

ELEKTROMOTORNI POGONI U EKSPLOZIVNIM SREDINAMA**ELECTRIC MOTOR DRIVES IN HAZARDOUS AREAS**Goran Cibula, Veran Vasić, Đura Oros, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO**

Kratak sadržaj – U ovom radu je prezentovana problematika odabira i eksploatacije elektromotornih pogona u eksplozivnim sredinama. Obrađena je klasifikacija eksplozivnih sredina, što predstavlja prvi korak za pravilan izbor opreme. Opisani su različiti tipovi protiveksplozivne zaštite asinhronih elektromotora. Razmotreni su uzroci povećanog zagrevanja elektromotora povećane bezbednosti. Pravilan izbor zaštite elektromotora povećane bezbednosti je jako bitan te je u ovom radu detaljno obrađen. Uticaj pretvarača učestanosti na pogonske parametre elektromotora je detaljno razmotreno ovim radom.

Ključne reči: Asinhroni motori, povećana bezbednost, elektromotorni pogon, pretvarač učestanosti, protiveksplozivna zaštita

Abstract – In this paper problem of selecting and exploiting of induction motors in hazardous areas is presented. Classification of hazardous areas has been processed, which is the first step in proper selection of equipment. Different types of explosion protection induction motors are described. Reasons of increased heating for the increased safety motor. Proper selection of protection device for increased safety motor are very important and that is detailed processed. Effects of frequency converter to the drive parameters of the motor are discussed in detail in this paper.

Keywords: Induction Motors, Increased Safety, Electric Motor Drive, Frequency Converter

1. UVOD

Asinhroni motori po brojnosti prevazilaze sve ostale električne mašine u industriji zbog svoje jednostavne konstrukcije i niske cene. Mnogi od tih motora su ugrađeni u prostorima ugroženim eksplozijom, kao što su naftna, hemijska, farmaceutska industrija i sl. U ovakvim prostorima gde usled pojave varnice ili povišenog zagrevanja kontaktnih površina može doći do eksplozije, tj. do velike materijalne štete ugrožene bezbednosti ljudi, životinja i okoline, kao i teških ekoloških posledica, potrebno je voditi računa oko izbora opreme koja se ugrađuje. Oprema koja se koristi u eksplozivnim sredinama je posebno dizajnirana tako da u bilo kom trenutku eksploatacije ne dovede do ugrožavanja eksplozivne sredine, tj. do eksplozije.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Veran Vasić, red. prof.

2. EKSPLOZIVNE SREDINE I ZONE OPASNOSTI

Elektromotori pogoni (EMP) predstavljaju sklop za konverziju električne u mehaničku energiju. Većina elemenata EMP-a namenjenog za rad u eksplozivnoj sredini mora biti na poseban način konstruisana ispitana i instalirana tako da bude bezbedna za rad u eksplozivnim sredinama. Posebni zahtevi koji se postavljaju pred EMP u eksplozivnim sredinama prvenstveno zavise od eksplozivnih svojstava sredine. U tom smislu se sprovodi klasifikacija eksplozivnih sredina.

Da bi došlo do eksplozije u potencijalno eksplozivnoj sredini potrebno je da budu ispunjena tri uslova:

- prisustvo zapaljivih materija (zapaljivi gasovi i pare)
- prisustvo kiseonika
- prisustvo uzročnika paljenja (električna varnica ili luk, elektrostatičko pražnjenje, zagrejane površine mašina, mehanička varnica itd.)

Kako je nemoguće sprečiti nastanak eksplozivne atmosfere, da bi se stvorio pouzdan sistem, potrebno je eliminisati bar jedan od gore navedenih uslova. Praktično je najjednostavnije eliminisati mogući uzrok paljenja.

Radi sagledavanja problema protiveksplozivne zaštite s obzirom na električne uređaje kao potencijalne uzročnike paljenja potrebno je poznavati i karakteristike eksplozivnih sredina prema kojima se izrađuje protiveksplozivna zaštita. Tako se dolazi do klasifikacije zapaljivih gasova i para u odnosu na električne uređaje. Prema temperaturi paljenja gasovi i pare, prema standardu [1], se razvrstavaju u temperaturne klase T1-T6.

