

MONITORING STANJA I ODRŽAVANJE ELEKTRIČNIH STROJEVA

MONITORING OF CONDITION AND MAINTENANCE OF ELECTRICAL MACHINES

Mustafa Imamović
University of Zenica, Zenica B&H

Haris Polutan
ArcelorMittal Zenica, Zenica B&H

REZIME

Uređaji koji iz mehaničke energije mogu proizvesti električnu energiju, a zatim na mjestu korištenja električnu energiju ponovno pretvoriti u mehaničku energiju, nazivaju se električni strojevi. Ovisno o vrsti energije koju proizvode, električni strojevi se dijele na motore i na generatore. Generatori proizvode električnu energiju iz mehaničke, a motori pretvaraju električnu energiju u mehaničku. Transformatori se ubrajaju uvjetno među električne strojeve. Nemaju pokretnih dijelova, koriste iste zakone te ostvaruju pretvorbu energije.

U toku obavljanja svoje funkcije dolazi do otkaza ovih strojeva. Sa ciljem smanjenja učestalosti, kao i dužine trajanja otkaza (smanjenje vremena popravke) u praksi je prisutna aktivnost stalnog monitoringa i poduzimanja određenih korektivnih mjera.

U ovom su radu prezentirani najčešći otkazi koji se javljaju kod ovih strojeva, uzroci nastanka ovih otkaza, način primjene monitoringa, kao i metod prediktivnog održavanja. Rezultati u radu mogu da posluže kao dobra praksa za sve one koji se bave ovom problematikom.

Ključne riječi: električni strojevi, otkazi, monitoring stanja

SUMMARY

Devices which can produce electrical energy, and then on the consumption place, convert electrical energy to mechanical energy are called electrical machines. Depending on what kind of energy they produce, electrical machines are divided into motors and generators. Electrical generators produce electrical energy from mechanical energy, and motors convert electrical energy to mechanical energy. Only conditionally transformers are considered as electrical machines. Transformers don't have rotating parts but they use the same principle and achieve energy conversion.

Failures of these devices happen during their regular operation. To reduce such incident frequency as well as to reduce mean downtime (mean time to repair) in practice, continuous monitoring and special corrective measures are applied.

This paper contains and presents most frequent failure incidents in all kind of machines, cause of failures, way of monitoring implementation and predictive maintenance method. Results can help as good practice for all who are involved in this area.

Keywords: Electrical machines, failures, monitoring

1. UVOD

Uređaji koji iz mehaničke energije mogu proizvesti električnu energiju, a zatim na mjestu korištenja električnu energiju ponovno pretvoriti u mehaničku energiju, nazivaju se električni strojevi. Ovisno o vrsti energije koju proizvode, električni strojevi se dijele na motore i na generatore. Uređaji koji prilagođavaju električnu energiju za potrebe prijenosa i njenog korištenja na mjestu upotrebe nazivaju se transformatori. Generatori proizvode električnu energiju iz mehaničke, a motori pretvaraju električnu energiju u mehaničku. Transformatori se ubrajaju među električne strojeve, nemaju pokretnih dijelova, a koriste iste zakone i ostvaruju pretvorbu energije [1].

Rotacijski električni strojevi uglavnom imaju: nepomični stator (željezna jezgra, namot, priključci i kućište), pomični rotor (željezna jezgra, namot, klizni kontakti, osovina i ventilator), zračni raspon između statora i rotora.

Motori i generatori se trebaju ispravno ugraditi, ispravno funkcionirati i naravno, moraju se ispravno održavati.

Izolacija je neizbježna komponenta namotaja strojeva (bilo da se radi o motorima ili o generatorima). Glavni zadatak izolacionog sistema je spriječiti tokove cirkulacionih struja između pojedinih provodnika u namotajima, a isto tako cilj je spriječiti kratke spojeve među fazama i između faze i zemlje.

