



## POBOLJŠANJE KVALITETA DIJAGNOSTIKE ASINHRONOG MOTORA PRIMENOM METODE UDARNOG IMPULSA

### THE QUALITY OF ASYNCHRONOUS MOTOR DIAGNOSTIC IMPROVEMENT USING SPM (SHOCK-PULSE-MEASUREMENT) METHOD

Zoran Marjanović<sup>1)</sup>, Radomir Brzaković<sup>2)</sup>, Dejan Krstić<sup>3)</sup>

**Rezime:** Neočekivana pojava otkaza asinhronog motora u pogonima može izazvati velike materijalne troškove. Primenom adekvatnih dijagnostičkih metoda, otkaze možemo otkriti na vreme. U tom slučaju planiranje servisiranja i nabavke rezervnih delova su olakšani. Da bi dijagnostičke metode bile primenljive, neophodno je odabrati veličine iz kojih će se dobiti najviše podataka za dijagnostiku otkaza. Dijagnostika asinhronih motora je u svetskoj tehničkoj praksi područje koje se vrlo intenzivno razvija. Današnja tendencija dijagnostike je korišćenje metoda koje ne zahtevaju zaustavljanje asinhronog motora, a jedna od tih metoda je i metoda udarnog impulsa. U radu su dati rezultati dijagnostike otkaza asinhronog motora metodom udarnog impulsa u pogonima Zastava automobila.

**Ključne reči:** dijagnostika, metoda udarnog impulsa, kvalitet

**Abstract:** Unforeseen event of failure at asynchronous motor in industrial plants can produce a big material expenses. With adequate diagnostic methods, it is possible to find failures just in time. In that case, service planing and spare parts purchasing are much easier. If diagnostic method should be applicable, it is necessary to choose variables from which it can be obtained the most of data for failure diagnostic. Diagnostic of asynchronous motor in the world technical practice is the area in very expansive development. Today's tendencies for diagnostic is using methods which do not demand stopping for asynchronous motor, and one of these method is SPM (S-Shock, P-Pulse, M-Measurement) method. In this paper are given the results for failure diagnostic of asynchronous motor using SPM method in Zastava automobiles plant.

**Key words:** diagnostic, SPM (S-Shock, P-Pulse, M-Measurement) method, quality

## 1. UVOD

Dijagnostika asinhronih motora je u svetskoj tehničkoj praksi područje koje se vrlo intenzivno razvija. U literaturi se spominju različite metode kojima je moguće ustanoviti čitav niz otkaza asinhronih motora. Današnja tendencija dijagnostike je korišćenje metoda koje ne zahtevaju zaustavljanje asinhronog motora, a jedna od tih metoda je i metoda udarnog impulsa – SPM metoda [1].

## 2. DIJAGNOSTIKA

U tabeli 1 su definisani osnovni pojmovi, nazivi i definicije. Uloga dijagnostike je otkrivanje otkaza motora ili pojedinih njegovih delova u najranijoj mogućoj fazi, a samim tim povećava se pouzdanost i raspoloživost motora. Osnova

dijagnostike je upoređivanje stvarnih i željenih ponašanja, odnosno parametara motora. U tome nam pomažu dijagnostički parametri i zato je bitno izabrati one prave. Dijagnostički parametar je merljiva fizička veličina (vibracije, buka, temperatura itd.) prisutna u procesu rada motora. Parametar mora da zadovolji sledeće zahteve [3]:

- jednoznačnost promene,
- dovoljnu osetljivost promene i
- pristupačnost i lakoću merenja.

Osnovna korist dijagnostike ogleda se u [3]:

- prelasku od korektivnog ka proaktivnom održavanju,
- smanjenju rizika materijalne štete,
- povećanju eksploatacione pouzdanosti,
- povećanju srednjeg vremena između otkaza i
- minimiziranju neplaniranih zastoja.