Postoji veoma mali broj kućišta u koja pod normalnim uslovima ne može da uđe gas ili para, jer poseduju procepe (između vratila, poklopaca, itd.) koji omogućavaju ulaz eksplozivne smeše. Posebnom konstrukcijom moguće je sprečiti prolaz plamena i eksplozije iz unutrašnjosti kućišta u okolni prostor. Svi zapaljivi gasovi i pare razvrstavaju se prema vrsti zaštite na "nepropaljivo kućište" gde eksplozivna smeša ne može ući u kućište i u njemu eksplodirati i "povećana bezbednost" gde se može javiti varnica, ali ta eksplozija tj. varnica ne mogu izvršiti paljenje okolne eksplozivne atmosfere, jer je procep dovoljno uzak i dugačak. Prema graničnoj dužini tog procepa kroz koji je nemoguće propaljivanje gasovi i pare se grupišu.

Za klasifikaciju zapaljivih gasova i para prema svojstvu probojnog paljenja uveden je pojam maksimalni eksperimentalni bezbednosni zazor - MEBZ (prema IEC-u [2] MESG - maximum experimental safety gap) u kućištu sa 25mm dugim procepima. Za zaštitu "samosigurnost" gasovi i pare se grupišu prema odnosu

njihove minimalne struje paljenja MSP (prema IEC-u [2] MIC - Minimal ignition current) prema minimalnoj struji paljenja laboratorijskog metana. Grupe u koje su svrstani gasovi i pare prema [2] su A,B,C.

2.1. Klasifikacija eksplozivno ugroženih prostora na zone opasnosti

Ugroženi prostori (u kojima se očekuje pojava eksplozivne atmosfere) pre svega se klasifikuju na one ispod zemlje (rudnici) i one iznad zemlje (industrija). Svaki ugroženi prostor deli se na zone opasnosti prema vrsti, učestalosti i trajanju eksplozivne atmosfere koja se javlja u njemu. Definicije kao i složeni postupak za određivanje zona opasnosti dati su u [3]. Osnovu za klasifikaciju predstavljaju dva osnovna faktora izvor ispuštanja (opasnosti) i brzina ispuštanja.

Prema načinu nastajanja i vremenu trajanja eksplozivnih smeša izvori mogu biti trajni, primarni, sekundarni i višestruki. U odnosu na njih se velikim delom određuju zone opasnosti, međutim ventilacija ima najznačajniji uticaj od svih faktora na zone opasnosti. Ona može da smanji koncentraciju materije koja sa vazduhom čini eksplozivnu smešu i time da zonu opasnosti višeg reda prevedu u zonu nižeg nivoa ili ugroženi prostor prevedu u neugroženi. Klasifikacija se vrši na sledeće zone:

- Zona 0 - prostor u kome je eksplozivna atmosfera prisutna stalno ili duži vremenski period
- Zona 1 - prostor u kome je verovatno da će se eksplozivna atmosfera pojaviti za vreme normalnog pogona odnosno njeno prisustvo je predviđeno tehnološkim postupkom
- Zona 2 - prostor u kome nije verovatno da će se eksplozivna atmosfera pojaviti za vreme normalnog pogona, a ako se ipak pojavi tada traje kratko i to se dešava retko, pre svega u incidentima

Uticaj izvora ispuštanja (opasnosti) i ventilacije na određivanje zona opasnosti prikazan je u tabeli 1. Oznaka NP u tabeli predstavlja neugrožen prostor, dok "+" označava zonu koja se teorijski može javiti u zanemarivoj meri u normalnim uslovima.

Tabela 1. Zone opasnosti u odnosu na izvor ispuštanja i karakteristike ventilacije

| Izvor opasnosti - stepen ispuštanja | Vrsta ventilacije | | |
|-------------------------------------|---|--|---|
| | Slaba ventilacija (npr. zatvoren prostor) | Srednja ventilacija (npr. prirodno ventiliran prostor) | Jaka ventilacija (npr. prinudno ventiliran prostor) |
| Trajni | Zona 0 | Zona 0+, Zona 1 ili 2 | Zona 1 ili 2 ili NP |
| Primarni | Zona 1 ili 0 | Zona 1+ Zona 2 | Zona 2 ili NP |
| Sekundarni | Zona 2 ili 1 ili 0 | Zona 2 | NP (eventualno Zona 2) |

