Problematika i načini prematanja sinkronih kaveznih elektromotora

Kragulj, Srđan

Undergraduate thesis / Završni rad

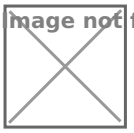
2016

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Polytechnic Pula - College of Applied Sciences / Politehnika Pula - Visoka tehničko-poslovna škola s pravom javnosti**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:212:502373

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

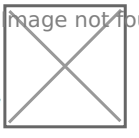
Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**



Repository / Repozitorij:

Digital repository of Istrian University of applied sciences





POLITEHNIKA PULA

VISOKA TEHNIČKO-POSLOVNA ŠKOLA

KOLEGIJ: ELEKTROTEHNIKA

SRĐAN KRAGULJ

PROBLEMATIKA PREMATANJA ASINKRONOG MOTORA

ZAVRŠNI RAD

Pula, 2016

SRĐAN KRAGULJ

MB.

Završni rad

PROBLEMATIKA PREMATANJA ASINKRONOG MOTORA

Politehnika Pula

Mentor: Mr.sc. Radovan Jokić

PULA, 2016.

SAŽETAK

Ovim se radom u području asinkronih elektromotora ukazuje na načine recikliranja odnosno premotavanja istih.

Da bi se pristupilo prematanju asinkronih elektromotora potrebno je poznavati osnovne principe rada, dijelove, karakteristike asinkronih motora i njegovog namota. Potreba za premotavanjem nije samo u cilju popravka motora već se time mogu i poboljšati neke od njegovih karakteristika. S toga se kroz ovaj rad uz upoznavanje osnova principa rada i sastavnih dijelova asinkronih motora može dobiti uvid i kako premotati i izračunati potreban namot asinkronog motora za gotov statorski paket. Popraviti, premotati motor na iste tvorničke karakteristike namota. Prenamijeniti asinkroni motor za rad na različiti nazivni napon od tvorničkog, frekvenciju, broj okretaja.

SUMMARY

Whit this final work in the field of AC induction motors is indicated a way of recycling or rewinding them.

To be able to rewind them it is necessary to know their basic principles of work, parts, and characteristics of their windings. The need to rewind them is not only to repair them, but also to improve some of their characteristics. Therefore in this final work along to the knowledge to the basic principle of work and components of AC induction motors, can get insight how to rewind and calculate the winding for finished empty stator. Repair and rewind the motor with the same factory winding characteristics. And even repurpose the same AC induction motor to operate at different voltage then the factory voltage, frequency or his factory speed by changing his number of poles.

Sadržaj

1. UVOD 1
1.1. OPIS I DEFINICIJA PROBLEMA 1
1.2. CILJ I SVRHA RADA 1
1.3. POLAZNA HIPOTEZA 1
1.4. STRUKTURA ZAVRŠNOG RADA 1
2. ASINKRONI ELEKTROMOTORI 3
2.1 SASTAVNI DIJELOVI 3
2.2 OSNOVNI PRICIP RADA ASINKRONOG ELEKTROMOTORA 7
2.3 BRZINE VRTNJE ASINKRONIH ELEKTROMOTORA 9
2.4 NAMOTI ASINKRONIH ELEKTROMOTORA, POJMOVI I DEFINICIJE 10
2.5 OZNAKE NAMOTA ASINKRONIH MOTORA I NJIHOVO SPAJANJE NA 14
3. VRSTE I POSTUPCI PREMATANJA ASINKRONIH ELEKTROMOTORA 16
3.1. PRORAČUN NAMOTA TROFAZNOG ASINKRONOG MOTORA SREDNJE SNAGE 16
3.1.1. DIMENZIJE STATORSKOG PAKETA I OSTALE VELIČINE POTREBNE ZA 16
3.1.2. ODREĐIVANJE BROJA ZAVOJA U JEDNOJ FAZI 20
3.1.3. ODREĐIVANJE PRESJEKA VODIČA ZA NAMATANJE 24
3.2. PREMATANJE S ISTIM PODACIMA U CILJU POPRAVKA ASINKRONOG 25
3.3. PREMATANJE S CILJEM PROMJENE NAZIVNOG NAPONA 30
3.4. PREMATANJE ZA PROMJENU FREKVENCIJE 33
3.5. PREMATANJE U CILJU PROMJENE BROJA POLOVA 35
4. IMPREGNIRANJE, LAKIRANJE I SUŠENJE NAMOTA 38
4.1. SUŠENJE NAMOTA 38
4.1.1. SUŠENJE ELEKTRIČNOM STRUJOM U NAMOTIMA 39
4.1.2. SUŠENJE U PEĆI 39
4.2. IMPREGNIRANJE NAMOTA I LAKIRANJE ČEONIH SPOJEVA NAMOTA 40
4.2.1. VRSTE LAKOVA 40
5. VRSTE I POSTUPCI ISPITIVANJA ELEKTROMOTORA 42
5.1. IPITIVANJE ŽELJEZNE JEZGRE ELEKTROMOTORA 42
5.1.1. KLASIČNI NAČIN IPITIVANJA STATORSKE JEZGRE 42
5.1.2. ALTERNATIVNI NAČINI ISPITIVANJA STATORSKE JEZGRE 44
5.2. MJERENJE IZOLACIJE 45

5.2.1. MJERENJE IZOLACIJSKOG OTPORA 46
5.2.2. ISPITIVANJE IZOLACIJE NAMOTA 46
5.2.3. ISPITIVANJE IZOLACIJE MEĐU ZAVOJIMA 47
5.2.4. VISOKONAPONSKO ISPITIVANJE IZOLACIJE NAMOTA 47
5.3. MJERENJE OTPORA NAMOTA 48
5.3.1. WHEATSTONEOV I THOMSONOV MOST ZA MJERENJE OTPORA 48
5.3.2. U-I METODA MJERENJA OTPORA 49
5.4. MJERENJA PRAZNOG HODA 51
5.5. MJERENJA ZAGRIJAVANJA 52
6. KALUPI ZA NAMATANJE SVITAKA 53
7. ZAKLJUČAK 55
8. LITERATURA 56
8.1 KNJIGE 56
8.2 INTERNET 56
9. POPIS SLIKA I TABLICA 57
9.1 POPIS SLIKA 57
9.2 POPIS TABLICA 58

1. UVOD

1.1. OPIS I DEFINICIJA PROBLEMA

Pojavom asinkronih motora i njihovom širokom primjenom u svijetu nastala je i potreba za njihovim prematanjem. U današnje vrijeme automatiziranih postrojenja namatanje novih elektromotora postalo je puno jednostavnije, brže i jeftinije ali se ujedno i pojavljuje nagomilavanje neiskorištenih elektromotora koji se mogu reciklirati pomoći prematanja ili pak poboljšati njihove karakteristike novim izračunom, boljim izborom izolacionih materijala, poboljšanom izvedbom impregnacije.

1.2. CILJ I SVRHA RADA

Uvidom u osnovne konstrukcijske i elektrotehničke metode i procese prematanja asinkronih elektromotora, izraditi smjernice za lakšu promjenu ili prenamjenu asinkronih elektromotora i njihovo ispitivanje prije nego se motor pusti u konačan rad.

1.3. POLAZNA HIPOTEZA

Jednostavnom prenamjenom, premotavanjem, istog asinkronog elektromotora, dozvoljeno zakonitostima elektrotehnike i tvorničkom konstrukcijom , u različite druge tehničke karakteristike, napona, frekvencije, broja okretaja, pruža se prostor za brži odgovor na današnje oskudnije i ekološko pitanje sirovina.

1.4. STRUKTURA ZAVRŠNOG RADA

Rad pod nazivom „Problematika prematanja asinkronih motora“ sastoji se od osam poglavlja. Prvo poglavlje rada započinje uvodnim dijelom gdje je objašnjena definicija problema, potreba za prematanjem asinkronih motora s obzirom na tvorničke karakteristike te prematanje u cilju poboljšanja istih. Opisani su cilj i svrha rada te polazna hipoteza.

Drugo poglavlje odnosi se na općeniti dio o asinkronim motorima gdje se govori o sastavnim dijelovima asinkronih motora, njihovoj konstrukcijskoj podijeli, osnovnim principima rada asinkronih motora, njegovim elektrotehničkim karakteristikama kao što su nazivni napon,

frekvencija, brzine vrtnje i namotima u asinkronim motorima. Pojmovi i definicije kod namotaja, njihovo označavanje i spajanje.

