

Marjanović, Z., Brzaković, R.

ANALIZA OTKAZA ASINHRONIH MOTORA U POGONIMA ZASTAVA AUTOMOBILIMA

Rezime: Postojeći standardi različito definišu faze menadžmenta rizikom, što daje prostora za primenu po različitim modalitetima. Neočekivana pojava otkaza asinhronog motora u pogonima može izazvati velike materijalne troškove. Primenom adekvatne analize otkaza, otkaze možemo smanjiti. U radu su dati rezultati analize otkaza asinhronih motora u pogonima Zastava automobila.

Cljučne reči: analiza otkaza, održavanje, asinhroni motor

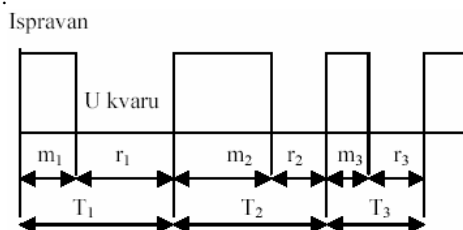
THE FAILURE ANALYSIS OF ASYNCHRONOUS MOTORS IN ZASTAVA AUTOMOBILES PLANTS

Abstract: Standards different treated the risk management process and gives possibility to use in various modality. Unforeseen event of failure at asynchronous motor in industrial plants can produce a big material expenses. With adequate failure analysis, failure is possible to minimize. In this paper are given the results for failure analysis of asynchronous motors in Zastava automobiles plants..

Key words: failure analysis, maintenance, asynchronous motor

1. OSNOVNI POJMOVI O POUZDANOSTI SISTEMA

U analizi otkaza asinhronih motora, prvenstvenu važnost ima činjenica da asinhroni motor pripada obnovljivom sistemu, odnosno sistemu koji se opravkom ili zamenom nekog elementa dovodi u ispravno stanje. Ovi sistemi, mogu se dakle nalaziti u dva stanja: ispravnom stanju i stanju obnavljanja (remonta). Ponašanje sistema može se prikazati u vidu vremenskog dijagrama sa dva stanja (ispravan i u kvaru), slika 1.



Slika 1. Vremenski dijagram sistema sa dva stanja

Za obnovljive sisteme, uvodi se pojam srednje vreme između otkaza:

$$T=m+r \quad (1)$$

gde je: m - srednje vreme ispravnog rada,
r - srednje vreme trajanja otkaza.

Recipročna vrednost srednjeg vremenskog ciklusa naziva se srednja učestanost otkaza:

$$f=1/T \quad (2)$$

Verovatnoća da će sistem sa datim vremenskim dijagramom biti ispravan u nekom proizvoljnom trenutku je:

$$A=m/(m+r) \quad (3)$$

Ova veličina kod obnovljivih sistema naziva se raspoloživost.

2. MODEL SLUČAJNIH OTKAZA

Verovatnoće otkaza različitih elemenata asinhronog motora, mogu se dobro aproksimirati određenim teorijskim raspodelama verovatnoće, pogotovu ako se poznaju osnovne karakteristike ponašanja takvih elemenata u toku vremena. Većina komponenti asinhronog motora izložena je retkim iznenadnim otkazima, koji najčešće nastaju pri startovanju motora. U ovom slučaju, verovatnoća se može opisati eksponencijalnom funkcijom.

3. MODEL OTKAZA USLED STARENJA SISTEMA

Po pravilu, u toku vremena se u raznim tehničkim sistemima pogoršavaju njihove performanse saglasno procesu starenja ovih sistema. U eksploataciji se vrši zamena pojedinih istrošenih delova opreme ili se vrši njihov remont u vreme preventivnih isključenja i revizija postrojenja. Ovo je razumljivo imajući u vidu dopunske troškove vezane sa otkaz elementa u toku procesa proizvodnje.

Preventivne zamene ili remontu neophodni su kod svih postrojenja koji stare, odnosno imaju rastući intenzitet otkaza. Sistemi sa eksponencijalnom raspodelom vremena između otkaza ne spadaju u ovu kategoriju i kod njih nema potrebe raditi preventivne zamene i remonte, što proističe iz same prirode elemenata sa ovakvom raspodelom. To su naime, elementi "bez starenja", kod kojih se novi element ni po čemu ne razikuje od elementa koji je određeno vreme u upotrebi. Preventivna zamena ili remont takode nemaju smisla ni kod onih sistema gde troškovi zamene (remonta) prevazilaze troškove korektivnog održavanja.

Ukoliko je poznata raspodela vremena do otkaza, moguće je pronaći optimalno vreme preventivnih remonata, minimizacijom ukupnih troškova.