Zahtjevi kod izolacionih sistema kada su u pitanju statorski namotaji strojeva su: visoka dielektrična čvrstoća, velika otpornost na parcijalna pražnjenja (partial discharges - PD), velika termička vodljivost, velika otpornost na abrazije, velika otpornost na odvajanje traka uzrokovano termičkim zagrijavanjem, dobra otpornost na vlagu i pare ulja.

Mnoge mjere opreza je neophodno poduzeti, a naročito kada se radi o velikim rotacionim strojevima, da bi se izbjegla oštećenja, jer većina ovih uređaja je veoma skupa i veoma ih je teško zamijeniti. Glavni faktori koji određuju životni vijek strojeva su prije svega dizajn i izolacija, a zatim i održavanje uključujući i monitoring stanja strojeva.

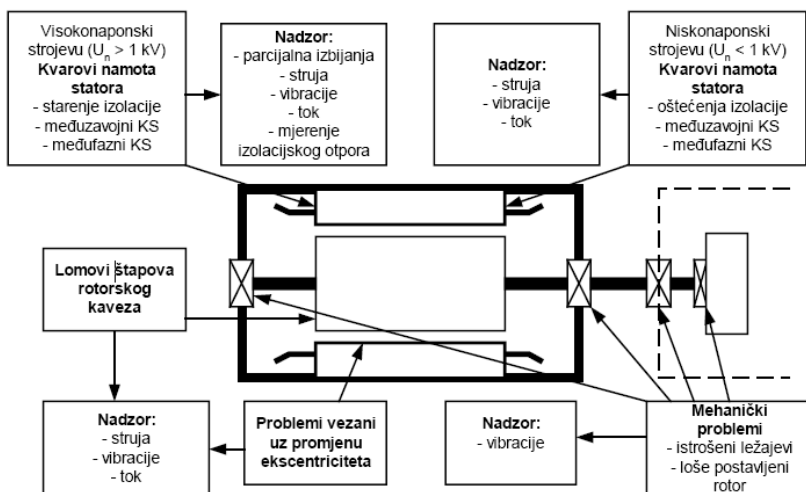
2. OTKAZI ELEKTRIČNIH STROJEVA

Otkazi na električnim strojevima pojavljuju se zbog neadekvatnog odabira stroja za određeni pogon. Pri tome se misli na odabir strojeva nedovoljne snage ili strojeva sa neodgovarajućom zaštitom. U uvjetima povišene temperature na primjer, dobro je odabrati stroj većih dimenzija od neophodnih i time smanjiti zagrijavanje samog stroja u radu. U mnogim je slučajevima jednostavnije i jeftinije zamijeniti neodgovarajući stroj novim, nego ulagati velika sredstva u opremu za dijagnostiku i otkrivanje otkaza. S druge strane, u nekim slučajevima je zbog prirode postrojenja neophodno da stroj nastavi sa radom i u slučajevima manjih otkaza ili odstupanja parametara od nazivnih.

Kao najčešći uzroci otkaza asinkronih strojeva pojavljuju se: mogućnost pojave ekscentriciteta, nepravilnosti rotorskog kaveza, velike struje i sile pri pokretanjima, te problemi učvršćenja statorskih namotaja [3]. Za vrijeme pokretanja ili u intermitiranim radu, stroj je izložen povećanim električkim, termičkim i mehaničkim naprezanjima. Upravo su to trenuci najčešćeg nastanka otkaza.

Mehanizmi otkaza strojeva podijeljeni su na: mehanizme otkaza statorskih namotaja, otkaza rotorskih namotaja i otkaza uzbuđivača.

Mehanizmi otkaza statorskih i rotorskih namotaja obuhvaćaju: deterioraciju usljed starenja (lomljivost, skupljanje, pukotine u izolaciji); deterioraciju usljed električnog naprezanja (parcijalna pražnjenja, korona, manipulacija prekidača, nesimetrija napona, efekti pregrijavanja i otkazi usljed provođenja testova, rad bez jedne faze...).



Slika 1. Tipični otkazi električnih strojeva i akcije

Također u ove mehanizme spadaju: deterioraciju uslijed mehaničkog naprezanja; deterioraciju uslijed termičkog naprezanja; deterioraciju uslijed okolinskih zagađenja i nečistoća.