Treće poglavlje rada bazira se na prematanju gotovih statorskih paketa asinkronih motora. Proračun namotaja kod gotovog statorskog paketa gdje su nepoznate karakteristike namotaja ili ga uopšte nema u statorskom paketu. Kako izmjeriti i koje su osnovne dimenzije statorskog paketa i njegove oznake. Uz pomoć proračuna doći do podataka o potrebnom namotu za gotov statorski paket te odgovarajućem presjeku vodiča. Objašnjena je procedura prematanja asinkronog motora na iste tvorničke karakteristike motora, u cilju popravka, gdje se vidi kako iz statorskog paketa dobiti podatke namota potrebne za njegovo prematanje, kako odstraniti stari namotaj iz statorskog paketa te isti premotati sa istim tvornički izračunatim podacima namota. Osim prematanja na iste karakteristike motora odrađeno je i prikazano jednostavnim proračunom i prematanje sa novim karakteristikama motora kao što je rad na novi nazivni napon, frekvenciju ili drugi broj polova.

U četvrtom poglavlju pobliže je objašnjeno kojim se materijalima koristi prilikom prematanja asinkronih motora, njihovim odgovarajućim odabirom u odnosu na rad i karakteristike asinkronog motora, pozitivnim i negativnim stranama. Govori se i o impregnaciji namota, zašto je to potrebno i koje vrste impregnacije postoje te sušenju namota prije, ako je potrebno, te nakon impregnacije.

Peto poglavlje rada odnosi se na ispitivanje asinkronih elektromotora gdje je detaljno objašnjeno kako ispitati ispravnost statorskog paketa, odnosno željezne jezgre. Ispitivanje proboja izolacije i njezine ispravnosti prema željeznoj jezgri, međuslojevima u utoru te između pojedinih faza u namotu. Objašnjen je i način kako izmjeriti otpor namotaja. Usporedbom mjerenih i računskih vrijednosti otpora novog namota može se provesti uspješna i brza kontrola ispravnosti popravka, odnosno prematanja. Tu kontrolu treba napraviti prije isporuke motora, a preporučuje se i prije impregniranja namota.

Šesto poglavlje govori o napravama za namatanje svitaka. Od kojih se materijala izrađuju i zašto. S obzirom na različite veličine motora i njihovih svitaka objašnjena je konstrukcijska izvedba naprava koja omogućava da se na istim kalupima napravi više vrsta svitaka što olakšava sam proces.

Sedmo poglavlje sadrži zaključak u kojem se u kratkim crtama odgovara na uvodnu tezu rada. Te se rad završava osmim poglavljem u kojem je napisana korištena literatura.

2. ASINKRONI ELEKTROMOTORI

Asinkroni elektromotori jedni su od najkorištenijih elektromotornih pogona današnjice. Otkriven je 1882g. , a za to je zaslužan znanstvenik i inovator Nikola Tesla i njegovo okretno magnetsko polje. Nadasve veliki obol razvoju asinkronih elektromotora u praksi dali su također Galileo Ferraris, Mihail Dolivo-Dobrowolsky, Friedrich August Haselwander, C.S. Bradley i drugi. Asinkroni elektromotori su u biti strojevi napajani izmjeničnom strujom kod kojih je brzina vrtnje rotora, različita od brzine vrtnje okretnog magnetskog polja pri određenoj frekvenciji struje u mreži, te se ona mijenja u odnosu na promjenu opterećenja na rotoru. U većini slučajeva izrađuju se kao trofazni elektromotori, a za manje snage do 2,2 KW i kao jednofazni elektromotori. Asinkroni elektromotori uglavnom su korišteni tamo gdje nije bilo potrebe za regulacijom brzine dok se u današnje vrijeme razvojem elektronike i elektroničkih komponenti, odnosno bolje poznatim frekventnim pretvaračima, koriste i tamo gdje je potrebna regulacija brzine vrtnje.

Asinkrone elektromotore u suštini dijelimo prema izvedbi rotorskog namotaja, a to su:

a) Asinkroni elektromotori sa kliznim kolutima

b) Asinkroni elektromotori sa kratko spojenim namotom rotora, bolje poznatiji kao kavezni asinkroni elektromotori

2.1 SASTAVNI DIJELOVI

Asinkroni elektromotori su najjednostavniji elektromotori, sastavljena od dva glavna elementa statora i rotora.

Stator, poznat i pod nazivom statorski paket, građen je u obliku šupljega valjka, a sastavljen od tankih međusobno izoliranih dinamo limova, vidljivih na slici 1.



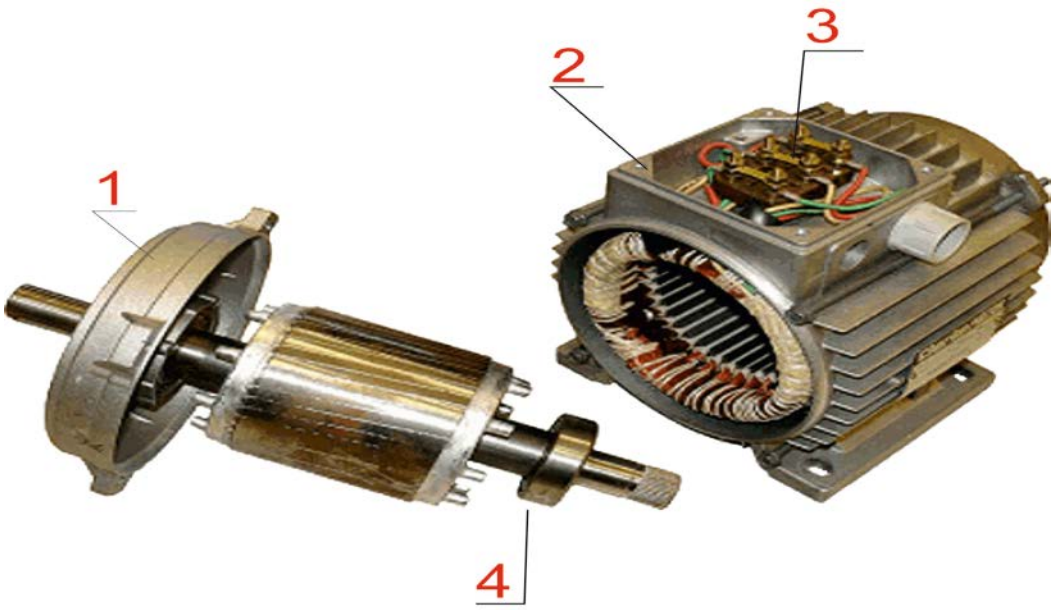
Slika 1 Statorski paket

Na unutrašnjoj strani valjka, cijelom dužinom statora, nalaze se utori u koje se raspoređuje namot. Takav se statorski paket može, a i ne mora, ugraditi u kućište, najčešće od sivog lijeva ili u današnje vrijeme od aluminija. Osim što štiti namotaj od mehaničkih oštećenja ujedno služi i kao medij za hlađenje pa se radi povećanja površine hlađenja izrađuje sa rebrima. Pojedine izvedbe kućišta prikazane su na slici 2.



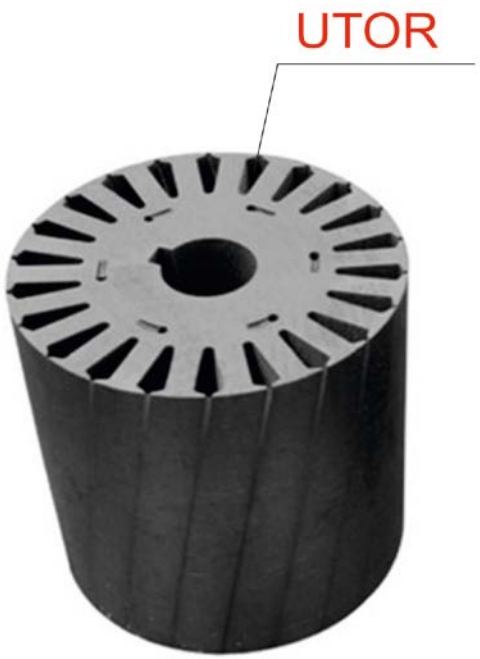
Slika 2. Različite izvedbe kućišta statorskih paketa

Na kućištu elektromotora nalazi se i spojna kutija elektromotora, u kojoj se vrši spajanje namotaja prema vrsti i namjeni samog elektromotora. Priključnica je napravljena od bakelita, materijala koji ne provodi električnu energiju i vijaka koji su međusobno izolirani. Bočne strane kućišta, takozvani bočni poklopci, služe za uležištenje ležaja rotora što u konačnici postavlja rotor u centar statorskog paketa. Svi su dijelovi prikazani kroz sliku 3.