3. ELEKTROMOTORNI POGONI U EKSPLOZIVNOJ SREDINI

Samo pravilno odabran i korišćen električni uređaj za eksplozivne sredine neće izazvati paljenje eksplozivne smeše, tj. eksploziju. Izbor odgovarajućeg električnog uređaja vrši se na osnovu sledećih parametara:

- područje primene (rudnici ili industrija)
- klasifikacija prostora i određivanje zona opasnosti - stepen ugroženosti na predviđenom mestu montaže uređaja (zona 0,1 ili 2)
- minimalna temperatura paljenja gasova ili para, tj. utvrđivanje potrebne temperaturne klase uređaja (T1-T6)
- utvrđivanje grupe gasova ili para u odnosu na MEBS i MSP (I, IIA, IIB, IIC)
- električni parametri uređaja
- karakteristike eksploatacije i održavanje
- cena pojedinog izvođenja protiveksplozivne zaštite

Bez obzira na to u kojoj su vrsti protiveksplozivne zaštite izvedeni, električni uređaji moraju da zadovolje tzv. opšte zahteve (principe) koji garantuju osnovu da se uređaj može izvesti u jednoj od vrsta protiveksplozivne zaštite.

Svi električni uređaji predviđeni za rad u potencijalno eksplozivnom ugroženom prostoru moraju biti posebno ispitani i na temelju toga atestirani, što je propisano ili standardima regulisano. Ispitivanja se mogu podeliti na tri nivoa:

- tipska ispitivanja ili ispitivanja za sertifikaciju tipa
- pojedinačna ispitivanja ili ispitivanja za svrhu dokaza usaglašenosti pojedinačnog uređaja sa sertifikatom tipa
- ispitivanje posle izvedenih prepravki ili remonta

3.1. Tipovi protiveksplozivne zaštite elektromotora

Električne mašine mogu biti uzročnici paljenja eksplozivne sredine kao rezultat povišene temperature kućišta, elektrostatičkih pražnjenja ili mehaničkih varničenja. Da bi se osigurala protiveksplozivna zaštita kod elektromotora razmatraju se sledeće vrste zaštite od paljenja: povećana bezbednost, nepropaljivo kućište, izvedba koja ne dozvoljava varničenje, zaštita nadpritiskom.

Elektromotori koji su izrađeni u vrsti zaštite nepropaljivog kućišta ("d"), izrađeni su tako da ukoliko dođe do eksplozije unutar kućišta eksplozija se ni u jednom slučaju ne može proširiti na eksplozivnu atmosferu van kućišta, tako da kućište mora izdržati pritisak usled eksplozije. Temperatura kućišta se mora održavati u granicama klase gasa koji se nalazi u atmosferi oko mašine.

Kućišta sa natpritiskom "p" su izrađena tako da se unutar kućišta stvara pritisak koji je viši od ambijentalnog pritiska, tako da se ne dozvoli prodor eksplozivne smeše u samo kućište. Da bi se obezbedila protiveksplozivna zaštita neophodan je konstantan monitoring pritiska u kućištu, kao i da ne dođe do povišenja temperature površine kućišta.

Zaštita elektromotora koja je izvedena tako da ne izaziva varničenje "n" je bazirana na tipu zaštite povećane sigurnosti i namenjena je za upotrebu u zoni 2, zbog nižih verovatnoća pojave prisustva zapaljive atmosfere u ovoj zoni. Motori izvedeni u ovom tipu protiveksplozivne zaštite ne smeju se pokretati ukoliko je prisutna eksplozivna sredina.

Povećana bezbednost "e" je tip sekundarne protiveksplozivne zaštite u kojoj se primenjuju dodatne mere, tako da se postiže povećana bezbednost protiv mogućnosti povećanja temperature i pojave lukova i varnica unutar i van kućišta uređaja koji u normalnom radu ne stvara lukove i varnice. Ova zaštita se zasniva na smanjenju verovatnoće nastanka uzročnika paljenja izborom uređaja koji u normalnom radu ne mogu izazvati paljenje, a koji svojim karakteristikama garantuju malu verovatnoću nastanka kvara, dok se paljenje može javiti samo u slučaju kvara. Ova vrsta protiveksplozivne zaštite elektromotora je samo tehničko-tehnološko unapređenje tzv. motora obične izrade koje sadrži niz dodatnih mera za povećanje sigurnosti.