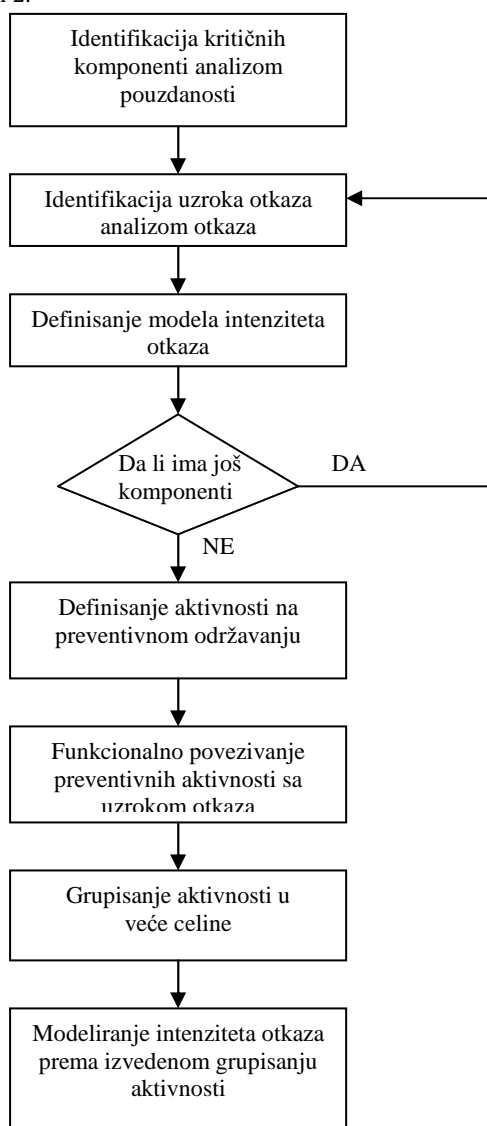
4. METODE ZA PRORAČUN POUZDANOSTI

Sve metode za analizu pouzdanosti mogu se podeliti u dve grupe:

- Analitičke metode, koje operišu na zatvorenom skupu podataka i izračunavaju statičke statističke pokazatelje pouzdanosti posmatranih stanja
- Simulacione metode, koje imitiraju stohastičku prirodu procesa tokom razmatranog vremena, i izračunavaju pokazatelje pouzdanosti na bazi dovoljno velikog broja simulacija

5. DEKOMPONOVANJE POJEDINAČNIH FAKTORA RIZIKA

Strategija za održavanje asinhronih motora bazira se na određivanje onih kritičnih komponenti sistema koji u najvećoj meri utiču na smanjenje pouzdanosti motora. Zbog toga se u ovom poglavlju vrši funkcionalna dekompozicija pojedinačnih faktora rizika za asinhronu motore u pogonu. Algoritam po kome se vrši proces dekompozicije prikazan je na slici 2.



Slika 2. Algoritam dekompozicije faktora rizika

Otkaz asinhronog motora predstavlja odstupanje rada motora od nazivnog. Posledica otkaza je nedozvoljena promena parametara zbog koje je onemogućen pravilan rad motora. Na osnovu [5], uzroci otkaza tehničkih sistema pa i asinhronog motora, mogu biti:

- otkaz usled sopstvene slabosti sistema koja je prouzrokovana greškom pri izradi ili konstruisanju,
- usled pogrešne upotrebe sistema od strane rukovodioca,
- habanje, zamor ili starenje materijala,
- primarni otkazi, odnosno, kao njihova posledica i sekundarni otkazi,
- karakteristike električne energije (struje), maziva i dr.,
- karakteristike procesa održavanja (sadržaja i vremena sprovođenja postupaka održavanja),
- slučajni uzroci.

Kod asinhronih motora otkazi nastaju kao posledica različitih naprezanja, koja se mogu podeliti u nekoliko grupa [2]:

- termička naprezanja,
- elektromagnetska naprezanja,
- dinamička i dodatna mehanička naprezanja.

Uzroci naprezanja mogu biti različiti [2]: radni moment, torzione vibracije, rezidualne sile nastale u procesu proizvodnje (livenja, mašinska obrada...), magnetske sile kao posledica ekscentriciteta, centrifugalne sile, termička naprezanja usled zagrevanja kratkospojenih prstena, termička naprezanja tokom pokretanja motora zbog skin efekta, termička naprezanja nastala istezanjem štapova.

Mehanički otkazi - Tokom rada asinhroni motor je izložen velikim mehaničkim naprezanjima. Ležajevi su posebno izloženi mehaničkim naprezanjima. Neki od najčešćih mehaničkih problema koji se sreću pri radu sa asinhronim motorima su [3]: istrošenost i otkazi ležajeva, mehanička neuravnoteženost, vibracije na rezonantnim frekvencijama.