Slika 3 Dijelovi asinkronog elektromotora; 1 - Bočni poklopac; 2 - Spojna kutija; 3- Priključnica; 4 - Ležaj

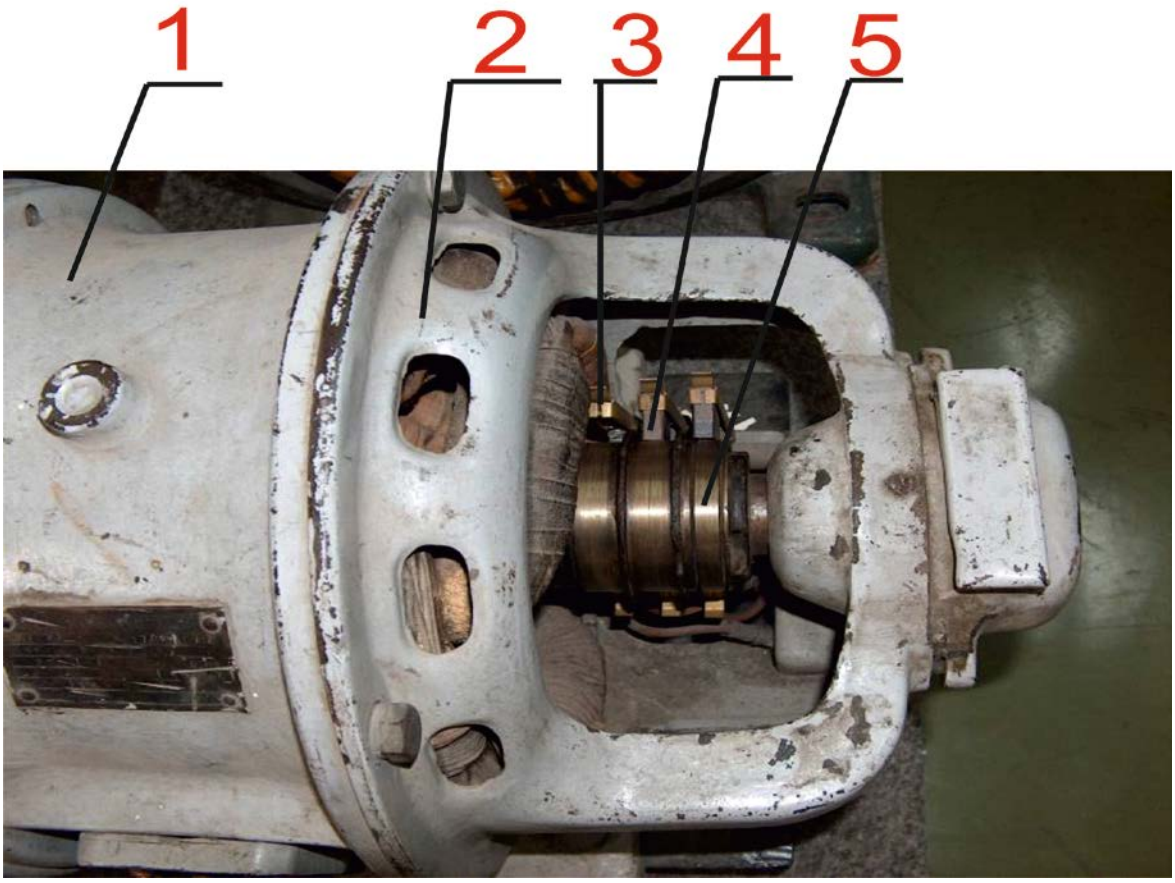
Rotor asinkronog elektromotora sastavljen je od osovine na koju je navučen rotorski paket, isto kao i statorski napravljen od tankih međusobno izoliranih dinamo limova, prikazanih na slici 4. Koji cijelom dužinom rotorskog paketa imaju utore u koje se raspoređuje namot.



Slika 4 Rotorski paket

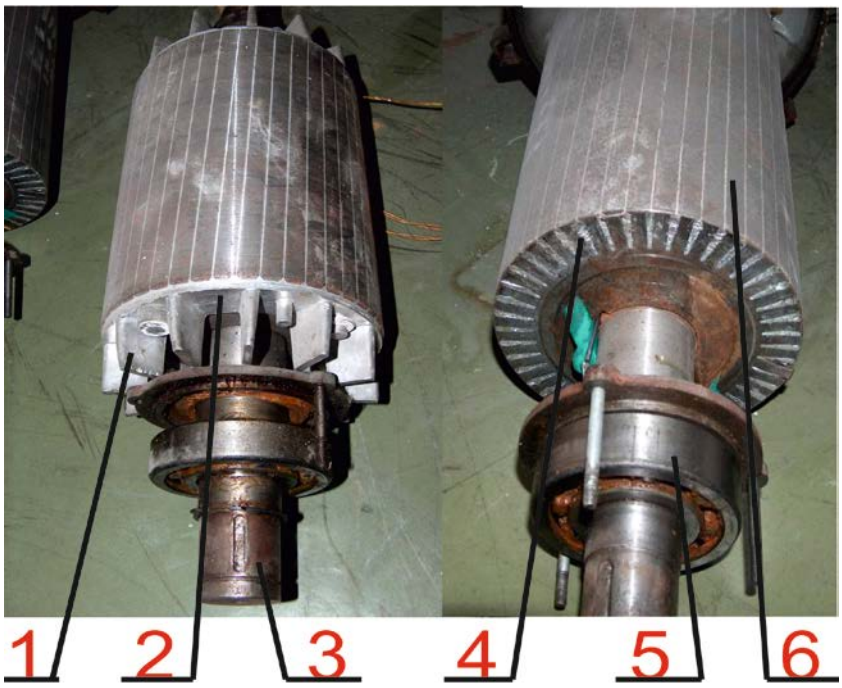
Ovisno o vrsti namota rotora dijelimo ih na klizno-kolutne i kavezne.

Kod kolutnih asinkronih motora na rotoru je raspoređen višefazni namot, u biti trofazni namot, koji se u spaja tako da se počeci namotaja spajaju u jednu točku takozvano zvijezdište a krajevi se izvode na klizne kolute. Klizni koluti, prstenovi, su također smješteni na osovini rotora, međusobno su izolirani a na njima klize četkice koje ostvaruju spoj namota rotora i vanjskih otpornika za upuštanje motora.



Slika 5 Kolutni asinkroni motor; 1- Kućište; 2- Bočni poklopac; 3- Nosač četkica; 4- Četkica; 5- Klizni prsten

Rotor kaveznih asinkronih motora, prikazan na slici 6, izvodi se tako da se u utore rotorskog paketa ugrađuje po jedan vodič, štap, koji odgovara obliku utora. Oni se međusobno na krajevima spoje prstenovima i tako tvore rotorski namot koji ujedno izgleda kao kavez po čemu su i dobili ime.



