

**UNIVERZITET U NOVOM SADU
FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA**

Autori:

Dr Vojin Ilić, docent

Dr Aleksandar Živković, docent

Dr Nikola Jorgovanović, redovni profesor

Dr Milan Zeljković, redovni profesor

Dr Darko Stanišić, docent

Nikola Popov, master inženjer

**SISTEM ZA MERENJE I KONTROLU VIBRACIJA
KOTRLJAJNIH LEŽAJEVA**

-Tehničko rešenje-

Novi Sad, 2016. godine

Podaci o tehničkom rešenju

Vrsta tehničkog rešenja	M-85: Prototip, nova metoda, softver, standardizovan ili atestiran instrument, nova genska proba, mikroorganizmi
Autori tehničkog rešenja	Autori: Dr Vojin Ilić, docent Dr Aleksandar Živković, docent Dr Nikola Jorgovanović, redovni profesor Dr Milan Zeljković, redovni profesor Dr Darko Stanišić, docent Nikola Popov, master inženjer
Naziv tehničkog rešenja	SISTEM ZA MERENJE I KONTROLU VIBRACIJA KOTRLJAJNIH LEŽAJEVA
Za koga je rađeno tehničko rešenje	Sistem za merenje vibracija kotrljajnih ležaja je razvijen za potrebe istraživanja koja se sprovode na Fakultetu tehničkih nauka u okviru projekta „Savremeni prilazi u razvoju specijalnih rešenja uležištenja u mašinstvu i medicinskoj protetici” ev. broj TR 35025 i za potrebe analize pri kontroli ležaja u preduzeću "FKL" iz Temerina
Ko koristi tehničko rešenje	Programsko rešenje se koristi za potrebe istraživanja i nastave na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu i za potrebe kontrole ležaja nakon montaže u preduzeću "FKL" iz Temerina
Godina izrade tehničkog rešenja	2016.
Verifikacija rezultata	Verifikacija sistema je izvršena na specijalnim kugličnim ležajima za uležištenje točka vozila (dvoredi ležaj sa kosim dodirom), kao i na radijanim ležajima serije 60 i 62: 1. Prof. dr Zoran Miljković, redovni profesor, Mašinski fakultet, Beograd 2. Prof. dr Saša Živanović, vanredni profesor, Mašinski fakultet, Beograd
Ko je prihvatio tehničko rešenje	Nastavno naučno veće Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu

Sadržaj:

1.0 UVOD.....	1
2.0 NAUČNO-STRUČNE PODLOGE TEHNIČKOG REŠENJA	2
2.1 ANALIZA VIBRACIJA LEŽAJA U VREMENSKOM DOMENU.....	2
2.2 ANALIZA VIBRACIJA LEŽAJA U FREKVENTNOM DOMENU	3
3.0 TEORIJSKE PODLOGE ZA RAZVOJ SISTEMA ZA MERENJE I KONTROLU VIBRACIJA KOTRLJAJNIH LEŽAJA	4
3.1 TEHNIKE ANALIZA U VREMENSKOM DOMENU	4
3.2 TEHNIKE ANALIZA U FREKVENTNOM DOMENU.....	5
3.3 EMPIRIJSKA DEKOMPOZICIJA SIGNALA	6
4.0 OPIS SISTEMA ZA MERENJE I KONTROLU VIBRACIJA KOTRLJAJNIH LEŽAJA	8
4.1 MERNI UPRAVLJAČKI ORMAR	10
4.1 PROGRAMSKOG REŠENJA ZA ANALIZU VIBRACIJA KOTRLJAJNIH LEŽAJA-VARB-01.....	11
4.2 DETALJAN OPIS RADA PROGRAMSKOG REŠENJA –VARB-01	13
4.2.1 <i>Zaštita softvera</i>	13
4.2.2 <i>Glavni radni prozor (Main)</i>	13
4.2.2.1 Merenje.....	13
4.2.2.2 Dijagnostika	15
4.2.2.3 Informacije	16
4.2.3 <i>Prikaz signala</i>	17
4.2.4 <i>Podešavanje programskog rešenja</i>	18
4.2.4.1 Izbor tipa ležaja	18
4.2.4.2 Podešavanje parametara merenja	19
4.2.4.3 Kalibracija.....	21
4.2.4.4 Dodavanje korisnika.....	24
5.0 ZAKLJUČAK.....	25
6.0 LITERATURA	26
PRILOZI.....	28
Prilog P1 Elektro šema merno-upravljačkog ormara.....	28
Prilog P2 Šema pojačavača	32
Prilog P3 Rezultati merenja i kontrole vibracija kotrljajnih ležaja.....	34

Pregled korišćenih oznaka

D	spoljašnji prečnik spoljnog prstena [mm]
d	prečnik otvora [mm]
Z	broj kotrljajnih tela
d_k	prečnik kotrljajnih tela [mm]
d_m	srednji prečnik ležaja [mm]
m_k	masa kotrljajnog tela [kg]
i	broj redova kotrljajnih tela
f_s	frekvencija spoljašnjeg prstena [Hz]
f_u	frekvencija unutrašnjeg prstena [Hz]
f_c	frekvencija kaveza [Hz]
$f_{k,t}$	frekvencija kotrljajnih tela [Hz]
f	frekvencija vratila [Hz]
α	nominalni ugao kontakta [°]
ω_k	ugaona brzina kotrljajnih tela [rad/s]
ω_{sp}	ugaona brzina klizanja [rad/s]
S	ugaona brzina vretena [rad/s]

1.0 UVOD

Sve oštriji zahtevi u pogledu kvaliteta koji se postavljaju pred kotrljajne ležaje, kao i složenost fizičkih procesa koji se dešavaju u njihovoj unutrašnjosti, a koje nije moguće razjasniti samo na osnovu poznatih teorijskih saznanja, uslovli su intenzivan razvoj uređaja za merenje i kontrolu vibracija u proizvodnim pogonima.

Teorijski posmatrano, u kotrljajnom ležaju se stavraju vibracije i u slučajevima da je ležaj proizveden sa velikom preciznošću i da njegova geometrija ne odstupa značajno od idealnih dimenzija. Pri dejstvu spoljašnjih sila, usled obrtanja elementa ležaja dolazi do periodične promene elastičnih deformacija staza kotrljanja, što dovodi do pojave vibracija elemenata ležaja. U praksi se, međutim, najveće vibracije javljaju usled netačnosti unutrašnje geometrije ležaja, kao i usled odstupanja od hrapavosti i talasastosti staza kotrljanja [10-12].

U mnogim slučajevima za opisivanje dinamičkog ponašanja mašinskih elementa se koriste termini buka i vibracije. Ova dva parametra su međusobno slična i povezana i služe za praćenje i dijagnostiku elementa mašina. Vibracije nastale u ležaju mogu se svrstati u četiri kategorije [12]: vibracije usled elemenata strukture ležaja, vibracije usled geometrijske nesavršenosti, vibracije usled oštećenja elemenata ležaja i vibracije usled delovanja okoline ležaja. Prvi način generisanja vibracija je je direktna posledica funkcionisanja i konstrukcije ležaja i ne može se izbeći ni kod teorijski idealnog ležaja. Drugi slučaj vibracija se javlja usled geometrijske nesavršenosti elemenata ležaja, nastalih pri proizvodnji i montaži. Preostala dva slučaja nastanka vibracija se javljaju pri eksploataciji ležaja, habanjem i oštećenjem staza kotrljanja ili negativnim uticajem okoline. Poslednja tri slučaja, nastanka vibracija su usled raznih neavršenosti, te se kao takve, često mogu smanjiti ili izbeći merenjem i kontrolom.

Uređaji za merenje i kontrolu vibracija ležaja se razvijaju u cilju analize pojedinih parametara (konstrukcionih, tehnoloških i eksploatacionih) koji utiču na pravilno funkcionisanje ležaja u eksploataciji. Rezultati dobijeni eksperimentalnim putem imaju veliki uticaj kako na rešavanje postojećih problema tako i na razvoj novih konstrukcija i tehnologija. Eksperimentalna ispitivanja, u cilju određivanja kvaliteta ležaja se izvode u proizvodnim pogonima obično nakon montaže ležaja. U ovim uslovima ispitivanje se obavljaju na specijalnim za tu svrhu namenjenim uređajima pri čemu se simuliraju različiti eksploatacioni uslovi. Relevantnost podataka zavisi od pouzdanosti merne opreme, kvaliteta softvera za akviziciju i analizu podataka itd. Uređaj za merenje i kontrolu vibracija u proizvodnim pogonima se koristi za dijagnostiku grešaka mikro i makro geometrije ležaja, kao i za detekciju oštećenja elemenata ležaja nastalih prilikom proizvodnje ili montaže ležaja.

Primena metoda za merenje i kontrolu vibracija kotrljajnih ležaja vezana je za poslove nadzora stanja, koji se zasnivaju na periodičnom ili kontinualnom ispitivanju ležaja i njegovih elemenata i registrovanju problema koji dovode do povećanih vibracija u samom ležaju. Pravilno merenje i kontrola vibracija ležaja znatno zavisi od pravilnog izbora mernog mesta na ležaju, nivo pouzdanosti opreme, kvaliteta programskog sistema za akviziciju i obradu podataka i stručnosti lica koje obavlja merenje.

2.0 NAUČNO-STRUČNE PODLOGE TEHNIČKOG REŠENJA

Obimna saznanja do kojih se dolazi eksperimentalnim ispitivanjem imaju veliki uticaj na rešavanje tehničkih problema, razvoja novih i poboljšanje postojećih konstrukcija i tehnologija u oblasti proizvodnje i eksploatacije kotrljajnih ležaja. Eksperimentalna istraživanja se izvode u laboratorijskim uslovima i uslovima eksploatacije. Laboratorijska ispitivanja se obično izvode na specijalnim, za tu svrhu namenjenim uređajima, na kojima se simuliraju različiti režimi rada ležaja. Analiza vibracija u ovakvim uslovima se radi na osnovu smernica koje propisuje standard EN ISO 15242-1:2004 (*Rolling bearings - Measuring methods for vibration*). Nivo vibracija se analizira u tri područja frekvencija 50-300, 300-1800 i 1800-10000 Hz, za manje ležaje pri broju obrtaja od 1800 o/min. Veći ležaji se ispituju pri broju obrtaja od 700 o/min, sa odgovarajućim područjima frekvencija: 20-120, 120-700 i 700-4000 Hz [12]. Sveobuhvatan pregled mernih tehnika koje se koriste za analizu vibracija kotrljajnih ležaja prikazuju *Marinescu* [18], *Howard* [14], *Harris* [12], *Harnoy* [10].

Da bi se na pravi način analiziralo dinamičko ponašanje ležaja, potrebno je prikupiti veliki broj podataka o parametrima relevantnim za to ponašanje. Do tih podataka se dolazi merenjem (u laboratorji ili u stvarnim radnim uslovima), u toku određenog vremenskog perioda. Ovakav, sirovi signal vibracija ležaja, vrlo često ima složen oblik, koji je teško kvalitetno razumeti. Zbog toga ga je potrebno razložiti u odgovarajuće forme u vremenskoj i/ili frekventnoj ravni, pogodne za interpretaciju. Osnovne teoretske postavke digitalne obrade signala prikazali su *Bechhoefer* [1], *Orfanidis* [21] i *Taghizadeh* [27], dok *Brandt* [19] i *Changsen* [4] prikazuju metode digitalne obrade signala za analizu buke i vibracija, kao i procedure za eksperimentalna merenja istih. U poslednje vreme je razvijen veliki broj tehnika sa ciljem analize vibroakustičkog odziva kotrljajnih ležaja i identifikaciju otkaza istih. Generalno, ove se tehnike bave analizom signala u vremenskom i/ili frekventnom domenu.

2.1 Analiza vibracija ležaja u vremenskom domenu

Najjednostavniji pristup analize signala u vremenskom domenu jeste primenom sumarnih vrednosti tipa srednje – kvadratne vrednosti (RMS) ili crest faktora koji predstavlja odnos vršne vrednosti i RMS vrednosti [29]. *Mathew i Alfredson* [20] predlažu praćenje distribucije amplituda preko statističkih momenata sračunatih nad vremenskim signalom. Praćenje vibracija ležaja preko statističkog pokazatelja tipa gustoće raspodele amplituda i Kurtosis parametra su prikazali *Dyer i Stewart* [6]. Analizu vibracija ležaja primenom Kurtosis parametra je korišćena i u radu [19]. Međutim u radovima [9], [17] je prikazano da predloženi metod ne detektuje oštećenja ležaja nastala u ranoj fazi. Analiza otkaza kotrljajnih ležaja u vremenskom domenu je jako zhvalna zbog pojave visokih periodičnih amplituda, odnosno neperiodičnih udaraca kotrljajnih tela pri prolasku preko oštećenja na stazama kotrljanja [15], [26]. U ovim slučajevima analiza vibracija se zasniva na brojanju amplituda vibracija koje prelaze predefinisani nivo signala.

Jedna od najčešće korišćenih metoda za otkrivanje stanja kotrljajnih ležaja je metoda udarnih impulsa (*Shock Pulse Method-SPM*), koji se zasniva na činjenici da energijski sadržaj komponenti u signalu može pobuditi sopstvene frekvencije koje se nalaze u tom opsegu [28]. Niskofrekventne komponente koje potiču od ostalih delova mašine, a ne od samog ležaja, se elektronski filtriraju pre procene vršne vrednosti. Vrednost opisanog parametra, kod novog ležaja gde ista potiče isključivo od površinske hrapavosti staza odnosno kotrljajnih tela, je zavisna od prečnika vratila kao i broja obrtaja mašine. Ova se vrednost (koja odgovara novom ležaju), često nazivana početna vrednost, poredi sa izmerenom vrednošću i na taj način se dobija tzv. normalizovana vrednost udarnog impulsa. Maksimalna vrednost ovako izračunatog normalizovanog parametra je parametar na osnovu kog se ocenjuje stanje ležaja [29].

2.2 Analiza vibracija ležaja u frekventnom domenu

Analiza signala u frekventnom domenu je najčešće korišćeni pristup problemima detekcije oštećenja ležaja na bazi merenja i analize vibracija. U oceni stanja kotrljajnog ležaja, analiza u niskofrekventnom domenu kao i analiza u visokofrekventnom domenu su od podjednakog interesa. Naime, vibracioni signal nastao kao posledica poremećaja u radu elemenata ležaja, obično se sastoji od više komponenti različitih frekvencija. Zbog toga je potrebno primeniti frekventnu analizu, kojom se dobija prikaz amplituda pojedinih komponenti u funkciji njihovih frekvencija. Vibracioni signal se razlaže pomoću *brze Furijerove transformacije (FFT-Fast Fourier transformation)* u komponente različitih frekvencija. Uspeh detekcije oštećenja kotrljajnih ležaja na bazi praćenja amplituda koje odgovaraju pomenutim frekvencijama ležaja je prikazan u radovima [2, 3, 5, 8].

Određivanje envelope, odnosno detekcija visokofrekventnih komponenti, je tehnika koja i danas predstavlja jednu od glavnih metoda procesiranja signala u cilju identifikacije oštećenja ležaja [1, 16]. Frekvencija ponavljanja impulsa koji nastaju prelaskom kotrljajnih tela preko staza kotrljanja odgovara karakterističnoj frekvenciji komponente ležaja koja je oštećena. Stoga kao rezultat komponente sopstvene frekvencije ležaja mogu biti amplitudno modulirane karakterističnom frekvencijom ležaja odnosno frekvencijom ponavljanja impulsa u vremenskom signalu. Pored svih prednosti koje envelope analiza nudi, njena osnovna mana jeste osetljivost na odabir odsečenih frekvencija primenjenih filtera [24]. U poslednje vreme transformacija talasića (*WT-Wave transform*) dobija sve veću primenu u okviru tehnika za detekciju oštećenja kotrljajnih ležaja. [13, 22, 25].

Za analizu nestacionarnih signala koji proističu iz oštećenih kotrljajnih ležaja, danas se najčešće koristi diskretna Furijerova transformacija, koja je se zasniva na mogućnosti razlaganja signal na niz linearnih, stacionarnih i harmoničnih komponenti. Kao što je poznato, nestacionarnost i nelinearnost mogu proizvesti "lažne" harmonijske komponente koje prouzrokuju "razlivanje" energije i nemaju fizički smisao [24]. Jedan od najpogodnih pristupa u vremenskom domenu, transformacija talasića, ima problem sa velikim računarskim vremenom potrebnim za analizu i fiksnom razmerom rezolucije frekvencije [23].

U poslednje vreme, za analizu stanja ležaja, se sve češće koristi empirijska dekompozicija signala (EMD) koja omogućava multi-rezoluciju u različitim frekvencijskim razmerama. EMD je metoda koja se koristi u Hilbert-Hungovoj transformaciji, pri čemu je se u pojedinim slučajevima izostavlja Hilbertova transformacija, jer dovodi do velikih subjektivnih grešaka pri proračunu karakterističnih frekvencija elemenata ležaja [23]. Prvi korak EMD metode je dekompozicija signala na signal koji se sastoji od različitih jednostavnih sopstvenih funkcija (engl. *intrinsic mode function* - IMF). U drugom delu se na svaku od IMF funkcija primenjuje Hilbertova ili Furijerova transformacija [23, 24]. Detaljan prikaz različitih primenjenih metoda kao što su analiza signala vibracija u vremenskom i frekventnom domenu, merenja zvučnog pritiska i intenziteta, merenja udarnih talasa kao i merenja akustičke emisije, je prikazan u radovima [27, 22].

3.0 TEORIJSKE PODLOGE ZA RAZVOJ SISTEMA ZA MERENJE I KONTROLU VIBRACIJA KOTRLJAJNIH LEŽAJA

Kontrola i dijagnoza stanja ležaja se najčešće izvodi merenjem i analizom pomeranja, brzine ili ubrzanja. Pomeranje predstavlja oscilatorno kretanje tela u odnosu na položaj njegove statičke ravnoteže. Promena pomeranja u jedinici vremena daje brzinu, dok promena brzine u jedinici vremena daje ubrzanje. Koje od ove tri mehaničke veličine će se koristiti pri merenju i analizi kotrljajnih ležaja zavisi od osobina ležaja i poremećaja koji se želi analizirati, a posebno od vrekvencija vibracija koje se javljaju u ležaju.

Danas postoji veliki broj univerzalnih tehnika obrade signala, kako u cilju detekcije oštećenja ležaja, tako i kontrole kvaliteta istog. Najčešće korišćenje tehnike, koje su našle svoju primenu pri analizi vibracija ležaja se mogu podeliti u tri grupe:

1. Analiza u vremenskom domenu;
2. Analiza u frekventnom domenu;
3. Metode empirijske dekompozicije signala;

3.1 Tehnike analiza u vremenskom domenu

Promene amplituda pomeraja, brzine ili ubrzanja je pokazatelj intenziteta promene poremećajnih sila ili promene dinamičke krutosti elemenata ležaja i pokazatelj značaja problema. Promena amplitude vibracija u vremenskom domenu, se može analizirati praćenje odrgovarajućih direktnih i izvedenih veličina. Najčešće korišćene direktne veličine za praćenje promene amplituda vibracija su:

a) *Peak vrednost (vršna vrednost ili zero – to -peak)* predstavlja maksimalnu vrednosti amplitude snimljenog signala u odnosu na neki referentni položaj, najčešće položaj statičke ravnoteže. Najčešće se primenjuje kod merenja amplitude brzine i ubrzanja

b) *Peak to Peak* definiše razliku maksimalnog i minimalnog izmereneog nivo vibracija i najčešće se primenjuje kod merenja amplitude pomeranja.

