



Zoran Marjanović, Radomir Brzaković

## DIJAGNOSTIČKE METODE ZA ODRŽAVANJE IZOLACIJE ASINHRONOG MOTORA

**Rezime:** Neočekivana pojava otkaza izolacije asinhronog motora u pogonima može izazvati velike materijalne troškove. Primenom adekvatnih dijagnostičkih metoda, otkaze izolacije 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. U radu su date dijagnostičke metode za održavanje izolacije asinhronog motora.

**Ključne reči:** dijagnostika, održavanje izolacije, asinhroni motor

## DIJAGNOSTIC METHODS FOR MAINTENANCE ASYNCHRONOUS MOTOR ISOLATION

**Abstract:** Unforeseen event of failure at asynchronous motor isolation in industrial plants can produce a big material expenses. With adequate diagnostic methods, it is possible to find failure isolation 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 wich 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. In this paper are given diagnostic methods for maintenance asynchronous motor isolation.

**Key words:** diagnostic, maintenance isolation, asynchronous motor

### 1. UVOD

Dijagnostika je pravovremeno ili periodičko određivanje stanja nekog motora s ciljem procene pouzdanosti daljeg rada i predlaganja načina i obima servisiranja [4]. 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 prisutna u procesu rada motora.

Osnovna korist dijagnostike ogleda se u [1]:

- prelasku s korektivnog na proaktivno održavanje,
- smanjenju rizika materijalne štete,
- povećanju eksploatacione pouzdanosti,
- povećanju srednjeg vremena između otkaza i
- minimiziranju neplaniranih zastoja.

U literaturi se spominju različite metode kojima je moguće ustanoviti otkaz izolacije asinhronih motora. Za sve dijagnostičke metode potrebno je imati unapred definisane kriterijume prihvatljivosti, kako bi bilo jasno da li je rezultat ispitivanja prihvatljiv ili ne. Kriterijumi prihvatljivosti se određuju projektno-konstruktivnom dokumentacijom ili odgovarajućim međunarodnim ili priznatim nacionalnim standardima. Da bi se neki parametar koristio kao dijagnostički, mora da zadovolji neke osnovne zahteve koji se odnose na [1]:

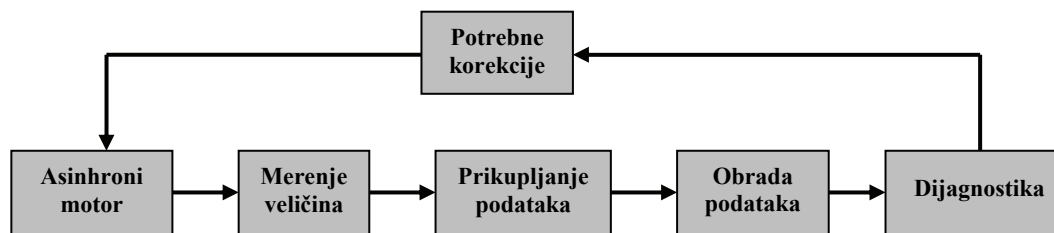
- jednoznačnost promene,
- dovoljnu osetljivost promene i
- pristupačnost i lakoću merenja.

Dakle, dijagnostika stanja nekog sistema složen je i zahtevan zadatak. Čitav dijagnostički sistem je prikazan na slici 1.

U tabeli 1 su definisani osnovni pojmovi, nazivi i definicije koji se odnose na održavanje motora.

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

<b>Otkaz</b> (Failure)	Uzrok odstupanja od nazivnog rada. Posledica otkaza je nedozvoljena promena parametara zbog koje je onemogućen pravilan rad motora.
<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 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.



