارتعاشی بر اساس استانداردهای داده برداری ارتعاشی برای نمایش داده ها ترجیح داده شده است انتخاب می شود. مقدار هشدار در ستون Alarm Value برای داده های ارتعاشی قابل تعیین می باشد. می توان ترتیبی اتخاذ کرد که وقتی مقدار اندازه گیری شده به درصدی از مقدار هشدار تعیین شده در بخش Alarm Value رسید، کار ذخیره سازی داده شروع شود. این درصد از ستون Record trigger (%) قابل تنظیم می باشد و بدیهی است اگر روی 100٪ تنظیم شود، ذخیره سازی از زمانی که داده اندازه گیری شده به حد هشدار رسید، شروع گردد. ستون آخر مربوط به تنظیمات خروجی هایی است که کاربر مشاهده می کند. در این بخش می توان در صورت نیاز روی داده های ارتعاشی سنسور ها انتگرال گیری انجام داد. برای مثال اگر از داده های سنسور شتاب یکبار انتگرال گیری شود داده های مربوط به سرعت و اگر دو بار انتگرال گیری شود داده های مربوط به جابجایی قابل دریافت خواهد بود.

اگر سمت چپ مشخصات سنسور گزینه Auto Record انتخاب نشده باشد، در شرایط ذخیره سازی خودکار از مورد انتخابی ذخیره سازی صورت نخواهد گرفت. ستون با عنوان Input gain بر حسب نیاز سیستم که دامنه زیاد باشد یا کم تنظیم می شود که معمولا در ابتدا توسط مجری طرح در ابتدا تنظیم می شود اما کاربر می تواند بر اساس راهنمای سخت افزار این مقدار دریافتی را تنظیم نماید.

101-P-101A	101-P-101B	101-P-201A	101-P-201B							
Auto Record	Input Gain	Channel Label	Transducer Family	Sensitivity (mv/ unit)	Sensitivity Unit	Overall Type	Alarm Value	Record trigger [%]	Output Integration	
<input type="checkbox"/> Disabled	2	KE0101A	Tachprobe	1000	V	RPM	3500	100	None	
<input type="checkbox"/> Disabled	2	VE0101X1A	Velocity	7.87	micron	PK-PK	200	100	Vel-> Disp	
<input type="checkbox"/> Disabled	2	VE0101Y1A	Accelerometer	7.87	micron	PK-PK	200	100	Accel-> Disp	
<input type="checkbox"/> Disabled	2	VE0101X2A	Accelerometer	7.87	micron	PK-PK	200	100	Accel-> Vel	
<input type="checkbox"/> Disabled	2	VE0101Y2A	Microphone	7.87	micron	PK-PK	200	100	None	
<input type="checkbox"/> Disabled	1	Spare#1	Displacement	10	micron	RMS	100	100	None	
<input type="checkbox"/> Disabled	1	Spare#2	Displacement	10	micron	RMS	100	100	None	
<input type="checkbox"/> Disabled	1	Spare#3	Displacement	10	micron	PK	100	100	None	

شکل (3). نمایش مربوط به تنظیمات حسگرها

### 3-2-1 تنظیمات مربوط به سایر حسگرهای متصل به پروتکل ارتباطی Modbus Configuration

در این بخش مطابق شکل (۴-۱) سنسورهای دیگری از جمله سنسورهای دما، فشار، دبی و ... که برای دریافت داده هایشان نیاز به اتصال آنها به پروتکل ارتباطی (Modbus) می باشد، فراهم آمده است. کاربر می تواند نوع حسگر را از Transducer family و واحد آن را از ستون Unit و مقدار هشدار آن را از ستون Alarm Value تعیین نماید.

101-P-101A	101-P-101B	101-P-201A	101-P-201B
Auto Record <input type="checkbox"/> Disabled	Gain 262	Channel Label 5 TE0101A2A	Transducer Family Temperature
		Offset 0	Unit Celsius
		Alarm Value 200	
<input type="checkbox"/> Disabled	262	TE0101A4A	Temperature
<input type="checkbox"/> Disabled	262	TE0101A5A	Temperature
<input type="checkbox"/> Disabled	262	TE0101A9A	Temperature
<input type="checkbox"/> Disabled	286	FT0091	Flow
<input type="checkbox"/> Disabled	100	Spare#1	Temperature
<input type="checkbox"/> Disabled	100	Spare#2	Temperature
<input type="checkbox"/> Disabled	100	Spare#3	Temperature

شکل (۴-۱). نمایش بخش تنظیمات مربوط به حسگرهای متصل به پروتکل ارتباطی

### ۴-۲-۱ باز کردن پیکربندی مربوط به تنظیمات داده برداری Open Configuration

برای سیستم پایش وضعیت هر واحد صنعتی، تنظیمات اولیه که توسط شرکت مجری طراح صورت می گیرد به اپراتور مربوطه داده می شود که اگر تنظیمات مربوط به داده برداری تغییر داده شد و نیاز بود به حالت اولیه برگردانده شود دوباره از طریق گزینه Open Configuration پیکربندی مربوط به تنظیمات دوباره روی سیستم داده برداری اعمال شود. توجه داشته باشید تا زمانی تنظیماتی در این بخش انجام گرفته اما گزینه مربوط به شروع اندازه گیری Measurement start انتخاب نشده باشد تغییراتی در نوع پیکربندی اولیه ایجاد نخواهد شد. داده های اندازه گیری شده با پیکربندی تنظیماتشان مفهوم پیدا می کنند لذا باید همیشه باید از صحت پیکربندی اطمینان حاصل کرد.

### ۵-۲-۱ ذخیره پیکربندی مربوط به تنظیمات داده برداری Save Configuration

همان طور که عنوان شد داده های مربوط به حسگرها با پیکربندی تنظیمات خود مفهوم پیدا می کنند. لذا برای تحلیل های آتی به صورت آفلاین در نرم افزار RMDS نیاز هست تا علاوه بر ذخیره داده ها، پیکر بندی

تنظیمات مربوط به همان داده برداری ترجیحاً در همان مسیری که برای ذخیره داده ها در بخش تنظیمات مربوط به ذخیره داده داده خواهد شد، ضبط شود. انتخاب نام مناسب برای پیکربندی هر داده برداری می تواند مانع از خطای کاربر در انتخاب پیکربندی مربوطه در تحلیل آفلاین و یا داده برداری مجدد شود.

### ۶-۲-۱ کالیبراسیون (calibration)

هرکدام از سنسورهای متصل به ماشین آلات پس از گذشت مدت زمان معینی نیاز به تنظیم دوباره و اصطلاحاً کالیبره شدن دارند. مطابق شکل (۵-۱) ضرایب کالیبراسیون در این بخش از نرم افزار بعد از مدت معینی توسط خود مجری طرح تعیین و اعداد بدست آمده برای هر کانال در سیستم ذخیره می گردد. ترجیحاً کاربر نباید تنظیمات این قسمت را بدون داشتن علم و تخصص کافی به روش های کالیبراسیون، تغییر دهد. برای کار کالیبراسیون به شرکت مجری طرح باید مراجعه شود.

	AC gain	DC gain	DC offset
Channel 1	1.21	227	0
Channel 2	1.21	226	0
Channel 3	1.22	227	0
Channel 4	1.23	227	0
Channel 5	1.22	226	0
Channel 6	1.22	227	0
Channel 7	1.22	226	0
Channel 8	1.23	226	0

Apply Create DC reference

شکل (۵-۱). نمایش تنظیمات مربوط به کالیبراسیون

# فصل دوم:

## داده برداری و اندازه گیری

## Measurements

## ۱-۲ مقدمه

قبل از اجرای کار اندازه گیری و ذخیره سازی داده، در ابتدا باید تنظیمات مربوط به کارهای پردازش سیگنال و همچنین تنظیمات نمونه گیری و تنظیمات مربوط به دورخوان تعیین گردد. در ادامه به توضیح بخش های مختلف مربوط به این تنظیمات اشاره خواهد شد.

۲-۲ تنظیمات مربوط به داده برداری **measurement setup**

این بخش از تنظیمات مربوط به روش های اندازه گیری، پردازش سیگنال و داده برداری می-باشد. در ستون با عنوان Measurement settings می توان نوع پنجره برای اعمال تبدیل فوریه سریع را تعیین نمود. همچنین امکان تنظیم باند فرکانسی<sup>۷</sup> و تعداد نمونه ها<sup>۸</sup> و مقیاس محور Y که می تواند به صورت خطی<sup>۹</sup> یا دسی بل<sup>۱۰</sup> نمایش داده شود، به وجود آمده است. برای کار انتگرال گیری باید یک حد بالای فرکانسی تعیین شود که می توان آن را از بخش High pass frequency (integration) تنظیم نمود. با توجه به این نوع نمونه گیری و تعداد نمونه (Sample) باید زمان T(sec) و فاصله فرکانسی df(Hz) طوری تعیین گردد تا کار نمونه گیری و داده برداری صحت داشته باشد. لذا اگر تمام ارقام تنظیمی با همدیگر هم خوانی داشته باشند، گزینه valid نمایش داده خواهد شد. در ستون آخر با عنوان Averaging setting تنظیمات مربوط به میانگین گیری که معمولاً برای حذف نویزهای پس زمینه می باشد، مورد استفاده قرار می گیرد. تکنیک میانگین گیری کار تحقیقاتی و تحلیلی است که مربوط به تکنیک های پردازش سیگنال می باشد و به فراخور نیاز در واحد های صنعتی، خود مجری طرح در ابتدا این بخش را تنظیم خواهد نمود. تنظیمات ذکر شده مطابق شکل (2-1) در نرم افزار قابل دسترسی می باشد.

<sup>7</sup> Frequency Bandwidth

<sup>8</sup> Samples

<sup>9</sup> Linear

<sup>10</sup> Decibel

The screenshot shows the CMS software settings window. It is divided into three main sections: Record settings, Measurement settings, and Averaging settings. Red boxes highlight specific areas with Persian text labels:

- Record settings:**
  - Measurement Record Path: D:\ (Valid)
  - Save Interval: Every 10 minutes
  - File size limit (MB): 100
  - تنظیمات مربوط به اندازه گیری (Annotation)
  - تنظیمات مربوط به ذخیره سازی داده (Annotation)
- Measurement settings:**
  - FFT Window: Hanning
  - Frequency Bandwidth (Hz): 2000
  - Samples: 4000
  - Y axis scale: Linear
  - High pass freq. (integration): 3
  - فرکانس بالاگذر ( برای کار انتگرال گیری) (Annotation)
- Averaging settings:**
  - Averaging Mode: No Averaging
  - Weighting Mode: Linear
  - Number of averages: 1
  - Linear Mode: One Shot
  - تنظیمات میانگین گیری (Annotation)

شکل (۲-۱). نمایش بخش تنظیمات مربوط به اندازه گیری و ذخیره سازی

در ستون با عنوان Record setting تنظیمات مربوط به ذخیره سازی داده های اندازه گیری شده وجود دارد. مسیری که کاربر مایل است داده های ضبط شده را در آنجا نگهداری کند، از طریق قسمت Measurement Record Path تعیین می گردد. اگر آدرسی که در این کادر وارد شده، صحیح باشد و پوشه ای با آن نام وجود داشته باشد، عبارت valid در مقابل آدرس رویت خواهد شد. گزینه بعدی Save interval این امکان را به کاربر خواهد داد تا در بازه های زمانی خاصی داده های اندازه گیری شده را ذخیره نماید. معمولاً در واحد های صنعتی برای داشتن اسناد از نحوه کارکرد دستگاه یک گزارش از وقایع اتفاق افتاده در عملکرد ماشین آلات به خصوص ماشین آلات حساس ذخیره و نگهداری می شود. از این بخش می توان تنظیم کرد که داده برداری هرچند وقت یکبار انجام بگیرد و بازه می تواند از دقیقه تا روز متغیر باشد. برای داده برداری پیوسته می توان گزینه continuous را انتخاب کرد. حافظه های کامپیوتری دارای حجم محدودی هستند و نیاز است که هر از چند یکبار از حافظه ای که ذخیره سازی داده در آن انجام می گیرد، کپی پشتیبان<sup>۱۱</sup> گرفته شود.

بخش Tachometer setting مربوط به تنظیمات دورخوان می باشد که در شکل (۲-۲) نشان داده شده است.

<sup>11</sup> Back up

Tachometer settings:

Channel Label	Pulse Threshold	Pulse Slope
KE0101A	1.40	Fall
KE0101B	1.20	Fall
KE0201A	1.00	Fall
KE0201B	1.20	Fall

شکل (۲-۲). بخش تنظیمات مربوط به دور خوان

در سمت راست سه گزینه برای اتوماتیک کردن کار اندازه گیری ، کار ذخیره داده و یا هردو آنها در زمان شروع نرم افزار وجود دارد. با انتخاب گزینه Auto measure on startup ، هرزمان که نرم افزار شروع به کار کرد، به صورت خودکار کار اندازه گیری شروع خواهد شد و پیکربندی تنظیماتی که از قبل روی نرم افزار بوده اعمال خواهد شد. با انتخاب گزینه Auto record on startup این امکان فراهم می شود که با شروع نرم افزار کار ذخیره سازی داده نیز به صورت خودکار آغاز گردد. از آنجایی که باید ابتدا اندازه گیری شروع گردد تا بتوان داده ها را ذخیره کرد، لذا اگر کاربر تمایل به ذخیره خودکار داده در زمان شروع نرم افزار داشت، باید که هر دو گزینه اندازه گیری و ذخیره سازی خودکار همزمان انتخاب گردد. گزینه سوم مربوط به نمایش واحد های اندازه گیری شده در بخش شکل شماتیک ماشین (HMI) می باشد. عدم نمایش واحد در کنار مقدار اندازه گیری شده در نرم افزار طراحی شده است و کاربر به دلخواه می تواند مطابق شکل (۲-۳) آن را فعال یا غیرفعال کند.

☐ Auto measure on startup

☐ Auto record on startup

☐ HMI unit display

شکل (۲-۳). بخش تنظیمات مربوط به خودکار کردن نرم افزار

### ۳-۲ شروع داده برداری measurement start

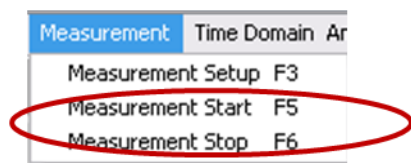
بعد از اعمال تمام تنظیمات مربوط به بخش اندازه گیری و ذخیره داده، می توان کار اندازه گیری را با انتخاب گزینه measurement start آغاز کرد. توجه داشته باشید که اگر بخش مربوط به خودکار سازی اندازه گیری فعال شده باشد، با باز کردن نرم افزار مستقیماً کار اندازه گیری شروع خواهد شد و این بخش به طور خودکار



شروع به کار خواهد کرد. با شروع اندازه گیری، هر تنظیمی که در بخش های قبل اعمال شده روی پیکربندی تنظیمات پیش فرض سیستم ضبط شده و با آن تنظیم کار اندازه گیری داده ادامه پیدا خواهد کرد. لذا اگر تنظیمات مربوطه صحیح نباشد، برای انجام دوباره اندازه گیری صحیح نیاز است تا configuration پیش فرض که توسط مجری طرح به اپراتور تحویل داده شده است، از مسیر open configuration انتخاب و بر طبق آن پیکربندی، اندازه گیری آغاز گردد.

#### ۴-۲ توقف داده برداری measurement stop

برای توقف کار اندازه گیری، گزینه measurement stop انتخاب و بدین ترتیب هیچ نوع داده ای توسط سیستم تحلیلگر اندازه گیری نخواهد شد.



# فصل سوم:

## آنالیز در حوزه زمان

# Time Domain Analysis

## 1-3 مقدمه

حوزه زمان<sup>۱۲</sup> در واقع همان جایی است که داده برداری و داده خوانی از آن حوزه شروع می شود. سیگنال حوزه زمان یک اندازه گیری آنالوگ از چگونگی جابجایی سطحی است که حسگر روی آن قرار گرفته شده است. سیگنال آنالوگ از طریق مبدل<sup>۱۳</sup> به سیستم تحلیلی<sup>۱۴</sup> منتقل می شود. سیگنال در سیستم تحلیلی از یک برگرداننده<sup>۱۵</sup> A/D می گذرد تا سیگنال آنالوگ به سیگنال دیجیتال تبدیل شود. نتیجه این پروسه بدست آمدن شکل موج سیگنال در حوزه زمان خواهد بود. برای مثال اگر واحد دامنه در نمودار شکل موج زمانی جابجایی باشد، نموداری که بدست آمده موقعیت یاتاقان را در حرکت به جلو و عقب نمایش خواهد داد. یک متخصص آنالیز ارتعاشات شاید از روی تجربه و تمرین بتواند با سیگنال های حوزه زمان ارزیابی و تحلیل عیب یابی انجام دهد، اما همه اینها تنها با شناختن شکل سیگنال میسر خواهد بود. برای تحلیل اصولی ارتعاشات باید به حوزه فرکانس رفت تا از روی فرکانس سیگنال ها در مورد عیوب مختلف اظهار نظر کرد.

علاوه بر نمودار شکل موج در حوزه زمان، نمودار روند<sup>۱۶</sup> دامنه نیز بر حسب زمان رسم می شود که در آن مقدار دامنه ارتعاشات نقاط مختلف ماشین، بر حسب فاصله های زمانی که کار داده برداری در آنها انجام می شود قابل مشاهده خواهد بود.

بر خلاف نمودار Trend، در نمودار شکل موج زمانی مقدار دامنه می تواند مثبت یا منفی باشد. برای مثال جابجایی می تواند در هر دو سمت نقطه استراحت<sup>۱۷</sup> (نقطه جابجایی صفر) قرار گیرد و این موجب شود که دامنه سرعت و شتاب مثبت یا منفی باشد. بسته به موقعیتی که مبدل یا حسگر نصب شده است، دامنه می تواند مثبت یا منفی لحاظ شود. تحلیل با استفاده از نمودار شکل موج در حوزه زمان کار مشکلی است و معمولاً در صنعت از آن برای مشاهده روند کلی ارتعاشات و تشخیص پیشرفت خرابی بهره گرفته می شود.

پس از تنظیمات اولیه مربوط به چگونگی داده برداری و نوع سنسور ها، در اولین مرحله امکان مشاهده مقادیر کلی مربوط به حسگرهای ارتعاشی و هم چنین مقادیر مربوط به Remote I/O ها در قسمت Time domain analysis فراهم شده است. در واقع ابتدایی ترین سیگنال های خام جمع آوری شده از ماشین در حوزه زمان می باشند و می توانند تغییرات ارتعاشات و هم چنین پارامترهای دیگر مثل دما، فشار، دبی و ... را

<sup>12</sup> Time domain

<sup>13</sup> Transducer

<sup>14</sup> Analyzer system

<sup>15</sup> Analog to digital (A/D) convertor

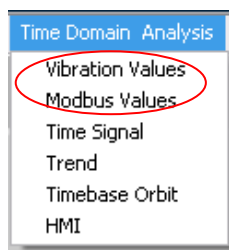
<sup>16</sup> Trend

<sup>17</sup> Rest point (neutral)

در حوزه زمان به نمایش بگذارند. در ادامه به معرفی امکاناتی که در نرم افزار CMS برای مشاهده و تحلیل سیگنال ها در حوزه زمان گنجانده شده، پرداخته خواهد شد.

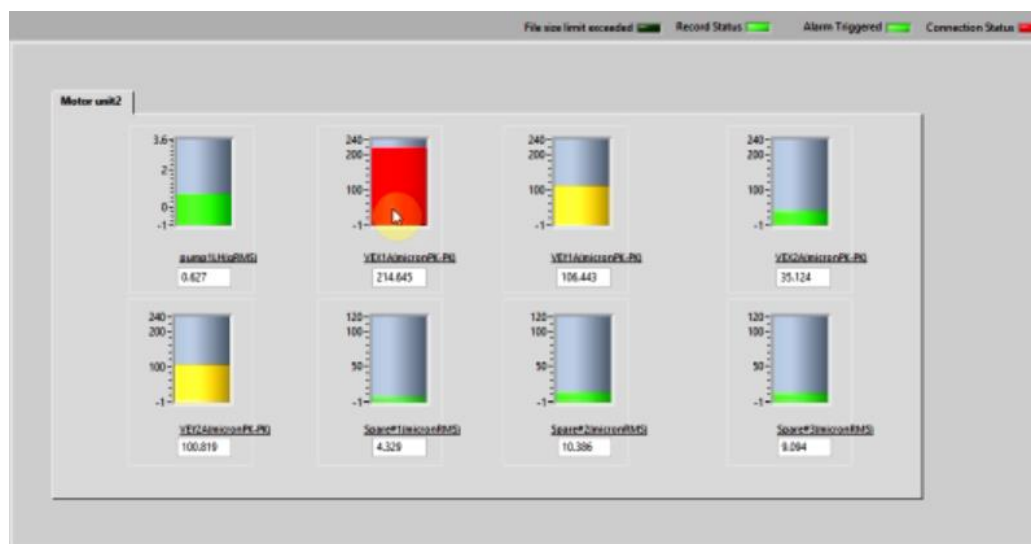
### 2-3 مشاهده مقادیر کلی overall value

ابتدایی ترین مرحله برای پایش وضعیت داده های ارتعاشی، مشاهده مقادیر کلی ارتعاشات و شناسایی وضعیت کلی ماشین با توجه به حدود مجاز و حدود آلام می باشد. از روی مقادیر کلی ارتعاشات می توان پی برد که کدام داده ها وضعیت نامناسبی دارند و نیاز است تا بررسی های دقیق تری در مورد آنها صورت گیرد تا خرابی های احتمالی در ماشین تشخیص داده شود.



#### ۷-۲-۱ مشاهده مقدار کلی ارتعاشات vibration value

در این قسمت امکان مشاهده مقدار کلی ارتعاشات در نقاط مختلف ماشین وجود دارد. مقادیر کلی ارتعاشات بر اساس پارامترهایی نظیر **RMS, Peak, Peak to Peak**... که به فراخور نیاز در بخش تنظیمات تعیین شده است، قابل مشاهده می باشد. هم چنین به نسبت مقدار آلامی که برای داده های دریافتی از هرکدام از کانال ها تعیین شده است، وضعیت کلی ارتعاشی کانال ها به یکی از رنگ های سبز، زرد و قرمز در نمودارهای عمودی قابل مشاهده است. کادر زیر نمایشگر استوانه ای مطابق شکل (3-1)، مقدار عددی مربوط به پارامتر ارتعاشی اندازه گیری شده را نشان خواهد داد.



شکل (3-1). نمایش وضعیت کلی ارتعاشات نقاط مختلف ماشین

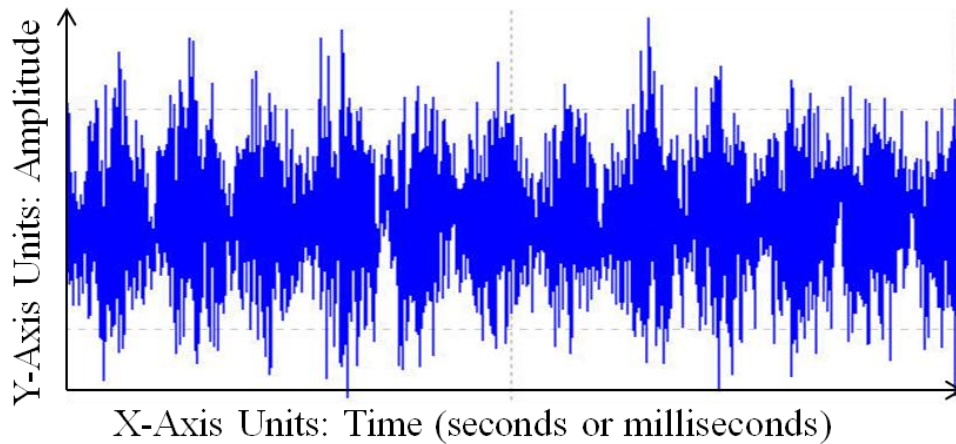
#### ۸-۲-۱ مشاهده مقادیر کلی سایر حسگرها Modbus value

اگر سیستم پایش وضعیت شامل حسگرهای remote I/O مانند دما، فشار، دبی و ... باشد، برای مشاهده و جمع آوری داده از آنها نیاز است که به یک پروتکل ارتباطی متصل شوند که به آن Modbus گفته می شود. از طریق گزینه مربوط به Modbus value امکان مشاهده مقادیر داده های مربوط به این حسگرها قابل حصول می باشد. وضعیت کلی این مقادیر مشابه شکل (3-1) به نسبت مقادیر آلارمی که در بخش تنظیمات برای این حسگرها تعریف شده است، در نمایشگرهای استوانه ای به رنگ های سبز، زرد و قرمز قابل مشاهده است. مقادیر عددی این حسگرها در کادر زیر نمایشگرهای استوانه ای آورده شده است.

