

VIBRODIJAGNOSTIKA STANJA ELEKTROMOTORA SA OŠTEĆENIM ROTOROM**VIBRATION ANALYSIS OF ELECTRIC MOTOR WITH DAMAGED ROTOR**Siniša Kraljević, Ninoslav Zuber, Dejan Reljić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Mašinstvo – MEHANIZACIJA I KONSTRUKCIONO MAŠINSTVO**

Kratak sadržaj – Održavanje mašina po stanju, merenje vibracija rotirajućih mašina u cilju određivanja stanja mašine, dijagnostika stanja elektromotornih pogona na bazi merenja vibracija, osnovni pokazatelji oštećenja elektromotornih pogona, eksperiment.

Ključne reči: Vibracije, održavanje po stanju, stanje rotora elektromotora, stanje statora elektromotora

Abstract – Maintenance of machines by condition, vibration measurement on rotating machines in order to determine the machine operating condition, diagnostics of the condition of electric motor drives based on vibration measurement, basic indicators of damage of electric motor drives, experiment.

Keywords: Vibrations, Condition based maintenance, condition of rotor in electric motor, condition of stator of electric motor

1. UVOD

Mera uspešnosti konstrukcije mašine se osim ocene ispunjenja predviđene funkcije ogleda i u dužini njenog životnog veka, pouzdanosti, preciznosti, potrošnji energije i nivou buke i vibracija koje se emituju u toku rada. Stoga je veoma bitno da se u fazi razvoja krajnje verzije tehničke dokumentacije mašine, odnosno kroz ispitivanje prototipova, izvrši lokalizacija svih prisutnih izvora buke i vibracija u toku rada. Nakon identifikacije izvora buke i vibracija, vrši se modifikacija tehničke dokumentacije, modifikacija ili izrada novog prototipa i njegovo ispitivanje [1].

Osim u fazi projektovanja, ispitivanje vibracija se koristi i za održavanje mašina po stanju. Tokom rada mašine, njeni delovi se habaju, čime se menjaju dimenzije delova. Promena dimenzija delova dovodi do neuravnoteženog rada i stvaranja vibracija. Kako bi se izbegle havarije, potrebno je obavljati redovnu vibrodijagnostiku mašina, kako bi se uočile promene koje su nastale kao posledica rada mašine. Detektovanjem uzroka povišenih vibracija pre nastanka kvara, omogućeno je sprečavanje neplanskih zastoja i pratećih posledica. Vibrodijagnostika je metoda ispitivanja bez razaranja. Njenom primenom nije potrebno rastaviti mašinu da bi se uočio kvar i nije potrebno zaustaviti radni proces da bi se obavilo merenje.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Ninoslav Zuber, vanr. prof.

2. POSTUPAK EKSPERIMENTA**2.1. Opis radnog stola**

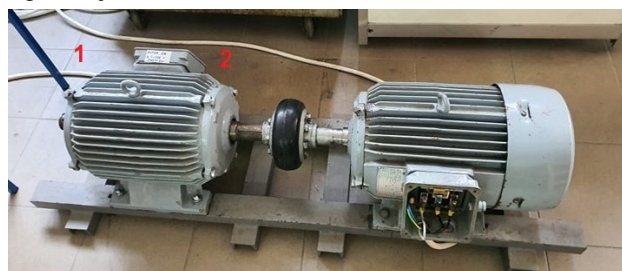
Radni sto je izveden od dva elektromotora, od kojih jedan radi u režimu elektromotora, dok drugi radi u generatorskom režimu i obavlja funkciju kočenja elektromotora. Tokom izvođenja eksperimenta, ispitivani motor je napajan direktno iz mreže. Druga mašina, koja je predstavljala opterećenje, napajana je iz četvorokvadratnog pretvarača (ACS 800), proizvođača ABB. Ova mašina je radila u generatorskom režimu, a regulisana je po momentu. Na taj način je bilo moguće podesiti vrednosti momenta opterećenja ispitivanom motoru.

Prilikom snimanja zaletne karakteristike ispitivanog motora, u cilju snimanja kritičnog broja obrtaja, ispitivani motor je napajan iz energetskog pretvarača (FC 302), proizvođača Danfoss. Zalet neopterećenog ispitivanog motora obavljen je po rampi čije je vreme podešeno na 30 sekundi.