Slika 1. Faze dijagnostičkog sistema [1]

## 2. DIJAGNOSTIKA IZOLACIJE ASINHRONOG MOTORA

Izolacija je možda najvažniji deo asinhronog motora, iako se za svaki deo može tvrditi da je najvažniji, jer tek svi delovi čine celinu koju nazivamo asinhroni motor. Ipak, izolacija je ta koja omogućava da motor deluje, jer električno odvaja pojedine delove motora. Ako se izolacija ošteti, motor je odmah uništen. Stoga je potrebno da se ona kontroliše i ispituje tj. da se utvrdi stvarno stanje izolacije i ispitivanjima dobije potvrda da motor ima propisani stepen izolacije koji traže propisi.

Za izolaciju asinhronih motora, karakteristične su sledeće dijagnostičke metode [5]:

- merenje otpora izolacije,
- ispitivanje izolacije indukovanim naponom,
- ispitivanje izolacije dovedenim naponom.

## 3. MERENJE OTPORA IZOLACIJE

Pre nego što se izvrši priključenje asinhronog motora na napon, potrebno je izvršiti merenje otpora izolacije (jer izolacija nikad nije apsolutna, to se ne može postići, i kroz izolaciju uvek teče neka struja ako je motor pod naponom) kako između međusobno izolovanih namotaja tako i između namotaja i mase.

Na osnovu merenja otpora izolacije, možemo utvrditi:

- eventualna oštećenja, ovlaženja ili starenje izolacije,
- trenutno stanje izolovanosti asinhronog motora.

Kako je u toku radnog veka izolacija izložena različitim mehaničkim oštećenjima, zatim hemijskim procesima (vlaga, pare, gasovi i sl.), temperaturi i dr., vremenom dolazi do njenog starenja (gubitak izolacionih svojstava), a posebno je taj proces ubrzan ukoliko se motor nalazi u otežanim uslovima rada. Zbog toga praćenjem otpora izolacije možemo steći uvid o stepenu njenog oštećenja.

Merenje izolacijskog otpora je na neki način slično merenju omskog otpora, samo što se u ovom slučaju meri otpor izolacije, a ne žice. Na izvod faze kojom se meri izolacijski otpor priključuje se jedan kraj izvora jednosmernog napona, dok se drugi kraj priključuje na masu. U praksi jednosmerni napon koji se priključuje na asinhroni motor iznosi 1000 V i dok je napon priključen, meri se struja koja teče kroz izolaciju. Izolacija se sastoji uglavnom od izolatora kojima je specifična provodljivost manja od  $10^{-6}$  S/m. Dakle, kroz izolaciju teče struja reda veličine mikroampera i čine je tri komponente:

- apsorpcijska struja koja se javlja zbog gubitaka pri pojavi polarizacije u izolaciji,
- provodna (poprečna) struja koja postoji zbog slobodnih nosilaca elektriciteta i
- struja punjenja koja se javlja zbog kapacitivnog svojstva izolacije.

Apsorpcijska struja i struja punjenja s vremenom opadaju tako da se vrednost struje kroz izolaciju asimptotski približava iznosu provodne struje.

Sam otpor izolacije zavisi od:

- temperature - eksponencijalno opada sa porastom temperature,
- trajanja merenja – za vrednosti otpora dobro je uzeti onu koja se dobije u ustaljenom režimu, recimo posle 60 s),
- mernog napona,
- veličine asinhronog motora,
- vlage,
- vrste i debljine izolacionog materijala i dr.

Zato se na osnovu merenja ne sme odmah zaključivati koliki je otpor već se mora voditi računa o svim predhodno navedenim uticajima.

Uređaj, kojim se meri otpor izolacije zove se ommetar ili induktor. On ima prilagođenu skalu za očitavanje otpora izolacije koji se, zbog visine napona i vrlo male struje, meri u megaomima. Kako struja kroz izolator menja svoj karakter zavisno od početka merenja, otpor izolacije se očitava u tačno definisanim trenucima.

Američki IEEE propisi definišu očitavanje otpora izolacije nakon prve i desete minute od početka merenja [6].