#### 4 سیگنال در حوزه زمان Time Signal

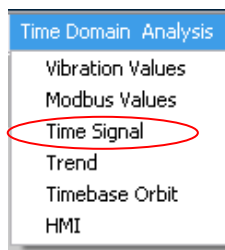
شکل موج در حوزه زمان، داده های دینامیکی و ارتعاشی مربوط به ماشین می باشد که بر حسب پارامتر زمان نمایش داده می شود. با توجه به شکل (۳-۲) موج زمانی می توان دریافت که یک پارامتر (اکثرا جابجایی، سرعت، شتاب و همچنین سایر پارامترهای اندازه گیری) که از طریق یک حسگر دریافت شده اند، چه تغییراتی در مقیاس زمان دارند. سیگنال های خام زمانی می توانند برای کارهای تحقیقاتی آتی ذخیره شوند تا در نرم-افزارهای دیگری عملیات پردازش سیگنال پیچیده تر روی آنها اعمال گردد که معمولا کاربرد بیشتری در دانشگاه ها و مراکز علمی دارد. هم چنین در صنعت از شکل موج زمانی سیگنال برای مشاهده روند کلی ارتعاشات بر حسب مؤلفه زمان بهره گرفته می شود. با اعمال روش های پردازش سیگنال بر روی شکل موج در حوزه زمان می توان نویز موجود در سیگنال را شناسایی کرد و یا وجود چندین فرکانس در سیگنال را با اعمال

تبدیل و بردن به حوزه فرکانس تشخیص داد. همچنین با مشاهده شکل موج زمانی سیگنال، امکان شناسایی بخش گذرای سیگنال که می تواند ناشی از پدیده سایش باشد، وجود خواهد داشت.

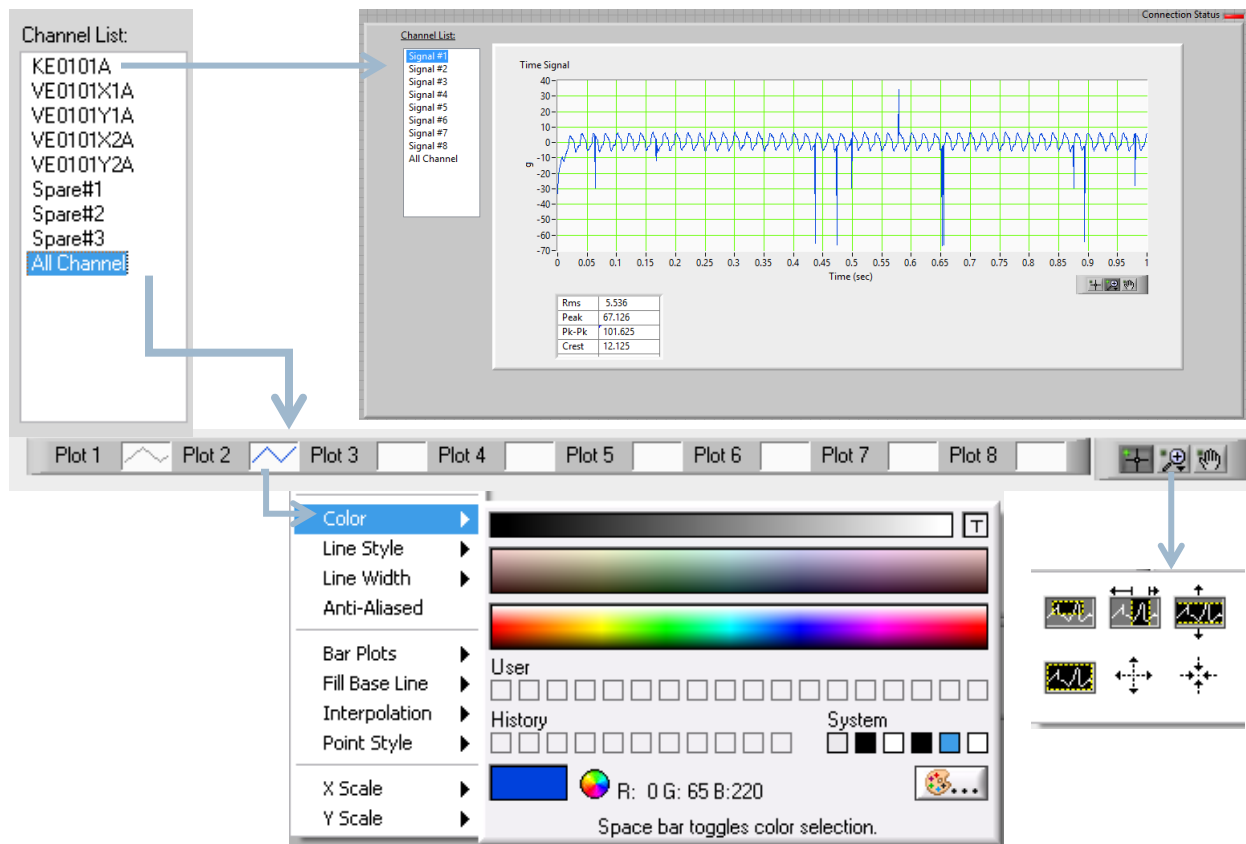


شکل (2-3). نمایش شکل موج در حوزه زمان

در نرم افزار CMS می توان از طریق گزینه Time signal شکل موج زمانی بدست آمده از حسگرهای ارتعاشی تعبیه شده بر روی ماشین را مشاهده نمود.



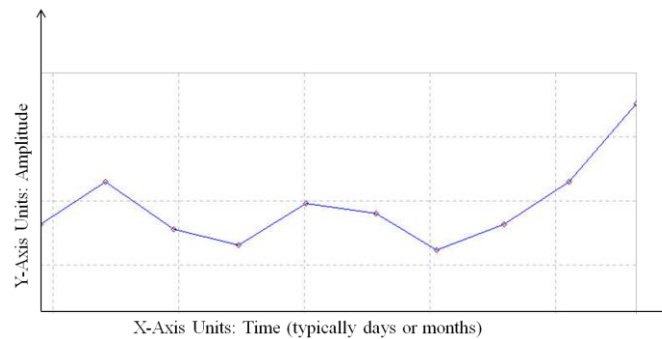
در این بخش امکان نمایش همزمان سیگنال های زمانی در یک نمودار فراهم شده است. تنظیمات مربوط به رنگ و نحوه نمایش سیگنال برای سهولت کار رویت سیگنال های زمانی قرار داده شده است. با کلیک روی نمایشگر سیگنال در زیر نمودار نشان داده شده در شکل (3-3) می توان این تنظیمات را اعمال کرد.



شکل (۳-۳). نمایش سیگنال در حوزه زمان و نحوه تنظیمات نمایش

## 5 نمودار روند ارتعاشات Trend

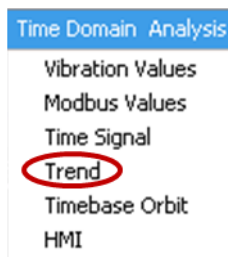
نمودار روند (Trend plot) مطابق شکل (۳-۴) نمایش مقادیر کلی دامنه ارتعاشی ( ارتعاش در تمام فرکانس ها) بر حسب زمان می باشد. فاصله زمانی در محور زمان بر اساس برنامه داده برداری برای پایش وضعیت دستگاه مربوطه می باشد که می تواند از میلی ثانیه تا چندین روز یا ماه به اقتضای اصول برنامه ریزی تعمیراتی متغیر باشد. نمودار Trend ابزار محدودی برای تحلیل سیگنال محسوب می شود ( برای مثال هیچ فرکانسی از سیستم در آن قابل مشاهده نمی باشد) اما می تواند به عنوان یک نمایشگر مهم از پیشرفت خرابی ها مورد استفاده قرار گیرد.



شکل (۳-۴). نمایش نمودار روند (Trend) ارتعاشات

وقتی که برنامه تعمیراتی پیشگیرانه برای اولین بار اعمال می شود و اولین مقدار اندازه گیری شده در اولین نقطه مربوط به نمودار Trend قرار می گیرد، تا زمانی که بار دیگر داده برداری انجام گرفته نشده باشد، نمودار روندی هم وجود نخواهد داشت. در واقع حداقل دو مورد اندازه گیری ارتعاشی در زمان های مختلفی باید انجام گیرد تا نمودار روند ارتعاشات قابل رویت باشد.

در نرم افزار CMS برای مشاهده نمودار Trend می توان از گزینه Time Domain Analysis گزینه Trend را انتخاب نمود.



شکل (۳-۵). نمایش نمودار Trend در نرم افزار CMS



همان طور که در شکل (3-5) نشان داده شده است، از ستون **Vibration Inputs** می توان سیگنال هایی را که نیاز به مشاهده روند تغییرات ارتعاشی آنها وجود دارد، مشاهده نمود. روند تغییرات ارتعاشی با وجود اینکه نمایش ساده ای از سیگنال ها می باشد، اما برای درک این نکته که خرابی در ماشین آلات در حال پیشرفت می باشد، بسیار کارایی دارد.

## 6 نمودار مسیر دوران (اوربیت) بر پایه سیگنال های زمانی Time base Orbit

اگرچه نمودار شکل موج زمانی اطلاعات مهم و مفیدی را تولید می کند، اما ذاتاً این اطلاعات تنها در یک بعد حرکت روتور محدود شده است. از آنجایی که روتور در صفحه عرضی در راستای محورش، در یک مسیر دو بعدی حرکت می کند یا می چرخد، لذا تصویر یک بعدی از سیگنال بدست آمده از یک حسگر نمی تواند به تنهایی نمی تواند دقیق باشد. برای اندازه گیری این حرکت دوبعدی، حسگر دیگری باید به صورت عمود در راستای حسگر قبلی و هم صفحه با آن قرار داده شود. تنها در این صورت اطلاعات کافی برای مشاهده حرکت کامل روتور در صفحه بدست خواهد آمد. حرکت دو بعدی روتور به وسیله دو نمودار شکل موج زمانی مجزا نمایش داده می شود و یک نمودار دوبعدی از حرکت دینامیکی روتور بدست خواهد آمد که به آن نمودار دوران<sup>18</sup> گفته می شود. نمودار اوربیت مسیر حرکت خط مرکزی شفت را با توجه به سیگنال های جفت حسگرهای متعامد نشان خواهد داد.

حسگرها معمولاً به صورت ثابت روی بدنه ماشین در نزدیکی یاتاقان ها قرار داده می شوند. در نتیجه نمودار اوربیت می تواند مسیر حرکت محور مرکزی شفت نسبت به فاصله لقی یاتاقان را در ماشین نشان دهد. به دلیل راحتی تفسیر نمودار اوربیت و همچنین حجم گسترده اطلاعات موجود در آن، این نمودار می تواند به عنوان قوی ترین نمودار حوزه زمان برای کار تحلیل و تشخیص خرابی به کار گرفته شود. در نمودار اوربیت، محور **X** و **Y** مربوط به سیگنال های اندازه گیری شده توسط حسگر های متصل به تحلیلگر ارتعاشی می باشند.

دو نوع نمودار اوربیت وجود دارد:

(۱) اوربیت بر پایه سیگنال زمانی<sup>19</sup>

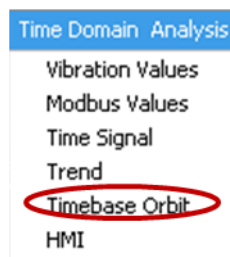
(۲) اوربیت بر پایه مرتبه<sup>20</sup>

<sup>18</sup> Orbit

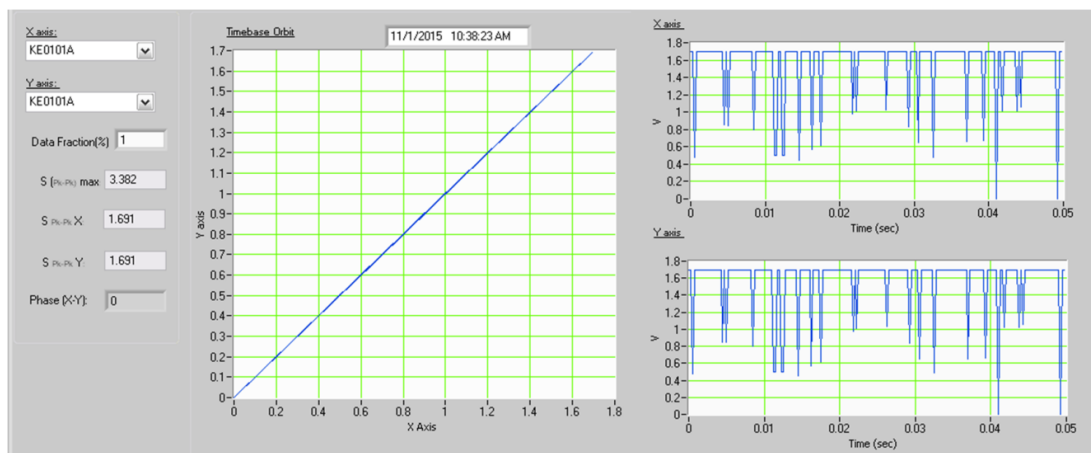
<sup>19</sup> Time base orbit

<sup>20</sup> Order base orbit

برای رسم نمودار اوربیت بر پایه سیگنال زمانی باید دو حسگر متعامد در راستای هم قرار داده شود اما در نمودار اوربیت بر پایه مرتبه<sup>۲۱</sup> دور خوان برای اندازه گیری فاز، سرعت یا اندازه گیری مرتبه مورد نیاز می باشد. در نرم افزار CMS برای نمایش نمودار اوربیت در حوزه زمان باید از گزینه Time domain analysis گزینه Time base Orbit را انتخاب نمود.



همان طور که در شکل (۳-۶) مشاهده می شود، نرم افزار قادر است نمودار اوربیت دو سیگنال زمانی را نسبت به هم نمایش دهد. این دو سیگنال را می توان از ستون سمت چپ از بخش X axis و Y axis انتخاب نمود. در کادر مربوط به Data fraction می توان تعیین کرد که چه مقدار از داده برای رسم نمودار مورد استفاده قرار گیرد که از یک درصد تا 100٪ کل داده های یک فریم داده برداری را می تواند برای رسم نمودار اوربیت استفاده کند. هر چقدر که دور کاری شفت بالا باشد به همان نسبت باید این مقدار را کمتر تعیین کرد تا بدین ترتیب مقدار نویز در چندین دور شفت کاهش یابد.



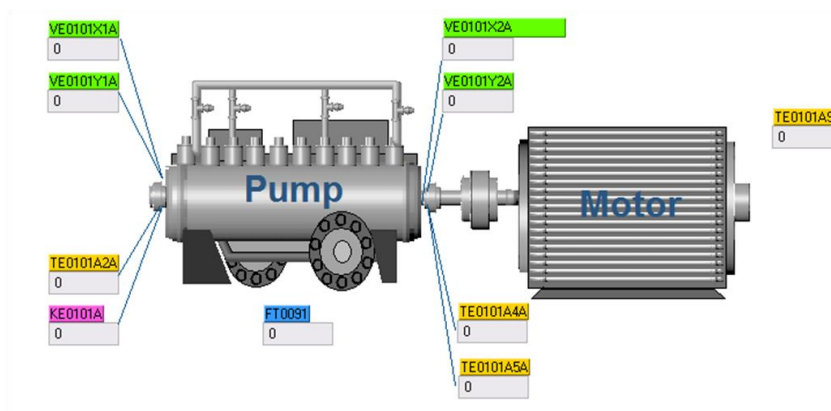
شکل (۳-۶). نمایش نمودار اوربیت حوزه زمان در نرم افزار CMS

در کادرهای بعد مقدار بیشینه جابجایی (peak to peak) که بر اساس ISO 7919-1 محاسبه شده است و همچنین مقادیر peak to peak مربوط به سیگنال های X, Y را می توان مشاهده کرد. اختلاف فاز بین دو سیگنال زمانی X, Y در قسمت Phase (X-Y) می باشد.

<sup>21</sup> Tachometer

## 7 مشاهده مقادیر اندازه گیری شده روی شکل شماتیک ماشین<sup>22</sup> HMI

برای درک بهتر کاربر از نحوه قرار گیری حسگرها در نقاط مختلف ماشین آلات در این بخش امکان مشاهده ماشین آلات به صورت شکل شماتیک آنها فراهم شده است. اپراتور های مجری نصب و راه اندازی نرم افزار در ابتدای کار شکل شماتیک دستگاه را وارد این بخش می کنند تا کاربر نرم افزار بتواند مکان قرار گیری سنسورها و همچنین مقادیر این سنسورها را مشاهده و از وضعیت کلی ماشین اطلاع پیدا کند.



شکل (3-7). نمایش شکل شماتیک ماشین آلات و مقادیر حسگرهای ارتعاشی در محل های تعبیه شده

<sup>22</sup>HMI( Human–Machine Interface)

# فصل چهارم:

## آنالیز در حوزه فرکانس

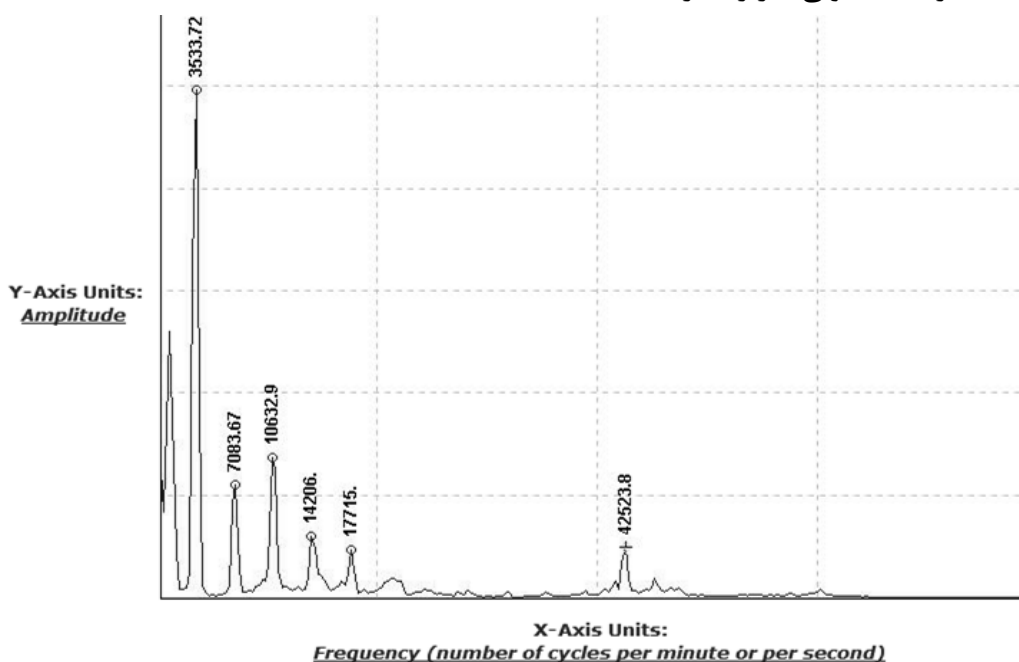
# Frequency Domain Analysis

## 8 مقدمه

در فصل قبل اشاره شد که نمودار Trend، مقدار دامنه بر حسب زمان است، در حالی که در این فصل تحلیل در حوزه فرکانس مورد بررسی قرار خواهد گرفت. در حوزه فرکانس نمودار طیف<sup>۲۳</sup>، مقدار دامنه بر حسب فرکانس را نمایش می دهد. طیف فرکانسی این اجازه را به کاربر می دهد تا از روی دامنه، میزان و شدت خرابی را ارزیابی کند و از روی فرکانس مربوط به آن منبع خرابی را شناسایی نماید. طیف فرکانسی با استفاده از تبدیل سریع فوریه (FFT)<sup>۲۴</sup> متداول ترین ابزار تحلیل محسوب می شود که معمولاً برای حفاظت از ماشین آلات با سرعت معمول مورد استفاده قرار می گیرد.

## 9 طیف فرکانسی با استفاده از تبدیل سریع فوریه FFT

نمودار طیف فرکانسی نمایش شدت دامنه بر حسب فرکانس خواهد بود. نمودار طیف که با عنوان نمودار FFT نیز شناخته می شود، امکان ارزیابی شدت دامنه را فراهم آورده و به شناسایی منبعی که منجر به افزایش ارتعاشات شده، کمک می کند. نمودار FFT متداول ترین ابزار تحلیل ارتعاشات محسوب می شود که برای اکثر ماشین آلات با سرعت معمولی کاربرد دارد.



شکل (۴-۱). نمودار طیف فرکانسی با تبدیل سریع فوریه FFT

<sup>23</sup> Spectrum plot

<sup>24</sup> FFT (Fast Fourier Transform)

چیزی که حسگر احساس می کند، سیگنال آنالوگ می باشد. در واقع حرکت واقعی یاتاقان در محل نصب حسگر را بازتاب می دهد. پردازش سیگنال که در ادامه کار داده برداری سیگنال های آنالوگ انجام می گیرد شامل چندین فرآیند ریاضی می باشد:

تبدیل A/D: سیگنال های آنالوگ را به سیگنال های دیجیتال تبدیل می کند  
تبدیل فوریه: این فرآیند بر پایه تئوری هست که هر سیگنال پریودیک ( دوره ای) مانند سیگنال های ارتعاشی می تواند به موج های سینوسی ساده تجزیه شود و وقتی دوباره با هم ترکیب شوند، سیگنال اصلی حاصل خواهد شد.