1) Zoran Marjanović, dipl. maš. ing., ZA-Institut za automobile, Kragujevac

2) Radomir Brzaković, dipl. inf., ZA-Informacioni sistemi, email :brzijax@yahoo.com

3) Dejan Krstić, dipl. maš. ing., Grupa Zastava Vozila, e-mail: krstic.dejan@zastava.net

<b>Otkaz</b> (Failure)	Uzrok odstupanja od nazivnog rada. Posledica otkaza je nedozvoljena promena parametara zbog koje je onemogućen pravilan rad motora. U težim slučajevima izaziva trajni prestanak sposobnosti motora za obavljane željene funkcije pod zadanim parametrima
<b>Praćenje stanja</b> (Condition Monitoring)	Periodičko ili neprekidno (on-line) nadgledanje rada motora u cilju otkrivanja stanja motora. Obuhvata prikupljanje, obradu i analizu pojedinih veličina iz kojih se mogu dobiti informacije o stanju motora.
<b>Održavanje</b> (Maintenance)	Tehničke radnje preduzete u cilju da se motor održi ili vrati u stanje da može ispunjavati traženu funkciju.
<b>Preventivno održavanje</b> (Preventive maintenance)	Održavanje koje se izvodi prema unapred određenim intervalima ili odgovarajućim propisanim kriterijima, u cilju smanjenja verovatnoće nastanka otkaza. Izvodi se prema utvrđenim terminima i vremenu rada motora.
<b>Dijagnostika</b> (Diagnostics)	Određivanje stanja motora. Na osnovu iskustava i znanja određuje se mesto otkaza. Određivanje uzroka odstupanja parametara motora.
<b>Nadgledanja</b> (Supervision)	Aktivnosti koje se vrše ručno ili automatski u cilju određivanja stanja motora.
<b>Ekspertiza</b> (Expertise)	Ocena stanja i davanje mišljenja i preporuka za zamenu, popravku, reviziju ili revitalizaciju delova motora. Zasniva se na znanjima specijalista za pojedine tehničke oblasti, a na osnovu izvedenih dijagnostičkih ispitivanja, najčešće u servisima za popravku motora.

*Tabela 1. Osnovni pojmovi, nazivi i definicije [4]*

### 3. NAJČEŠĆI OTKAZI ASINHRONOG MOTORA

U tabeli 2 dat je procentualni prikaz raspodele otkaza asinhronih motora u Kragujevačkoj Zastavi automobila za 2005. godinu (na popravci je bilo 180 asinhronih motora).

Otkaz	% ukupnih otkaza
Namotaja statora	12,94
Namotaja rotora	29,65
Sklopa statora	11,34
Sklopa rotora	13,25
Ležajeva	26,5
Ostalo	6,32

*Tabela 2. Procentualna raspodela otkaza asinhronih motora u Fabrici Automobila, 2005.*

Kao što se iz tabele 2 vidi, veliki procenat otkaza ima otkaz ležajeva, čak 26,5 %. Pojava otkaza ovog elementa najčešće izaziva ozbiljna oštećenja i na ostalim tribomehaničkim sistemima. Sa ovog aspekta, ležajevi se smatraju kritičnim komponentama, jer njihovi otkazi najčešće prouzrokuju dugotrajne neplanirane zastoje. Otkaz ležaja u praksi je nemoguće izbeći. Faktori koji utiču na otkaz ležajeva prikazani su na slici 1.



*Slika 1. Faktori koji utiču na otkaz ležajeva [6]*

Ipak, pravovremeno utvrđeno pogoršanje stanja ležaja obezbeđuje dovoljno vremena za planiranje i sprovođenje aktivnosti u cilju sprečavanja iznenadne pojave otkaza. Na ovaj način se povećava pouzdanost i raspoloživost asinhronog motora.