Otkazi sklopa statora - Otkazi sklopa statora javljaju se relativno retko. Problemi se pojavljuju kada među limovima jarna dođe do spoja. Takve se greške javljaju tokom proizvodnje ili prilikom ubacivanja rotora u stator. Na mestu na kojem se pojavio spoj, javljaju se struje koje pojačano zagrevaju oštećeno mesto. U slučaju dovoljno velikih struja ili njihovog trajanja, oštećeno mesto se zagreva i u ekstremnim slučajevima, može doći do otapanja materijala i njegovog oticanja u prostor namotaja, gde dolazi do oštećenja izolacije i kratkih spojeva. Takođe, ovakvi se otkazi često javljaju kao posledica vibracija ili oštećenja ležajeva, usled čega dolazi do zakačinjanja rotora o stator. Rani pokazatelji ovih otkaza su velike vrtložne struje, lokalna zagrevanja i oštećenja izolacije.

Otkazi sklopa rotora - Zbog postojanja velikih centrifugalnih sila, velikim naprezanjima izloženi su ne samo namotaji već i sklop rotora. Mala površinska oštećenja (naprsnina) može se vrlo brzo proširiti u slučajevima velikih zagrevanja rotora. Osim centrifugalnih sila, mehanička naprezanja stvaraju i prelazne pojave kojima je motor izložen tokom rada. U slučajevima kada dođe do pojave rezonancije, mogu se pojaviti velike torzione oscilacije. Ova pojava može stvoriti oštećenje rotora.

Otkazi rotorskih namotaja - Razlozi otkaza rotorskih namotaja leže u tehničko-tehnološkoj izradi i uslovima rada motora. Tokom rada asinhroni je motor izložen velikim termičkim i mehaničkim naprezanjima. Usled tih naprezanja na štapovima i spojevima štapova sa prstenom nastaju lomovi i pukotine, koje se daljim radom povećavaju i šire. Budući da zbog oštećenja struja ne može teći kroz oštećeni štap, deo struje koji bi prirodno tekao kroz njega preuzimaju ostali štapovi, prvenstveno susedni, koji su zbog toga još više

izloženi naprezanjima. Kao posledica toga vrlo često nakon pucanja jednog štapa vrlo brzo dolazi do oštećenja susednih. Iako motor može nastaviti sa radom i u slučaju puknutog štapa, radne su mu karakteristike (moment, stabilnost brzine obrtanja...) narušene.

Isto tako, može se desiti da oštećeni deo štapa mehanički ošteti glave statorskog namotaja, što drastično povećava troškove popravke. Oštećenja kaveza posebno su opasna u uslovima eksplozivne okoline zbog mogućnosti varničenja.

U slučajevima intermitiranog rada, kada je motor izložen velikim promenama brzine ili učestalim pokretanjima, postoji opasnost nastanka otkaza usled zamora materijala. Rani pokazatelji ovih otkaza su pulsiranja brzine obrtanja i statorske struje.

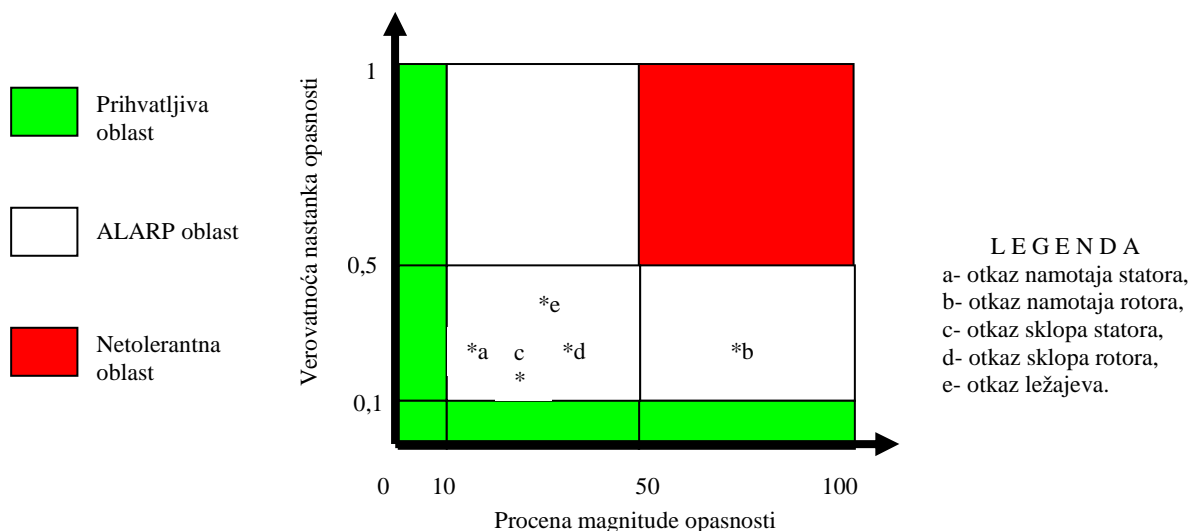
Oštećenja izolacije namotaja - Izolacija je jedan od najosetljivijih delova asinhronog motora i, posebno ranije, otkazi usled oštećenja i propadanja izolacije bili su vrlo česti. Moderne metode izoliranja, kao i najnoviji izolacijski materijali, poboljšali su mehaničke i izolacijske karakteristike. Ipak otkazi motora nastali isključivo zbog starenja izolacije, relativno su retki. Puno su češći otkazi nastali prodorom stranih materijala (ulje, metali...) u izolaciju. Iz tih je razloga neophodno u dijagnostička ispitivanja uključiti i ispitivanja izolacije.