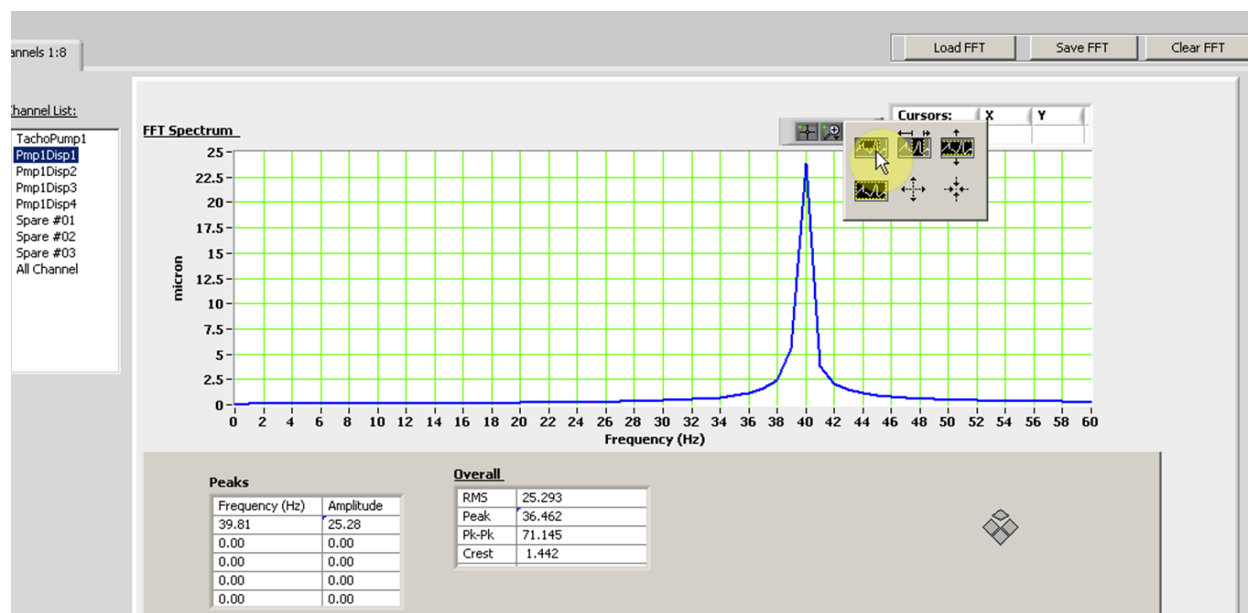
مثلاً یک سیگنال پیچیده که شامل فرکانس 1rpm و فرکانس 5rpm می باشد با تبدیل فوریه FFT قابل تشخیص می شود

تئوری تبدیل فوریه سریع می تواند برای تمام سیگنال های پریودیک بسط داده شود. برای تحلیل FFT هر سیگنال تنها یک روش حل ریاضی برای رفع مشکل وجود دارد و آن تشکیل یک سری مشخص از موج های سینوسی ساده با مقدار دامنه و فاز مشخص می باشد. البته در نمایش طیف فرکانسی فاز دیده نمی شود اما در روش تبدیل سریع فوریه لحاظ می شود.

#### ۹-۲-۱ مشاهده طیف فرکانسی سیگنال ها در نرم افزار CMS

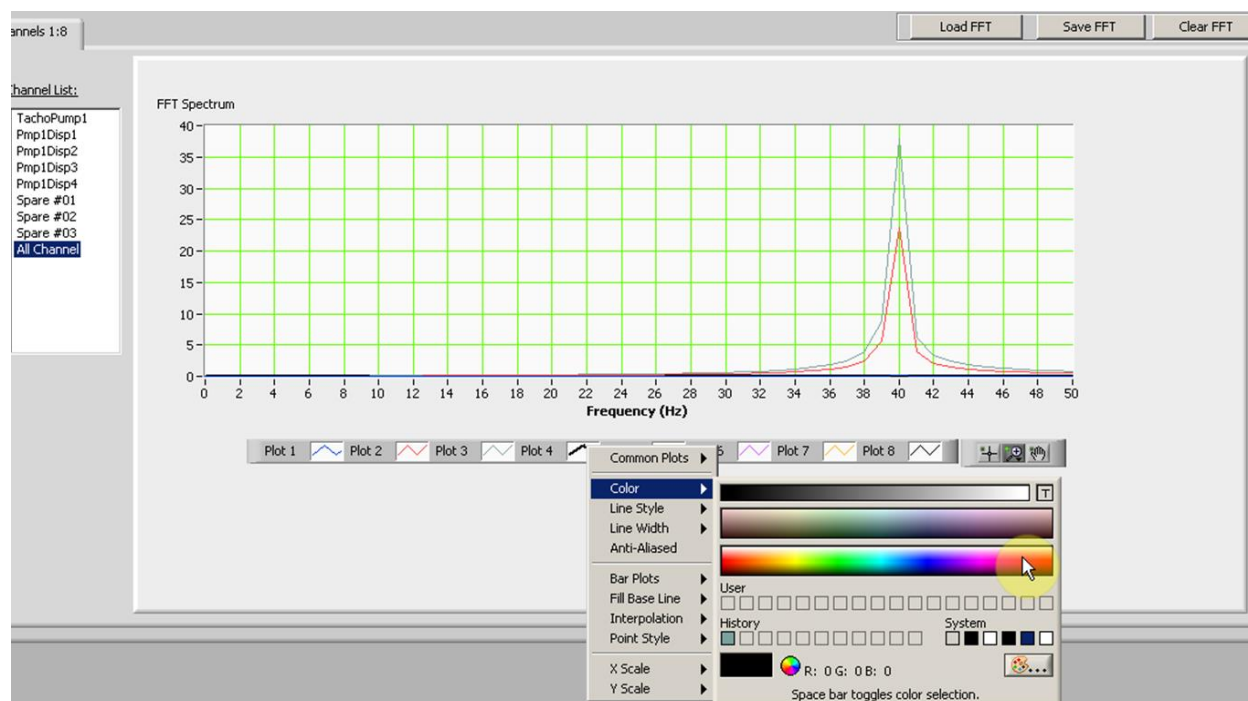
نرم افزار CMS امکانی را فراهم آورده است که بتوان سیگنال های حوزه زمان را با تبدیل سریع فوریه به حوزه فرکانس برده و سیگنال ها را در آن حوزه برای تحلیل و عیب یابی مورد بررسی قرار داد. همان طور که در شکل ( ) مشاهده می شود، در این بخش می توان سنسور مربوطه را از بخش لیست کانال ها (Channel list) انتخاب و طیف فرکانسی آن را مشاهده کرد. در زیر نمودار مشخصات مربوط به نقاط پیک نمودار که می تواند نماینده یک خرابی در سیستم باشد را در جدول با عنوان Table of maximum points مشاهده کرد. همچنین مقادیر کلی ارتعاشات با پارامترهای RMS, Peak, Pk-Pk, Crest,... در جدول با عنوان overall قابل مشاهده می باشد. می توان از ابزار های موجود در بالای نمودار برای بزرگنمایی و تمرکز در محل خاصی استفاده کرد. همچنین نشانه گر (cursor) برای انتخاب دقیق فرکانس کاربر را در انجام تحلیل دقیق یاری خواهد کرد.

در نرم افزار امکان ذخیره سازی FFT از طریق گزینه Save FFT وجود دارد. می توان طیف های فرکانسی که قبلاً ذخیره شده با استفاده از گزینه Load FFT و برای حذف طیف فرکانسی گزینه Clear FFT را انتخاب نمود.



شکل (۴-۲). نمایش طیف فرکانسی در نرم افزار CMS

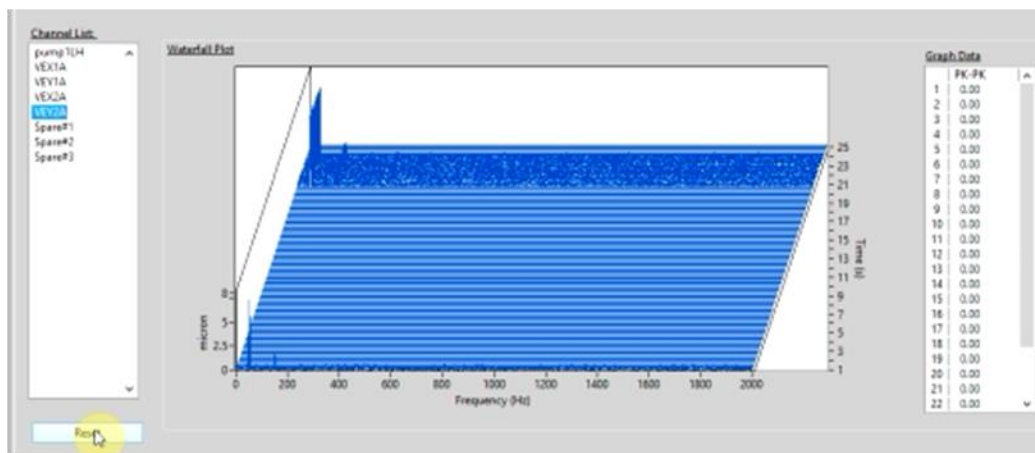
همچنین امکان مشاهده طیف فرکانسی بدست آمده از تمام کانال ها با انتخاب All Channels وجود دارد. برای تمییز سیگنال ها از همدیگر می توان رنگ نمودار ها از کادر مربوط به نمودار و راست کلیک کردن روی آن تنظیم نمود.



شکل (۴-۳). نمایش طیف های فرکانسی تمام کانال ها در نرم افزار CMS

## 10 نمودار آبشاری waterfall

نمودار های آبشاری برای نمایش چندگانه طیف های فرکانسی ( طیف FFT) بر حسب زمان، در شرایط کارکرد با سرعت رو به بالا (run up)، با سرعت رو به پایین (run down)، پدیده های گذرا<sup>۲۵</sup> و یا در سرعت کاری ثابت طراحی شده است. نمودار های آبشاری نمایش های سه بعدی با محور های زمان، فرکانس و دامنه هستند. این نمودار ها معمولاً برای بررسی تغییرات ارتعاشی ماشین ها در مواقعی که سایر پارامترهای عملیاتی تغییر می کنند، به کار گرفته می شوند. لذا از این نمودار ها علاوه بر پایش وضعیت آفلاین، برای پایش وضعیت و تحلیل سیگنال های ارتعاشی به صورت آنلاین نیز بهره گرفت. نمودارهای آبشاری دامنه های ناهمزمان ( آسنکرون)<sup>۲۶</sup>، زیر سنکرون<sup>۲۷</sup> و فوق سنکرون<sup>۲۸</sup> با توجه به ارتعاش یک برابر دور (1X) و تغییرات آن بر حسب زمان یا تغییرات سرعت را نشان می دهد. در نرم افزار تحلیل به صورت آنلاین CMS می توان دیاگرام آبشاری مربوط به هر کدام از کانال ها را در چارچوب های مختلف در کنار هم مشاهده و تحلیل کرد. جدول سمت چپ لیست کانال های اتصالی به سیستم را نمایش می دهد که می توان با کلیک بر روی هر کدام از کانال ها نمودار آبشاری مربوط به آن را مشاهده نمود. با زدن دکمه reset گراف به حالت اولیه خود بازگردانده شده و اندازه گیری مجدداً شروع و نمایش داده خواهد شد. کادر سمت راست نمودار آبشاری که با عنوان داده های گراف (graph data) نشان داده شده، مقدار کلی ارتعاشات را بر حسب پارامتر متغیری که در قسمت تنظیمات تعیین شده ( مانند pk-pk و ...) نمایش داده خواهد شد.



شکل (۴-۴). نمایش نمودار آبشاری در نرم افزار CMS

<sup>25</sup> Transient phenomenon

<sup>26</sup> Asynchronous

<sup>27</sup> Sub synchronous

<sup>28</sup> Super synchronous



## 11 تحلیل منحنی پوش Envelope Analysis

نمودار طیف پوش اگرچه همیشه یک توصیف صحیح برای پردازش سیگنال از نظر تکنیکی نیست، اما به منظور ساده سازی کار تحلیل می تواند مورد استفاده قرار گیرد. نمودار طیف پوش از نظر ظاهر ( نمودار دامنه بر حسب فرکانس) شبیه طیف معمول فرکانسی FFT است، اما از نظر ماهیت اطلاعات دیگری را در بردارد.

طیف منحنی پوش به حرکت سینوسی حساس نمی باشد، در حالی که نمودار طیف فرکانسی FFT نشان می دهد که چه منحنی های سینوسی برای تشکیل سیگنال پیچیده ارتعاشی در واحدهای جابجایی، سرعت و یا شتاب با یکدیگر ترکیب شده اند. در عوض منحنی طیف پوش به اتفاقاتی که ماهیت ضربه ای دارند، حساس می باشد و لذا برای تشخیص عیوب یا تاقان های غلتشی می تواند مورد استفاده قرار گیرد.

برای یک متخصص پایش وضعیت و آنالیز ارتعاشات خیلی مهم و مفید می باشد که بتواند فرکانس ضربه ها و همچنین شدت آنها را تعیین نماید. اگرچه ماشین هایی وجود دارند که به طور معمول انرژی ناشی از ضربه تولید می کنند ( مانند ماشین های رفت و برگشتی) اما برخی از ماشین ها اینگونه نیستند. در واقع ضربه ها، نیروهای ویرانگری محسوب می شوند که می توانند نشانگر پیشرفت یک نوع خرابی در ماشین باشند.

واحد اندازه گیری دامنه شتاب است، اما در منحنی پوش، سیگنال به گونه متمایزی پردازش می شود و نتیجه با سیگنال های معمول تفاوت خواهند داشت. منحنی پوش کار مدولاسیون دامنه را در بازه مشخصی انجام می دهد و لذا در این روش مفهوم فیلتر معرفی می گردد. این فیلتر ها نمایش سیگنال در محدوده فرکانسی مشخصی را فراهم می آورند.

در روش منحنی پوش فیلتر ها به دو دسته تقسیم می شوند:

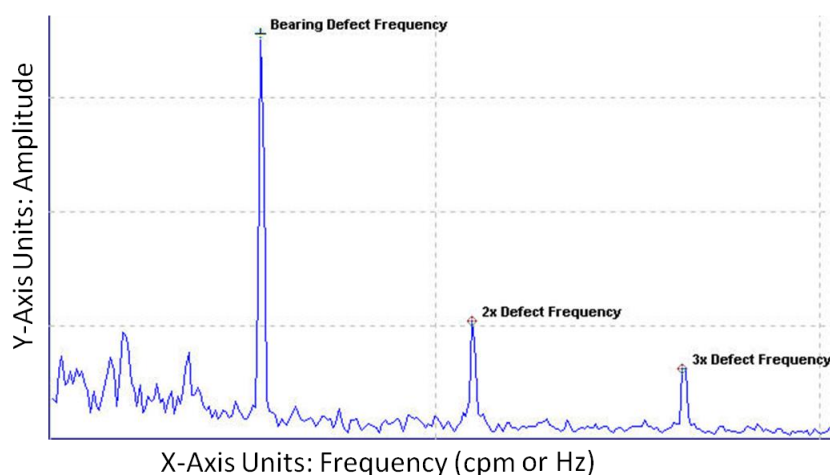
- فیلتر پوش: این نوع فیلتر فرکانس منحنی پوش را که شامل فرکانس بیشینه و فرکانس کمینه است، مشخص می کند. هر اتفاقی که خارج از آن بازه فرکانسی به وقوع بپیوندد، فیلتر و حذف خواهد شد.
- فیلتر بالاگذر: این نوع فیلتر فرکانس بیشینه در نظر نگرفته نشده اما فرکانس کمینه تعیین می گردد تا تمام فرکانس های پایین تر از این فرکانس کمینه فیلتر و حذف گردند.
- فیلتر پایین گذر: بر خلاف فیلتر بالاگذر در این فیلتر فرکانس بیشینه تعیین می گردد تا فرکانس های بالاتر از آن فرکانس فیلتر و حذف گردد.

لذا در تحلیل منحنی پوش از یک فیلتر پوش استفاده خواهد شد که یک بازه فرکانسی شامل مقدار فرکانس بیشینه و فرکانس کمینه و یا با یک تعریف دیگر دارای یک مرکز فرکانسی و یک محدوده برای معرفی بازه می باشد.

باید توجه داشت که هر شرکت تولید کننده روش پردازش سیگنال و فیلترهای مخصوص به خود را دارد. هرچند همه آنها اطلاعات از جنس یکسانی تولید می کنند، اما مستقیماً نمی توان نمودارهای شرکت های مختلف را در ناحیه دامنه با یکدیگر مقایسه کرد.

در تولید منحنی پوش روش پردازش سیگنالی که اعمال می شود، بر روی اتفاقات گذرا و ضربه ای تمرکز دارد ( نقاط نوک تیز در سیگنال حوزه زمان ). اما در پروسه FFT به خاطر روشی که برای پردازش سیگنال حوزه زمان به کار می گیرد، پدیده های ضربه ای یا گذرا از دست رفته و یافتن آنها مشکل می گردد. اگر یک بازه ثابت بین ضربه ها وجود داشته باشد ( یعنی ضربه ها در بازه های منظم اتفاق بیافتند ) این بازه زمانی را به واحدهای دلخواه فرکانسی مانند Hz یا cpm می توان تبدیل کرد. نتیجه بدست آمده برای منحنی پوش روی طیفی شامل دامنه های پیک در فرکانس هایی که اتفاق می افتند نمایش داده می شود

طیف منحنی پوش اطلاعات مفیدی در مورد جابجایی، سرعت و طیف شتاب تولید می کند. همان طور که در شکل ( ) نشان داده شده است، منحنی پوش ابزار مفید دیگری در دست متخصص پایش وضعیت برای تحلیل سیگنال های ارتعاشی و تشخیص خرابی به خصوص خرابی های مربوط به یاتاقان های غلتشی می باشد.



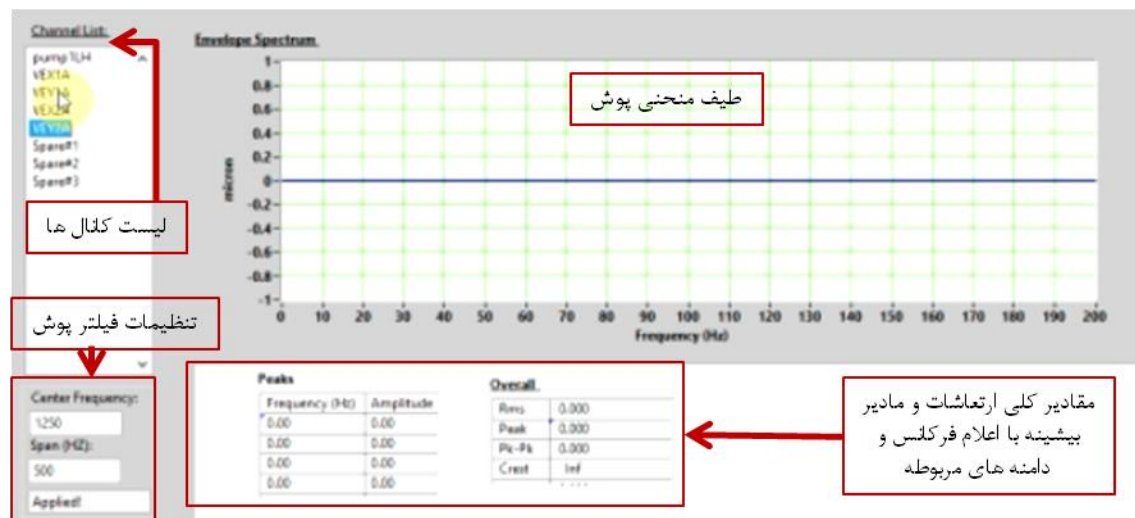
شکل (4-5). یک نمونه منحنی پوش ایجاد شده برای خرابی یاتاقان

در نرم افزار CMS فیلتر ها با یک فرکانس مرکزی<sup>۲۹</sup> و یک طول محدوده فرکانسی<sup>۳۰</sup> در واحد هرتز به سیستم تعریف می شوند. برای مثال اگر فرکانس مرکزی روی 1250 هرتز و طول محدوده فرکانسی روی ۵۰۰ Hz قرار داده شود، نرم افزار سیگنال را در بازه ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ هرتز دمدوله می کند و منحنی پوش را

<sup>2929</sup> Center frequency

<sup>30</sup> Span frequency

این بازه تعمیم خواهد داد و سایر اجزای سیگنال را حذف خواهد کرد. همیشه در انتخاب فرکانس مرکزی و محدوده فرکانسی باید در نظر داشت که فرکانس مرکز به علاوه نصف محدوده فرکانسی تعیین شده نباید از فرکانس نمونه برداری<sup>۳۱</sup> بیشتر باشد. در غیر این صورت طبق اصول پردازش سیگنال پدیده *over sampling* اتفاق افتاده و تبدیل فرکانسی برای ایجاد منحنی پوش به درستی اجرا نخواهد شد. لذا در تنظیمات این بخش نرم افزار مورد ذکر شده در تعیین فرکانس مرکزی و طول محدوده فرکانسی باید لحاظ گردد. در شکل (۴) نمایش منحنی پوش و بخش های مختلف مقدار دهی آن نمایش داده شده است.



شکل (۴-۶). نمایش منحنی پوش و مدولاسیون در بازه فیلتر گذاری شده در نرم افزار CMS

<sup>31</sup> Sampling rate frequency

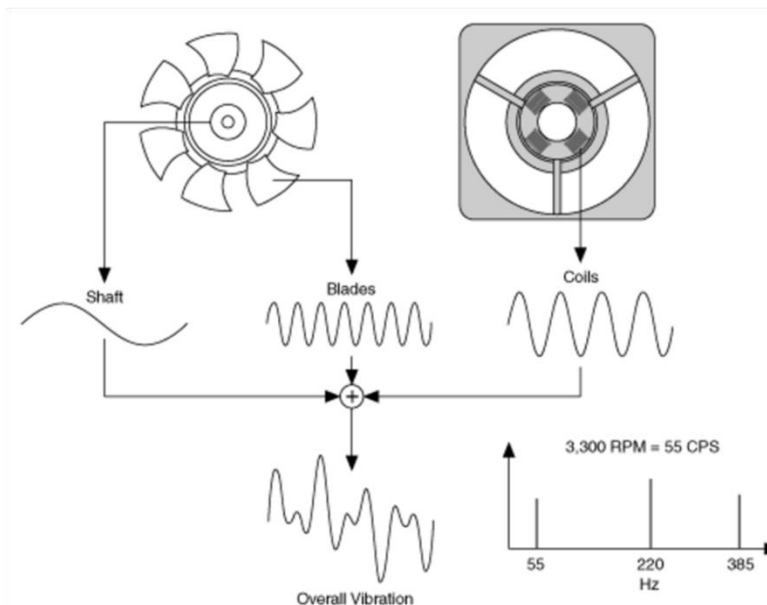
# فصل پنجم: آنالیز مرتبه Order Analysis

## 12 معرفی تحلیل مرتبه Order analysis

تحلیل مرتبه یا همان آنالیز order، تکنیک تحلیل سیگنال های صدا و ارتعاشات در ماشین آلات دوار و رفت و برگشتی می باشد. ماشین آلات دوار و رفت و برگشتی شامل موتور ها، کمپرسورها، توربین هاو پمپ ها و ... می باشند. این ماشین ها شامل بخش های مختلفی هستند که هرکدام شکل موج صدا و ارتعاش منحصر به فردی نسبت به شکل موج صدا و ارتعاشات کل ماشین دارند. با آنالیز مرتبه می توان این شکل های موج را از هم جدا و شناسایی کرد که برای تحلیل نحوه عملکرد و کیفیت هر قسمت از ماشین به طور اختصاصی به کار می رود. در ادامه به نحوه تحلیل در این روش و همچنین چگونگی نمایش این تحلیل در نرم افزار CMS و در انتها به کاربرد روش مذکور اشاره خواهد شد.

### ۵-۲-۱ طیف مرتبه Order Spectrum

یکی از روش های معمول برای تحلیل سیگنال های صدا و ارتعاشات تحلیل بر پایه تبدیل سریع فوریه (FFT) می باشد. در زیر تحلیل FFT مربوط به سیگنال های ارتعاشی روی یک فن با ۷ پره و ۴ کوئل نشان داده شده است



شکل (۵-۱). نمایش اجزای سیگنال ارتعاشی مربوط به بخش های مختلف یک فن

همان طور که در شکل (۵-۱) مشاهده می شود، ارتعاشات کلی فن برآیند ارتعاشات مربوط به شفت، کوپل، و پره است. فن در دور ۳۳۰۰ rpm یا ۵۵ هرتز می چرخد. در این صورت شفت هم با سرعتی برابر با سرعت دورانی فن دوران خواهد کرد. در حالی که سرعت کوپل یا فن به ترتیب ۴ و ۷ برابر سرعت دورانی خود فن می باشد. ارتعاشات مربوط به شفت، فرکانس یکسانی با فرکانس دورانی فن دارد که برابر با ۵۵ هرتز است، اما سیگنال های ارتعاشی کوپل و پره ۴ امین و ۷ امین هارمونیک سرعت دورانی فن می باشد که ۲۲۰ هرتز و ۳۸۵ هرتز می باشند.