Slika 6 Kavezni rotor asinkronog motora; 1- Ventilator za hlađenje; 2- Kratkospojni prsten; 3- Osovina; 4- Rotorski štap; 5- Ležaj; 6- Rotorski paket

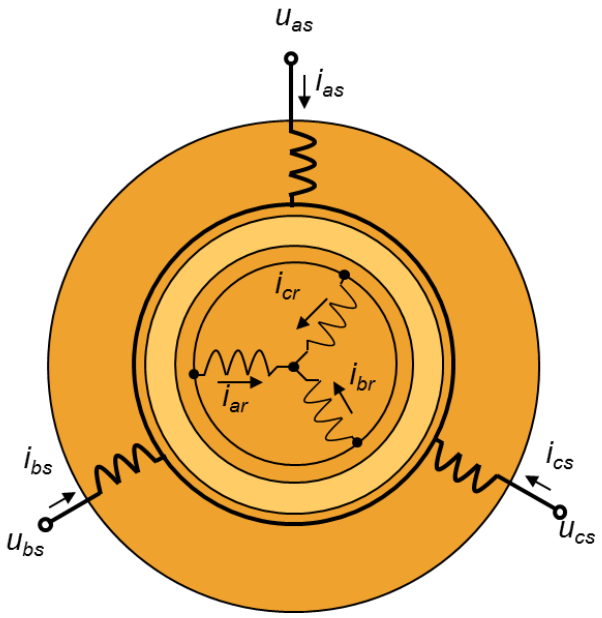
2.2 OSNOVNI PRICIP RADA ASINKRONOG ELEKTROMOTORA

Princip rada asinkronog elektromotora temelji se na djelovanju okretnog magnetskog polja i pojavi elektromagnetske indukcije objašnjene od Faradaya 1831g. Ako okrećemo stalni magnet, znajući da stalni magnet ima i svoje magnetske silnice oko njega, okrećemo i njegove magnetske silnice odnosno stvaramo okretanjem njegovo magnetsko polje. U takovo okretno magnetsko polje pridružimo kvadratnu bakrenu pločicu u kojoj će se zbog elektromagnetske indukcije inducirati vrtložne struje, a prema Lenzovom zakonu inducirane vrtložne struje u bakrenoj pločici suprotstavljaju se svome uzroku nastanka, odnosno okretanju magneta, i nastoje ga zaustaviti. Brzina kojom se okreće bakrena pločica zaostaje za brzinom okretanja magneta jer kada bi one bile iste tada se u bakrenoj pločici ne bi inducirale vrtložne struje jer silnice magneta ne bi sjekle bakrenu pločicu, što dovodi do zaključka da se bakrena pločica i magnet ne vrte podjednako-sinkrono već se njihove brzine razlikuju-asinkrono.[1]

[1] Hairo V. i Danon J. ;Električne mašine;Tehnička knjiga;Beograd;1972g. str 115

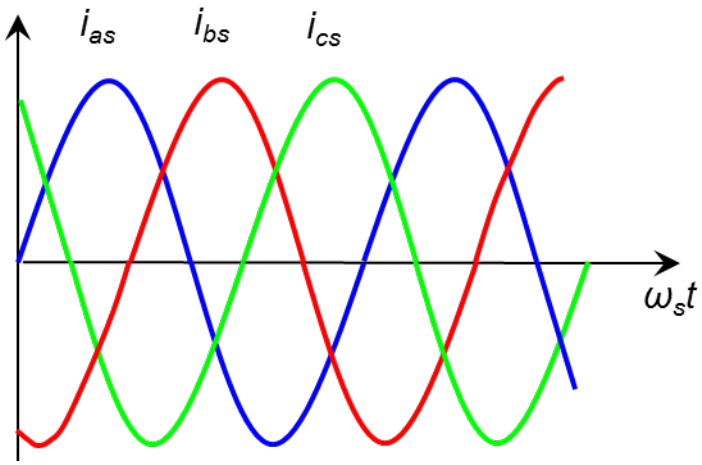
Kod asinkronih motora okretno magnetsko polje je statično u prostoru ali je promjenjivo u vremenu. Zato je za njegovo stvaranje potrebno bar dvije faze koje su međusobno promjenjive u vremenu ali i međusobno pomaknute.

Okretno magnetsko polje se kod trofaznog asinkronog motora, kao na slici 7, stvara u namotima statora, a on se sastoji od tri fazna namota koji su geometrijski međusobno pomaknuti za 120 º.



Slika 7 Shematski prikaz trofaznog asinkronog motora

Na takav statorski namot priključuje se trofazni simetrični sinusni fazni napon ($u_{as},\ u_{cs},\ u_{bs}$) koji je isto tako vremenski fazno pomaknut za 120º. Kroz namote statora poteku struje istih veličina ($i_{as},\ i_{bs}, i_{cs}$) i faznog pomaka od 120º, prikazane na slici 8.



Slika 8 Prikaz struja u trofaznom asinkronom motoru

Zbog prostornog pomaka namota statora od 120º po fazi i vremenski fazno pomaknutih struja od 120º sve će tri struje u namotima statora dati jedinstveno okretno magnetsko polje koje će se rotirati sinkronom brzinom. Sinkrona brzina vrtnje ovisi dakle o frekvenciji mreže i broju polova namota statora pa se sinkrona brzina može izračunati po formuli[2]

$$n_{sin} = \frac{120 * f}{p} \quad [min^{-1}]$$

Gdje je:

f-frekvencija mreže

p- broj polova namota asinkronog motora

2.3 BRZINE VRTNJE ASINKRONIH ELEKTROMOTORA

Jedna od negativnih strana asinkronih motora je ta da se mogu napraviti samo za određenu brzinu vrtnje, a ona se utvrđuje brojem polova *p* i frekvencijom mreže kojom se napaja *f*. Pošto je brzina vrtnje rotora uvijek nešto manja od brzine okretnog magnetskog polja, jer da su jednake u namotima rotora ne bi se inducirala struja, to se zaostajanje mehaničke brzine vrtnje od brzine vrtnje okretnog magnetskog polja naziva klizanje. Tako je u neopterećenom asinkronom motoru, kada motor radi u praznom hodu, klizanje približno jednako nuli, odnosno najmanje je. Sa povećanjem opterećenja na rotoru povećava se i klizanje. Ako se motor preoptereti toliko da se rotor prestane okretati tada je klizanje k=1, što bi odgovaralo kratkom spoju namota motora.

Asinkroni elektromotori se najčešće izrađuju za tipiziranje brzine vrtnje, a date su u tablici 1.

[2] Ing. W. Nurnberg;Ispitivanje električnih strojeva; školska knjiga;Zagreb;1951g.; str 77

Tabela 1 Tipizirane brzine vrtnje asinkronih motora

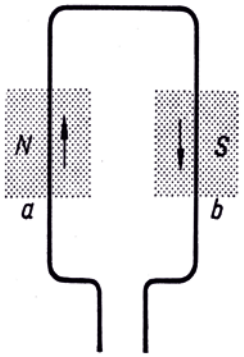
Broj polova 2p	Sinkrone brzine vrtnje u min^{-1}	
	50 Hz	60Hz
2	3000	3600
4	1500	1800
6	1000	1200
8	750	900
10	600	720
12	500	600
16	375	450
24	250	300
32	188	225
36	167	200
40	150	180
48	125	150

2.4 NAMOTI ASINKRONIH ELEKTROMOTORA, POJMOVI I DEFINICIJE

Namot asinkronog motora, kako je već bilo rečeno ranije u tekstu, služi za stvaranje okretnog magnetskog polja. O njemu ovise mnoge tehničke vrijednosti samog elektromotora, kao što su korisnost, faktor snage, preopteretivost, zagrijavanje, magnetska buka itd. Osim tih vrijednosti o namotu i njegovoj kvaliteti izrade ovisi i pogonska sigurnost, vijek trajanja te na kraju i cijena elektromotora. Namot se smješta u utore, koji se nalaze po unutrašnjem obodu statorskog paketa i, ili na vanjskom obodu rotorskog paketa. Svaki se namot asinkronog motora sastoji od sljedećih elemenata[3]:

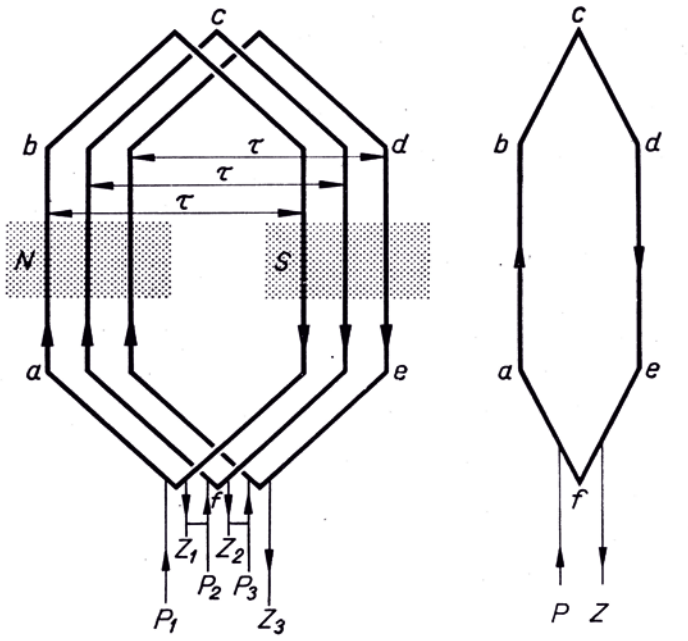
Zavoj: Element namota statora i rotora sastavljen od vodiča, uglavnom bakarnog, smještenog kao na slici 9 kroz utore (a i b) statora ili rotora. Takav zavoj naziva se još i aktivni zavoj, a može se sastojati od jedne ili više žica u paraleli.