Veću primenu za analizu nivoa vibracija imaju izvedene veličine, koje se predstavljaju karakteristična obeležja signala vibracija u vremenskom domenu, kao što su:

a) *Srednja vrednost amplituda* (X_{srednje}) koja predstavlja aritmetičku sredinu izmerenih vrednosti amplituda vibracija kao:

$$X = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (1)$$

b) *Efektivna vrednost vibracija (RMS – Root Mean Square)* prdstavlja odličan pokazatelj povezanosti vibracija sa poremećajnim silama u ležaju. RMS vrednost za vremenski signal se računa kao:

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_{(i)})^2} \quad (2)$$

c) *Peak* faktor (PF) predstavlja relativni odnos *Peak to Peak* (PtP) vrednosti i RMS vrednosti kao:

$$PF = \frac{PtP}{RMS} \quad (3)$$

d) *Crest* faktor (CF) predstavlja međusobni odnos *Peak* (Pk) vrednosti i RMS vrednosti:

$$CF = \frac{Pk}{RMS} \quad (4)$$

c) *Kurtosis* faktor (K) predstavlja četvrti normalizovani statistički moment signala vibracija i u vremenskom domenu se računa kao:

$$K = \frac{1}{N} \frac{\sum_{i=1}^N (x(i) - \bar{x})^4}{RMS^4} \quad (5)$$

Kurtosis faktor je sličan *crest* faktoru, ali za razliku od njega ne zavisi od amplitude udarnih signala. Podizanje signala na četvrti stepen efikasno pojačava izolovane vrhove amplituda unutar signala.

Zajedničko za prethodna obeležja vibracija, osim RMS vrednosti, jeste korelacija sa brojem i inetzitetom udarnih komponenti koje potiču od poremećajnih sila u ležaju. Pošto se složeni signal vibracija sastoji od niza komponenti različitih frekvencija, izmerena amplituda odgovara veličini amplitude pojedinih komponenti i odnosa njihovih faznih uglova. Povećanje amplitude neke od komponenti, može da smanji amplitudu ukupnih vibracija, što često ima za posledicu prikrivanje dejstva nekih poremećajnih sila u ležaju. Da bi se ovo izbeglo pored merenja vibracija u vremenskom domenu, potrebno je izvršiti analizu vibracija u frekventnom domenu.

3.2 Tehnike analiza u frekventnom domenu

Analiza signala u frekventnom domenu je dominantna tehnika u pri analzi vibracija ležaja, što potvrđuje veliki broj objavljenih radova. Analiza signala u frekventnom domenu obično podrazumeva korišćenje tzv. spektra snage (*power spectrum*) dobijenog brzom *Fourier-ovom transformacijom* (FFT) nad vremenskim domenom. Ako diskretni vremenski signal u oznaci $x(t)$ predstavlja periodičnu funkciju sa periodom T, razvoj $x(t)$ u *Fourier-ov* red se dobija preko *Fourier-ovog* integrala [29]:

$$x(f) = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} x(t) e^{-j2\pi ft} dt \quad (6)$$

Spektar snage $P(f)$ je definisan kao magnituda dobijena iz *Fourier-ovog* integrala i može biti procenjena kao [29]:

$$P(f) = E[X(f)X^*(f)] \quad (7)$$

gde je X^* kompleksni konjugat, dok je $E []$ procenjena vrednost

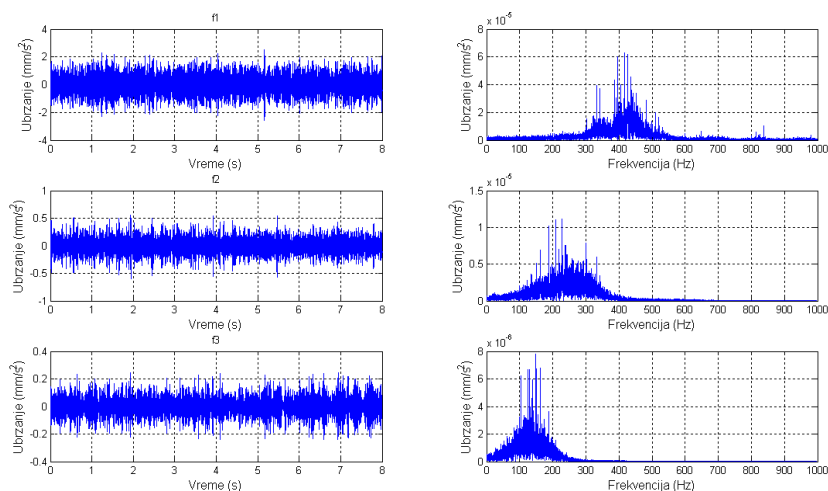
FFT predstavlja brzu i efikasnu metodu dobijanja diskretne Fourier-ove transformacije vremenskog signala, pri čemu primena prozorskih funkcija (*window function*) omogućava Fourier-ovu transformaciju i nad neperiodičnim funkcijama uz istovremenu minimizaciju greške curenja (*leakage*). Procena spektra snage se dobija uz osrednjavanja nekoliko spektara dobijenih na osnovu više vremenskih blokova stacionarnog signala vibracija. Ovakav način dobijanja spektra snage je u literaturi poznat kao Welch-ov metod.

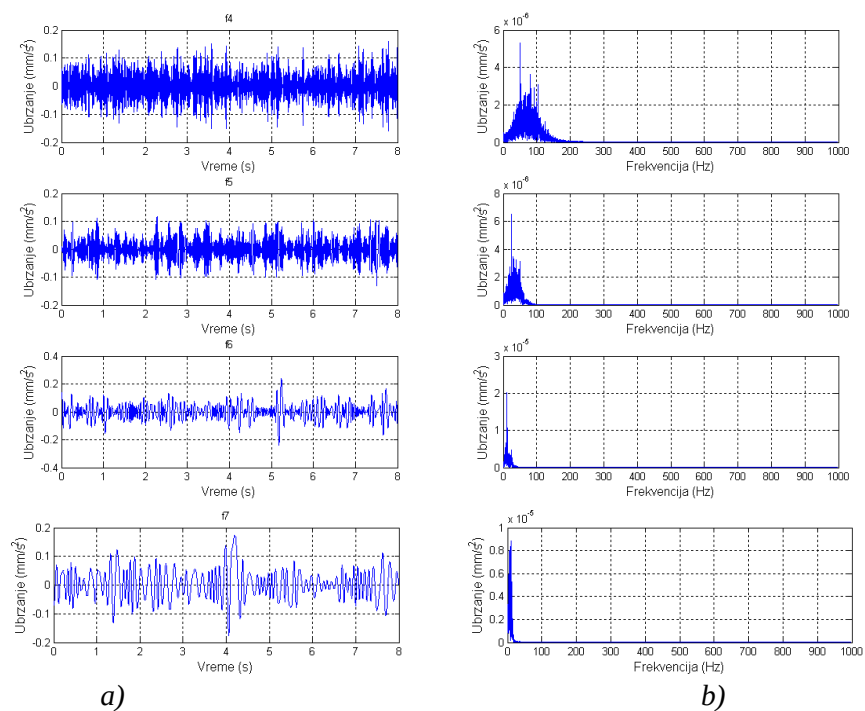
Osnovu analize u frekventnom domenu predstavlja poznavanje očekivanih frekventnih komponenti koje se dobijaju na osnovu kinematskih parametara ležaja. Tipom ležaja su definisani osnovni parametri za izračunavanje karakterističnih frekvencija elemenata ležaja koje je potrebno identifikovati u spektru.

3.3 Empirijska dekompozicija signala

Prvi korak empirijske dekompozicije signala (EMD) je dekompozicija signala. na signal koji se sastoji od različitih jednostavnih sopstvenih funkcija (*engl. intrinsic mode function - IMF*). Svaki IMF, bio on linearan ili nelinearan, predstavlja jednostavne oscilacije, koje imaju jednak broj ekstrema i nul-tačaka. Pronađena prva IMF funkcija sadrži najveće frekvencije koje se pojavljuju u signalu. Dobijena IMF funkcija se oduzima iz originalnog signala te iz tako dobijenog ostatka signala istim postupcima se traže druge IMF funkcije. Prema tome, najveće frekvencije ili najveće amplitude se javljaju na prvim IMF funkcijama (f_1, f_2, f_3 i td), dok će se najmanje amplitude i frekvencije javiti na ostalim delovima signala (*npr. f_4, f_5, f_6, f_7 i td*). U drugom delu, na svaku IMF funkciju može biti primenjena Hilbertova ili Furijerova transformacija.

Na slici 1 [30] je prikazan spektar vibracija u vremenskom i frekventnom domenu dobijen EMD metodom i Furijerovom transformacijom. Sa $f_1, f_2 \dots f_n$ ($n=1,2,3 \dots n$) su obeleženi IMF funkcije razloženog signala. Sa slike se može videti da se veće frekvencije i amplitude oscilovanja pojavljuju na f_3, f_4 i one odgovaraju frekvencijama ležaja i njihovim harmonicima koji se javljaju zbog deformacija koje nastaju usled promenljive zone opterećenja koja je direktno povezana sa preklopom/zazorom ležaja. Drugi deo spektra označen sa f_5, f_6, f_7 , predstavlja vibracije koje nastaju usled geometrijskih nesavršenosti ležaja. Na f_1 i f_2 se pojavljuju visoke frekvencije koje su povezane sa vibracijama nastalih od same mašine za ispitivanje, što je zaključeno posmatrajući spektar vibracija eksperimentalnog štanda bez ispitivanog ležaja.



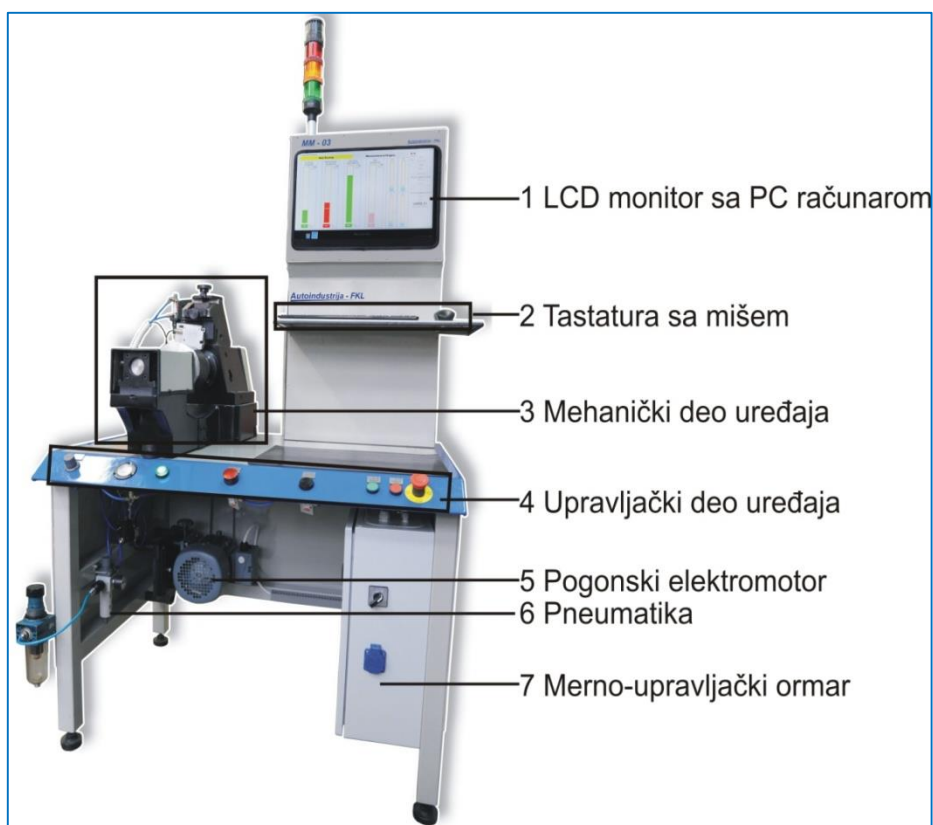


Slika 1. Empirijska dekompozicija signala za ležaj sa zazorom $G_a = 5 \mu\text{m}$: a) prikaz u vremenskom domenu IMF-a; b) prikaz u frekventnom domenu dobijen Furijerovom transformacijom [30].

4.0 OPIS SISTEMA ZA MERENJE I KONTROLU VIBRACIJA KOTRLJAJNIH LEŽAJA

Sistem za merenje i kontrolu vibracija je ugrađen na merno-kontrolni uređaj koji služi za ispitivanje, analizu i dijagnostiku kotrljajnih ležaja i zasniva se na merenju vibracija kotrljajnih ležaja pomoću elektrodinamičkog davača brzine. Merno – kontrolni uređaj se koristi za dijagnostiku grešaka mikro i makro geometrije ležaja, kao i za detekciju oštećenja elemenata ležaja nastalih prilikom proizvodnje ili montaže ležaja. Ispitivanje ležaja na uređaju vrši se u polu-automatskom režimu rada, gde je jedino manipulacija ležajima ručna operacija, što obuhvata njegovo postavljanje na merni trn i skidanje nakon ispitivanja.

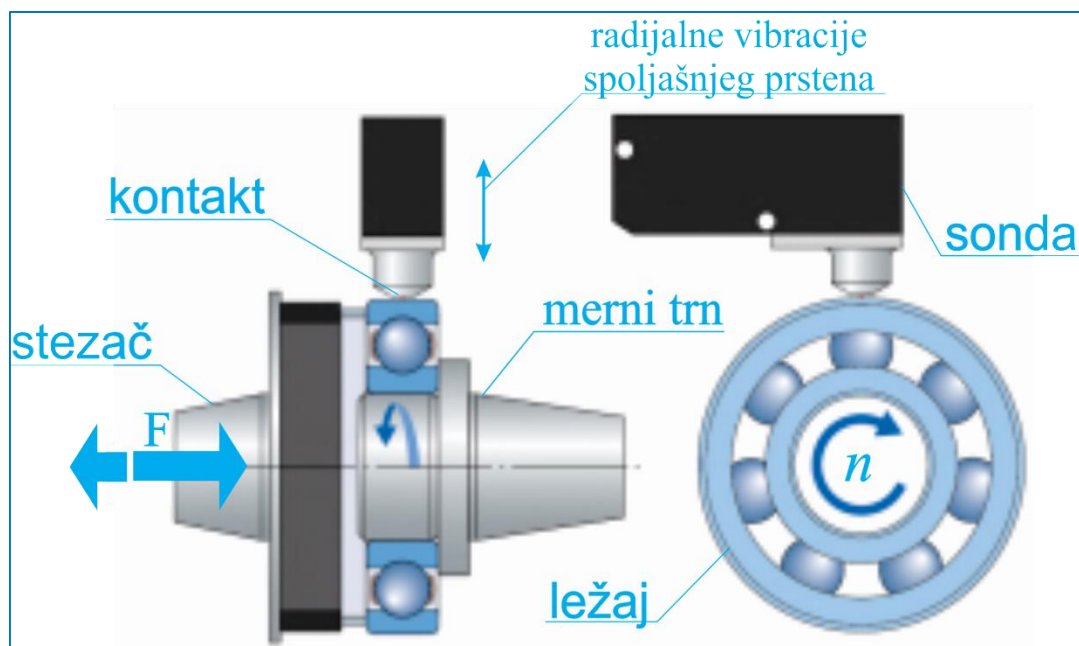
Merno – kontrolni uređaj se sastoji od: LCD monitora sa integrisanim PC računarom, tastature, miša, mehaničkog dela (čije su najvažnije komponente hidrodinamičko vretenište sa mernim trnom, davač brzine i pneumatski cilindar), upravljačkog dela (tasteri za pokretanje i zaustavljanje vretena, tasteri za uključivanje pneumatskog cilindra, za zadavanje odgovarajućeg opterećenja kao i taster za hitno zaustavljanje svih kretanja), pogonskog elektromotora, koji posredstvom kaišnog prenosiča pogoni hidrodinamičko vreteno, merno-upravljačkog ormara (sistem za upravljanje uređajem kao i sistem za merenje i prikupljanje podataka merenja) i pneumatske instalacije (Slika 2).



Slika 2. Merno-kontrolni uređaj za merenje i kontrolu vibracija kotrljajnih ležaja

Na slici 3 je prikazan šematski princip merenja vibracija kotrljajnih ležaja. Ležaj se preko unutrašnjeg prstena postavlja na merni trn koji je posredstvom konusa i navojne veze spojen sa vretenom koje je uležišteno hidrodinamičkim ležajima. Vreteno se tokom merenja obrće konstantnim brojem obrtaja ($n=750$ ili 1800 [o/min]). Spoljašnji prsten je stacionaran i opterećen aksijalnom silom preko posebno projektovanog pribora. Elektrodinamički davač brzine se pomoću

mehanizma spušta kako bi ostvario kontakt sa spoljašnjim prstenom ležaja (koji osciluje usled grešaka na nekom od delova ležaja).



Slika 3 Šematski prikaz principa merenja pomoću elektrodinamičkog davača brzine

Sistem za merenje i kontrolu vibracija kotrljajnih ležaja čine **verno-upravljački ormar i programskog rešenja za analizu vibracija kotrljajnih ležaja** (VARB-01- *Vibration Analysis of Roller Bearing*).