می توان از طیف فرکانسی تبدیل سریع فوری<sup>۳۲</sup> برای شناسایی و کمیت دهی به اجزای مختلف فرکانسی سیگنال های صدا و ارتعاشات استفاده کرد. اگر در مثال اخیر فن در سرعت ثابتی حرکت کند، طیف FFT سیگنال در سرعت دورانی فن (شفت) و در هارمونیک های ۴ ام و ۷ ام پیک نشان خواهد داد. بدیهی است در شرایطی که سرعت دورانی تغییر می کند، باند فرکانسی هرکدام از هارمونیک ها نیز تغییر کرده و عریض تر خواهد شد.

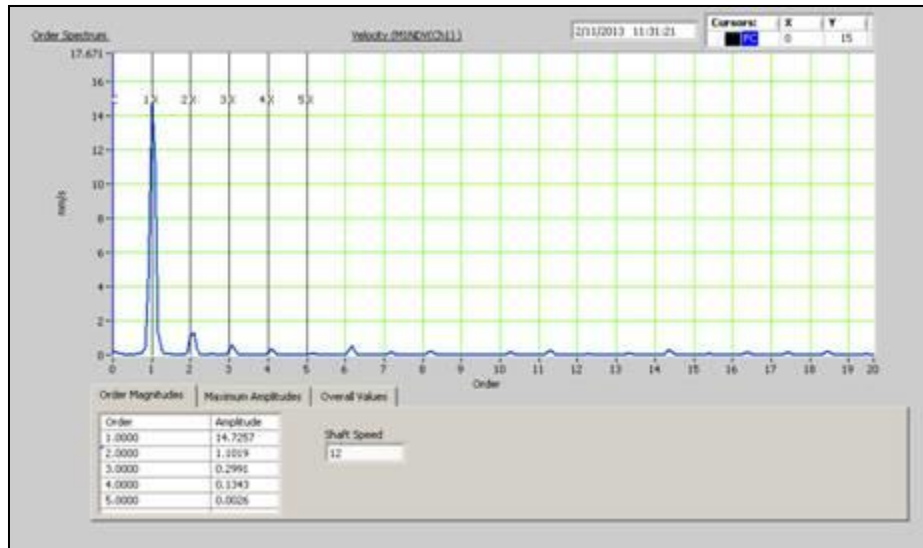
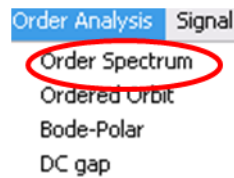
مرتبه اول در طیف فرکانسی همان سرعت دورانی است و مرتبه n ام در واقع n برابر سرعت دورانی می باشد لذا مؤلفه های مرتبه در واقع همان هارمونیک های سرعت دورانی می باشند. در مورد فن، ارتعاشات شفت همان مرتبه (order) اول ارتعاشات می باشد. همچنین ارتعاشات کوپل و پره ها مرتبه یا هارمونیک چهارم و هفتم سرعت دورانی می باشند.

با استفاده از روش تحلیل مرتبه می توان از جزییات هارمونیک ها که در طیف FFT مستتر هستند و با سرعت دورانی تغییر می کنند، اطلاع یافت. در واقع عموماً تکنیک های تحلیل مرتبه، سیگنال های صدا و ارتعاشات را به سرعت دورانی مرتبط می کند. بدین ترتیب با این روش می توان مشخصات مربوط به بخش های مکانیکی مختلف را تعیین نمود.

### ۱۰-۲-۱ مشاهده طیف مرتبه در نرم افزار CMS

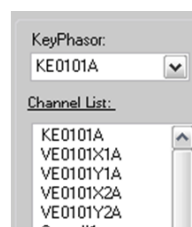
نرم افزار CMS این امکان را برای کاربر فراهم آورده تا بتواند هارمونیک های مختلف را با توجه به سرعت دورانی ماشین به گونه ای دقیق مورد تحلیل و بررسی قرار دهد. از آنجایی که معمولاً در شرایط واقعی، ماشین ها همیشه در دور ثابتی کار نمی کنند، لذا فرکانس های بخش های مختلف ماشین هم به نسبت تغییر سرعت دورانی ماشین تغییر خواهد کرد.

<sup>32</sup> FFT power spectrum



شکل (5-2). نمایش طیف مرتبه در نرم افزار CMS

نحوه نمایش تحلیل مرتبه در نرم افزار مطابق شکل (5-3) می باشد. برای دقیق تر بودن کار تحلیل بر حسب دور شفت، اگر دورخوان روی ماشین نصب شده باشد می توان از کادر چپ بخش KeyPhasor سیگنال مربوط به دورخوان را انتخاب کرد. طیف FFT مربوط به سیگنال های حسگرهای ارتعاشی بر حسب سیگنال دورخوان نرمالیزه شده و برای هر کانال که از سمت چپ امکان انتخابشان وجود دارد، قابل مشاهده خواهد بود.



بدین ترتیب در طیف مرتبه<sup>۳۳</sup> طیف فرکانسی به گونه ای نمایش داده خواهد شد که محور افقی مرتبه هارمونیک و محور عمودی دامنه ارتعاشی را نشان خواهد داد. بدین ترتیب می توان مشخص کرد که کدام order بیشترین شرکت را در ارتعاش دارد. اگر دورخوان روی ماشین نصب نشده باشد، می توان سرعت دورانی به صورت دستی در کادر نشان داده شده در زیر نمودار همان طور که در شکل (5-3) آورده شده است، وارد کرد.

<sup>33</sup> Order spectrum

Order Magnitudes		Maximum Amplitudes	Overall Values
Order	Amplitude	Shaft Speed (RPM)	
1.0000	NaN	NaN	
2.0000	NaN		
3.0000	NaN		
4.0000	NaN		
5.0000	NaN		

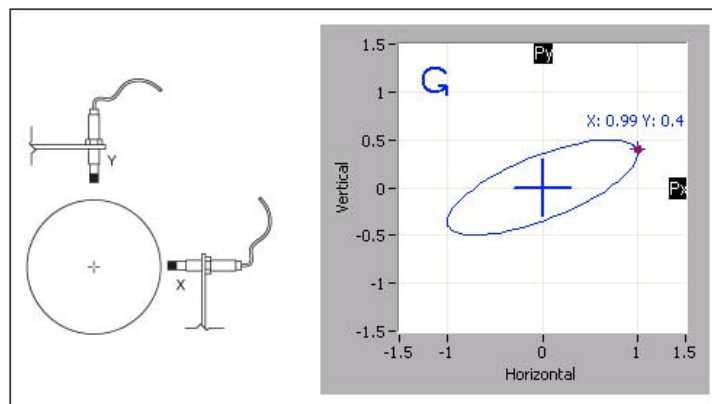
شکل (5-3). نمایش شدت ارتعاش در مرتبه های مختلف order magnitudes در نوار با عنوان maximum amplitude مقادیر بیشینه طیف را بر حسب مرتبه نمایش می دهد . همچنین در نوار با عنوان overall value مقادیر کلی ارتعاشی سیگنال زمانی نمایش داده خواهد شد.

### ۱۱-۲-۱ کاربرد طیف مرتبه در تشخیص خرابی

از طیف FFT می توان کار تشخیص خرابی های ماشین آلات را با ربط دادن اجزای فرکانسی مشخص به قسمت های مشخص مکانیکی انجام داد. تکنیک های آنالیز مرتبه برای تحلیل سیگنال های ارتعاشی و صدا در شرایطی که سرعت دورانی بر حسب زمان متغیر است، مورد استفاده قرار می گیرد. از جایی که سرعت دورانی در واحدهای صنعتی به دلیل شرایط عملکرد همیشه ثابت نبوده و امکان متغیر بودن آن وجود دارد، لذا استفاده از این تحلیل و توجه به هارمونیک های سرعت دورانی، می تواند متخصص آنالیز ارتعاشات را در مسیر تشخیص درست خرابی های ماشین آلات یاری نماید.

### 13 اوربیت مرتبه ای ordered orbit

اوربیت ها شکل قطبی سیگنال های حوزه زمان هستند که به طور همزمان در صفحه مختصات X-Y روی صفحه اسیلوسکوپ یا تحلیل گر ارتعاشی نمایش داده می شود. در این نوع از نمایش، بسیار مشکل است که نقطه اوربیت را دنبال کرد زیرا به صورت یک چرخه بی پایان می باشد



شکل (5-4). نمودار اوربیت و نحوه قرار گیری حسگرها

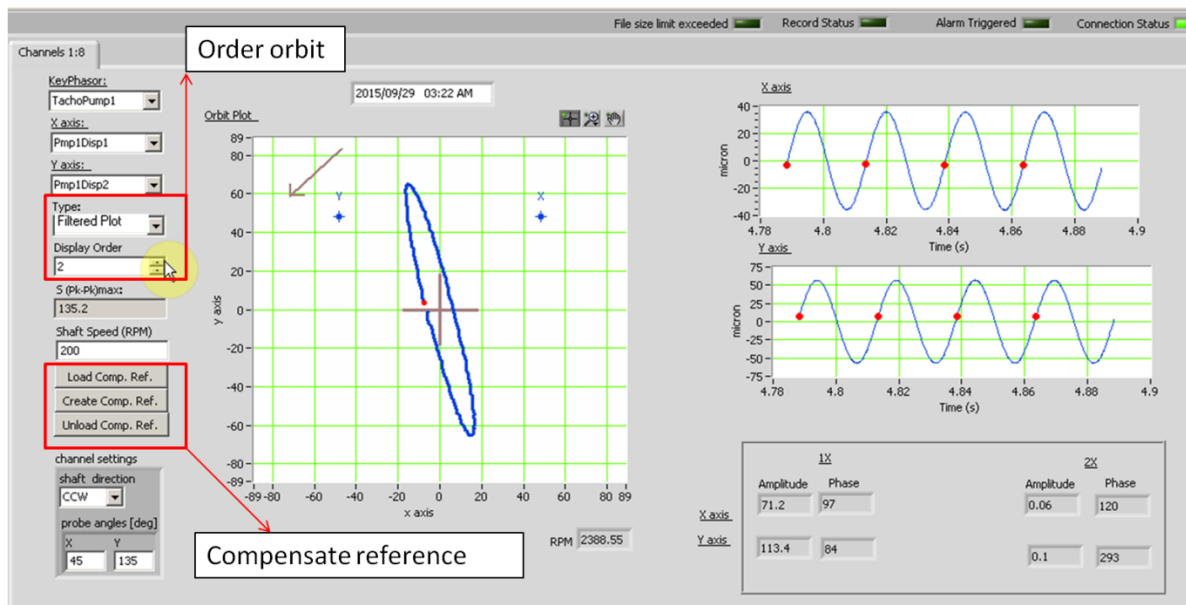


برای یافتن جهت دوران، دور خوان (key Phasor) به کار برده می شود. بدین ترتیب می تواند جهت دوران را با نگاه کردن به نقطه ای روی اوربیت که نقطه شروع می باشد و همچنین فضای خالی به عنوان نقطه انتهایی تشخیص دهد.

تحلیل اوربیت مشاهده اندازه گیری ارتعاشات هر سیستم دوار در صفحه X-Y می باشد. واحد اندازه گیری که بیشترین کاربرد را دارد، جابجایی است که مستقیماً از پروب های proximity استفاده می کند. این نوع اندازه گیری ارتعاش خوانی نسبی محسوب می شود. منظور از ارتعاش خوانی نسبی اندازه گیری ارتعاشات شفت نسب به حرکت محفظه یاتاقان می باشد. چون پروب مستقیماً و محکم به محفظه یاتاقان متصل می باشد، هیچ حرکت نسبی بین پروب و محفظه وجود ندارد. لذا می توان اوربیت را ترسیم کرد. در نظر داشته باشید که نمودار اوربیت یک گراف بصری از حرکت مطلق خط مرکزی شفت در داخل محفظه یاتاقان می باشد. اندازه گیری های شتاب سنج و سرعت سنج هم می توانند برای ترسیم اوربیت مورد استفاده قرار گیرند. حسگرهای خارجی وجود دارند که نیاز هست در خارج از محفظه یاتاقان نصب شوند. به این نوع اندازه گیری اوربیت بدنه case orbit گویند. این اوربیت برای جداسازی ارتعاشات شفت و بدنه بسیار کاربرد دارد. این اوربیت می تواند حرکت مطلق شفت را تولید کند (حرکت نسبی شفت نسبت به فضا). اوربیت هم برای سیگنال های کلی که اندازه گیری شدند به صورت فیلتر نشده انجام شود و یا برای سیگنال های فیلتر شده که نیاز هست اوربیت آنها را در فرکانس مشخصی مانند فرکانس دوران و یا ضرایب آن مشاهده کرد.

اوربیت به دو دسته فیلتر شده و فیلتر نشده تقسیم می شود. در اوربیت فیلتر شده تنها یک مرتبه مانند 1rpm یا 2rpm و ... دنبال می شود و از سیگنال تاکومتر برای همزمان سازی فیلترینگ و همچنین نقطه شروع استفاده می گردد. اوربیت فیلتر شده برای بررسی مرتبه خاصی بسیار مفید می باشد و از سایر اوربیت ها چشم پوشی می کند و این باعث می شود که نمودار اوربیت غیر واضحی وجود داشته باشد. اما. اوربیت کلی که فیلتر نشده است برای بدست آوردن حرکت واقعی شفت بسیار کاربردی می باشد

در نرم افزار CMS علاوه بر امکان نمایش اوربیت در حوزه زمان که در بخش دوم توضیح داده شد، امکان نمایش اوربیت مرتبه ای هم به وجود آمده است. همان طور که در شکل (4-5) نشان داده شده است، در قسمت key phasor می توان سیگنال مربوط به تاکومتر یا دور خوان را تعیین نمود. ضمناً در بخش X axis و Y axis سیگنال هایی که نیاز هست تا اوربیت آن ترسیم شود، انتخاب می گردد. برای فیلتر گذاری و یا عدم اعمال فیلتر از بخش Types می توان Filtered plot یا unfiltered plot را انتخاب نمود. با انتخاب گزینه display order با فرض اینکه فیلتر انتخاب شده است، می توان مرتبه مورد نظر را انتخاب نمود. مقدار بیشینه جابجایی peak to peak نیز در قسمت  $S_{(pk-pk)max}$  نشان داده شده است.

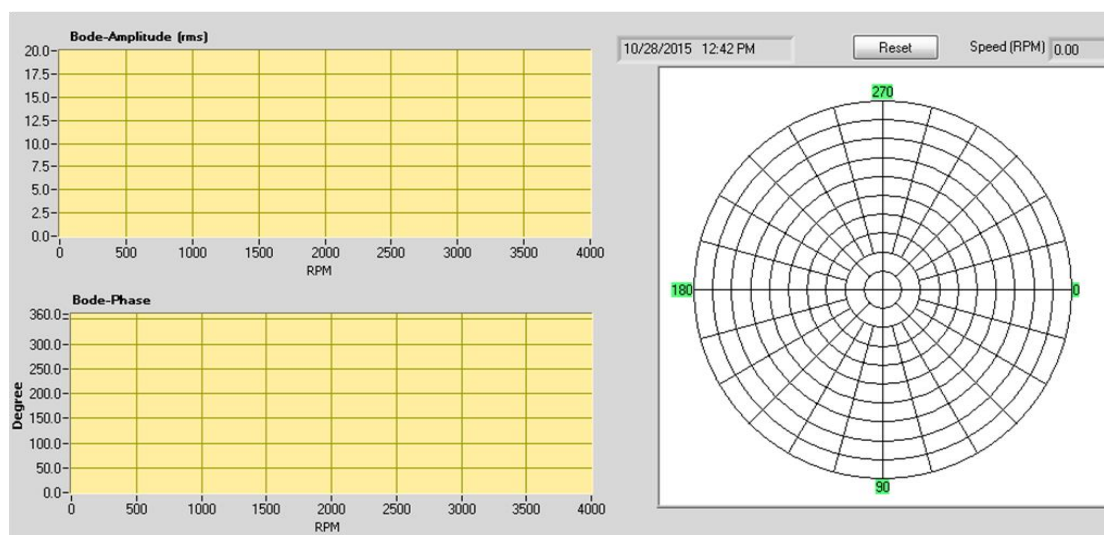


شکل (۵-۵). نمایش اوربیت مرتبه در نرم افزار CMS

در بخش تنظیمات کانال (channel setting) می توان جهت شفت را ساعتگرد و یا پادساعتگرد و از بخش مربوط به زاویه پروب ها (Probe angles (deg)) زاویه قرارگیری سنسورها رو تعیین کرد. در سمت راست امکان مشاهده سیگنال های دو سنسور و همچنین دامنه و فاز برای هرکدام از سنسور ها در 1X و 2X فراهم آمده است.

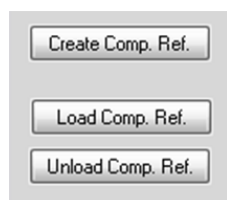
#### 14 دیاگرام بود-قطبی Bode-Polar

دیاگرام بود در شاخه کنترل به دیاگرامی گفته می شود که زاویه فاز بین سیگنال های ورودی و خروجی هارمونیک را بر حسب فرکانس ترسیم می کند. در تحلیل ارتعاشات ماشین الات دوار از این دیاگرام برای بررسی شرایط حالت پایای ارتعاشات که پاسخ به صورت دامنه و زاویه فاز می باشد برحسب سرعت دورانی نمایش داده می شود. می توان در نمودار قطبی نمایش دامنه و فاز را به صورت قطبی مشاهده کرد. در نرم افزار CMS در قالب سه نمودار شامل دامنه برحسب دور کاری ماشین، فاز بر حسب دورکاری ماشین و دامنه و فاز در قالب دیاگرام قطبی قابل مشاهده می باشد که در شکل (5-5) آمده شده است.



شکل (5-6). نمایش دامنه و فاز بر حسب دور کاری (دیاگرام Bode-polar)

برای در نظر گرفتن زبری سطح شفت می توان وقتی ماشین در دور کاری پایین کار می کند یک مبنای جبران<sup>۳۴</sup> برای آن محاسبه کرد که این کار با انتخاب گزینه create comp. Ref امکان پذیر خواهد بود. این مبنا باید ذخیره شود و در زمان بررسی دیاگرام دوباره روی برنامه بارگذاری شود. برای بارگذاری مبنای جبران روی نرم افزار گزینه load comp. Ref. و برای حذف آن گزینه Unload comp. Ref. باید انتخاب گردد.



## DC gap 15

سیگنال ها دارای دو قسمت استاتیکی و دینامیکی هستند که قسمت دینامیکی بر قسمت استاتیکی سوار می شود. در حسگر های جابجایی<sup>۳۵</sup> که مقدار DC gap اندازه گرفته می شود که با مقیاس میلیمتر یا ولتاژ نمایش داده می شود. معمولاً از این پارامتر برای تشخیص مقدار لقی<sup>۳۶</sup> و هم مرکز بودن شفت<sup>۳۷</sup> استفاده می شود.

<sup>34</sup> Compensate reference

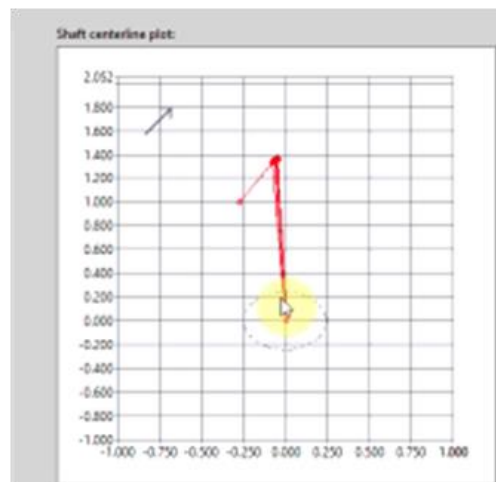
<sup>35</sup> proximity

<sup>36</sup> clearance

<sup>37</sup> Shaft centerline

شکل (5-7). تنظیمات مربوط به بخش DC gap

همان طور که در شکل (۵-۶) نشان داده شده است می توان نام حسگرها را از بخش X axis و Y axis تعیین نمود. می توان DC gap هم برحسب جابجایی و هم ولتاژ مشاهده کرد که می توان این مورد را از قسمت output unit تعیین کرد. بازه نمایش محورهای افقی و عمودی را می توان از بخش plot scale setting تنظیم نمود. ضمناً برای اعمال تنظیمات مربوط به سنسورها در بخش channel setting می توان جهت چرخش shaft rotating direction و زاویه ای که حسگرها نصب شده از قسمت probe angle آن را مشخص کرد. محدوده ای که در آنجا وضعیت هم مرکزی شفت باید بررسی شود بر حسب نحوه تحلیل نقطه شروع start point و همچنین شعاعی که در آن محدوده باید بررسی شود از بخش start point قابل تنظیم می باشد. نحوه قرار گرفتن هم مرکزی شفت در شکل (5-8) قابل مشاهده است.



شکل (5-8). نمودار هم مرکزی شفت

# فصل ششم:

## ضبط و ذخیره سازی سیگنال

## Signal Record

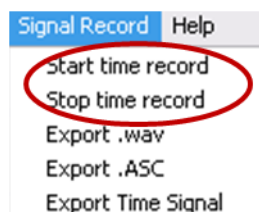
## 16 مقدمه

در فصل دوم measurement اشاره شد که باید آدرس ذخیره سازی داده های جمع آوری شده و همچنین بازه های زمانی که در آن سیگنال ها ذخیره می شوند، مشخص شود. اما مادام اینکه در این بخش دستور شروع ذخیره سازی داده نشود و در بخش measurement نیز تیک مربوط به ذخیره سازی اتوماتیک سیگنال انتخاب نشده باشد، هیچ داده های ذخیره نخواهد شد. اغلب داده های جمع آوری شده برای تحلیل های دقیق تر به صورت آفلاین ذخیره و ضبط می شوند. این داده ها هم می توانند به عنوان ورودی نرم افزار تحلیل آفلاین RMDS به کار گرفته شوند و هم می توانند به فرمت های دیگر فایل مثل فرمت wave و یا فرمت ASCII ذخیره و برای پژوهش های علمی و انجام کار های پردازش سیگنال وارد نرم افزارهای دیگری از جمله Pulse sound quality برای اعمال پژوهش های آکوستیکی و به صورت خام وارد نرم افزارهای برنامه نویسی مانند Matlab شوند. در ادامه به نحوه شروع ذخیره سازی و توقف آن و همچنین دسترسی به داده ها با فرمت های گوناگون اشاره خواهد شد.