[3] Ralčovski V.;Prematanje asinhronih motora;tehnička knjiga;Zagreb,970g.; str 10



Slika 9 Zavoj-element namota

Svitak: Svitak čine nekoliko aktivnih zavoja spojenih međusobno u seriju. Svitak se isto tako može sastojati od jednoga, dva, tri ili više aktivnih svitaka. Na slici 10 lijeva strana svitka *ab* naziva se ulazna i označena je sa slovom P, a desna *de* izlazna, označena sa slovom Z. Vanjski dijelovi *bcd* i *efa* nazivaju se čeoni dijelovi i sa ostalim svicima tvore krunu namota.

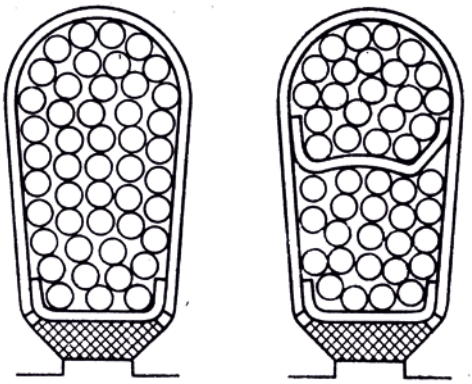


a b

Slika 10 a) svitak sa više aktivnih zavoja b) svitak sa jednim aktivnim zavojem

Prema obliku i izgledu svitaka i njihovom smještaju u utorima, namoti se dijele na jednoslojne i dvoslojne, lako uočljivo iz slike 11.

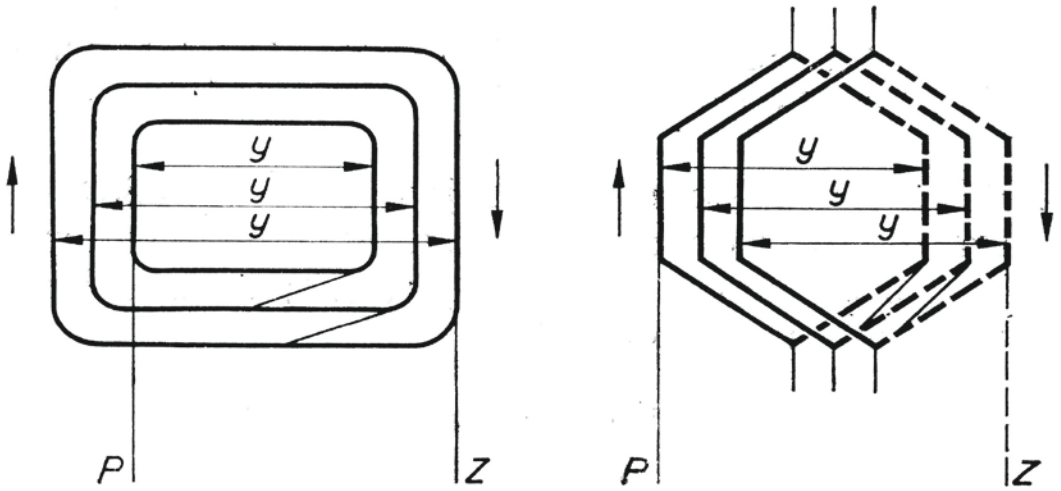
Naziv jednoslojni dolazi od toga što je u svaki utor postavljena samo jedna strana svitka, tj. jedan sloj, dok se pri dvoslojnom namotu u svaki utor postavljaju po dvije strane svitka, odnosno dva sloja od dva različita svitka.



a b

Slika 11 a) utor sa jednoslojnim namotom; b) utor sa dvoslojnim namotom

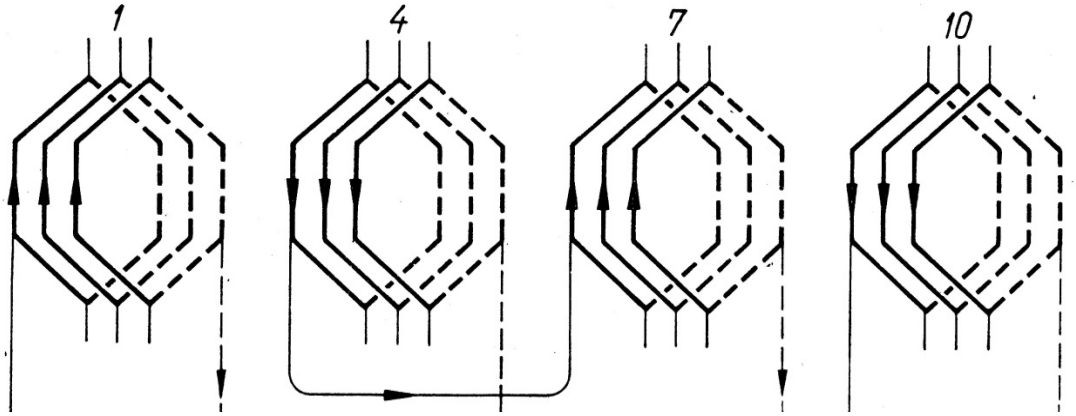
Polno-fazna grupa ili serija svitaka: Ovisno o broju utora *Z* na statoru ili rotoru, o broju polova i o broju faza, nekoliko svitaka mogu se serijski spojiti jedan s drugim da tvore polno-faznu grupu. Na slici 12 prikazana je polno fazna grupa sa po tri aktivna svitka u seriji. Na slici -a- prikazan je koncentrični namot dok je na slici -b- prikazan petljasti namot.



a b

Slika 12 . Shematki prikaz polno fane grupe; a) koncentrični namot; b) petljasti namot

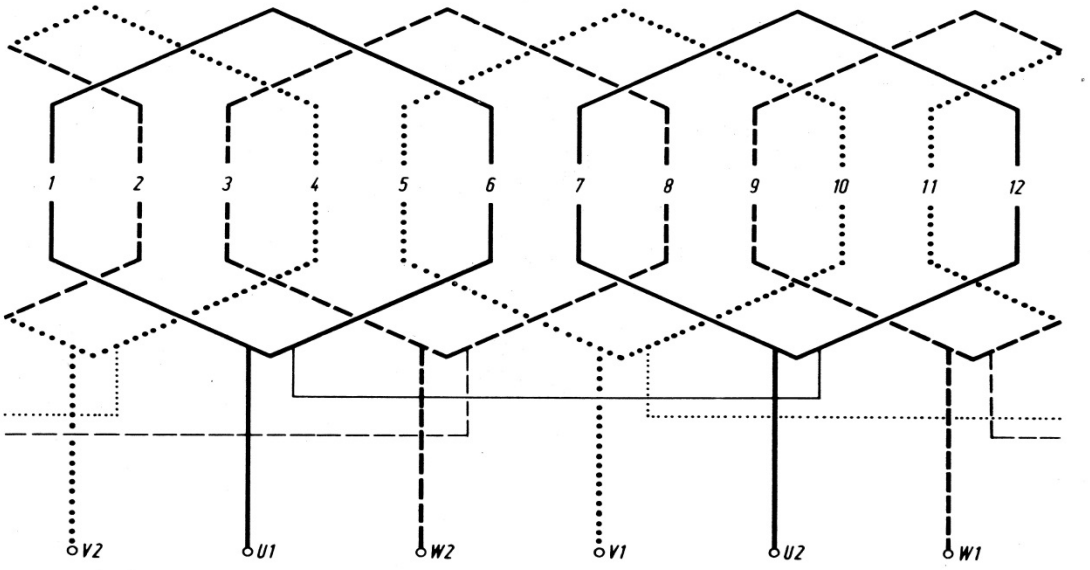
Fazna grupa: Jedna serija svitaka ili nekoliko njih u jednoj fazi sačinjavaju faznu grupu, primjer jedne takve fazne grupe prikazan je na slici 13.