2.1. Mehanički otkazi

Tokom rada električni je stroj izložen mehaničkim naprezanjima. Dijelovi posebno izloženi naprezanjima su ležajevi, spojke te ostali dijelovi prijenosnog mehanizma. Neki od uobičajenih mehaničkih problema koji se susreću u asinkronim strojevima su na primjer: istrošenost i otkazi ležajeva, mehanička neuravnoteženost, neizbalansiranoš, oštećenja prijenosnog mehanizma, vibracije na rezonantnim frekvencijama [5].

2.2. Otkazi paketa statora

Otkazi paketa statora javljaju se relativno rijetko i zabilježeni su uglavnom kod velikih jedinica. Problemi se pojavljuju kada među limovima lameliranog jarma dođe do spoja. Takve se greške javljaju tijekom proizvodnje ili prilikom ubacivanja rotora u stator. Na mjestu na kojem se pojavio spoj, javljaju se struje koje pojačano zagrijavaju oštećeno mjesto [5].

2.3. Otkazi paketa rotora

Zbog postojanja velikih centrifugalnih sila, velikim naprezanjima izloženi su ne samo namoti već i paket rotora. Mala površinska oštećenja (napuknuća) mogu se vrlo brzo proširiti u slučajevima teških pogonskih režima rada. Isto tako na slabljenje materijala utječe i zagrijavanje rotora. Osim centrifugalnih sila, mehanička naprezanja uzrokuju i prijelazne pojave kojima je stroj izložen tokom rada.

2.4. Oštećenja izolacije namota

Izolacija je jedan od najosjetljivijih dijelova električnog stroja i, posebice nekad, otkazi usljed oštećenja i propadanja izolacije bili su vrlo česti. Rad na povišenim temperaturama, osjetno skraćuje životni vijek izolacije [4].

2.5. Otkazi rotorskih namota

Otkazi rotorskog namota asinkronog stroja su, u pogonskim uvjetima, dugo vremena bili složeni za otkrivanje. U slučaju kaveznog asinkronog motora ne može se fizički pristupiti rotorskom kavezu. Pored toga, u rotorskom se namotu induciraju struje niske frekvencije koje je teško mjeriti.

Kod rotora sa kliznim kolutima najugroženije su glave namota. Da bi se smanjila opterećenja glave namota učvršćuju su čeličnim prstenima ili staklenim vlaknima. Ponekada se problemi javljaju i uslijed nesimetrije vanjskih otpora. Takva nesimetrija uzrokuje nesimetrične struje faza, što dovodi do nejednolikog zagrijanja faza.

3. PREDIKTIVNO ODRŽAVANJE STROJEVA

Održavanje je proces koji uključuje aktivnosti i resurse što su potrebni za održavanje specifičnih performansi i stanja jedinice u toku danog vremenskog okvira. IEC 60050 održavanje definira kao: "Održavanje je kombinacija svih tehničkih, administrativnih i menadžerskih akcija tokom životnog ciklusa jedinice, poduzetih s ciljem da se jedinica sačuva u ili vrati na stanje u kojem može obavljati zahtjevane funkcije. "Korektivno održavanje je ono koje se obavlja nakon što se prepoznao otkaz s ciljem da se jedinica stavi u stanje u kojem može obavljati zahtjevane funkcije."

"Preventivno održavanje je ono koje se provodi unaprijed utvrđenim intervalima ili u skladu sa kriterijima s ciljem sniženja vjerovatnosti pojave otkaza ili degradacije funkcionalnosti jedinice." Postoje dvije vrste preventivnog održavanja: unaprijed utvrđenim intervalima – bazirano na vremenu, unaprijed propisanim kriterijima – bazirano na stanju

"Preventivno održavanje bazirano na monitoringu performansi ili parametara i akcijama koje potom slijede može biti planirano, kontinuirano ili obavljeno na zahtjev. Prema tome, CBM (eng. Condition Based Maintenance) predstavlja tehnologiju održavanja koja koristi alate monitoringa stanja za analizu aktualnog stanja elementa/sistema, a sve kako bi se pomoću tih znanja ustanovili planovi akcija preventivnog održavanja".