## 17 شروع ضبط سیگنال زمانی start time record

اگر علامت مربوط به ذخیره اتوماتیک داده ها با شروع برنامه CMS در بخش measurement انتخاب نشده باشد، باید کار ضبط سیگنال ها از این قسمت آغاز گردد. با انتخاب گزینه Start time record کار ذخیره سازی داده در مسیر تعیین شده در بخش تنظیمات مربوط به اندازه گیری با فرمت Dat و با نام حسگر مربوطه و به فاصله زمانی که برای ذخیره سازی انتخاب شده است، ضبط می گردد. اگر کار ذخیره سازی به درستی آغاز شده باشد، در بالای نرم افزار نمایشگری با نام Record status به رنگ سبز روشن خواهد شد. کاربر با این چراغ می تواند از اینکه کار ذخیره سازی به درستی در حال اجرا می باشد، اطمینان حاصل کند. نحوه نام گذاری داده ها به این ترتیب خواهد بود که بعد از شماره حسگر نام ماشینی که روی آن سنسور نصب شده است و در آخر نام حسگر و با فرمت Dat ذخیره خواهد شد:

1\_ System name+ Sensor name. Dat



## 18 توقف ضبط سیگنال زمانی stop time record

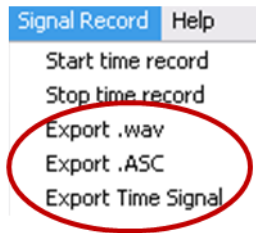
تا زمانی که کار ذخیره سازی داده ها متوقف نشده باشد، داده ها در آدرس مربوطه ذخیره خواهند شد و حجم آنها افزایش خواهد یافت. همان طور که در بخش تنظیمات اشاره شد حافظه کامپیوتر امکان ذخیره حجم مشخصی از داده را دارد و هر زمان که این حجم تکمیل شد باید داده ها از حافظه مربوطه به جای دیگری منتقل گردد. هر زمان این مقدار از حد مجاز خود عبور کرد نمایشگری در بالای نرم افزار با عنوان Alarm Triggered روشن خواهد شد که نسبت به پر شدن حافظه و عبور از حد مجاز تنظیم شده به کاربر یا اپراتور هشدار خواهد داد. لذا باید کار داده برداری متوقف و داده ها از مسیر مربوطه به حافظه یا جای دیگری انتقال داده شود. همچنین گاهی از اوقات تنها نیاز هست که سیگنال زمان محدودی ضبط و مورد تحلیل قرار گیرد. در این بخش با انتخاب گزینه stop time record می توان کار ذخیره سازی داده ها را متوقف نمود. همان طور که در شکل (۱) نشان داده شده است، بهتر است پیکربندی داده در مسیری که داده ها ذخیره می شود، ضبط گردد.



شکل (6-1). ذخیره سازی داده ها در مسیر انتخابی

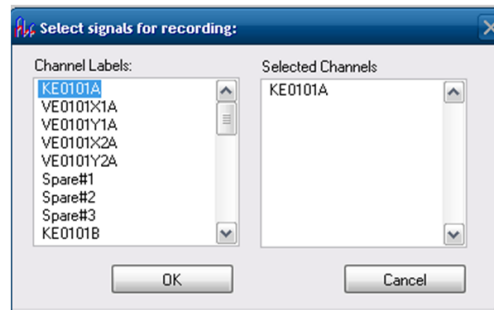
## 19 ذخیره سازی داده ها

داده های جمع آوری شده توسط تحلیلگر و نرم افزار CMS علاوه بر فرمت پیش فرض Dat می توانند با فرمت های دیگری مانند Wave و ASCII ذخیره و مورد استفاده قرار گیرند. در ادامه نحوه ذخیره سازی سیگنال ها با فرمت های ذکر شده توضیح داده شده است.



### ۱۲-۲-۱ ذخیره داده ها با فرمت wave

در این بخش با انتخاب گزینه export wave پنجره ای باز می شود که در آن می توان حسگرهایی که نیاز است تا داده های آن به صورت فرمت wave ذخیره شود ، انتخاب گردد. همچنین نام سنسور و مسیر ذخیره سازی این فایل ها از کاربر سوال خواهد شد تا امکان دسترسی فایل های ضبط شده توسط اپراتور فراهم آید. در شکل (2-6) نحوه اجرای این کار نشان داده شده است.



شکل(2-6). انتخاب سنسور مورد نظر برای ذخیره سیگنال به فرمت های مختلف

### ۱۳-۲-۱ ذخیره داده ها با فرمت ASC

در این بخش با انتخاب گزینه Export ASC دامنه های سیگنال های انتخاب شده به صورت عمودی با فرمت ASCII در مسیری که خود کاربر تعیین می کند ذخیره می شود و می توان آن را با برنامه notepad باز کرد و به برنامه های دیگری نظیر Labview, matlab, ... , جهت اعمال کار های پژوهشی مانند پردازش سیگنال وارد کرد

### ۱۴-۲-۱ ذخیره سیگنال های زمانی

در این بخش هر سیگنال زمانی که مد نظر کاربر باشد به صورت دو ستون که ستون اول شامل زمان ها و ستون دوم شامل مقادیر دامنه سیگنال زمانی است به صورت فرمت ASCII ذخیره و قابل دستیابی خواهد بود



دفترچه راهنمای نرم افزار

**Vibro-RMDS**

# فصل اول :

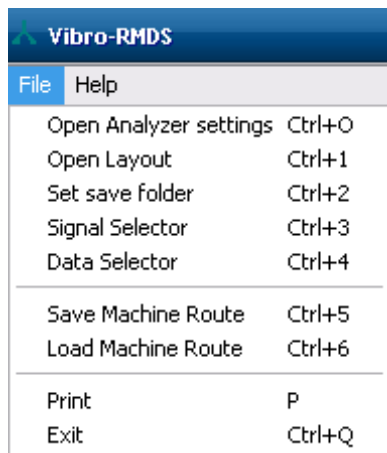
## بارگذاری داده ها

## ۱- ۱ مقدمه

نرم افزار RMDS برای پایش وضعیت آفلاین داده هایی به کار می رود که توسط نرم افزار CMS جمع آوری و ذخیره سازی شده است. در ابتدای شروع کار این نرم افزار، تنها بخش File و Help فعال است تا کاربر بتواند با مشخص کردن مسیری که داده ها در آنجا ذخیره شده کار تحلیل داده ها را آغاز نماید. لذا ابتدا به توضیح در مورد انتخاب داده های ذخیره شده در داخل نرم افزار پرداخته خواهد شد تا وارد مرحله تحیل داده گردند.

## ۱- ۲ انتخاب مسیر مربوط به داده های ذخیره شده

برای اینکه نرم افزار RMDS بتواند به داده های ذخیره شده دسترسی داشته باشد، دو فایل شامل فایل تنظیمات داده برداری (Configuration) و فایل سیگنال ذخیره شده با فرمت DAT نیاز دارد. فایل تنظیمات حاوی اطلاعات مربوط به نحوه اندازه گیری و تنظیمات دستگاه تحلیل گر می باشد. در این تنظیمات اطلاعات مربوط به Tag ها، سربرگ ها (Label) ها، نوع دستگاه تحلیل گر و تعداد کانال ها، اطلاعات مربوط به تاکومتر، اطلاعات مربوط به سنسور ها و ... می باشد. برای شناساندن این تنظیمات به نرم افزار RMDS لازم است که ابتدا مسیر ذخیره سازی فایل مربوطه را به نرم افزار RMDS معرفی نمود. همان طور که در دفترچه راهنمای نرم افزار CMS نیز اشاره شد، بهتر است فایل تنظیمات مربوط به هر داده برداری در همان پوشه داده های ذخیره سازی شده نسخه برداری شود. از گزینه Open Analyzer setting فایل مربوط به تنظیمات باید انتخاب گردد.



## ۱- ۳ تصویر جانمایی دستگاه و محل قرار گیری سنسورها

از گزینه Open Layout می توان برای انتخاب تصویر دستگاه و محل سنسور گذاری ها با فرمت های JPEG, Bitmap, PNG استفاده نمود. البته ارائه این تصویر می تواند به دلخواه انجام گیرد و وارد کردن آن به نرم افزار ضرورت ندارد.

## ۱- ۴ معرفی داده های ذخیره شده به نرم افزار RMDS

داده های اندازه گیری شده توسط نرم افزار CMS در مسیر پیش فرضی که در تنظیمات مربوط به آن تعیین شده، ذخیره می شود. برای تحلیل این داده ها به صورت آفلاین باید مسیر مربوطه را از گزینه set save folder پیدا کرده و به عنوان current folder انتخاب نمود. بدین ترتیب نرم افزار RMDS سیگنال ها را از مسیر معرفی شده انتخاب خواهد نمود.

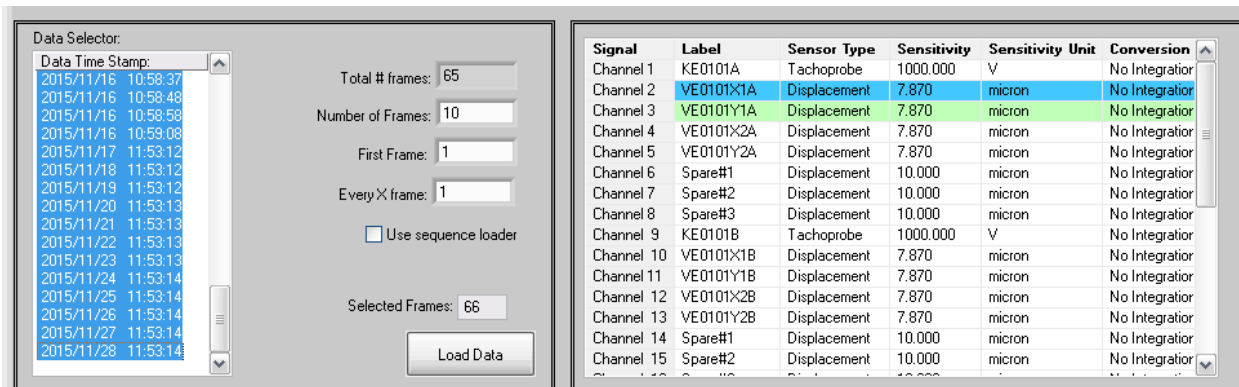
#### ۱- ۵ انتخاب سیگنال ها از بین داده های معرفی شده

بدین ترتیب طبق توضیحاتی که در بخش قبل داده شد، سیگنال ها از مسیری که معرفی شده، انتخاب خواهد شد. از گزینه signal selector می توان تعیین کرد که کدام سیگنال به عنوان سیگنال اصلی signal #1 و کدام سیگنال به عنوان سیگنال فرعی signal #2 مورد استفاده قرار گیرد. سیگنال ثانویه برای نمایش

نمودار روند (Dual Trend) و نمایش نمودار اوربیت (orbit) می باشد. لذا باید گزینه مربوط به Dual Trend/ Orbit انتخاب شود. قسمت بعد با عنوان keyPhasor signal مربوط به سیگنال دور خوان یا تاکومتر می باشد. بعد از سیگنال مربوطه باید گزینه use keyPhasor انتخاب شود. بخش انتهایی با عنوان Digital input مربوط به سیگنال های سنسورهای remote I/O مانند سنسور های دما، فشار و دبی و ... می باشد که در صورت وجود باید گزینه Digital Input انتخاب شود.

#### ۱- ۶ انتخاب داده ها از سیگنال های انتخاب شده

با انتخاب گزینه Data selector کاربر وارد محیطی می شود که در آنجا می تواند Data Time stamp ها را مشاهده نماید. در این بخش تعداد فریم هایی که در آن زمان ها داده برداری انجام گرفته است به صورت ستونی شامل تاریخ و زمان داده برداری لحاظ شده است. در این لیست می توان به فراخور نیاز داده ها را انتخاب و یا با گرفتن دکمه shift و انتخاب تمام موارد همه فریم ها را برای نمایش انتخاب نمود. در کادر با عنوان total frames شماره مربوط به تعداد فریم ها نمایش داده می شود و می توان با نوشتن همین عدد در کادر number of frames و انتخاب گزینه use sequence loader تمام فریم ها را برای نمایش انتخاب نمود. همچنین به نحو دیگری می توان در کادر first frame اولین فریم مورد نظر برای نمایش را انتخاب نموده و در کادر Every X frame تعیین نمود که چند فریم یکبار داده ها برای نمایش در نرم افزار RMDS بارگذاری شود. در کادر با عنوان selected frames تعداد فریم هایی که برای بارگذاری انتخاب شدند نوشته شده است. با انتخاب گزینه Load data داده های انتخاب شده روی نرم افزار با گذاری می شوند. در سمت راست کانال هایی که داده های آنها در بخش signal selector انتخاب شده اند به همراه مشخصات نمایش داده می شوند. سیگنال اصلی به رنگ آبی و سیگنال فرعی به رنگ سبز نشان داده می شود.



شکل (۱). بخش انتخاب داده از سیگنال های معین شده Data selector

## 7-1 Save machine route/ load machine route

تنظیماتی که در نرم افزار RMDS صورت می گیرد از جمله تنظیماتی که در بخش عیب یابی مانند نوع یاتاقان و ... لحاظ می شود را می توان به صورت route ماشین ذخیره کرد و دفعات آتی می توان آنها را مجدداً بر روی نرم افزار بارگذاری کرد.

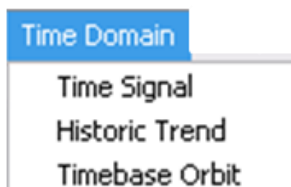
## ۸-۱ Print/ exit خروج یا تهیه پرینت از نرم افزار

از این بخش می توان پرینت تهیه نمود یا از نرم افزار خارج شد.

فصل دوم:  
حوزه زمان  
Time domain

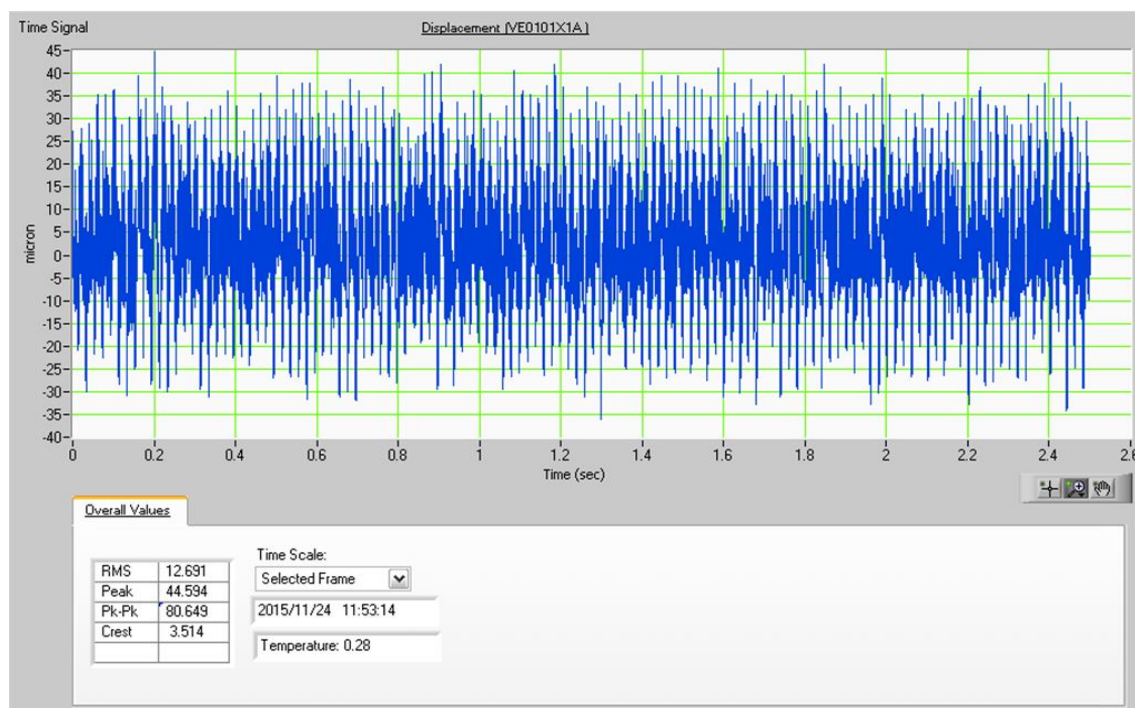
## ۲- ۱ مقدمه

در بخش قبل توضیح داده شد که چگونه داده های اندازه گیری شده روی نرم افزار بارگذاری گردد و سیگنال های مورد نظر انتخاب شود. با اعمال موارد ذکر شده در منوی File سایر منو ها فعال می شوند. اولین منو Time domain نام دارد. در ادامه به توضیح بخش های مختلف این منو پرداخته خواهد شد.



## ۲- ۲ مشاهده سیگنال در حوزه زمان

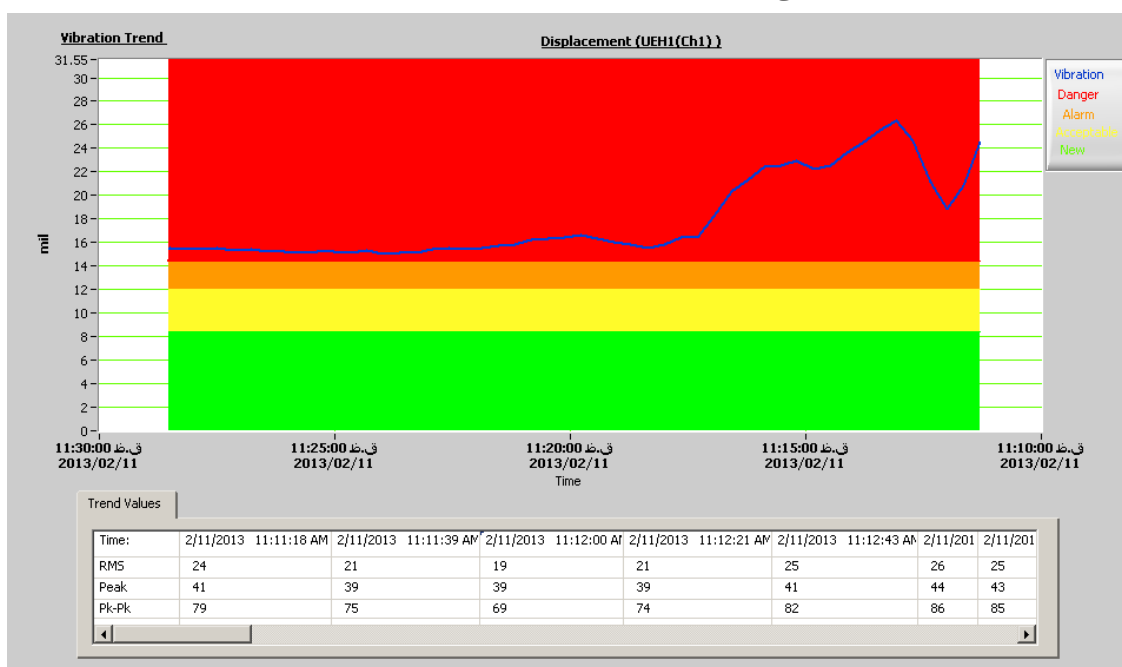
تمام فریم هایی که در بخش انتخاب داده برای سیگنال اصلی به نرم افزار معرفی شده بودند، به صورت نمودار زمانی قابل مشاهده می باشد. در بخش پایین نمودار می توان در کادر با عنوان time scale از حالت all data به selected Frame تغییر داد و تک فریمی که از نمودار Waterfall امکان تغییر آن وجود دارد، مشاهده نمود. ضمناً مشخصات RMS, Peak, PK-PK, Crest مربوط به سیگنال از جدول سمت چپ قابل دسترسی می باشد.



شکل (2-1). نمایش سیگنال در حوزه زمان و مشخصات آن

## ۳-۲ نمودار روند مربوط به سیگنال های انتخابی (Historic Trend)

در این بخش می توان روند تغییرات سیگنال های انتخابی در زمان هایی که کار داده برداری صورت گرفته است، در قالب نمودار Trend مشاهده نمود. این نمودار شامل محدود های مختلف بر اساس حدود هشدار و یا خطری تقسیم بندی می شود که از بخش vibration standards در منوی tool قابل تغییر می باشند. بخش استانداردهای ارتعاشی در مطالب بعدی به طور مفصل تری توضیح داده خواهد شد. این محدوده ها شامل محدوده Danger, Alarm, acceptable, new می باشند و کاربر می تواند یک دید کلی از وضعیت داده های اندازه گیری شده را بدست آورد. ضمناً مشخصات مربوط به سیگنال اصلی و دمای آن در زمان های مختلف در جدول زیر نمودار قابل مشاهده می باشد.

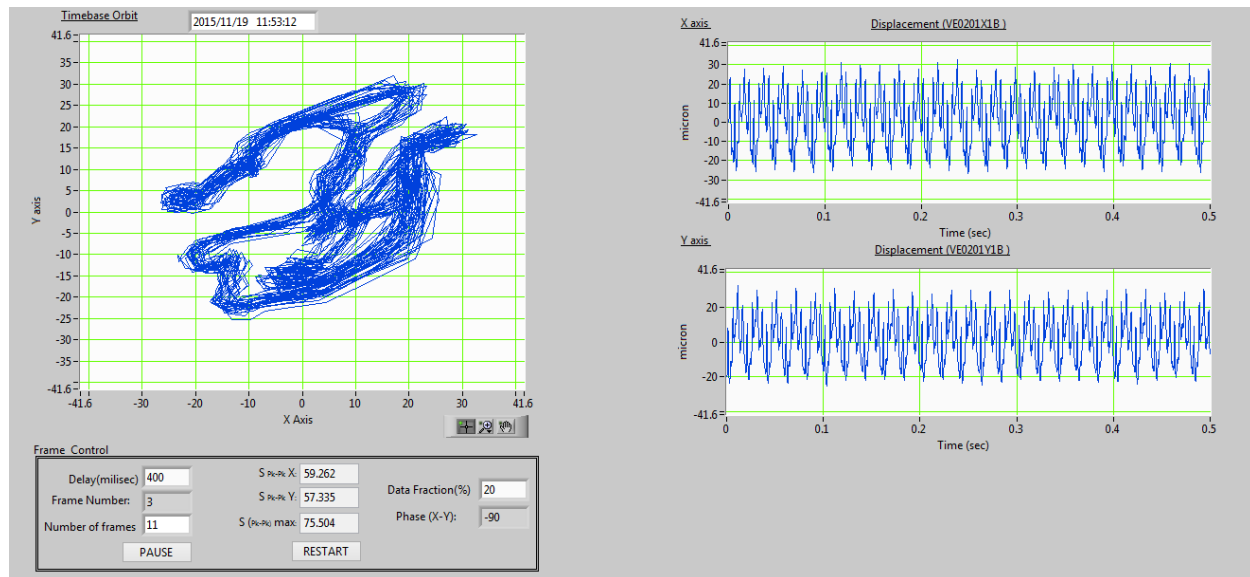


شکل (2-2). نمایش نمودار روند Trend در نرم افزار RMDS

## ۴-۲ اوربیت بر پایه زمان Time base orbit

از روی دو سیگنال زمانی که در ابتدا به نرم افزار معرفی شدند می توان اوربیت حوزه زمان آن را در این بخش مشاهده کرد. در کادر زیر منحنی time base orbit می توان شماره Frame ای که اوربیت آنها در حال نمایش است و همچنین تعداد کل Frame ها را مشاهده کرد.





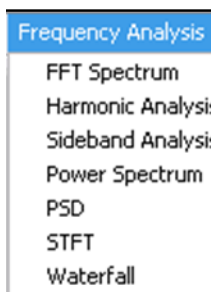
شکل (2-3). نمایش اوربیت بر پایه سیگنال زمانی

برای کنترل فاصله زمانی که Frame ها نمایش داده می شود، از کادر Delay (mil sec) می توان این فاصله زمانی را بر حسب میلی ثانیه تعیین کرد. همچنین جابجایی PK-PK هر دو سیگنال و PK-PK بیشینه نیز قابل دستیابی است. فاز بین دو سیگنال در کادر با عنوان (Phase (X-Y)) نمایش داده می شود. اگر کاربر تمایل داشته باشد به کمک بخشی از داده ها اوربیت رسم شود می تواند از Data fraction درصدی از دیتا ها را برای رسم اوربیت استفاده کند.