Podaci o motorima:

- Tip: 1.RZK 160 M-4, trofazni asinhroni kavezni motor
- Proizvođač: ATB Sever, Subotica
- Nominalna snaga: 11 kW
- Nominalni napon: 420 V
- Nominalna struja: 22 A
- Nominalna frekvencija: 50 Hz
- Nominalna brzina obrtanja: 1438 min⁻¹
- Sihrona brzina obrtanja: 1500 RPM (min⁻¹)
- Broj polova: 4 (četvoropolni motor)
- Broj rotorskih štapnih provodnika: 28
- Broj statorskih utora (žlebova): 36
- Nepogonski i pogonski ležajevi: 6210-2Z/C3 SKF

Elektromotor je sa generatorom spojen elastičnom spojnicom, kako bi se kompezovala nesaosnost vratila, radi česte izmene rotora, radi obavljanja različitih ispitivanja.



Slika 1. Izgled radnog stola

2.2. Primenjena oprema tokom ispitivanja

Veza mernog pretvarača vibracija i objekta ispitivanja je ostvarena korišćenjem jakog dvopolnog magneta prilikom merenja nad svim obavljenim testovima.

Za snimanje signala vibracija i struje motora pri različitim testovima koji su sprovedeni, korišćena je sledeća oprema:

1. Prenosivi četvorokanalni analizator vibracija (OneProd Falcon) u Premium verziji (Slika 2).

Na grafičkom prikazu uređaja, za odabrano merno mesto, vibrodijagnostičar ima spisak svih definisanih vibracionih iskaza. Nakon uspešno završenog snimanja, vibrodijagnostičar povezuje prenosivi analizator vibracija sa računarom i prebacuje podatke u softver.



Slika 2. Analizator vibracija

2. Bežični troaksijalni akcelerometar (OneProd WLS) (Slika 3)

Primena akcelerometra sa šiljatim vrhom je bila neophodna, radi nemogućnosti montaže drugih akcelerometara. Primenom ovog tipa akcelerometra dobijamo najlošiju prenosnu karakteristiku mer og pretvarača. Sopstvena frekvencija je značajno narušena zbog smanjene krutosti i značajno dodate mase na sam senzor - gornja granica linearnog opsega je 500 Hz – 800 Hz. Ovo znači da ispravnim smatramo samo snimljene komponente vibracionog signala do 800 Hz a sve preko toga nije merodavno.



Slika 3. Bežični troaksijalni akcelerometar u radu

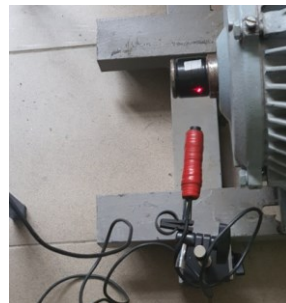
3. Kablovski jednoaksijalni akcelerometri (model: ASH201)



Slika 4. Kablovski jednoaksijalni akcelerometar

4. Softverski paketi: OneProd XPR, OneProd Nest, dbFA Suite i MeScope
5. Prenosivi merač faze (model: SPSR IM)

Prilikom montaže merača faze, potrebno je za vratilo zalepiti reflektujuću traku, koja služi da vrati laserski zrak u merač. Time se dobija zavisnost broja obrtaja [Hz] i vremena zaletanja [s].



Slika 4. Laserski davač faze

6. Strujna klemna (model: A662, Tektronix)



Slika 5. Strujna klemna

3. REZULTATI EKSPERIMENTA

3.1. Vrsta primenjenih ispitivanja

Merno mesto „1“ je kod nepogonskog ležaja, dok je mesto „2“ kod pogonskog ležaja (Slika1). Merno mesto za snimanje struje mora se nalaziti na fazi broj 1 (Slika 4).

Izvršena su sledeća ispitivanja:

1. Snimanje vibracija i struje motora u stacionarnom radu pri sledećim nivoima opterećenja:
 - a) Prazan hod
 - b) 50% opterećenja
 - c) 75% opterećenja
 - d) 100% opterećenja

Za različite tipove merenja definisani su različiti skalarni i vektorski iskazi vibracionih signala.