Merno-upravljački ormar (MUO) je baziran na PC hardveru i National Instruments (NI) sistemu za akviziciju podataka. Merno-upravljački ormar služi kako za upravljanje uređajem, tako, i za merenje i prikupljanje podataka merenja

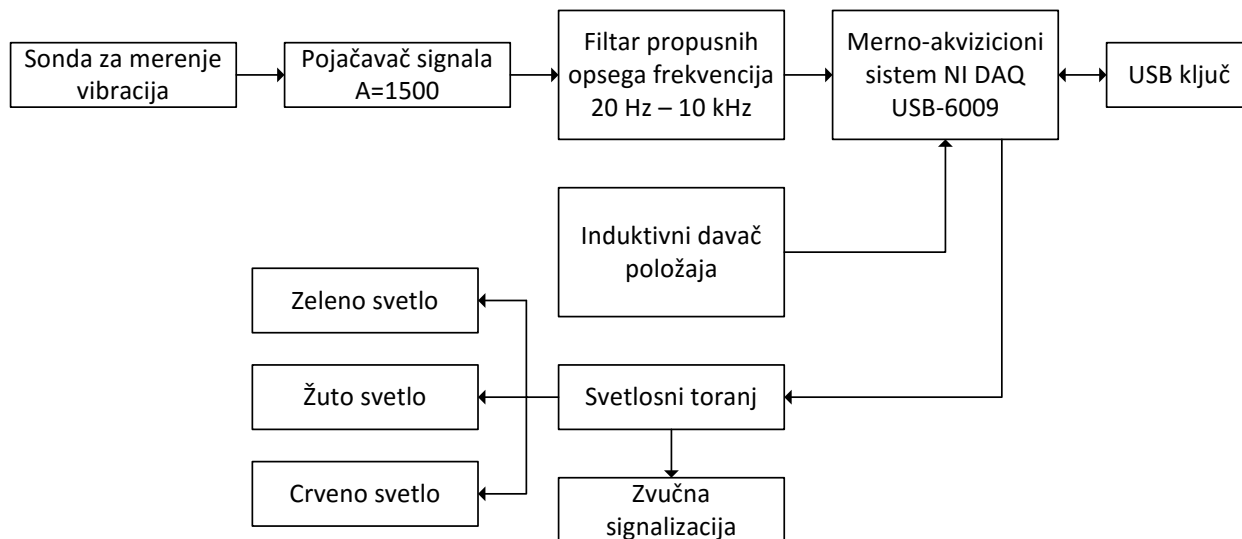
VARB-01 je programsko rešenje koje služi za ispitivanje vibracija jednorednih ili dvorednih kotrljajnih ležaja (kuglični i valjkasti). Pomoću VARB-01 se mogu ispitivati nivoi vibracija u tri različita opsega za niske (700 o/min) i visoke brojeve obrtaja (1800 o/min). Pored toga, moguće je na osnovu amplituda komponenti na karakterističnim frekvencijama elemenata ležaja izvršiti dijagnostiku, odnosno utvrditi koji element ležaja dovodi do povećanja nivoa vibracija u pomentim opsezima. Pored merenja u realnom vremenu, VARB-01 služi i za: prikupljanje određenih podataka merenja radi kreiranja izveštaja, definisanje parametara merenja, baždarenja sonde i uređaja, snimanja karakteristika sonde i dr.

Merno-upravljački ormar sa programskim rešenjem VARB-01 pruža informacije u četiri frekventna opsega: LOW, MEDIUM, HIGH i PEAK. Ovi rezultati su prikazni u $\mu\text{m/s}$. Različiti frekventni signali koji se dobijaju od komponenti ležaja (unutrašnjeg i spoljašnjeg prstena ili od kotrljajnih tela i kaveza) mogu se meriti i analizirati u vremenskom ili frekventnom domenu sa različitim digitalnim tehnikama filtriranja.

Ovi opsezi predstavljaju efektivne vrednosti u niskom (LOW), srednjem (MEDIUM), visokom frekvencijskom području (HIGH), kao i maksimalnu vrednost amplitude (PEAK), respektivno. Vrednost opsega zavisi od izbora broja obrtaja vretena mašine. Za niske brojeve obrtaja (700 o/min) vrednosti opsega su u granicama: 20-120 Hz; 120-700 Hz; 700-4000 Hz, 20-4000 Hz i 20-4000 Hz. Pri visokim brojevima obrtaja (1800 o/min) vrednosti opsega su u granicama: 50-300 Hz; 300-1800 Hz; 1800-10000 Hz i 50-10000 Hz.

4.1 Merno upravljački ormar

Blok dijagram merno-upravljačkog ormara za ispitivanje vibracija kotrljajnih ležaja je prikazan na slici 4, dok je elektro šema istog data u Prilogu P1. Osnovni elemenat u lancu merenja vibracija predstavlja elektrodinamički davač brzine, koja na svom izlazu generiše napon čija je amplituda i frekvencija proporcionalna brzini vibracija koje generiše posmatrani kotrljajni ležaj. Pošto je amplituda signala koji se dobija pomoću korišćene elektrodinamičke sonde mala za digitalnu obradu i prikaz, signal je pojačan sa pojačavačem.



Slika 4 Blok dijagram merno-upravljačkog ormara

Elementi zaduženi za analognu obradu signala su pojačavač i filter propusnik opsega. Pojačavač ima zadatak da pojača nivo signala sa elektrodinamičkog davača brzine na nivo koji je pogodan za digitalnu obradu i prikaz. U ovom tehničkom rešenju je projektovan i izrađen pojačavač sa pojačanjem od 1500, čime je obezbeđena dovoljna amplituda signala za digitalnu obradu. Frekvencijski opseg signala koji je od interesa za ispitivanje vibracija kotrljajućih ležajeva je od 20Hz do 10kHz. Filtar ima zadatak da ograniči spektar signala dobijenog sa pojačavača na pomenuti opseg. Projektovani filter uvodi relativno malo slabljenje oscilacija talasa u jednom i više frekventnih opsega i relativno veliko slabljenje za oscilacije drugih frekvencija (Ispod 20 Hz i iznad 10 kHz) prema standardu SRPS ISO 15242-1 (*Kotrljajni ležaji-Metode merenja vibracija-Deo 1: Osnove*). Propusni opseg filtera je takođe definisan na osnovu pomenutog standarda.

Digitalizacija signala se vrši primenom merno-akvizicionog sistema NI DAQ USB-6009. Frekvencija smplovanja iznosi 48kHz, dok je rezolucija internog A/D konvertora 13bit-a. Na ovaj način je obezbeđena kvalitetna priprema signala dobijenog primenom elektrodinamičkog davača brzine i njegova digitalizacija za dalju računarsku obradu.

Početak merenja vibracija kotrljajnih ležaja počinje detektovanjem prisustva ležaja. Detekcija prisustva ležaja se vrši primenom induktivnog davača čiji signal se dovodi na diskretni ulaz merno-akvizicionog sistema.

Na osnovu rezultata analize izmerenih vibracija kotrljajućeg ležaja, vrši se signalizacija rezultata pomoću svetlosnog tornja. Upravljanje svetlosnim tornjem se takođe vrši pomoću gore pomenutog merno-akvizicionog sistema. Značenje pojedinih signalizacija svetlosnog tornja je:

- Nivo izmerenih vibracija je u granicama normale za posmatrani ležaj - aktivira se zeleno svetlo na svetlosnom tornju;
- Nivo izmerenih vibracija je iznad dozvoljenih granica za posmatrani ležaj - aktivira se crveno svetlo na svetlosnom tornju, kao i zvučna signalizacija;
- Merenje vibracija kotrljajućih ležajeva je u toku - aktivira se žuto svetlo na svetlosnom tornju;

4.1 Programskog rešenja za analizu vibracija kotrljajnih ležaja-VARB-01

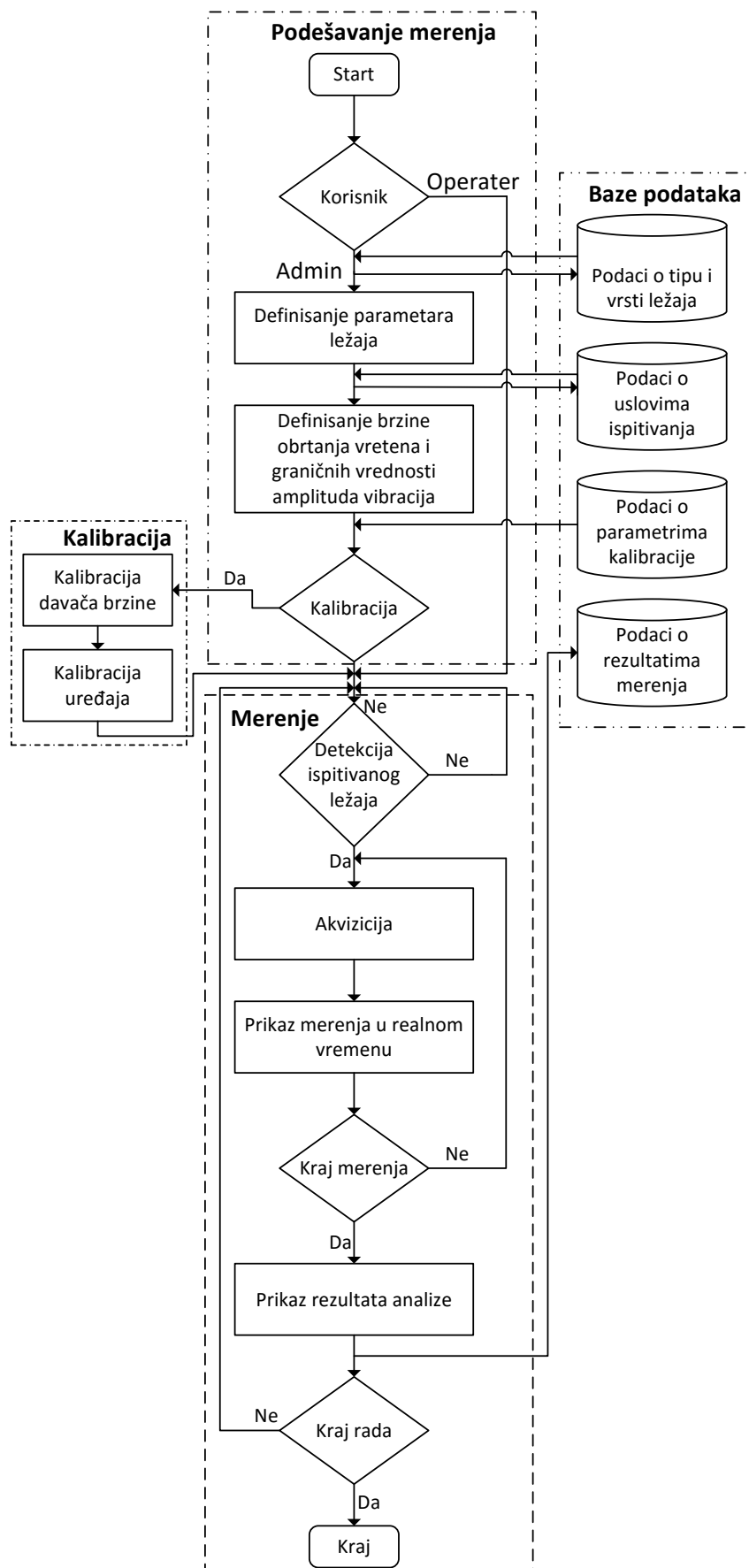
Programsko rešenje za merenje i analizu kotrljajnih ležaja je razvijeno u objektno-orjentisanom programskom jeziku C#, dok je relaciono baza podataka razvijena korišćenjem SQL tehnologije. Programsko rešenje je podeljeno na četiri dela: podešavanje merenja, merenje, kalibracija i baza podataka.

Podešavanje merenja se sastoji u definisanju tipa ležaja, definisanju graničnih vrednosti amplituda, koje zavise od tipa i vrste ležaja, izboru broja obrtaja na kojem se želi vršiti ispitivanje. Sam proces merenja se automatski ponavlja postavljajući odnosno detekcijom novog ležaja. Kalibraciju je moguće vršiti pomoću ručnog kalibratora zadavanjem tačno definisanih frekvencija. Relaciona baza podataka sadrži podatke o potrebnim dimenzijama ležaja, graničnim uslovima ispitivanja, kao i podatke potrebne za kalibraciju davača brzine i samog uređaja.

Algoritam rada programskog rešenja za merenje i analizu vibracija kotrljajnih ležaja je prikazan na slici 5. Pre početka ispitivanja vibracija kotrljajnih ležaja, neophodno je uneti karakteristične veličine za posmatranu klasu ležajeva. Uneti podaci se automatski čuvaju u bazi podataka. Karakteristične veličine za posmatranu klasu ležajeva su neophodne radi određivanja dozvoljenog nivoa vibracija i karakterističnih frekvencija za posmatranu klasu kotrljajnih ležaja. Pored ovih podataka neophodni je uneti i podatke vezane za akviziciju podataka, kao što je vreme spuštanja sonde i vreme akvizicije.

Pre početka merenja potrebno je definisati korisnika aplikacije. Aplikacija je projektovana tako da podržava dva nivoa privilegija - **administratorski i operatorski**. **Administratorska prava** dozvoljavaju celokupno podešavanje softvera pre početka merenja, kao što su: definisanje tipa ležaja iz baze podataka ili unos novog ležaja u bazu podataka, podešavanje brzine ispitivanja, kao i graničnih vrednosti amplituda vibracija, kalibraciju davača brzine i samog uređaja. Pored ovoga administrator može popunjavati bazu sa novim tipovima ležaja, uslovima ispitivanja, novim parametrima kalibracije. Takođe administratoru je omogućeno da iz baze podataka vrši pregled i analizu dobijenih rezultata merenja. Prava **operatera** namenjena su samo procesu ispitivanja kugličnih ležajeva.

Nakon definisanja potrebnih parametara, moguće je početi sa ispitivanjem vibracija. Akvizicije signala počinje detekcijom ležaja koji se ispituje. Nakon detektovanog ležaja i isteka vremena spuštanja sonde, počinje proces akvizicije. Sa početkom procesa akvizicije, program šalje signal merno-akvizicionom sistemu da aktivira žuto svetlo na svetlosnom tornju kao indikacija da je akvizicija u toku. Za vreme akvizicije se takođe vrši prikaz nivoa vibracija na monitoru u realnom vremenu. Nakon isteka vremena definisanog kao vreme akvizicije, zaustavlja se akvizicija i počinje proces analize dobijenih rezultata. Na osnovu rezultata analize, program ispisuje korisniku poruku o rezultatu analize, kao i indikaciju korisniku putem svetlosnog tornja. Dobijeni rezultati merenja se automatski čuvaju u bazi podataka radi dalje statističke analize ili drugog tipa analize rezultata merenja.



Slika 5. Algoritam rada programskog rešenja za merenje i analizu vibracija kotrljajnih ležaja

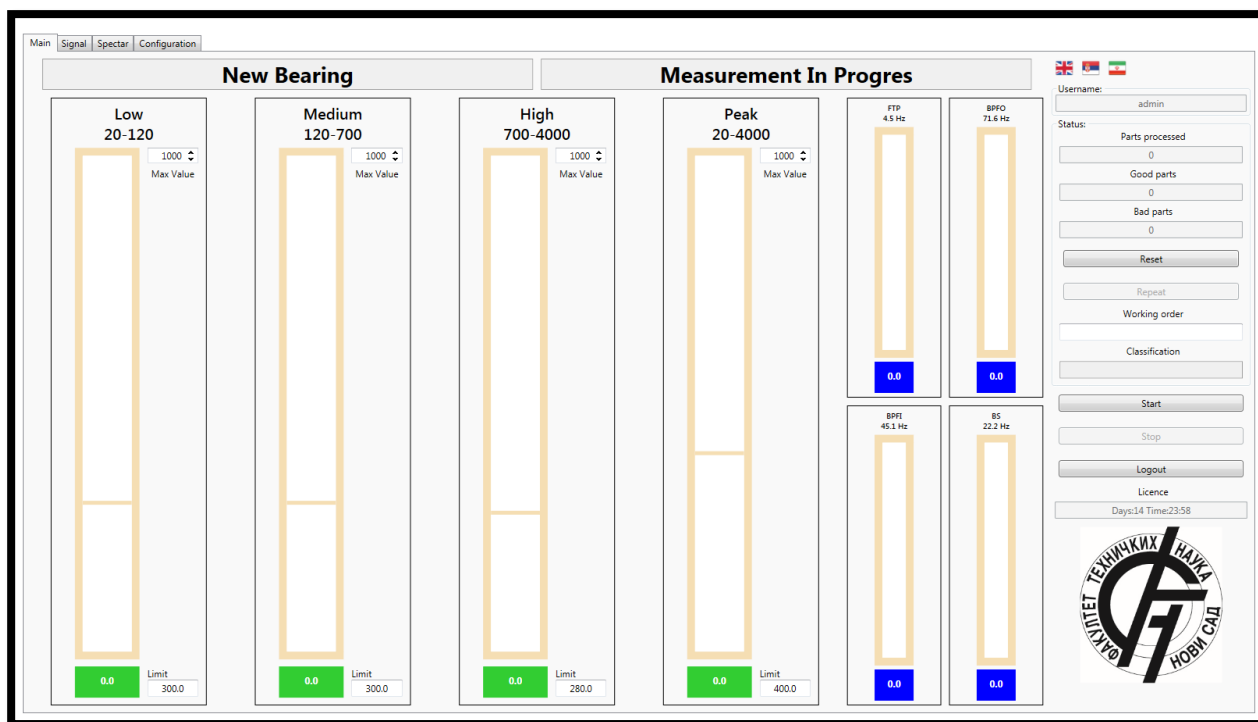
4.2 Detaljan opis rada programskog rešenja –VARB-01

4.2.1 Zaštita softvera

Programsko rešenje je zaštićeno sistemom od ilegalnog kopiranja aplikacije pomoću kriptovanog USB ključa. Kriptovani USB ključ mora stalno biti u u USB priključku na PC-u da bi aplikacija radila korektno bez prekida i problema. Ukoliko se kriptovani USB ključ izvuče iz PC-ja, doći će do blokade rada aplikacije. PC na kojem aplikacija radi i NI-akviziciona kartica su takođe povezani sa kriptovanim USB ključem, tako da aplikacija ne može raditi na drugom PC ili sa drugom akvizicionom karticom.

4.2.2 Glavni radni prozor (Main)

Centralni deo aplikacije predstavlja glavni radni prozor (main) za ispitivanje nivoa vibracija i dijagnostiku kotrljajnih ležaja (Slika 6). Glavni radni prozor je podeljen na tri dela: **merenje**, **dijagnostika i informacije**.



Slika 6. Glavni radni prozor (Main)

4.2.2.1 Merenje

Prikaz merenja je podeljen u četiri karakteristična frekvencijska opsega:

- LOW (Nizak),
- MEDIUM (Srednji),
- HIGH (Visok) i
- PEAK (Maksimalna vrednost amplitude u spektru).

Ovi opsezi predstavljaju efektivne vrednosti u niskom, srednjem i visokom frekvencijskom području, kao i maksimalnu vrednost amplitude, respektivno. Vrednost opsega zavisi od izbora

broja obrtaja vretena mašine. Za niske brojeve obrtaja (700 o/min) vrednosti opsega su u granicama: 20-120 Hz; 120-700 Hz; 700-4000 Hz i 20-4000 Hz. Pri visokim brojevima obrtaja (1800 o/min) vrednosti opsega su u granicama: 50-300 Hz; 300-1800 Hz; 1800-10000 Hz i 50-10000 Hz

Za svaki od opsega moguće je zadati granične vrednosti (*Limit*) nivo vibracija u zavisnosti od kvaliteta i tipa ležaja koji se ispituje, kao i maksimalnu vrednost do koje će stub opsega biti prikazan (*Max. Value*).

Ukoliko su sva merenja ispod zadatih limita, tada će glavni stubovi da budu zelene boje. Na kraju merenja se isključuje žuto svetlo i uključuje zeleno ukoliko je ispitivani ležaj dobar, odnosno crveno praćeno zvučnom signalizacijom ukoliko je ispitivani ležaj loš. Na kraju merenja se automatski sumira broj ispitanih ležajeva, kao i brojači dobrih i loših ležajeva. Svako merenje se može uvek ponoviti više puta.