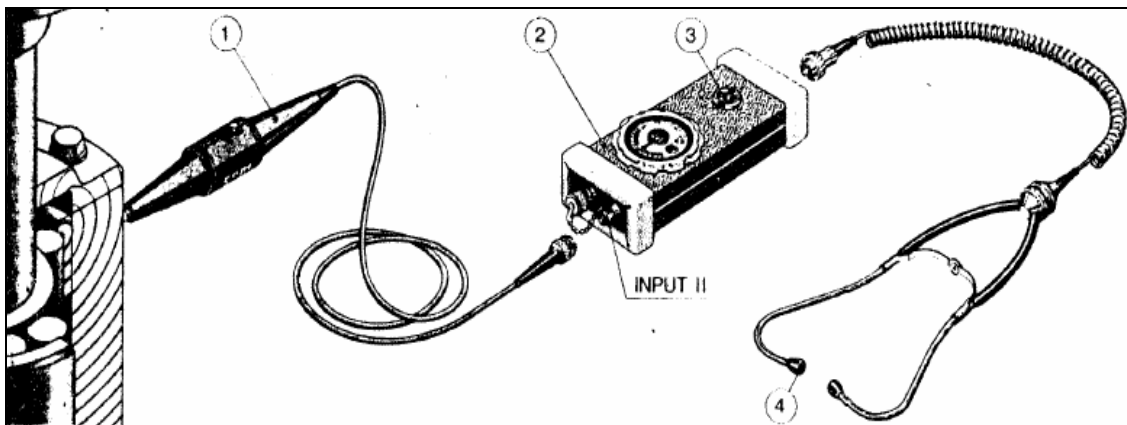
U cilju pravovremenog otkrivanja predstojećeg otkaza neophodno je sprovesti dijagnostiku stanja ležajeva u toku rada asinhronog motora. Kroz dijagnostiku treba sagledati trenutno stanje kao i uslove podmazivanja ležaja.

Zbog značaja ležajeva, razvijeno je više metoda za dijagnostiku njihovog stanja. Jedna od najčešće korišćenih metoda za dijagnostiku ležajeva asinhronog motora je metoda udarnog impulsa, pa ćemo ovoj metodi u radu posvetiti posebnu pažnju.

#### 4. METODA UDARNOG IMPULSA (SPM-METODA)

Metoda udarnog impulsa ili SPM-metoda (S-Shock, P-Pulse, M-Measurement) je uglavnom namenjena za preventivno održavanje ležajeva. Merenjem pomoću ove metode dobijamo

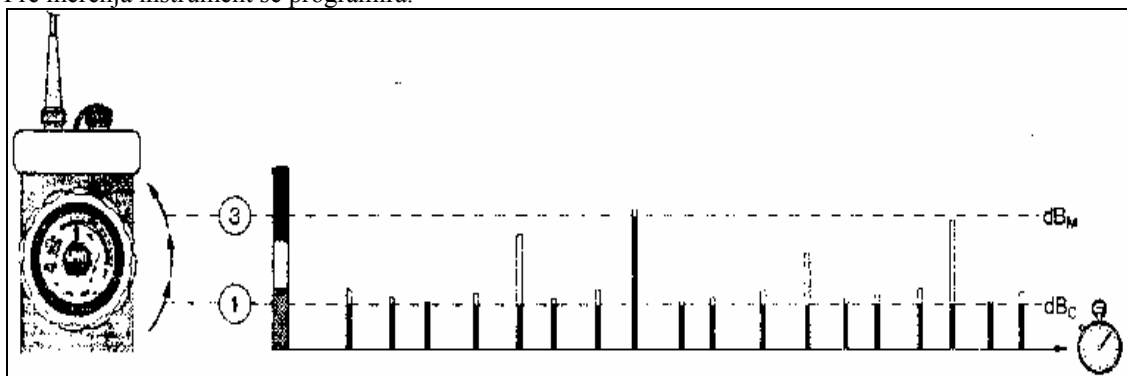
indirektnu meru brzine udara, tj. razlike u brzini između dva tela u momentu sudara. Na mestu sudara stvara se u oba tela neposredno jedan mehanički talas pritiska, tzv. udarni impuls. Maksimalnu vrednost udarnog impulsa određuje brzina udara. Šematski prikaz SPM-uređaja dat je na slici 2.