3.5 Zaštita elektromotora povećane sigurnosti od prekomernog zagrevanja

Najčešći uzrok povećanog zagrevanja elektromotora je preopterećenje, npr. opterećenje elektromotora momentom većim od nominalnog momenta koji može da razvije razmatrani elektromotor. Povećanim opterećenjem elektromotora struje se povećavaju u statorskim i rotorskim namotajima. Povećanjem struja u namotajima dolazi i do povećanja Džulovih gubitaka, koji se povećavaju sa kvadratom struje. Uzrok povećanog zagrevanja elektromotora može biti i rad elektromotora u uslovima gde se javlja odstupanje od osnovnih nazivnih parametara elektromotora.

Rad pri smanjenom naponu napajanja elektromotora dovodi do povećanih struja u statorskom namotaju. Zbog smanjenog napona napajanja dolazi do smanjenja indukovane EMS što dovodi do smanjenja magnetne indukcije u mašini tj. fluksa, što rezultuje povećanom klizanju pri konstantnom opterećenju. Povećanjem klizanja rastu džulovi gubici u rotoru mašine, što dovodi do zagrevanja.

Povećanjem napona napajanja iznad nazivne vrednosti dolazi do povećanja indukcije što može dovesti do zasićenja usled čega dolazi do povećanja gubitaka u gvožđu mašine. Prilikom zasićenja magnetnog kola mašine dolazi do povećanja reaktivne komponente struje statora, što dovodi do povećanja džulovih gubitaka u statorskim namotajima mašine.

Pojavom nesimetričnog napona napajanja, ili nestanka jedna faze ne znači da će doći do zaustavljanja elektromotora. U slučaju malog opterećenja mašine doći će samo do povećanja klizanja što dovodi do povećanja džulovih gubitaka u rotoru mašine. Nestankom jedne od faza doći će do povećanja struja u preostale dve faze što dovodi do povišenja temperature.

Motor u zaštiti povećana sigurnost u pogledu porasta temperature može da izdrži sve očekivane režime rada osim režima ukočenog rotora. Proizvođač garantuje da motor pri struji ukočenog rotora (I_A) iz početnog stanja pri ustaljenom porastu temperature u nominalnom režimu rada, što predstavlja struju polaska, i posle toga dođe do ukočenog rotora pri najvišoj temperaturi okoline, neće premašiti granice temperaturne klase za koju je deklarisan. Vreme t_E predstavlja vreme potrebno da polazna struja (I_A) zagreje namotaj od temperature u radu pri nominalnom opterećenju na najvišoj temperaturi okoline do granične temperature. Pod vremenom

zagrevanja t_E podrazumeva se vreme koje u slučaju da se rotor ukoči, tj. nastanka mehaničkog kratkog spoja, protekne dok se ne dostigne maksimalna dozvoljena granična temperatura statorskog odnosno rotorskog namotaja ili dok ne odreaguje zaštitni uređaj. Ovo je veoma bitno jer motor u zaštiti povećana sigurnost čini protiveksplozivno sigurnu celinu samo u sklopu sa odgovarajućom električnom zaštitom.

Indirektnu zaštitu čine prekostrujni okidači i releji (MZP) koji nadziru zagrevanje namotaja elektromotora posredno preko struje. Upotreba ovih zaštitnih uređaja je uglavnom zadovoljavajuća kod rada elektromotora sa konstantnim opterećenjem u normalnim uslovima. Njihova osnovna mana je što se vremenska konstanta zagrevanja samog releja ne može podešavati u širokom opsegu i sa malom rezolucijom, zbog čega nije moguće postići da vremenska konstanta releja bude uvek jednaka vremenskoj konstanti zagrevanja elektromotora. Bimetal daje neodgovarajuću sliku zagrevanja elektromotora u nekim situacijama kada opterećenje nije konstantno odnosno u intermitentnim režimima rada sa kratkotrajnim prekidima kod kojih se često dešava da je motor preopterećen, a bimetal ne reaguje.