Evropski propisi, koji definišu da se otpor izolacije očitava nakon 15 i nakon 60 sekundi od početka merenja. Odnos ove dve vrednosti daje indeks polarizacije [3]:

$$i_p = \frac{R_{60s}}{R_{15s}} \quad (1)$$

gde je:  $R_{15s}$  - otpor izolacije očitana nakon 15 sekundi, a  $R_{60s}$  - otpor izolacije očitana nakon 60 sekundi.

Indeksom polarizacije se može proceniti stanje izolacije, da li je ona vlažna, da li je masna, itd. To se uglavnom odnosi na starije motore, kojih u Zastava automobilima ima u velikom broju i u koje su ugrađivane izolacije klase B, koje su porozne i dosta higroskopne. Danas, se u motor ugrađuju izolacije u klasi F koje se još vakuumski impregniraju tako da nema više opasnosti od upijanja vlage. Zbog toga indeks polarizacije više nema tako važnu ulogu kao nekada.

U praksi se uzima da otpor izolacije mora iznositi najmanje onoliko megaoma, koliko iznosi napon napajanja u kilovoltima:

$$R_i [\text{M}\Omega] = U_n [\text{kV}] \quad (2)$$

## 4. ISPITIVANJE IZOLACIJE INDUKOVANIM NAPONOM

Pomoću ovog ispitivanja proverava se izolacija između namotaja, elemenata namotaja, između faza, odnosno drugim rečima "unutražnja izolacija".

Propisima je definisano da se ispitivanje vrši sa naponom na statorskom namotaju koji je 30% veći od nominalnog tj.

$$U_i = 1,3U_n \quad (3)$$

i traje 3 minuta.

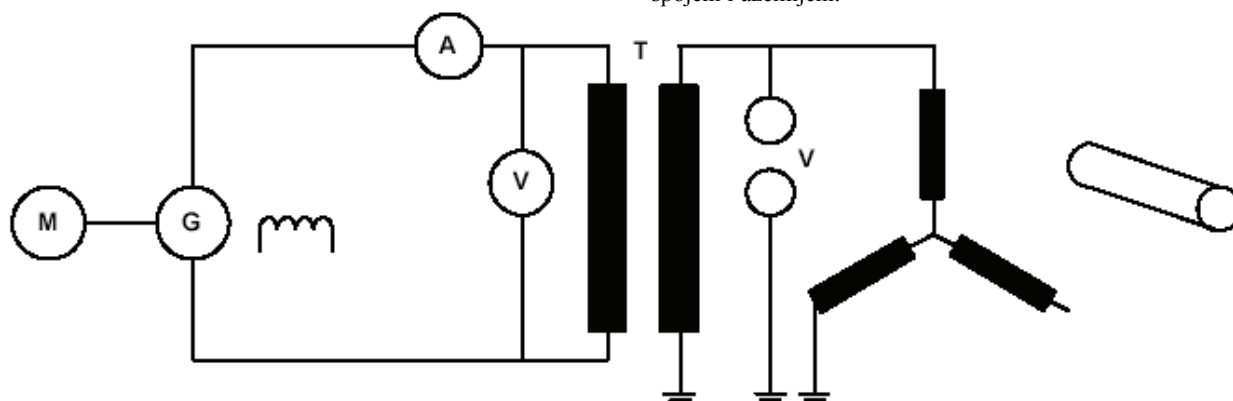
Za vreme trajanja ispitivanja prate se vrednosti struja kroz namotaj. Ako nema kratkih spojeva namotaja, struje će biti simetrične tj. njihove se efektivne vrednosti neće razlikovati za više od  $\pm 10\%$ .

## 5. ISPITIVANJE IZOLACIJE DOVEDENIM NAPONOM

Ovim ispitivanjem se proverava izolaciona čvrstoća između pojedinih namotaja i između namotaja i uzemljenih delova motora, tzv. "glavna izolacija".