Slika 13 Namot jedne faze 4-polnog dvoslojnog petljastog namota

Statorske namote možemo podijeliti i po vrsti izvedbe, odnosno načinu na kojem je namot smješten u utore pa tako dolaze u obzir: usipni, šivani, uložni i utični.

Korak svitka: Svaki svitak zauzima dva utora, a njihov se razmak naziva i korak svitka. Na slici 14 prikazana je shema namota trofaznog asinkronog kaveznog motora gdje se vidi da je korak svitka 1-6. Odnosno Svitak zauzima prvi utor sa svojim početkom i šesti utor sa svojim krajem.



Slika 14 Shema trofaznog statorskog namota

Ostali osnovni podaci koji se mogu dobiti iz shematskog prikaza jesu:

-broj utora 12

-jedan svitak su seriji

-korak svitka 1-6

-jednoslojan namot

-broj polova 2p2

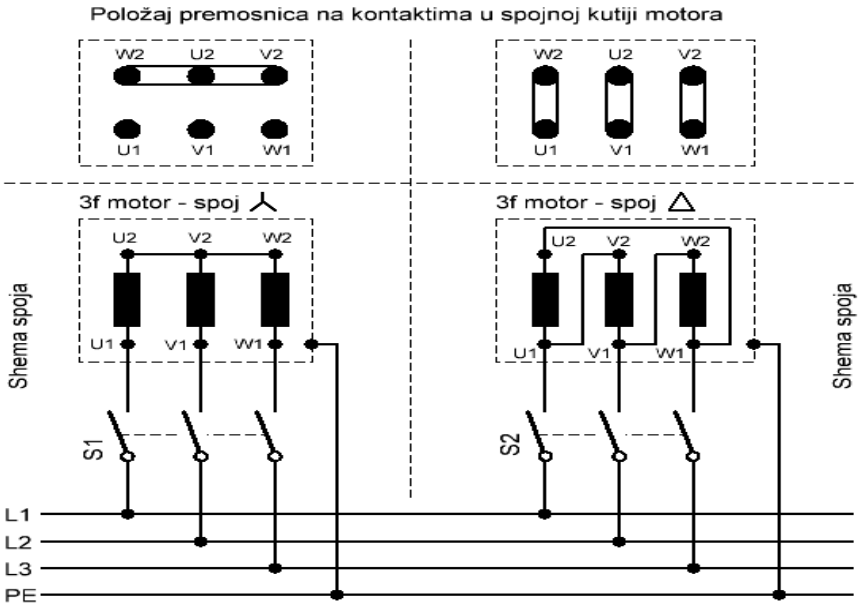
2.5 OZNAKE NAMOTA ASINKRONIH MOTORA I NJIHOVO SPAJANJE NA ELEKTRIČNU MREŽU

Svaki trofazni namot ima šest izvoda od čega su tri početka i tri kraja, a njihovo se simboličko označavanje vrši prema tablici 2.

Tabela 2 Oznake početaka i krajeva namota trofaznog asinkronog motora

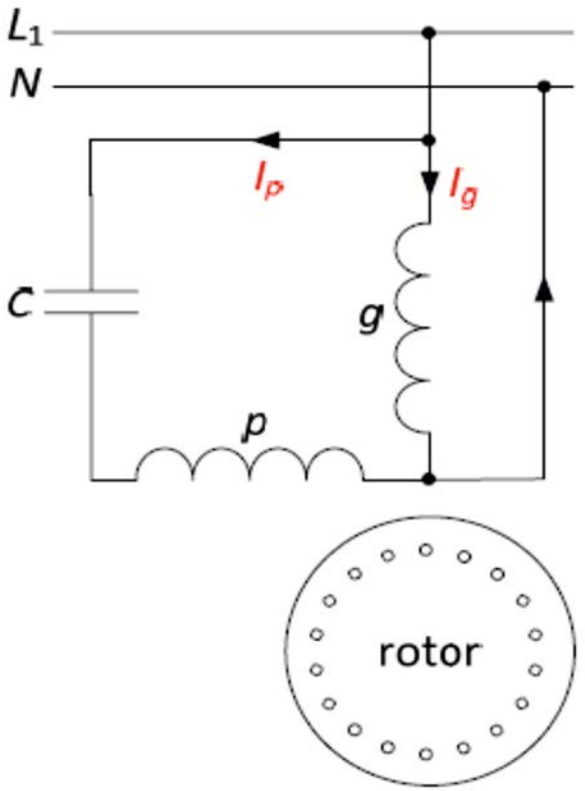
PRVA FAZA L1		DRUGA GAZA L2		TREĆA FAZA L3	
početak	završetak	početak	završetak	početak	završetak
U1 U	U2 X	V1 V	V2 Y	W1 W	W2 Z

Spajanje faza trofaznog asinkronog motora na mrežu vrši se na dva načina: spajanjem u zvijezdu ili spajanjem u trokut, što je i prikazano na slici 15.



Slika 15 Shema spajanja trofaznog asinkronog motora na električnu mrežu

Kod jednofaznih asinkronih motora, gdje imamo dva namota radni ili glavni (g) i pomoćni (p), početak radnog namota označava se sa U, a njegov završetak sa V. Početak pomoćnog, zvan još i zaletni namot, označava se sa W, a završetak sa Z. Njihovo je međusobno spajanje na mrežu prikazano na slici 16. Kao što je i vidljivo sa slike radni i pomoćni namot spojeni su paralelno na dovod mreže, gdje je početak radnog namota U i početak pomoćnog namota W spojen na fazni vodič L1, a između krajeva radnog namota V i pomoćnog namota Z spojen je kondenzator dok je nulti vod doveden na kraj glavnog namota (g) V.



Slika 16 Shema spajanje jednofaznog asinkronog motora na mrežu

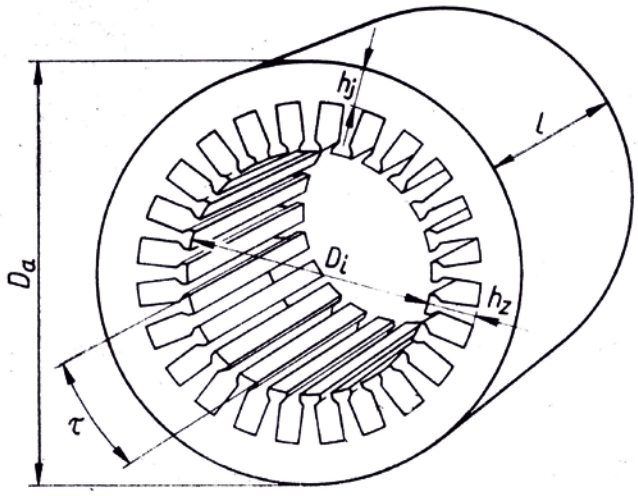
3. VRSTE I POSTUPCI PREMATANJA ASINKRONIH ELEKTROMOTORA

Koji put je motoru potrebno promijeniti snagu, napon, frekvenciju, brzinu vrtnje itd. U takvim se slučajevima traži promjena karakteristika postojećih motora, što se provodi promjenom njihovih namota. Pri promjeni nazivnog napona motora i nazivne brzine vrtnje, frekvencije i dr. prematanje bez ispravnog proračuna nije dopušteno, jer pogrešni podaci pri prematanju dovode do lošeg rada motora i mreže zbog lošeg faktora snage. Proračun podataka o namotima potreban je i pri provjeravanju starih, za rad nepogodnih namota, da bi se provjerilo točan broj zavoja i debljinu vodiča. Da bismo mogli odrediti namot, potrebno je izračunati presjek vodiča, broj vodiča po utoru, broj paralelnih žica u jednom vodiču, broj zavoja u svitku i broj paralelnih grana u namotu. Pri određivanju induciranog napona u statoru asinkronog motora koriste se vrijednosti faktora namota, frekvencije, broja faza i brzine vrtnje.