Vrsta greške gde bimetalni relej pruža najpouzdaniju zaštitu jeste upravo zaštita od ukočenog rotora ali u eksplozivnoj sredini kod zaštite povećane bezbednosti motora treba postaviti relej sa funkcijom reseta. Vreme delovanja zaštitnog uređaja zavisi od veličine strujnog preopterećenja elektromotora. Vreme t_E mora biti takvo da se u toku njegovog trajanja dok je rotor motora ukočen mašina može isključiti pomoću strujno zavisnog zaštitnog uređaja pre isteka vremena t_E . Prekostrujna zaštita kao što su bimetali, mikroprocesorski termički releji čine zaštitu elektromotora samo od zagrevanja izazvanog povećanim opterećenjem, tj. strujom. Ovi uređaji ne mogu da štite motore od preopterećenja nastalih zbog pogoršanih uslova hlađenja, povećane ambijentalne temperature i dr.

Zato se koristi direktna termička zaštita elektromotora, što podrazumeva direktan nadzor temperature sondama, tj. termistorima ugrađenim direktno u namotajima motora. Sonda sama za sebe ima samo indikatorski karakter i predstavlja zaštitu samo u sklopu sa nekim prekidačkim uređajem, npr. termistorskim relejom. Direktna zaštita u nekim situacijama je nezamenljiva jer direktno meri temperaturu motora i reaguje na nju nezavisno od uzroka zagrevanja. Ovi uređaji mogu nedovoljno brzo da reaguju u situaciji ukočenog rotora, kada dolazi do naglog povećanja temperature namotaja koja ne mora biti dovoljno brzo preneti na termistor.

Dinamički odziv zavisi od načina ugradnje u namotaj, odnosno brzine prenosa toplote. Zbog toga se za motore sa protiveksplozivnom zaštitom povećana bezbednost zahteva da ovi uređaji ukoliko se koriste za zaštitu od ukočenog rotora budu ispitani zajedno kao sistem, u suprotnom se primenjuje i bimetal koji služi kao zaštita od ukočenog rotora a termistori za direktno praćenje temperature tj. preopterećenja.

4. REGULISANI ELEKTROMOTORNI POGON U EKSPLOZIVNOJ SREDINI

Elektromotorni pogoni napajani iz pretvarača učestanosti pružaju veliki broj prednosti, njihov rad uključuje i neke

mane, u EMP-u u prostorima ugroženim eksplozijama, mogu predstavljati opasnost od eksplozije.

Porast temperature je definisan za rad motora pri nominalnoj brzini, s potpunim hlađenjem, ukoliko nije forsirano hlađenje i uz čist sinusni talasni oblik napona napajanja. Po definiciji čist sinusni talasni oblik napona ne sadrži harmonike višeg reda (samo osnovnu učestanost), ali izlazni napon pretvarača sadrži i više harmonike, koji će se javiti i na priključcima elektromotora. Ovi harmonici u naponu ne daju korisni momenat, već dovode do povećanog zagrevanja samog elektromotora. Sa stanovišta zagrevanja bitno je kod elektromotora napojenih preko pretvarača uzeti u obzir i sledeće elemente [4][5]:

- ventilacija i hlađenje elektromotora kroz kompletan opseg brzine,
- najveće struje preopterećenja i granice trajanja najveće struje (podesivo na pretvaraču),
- U/f karakteristiku uzimajući u obzir U_0 koji kada je većeg iznosa takođe dodatno zagreva motor,
- karakteristiku moment/brzina radne mašine,
- stvarni oblik napona i struje na priključcima elektromotora,
- uticaj uslova okoline i dr.

Ukoliko je hlađenje elektromotora izvedeno ventilatorom koji je montiran na drugu stranu vratila elektromotora, pri smanjenju brzine elektromotora smanjuje se i uticaj hlađenja ventilatora tj. protok vazduha preko kućišta elektromotora. Ukoliko je motor potpuno opterećen, a brzina manja za 50%, od motora se zahteva da daje maksimalni momenat s polovinom potrebne količine hlađenja. Ta redukcija faktora hlađenja sa smanjenjem brzine će dostići tačku na kojoj je dopušteni porast temperature motora premašen, što uzrokuje smanjenje veka eksploatacije izolacije ili grešku koja može biti uzročnik paljenja eksplozivne atmosfere.