فصل سوم:  
حوزه فرکانس  
Frequency Domain

## ۳- ۱ مقدمه

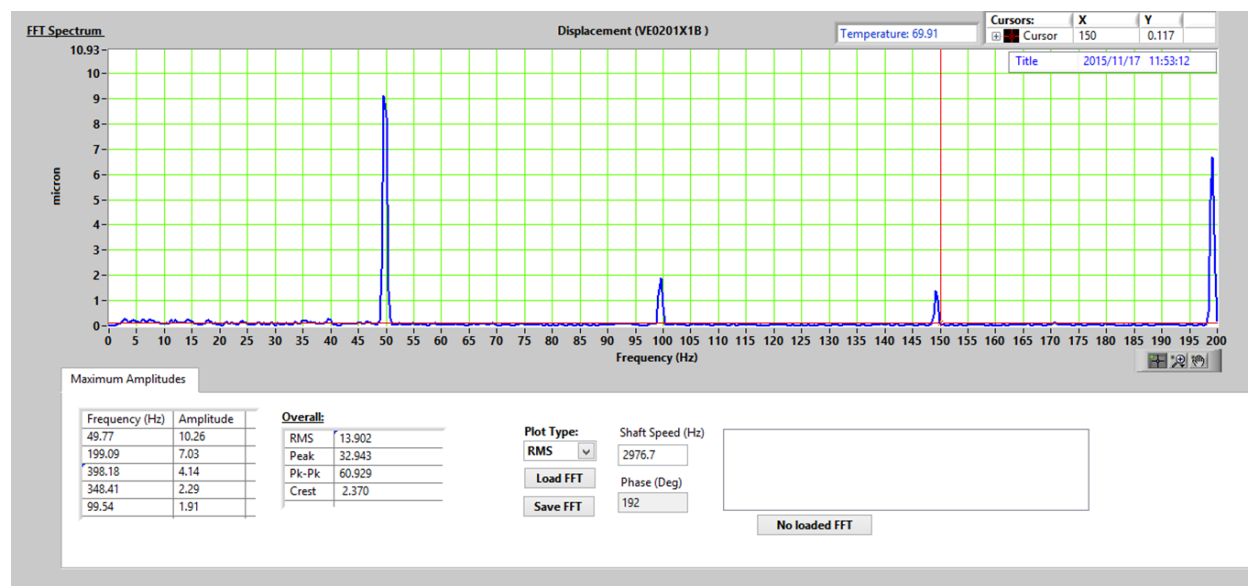
برای اینکه سیگنال‌ها مورد تحلیل و بررسی دقیق تری قرار گیرند نیاز است تا به حوزه فرکانس برده شوند تا ادامه تحلیل سیگنال‌ها در این حوزه ادامه یابد. این بخش از نرم افزار شامل منوهای زیر می باشد :



در بخش های مختلف این فصل به توضیح در مورد منوهای این نرم افزار پرداخته خواهد شد.

## ۳- ۲ طیف فرکانسی تبدیل سریع فوریه FFT spectrum

همان طور که در نرم افزار CMS نیز توضیح داده شد، سیگنال زمانی با تبدیل فوریه سریع به حوزه فرکانس برده می شود. طیف های فرکانسی سیگنال ها در این بخش قابل مشاهده می باشند. در قسمت پایین نمودار طیف فرکانسی، مشخصات مربوط به سیگنال مانند Peak, RMS, Pk-Pk, crest برای مقادیر کلی ارتعاشات قابل مشاهده می باشد. ضمناً مقدار بیشینه دامنه به ترتیب برای پنج فرکانس اعلام می شود.

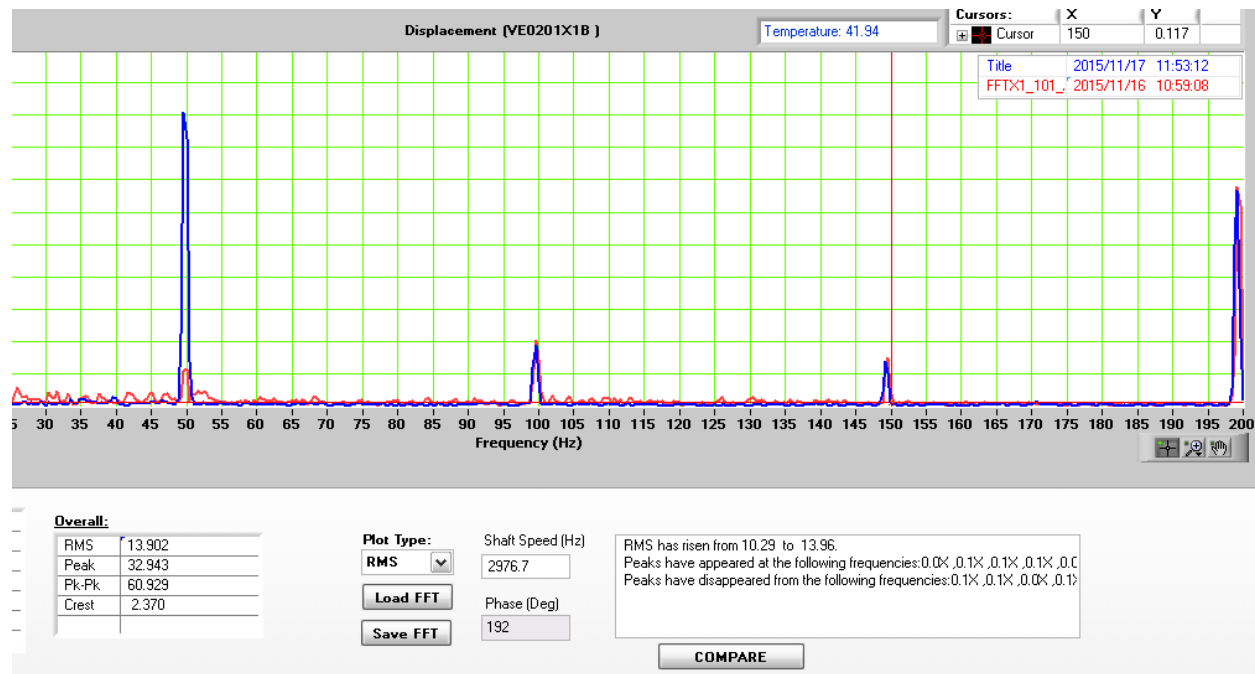


شکل (3-1). نمایش طیف فرکانسی تبدیل FFT و مشخصات سیگنال

توسط نشانگر (cursor) می توان مکان دقیق پیک های ارتعاشی را قرائت نمود و در سراسر طیف دامنه را در فرکانس های مختلف بررسی نمود. ضمناً می توان طیف فرکانسی را از طریق گزینه Save FFT ذخیره نمود تا

برای تحلیل ها و مقایسه های بعدی این طیف فرکانسی را از طریق گزینه Load FFT دوباره روی نرم افزار بارگذاری کرد. در جدول با عنوان maximum amplitude چهار پیک اصلی نشان داده شده در سیگنال را نشان می دهد. می توان نوع نمایش را بر حسب سه پارامتر Peak, RMS, Pk-Pk قسمت با نام plot type انتخاب نمود.

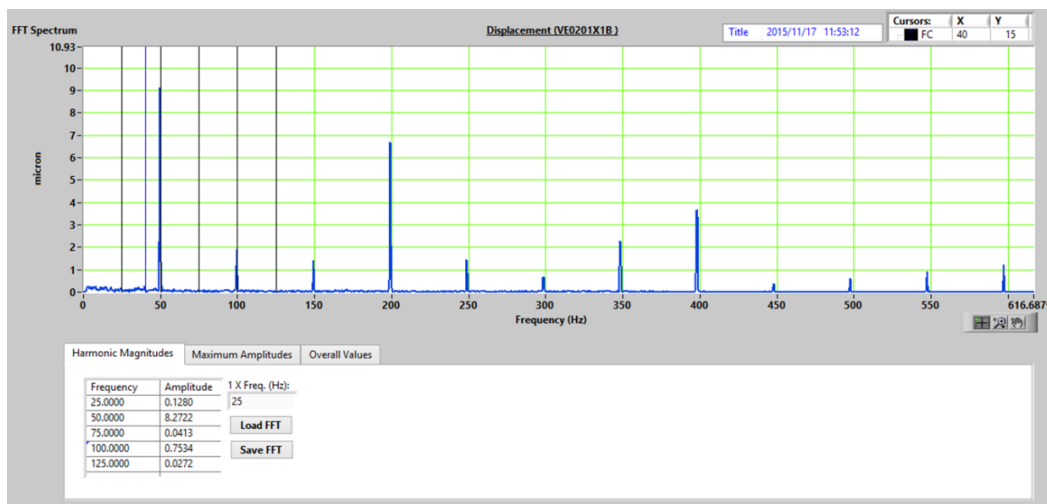
همچنین بخشی به عنوان Load FFT و save FFT این امکان را به کاربر می دهد تا طیف های فرکانسی مهم از جمله طیف فرکانسی مربوط به دستگاه در حالت کارکرد صحیح را ذخیره سازی نماید و در تحلیل های آتی جهت مقایسه طیف های بدست آمده با طیف های قبلی از آن استفاده کند. ضمناً بعد از بارگذاری طیف قبلی و انتخاب گزینه compare اعلام نظری در مورد تحلیل طیف بدست آمده در کادر سمت راست صفحه با بررسی طیف بدست آمده در مقایسه با طیف ذخیره شده و بارگذاری شده روی نمودار اعلام می شود.



شکل (۳-۲). مقایسه طیف های فرکانسی و تحلیل آنها

## ۳-۳ تحلیل هارمونیک harmonic Analysis

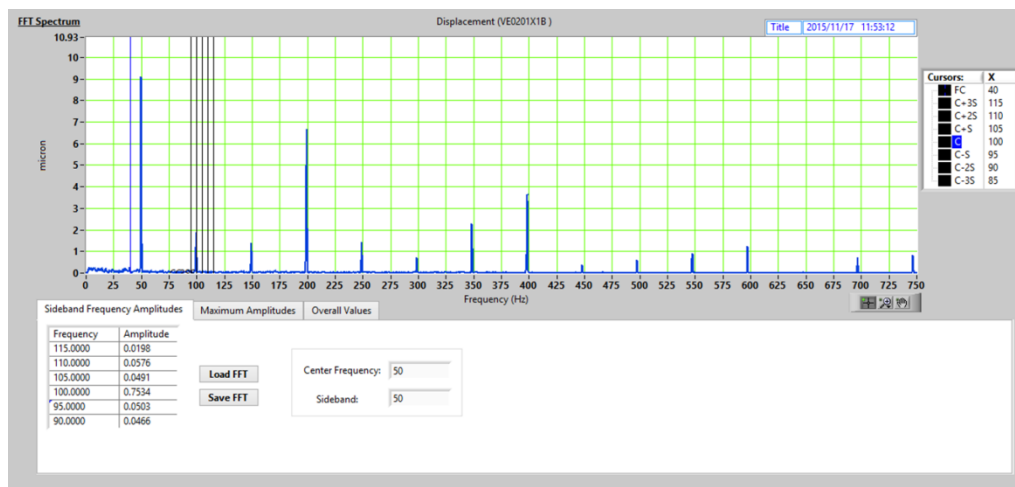
برای مشاهده هارمونیک های دور شفت می توان مقداری را که هارمونیک های آن مدنظر می باشد، با وارد کردن مقدار 1X بر حسب فرکانس تنظیم نمود تا خطوط هارمونیک ها روی فرکانس های مربوطه قرار بگیرند. دامنه هارمونیک ها و مقادیر مربوط به دامنه های بیشینه و همچنین مقادیر RMS, Peak, Pk-Pk در جدول زیر نمودار مطابق شکل (3-3) قابل مشاهده می باشد.



شکل (3-3). تحلیل هارمونیک ها و تنظیم مقدار اولیه برای بررسی هارمونیک

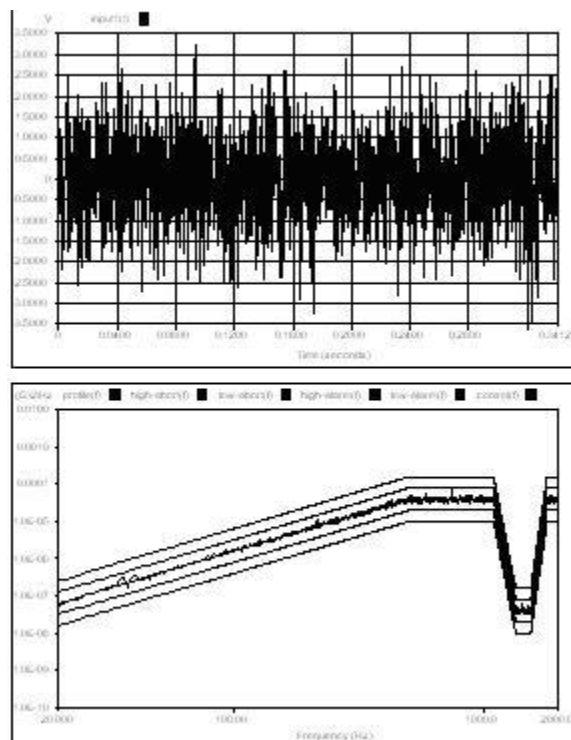
## ۳-۴ تحلیل باند جانبی sideband analysis

تحلیل مربوط به باندهای جانبی با تنظیم فرکانس مرکزی و باند جانبی می تواند صورت گیرد. بدین منظور می توان فرکانس مرکزی را از کادر center frequency و باند جانبی را از کادر sideband مطابق شکل (3-4) وارد کرد.



شکل (3-4). تحلیل باند های جانبی در نرم افزار Vibro-RMDS

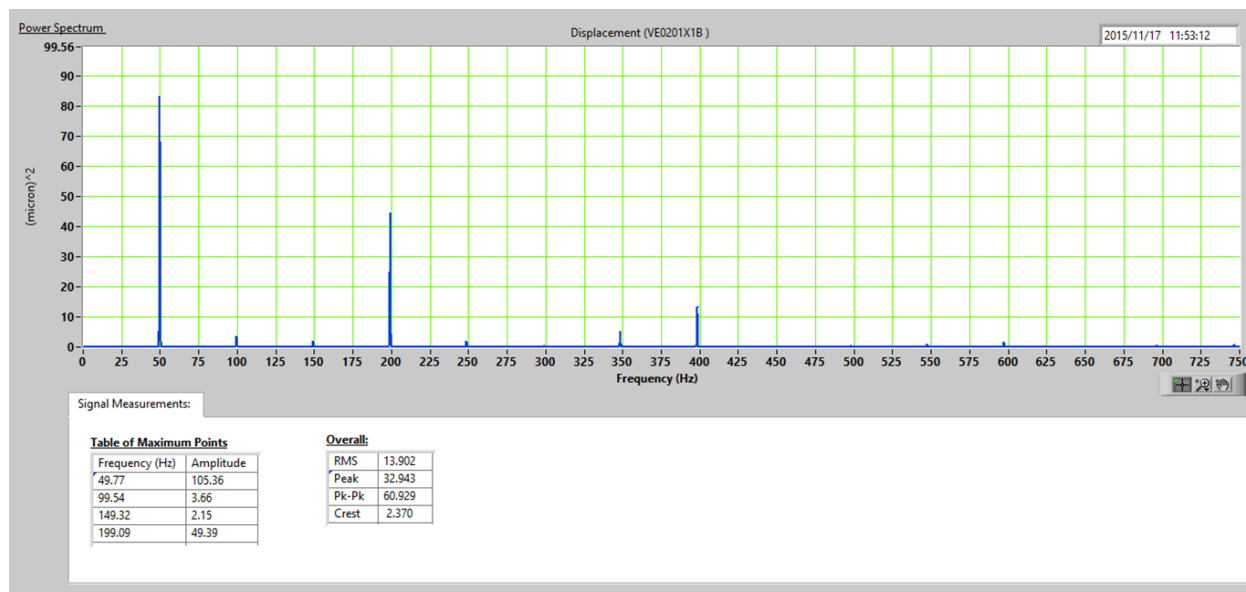
چگالی طیف توان<sup>1</sup> یا PSD اندازه گیری شدت توان سیگنال در حوزه فرکانس است. در عمل، PSD از روی طیف FFT سیگنال محاسبه می شود. برای توصیف دامنه در برابر فرکانس در سیگنال های اتفاقی (رندوم) استفاده از PSD راه مناسبی می باشد. در سیستم های کنترل سیگنال های اتفاقی از PSD برای نمایش و کنترل سیگنال های ورودی استفاده می شود. سیگنال های اتفاقی در تجربیات عملی و کار با ماشین آلات در دنیای واقعی مشاهده می شود. راه معمول برای توصیف حرکت اتفاقی بر حسب چگالی طیف توان آن می باشد. نمودار نشان داده شده در شکل (3-5). نشان دهنده سیگنال رندوم در حوزه زمان و در حوزه فرکانس بر حسب PSD است.



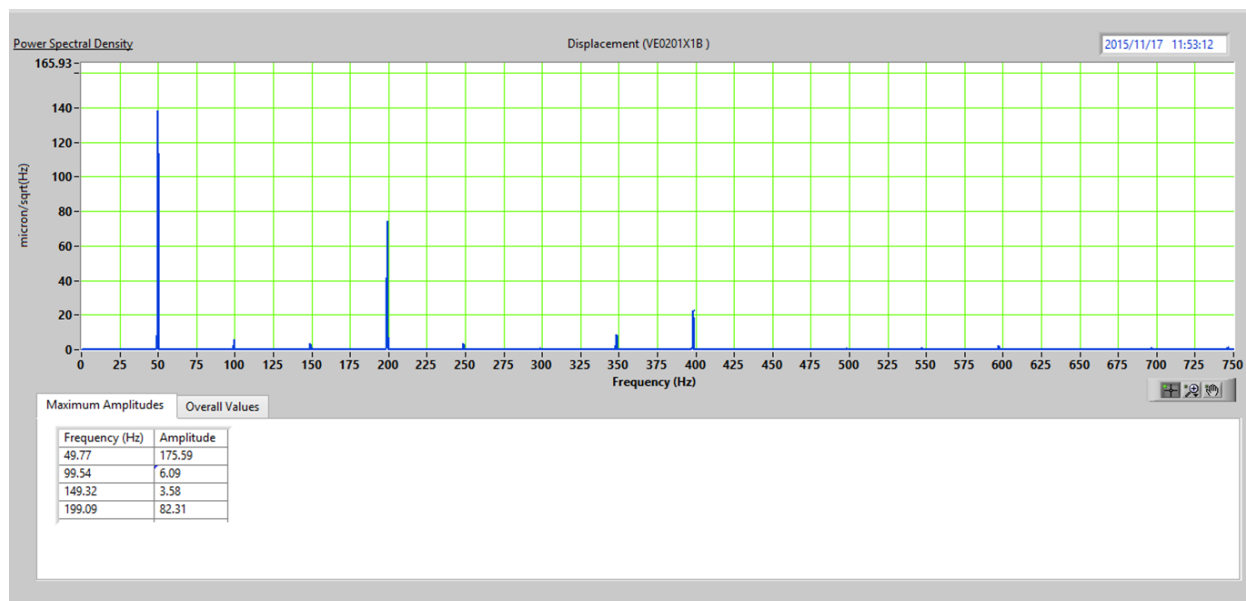
شکل (3-5). دهنده سیگنال رندوم در حوزه زمان و در حوزه فرکانس بر حسب PSD

مقدار بدست آمده از تبدیل FFT مقدار پیچیده ای است که دارای مقدار حقیقی و موهومی می باشد. برای کنترل سیگنال ها با ماهیت اتفاقی تنها دامنه طیف مورد نیاز است. در نرم افزار RMDS امکان نمایش طیف توان و چگالی طیف توان در بخش power spectrum و Power spectral Density (PSD) به وجود آمده است.

<sup>1</sup> Power Spectral Density



شکل (3-6). نمایش طیف توان در نرم افزار RMDS



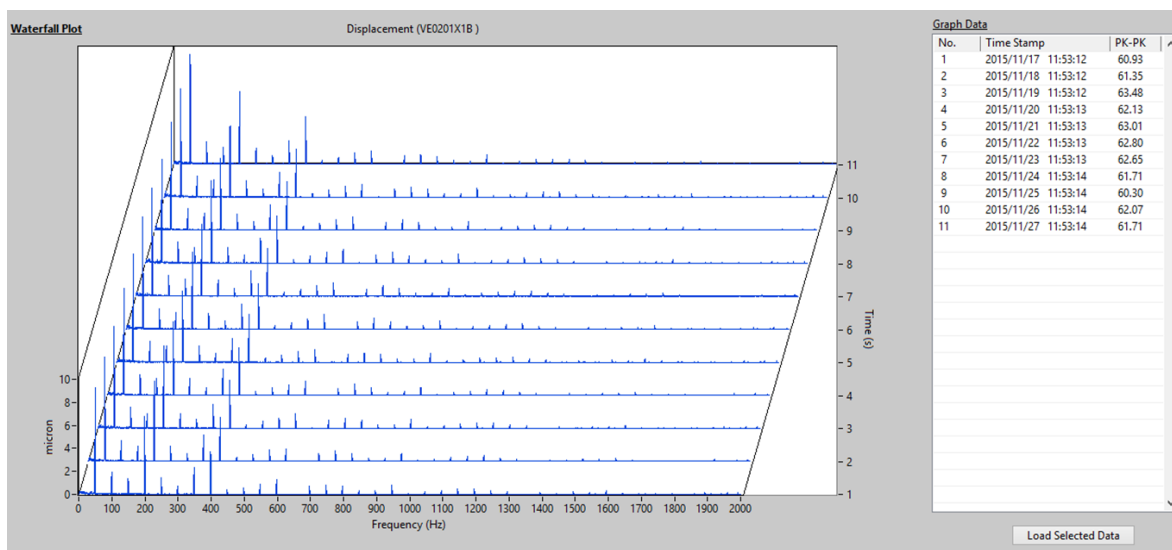
شکل (3-7). نمایش چگالی طیف توان (Power Spectral Density (PSD) در نرم افزار RMDS

### ۳-۵ نمودار آبشاری Waterfall

نمودار های آبشاری برای نمایش چندگانه طیف های فرکانسی ( طیف FFT) بر حسب زمان، در شرایط کارکرد با سرعت رو به بالا (run up)، با سرعت رو به پایین (run down)، پدیده های گذرا<sup>۲</sup> و یا در سرعت

<sup>2</sup> Transient phenomenon

کاری ثابت طراحی شده است. نمودارهای آبخاری نمایش های سه بعدی با محور های زمان، فرکانس و دامنه هستند. این نمودار ها معمولاً برای بررسی تغییرات ارتعاشی ماشین ها در مواقعی که سایر پارامترهای عملیاتی تغییر می کنند، به کار گرفته می شوند. لذا از این نمودار ها علاوه بر پایش وضعیت آفلاین، برای پایش وضعیت و تحلیل سیگنال های ارتعاشی به صورت آنلاین نیز بهره گرفت. نمودارهای آبخاری دامنه های ناهمزمان (آسنکرون)<sup>۳</sup>، زیر سنکرون<sup>۴</sup> و فوق سنکرون<sup>۵</sup> با توجه به ارتعاش یک برابر دور (1X) و تغییرات آن بر حسب زمان یا تغییرات سرعت را نشان می دهد. در نرم افزار تحلیل به صورت آفلاین Vibro-RMDS می توان دیاگرام آبخاری مربوط به هرکدام از کانال ها را در چارچوب های مختلف در کنار هم مشاهده و تحلیل کرد. جدول سمت چپ لیست کانال های اتصالی به سیستم را نمایش می دهد که می توان با کلیک بر روی هرکدام از کانال ها نمودار آبخاری مربوط به آن را مشاهده نمود. کادر سمت راست نمودار آبخاری که با عنوان داده های گراف (graph data) نشان داده شده، مقدار کلی ارتعاشات را بر حسب پارامتر متغیری که در قسمت تنظیمات تعیین شده (مانند pk-pk و ...) نمایش داده خواهد شد. با انتخاب هر frame و زدن دکمه Load selected data می توان طیف مربوط به آن را مشاهده کرد.