Slika 2. SPM-uređaj i njegovi sastavni delovi [6]

Prijemnik (1) prima udarne impulse, a signali iz prijemnika se obrađuju u instrumentu za merenje udarnih impulsa (2). Merni instrument se podešava na temelju zvučnih impulsa, koji se mogu čuti direktno na instrumentu za merenje udarnih impulsa (3), ili pomoću naglavne slušalice (4). Dobijene vrednosti udarnih impulsa zajedno sa ritmom udarnih impulsa služe kao osnova za utvrđivanje aktuelnog pogonskog stanja u ležaju. Pre merenja instrument se programira.

Sam princip funkcionisanja uređaja sastoji se u sledećem: Jedan mehanički udar u nekom ležištu (usled njegovog oštećenja) izaziva impuls koji registruje instrument u vidu zvučnog signala. Na skali instrumenta se može očitati vrednost tog signala. U zavisnosti od okretanja ručnog kola na instrumentu od početne tačke 0 na dBn skali, u smeru suprotnom od kazaljke na satu, može se čuti trajni ton sastavljen od zvučnih impulsa.



Slika 3. Opis SPM-metode [6]

Položaji (1) i (3) sa slike 3. su važni za merenje udarnih impulsa, čija se vrednost očitava na skali ručnog kola dBn – koja je normirana u decibelima. Položaj (1) je moment kada zvučni impulsi prestaju da stvaraju trajni ton-ta mera vrednosti se naziva osnovnom vrednošću (dBc). Položaj (3) je dostignut u momentu kada zvučni impulsi postanu ređi ili sasvim izostanu (dBm).

Skala na instrumentu dBn ima zeleno, žuto i crveno polje, koje služi kao putokaz prilikom određivanja stanja. Zeleno polje odgovara dobrom

stanju ležaja, žuto ukazuje na ograničen vek trajanja i crveno na loše stanje ležaja.

#### 5. REZULTATI DIJAGNOSTIKE STANJA LEŽAJEVA SPM METODOM

Na slici 4 prikazano je dijagnostike stanja ležaja asinhronog motora SPM metodom u pogonu Površinske zaštite – Zastave automobila.



**Slika 4. Dijagnostike stanja ležaja SPM metodom u pogonu**

Tabela 3 daje vrednosti udarnog impulsa dBc, dBm i dB ležajeva asinhronih motora snage P = 11 kW, proizvođača Sever-Subotica. Vrednosti udarnog impulsa dBc i dBm izmerene su SPM

metodom i upoređene sa računski izračunatom vrednosti udarnog impulsa dB prema jednačini 1:

$$dB = 20(\log n + 0,6 \log d - \log 2150) \quad (1)$$

gde je: n-broj obrtaja motora,  $o/min$ , ad-unutrašnji prečnik ležaja, mm

Ispitivani tehnički sistem: Asinhroni motor ZK160M-4						
Merno mesto	Tip ležaja	Broj obrtaja ( $min^{-1}$ )	dBi	Kvalitet podmazivanja (dBc)	Stanje ležaj (dBm)	Potrebne aktivnosti na korekciji stanja
L1	62102ZC3	1440	17	15	25	/
L2	62102ZC3	1440	17	24	44	PL – pregled ležaja

NAPOMENA: Merenje na ležaju L1 izvršeno na poklopcu ventilatora elektromotora

**Tabela 3. Nalaz o stanju ležajeva asinhronog motora snage P=11 kW**

Iz table 3 se vidi da od dva ispitivana ležaja asinhronih motora, ležaj L2-62102ZC3 ima visoke vrednosti udarnog impulsa.

Kako je merenjem utvrđena visoka vrednost udarnog impulsa, onda treba ustanoviti uzrok pogoršanog (lošeg) pogonskog stanja ležaja, tj. treba izvršiti pregled ležaja-PL. Tek posle toga mogu se preduzeti odgovarajuće mere na sanaciji postojećeg stanja.