U tabeli 1 dat je procentualni prikaz raspodele otkaza asinhronih motora u Kragujevačkoj Fabrici automobila za 2007. godinu (na popravci je bilo 210 asinhronih motora).

Tabela 1. Procentualna raspodela otkaza asinhronih motora u Fabrici automobila, 2007. godine,

| Otkaz | % ukupnih otkaza |
|------------------|------------------|
| Namotaja statora | 13,94 |
| Namotaja rotora | 28,65 |
| Sklopa statora | 12,34 |
| Sklopa rotora | 14,25 |
| Ležajeva | 25,5 |
| Ostalo | 5,32 |

Vrednosti iz tabele 1 mogu poslužiti kao osnova za procenu verovatnoće nastanka identifikovanih otkaza pri primeni asinhronih motora kod vozila. Magnituda opasnosti za identifikovane otkaze asinhronih motora, najveća je kod otkaza namotaja rotora, jer pri ovom otkazu može doći do varničenja i opasnosti od požara, pogotovu kod postrojanja velike snage, (velika magnituda opasnosti). Za ostale otkaze magnituda opasnosti je srednjeg nivoa (videti sliku 3). Sa slike 3 se vidi da su svi identifikovani rizici u ALARP oblasti i njima se može upravljati.



Slika 3. Analiza rizika otkaza asinhronih motora, [1]

6. ZAKLJUČAK

Savremene strategije održavanja asinhronih motora u pogonima podrazumevaju primenu metoda baziranih na proceni uticaja akcija održavanja na pouzdanost samih motora, odnosno posledica koju smanjena pouzdanost može da prouzrokuje. U ovom radu se predlaže primena metode procene otkaza za određivanje vrste aktivnosti na održavanju, kao i optimalnog vremena za preduzimanje preventivnog održavanja, uzimajući u obzir vreme proteklo od realizacije prethodne aktivnosti. Takođe, dat je pregled tipičnih pogonskih otkaza asinhronih motora i osvrt na te otkaze u pogonima Zastava automobila.

Cilj rada je povećati stepen optimizacija u fabrici postizanjem najmanjih troškova eksploatacije, koji u sebi sadrže i troškove usled narušavanja pouzdanosti rada asinhronih motora i njihovog održavanja. U slučaju ograničenih finansijskih sredstava (što je čest slučaj zadnjih godina u Zastava automobilima), moguće je izvršiti rangiranje asinhronih motora kod kojih je prioritetno izvršiti određene aktivnosti na održavanju.

7. LITERATURA

- [1] Marjanović Z.: *Rizik primene asinhronog motora kod vozila i mere upravljanja rizikom sa tehničkog, ekonomskog i ekološkog aspekta*, Magistarski rad, CIMSI, Kragujevac, 2007,
- [2] Haji M., Toliyat A.: *Pattern Recognition – A Technique for Induction Machines Rotor Broken Bar Detection*, IEEE Trans. on Energy Conv., 2001
- [3] Thomson W. T.: *A Review of On-Line Condition Monitoring Techniques for Three-Phase Squirrel-Cage Motors – Past Present and Future*, IEEE SDEMPED '99, Spain, 1999
- [4] Gladović P., Eškić M., Simeunović M.: *Geometrijski model upravljanja procesom preventivnog održavanja fuzzy logikom*, Saobraćaj 50, 2003
- [5] Arsovski S., Savović I.: *Dodatni zahtevi ISO 13485:103, zahtevi za menadžment rizikom*, Zbornik radova "Festival kvaliteta", Kragujevac, 2005
- [6] Todorović J.: *Razvoj nauke o održavanju tehničkih sistema*, Vojno-tehnički glasnik 2/103

Autori: **mr Zoran Marjanović, dipl. maš. ing.**, Zastava automobili – DRA Istraživačko-razvojni centar, Trg Topolivaca 4, Kragujevac, **Radomir Brzaković, dipl. inf.**, Zastava automobili – PJ Informacioni sistemi, Kragujevac, email : brzijax@yahoo.com