شکل (3-8). نمایش نمودار آبخاری در نرم افزار RMDS

<sup>3</sup> Asynchronous

<sup>4</sup> Sub synchronous

<sup>5</sup> Super synchronous



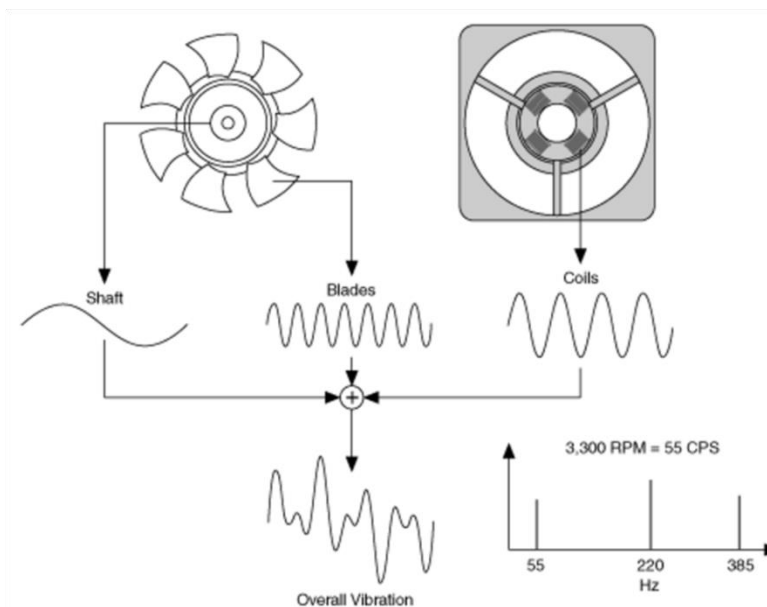
فصل چهارم:

تحلیل مرتبه

Order Analysis

## 4-1 طیف مرتبه order spectrum

یکی از روش های معمول برای تحلیل سیگنال های صدا و ارتعاشات تحلیل بر پایه تبدیل سریع فوریه (FFT) می باشد. در زیر تحلیل FFT مربوط به سیگنال های ارتعاشی روی یک فن با ۷ پره و ۴ کوئل نشان داده شده است



شکل (۴-۱). نمایش اجزای سیگنال ارتعاشی مربوط به بخش های مختلف یک فن

همان طور که در شکل (۵-۱) مشاهده می شود، ارتعاشات کلی فن برآیند ارتعاشات مربوط به شفت، کوئل، و پره است. فن در دور ۳۳۰۰ rpm یا ۵۵ هرتز می چرخد. در این صورت شفت هم با سرعتی برابر با سرعت دورانی فن دوران خواهد کرد. در حالی که سرعت کوئل یا فن به ترتیب ۴ و ۷ برابر سرعت دورانی خود فن می باشد. ارتعاشات مربوط به شفت، فرکانس یکسانی با فرکانس دورانی فن دارد که برابر با ۵۵ هرتز است، اما سیگنال های ارتعاشی کوئل و پره ۴ امین و ۷ امین هارمونیک سرعت دورانی فن می باشد که ۲۲۰ هرتز و ۳۸۵ هرتز می باشند.

می توان از طیف فرکانسی تبدیل سریع فوریه<sup>۱</sup> برای شناسایی و کمیت دهی به اجزای مختلف فرکانسی سیگنال های صدا و ارتعاشات استفاده کرد. اگر در مثال اخیر فن در سرعت ثابتی حرکت کند، طیف FFT سیگنال در سرعت دورانی فن (شفت) و در هارمونیک های ۴ ام و ۷ ام پیک نشان خواهد داد. بدیهی است در

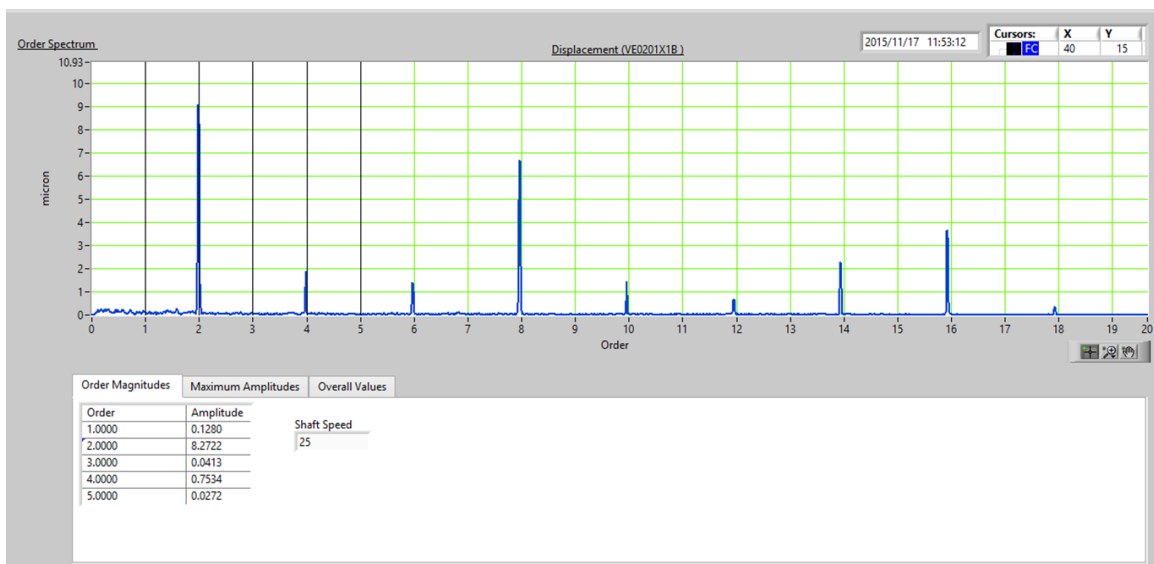
<sup>1</sup> FFT power spectrum

شرایطی که سرعت دورانی تغییر می کند، باند فرکانسی هرکدام از هارمونیک ها نیز تغییر کرده و عریض تر خواهد شد.

مرتبه اول در طیف فرکانسی همان سرعت دورانی است و مرتبه  $n$  ام در واقع  $n$  برابر سرعت دورانی می باشد لذا مؤلفه های مرتبه در واقع همان هارمونیک های سرعت دورانی می باشند. در مورد فن ، ارتعاشات شفت همان مرتبه (order) اول ارتعاشات می باشد. همچنین ارتعاشات کویل و پره ها مرتبه یا هارمونیک چهارم و هفتم سرعت دورانی می باشند.

با استفاده از روش تحلیل مرتبه می توان از جزییات هارمونیک ها که در طیف FFT مستتر هستند و با سرعت دورانی تغییر می کنند، اطلاع یافت. در واقع عموماً تکنیک های تحلیل مرتبه، سیگنال های صدا و ارتعاشات را به سرعت دورانی مرتبط می کند. بدین ترتیب با این روش می توان مشخصات مربوط به بخش های مکانیکی مختلف را تعیین نمود.

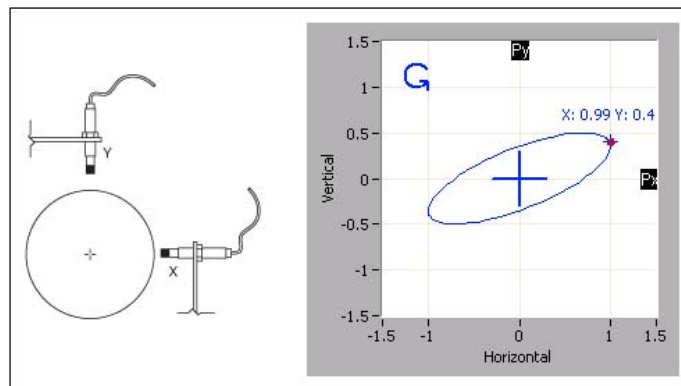
از طیف FFT می توان کار تشخیص خرابی های ماشین آلات را با ربط دادن اجزای فرکانسی مشخص به قسمت های مشخص مکانیکی انجام داد. تکنیک های آنالیز مرتبه برای تحلیل سیگنال های ارتعاشی و صدا در شرایطی که سرعت دورانی بر حسب زمان متغیر است، مورد استفاده قرار می گیرد. از جایی که سرعت دورانی در واحدهای صنعتی به دلیل شرایط عملکرد همیشه ثابت نبوده و امکان متغیر بودن آن وجود دارد، لذا استفاده از این تحلیل و توجه به هارمونیک های سرعت دورانی، می تواند متخصص آنالیز ارتعاشات را در مسیر تشخیص درست خرابی های ماشین آلات یاری نماید. مشاهده طیف مرتبه در نرم افزار RMDS مطابق شکل ( ) امکان پذیر می باشد. دامنه طیف در مرتبه های سرعت دورانی شفت و ماکزیمم مقدار دامنه و مقادیر کلی قابل رویت می باشد



شکل (4-2). تحلیل طیف مرتبه در نرم افزار RMDS

## Order orbit ۲-۴

اوربیت ها شکل قطبی سیگنال های حوزه زمان هستند که به طور همزمان در صفحه مختصات X-Y روی صفحه اسیلوسکوپ یا تحلیل گر ارتعاشی نمایش داده می شود. در این نوع از نمایش، بسیار مشکل است که نقطه اوربیت را دنبال کرد زیرا به صورت یک چرخه بی پایان می باشد



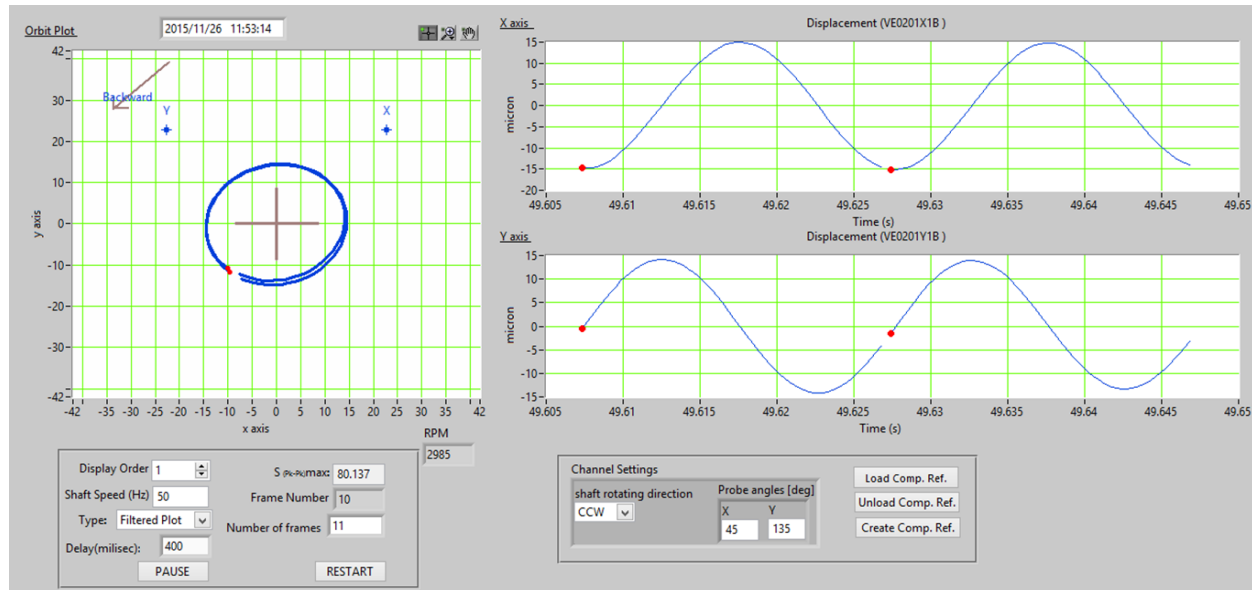
شکل (۴-۳). نمودار اوربیت و نحوه قرار گیری حسگرها

برای یافتن جهت دوران، دور خوان (key Phasor) به کار برده می شود. بدین ترتیب می تواند جهت دوران را با نگاه کردن به نقطه ای روی اوربیت که نقطه شروع می باشد و همچنین فضای خالی به عنوان نقطه انتهایی تشخیص دهد.

تحلیل اوربیت مشاهده اندازه گیری ارتعاشات هر سیستم دوار در صفحه X-Y می باشد. واحد اندازه گیری که بیشترین کاربرد را دارد، جابجایی است که مستقیماً از پروب های proximity استفاده می کند. این نوع اندازه گیری ارتعاش خوانی نسبی محسوب می شود. منظور از ارتعاش خوانی نسبی اندازه گیری ارتعاشات شفت نسب به حرکت محفظه یاتاقان می باشد. چون پروب مستقیماً و محکم به محفظه یاتاقان متصل می باشد، هیچ حرکت نسبی بین پروب و محفظه وجود ندارد. لذا می توان اوربیت را ترسیم کرد. در نظر داشته باشید که نمودار اوربیت یک گراف بصری از حرکت مطلق خط مرکزی شفت در داخل محفظه یاتاقان می باشد. اندازه گیری های شتاب سنج و سرعت سنج هم می توانند برای ترسیم اوربیت مورد استفاده قرار گیرند. حسگرهای خارجی وجود دارند که نیاز هست در خارج از محفظه یاتاقان نصب شوند. به این نوع اندازه گیری اوربیت بدنه case orbit گویند. این اوربیت برای جداسازی ارتعاشات شفت و بدنه بسیار کاربرد دارد. این اوربیت می تواند حرکت مطلق شفت را تولید کند (حرکت نسبی شفت نسبت به فضا). اوربیت هم برای سیگنال های کلی که اندازه گیری شدند به صورت فیلتر نشده انجام شود و یا برای سیگنال های فیلتر شده که نیاز هست اوربیت آنها را در فرکانس مشخصی مانند فرکانس دوران و یا ضرایب آن مشاهده کرد.

اوربیت به دو دسته فیلتر شده و فیلتر نشده تقسیم می شود. در اوربیت فیلتر شده تنها یک مرتبه مانند 1rpm یا 2rpm و ... دنبال می شود و از سیگنال تاکومتر برای همزمان سازی فیلترینگ و همچنین نقطه شروع استفاده می گردد. اوربیت فیلتر شده برای بررسی مرتبه خاصی بسیار مفید می باشد و از سایر اوربیت ها چشم پوشی می کند و این باعث می شود که نمودار اوربیت غیر واضحی وجود داشته باشد. اما اوربیت کلی که فیلتر نشده است برای بدست آوردن حرکت واقعی شفت بسیار کاربردی می باشد

در نرم افزار RMDS امکان مشاهده اوربیت مرتبه ای و تحلیل آن را مطابق شکل (4-4) فراهم می آورد.



شکل (4-4). اوربیت مرتبه ای در نرم افزار RMDS

## فصل پنجم:

## تشخیص عیوب ماشین

# Machine diagnosis

پایش وضعیت ماشین شامل تشخیص و در مراحل بالاتر پیش بینی عیوب ماشین های دوار می باشد. در این بخش به معرفی ابزار لازم برای پایش وضعیت ماشین هایی نظیر تسمه پولی، چرخنده، یاتاقان، موتور الکتریکی و همچنین معرفی نمودار پوش پرداخته خواهد شد.

## Machine Diagnosis

Belt  
Gearbox  
Bearing  
Electric Motor  
Envelope

مشکلات مربوط به تسمه، که شامل نامیزانی شفت، نامیزانی پولی، سایش تسمه، رزونانس تسمه، سفت بودن تسمه ها، شل بودن تسمه ها، خارج از مرکز بودن پولی و شفت خمیده است که در وهله اول می تواند به آسانی شناسایی شود ولی در ادامه ممکن است برای تشخیص دقیق و تصحیح آن مورد پیچیده ای باشد. این موضوع به دلیل مشکلات متعددی است که ممکن است در نصب و سوار کردن اجزای مختلف تسمه به وجود آمده باشد. همچنین پیچیدگی انجام تست بر روی تسمه و احتمال تاثیر گذاشتن موارد دیگر (مانند پایه) می تواند به انجام این فرآیند تاثیر بگذارد. نکته مهم در اینجا است که برخی از مشکلات ارتعاشی تسمه که در بالا به آن اشاره شد، باعث ایجاد ارتعاش در فرکانس های مربوط به تسمه نمی شوند. مشکلات مربوط به شفت یا پولی ها (نامیزانی، خروج از مرکز و ...) موجب ارتعاش در 1X rpm بخشی است که دچار خرابی شده (یعنی خروج از مرکز در پولی روی فن موجب ارتعاشات در 1X rpm فن می شود) و تسمه ها ساییده خواهد شد. از طرف دیگر موجب بروز ارتعاش در هارمونیک های سرعت کارکرد تسمه می شود. در مورد سایش اجزایی مانند تسمه و پولی ارزانی تعویض و بررسی آن می تواند خبر خوبی باشد. اما خبر بد این است که این مورد به سختی می تواند تصحیح شود. اولین مرحله برای تشخیص عیب مربوط به تسمه، تعیین نمودن سرعت تسمه می باشد. فرمول هایی که برای اندازه گیری فرکانس های تسمه استفاده می شود به شرح زیر است:

Variable Definitions:

PS = Pulley rpm (PS1 = Driver Pulley Speed, PS2 = Driven Pulley Speed)

PD = Pulley diameter (PD1 = Driver Pulley Dia., PD2 = Driven Pulley Dia.)

SD = Distance between shaft centers

BL = Belt Length

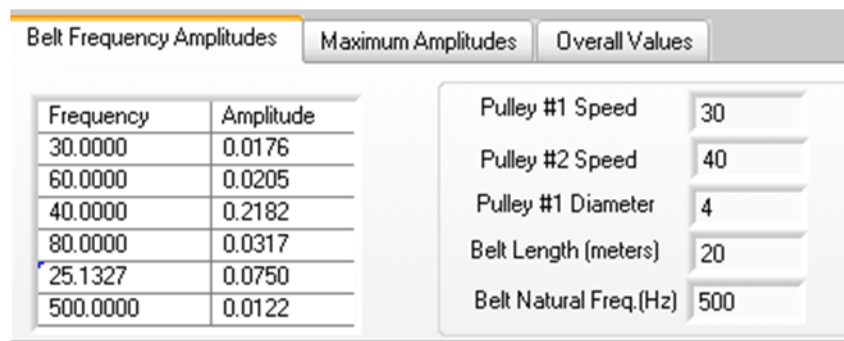
$$3.14 \times PS1 \times PD1/BL = \text{Belt RPM}$$

$$3.14 \times PS2 \times PD2/BL = \text{Belt RPM}$$

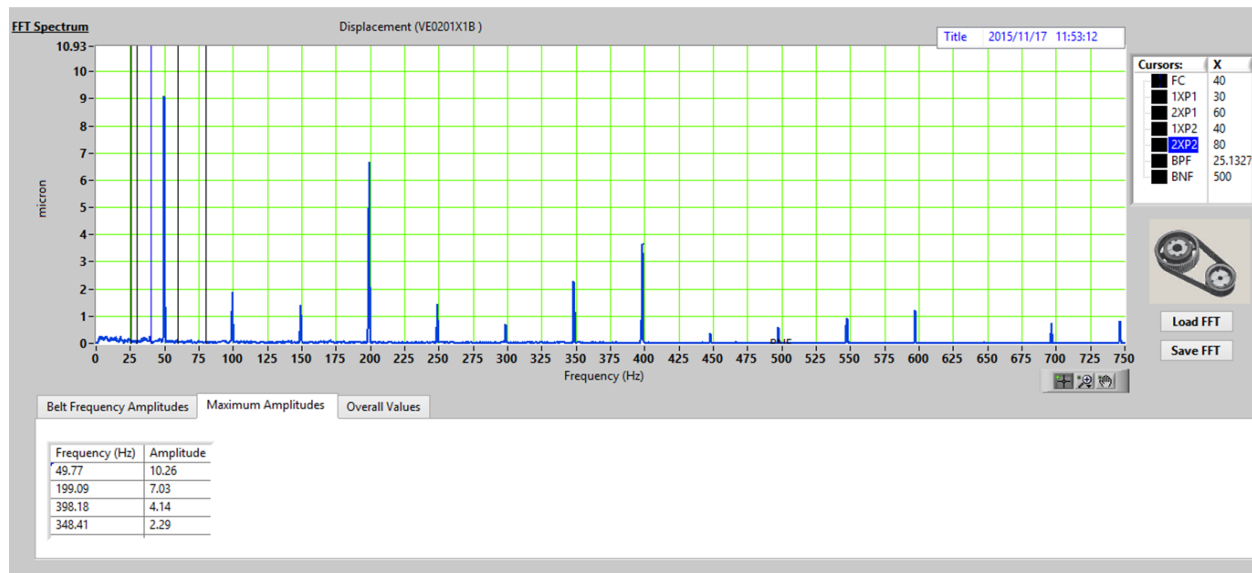
اگر سایز ها و قطر های پولی را بدانیم می توان طول تسمه را توسط فرمول زیر محاسبه نمود:

$$\text{Belt Length} = 1.57 \times (PD1 + PD2) + 2(SD)$$

در نرم افزار RMDS این امکان فراهم آمده است که با وارد کردن مقادیر نشان داده شده در شکل (5-1) دامنه فرکانس تسمه را مشاهده نمود. ضمناً ماکزیمم دامنه و مقادیر کلی از بخش های دیگر می توان ملاحظه نمود.



شکل (5-1). تنظیمات مربوط به مشخصات تسمه پولی



شکل (5-2). تحلیل تسمه در نرم افزار RMDS



## ۵-۳ چرخدنده

چرخدنده ها دارای فرکانس های منحصر به فردی هستند و بسته به تنظیمات آنها ممکن است تحلیل وضعیت آنها قدری مشکل به نظر برسد.

دلایل مختلفی وجود دارد که چرخدنده ممکن است از کار بیافتد:

- سایش دندانه
- بار اعمالی به دندانه
- خروج از مرکز چرخدنده
- نامیزانی چرخدنده
- دندانه شکسته یا ترک خورده

و ....

در چرخدنده ها سه فرکانس کلیدی وجود دارد :

- سرعت ورودی
- فرکانس درگیری چرخدنده که حاصل ضرب تعداد دندانه در سرعت دورانی شفت است
- سرعت خروجی

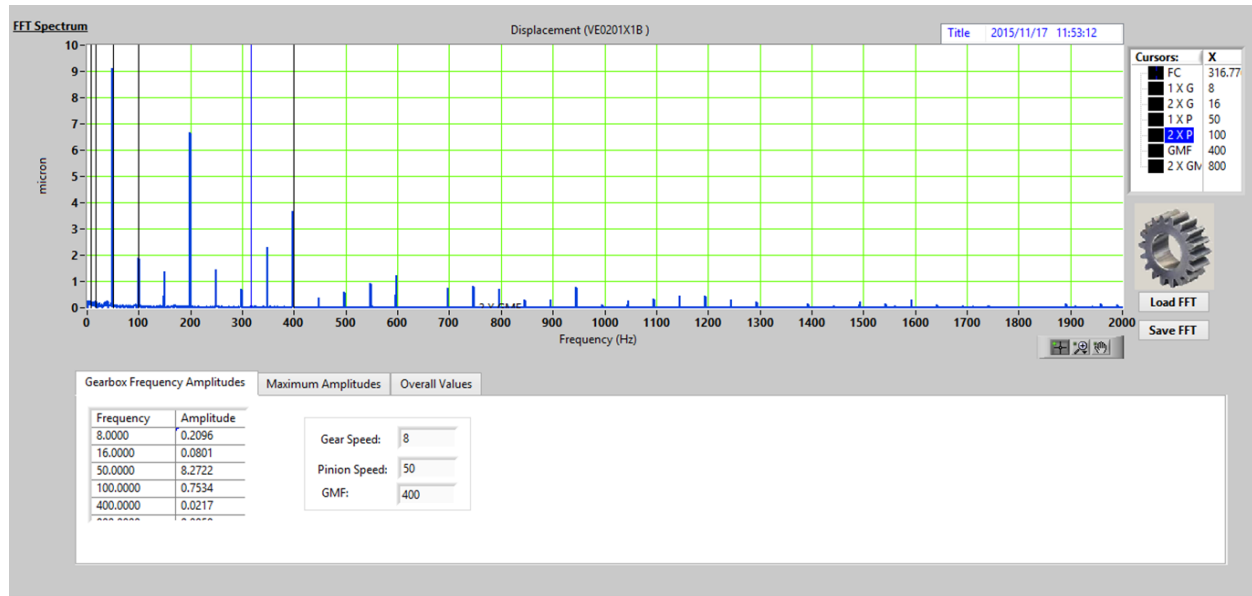
Gear Speed:	8
Pinion Speed:	50
GMF:	400

$\text{Gear mesh} = \text{Number of teeth} * \text{shaft speed}$

$\text{Output speed} = \text{Input speed} * \text{Input teeth/output teeth}$

به منظور تشخیص عیوب مختلف در چرخدنده ها در نرم افزار RMDS امکان استفاده از

ابزارهایی برای راحتی تشخیص فراهم آمده است. با اعمال مقادیر مورد نیاز مطابق شکل (۵-۳) دامنه فرکانس های مختلف و ماکزیمم فرکانس ها قابل مشاهده خواهد بود.