Budući da su intervali i aktivnosti održavanja bazirani na stanju elementa/sistema, oni su predvidivi (prediktivni).

Ključna riječ u definiciji CBM-a je monitoring, a definira se kao: "Aktivnost koja se obavlja ručno ili automatski s ciljem da se promatra aktuelno stanje komponente."

CBM se provodi s ciljem da se otkriju poremećaji prije nego što oni postanu ireverzibilni. Modernizacijom i razvojem ispitne opreme zasnovane na mikroprocesorima i kompjuterskim sistemima, te razvojem informacijskih sistema moguće je održavanje opreme utemeljiti na podacima o stvarnome stanju opreme, umjesto na statističkim procjenama o preostalom životnom vijeku ili učestalosti otkaza. Planirana aktivnost održavanja na temelju stvarnih potreba, čiji je cilj eliminirati nepotrebne popravke, spriječiti katastrofalne otkaze i reducirati negativni utjecaj zahvata održavanja na profitabilnost proizvodnih pogona, naziva se prediktivno održavanje. Prediktivno održavanje moguće je poistovjetiti sa preventivnim održavanjem zasnovanim na aktualnom stanju opreme.

Prediktivno održavanje ne predviđa otkaz, ono pomaže u predviđanju vremena do otkaza. Kada otkaz počne da se javlja može se preduhitriti, i samim tim se cijena može drastično reducirati u poređenju sa cijenom kada bi pustili da stroj strada.

Planiranje akcija prediktivnog održavanja može biti autonomno ili u interakciji s drugim sistemima. To znači da napredni CBM sistemi treba da su kadri ustvrditi planove održavanja bez uplitanja čovjeka.

Zbog važnosti npr. generatora u elektranama, veoma je bitno imati dugoročnu strategiju planskog održavanja istoga. Detekcija otkaza u njihovoj ranoj fazi, predviđanja širenja tih

otkaza ublažavaju smanjenje pouzdanosti stroja. Veoma je važno sa željenom pouzdanošću osigurati da generator „preživi“ od jednog ispada pa do slijedećeg.

Ciljevi monitoringa strojeva bi bili: obezbijediti rad stroja sa naznačenim performansama cijeli njegov životni vijek, osigurati stroj od neočekivanih otkaza između predviđenih intervala održavanja, detekcija otkaza na stroju u vrlo ranoj fazi, smanjenje operativnih troškova i troškova održavanja generatora, minimizacija perioda kada je stroj van pogona, stvaranje jasne strategije za pogon i održavanje starih strojeva.

Personal elektro održavanja je godinama bio limitiran na multimeter i megaohmmetar prilikom rješavanja problema koji su se dešavali na strojevima. Mjerač otpornosti izolacije (megaohmmetar) nažalost ne nudi dovoljno informacija da se omogući tehničkim licima da procjene da li postoje električni problem ili ne. Rješavanje problema koji se javljaju kod motora postalo je mnogo teže posljednjih godina otkako su mnogi motori spojeni na varijabilne frekventne pokretače (eng. variable frequency drives-VFDs).



Za pouzdanu procjenu stanja električnog stroja i za osiguranje da će raditi pouzdano, postoji šest stvari koje se trebaju analizirati prilikom rješavanja problema na stroju. Tih šest stvari koje se trebaju istražiti su: kvalitet električne energije, strujni krug, izolacija, stator, rotor, zračni raspod.

Ako se ne obrati pažnja na bilo koju od ovih stvari, moguće je da se nema dovoljno informacija u donošenju ispravne odluke.

Danas su dostupne mnoge prediktivne tehnologije i alati za rješavanje problema i provođenje testova.

Tehnologije primjenjive kod održavanja i motrenja rotacijskih strojeva općenito su: motrenje vibracija, analiza mazivnih ulja, termografija, nedestruktivna ispitivanja, motrenje kavitacije, praćenje procesnih parametara, vizualni pregled.