Oštećenje ležaja je samo jedan od mogućih uzroka lošeg pogonskog stanja. Zato bi pri pregledu ležaja, generalno govoreći, trebalo imati u vidu sledeće osnovne elemente:

1. Izvršiti detaljan vizuelni pregled samog ležaja, uz kontrolu zazora (istrošenost elemenata ležaja). Pregledati i ostale elemente sklopa uležištenja, tj. da li su olabavljene veze delova, da li dolazi do zadiranja obrtnih delova o kućište ili

poklopac ležaja, postoji li oštećenje delova i slično.

2. Neuravnoteženost obrtnih masa, rad u oblasti kritičnog broja obrtaja, prednapregnutost ili velika opterećenost kotrljajućeg ležaja dovodi do lošeg pogonskog stanja. Potrebno je na osnovu informacija o postojećim nivoima vibracija na kućištu ležaja, čiji se pregledi vrše, otkloniti uzrok eventualno povećanih vibracija (neuravnoteženost, nesaosnost, olabavljenost mehaničkih veza i dr.).
3. Zaprljanost maziva takode dovodi do visokih vrednosti udarnog impulsa. U svakom slučaju, treba zameniti mazivo pre nego što se donese konačna odluka o zameni ležaja.

Kada se otklone eventualno uočeni nedostaci, ležaj treba podmazati i izvršiti ponovno merenje udarnog impulsa. Tada se mogu javiti tri slučaja:

1. Merna vrednost opada do prihvatljivog nivoa i više ne raste. Uzrok je, znači bilo zaprljano mazivo.
2. Merna vrednost opada, ali posle nekoliko sati opet raste. Uzrok je oštećenje ležaja.
3. Merna vrednost ne opada. Uzroci su veća oštećenja ležaja.

Da rezimiramo, treba uvek imati u vidu pravilo – nikada ne vršiti zamenu ležaja ZL pre nego što se utvrdi izvor i pravi uzrok visokih vrednosti udarnog impulsa (to je poslednja korektivna mera).

## 6. ZAKLJUČAK

U ovom radu su sva sprovedena dijagnostička ispitivanja i izračunavanje veličina urađeni prema međunarodnim VDI preporukama uz korišćenje mnoštva iskustvenih podataka. Ovakav pristup sprovođenju ispitivanja je u potpunosti u skladu s sistemom kvaliteta ISO 9000. Prednosti ovakvog ispitivanja su:

- izbegavanje grube greške pri preračunavanju očitanih veličina tokom prikupljanja podataka, čime se značajno smanjuje merna nesigurnost,
- smanjenje broja potrebnih ljudi uključenih u ispitivanje,

- pružanje dodatne garancije da su ispitivanja i izračunavanje karakterističnih veličina sprovedena korektno.

Obavljena dijagnostička ispitivanja upućuju na potrebu daljeg razvoja dijagnostičkih metoda u Zastava automobilima, kao što je automatizacija dijagnostike otkaza, što otvara mogućnost za primenu metoda umetne inteligencije, što bi moglo biti zanimljivo za daljnja istraživanja.

## LITERATURA

- [1] Jeremić B. i saradnici: Osnovi vibrodijagnostike, skripta za seminar, Mašinski fakultet, Kragujevac, 2006
- [2] Krause P. C.: Analysis of Electric Machinery, Mc Graw Hill, 1996.
- [3] Nandi S., Toliyat H. A: Condition Monitoring and Fault Diagnosis of Electrical Machines, IEEE Industry Applications Conference Thirty - Fourth IAS Annual Meeting, 1999.
- [4] Tavner P. J., Penman J: Condition Monitoring of Electrical Machines, John Wiley & Sons Inc., New York, 1997.
- [5] Mitraković B.: Asinhrona mašine, Naučna knjiga, Beograd, 1996.
- [6] Jeremić B.: Tehnologija održavanja tehničkih sistema, Mašinski fakultet, Kragujevac, 1992.