شکل (5-3). تشخیص عیوب مربوط به چرخنده با استفاده از نرم افزار RMDS

#### ۴-۵ یاتاقان

باید قدردان هندسه یاتاقان بود که ما را قادر می سازد تا فرکانس های مختلفی که ممکن است خرابی ها در آن به وقوع بپیوندد، تعیین شود. این امر می تواند به ما کمک کند که فرکانس های مربوطه را بتوان از میان داده های ارتعاشی پیدا کرد. فرکانس خرابی یاتاقان از روی فرمول هایی که بر اساس هندسه یاتاقان نوشته شده محاسبه می شود. خرابی های یاتاقان شکل های منحصر به فردی را تولید می کنند که می توان آنها را شناسایی نمود.

چهار فرکانس کلیدی توسط یاتاقان های کلیدی تولید می شود:

#### • فرکانس گذر ساچمه- کنس خارجی<sup>۱</sup>

سرعتی است که ساچمه یا غلتک از روی نقطه ای بر روی کنس خارجی یاتاقان عبور می کند. اگر یک خرابی بر روی کنس خارجی وجود داشته باشد، انتظار مشاهده ضربه های پریودیک ارتعاشات در این سرعت وجود دارد.

#### • فرکانس گذر ساچمه- کنس داخلی<sup>۲</sup>

سرعتی است که ساچمه یا غلتک از روی نقطه ای بر روی کنس داخلی یاتاقان عبور می کند. اگر یک خرابی بر روی کنس داخلی وجود داشته باشد، انتظار مشاهده ضربه های پریودیک ارتعاشات در این سرعت وجود دارد.

<sup>1</sup> Ball Pass Frequency- Outer Race (BPFO)

<sup>2</sup> Ball Pass Frequency-Inner race (BPFI)

• فرکانس چرخش ساچمه<sup>۳</sup>

این مورد فرکانس زاویه ای مربوط به ساچمه ها می باشد. اگر یک خرابی در روی ساچمه ها وجود داشته باشد انتظار مشاهده پالس های پرریودیک ارتعاشات در این سرعت وجود دارد. در واقع، چون این نقطه خرابی ممکن است هم به کنس داخلی و هم به کنس خارجی در هر دور شفت برخورد کند لذا حد بالای ارتعاشی در در دوبرابر این فرکانس مشاهده شود.

• فرکانس اصلی قطار ساچمه<sup>۴</sup> یا فرکانس قفسه

این مورد که فرکانس قفسه نیز نامیده می شود، سرعت دوران قفسه یاتاقان می باشد. در واقع این سرعت در زمانی که یک ساچمه یا غلتک یک دور کامل را در یاتاقان طی می کند، محاسبه می شود. معمولاً در این فرکانس ارتعاشات اندازه گیری نمی شود بلکه معمولاً باید ساید باندهای FTF را دید همان طور که در شکل (4-5) مشاهده می شود می توان با داشتن مشخصات هندسه شفت اقدام به محاسبه فرکانس های مهم یاتاق نمود. هم چنین می توان با داشتن نام و مدل یاتاقان نرم افزار می تواند با استفاده از بانک اطلاعاتی که در اختیار دارد مقادیر مربوطه را روی نرم افزار بارگذاری نماید. مقادیر این فرکانس ها در جدول زیر نمودار قابل رویت می باشد.

$$FTF = \frac{S}{2} \left(1 - \frac{B_d}{P_d} \cos \phi\right)$$

$$BPFI = \frac{N_b}{2} S \left(1 + \frac{B_d}{P_d} \cos \phi\right)$$

$$BPFO = \frac{N_b}{2} S \left(1 - \frac{B_d}{P_d} \cos \phi\right)$$

$$BSF = \frac{P_d}{2B_d} S \left(1 - \left(\frac{B_d}{P_d}\right)^2 (\cos \phi)^2\right)$$

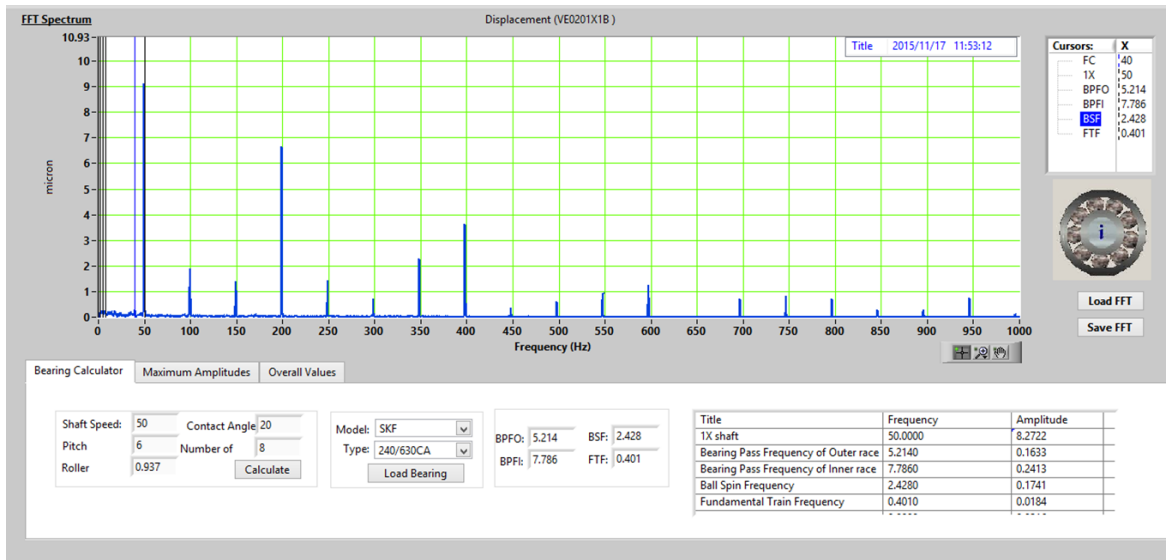
RPM: Revolutions per minute

S: Revolutions per second or relative speed

<sup>3</sup> Ball Spin Frequency (BSF)

<sup>4</sup> Fundamental Train Frequency (FTF)

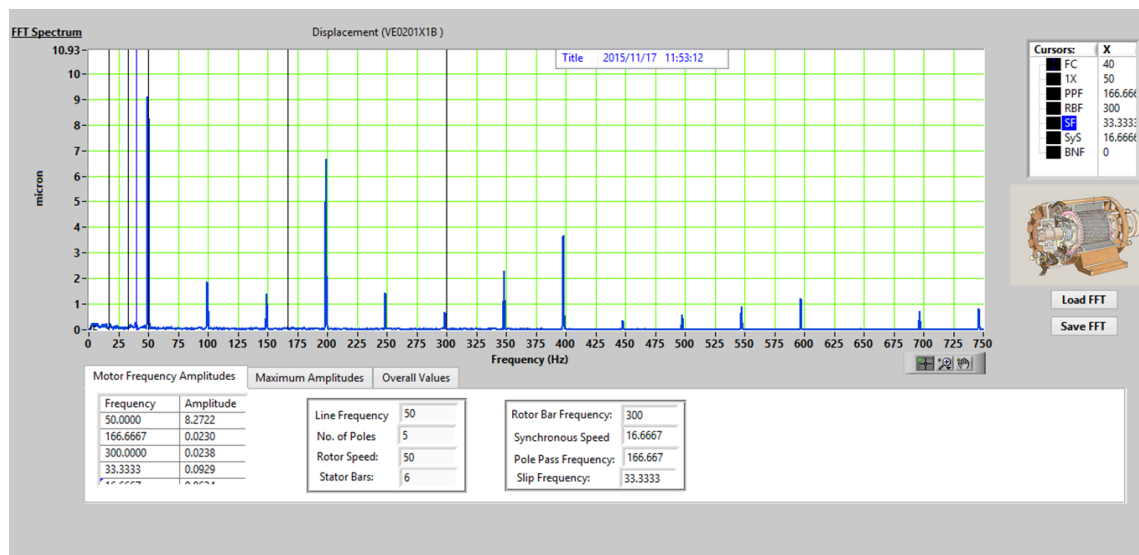
ضمناً می توان فرکانس مورد نظر ( که می تواند طیف فرکانسی یاتاقان سالم باشد) را با save FFT ذخیره و در زمان مورد نیاز روی نرم افزار بارگذاری نمود



شکل (5-4). تشخیص عیوب یاتاقان های غلتشی با نرم افزار RMDS

## ۵-۵ موتور الکتریکی

برای تشخیص عیوب مربوط به موتورهای الکتریکی می توان از این بخش استفاده کرد که فرکانس های لازم برای تحلیل من جمله فرکانس روتور بار، سرعت سنکرون، فرکانس گذر قطب و فرکانس slip با وارد کردن فرکانس خط، تعداد قطب ها سرعت روتور و تعداد بارهای استاتور قابل حصول می باشد.



شکل (۵-۵). تشخیص عیوب موتورهای الکتریکی با استفاده از RMDS

نمودار طیف پوش اگرچه همیشه یک توصیف صحیح برای پردازش سیگنال از نظر تکنیکی نیست، اما به منظور ساده سازی کار تحلیل می تواند مورد استفاده قرار گیرد. نمودار طیف پوش از نظر ظاهر ( نمودار دامنه بر حسب فرکانس) شبیه طیف معمول فرکانسی FFT است، اما از نظر ماهیت اطلاعات دیگری را در بردارد. طیف منحنی پوش به حرکت سینوسی حساس نمی باشد، در حالی که نمودار طیف فرکانسی FFT نشان می دهد که چه منحنی های سینوسی برای تشکیل سیگنال پیچیده ارتعاشی در واحدهای جابجایی، سرعت و یا شتاب با یکدیگر ترکیب شده اند. در عوض منحنی طیف پوش به اتفاقاتی که ماهیت ضربه ای دارند، حساس می باشد و لذا برای تشخیص عیوب یاتاقان های غلتشی می تواند مورد استفاده قرار گیرد.

برای یک متخصص پایش وضعیت و آنالیز ارتعاشات خیلی مهم و مفید می باشد که بتواند فرکانس ضربه ها و همچنین شدت آنها را تعیین نماید. اگرچه ماشین هایی وجود دارند که به طور معمول انرژی ناشی از ضربه تولید می کنند ( مانند ماشین های رفت و برگشتی) اما برخی از ماشین ها اینگونه نیستند. در واقع ضربه ها، نیروهای ویرانگری محسوب می شوند که می توانند نشانگر پیشرفت یک نوع خرابی در ماشین باشند. واحد اندازه گیری دامنه شتاب است، اما در منحنی پوش، سیگنال به گونه متمایزی پردازش می شود و نتیجه با سیگنال های معمول تفاوت خواهند داشت. منحنی پوش کار مدولاسیون دامنه را در بازه مشخصی انجام می دهد و لذا در این روش مفهوم فیلتر معرفی می گردد. این فیلتر ها نمایش سیگنال در محدوده فرکانسی مشخصی را فراهم می آورند.

در روش منحنی پوش فیلتر ها به دو دسته تقسیم می شوند:

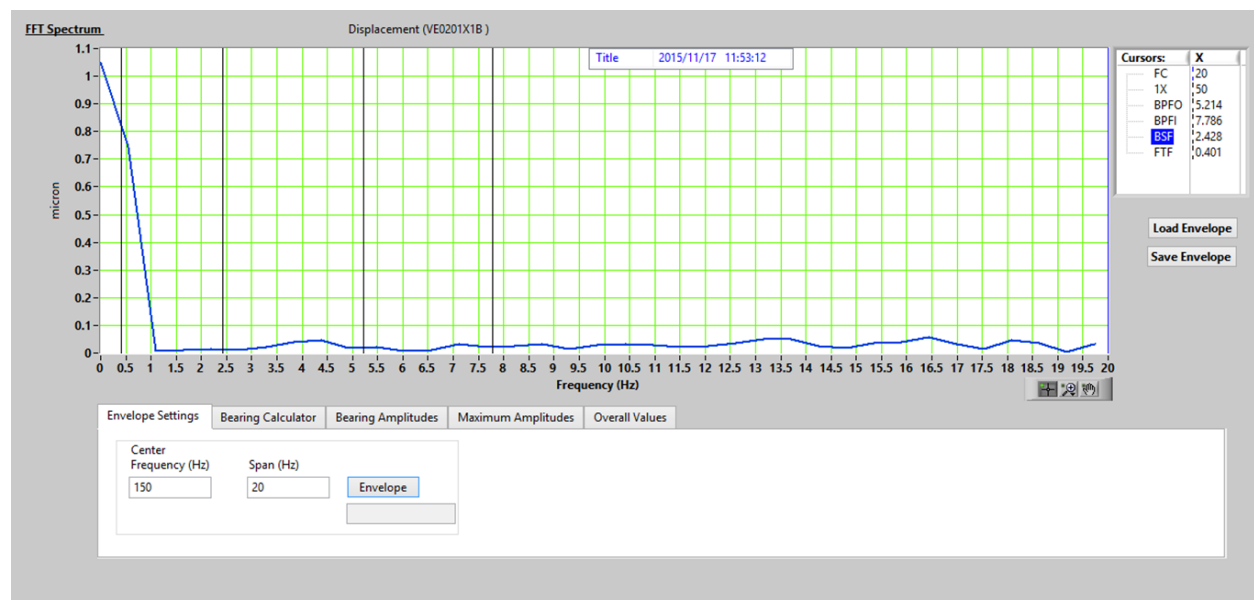
- فیلتر پوش: این نوع فیلتر فرکانس منحنی پوش را که شامل فرکانس بیشینه و فرکانس کمینه است، مشخص می کند. هر اتفاقی که خارج از آن بازه فرکانسی به وقوع بپیوندد، فیلتر و حذف خواهد شد.
- فیلتر بالاگذر: این نوع فیلتر فرکانس بیشینه در نظر نگرفته نشده اما فرکانس کمینه تعیین می گردد تا تمام فرکانس های پایین تر از این فرکانس کمینه فیلتر و حذف گردند.
- فیلتر پایین گذر: بر خلاف فیلتر بالاگذر در این فیلتر فرکانس بیشینه تعیین می گردد تا فرکانس های بالاتر از آن فرکانس فیلتر و حذف گردد.

لذا در تحلیل منحنی پوش از یک فیلتر پوش استفاده خواهد شد که یک بازه فرکانسی شامل مقدار فرکانس بیشینه و فرکانس کمینه و یا با یک تعریف دیگر دارای یک مرکز فرکانسی و یک محدوده برای معرفی بازه می باشد.

باید توجه داشت که هر شرکت تولید کننده روش پردازش سیگنال و فیلترهای مخصوص به خود را دارد. هرچند همه آنها اطلاعات از جنس یکسانی تولید می کنند، اما مستقیماً نمی توان نمودارهای شرکت های مختلف را در ناحیه دامنه با یکدیگر مقایسه کرد.

در تولید منحنی پوش روش پردازش سیگنالی که اعمال می شود، بر روی اتفاقات گذرا و ضربه ای تمرکز دارد ( نقاط نوک تیز در سیگنال حوزه زمان ). اما در پروسه FFT به خاطر روشی که برای پردازش سیگنال حوزه زمان به کار می گیرد، پدیده های ضربه ای یا گذرا از دست رفته و یافتن آنها مشکل می گردد. اگر یک بازه ثابت بین ضربه ها وجود داشته باشد ( یعنی ضربه ها در بازه های منظم اتفاق بیافتند ) این بازه زمانی را به واحدهای دلخواه فرکانسی مانند Hz یا cpm می توان تبدیل کرد. نتیجه بدست آمده برای منحنی پوش روی طیفی شامل دامنه های پیک در فرکانس هایی که اتفاق می افتند نمایش داده می شود

طیف منحنی پوش اطلاعات مفیدی در مورد جابجایی، سرعت و طیف شتاب تولید می کند. همان طور که در شکل ( ) نشان داده شده است، منحنی پوش ابزار مفید دیگری در دست متخصص پایش وضعیت برای تحلیل سیگنال های ارتعاشی و تشخیص خرابی به خصوص خرابی های مربوط به یاتاقان های غلتشی می باشد. در نرم افزار RMDS برای تحلیل منحنی پوش از گزینه envelope مطابق شکل (5-6) می توان استفاده کرد.



شکل (5-6). نمایش تحلیل منحنی پوش در نرم افزار RMDS

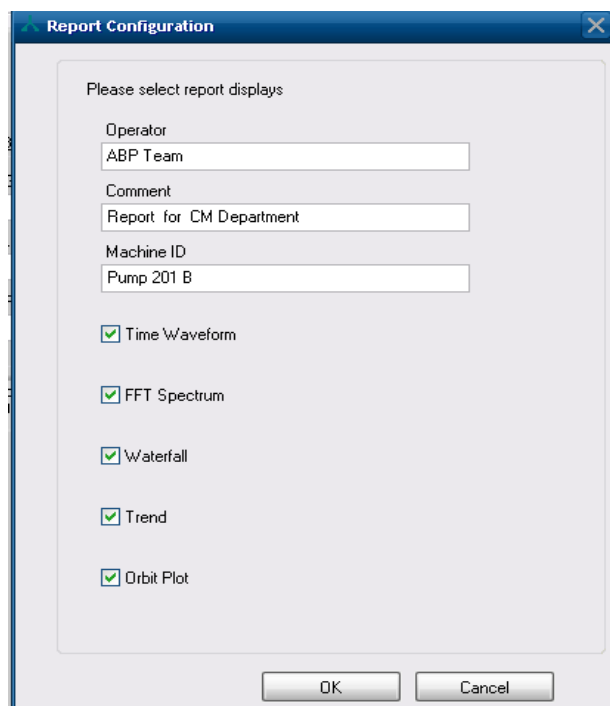
# فصل ششم:

## ابزار

## Tool

## ۶-۱ ارائه گزارش

معمولاً واحدهای پایش وضعیت بعد از تحلیل باید گزارشی را تهیه نمایند که شامل نمودارهای مختلف تحلیل از جمله Time waveform, FFT spectrum, Waterfall, Trend, orbit plot می تواند باشد. بدین منظور مطابق شکل (6-1) ضمن اینکه می توان نام اپراتور، توضیحات و نام ماشینی که کار پایش وضعیت روی آن اعمال گردیده، وارد می شود و با تایید تنظیمات گزارشی با مرورگر کامپیوتر گشوده می شود که می توان تصاویر و جدول های آن را کپی و در گزارش های دیگری مورد استفاده قرار داد.



شکل (6-1). ارائه گزارش برای تحلیل پایش وضعیت

## ۶-۲ استاندارد های ارتعاشی

همان طور که در فصل مربوط به حوزه زمان توضیح داده شد، روند تغییرات ارتعاشی در بخش historic trend قابل مشاهده می شود که حدود خوب، قابل قبول، رضایت بخش نبودن و قابل قبول نبودن بر اساس استانداردها یا به صورت دستی باید اعلام گردد. بدین منظور از بخش tool گزینه vibration standard باید این حدود انتخاب گردد. این حدود بر اساس استاندارد های 10816 که در شکل (6-2) نشان داده شده است، بر حسب ماشین در چه گروهی طبقه بندی شده است و خروجی بر حسب سرعت و یا جابجایی است و فونداسیون ماشین به صورت صلب و یا انعطاف پذیر است، تعیین می گردد.

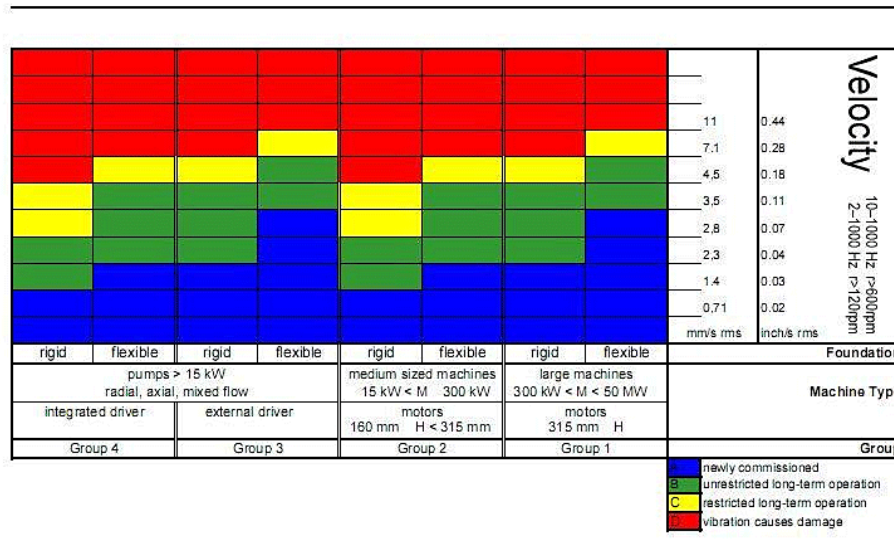


**Group 1:** Group 1: Large machines with rated power above 30 kW and not more than 50 MW; electrical machines with shaft height  $H > 315$  mm

**Group 2:** Medium-sized machines with rated power above 15 kW up to and including 300 kW; electrical machines with shaft height  $160 \text{ mm} < H < 315 \text{ mm}$

**Group 3:** Pumps with multi-vane impeller and with separate driver (centrifugal, mixed flow or axial flow) with rated power above 15 kW

**Group 4:** Pumps with multi-vane impeller and with integrated driver (centrifugal, mixed flow or axial flow) with rated power above 15 kW



شکل (۶-۲). استاندارد ارتعاشی ISO 10816

لذا بر اساس اطلاعاتی این استاندارد نرم افزار قادر است بر اساس تنظیماتی که انتخاب می شود حدود را برای بخش Historic Trend مطابق شکل (۶-۳) مشخص کرد.

علاوه بر این می توان به صورت دستی هم این حدود را وارد نموده و گزینه use manual Input را فعال کرد تا مقادیر به صورت دستی اعلام شود. در انتها با انتخاب گزینه Load Values این حدود بر روی بخش trend اعمال شود

ISO 10816

Machine Group: 1

Output (R.M.S.): Velocity

Machine Foundation: Flexible

Manual Input

Normal: 80

Alarm: 140

Danger: 200

Use manual input

Set Alarms

Normal: 3.5

Alarm: 7.1

Danger: 11

Load Values

Group 1: Large machines with rated power above 30 kW and not more than 50 MW; electrical machines with shaft height  $H > 315$  mm

شکل (۶-۳). تنظیمات مربوط به استاندارد های ارتعاشی و یا تنظیم به صورت دستی