3.1. PRORAČUN NAMOTA TROFAZNOG ASINKRONOG MOTORA SREDNJE SNAGE ZA GOTOV STATORSKI PAKET

3.1.1. DIMENZIJE STATORSKOG PAKETA I OSTALE VELIČINE POTREBNE ZA PRORAČUN NAMOTA

Pri proračunu raspodjele magnetskog polja u zračnom rasporu motora potrebni su sljedeći podaci statorskog paketa: aktivna dužina statorskog paketa l, njegov unutarnji promjer D_i, polni korak τ, poprečni presjek jednog polnog koraka Q_p i poprečni presjek svih polnih koraka toga statora. Na slici 17 prikazan je primjer dimenzija statorskog paketa.



Slika 17 Glavne dimenzije statorskog paketa

Mjerenje i računanje navedenih elemenata ili njihovo prikazivanje provodi se ovim redom:

1. Vanjski promjer D_a i unutarnji promjer D_i statora, te duljina statora l

2. Polni korak, koji se označava slovom τ, dio je luka unutarnjeg oboda statora ispod jednog pola. Polni korak se može mjeriti jedinicama za duljinu (cm), električkim stupnjevima ili brojem utora.

Duljina unutarnjeg oboda statora, izražena u centimetrima jednaka je produktu $\pi * D_i$, ako je promjer D_i izražen u cm. Polni korak tada se računa:

$$\tau = \frac{\pi * D_i}{2p}$$

Ako je polni korak izražen u električnim stupnjevima tada nije ovisan o broju polova te iznosi uvijek 180°_{el}

Polni korak može se izraziti i brojem utora odnosno:

$$\tau = \frac{Z}{2p} = \frac{2p * q * m}{2p} = m * q\ utora$$

Gdje je:

m- broj faza

q- broj utora po polu i fazi

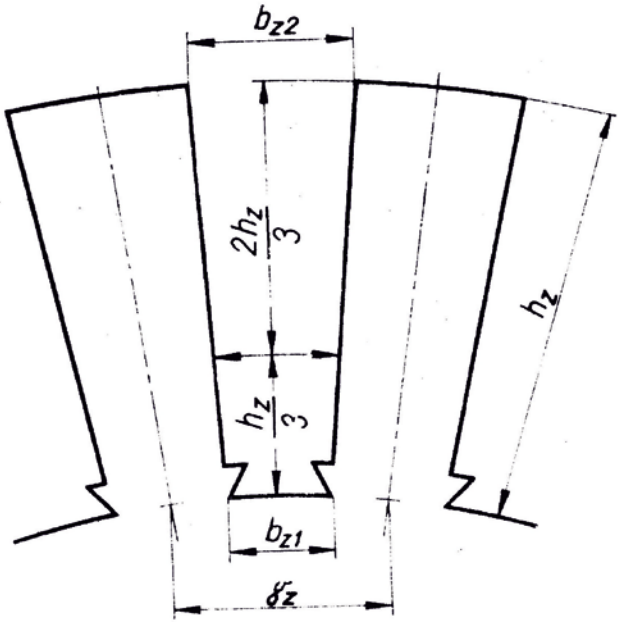
Primjer: Pri q=2 ili q=3 utora po polu i fazi i m=3, polni korak izražen brojem utora iznosi

$$\tau = 3 * 2 = 6\ utora$$

$$\tau = 3 * 3 = 9\ utora$$

3. Utorski korak označava se sa γ i označuje udaljenost među sredinama dvaju susjednih utora ili udaljenost od početka jednog utora do početka susjednog, vidljivo na slici 18. Utorski korak mjeri se električnim stupnjevima

$$\gamma^{\circ}_{el} = \frac{\pi * 2p}{Z} = \frac{\pi * 2p}{q * m * 2p} = \frac{\pi}{q * m}\ \ [^{\circ}{}_{el}]$$



Slika 18 Prikaz utorskog koraka sa oznakama

4.Duljina statora l, ako stator nema ventilacijskih kanala biti će jednaka izmjerenoj duljini u milimetrima. Kada stator ima n_k poprečnih ventilacijskih, svaki širine b_k (u mm), onda je duljina statora:

$$l = l_{iz} - n_k * b_k$$

Čista ili idealna duljina statora l_0 ovisi o debljini limova i debljini izolacije među njima. Prema tome čistu duljinu statora dobit ćemo kad pomnožimo duljinu statora s koeficijentom punjenja željeza k_o, koji je manje od jedan i s kojim se uzimaju u obzir razmaci između pojedinih limova koji nisu ispunjeni željezom. U tablici 3 dane su neke od vrijednosti koeficijenta punjenja željeza k_o.

$$l_0 = l * k_o \ \ [mm]$$

5. Površinu polnog koraka tj. površinu koju obuhvaća jedan pol dobit ćemo ako polni korak τ pomnožimo s duljinom statora l.

$$Q_p = \tau * l \ \ [mm^2]$$

6.Površinu cijele unutarnje plohe statora Q_i dobit ćemo množenjem površine polnog koraka Q_p s brojem polova 2p.

$$Q_i = Q_p * 2p = \tau * l * 2p \quad [mm^2]$$

7. Visina jarma statora h_j određuje se fizičkim mjerenjem.

Tabela 3 Neke od vrijednosti koeficijenta punjenja željeza

Debljina limova (mm)	Vrsta izolacije limova		Bez izolacije
	papir	lak	
0,50	0,90	0,93	0,95
0,35	0,87	0,90	0,93

8. Poprečni presjek jarma statora Q_j dobiva se tako da se pomnoži visina jarma h_j sa čistom duljinom statora l_o.

$$Q_j = h_j * l_o \quad [mm^2]$$

9. Iz broja utora pod polom 3q, širine zubi b_z (slika 18) i čiste duljine statora l_o određuje se površina zubi pod jednim polom :

$$Q_z = 3_q * b_z * l_o \, [mm^2]$$

Odnosno

$$Q_z = \frac{Z}{2p} * b_z * l_o \, [mm^2]$$

U tu formulu ulazi veličina b_z, što je širina zuba. Jednaka širina zubi ovisi o nagibu stijenki utora. Motori za male i srednje snage imaju najčešće skošene stjenke utora. Skošenost stjenki odabire se takva da širina zuba bude jednaka po cijeloj njegovoj visini. Kada su utori takvi, širina zuba mjeri se samo na jednom mjestu. No ako su stjenke utora usporedne, onda su stjenke zuba skošene. U tom slučaju širina zuba po cijeloj njegovoj visini nije jednaka, pa se za širinu uzima širina na 1/3 visine zuba, polazeći od unutrašnje površine statora (sl. 18).

10. Zračni raspor na motoru ovisi o njegovoj snazi P, o broju polova 2p i o namjeni motora.

3.1.2. ODREĐIVANJE BROJA ZAVOJA U JEDNOJ FAZI

Pri određivanju broja zavoja u jednoj fazi polazi se od jednadžbe

$$E = 4{,}44 * f * \omega * k * \Phi \ \ [V]$$

Gdje su:

$f - frekvencija\ u\ Hz$

$\omega - broj\ zavoja\ jedne\ faze$

$k - koeficijent\ namota$

$\Phi - magnetski\ tok\ u\ Wb$

$E - inducirani\ napon\ faze$

Ako se uzme da je inducirani napon u namotu srednjih elektromotora oko 0,97 od narinutog napona, tj. E=0,97*U, onda pri frekvenciji od 50Hz za broj zavoja u jednoj fazi dobivamo

$$\omega = \frac{E}{4{,}44 * f * k * \Phi} = \frac{0{,}97 * U}{222 * k * \Phi}$$

Ovo je izraz za broj zavoja u jednoj fazi pri dvoslojnom petljastom namotu. U tom je izrazu koeficijent namota $k = k_1 * k_2$. Ovdje je k_1 koeficijent raspodjele namota koji označava sniženje induciranog napona u namotu uslijed neistovremenog dolaženja svitaka pod dio s maksimalnom indukcijom; k_2 je koeficijent skraćenja koraka, koji označava sniženje induciranog napona uslijed skraćenja koraka.