Dodatne tehnologije primjenjive na električne strojeve su: analiza električnog napajanja, mjerenje parcijalnih izbivanja, motrenje magnetskog toka, motrenje zračnog raspoda.

Iz datog pregleda tehnologija preventivnoga održavanja može se vidjeti da se otprilike polovica spomenutih tehnologija zasniva na monitoringu neke fizikalne veličine ili pojave (vibracije, magnetski tok,...).

4. MONITORING

Načelo monitoringa je vrlo jasno: cilj je identificirati promjene u načinu rada stroja koje će ukazati na neki potencijalni otkaz. Identificiraju se fizikalne karakteristike stroja koje zajednički mogu dati ocjenjivi indikator trenutne operativne sposobnosti stroja. Fizikalne veličine od interesa (poput vibracija, buke, topline) se konstantno mjere, analiziraju i pohranjuju kako bi se mogli prepoznati trendovi u njihovu ponašanju.

4.1. Sistemi za monitoring stanja strojeva

Monitoring stanja provodi se sistemima za trajno praćenje stanja strojeva (engl. machine condition monitoring system; MCMS). Prikupljanje podataka o stroju kod takvih sistema provodi se kontinuirano, na automatizirani način i bez potrebe za ljudskom intervencijom. Sistem trajnog monitoringa stanja stroja može se sastojati od više podsistema, od kojih je

svaki zadužen za automatizirano praćenje određenog podskupa fizikalnih veličina stroja. Osnova sistema za trajni monitoring stanja rotacijskih strojeva je podsistem za monitoring vibracija, koji se u slučaju električnih strojeva može proširiti sa: bilježenjem procesnih parametara, mjerenjem parcijalnih izbijanja izolacije namota, praćenjem širine zračnoga raspora, praćenjem jačine magnetskoga toka, sistemom za praćenje temperatura.

Naglim napretkom tehnike i tehnologije, posebice na području elektronike i računarstva, sistem monitoringa je sa vremenom proširio svoju funkcionalnost proširivanjem seta praćenih podataka, te dodavanjem analitičkih mogućnosti za ocjenu stanja (dijagnostiku), korektivno i prediktivno održavanje.

4.2. Načini rada sistema monitoringa stanja

Sistemi monitoringa stanja imaju dvije mogućnosti rada s obzirom na objekt koji se prati: trajno mjerenje i analiza stanja objekta u pogonu (neprekidno ili povremeno), trajno mjerenje i analiza stanja objekta tokom remonta.

Neprekidno ili povremeno mjerenje za vrijeme dok je agregat u pogonu naziva se još i „on-line“ mjerenje, dok se povremena mjerenja prilikom remonta agregata zovu „off-line“ mjerenja.

Dio mjerenih veličina koje se neprekidno "on-line" mjere dovode se u sistem zaštite i sistem regulacije i djeluju direktno na proces (koristi se i termin procesne veličine, te sistem nadzora i upravljanja). Te veličine se također mogu koristiti i za analizu stanja objekta. Mjerene veličine iz povremenog "on-line" mjerenja koriste se za analizu stanja i imaju indirektnu vezu sa vođenjem procesa. Mjerene veličine iz "off-line" mjerenja također se koriste za analizu stanja i mogu imati indirektnu vezu s vođenjem procesa. Sve mjerene veličine mogu se iskoristiti za analizu stanja, te se mogu iskoristiti za korektivno i prediktivno održavanje.

Standardna koncepcija sistema monitoringa je da su savremeno koncipirani sistemi monitoringa otvorenog tipa, a u osnovi se sastoje od: davača za mjerenje veličine, jedinice za kondicioniranje (primarnu obradu) signala, jedne ili više samostalnih računalnih procesnih jedinica s pripadnim softverom i hardverom za akviziciju i obradu podataka: serverskoga računara s bazom podataka, korisničkih (operatorskih) računara, softvera za pregled i analizu podataka.