Snimljeni su sledeći skalarni iskazi vibracionih signala:

1. Ovr1: Vibration velocity – Sumarna brzina vibracija sa RMS normalizacijom amplitude u frekvencijskom opsegu od 2 Hz do 1 kHz, mm/s
2. Ovr1: Acceleration – Sumarno ubrzanje sa RMS normalizacijom amplitude u frekvencijskom opsegu od 2 Hz do 20 kHz, g ($1g=9,81 \text{ m/s}^2$).
3. Ovr1: Absolute displacement – Sumarni iskaz apsolutnih pomaka sa True Peak-Peak normalizacijom amplitude u frekvencijskom opsegu od 2 Hz do 300 Hz, μm
4. DEF: Faktor oštećenosti kotrljajnog ležaja

5. KURT: Kurtosis parametar za ocenu prisustva udarnih komponenti u signalu
6. LF – 2/200 Hz: Sumarno ubrzanje sa RMS normalizacijom amplitude u frekvencijskom opsegu od 2 Hz do 200 Hz, g ($1g=9,81 \text{ m/s}^2$)
7. LF – 200/2000 Hz: Sumarno ubrzanje sa RMS normalizacijom amplitude u frekvencijskom domenu od 200 Hz do 2000 Hz, g ($1g=9,81 \text{ m/s}^2$)
8. LF – 2000/20000 Hz: Sumarno ubrzanje sa RMS normalizacijom amplitude u frekvencijskom domenu od 2000 Hz do 20000 Hz, g ($1g=9,81 \text{ m/s}^2$)
9. Spektralne ekstrakcije: komponenta rotorskih štapnih provodnika – RBF

Snimljeni su sledeći vektorski iskazi vibracionih signala:

1. Frekventni spektar u jedinicama ubrzanja u opsegu od 2 Hz do 200 Hz sa 3200 linija
2. Frekventni spektar u jedinicama ubrzanja u opsegu od 2 Hz do 2000 Hz sa 6400 linija
3. Frekventni spektar u jedinicama ubrzanja u opsegu od 2 Hz do 20000 Hz sa 3200 linija
4. Frekventni spektar u jedinicama brzine u opsegu od 2 Hz do 200 Hz sa 3200 linija
5. Frekventni spektar u jedinicama brzine vibracija u opsegu od 2 Hz do 2000 Hz sa 6400 linija
6. Frekventni spektar u jedinicama brzine vibracija u opsegu od 2 Hz do 20000 Hz sa 3200 linija
7. Frekventni spektar u jedinicama pomaka u opsegu od 2 Hz do 200 Hz sa 3200 linija
8. Frekventni spektar u jedinicama pomaka u opsegu od 2 Hz do 2000 Hz sa 6400 linija
9. Frekventni spektar u jedinicama pomaka u opsegu od 2 Hz do 20000 Hz sa 3200 linija
10. Vremenski zapis ubrzanja snimljen frekvencijom uzrokovanja od 25.6 kHz dužine 512000 tačaka
11. Vremenski zapis brzine vibracija snimljen frekvencijom uzrokovanja od 25.6 kHz dužine 512000 tačaka
12. Spektri enveloipnog ubrzanja oko 6 kHz, zaktora zumiranja 8x, 3200 linija spektra

Za snimanje struje snimljeni su sledeći vektorski iskazi vibracionih signala:

1. Vremenski zapis ubrzanja snimljen frekvencijom uzrokovanja od 5.12 kHz dužine 512000 tačaka

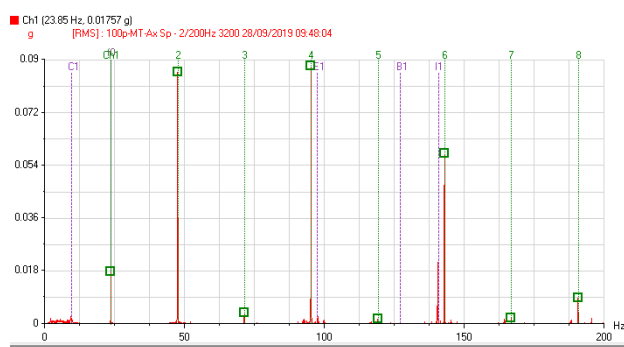
3.2. Dijagramski prikaz rezultata eksperimenta

Primenjene oznake na dijagramima:

- f_0 – marker broja obrtaja
- E1 – marker oštećenja ležaja na spoljašnjoj stazi
- I1 – marker oštećenja ležaja na unutrašnjoj stazi
- B1 – marker oštećenja ležaja na kotrljajnom telu
- C1 – marker oštećenja kaveza ležaja
- RBF – komponenta rotorskih štapnih provodnika

Ležajevi motora su blago oštećeni. U spektrima vibracija se vide komponente oštećenja unutrašnje staze. U

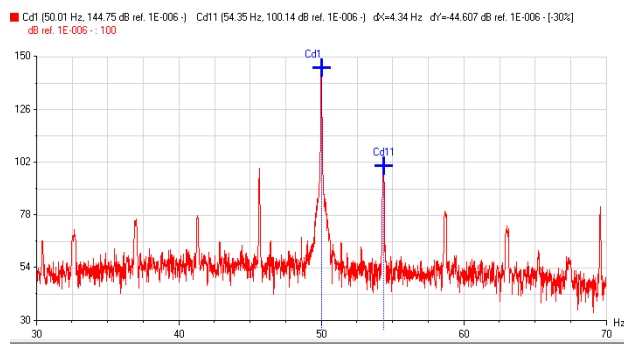
frekventnom spektru vibracija se vidi oštećenje ležaja na unutrašnjoj stazi I1.