Da bi se dobile neophodne informacije koje se prikazuju u ova četiri opsega, signal dobijen sa sonde neophodno je propustiti kroz modul za digitalnu obradu signala. Pomoću digitalne obrade signala dobijaju se stubovi efektivnih vrednosti vibracija u željenim frekvencijskim područjima, kao i vrednosti amplituda na karakterističnim frekvencijama ispitivanog ležaja. Sirovi signal sa sonde se prvo pojačava 1500 puta i filtrira filtrom propusnikom opsega učestanosti od 20 Hz – 10 kHz. Ovako pojačan i filtriran signal se dovodi na merno-akvizicionu karticu. Analogni signal se odabira frekvencijom od 24 kHz. Prvi elemenat u lancu digitalne obrade signala je modul za efikasno izračunavanje Furijeove transformacije:

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{-i2\pi k \frac{n}{N}}; k = 0, 1, \dots, N-1 \quad (8)$$

gde su x_n odbirci ulaznog signala, X_k odbirci spektralne gustine koji su kompleksni brojevi i N je broja tačaka u kojima se izračunava Furijeova transformacija. Da bi se dobila spektralna gustina amplituda, neophodno je izračunati moduo jednačine (8), tj.:

$$|X_k| = \sqrt{\text{Re}\{X_k\}^2 + \text{Im}\{X_k\}^2} \quad (9)$$

U prikazanom tehničkom rešenju broj tačaka u kojima se izračunava Furijeova transformacija iznosi 24000, tj. on se poklapa sa frekvencijom odabiranja.

Za izračunavanje efektivne vrednosti vibracija u željenim frekvencijskim područjima, neophodno je spektralnu gustinu amplituda pretvoriti u spektralnu gustinu efektivnih vrednosti, tj.:

$$|X_k|_{RMS} = \frac{|X_k|}{\sqrt{2}} \quad (10)$$

Ako se granice željenih frekvencijskih područja označe sa f_{lo} , f_{med} , f_{hi} , f_{end} , onda se dobijaju tri frekvencijska opsega (LOW, MEDIUM, HIGH) nad kojima se računa efektivna vrednost:

$$\begin{aligned}f_I &\in [f_{lo}, f_{med}] \\f_{II} &\in [f_{med}, f_{hi}] \\f_{III} &\in [f_{hi}, f_{end}]\end{aligned}\tag{11}$$

Efektivne vrednosti za ova tri frekvencijska područja se izračunava kao:

$$\begin{aligned}RMS_I &= \sqrt{|X_{f_{lo}}|^2 + |X_{f_{lo+1}}|^2 + \dots + |X_{f_{med}}|^2} \\RMS_{II} &= \sqrt{|X_{f_{med}}|^2 + |X_{f_{med+1}}|^2 + \dots + |X_{f_{hi}}|^2} \\RMS_{III} &= \sqrt{|X_{f_{hi}}|^2 + |X_{f_{hi+1}}|^2 + \dots + |X_{f_{end}}|^2}\end{aligned}\tag{12}$$

Vrednosti dobijene pomoću relacije (12), predstavljaju stubove efektivnih vrednosti vibracija prikazanih na slici 6 kao LOW, MEDIUM i HIGH. PEAK vrednost koja je predstavljena na četvrtom stubu predstavlja maksimalnu amplitudu vibracija u spektru i izračunava se kao:

$$X_{peak} = \max \{ |X_k| \}, k = 0, 1, \dots, N-1\tag{13}$$

4.2.2.2 Dijagnostika

Prikazano tehničko rešenje pored mogućnosti ispitivanja kvaliteta kugličnog ležaja, omogućava i dijagnostiku istog. Sa desne strane ekrana na slici 6 su prikazana četiri stuba, koji predstavljaju dijagnostiku kotrljajnih ležaja na osnovu karakterističnih frekvencija vezanih za tip ležaja. Ove frekvencije su označene sa:

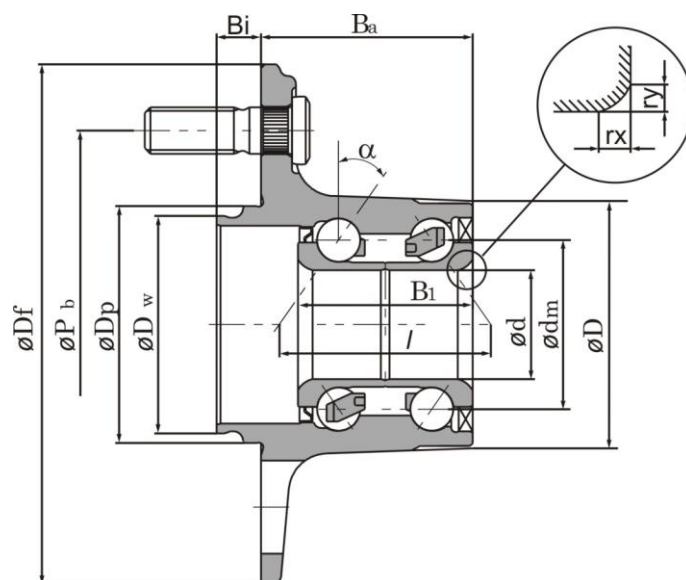
- FTF (*Fundamental Train Frequency*) – **Frekvencija kaveza**
- BPFO - *Ball Pass Frequency of Outer Ring* – **Frekvencija spoljašnjeg prstena**
- BPFI - *Ball Pass Frequency of Inner Ring* – **Frekvencija unutrašnjeg prstena**
- BSF - *Ball Spin Frequency* – **Frekvencija kotrljajnih tela**

Da bi se izvršila dijagnostika kugličnog ležaja, neophodno je poznavanje geometrije kugličnog ležaja. Poprečni presek kugličnog ležaja sa označenim dimenzijama prikazan je na slici 7. Na osnovu podataka o geometrije kugličnog ležaja koja se nalazi u bazi podataka, u programskom rešenju se automatski određuju karakteristične frekvencije elemenata ležaja pomoću relacija:

$$\begin{aligned}f_{FTF} &= \frac{S}{2} \left(1 - \frac{d_k}{d_m} \cos \alpha \right) \\f_{BPFI} &= \frac{Z}{2} S \left(1 + \frac{d_k}{d_m} \cos \alpha \right) \\f_{BPFO} &= \frac{Z}{2} S \left(1 - \frac{d_k}{d_m} \cos \alpha \right) \\f_{BSF} &= \frac{d_m}{2d_k} S \left[1 - \left(\frac{d_k}{d_m} \right)^2 (\cos \alpha)^2 \right]\end{aligned}\tag{14}$$

Na osnovu dobijenih karakterističnih frekvencija vezanih za ispitivani ležaj, određuju se amplitude vibracija na karakterističnim učestanostima:

$$\begin{aligned}
 FTF &= |X_{f_{FTF}}| \\
 BPFI &= |X_{f_{BPFI}}| \\
 BPFO &= |X_{f_{BPFO}}| \\
 BSF &= |X_{f_{BSF}}|
 \end{aligned}
 \tag{15}$$



Slika 7. Poprečni presek i dimenzije integrisanog ležaja točka vozila

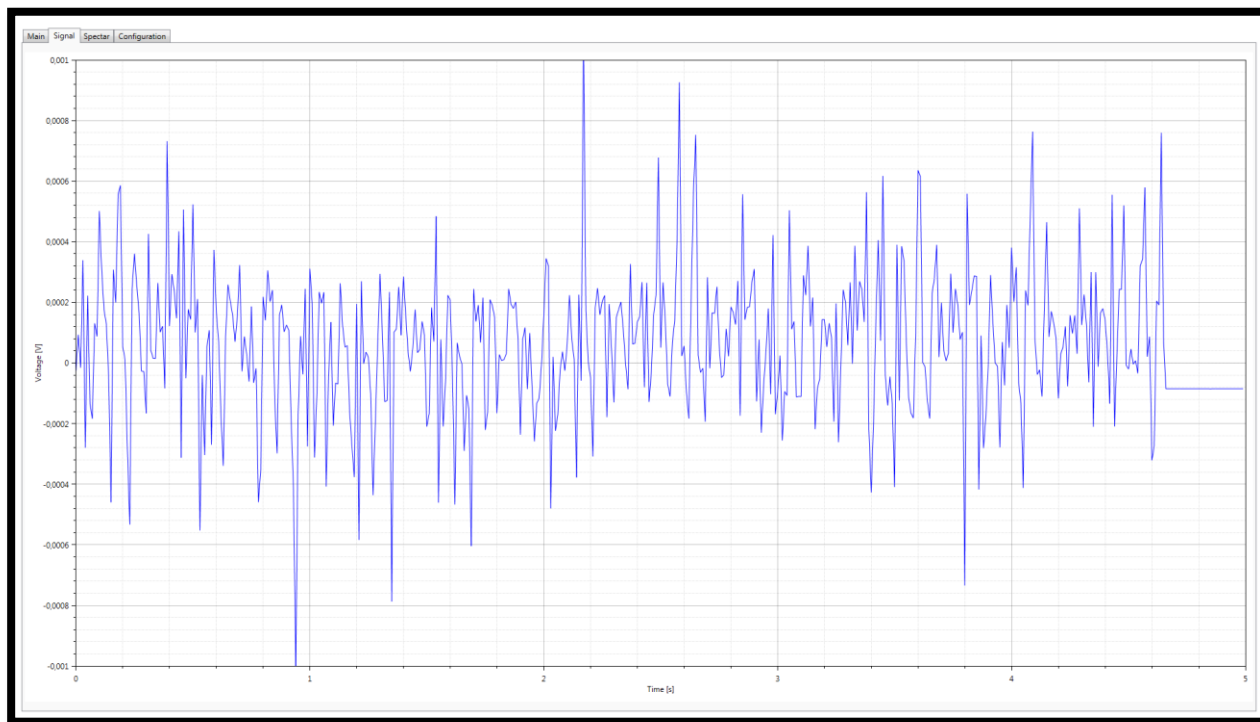
4.2.2.3 Informacije

U delu koji se odnosi na **informacije** nalaze se podaci o ispitivanom ležaju kao što su :

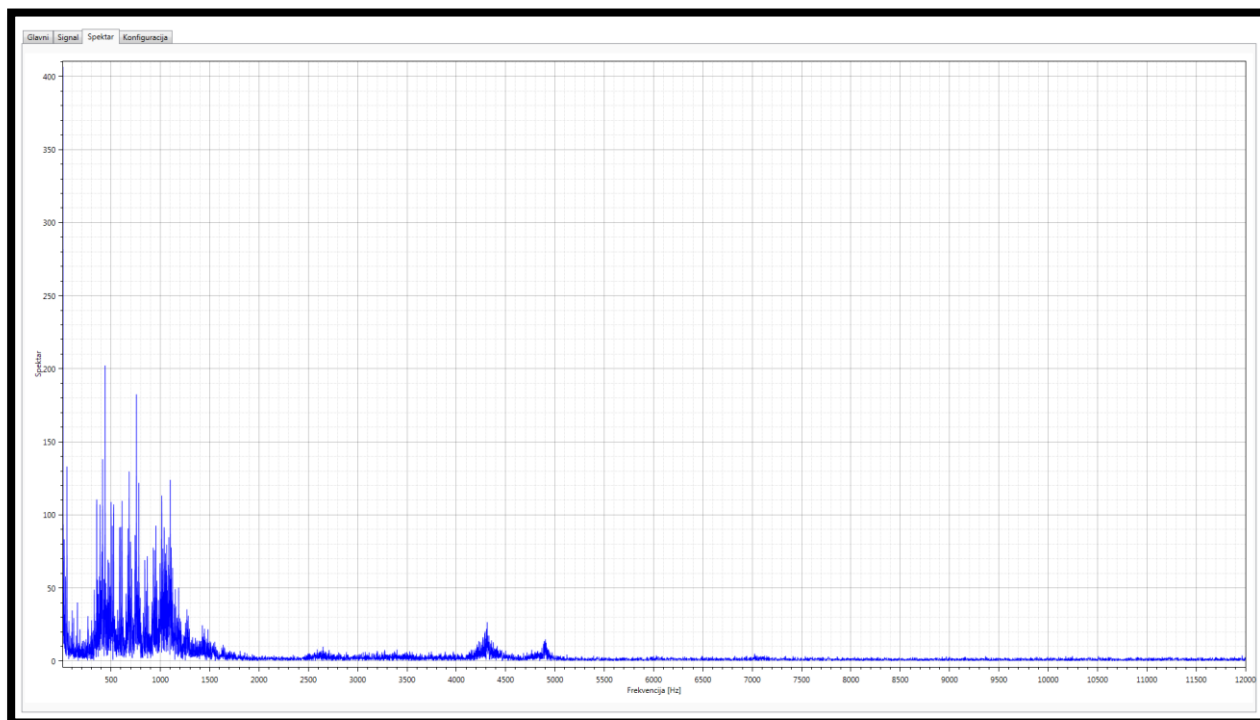
- New Bearing-Upozorenje o postavljanju novg ležaja za ispitivanje
- Measurment In Progres-Upozorenje da je merenje u toku
- Username- Korisničko ime lica koje je ulogovana pri pokretanju softvera
- Parts processed –Broj kontrolisanih delova
- Good parts-Broj dobrih delova
- Bad parts-Broj loših delova
- Reset-Poništavanje broja kontrolisanih delova na nulu
- Repeat-Ponavljanje merenja na jednom ležaju
- Working order-Radni nalog
- Classification-Klasifikacija trenutno ispitivanog ležaja na dobar ili loš
- Start-Startovanje merenja
- Stop-Zaustavljanje merenja
- Logout-Izlaz iz aplikacije za merenje

4.2.3 Prikaz signala

Pored prikaza signala preko frekventni opsega na glavnom prozoru, u ovom tehničkom rešenju je moguće signal prikazati u vremenskom domenu (slika 8) ili frekventnom domenu za celokupni merni opseg u realnom vremenu merenja (slika 9).



Slika 8 Prikaz signala u vremenskom domenu



Slika 9 Prikaz signala u frekventnom domenu

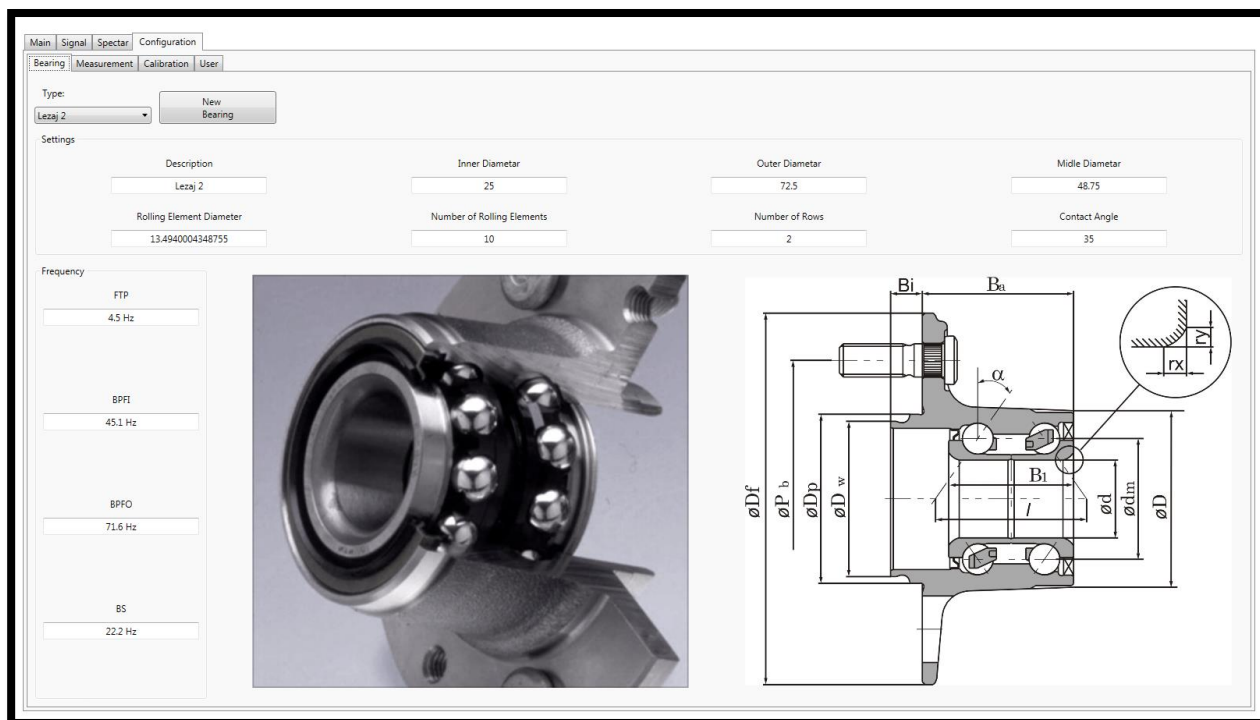
4.2.4 Podešavanje programskog rešenja

Podešavanje programskog rešenja se sastoji iz nekoliko delova kao što su:

- Izbor tipa ležaja
- Podešavanja parametara merenja
- Kalibracije sonde i uređaja
- Definisanja korisničkog naloga

4.2.4.1 Izbor tipa ležaja

U tehničkom rešenju je omogućeno da se vrši izbor tipa ležaja iz postojeće baze podataka, ili unos novog tipa ležaja u bazu podataka (Slika 10). Ukoliko se izabere ležaj koji se nalazi u bazi podataka na ekranu će se pojaviti karakteristične geometrisjke dimezije vezane za izabrani ležaj, kao i slika izabranog ležaja. Pored ovoga u levom delu ekrana (Frekvency) pojaviće se izračunte frekvencije (FTP, BPFI, BPFO, BPS) elemenata ležaja na bazi njegovih geometrijskih katakteritika preko relacije (14).