Različiti nacionalni propisi definišu vrednosti ispitnog napona, koje pri ovom ispitivanju izolacija mora podneti određeno vreme.

Vrednosti ispitnih napona prema propisima VDE 0530, data su u tabeli 2.



Slika 2. Šema za ispitivanje izolacije dovedenim naponom [2]

Ispitivanje treba započeti naponom koji nije veći od polovine punog ispitnog napona da bi se osigurali od eventualnih oštećenja izazvanih prelaznom pojavom. Zatim napon postepeno povećavamo. To povećanje mora biti kontinualno, a ako to nije moguće, skokovi napona ne smeju prekoračiti 5% konačne vrednosti. Minimum u kom namotaj mora biti ispitivan računamo od trenutka kada se postigne puni napon.

Radi kontrole pri ispitivanju služe ampermetar i voltmetar na niskonaponskoj strani ispitnog transformatora (T). U slučaju proboja izolacije napon naglo padne a struja poraste. Oblik ispitnog napona mora biti sinusan i najtačnije se meri varničarem (V) na strani visokog napona ispitnog transformatora jer varničar reaguje na maksimalnu vrednost napona koja i dovodi do probijanja.

## 6. ZAKLJUČAK

Savremene strategije održavanja asinhronih motora u pogonima mora da podrazumeva primenu različitih dijagnostičkih metoda za održavanje izolacije motora i utvrđivanje posledica koje loše stanje izolacije može da prouzrokuje. U ovom radu se predlaže primena nekih metoda dijagnostike izolacije motora zasnovana na ispitivanju nekih parametara asinhronih motora. Ovakav pristup sprovođenju ispitivanja izolacije je u potpunosti u skladu sa sistemom kvaliteta ISO 9000. Prednosti ovakvog ispitivanja su:

- izbegavanje grube greške pri preračunavanju očitanih veličina tokom prikupljanja podataka, čime se značajno smanjuje merna nesigurnost,

Tabela 2. Vrednosti ispitnih napona prema VDE 0530

Asinhroni motor	Ispitni napon
Nazivne snage ispod 1 kW i nazivnog napona ispod 100 V	$2 U_n + 500 \text{ V}$
Nazivne snage do 10 MW i napona: do 2 000 V	$2 U_n + 1 000 \text{ V}$
od 2 000 V do 6 000 V	$2,5 U_n$
iznad 6 000 V	$2 U_n + 3 000 \text{ V}$

Vreme trajanja ispitivanja prema VDE propisima je 60 s i u toku tog vremena ne sme doći do probijanja kroz izolaciju.

Šema za ispitivanje izolacije asinhronog motora dovedenim naponom, data je na slici 2.

Ispitivanje se vrši tako da se propisani ogledni napon dovede između kratkospojenih priključaka ispitivanog namotaja i mase. Za vreme ogleda priključci ostalih namotaja su kratko spojeni i uzemljeni.

- smanjenje broja potrebnih ljudi uključenih u ispitivanje,
- pružanje dodatne garancije da su ispitivanja i izračunavanje karakterističnih veličina sprovedena korektno.

## 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] Mitraković B.: Asinhronne mašine, Naučna knjiga, Beograd, 1996.
- [3] Jeremić B.: Tehnologija održavanja tehničkih sistema, Mašinski fakultet, Kragujevac, 1992.
- [4] Tavner P. J., Penman J.: Condition Monitoring of Electrical Machines, John Wiley & Sons Inc., New York, 1997.
- [5] Nandi S., Toliyat H. A.: Condition Monitoring and Fault Diagnosis of Electrical Machines, IEEE Industry Applications Conference Thirty - Fourth IAS Annual Meeting, 1999.
- [6] Haji M., Toliyat A.: Pattern Recognition – A Technique for Induction Machines Rotor Broken Bar Detection, IEEE Trans. on Energy Conv., 2001.

**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](mailto:brzijax@yahoo.com)