U invertorskom bloku pretvarača usled uključenja prekidačkih komponenti (npr. IGBT) nastaju prelazne pojave koje na kablovima, kojim je povezan motor sa pretvaračem, mogu rezultovati pojavom prenapona na priključnim terminalima elektromotora usled rezonantnih putujućih naponskih talasa. Budući da je talasni otpor tj. odnos L/C elektromotora znatno veći od talasnog otpora napojnog kabla motora, na priključnim terminalima motora se javljaju naponi iznosa većeg od napona međukola (i većeg od nazivnog napona motora). Putujući naponski talasi na priključcima motora prodiru u namotaje i mogu dovesti do povećanog naprezanja izolacije.

Takođe ti vršni naponi (U_{peak}), koji moraju biti definisani od proizvođača pretvarača (za različite slučajeve) mogu ugroziti vazdušni zazor i površinske provodne staze u priključnoj kutiji. Ugrožavanje vazdušnog zazora podrazumeva da može doći do preskoka varnice jer je napon veći od nazivnog, dok ugrožavanje površinske provodne staze podrazumeva da u priključnoj kutiji može doći do preskoka između dva provodna dela preko izolacionog materijala koji je projektovan prema nazivnom naponu elektromotora.

Proizvođač pretvarača treba da definiše vreme porasta napona (t_r), kao i vršnu vrednost napona nastalog prekidačkim radom pretvarača (U_{peak}). Definicija vremena porasta napona uzima u obzir tranzitne pojave u namotajima elektromotora.

Napon vratila nastaje zbog nesimetrije magnetnog polja u vazdušnom zazoru. Indukovani napon na vratilu, iako relativno mali, uzrokuje znatne struje u ležajevima, jer je mala otpornost strujnog kruga, koje mogu oštetiti ili čak uništiti ležaj. Zagrevanje se može javiti na dodirnim tačkama tolikog iznosa da se materijal topi. Oštećenja ležajeva mogu dovesti i do mehaničkih kvarova što može izazvati i mehaničko varničenje koja predstavlja uzrok paljenja eksplozivne sredine

5. ZAKLJUČAK

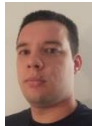
Pred elektromotorne pogone postavljaju se veliki i zahtevni izazovi. Kako osnovu elektromotornih pogona čine električne mašine, koje po svojoj prirodi imaju razne nedostatke koji se između ostalog ogledaju i u nepovoljnom uticaju na eksplozivne sredine, tj. mogu predstavljati uzročnike eksplozije, nameće se potreba za njihovom posebnom konstrukcijom za bezbedan rad u takvim uslovima.

Svakodnevnim razvojem tehnologije, samim tim i napretkom primene električnih mašina uvode se nove metode za ispitivanje električnih mašina čime se ostvaruje značajan napredak na razvoju samih mašina namenjenih za rad u različitim ambijentalnim uslovima, što dovodi do bezbednije i sigurnije primene samih elektromotornih pogona i u eksplozivno ugroženim sredinama.

4. LITERATURA

- [1] IEC 79-4:1975 Method of test for ignition temperature
- [2] IEC 60079-20-1:2010 Material characteristics for gas and vapour classification - Test methods and data
- [3] IEC 60079-10:2002 Classification of hazardous areas
- [4] prof. dr Veran Vasić, prof. dr Đura Oros, "Energetska elektronika u pogonu i industriji"
- [5] IEC 60079-14:2013 Electrical installations design, selection and erection
- [6] Dipl.inž.el. Ivica Gavrančić, "Dijagnostika protuekslozijski zaštićenih elektromotornih pogona", Zagreb, 2002.
- [7] Mr Lidija V.Pavlović, prof. dr Zoran M.Lazarević, "Asinhroni motori u protivekslozivnoj zaštiti "povećana bezbednost", Beograd, 2008.

Kratka biografija:



Goran Cibula rođen je u Novom Sadu 1991. god. Diplomski rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Elektrotehnike i računarstva – Energetska elektronika i električne mašine odbranio je 2014.god