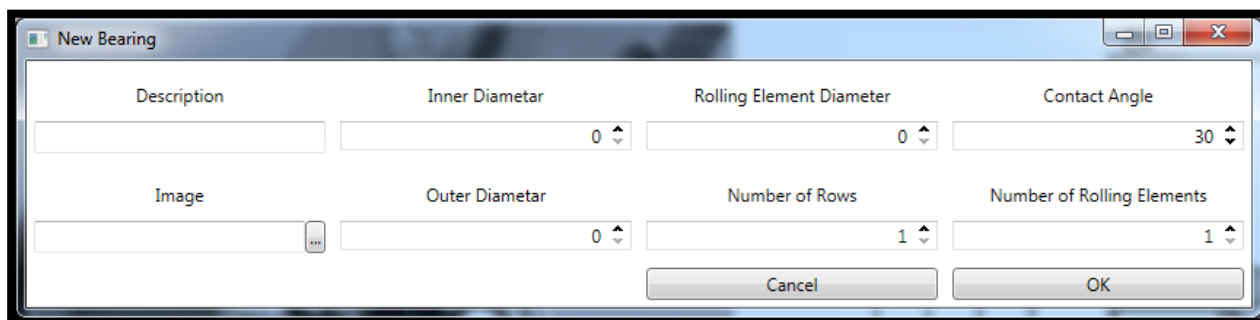


Slika 10 Ekran za izbor postojećeg ležaja iz baze podataka

Ukoliko ležaj koji se želi ispitivati ne postoji u bazi podataka, moguće je isti dodati u bazu podataka (Slika 11) definisanjem sledećih karakteristika:

- *Description* – naziv ležaja
- *Inner Diameter* - unutrašnji prečnik ležaja
- *Rolling Element Diameter* - prečnik kotrljajnog tela
- *Contact Angle* - ugao kontakta
- *Image* - slika ležaja

- *Outer Diameter* - spoljašnji prečnik ležaja
- *Number of Rows* - broj redova kotrljajnih tela
- *Number of Rolling Elements* - broj kotrljajnih tela

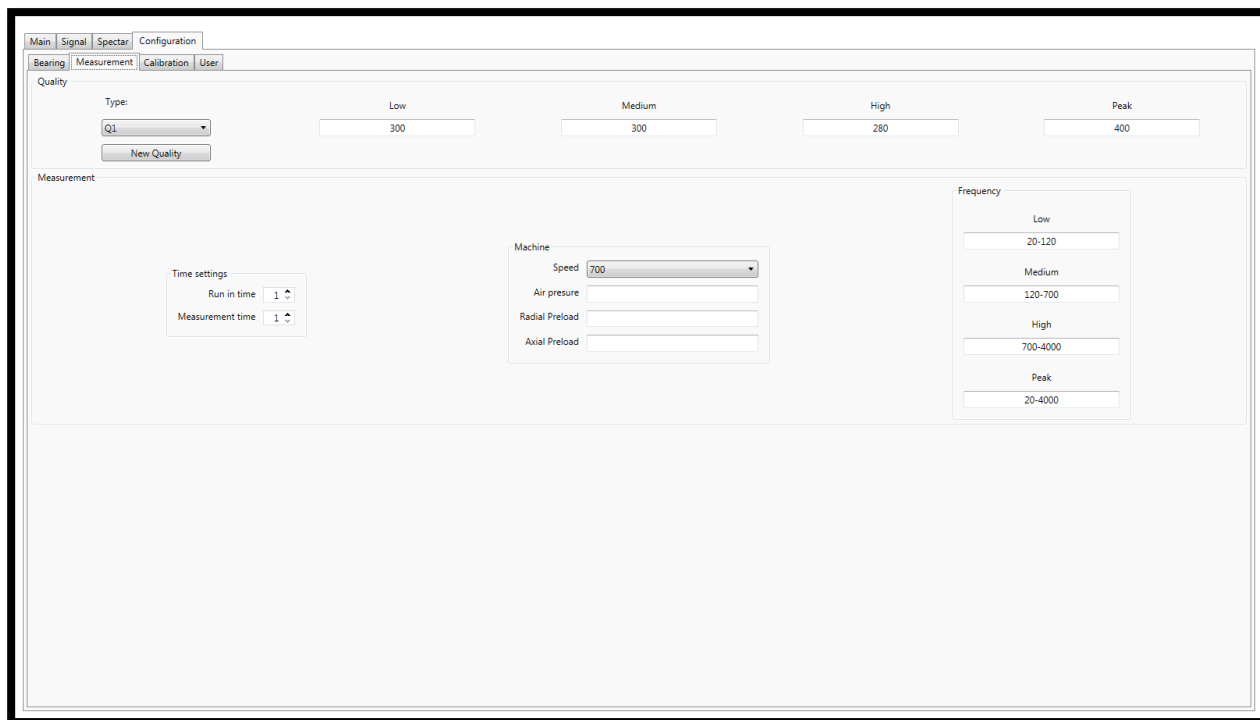


Slika 11 Prozor za definisanje osnovnih parametara novog ležaja

4.2.4.2 Podešavanje parametara merenja

Da bi se merenje pravilno sprovelo u razvijenom programskom rešenju, potrebno je definisati parametre koji su u zavisnosti od tipa i vrste ležaja kao i od uslova ispitivanja (Slika 12) kao što su:

- granične vrednosti nivo vibracija po opsezima
- vremensko trajanje merenja
- parametri vezani za uređaj za ispitivanje
- opsezi merenja

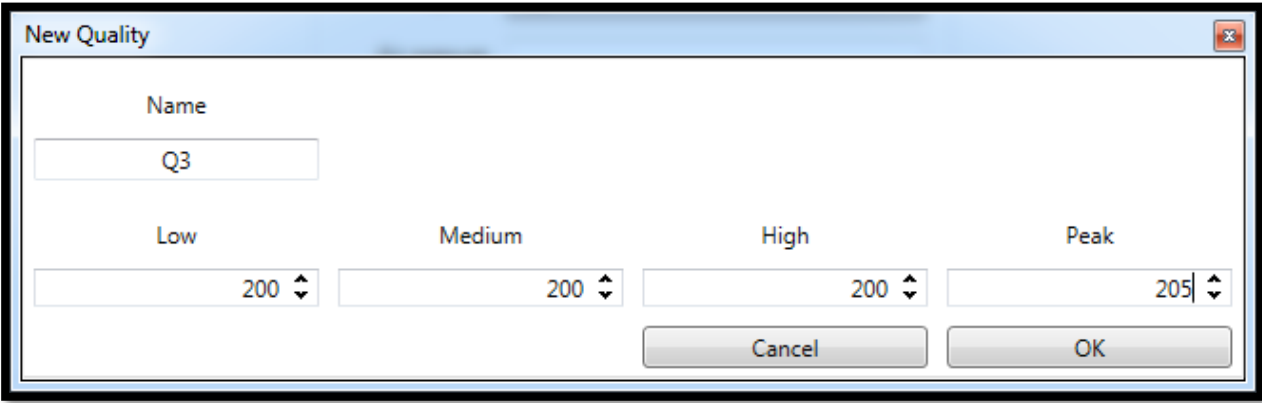


Slika 12 Ekran za podešavanje parametara merenja

Granične vrednosti nivo vibracija po opsezima- Quality

U razvijenom programskom rešenju za merenje i kontrolu vibracija kotrljajnih ležaja moguće je definiati granične vrednosti nivo vibracija po opsezima koji se nalaze u bazi podataka, ili dodati nove granične vrednosti po opsezima u bazu podataka (Slika 13). Izabrane granične vrednosti nivo vibracija po opsezima se automatski učitavaju na glavni radni ekran u odogavrajuće opsege.

Da bi se definisale nove granične vrednosti nivo vibracija potrebno je uneti brojčane vrednosti granica za: nisko (LOW), srednje (MEDIUM) i visoko frekvencijsko područje (HIGH), kao i granicu za maksimalnu vrednost amplitude u spektru (PEAK) u zavisnosti od tipa ležaja koji se ispituje.



Slika 13 Prozor za dodavanje novih granica nivo vibracija po opsezima

Vremensko trajanje merenja- Time settings

Vremensko trajanje merenja služi za:

- Podešavanje vremena koje treba da prođe između pritiska mehaničkog tastera za početak merenja, do početka stvarnog merenja - **Run in Time**;
- Vreme stvarnog merenja, odnosno ispitivanje kugličnog ležaja-**Measurement Time**.

Parametri vezani za uređaj za ispitivanje- Machine

Definisanje parametara vezanih za uređaj za ispitivanje vibracija kotrljajnih ležaja obezbeđuje izbor:

- brzine obrtanja vretena - **Speed**. U zavisnosti od izbora dva broja obrtaja, menjaju se opsezi merenja.;
- pritisak vazduha u aksijalnom cilindru - **Air Pressure**. Veličina pritiska u cilindru definiše i aksijalnu silu opterećenja sa kojom je ležaj opterećen pri ispitivanju.
- radijalnog prednaprezanja - **Radial Preload** ;
- aksijalno prednaprezanja - **Axial Preload**.

Opsezi merenja- Frequency

Opsezi merenja zavise od broja obrtaja izabranih u prethodnom koraku. Programsko rešenje podržava dva broja obrtaja sa odgovarajućim opsezima merenja kao što je prikazano u tabeli 1.

Tabela 1. Opsezi merenja u zavisnosti od broja obrtaja

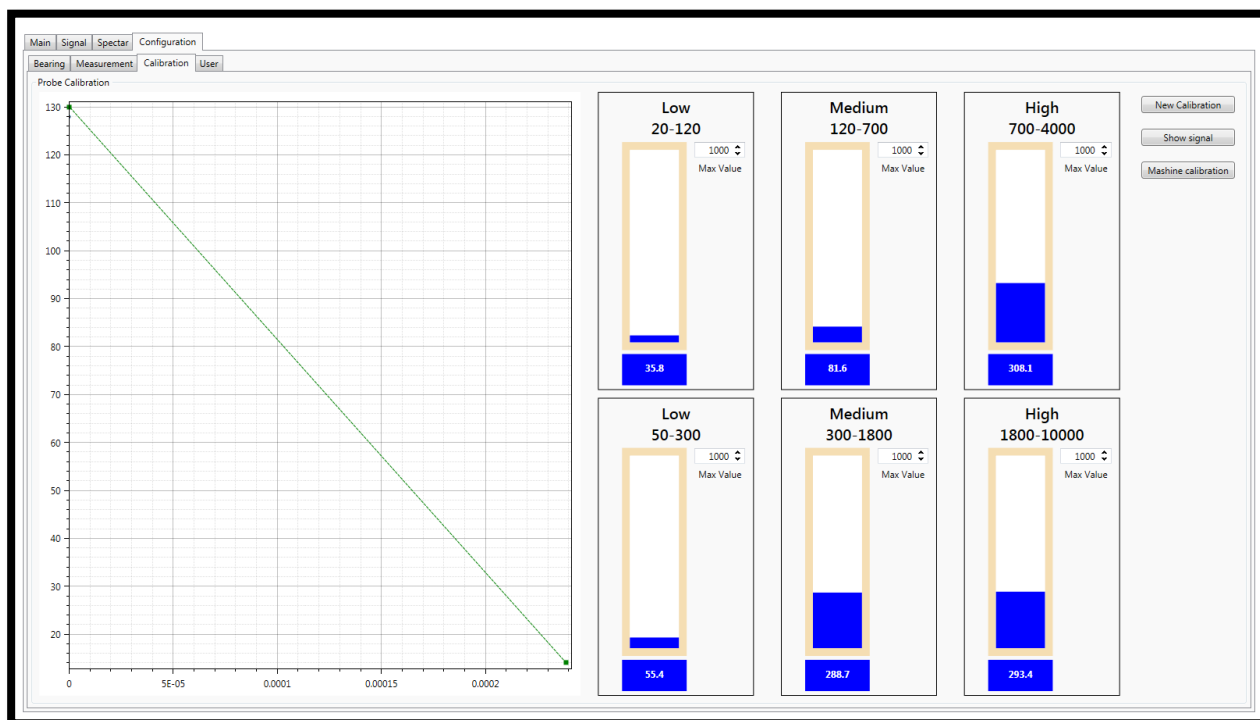
Broj obrtaja o/min	Merni opsezi Hz			
	LOW	MEDIUM	HIGH	PEAK
700	20-120	120-700	700-4000	20-4000
1800	50-300	300-1800	1800-10000	50-10000

Niži brojevi obrtaja sa nižim opsezima služe za merenje nivo vibracija kod ležaja sa većim gabaritnim dimenzijama, dok viši brojevi obrtaja sa višim opsezima služe za merenje nivo vibracija kod ležaja sa manjim gabaritnim dimenzijama.

4.2.4.3 Kalibracija

U okviru kalibracije u razvijenom programskom rešenju (Slika 14) moguće je izvršiti različite tipove kalibracija, kao što su:

- Kalibracija sonde - **New Calibration**;
- Nivelacija sonde - **Show Signal**;
- Kalibracija mašine - **Machine Calibration**;

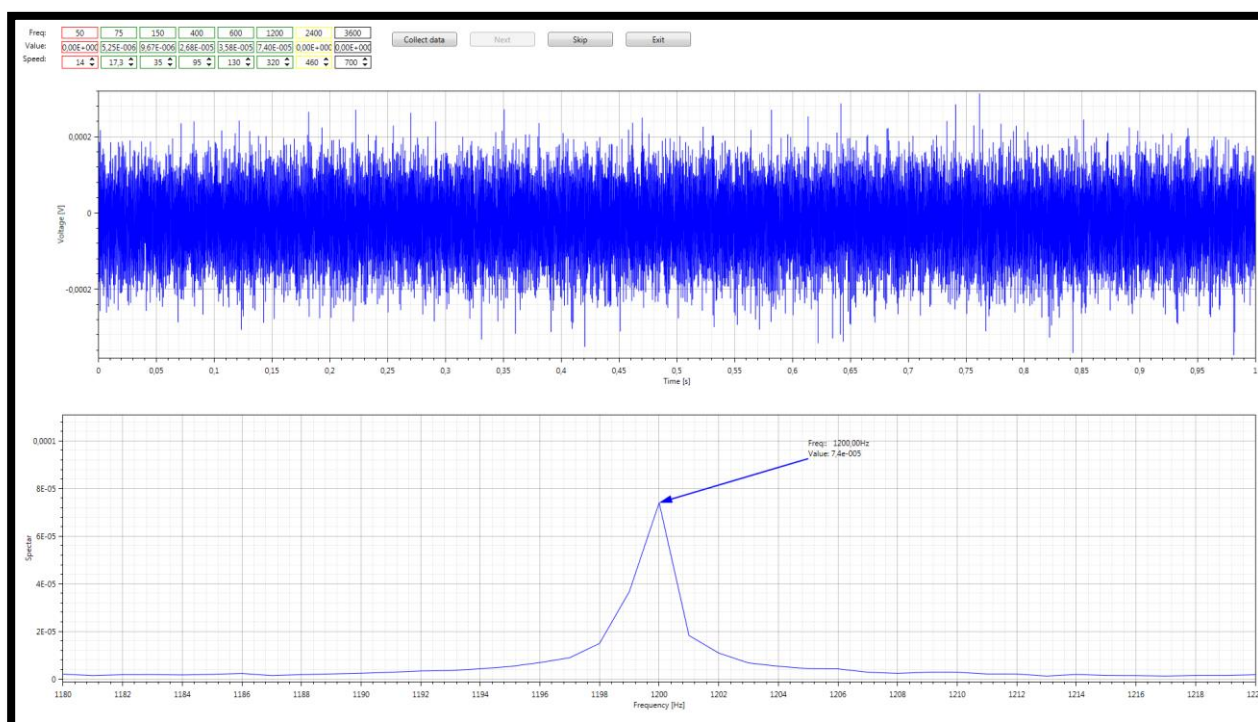


Slika 14 Izgled ekrana za kalibraciju

Kalibracija sonde

Ovaj meni služi za određivanje kalibracione krive elektrodinamičkog davača brzine. Za potrebe kalibracije neophodno je koristiti eksterni kalibrator. Kalibracija sonde može da se radi u maksimalno osam tačaka, tj. na osam različitih frekvencija. Početna frekvencija je 50Hz, a krajnja je 3600Hz.

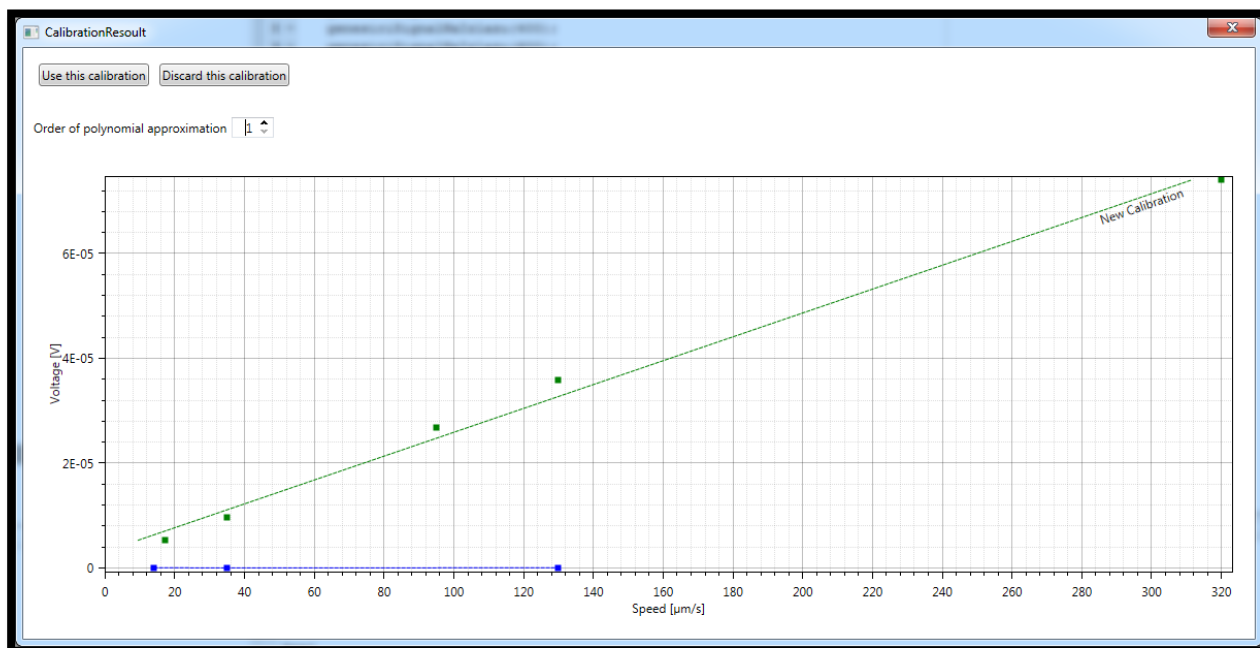
U gornjem delu ekrana (Slika 15) su prikazane frekvencije (**Freq.**) na kojima se vrši kalibracije, a koje odgovaraju frekventnim opsezima ručnog kalibratora. Ispod frekvencija prikazuju se vrednosti (**Value**) nivo vibracija u mV, dok se ispod njih prikazuju vrednosti brzina (**Velocity**) u $\mu\text{m/s}$. Na slici 15 gornji dijagram prikazuje signal sa kalibratora u vremenskom, a na donjem dijagramu u frekventnom domenu.



Slika 15 Izgled ekrana za kalibraciju sonde

Svako merenje može da se ponovi, ponovnim pritiskom na taster *Collect Data* ili u slučaju da je korisnik zadovoljan pređe na sledeću tačku pritiskom na taster *Next*. Takođe je moguće i izbaciti neku tačku, pritiskom na taster *Skip*.

Na kraju kalibracije, sistem prikazuje izračunatu kalibracionu krivu koja je interpolirana polinomom željenog reda (Slika 16). Red polinoma sa kojim se želi izvršiti aproksimacija se bira u meniju ORDER POLYNOMIAL APPROXIMATION. Dobijenu kalibracionu krivu je moguće sačuvati, pritiskom na taster, ili je odbaciti čime se zadržava zadnje izvršena kalibracija.



Slika 16 Izgled kalibracione krive nakon kalibracije

Kalibracija mašine - Machine Calibration

Uz pomoću ove opcije, u programskom rešenju moguće je izvršiti kalibraciju mašine u različitim frekvencijskim opsezima u zavisnosti od broja obrtaja vretena uređaja (Slika 17). Kalibracija mašine se radi tako što se uključi glavno vreteno mašine, a davač brzine se ne spušta. Pritiskom na taster Collect Data prikupljaju se parametri mašine koji se mogu ili odbaciti čime se zadržava prethodna kalibracija mašine.