Davač (mjerni davač, senzor, osjetilo, prednji rub ili pretvornik) služi za pretvaranje jedne fizikalne veličine u drugu (npr. mehanički pomak u električni signal, temperaturu u promjenu otpora itd.). Signal iz davača dovodi se na jedinicu za kondicioniranje signala. Ova jedinica se još često naziva konvertor ili pretvarač signala ili jedinica za primarnu obradu signala. Svrha ove jedinice je da uz poznate karakteristike pretvorbe pretvori fizikalni signal davača u mjerljivi strujni ili naponski analogni signal.

Serverski računar je centralno mjesto sistema monitoringa na kojemu se nalazi baza podataka. Svrha toga računara je da prihvata podatke sa svih procesnih jedinica u sistemu i pohrani sakupljene podatke u bazu podataka, te da omogućiti dohvat podataka iz baze na nalog klijentskog programa za pregled i analizu podataka.

Korisnički računar je jedini vidljivi dio sistema monitoringa sa stajališta prosječnoga operatera sistema. To je dio sistema monitoringa na kojemu se prezentiraju sakupljene informacije o praćenom objektu u ljudima prihvatljivom i smislenom obliku, upotrebom softvera za pregled i analizu podataka.

Zaštitni monitoring - strategija monitoringa definirana je primarnom funkcijom sistema monitoringa. Svrha zaštitnoga monitoringa je da osigura neposredno prepoznavanje i odgovor na promjenu u stanju stroja, koja može biti opasna za pogonsko osoblje ili dugoročnu radnu sposobnost tog stroja.

Prekoračenje bilo kojeg postavljenog limita može se tretirati na dva načina, dojavnim signalom za operativno osoblje i/ili nalogom za automatski prekid rada.

Prediktivni monitoring - sastoji se od detaljnoga analitičkoga monitoringa kako bi se došlo do najranijih mogućih upozorenja o malim promjenama u stanju stroja. Prediktivni monitoring obuhvaća sekundarnu, dijagnostičku funkciju sistema monitoringa. Prediktivni monitoring uključuje predviđanje trendova i detaljni pregled komponenata alatima spektralne analize harmonika kako bi se uočile promjene. Procesne veličine se uključuju u proces monitoringa kako bi se mogla dati potpuna procjena ukupnoga stanja.

Za učinkovitu ukupnu kontrolu kvalitete nadziranoga procesa, sistem monitoringa trebalo bi biti moguće jednostavno integrirati unutar raspodijeljenog sistema upravljanja (engl. distributed control system; DCS) za primjene kao što su sakupljanje i obrada procesnih veličina, upravljanje održavanjem, statistička analiza, izrada izvještaja, motrenje posebnih objekata, te u ostalim primjenama koje zahtijevaju prikupljanje podataka.

5. ZAKLJUČCI

U radu su prezentirani najčešći otkazi koji se javljaju kod električnih strojeva, uzroci nastanka ovih otkaza, te način postavljanja monitoringa ovih strojeva. Rad može da posluži kao putokaz za razumijevanje i organiziranje monitoringa za slične primjere kao dobra praksa.

6. LITERATURA

- [1] Gašparac I., Vražić M.: Sustav motrenja rotacijskih strojeva
- [2] Mašić Š.: Električni strojevi, Elektrotehnički fakultet u Sarajevu, Sarajevo 2006.
- [3] Miletić A.: Dijagnostičke metode i kriteriji za ocjenu elektromehaničkog stanja asinkronog stroja, Sveučilište u Zagrebu
- [4] Electrical Power Equipment Maintenance and testing Second Edition Paul Gill
- [5] <http://www.physclips.unsw.edu.au/jw/electricmotors.html#DCmotors>
- [6] Mandić I.: Kolektorski strojevi Sveučilište u Zagrebu, Zagreb 2005.
- [7] Maren, Petrinić, Stipetić: Riječnik pojmova iz električnih strojeva, 2004., 2005., 2006.
- [8] Vesterman: Vestermanov elektrotehnički priručnik Građevinska knjiga, Beograd 2000.
- [9] Industrial Vibration Sensors for Condition Monitoring and Predictive Maintenance,.: Product catalog IMI SENSORS