Dijagram 1. Frekventni spektar, Sp 2/200 Hz na mestu pogonskog ležaja u aksijalnom pravcu, [g], pri 100% opterećenja

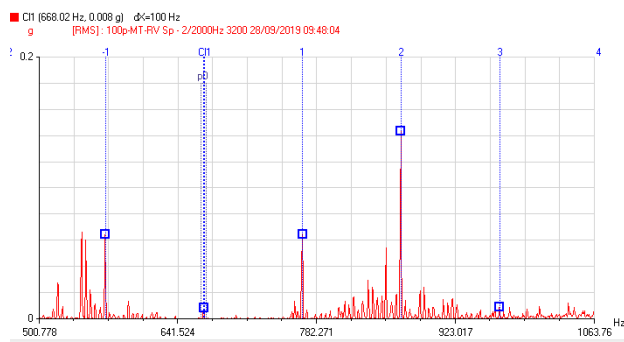
Rotor poseduje oštećenje štapnih provodnika, što se jasno vidi na spektrima struje, gde je izmereno 44.67 dB relativne razlike amplitude između mrežne frekvencije i bočnog pojasa komponente prolaska između polova (Dijagram 2).

Kako i očekivano, najmanja relativna razlika je izmerena pri najvećem opterećenju motora.



Dijagram 2. Spektar struje na 100 % opterećenja, [dB]

Ujedno i u spektrima vibracija vidi oštećenje rotora i kroz postojanje amplitude modulacije dvostruke mrežne frekvencije (100 Hz), oko komponente rotorskih štapnih provodnika ($RBF=28xf_0$) – Dijagram 3.



Dijagram 3. Frekventni spektar, Sp 2/2000 Hz na mestu pogonskog ležaja u vertikalnom pravcu, zumiran oko RBF, [g], pri 100% opterećenja

4. ZAKLJUČAK

Ležajevi motora su blago oštećeni, tako da se preporučuje češća kontrola ležajeva. Trenutno, zamena ležajeva nije potrebna, samo češće praćenje stanja.

Iz analize spektra struje je izmereno 44.67 dB relativne razlike amplitude između mrežne frekvencije i bočnog pojasa komponente prolaska između polova. Kada se ovaj podatak uporedi sa preporukama, zaključuje se da postoji veliki otpor u spojnim prstenovima ili da su napukli rotorski štapni provodnici – rotor motora je potrebno remontovati.

5. LITERATURA

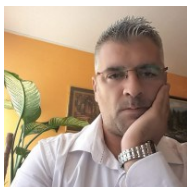
- [1] N. Zuber, Vibrodijagnostika rotirajućih mašina, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2014.
- [2] D. Reljić, Otkrivanje kvarova rotora kaveznog asinhronog motora primenom tehnika analize terminalnih veličina, Doktorska disertacija, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2017.

Kratka biografija:



Siniša Kraljević je student Master studija na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu na Katedri za mašinske konstrukcije, transportne sisteme i logistiku. Diplomski rad je odbranio 2018. godine na temu: „Vibracije mostne dizalice“. Oblasti interesovanja su teorijska i primenjena mehanika, mašinske vibracije i nelinearne oscilacije.

kontakt: sinisakraljevic92@gmail.com



dr Ninoslav Zuber je vanredni profesor na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu i šef Katedre za mašinske konstrukcije, transportne sisteme i logistiku. Sertifikovani je instruktor i član tehničkog komiteta Mobius instituta za obuku vibrodijagnostičara. Oblasti interesovanja su metode vezane za metode eksperimentalne mehanike i vibrodijagnostička i akustička ispitivanja rotacione opreme.

kontakt: zuber@uns.ac.rs



dr Dejan Reljić je docent na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu. Oblasti interesovanja su elektromotorni pogoni i detekcija i identifikacija kvarova električnih mašina.

kontakt: reljic@uns.ac.rs