The screenshot shows a 'Machine Calibration' interface with six panels arranged in a 2x3 grid. Each panel has a title, a frequency range, and a 'Max Value' input field. The panels are:

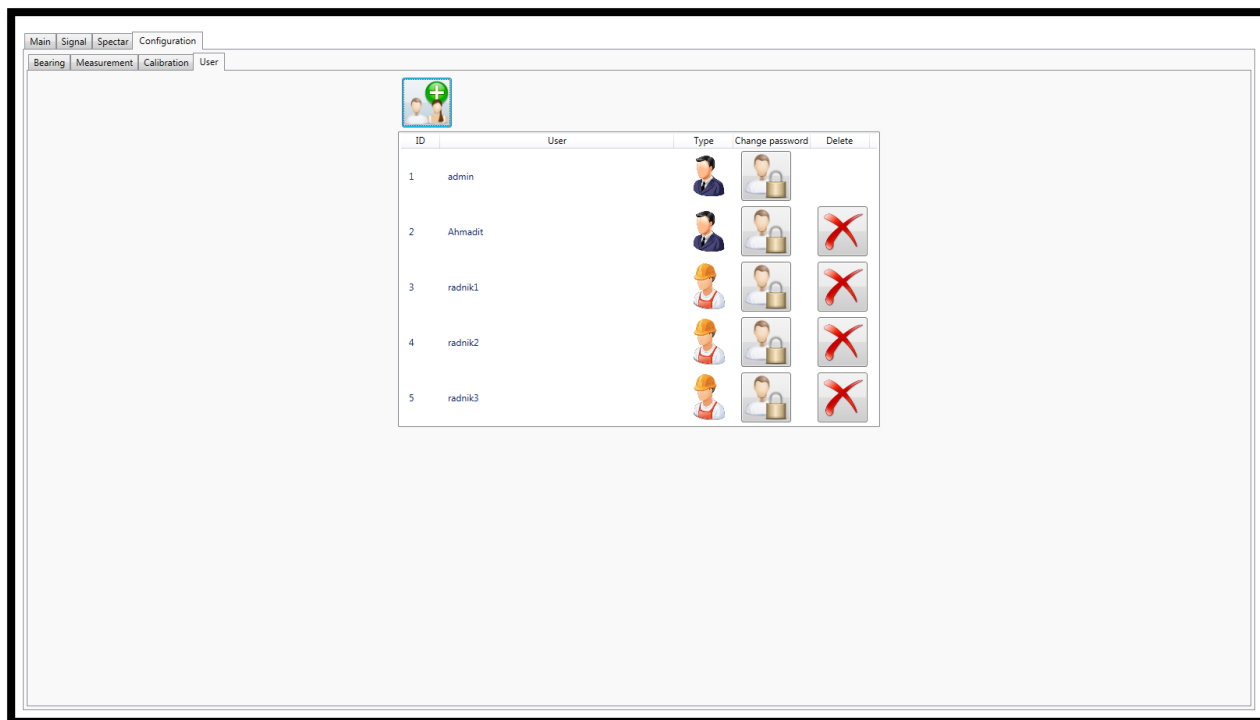
- Top Left: 'Low 20-120', Max Value: 1000
- Top Middle: 'Medium 120-700', Max Value: 1000
- Top Right: 'High 700-4000', Max Value: 1000
- Bottom Left: 'Low 50-300', Max Value: 1000
- Bottom Middle: 'Medium 300-1800', Max Value: 1000
- Bottom Right: 'High 1800-10000', Max Value: 1000

 At the top of the window are buttons for 'Collect data', 'Save', and 'Close'. Each panel contains a large empty rectangular box for data visualization or notes.

Slika 17 Izgled ekrana za kalibraciju mašine

4.2.4.4 Dodavanje korisnika

Na slici 18 je prikazan ekran za dodavanje ili brisanjem korisnika uređaja za merenje i kontrolu vibracija kotrljajnih ležaja. Spisak postojećih korisnika se nalaze u bazi podataka i vezan je za radni nalog pod kojim su vršena ispitivanja. Administrator u svakom trenutku može izvršiti pregled rezultata merenja i operatera koji je izvršio merenje. Takođe za korisnika su vezani i datum i vreme merenja, kao i broj delova koje je izmerio u smeni. Svakom korisniku je moguće dodeliti jedno od dva nivoa privilegija, tj. administrator ili operater.



Slika 18 Izgled ekrana za dodavanje novih korisnika

5.0 ZAKLJUČAK

Razvijeni sistem za merenje i kontrolu vibracija kotrljajnih ležaja predstavlja namenski koncipirano i razvijeno rešenje sa ciljem utvrđivanja kvaliteta ležaja u proizvođnom pogonu nakon montaže, kao i pomoć pri klasifikaciji ležaja na osnovu nivoa vibracija prema zahtevu kupaca.

Razvijeni sistem je maksimalno orjentisano korisniku i dovoljno valjano za efikasnu primenu. Sistem za merenje i kontrolu vibracija kotrljajnih ležaja se sastoji iz merno-upravljačkog ormara koji je povezan sa programskim rešenjem za merenje i kontrolu vibracija. Modularna gradnja programskog rešenja je omogućila njegovo povezivanje sa operativnim sistemom Windows 7.

Sistem za merenje i kontrolu vibracija kotrljajnih ležaja služi za ispitivanje ležaja unutrašnjeg prečnika od Ø8 to Ø60 mm i spoljašnjeg prečnika od Ø24 to 130 mm, pri delovanju aksijalnog opterećenja od 10 to 900 N. Sastavni deo sistema je i programski rešenje za analizu kotrljajnih ležaja VARB-01.

VARB-01 je skraćenica od *Vibration Analysis of Roller Bearing – Sistem za analizu kotrljajnih ležaja*, baziran na PC hardveru i National Instruments (NI) sistemu za akviziciju podataka. VARB-01 je sistem za ispitivanje, analizu i dijagnostiku kotrljajnih ležaja. Sistem se zasniva na merenju vibracija kugličnih ležaja pomoću elektrodinamičkog davača brzine.

VARB-01 je programsko rešenje koji služi za ispitivanje vibracija jednorednih ili dvorednih kotrljajnih ležaja (kuglični i valjkasti). Pomoću VARB-01 se mogu ispitivati nivoi vibracija u tri različita opsega: Low, Medium, High i Peaks, za niske (700 o/min) i visoke brojeve obrtaja (1800 o/min). Pored toga, moguće je na osnovu karakterističnih frekvencija elemenata ležaja (*FTF*, *BPFO*, *BPFI* i *BSF*) izvršiti dijagnostiku, odnosno utvrditi koji element ležaja dovodi do povećanja nivoa vibracija u pomentim opsezima. Pored merenja u realnom vremenu, VARB-01 služi i za: prikupljanje određenih podataka merenja radi kreiranja izveštaja, definisanje parametara merenja, baždarenje sonde i mašine, snimanja karakteristika sonde i dr.

Merno - upravljački ormar sa programskim rešenjem VARB-01 pružaju informacije u tri područja: LOW, MEDIUM i HIGH. Ovi rezultati su prikazni u $\mu\text{m/s}$. Različiti frekventni signali koji se dobijaju od komponenti ležaja (unutrašnjeg i spoljašnjeg prstena ili od kotrljajnih tela i kaveza) mogu se meriti i analizirati u vremenskom ili frekventnom domenu sa različitim digitalnim tehnikama filtriranja.

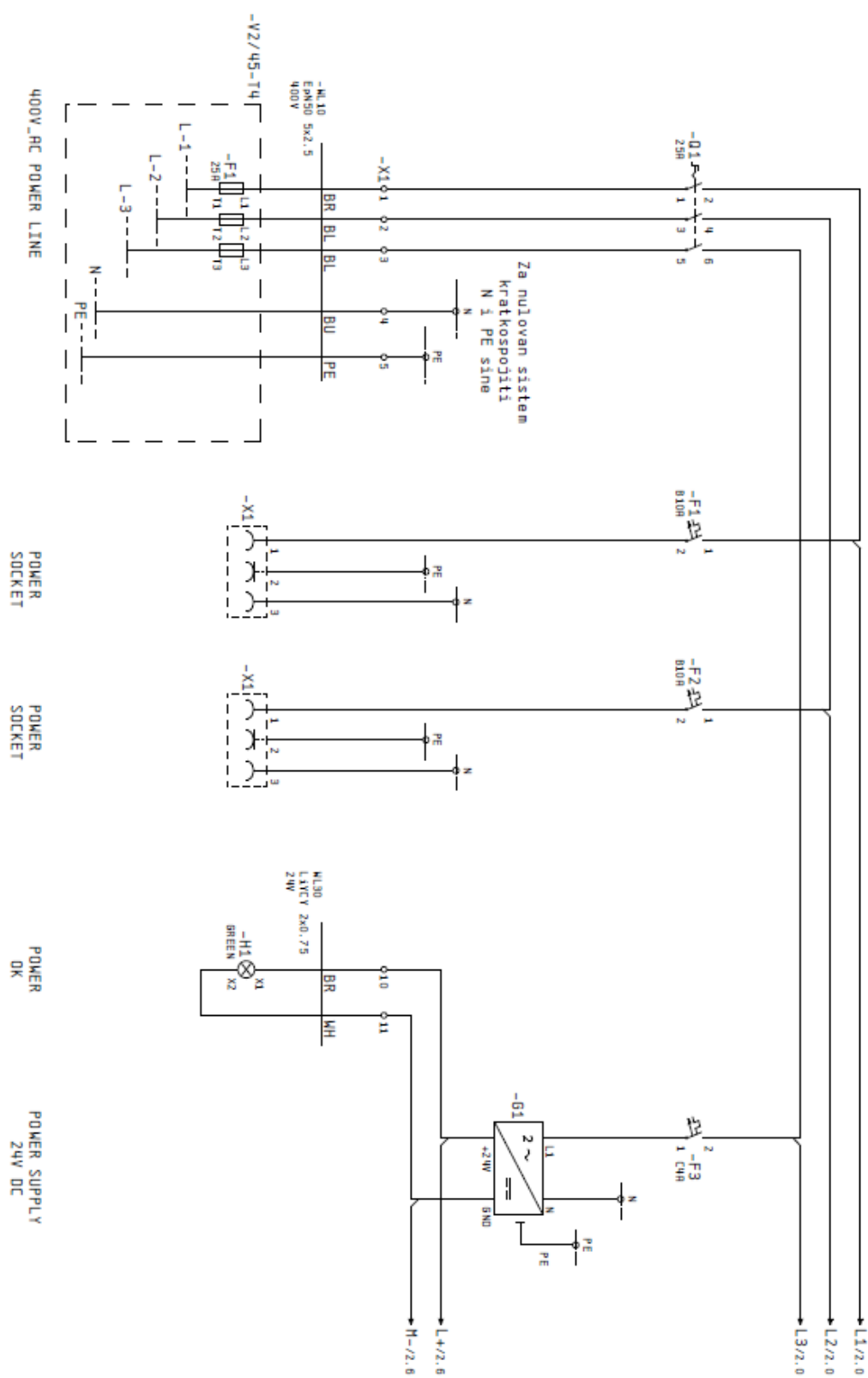
6.0 LITERATURA

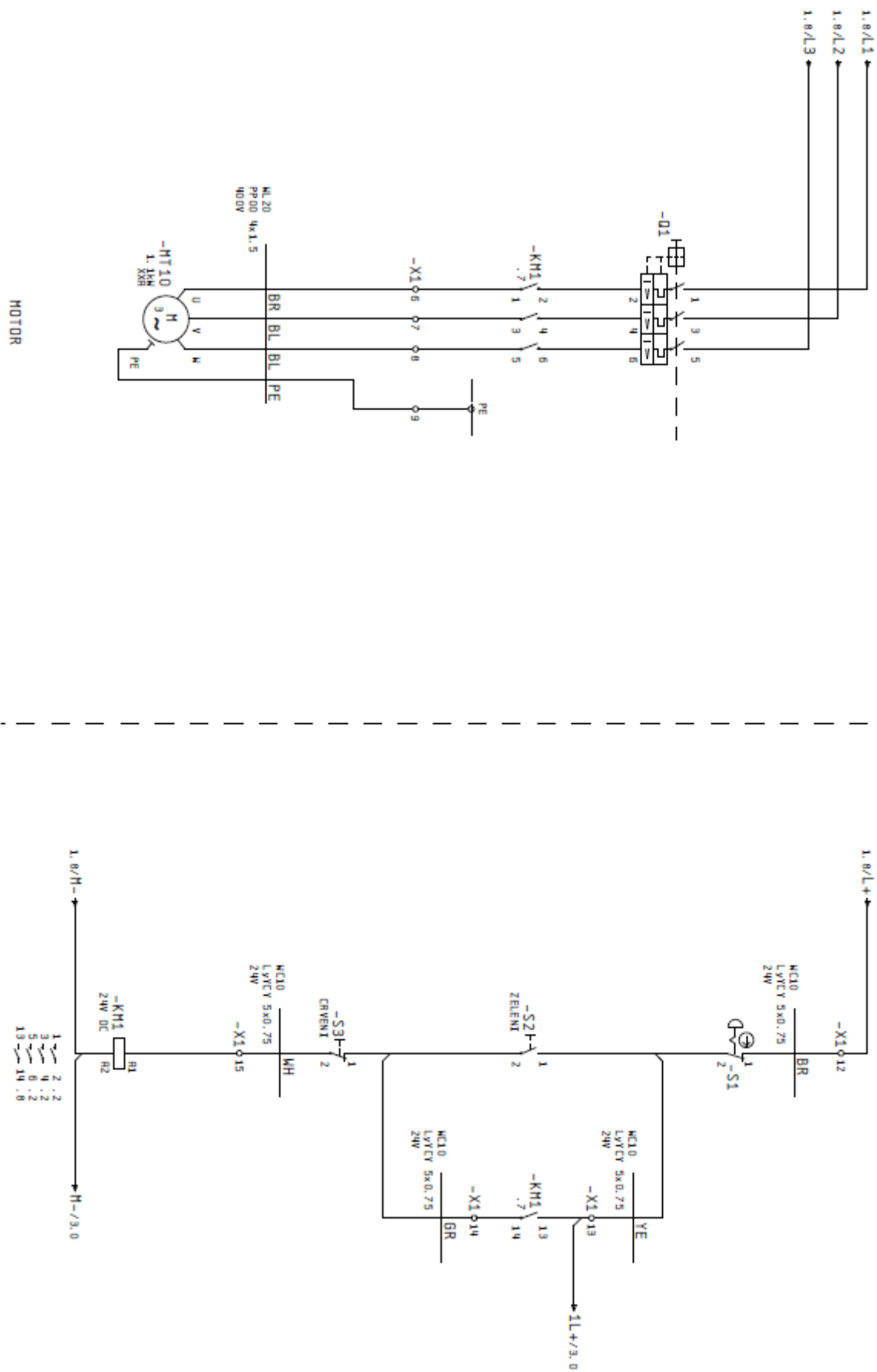
- [1]. Bechhoefer, E., Menon, P.: Bearing Envelope Analysis Window Selection, Annual Conference of the Prognostics and Health Management Society, pp. 1-7, 2009.
- [2]. Brandt, A.: Noise and vibration analysis - signal analysis and experimental procedures, A John Wiley and Sons, Ltd., Publication, 2011, ISBN 978-0-470-74644-8
- [3]. Burrows, C.R., Stanway, R.: Identification of Journal Bearing Characteristics, ASME Journal of Dynamic System Measurement and Control, Vol. 99, No. 3, 167–173, 1977
- [4]. Changsen, W.: Analysis of rolling element bearings, Mechanical Engineering Publications, London, 1991
- [5]. Cooley, J.W., Tukey, J.W.: An Algorithm for the Machine Calculation of Complex Fourier Series, Mathematics of Computation, Vol. 19, 1965, No. 89–92, Pages 297–301
- [6]. Dyer, D, Stewart, R.M.: Detection of rolling element bearing dam-age by statistical vibration analysis. Trans ASME, J Mech Design 1978;100(2):229-335.
- [7]. Dyer, D.: Bearing condition monitoring. In: Interim Report 1. Southampton (UK): Department of Mechanical Engineering, Univerisity of Southampton, 1973.
- [8]. Gertzos, K.P., Nikolakopoulos, P.G., Chasalevris, A.C., Papadopoulos, C.A.: Wear identification in rotor-bearing systems by measurements of dynamic bearing characteristics, Computers and Structures Vol.89, 2011, pp. 55–66, ISSN: 0045-7949
- [9]. Gustafsson OG, Tallian T. Detection of damage in assembled rolling element bearings. ASLE Preprint 61-AM 3B-1. 16th ASLE, Philadelphia, PA, 1961.
- [10]. Harnoy, A.: Bearing design in machinery: Engineering tribology and lubrication, Marcel Dekker, Inc., Marcel Dekker, Inc., 2003, ISBN: 0-8247-0703-6. 65.
- [11]. Harris, T.A., Michael N. K.: Rolling bearing analysis: Essential Concepts of Bearing Technology, Fifth edition, Taylor & Francis Group, 2007, ISBN: 0-8493-7183-X.
- [12]. Harris, T.A.: Rolling bearing analysis, Fouthr edition, John Wiley & Sons, Inc , 2001, ISBN: 0-471-35457-0.
- [13]. Hong, H., Liang, M.: Fault severity assessment for rolling element bearings using the Lempel–Ziv complexity and continuous wavelet transform, Journal of Sound and Vibration Vol. 320, ISSN: 0022-460X, 2009, Pages 452-468.
- [14]. Howard, I.A.: A review of rolling element vibration-detection, diagnostic and prognosis, DSTO Aeronautical and Martime Reserach Labaratory-Melburn, 1994. 83.
- [15]. Igarashi, T, Hamada, H.: Studies on the vibration and sound of defective rolling bearings. Bull JSME 1982;25(204):994-1001.
- [16]. Karimi, M.: Rolling element bearing fault diagnostic using the blind doconvolution technique, Ph.D thesis, Faculty of built environmental engineering, Queensland University of Technology, 2006.
- [17]. Kim, P.Y, Lowe, I.R.G.: A review of rolling element bearing health monitoring. In: Proceedings of Machinery Vibration Monitoring and Analysis Meeting, Vibration Institute, Houston, TX, 19-21, 1983. p.145-154.
- [18]. Marinescu, I. D., Constantin, I. D. B.: Handbook of Machine Tool Analysis, Marcel Dekker Inc., ISBN: 0-8247-0704-4, 2002.
- [19]. Martins, L.G, Gerges S.N.Y.: Comparison between signal analysis for detecting incipient bearing damage. In: Proceedings of the International Condition Monitoring Conference, Swansea, UK, 10-13, 1984. p.191-204.

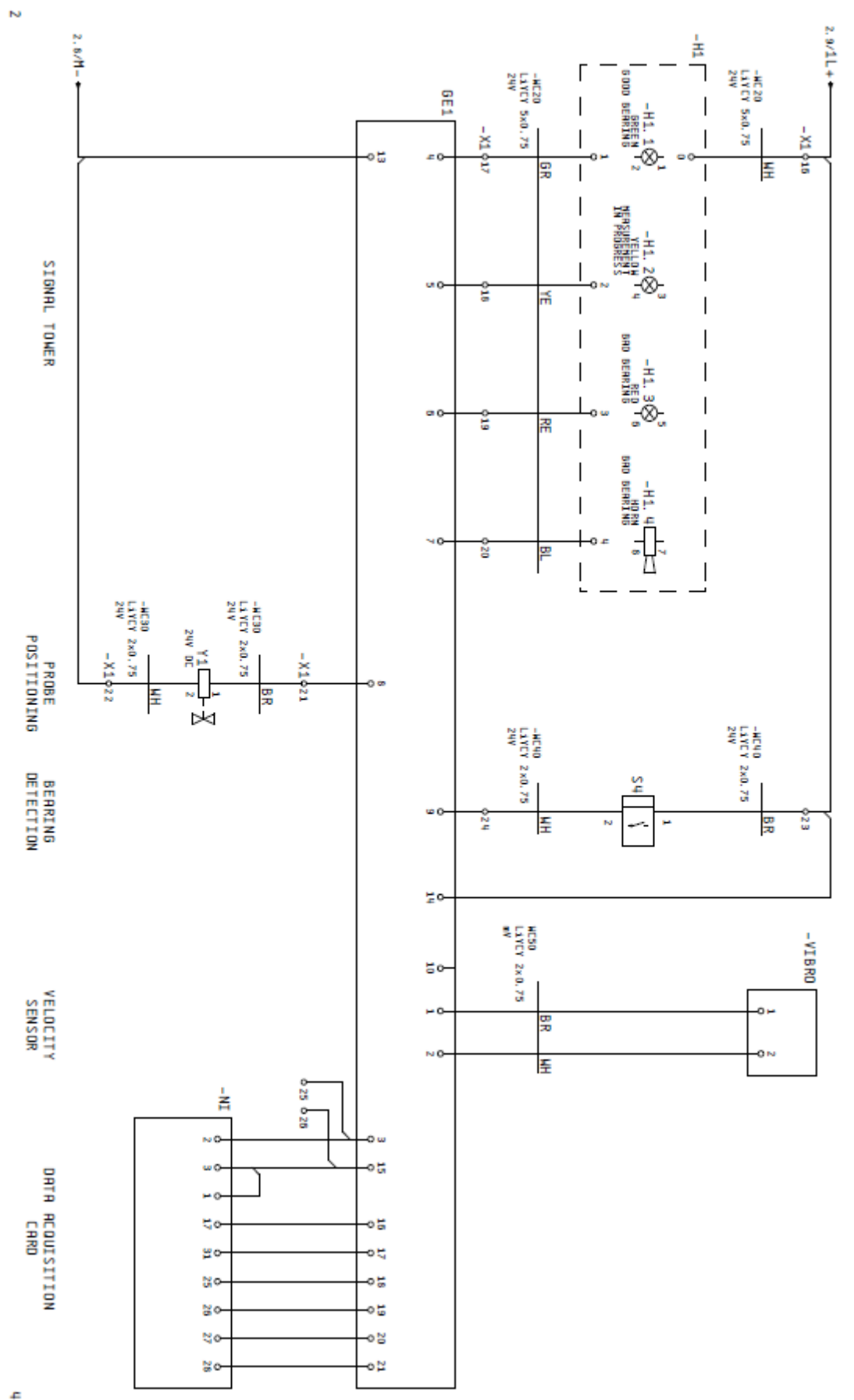
- [20]. Mathew, J., Alfredson, R.J.: The condition monitoring of rolling element bearings using vibration analysis. *Trans ASME, J Vibr, Acoust, Stress Reliab Design* 1984;106:447-453. 126.
- [21]. Orfanidis, S. J.: *Introduction to signal processing*, Prentice Hall, 2010, ISBN 0-13-209172-0.
- [22]. Peng, Z.K., Chu, F.L.: Application of the wavelet transform in machine condition monitoring and fault diagnostics: a review with bibliography, *Mechanical Systems and Signal Processing* 18 (2004) 199–221
- [23]. Qiu, D., Shunian, Y.: Application of the EMD method in the vibration analysis of ball bearings, *Mechanical Systems and Signal Processing*, 2007, Vol. 21 Pages 2634–2644.
- [24]. Rai, V. K. Mohanty, A.R.: Bearing fault diagnosis using FFT of intrinsic mode functions in Hilbert–Huang transform, *Mechanical Systems and Signal Processing* 21 (2007) 2607–2615.
- [25]. Sheen, Y.-T.: A complex filter for vibration signal demodulation in bearing defect diagnosis, *Journal of Sound and Vibration* Vol. 276, ISSN: 0022-460X, 2004, Pages 105-119.
- [26]. Springer, C.W.: Don't forget the time domain in analyzing bearings: a case study. *Tappi Journal* 1988;71(8):190-203.
- [27]. Taghizadeh, S. R.: *Digital Signal Processing, Discrete-Time Signals & Systems Case Studies*, School of Communications Technology and Mathematical Sciences, Part 3, University of North London, 2000.
- [28]. The shock pulse method for determining the condition of anti-friction bearings, SPM Technical Information. Sweden: SPM Instruments AB.
- [29]. Zuber, N.: *Automatizacija identifikacije otkaza rotirajućih mašina analizom mehaničkih vibracija*, Doktorska disertacija, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2010.
- [30]. Živković, A.: *Računarska i eksperimentalna analiza ponašanja kugličnih ležaja za specijalne namene*, Doktorska disertacija, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2013.

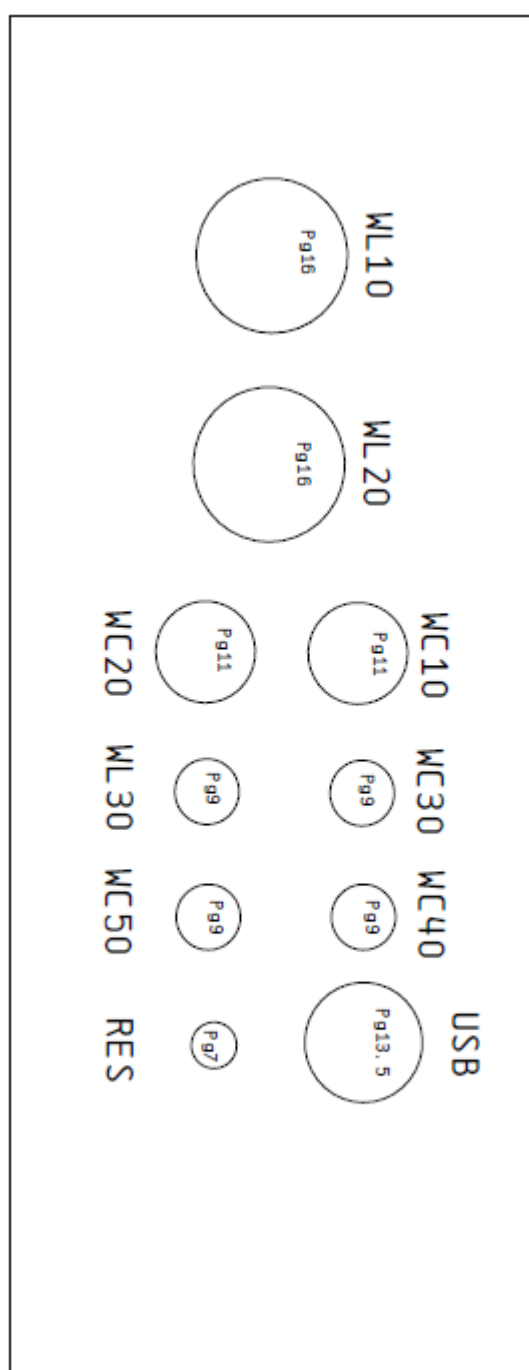
PRILOZI

Prilog P1 Elektro šema merno-upravljačkog ormara

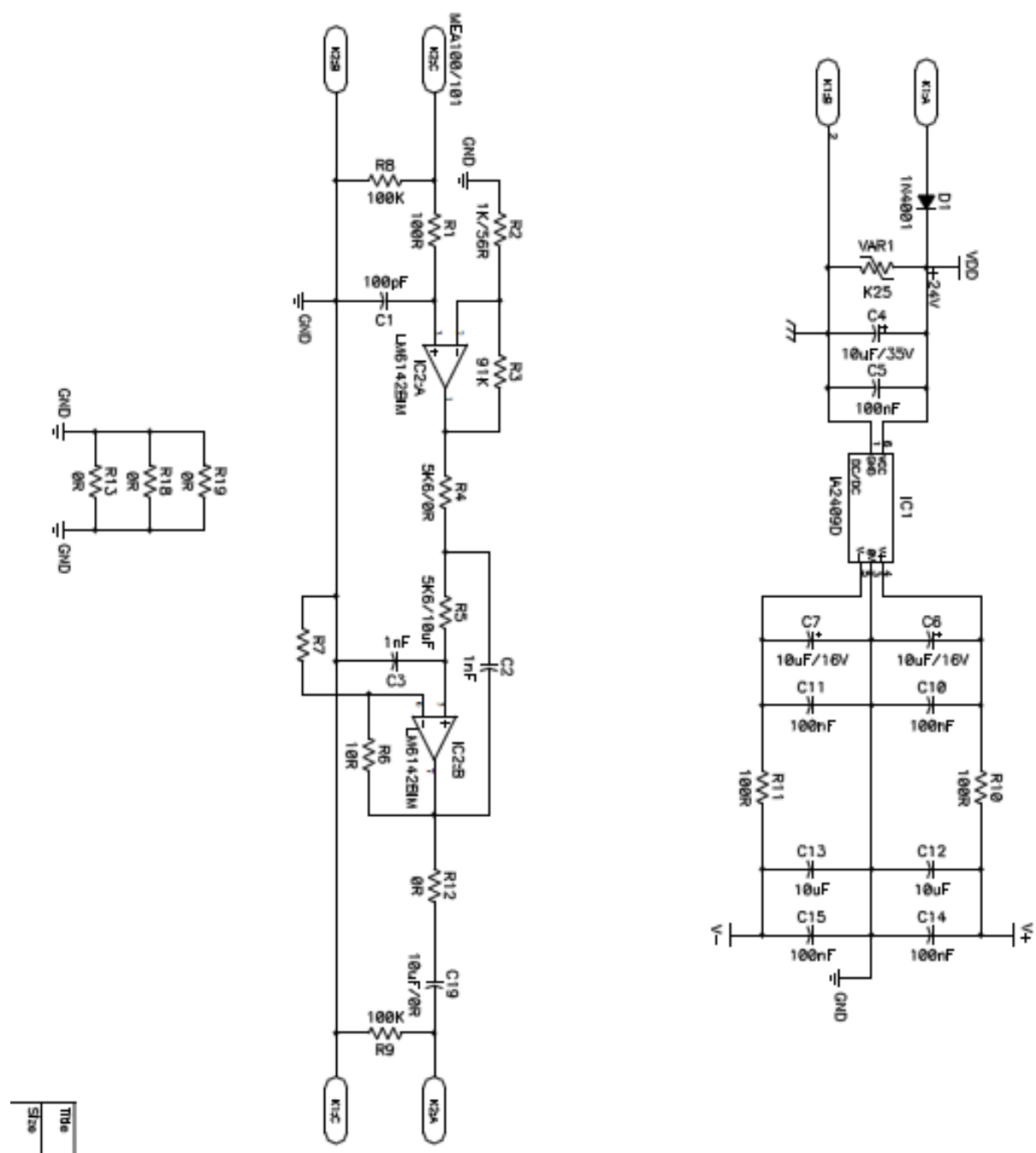


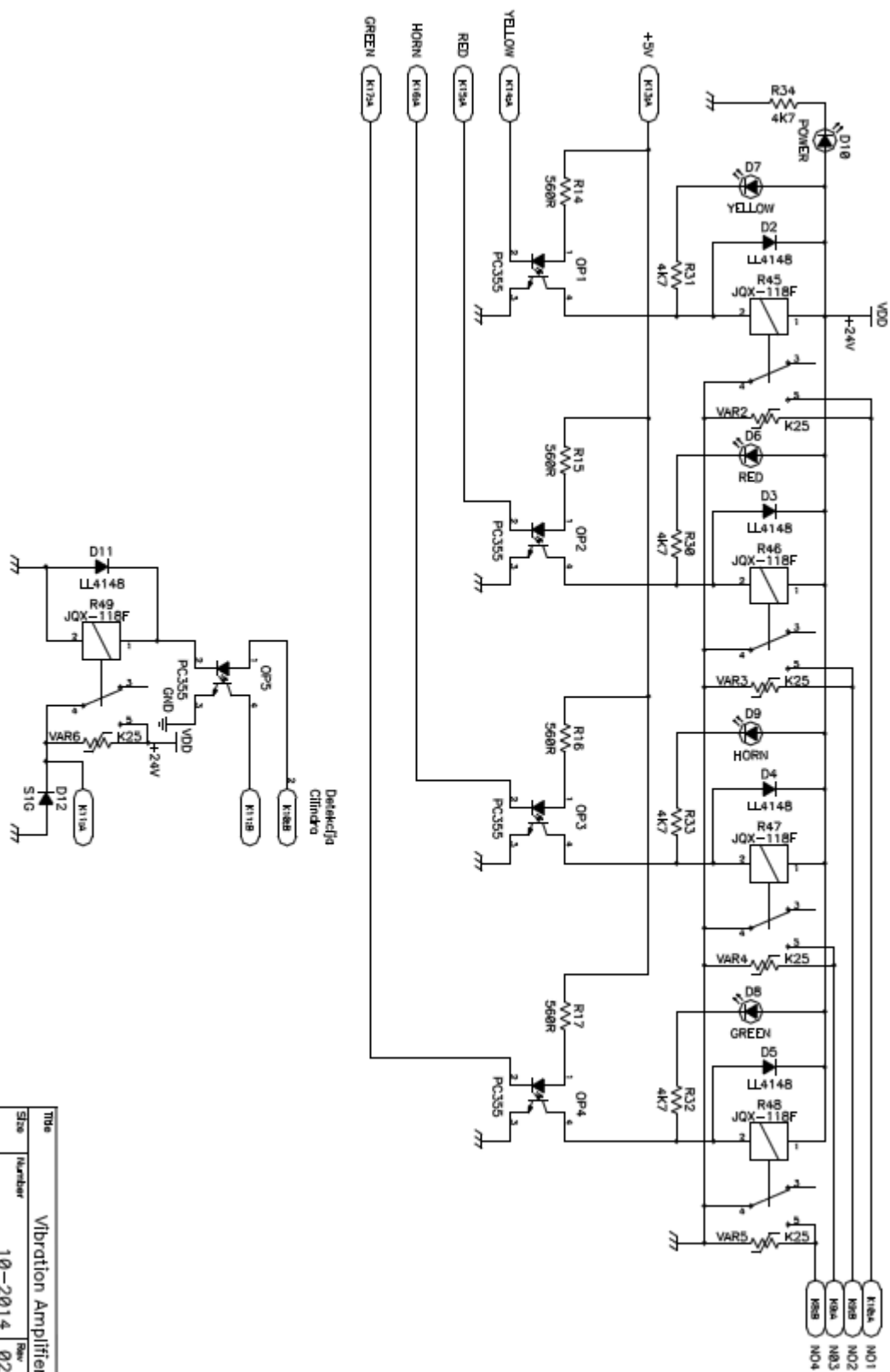






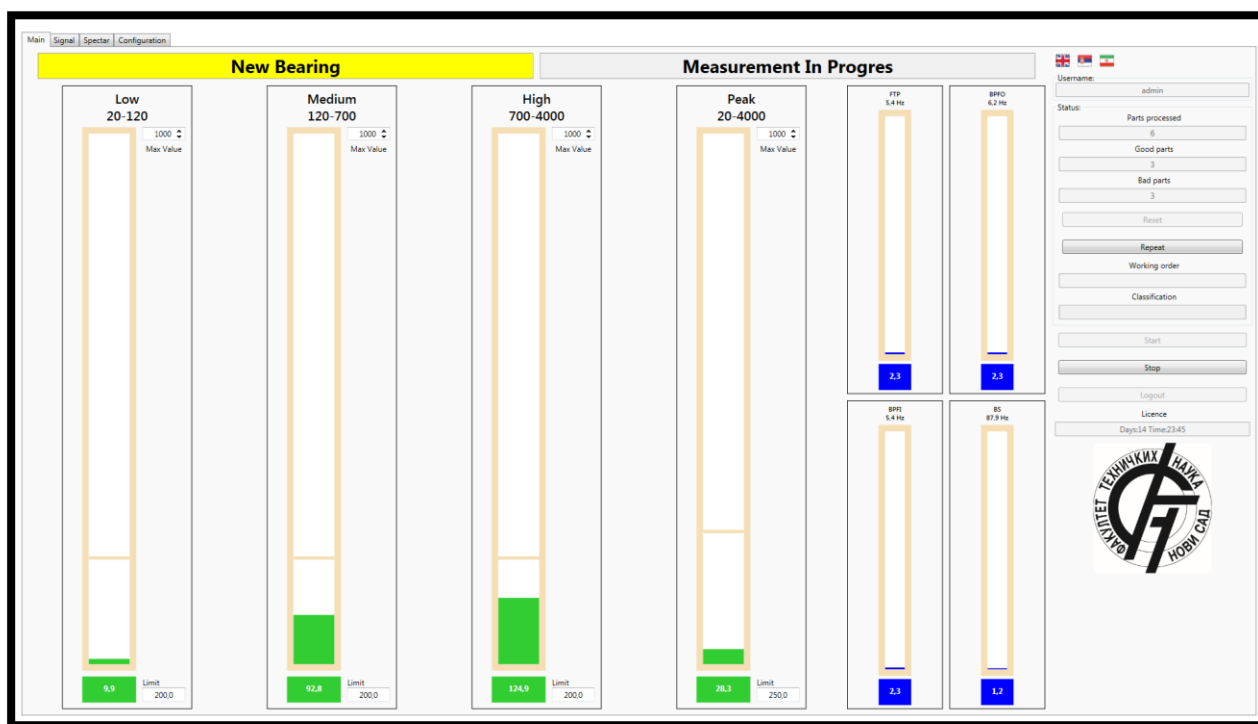
Prilog P2 Šema pojačavača



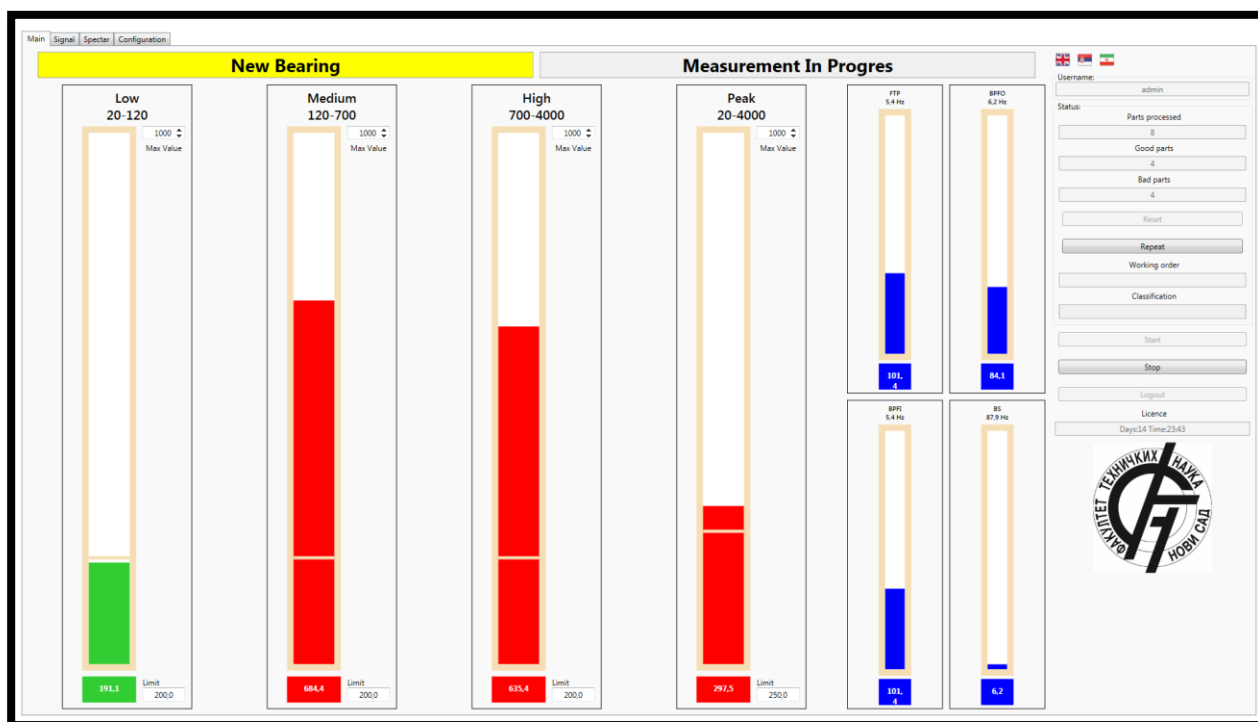


Title		
Vibration Amplifier		
Size	Number	Rev
	10-2014	02
Date	Tue Apr 19, 2016	Drawn by wjz

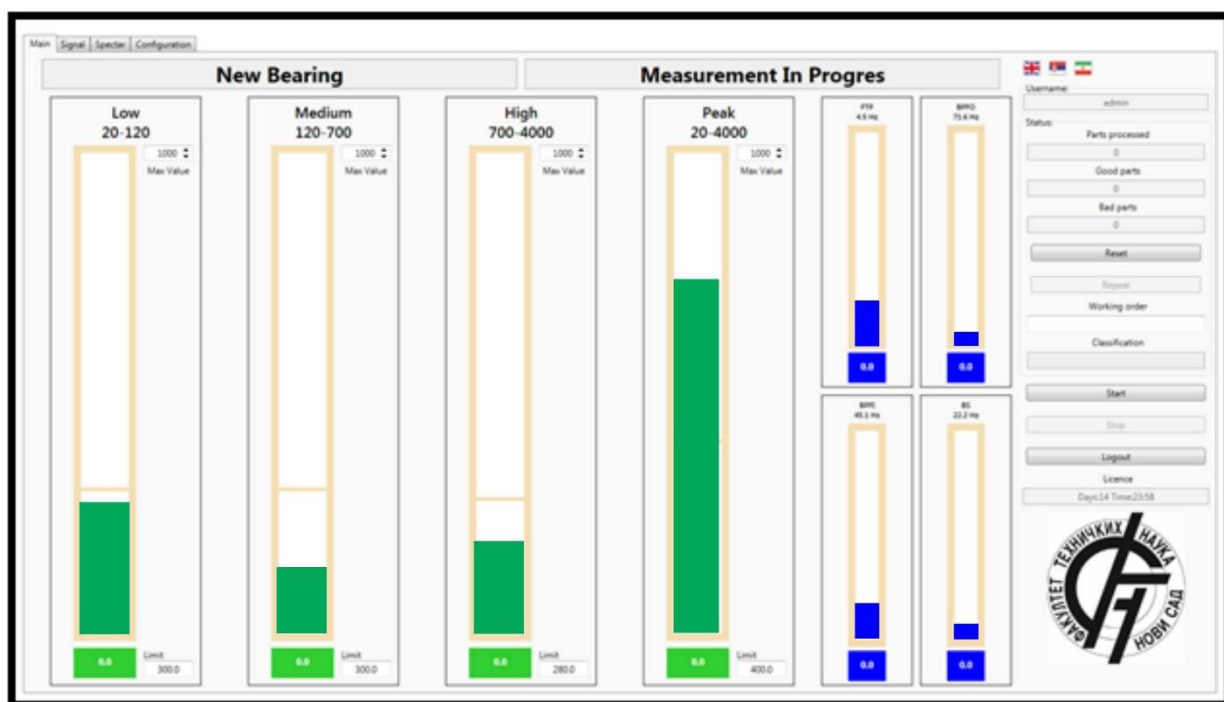
Prilog P3 Rezultati merenje i kontrole vibracija kotrljajnih ležaja



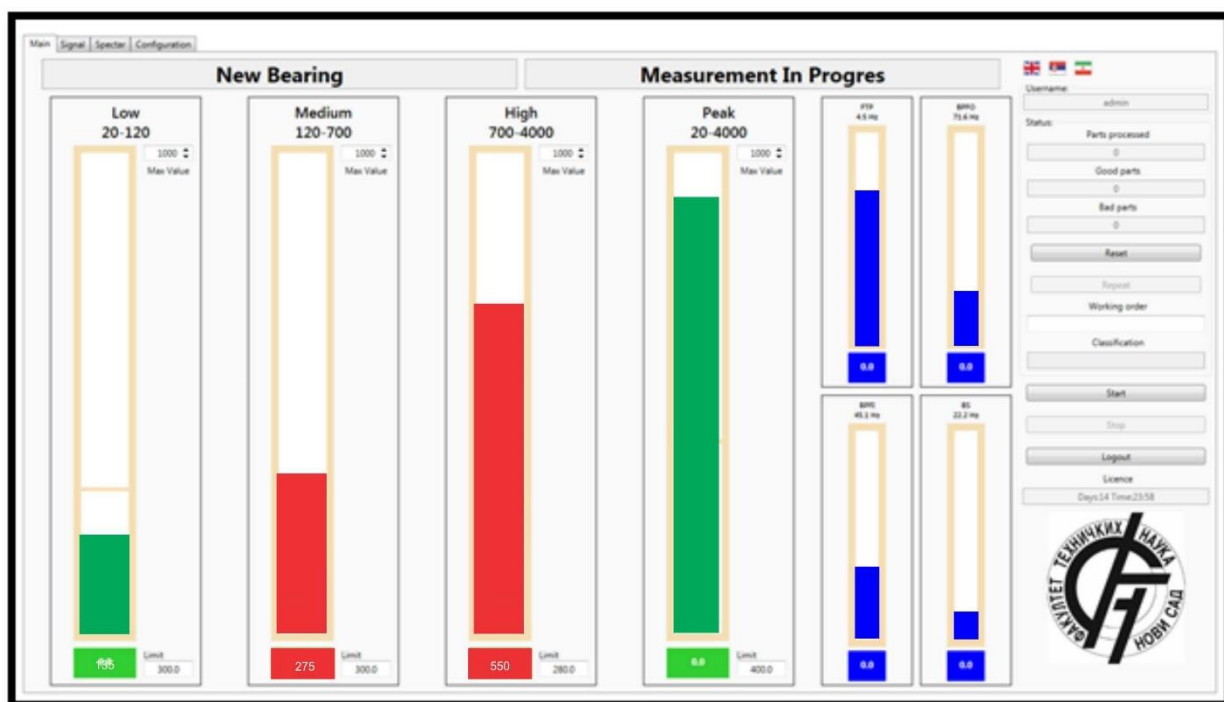
Slika P3.1 Prikaz glavnog ekrana u toku ispitivanja dobrog ležaja (Ležaj ILT II)



Slika P3.2 Prikaz glavnog ekrana u toku ispitivanja lošeg ležaja (Ležaj ILT II)



Slika P3.3 Prikaz glavnog ekrana u toku ispitivanja dobrog ležaja (Ležaj 6204)



Slika P3.3 Prikaz glavnog ekrana u toku ispitivanja lošeg ležaja (Ležaj 6204)



УНИВЕРЗИТЕТ
У НОВОМ САДУ



ФАКУЛТЕТ
ТЕХНИЧКИХ НАУКА

Трг Доситеја Обрадовића 6, 21000 Нови Сад, Република Србија
Деканат: 021 6350-413; 021 450-810; Централa: 021 485 2000
Рачуноводство: 021 458-220; Студентска служба: 021 6350-763
Телефакс: 021 458-133; e-mail: ftndean@uns.ac.rs

ИНТЕГРИСАНИ
СИСТЕМ
МЕНАџМЕНТА
СЕРТИФИКОВАН ОД:



Наш број: _____
Ваш број: _____
Датум: 2016-05-06

ИЗВОД ИЗ ЗАПИСНИКА

Наставно-научног већа Факултета техничких наука у Новом Саду, на 14. редовној седници одржаној дана 27.04.2016. године, донело је следећу одлуку:

-непотребно изостављено-

Тачка 12.1. Верификација нових техничких решења и именовање рецензената

Тачка 12.1.4: У циљу верификације новог техничког решења усвајају се рецензенти:

- Проф. др Зоран Миљковић, Машински факултет, Београд;
- Проф. др Саша Живановић, Машински факултет, Београд;

Назив техничког решења:

"СИСТЕМ ЗА МЕРЕЊЕ И КОНТРОЛУ ВИБРАЦИЈА КОТРЉАЈНИХ ЛЕЖАЈА"

Аутори техничког решења: Војин Илић, Александар Живковић, Никола Јорговановић, Милан Зељковић, Дарко Станишић, Никола Попов.

-непотребно изостављено-

Записник водила:

Јасмина Димић, дипл. правник

Тачност података оверава:
Секретар

Иван Нешковић, дипл. правник



Декан

Проф. др Раде Дорословачки

Одлуком Наставно научног већа Факултета техничких наука Универзитета у Новом Саду, од 27.04.2016. године, именовани смо за рецензенте Техничког решења под називом „СИСТЕМ ЗА МЕРЕЊЕ И КОНТРОЛУ ВИБРАЦИЈА КОТРЉАЈНИХ ЛЕЖАЈА“, реализованог у оквиру пројекта „САВРЕМЕНИ ПРИЛАЗИ У РАЗВОЈУ СПЕЦИЈАЛНИХ РЕШЕЊА УЛЕЖИШТЕЊА У МАШИНСТВУ И МЕДИЦИНСКОЈ ПРОТЕТИЦИ“, ТР-35025, чији су аутори: др Војин Илић, доцент, др Александар Живковић, доцент, др Никола Јорговановић, редовни професор, др Милан Зељковић, редовни професор, др Дарко Станишић, доцент и Никола Попов, мастер инжењер електротехнике. На основу прегледа Елабората овог техничког решења и увида у публиковане радове о њему подносимо следећи

ИЗВЕШТАЈ

Техничко решење „СИСТЕМ ЗА МЕРЕЊЕ И КОНТРОЛУ ВИБРАЦИЈА КОТРЉАЈНИХ ЛЕЖАЈА“, аутора: др Војина Илић, доцента, др Александра Живковић, доцента, др Николе Јорговановић, редовног професора, др Милана Зељковић, редовног професора, др Дарка Станишић, доцента и Николе Попова, мастер инжењера електротехнике, је описано у Елаборату који садржи 39 страница формата А4 написаних фонтом 12 са нормалним проредом. Елаборат садржи шест поглавља у које спада и списак коришћене литературе са 30 литературна наслова. Као посебна целина у оквиру Елабората дати су и Прилози. Наслови поглавља су:

1. Увод
2. Научно-стручне подлоге техничког решења
3. Теоријске подлоге за развој система за мерење и контролу вибрација котрљајних лежаја
4. Опис система за мерење и контролу вибрација котрљајних лежаја
5. Закључак
6. Литература

Прилози

Техничко решење припада области софтвера предвиђеног за мерење и контролу вибрација котрљајних лежаја и реализовано је у оквиру пројекта „Савремени прилази у развоју специјалних решења улежиштења у машинству и медицинској протетици“ ТР-35025 из програма технолошког развоја Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије.

Систем за мерење и контролу вибрација котрљајних лежаја се користи на Факултету техничких наука као средство за усавршавање процеса мерења и контроле лежаја и у предузећу „ФКЛ“ из Темерина које се бави развојем и изградом лежаја и кардана.

У поглављу *Увод* полази се од значаја мерења и контроле вибрација котрљајних лежаја, те констатује непрекидан развој уређаја и програмских система за мерење истих. Поред тога, су вибрације које настају у лежају сврстане у четири категорије, те се наглашава чињеница да се праћењем нивоа вибрација лежаја може утврдити квалитет истих. На крају се указује на могућности и подручје примене система за мерење и контролу вибрација котрљајних лежаја.

Поглавље *Научно-стручне подлоге техничког решења* указује на одређене постојеће методе за анализу истог. Указује се и на велики утицај избора методе за обраду сигнала у временском и фреквентном домену. На основу најновијих литературних извора се приказују резултати истраживања, где се запажа и увођење нових метода за обраду сигнала. Сем Фуријерове трансформације, указује се и на примену, у најновије време, методе енvelope, као методе у обради сигнала у циљу идентификације оштећења лежаја у фреквентном домену. Анализирани радови су указали на могућност квантитативне оцене квалитета лежаја, праћењем нивоа вибрација.

У поглављу *Теоријске подлоге за развој система за мерење и контролу вибрација котрљајних лежаја* су дефинисане технике анализе вибрација лежаја у временском и фреквентном домену. За анализу сигнала са лежаја у реалном времену у техничком решењу је примењена Фуријерова трансформација над целим опсегом мерног сигнала. Након тога, се одређује спектрална густина амплитуда, да би се на крају одредила спектрална густина ефективних вредности за три мерна опсега у зависности од испитиваног лежаја. Такође, се израчунава и максимална вредност амплитуде у целом мерном опсегу.

У поглављу *Опис система за мерење и контролу вибрација котрљајних лежаја* је описана општа структура и реализација система. Структура система за мерење вибрација котрљајних лежаја је

описана парцијално кроз опис и начин функционисања сваког дела засебно. Предложени систем се састоји од мерно-управљачког ормара и програмског решења за анализу вибрација котрљајних лежаја (VARB-01 - *Vibration Analysis of Roller Bearing*). Систем је уграђен на постојећи мерно-контролни уређај, а служи за испитивање, анализу и дијагностику котрљајних лежаја.

Мерно-управљачки ормар са програмским решењем VARB-01 пружа информације у четири фреквентна опсега: LOW, MEDIUM, HIGH и PEAK. Ови резултати се приказују у $\mu\text{m/s}$. Различити фреквентни сигнали који се добијају од компоненти лежаја у предложеном техничком решењу могу се мерити и анализирати у временском или фреквентном домену са различитим дигиталним техникама филтрирања.

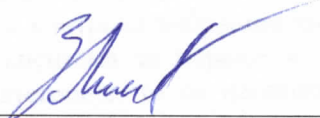
Вредност мерних опсега зависи од избора броја обртаја вретена уређаја. За ниске бројеве обртаја (700 o/min) вредности опсега су у границама: 20-120 Hz; 120-700 Hz; 700-4000 Hz, 20-4000 Hz и 20-4000 Hz. При високим бројевима обртаја (1800 o/min) вредности опсега су у границама: 50-300 Hz; 300-1800 Hz; 1800-10000 Hz и 50-10000 Hz.

У **Закључку** се на основу представљених чињеница сумирају могућности развијеног система у истраживачким и активностима анализе вибрација котрљајних лежаја.

Прилози садрже електро шеме мерно-управљачког ормара, као и шему појачавача сигнала. Такође, у прилозима су приказани резултати мерења две групе лежаја која су испитивана у производним погонима партиципаната. Прва група лежаја се односи на интегрисани лежај точка возила, која спада у групу кугличних лежаја са косим додиром. Друга група испитиваних лежаја припада радијалним кугличним лежајима серије 62.

МИШЉЕЊЕ

Аутори техничког решења „СИСТЕМ ЗА МЕРЕЊЕ И КОНТРОЛУ ВИБРАЦИЈА КОТРЉАЈНИХ ЛЕЖАЈА” су елаборатом детаљно описали методологију мерења и контроле вибрација котрљајних лежаја. Карактеристике и структура система за мерење вибрација котрљајних лежаја указују да ово техничко решење представља допринос у подручју анализе понашања котрљајних лежаја. Предлажемо Наставно научној већи Факултета техничких наука Универзитета у Новом Саду, да „СИСТЕМ ЗА МЕРЕЊЕ И КОНТРОЛУ ВИБРАЦИЈА КОТРЉАЈНИХ ЛЕЖАЈА” (М-85) прихвати као ново техничко решење.



Проф. др Зоран Миљковић,
Машински факултет, Београд



Проф. др Саша Живановић,
Машински факултет, Београд

У Београду, 12.05. 2016. год.



УНИВЕРЗИТЕТ
У НОВОМ САДУ



ФАКУЛТЕТ
ТЕХНИЧКИХ НАУКА

Трг Доситеја Обрадовића 6, 21000 Нови Сад, Република Србија
Деканат: 021 6350-413; 021 450-810; Централа: 021 485 2000
Рачуноводство: 021 458-220; Студентска служба: 021 6350-763
Телефакс: 021 458-133; e-mail: ftndean@uns.ac.rs

ИНТЕГРИСАНИ
СИСТЕМ
МЕНАџМЕНТА
СЕРТИФИКОВАН ОД:



Наш број: 01.сл

Ваш број:

Датум: 2016-06-02

ИЗВОД ИЗ ЗАПИСНИКА

Наставно-научно веће Факултета техничких наука у Новом Саду, на 16. редовној седници одржаној дана 25.05.2016. године, донело је следећу одлуку:

-непотребно изостављено-

ТАЧКА 13. Питања научноистраживачког рада и међународне сарадње

Тачка 13.1.2.: На основу позитивног извештаја рецензената верификује се техничко решење (М85) под називом:

"СИСТЕМ ЗА МЕРЕЊЕ И КОНТРОЛУ ВИБРАЦИЈА КОТЉАЈНИХ ЛЕЖАЈА"

Аутори техничког решења: Војин Илић, Александар Живковић, Никола Јорговановић, Милан Зељковић, Дарко Станишић, Никола Попов.

-непотребно изостављено-

Записник водила:

Јасмина Димић, дипл. правник

Тачност података оверава:
Секретар

Иван Нешковић, дипл. правник



Декан

Проф. др Раде Дорословачки