Koeficijent raspodjele namota k_1 određuje se formulom

$$k_1 = \frac{sin\frac{q\alpha}{2}}{q * sin\frac{\alpha}{2}}$$

Gdje je:

$\alpha - kut\ između\ utora\ u\ električnim\ stupnjevima$

$q - broj\ utora\ po\ polu\ i\ fazi$

Koeficijent skraćenja namota k_2 određuje se jednadžbom

$$k_2 = sin\frac{180° * p * y}{Z}$$

Gdje su:

$p - broj\ pari\ polova$

$y - korak\ namota$

$Z - broj\ utora$

U jednadžbi za broj zavoja u jednoj fazi za jednoslojni namot umjesto koeficijenta k uvrštava se samo koeficijent k_1.

$$\omega = \frac{0{,}97 * U}{222 * k_1 * \Phi}$$

Magnetski tok Φ dobivamo izrazom

$$\Phi = \frac{D_i * B_{zr} * l_o}{p}$$

Gdje su:

$D_i - unutarnji\ promjer\ statora$

$B_{zr} - Magnetska\ indukcija\ u\ zračnom\ rasporu$

$l_o - idealna\ duljina\ statora$

$p - broj\ polova$

Prije nego što se pristupu proračunu elemenata namota potrebno je odrediti granice u kojima se kreće magnetska indukcija u zračnom rasporu, te u zubima i jarmu statora. Za zaštićene elektromotore odabire se maksimalna indukcija, za zatvorene srednja indukcija, a za motore povišene sigurnosti minimalnu. Obično se započinje proračun s magnetskom indukcijom u zračnom rasporu, koja je prema normama proizvođača od 0,5 do 0,9 tesla. U tablici 4 date su vrijednosti magnetske indukcije za asinkrone motore snage do 100kW.

Tabela 4 Vrijednosti magnetske indukcije za asinkrone motore snage do 100kW

<table>
<tr><td rowspan="2">Broj polova 2p</td><td rowspan="2">Magnetska indukcija (T)</td><td colspan="3">Unutarnji promjer statora D_i (cm)</td></tr>
<tr><td>Do 15 cm</td><td>Od 15 do 25cm</td><td>Više od 25 cm</td></tr>
<tr><td>2p=2</td><td rowspan="2">Magnetska indukcija u zračnom rasporu B_{zr}</td><td colspan="3">Od 0,6 do 0,67</td></tr>
<tr><td>2p=4do12</td><td>Od 0,6 do 0,8</td><td colspan="2">Od 0,8 do 0,9</td></tr>
<tr><td>2p=2</td><td rowspan="2">Magnetska indukcija u jarmu statora B_j</td><td colspan="3">Od 1,2 do 1,7</td></tr>
<tr><td>2p=4 do 12</td><td>Od 1,1 do 1,5</td><td>Od 1,2 do 1,5</td><td>Od 1,3 do 1,5</td></tr>
<tr><td>Za sve brojeve polova u najužem dijelu zuba</td><td>Magnetska indukcija u zubima statora B_z</td><td>Od 1,3 do 1,5</td><td colspan="2">Od 1,3 do 1,8</td></tr>
</table>

Broj zavoja u jednom svitku za jednoslojni namot iznosi:

$$S = \frac{\omega * m}{Z} \quad [Zavoja]$$

Ako je namot dvoslojan, petljasti, s dijametralnim korakom, svitak će tada imati u jednom sloju namota upola manje zavoja.

Svaki namot se ne može, ili pak ne treba, izvoditi s dijametralnim korakom. Ako je korak namota veći ili manji od polnog koraka, takav korak namota nazivamo produženim ili skraćenim. Namot s produženim korakom se zbog većeg utroška bakra ne koristi.

Ako je namot dvoslojan, petljasti, sa skraćenim korakom, najprije se određuje skraćeni korak y_{sk}

$$y_{sk} = y * \beta = \frac{Z}{2p} * \beta$$

Gdje su:

$y - dijametralan\ korak\ ili\ puni\ korak$

$\beta - koeficijent\ skraćenja\ koraka$

$$\beta = \frac{skraćeni\ korak}{puni\ korak}$$

U praksi se koeficijent skraćenja koraka odabere u iznosu od $\frac{5}{6} * \tau$ ili umnoškom punog koraka sa 0.8.

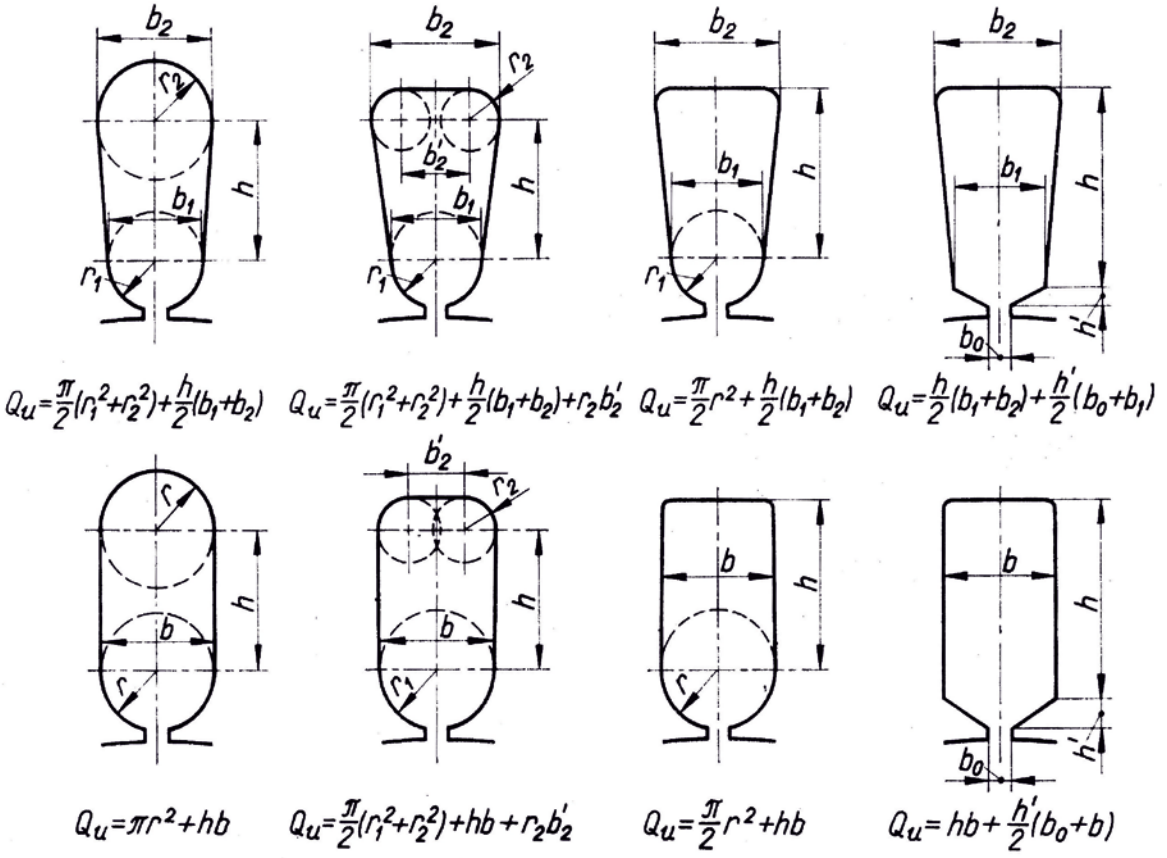
Sad se sa skraćenim korakom y_{sk} i brojem utora po polu i fazi q iz tablice 5 odredi koeficijent namota k te se uvrštava u formulu za broj zavoja jedne faze za dvoslojni petljasti namot.

Tabela 5 Vrijednosti koeficijenta namota k za dvoslojni petljasti namot sa skraćenim korakom ovisnosti od q i y

Korak namota y										
q	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$1\frac{1}{4}$	0,910	0,951	/	/	/	/	/	/	/	/
$1\frac{1}{2}$	0,831	0,945	0,945	/	/	/	/	/	/	/
2	0,683	0,837	0,933	0,966	/	/	/	/	/	/
$2\frac{1}{4}$	/	0,766	0,877	0,941	0,954	/	/	/	/	/
$2\frac{1}{2}$	/	0,711	0,829	0,910	0,951	/	/	/	/	/
3	/	/	0,735	0,831	0,902	0,945	0,960	/	/	/
$3\frac{1}{2}$	/	/	/	0,747	0,828	0,890	0,932	0,953	/	/
$3\frac{3}{4}$	/	/	/	0,710	0,792	0,859	0,908	0,941	0,955	/
4	/	/	/	0,677	0,760	0,829	0,885	0,925	0,949	0,958
$4\frac{1}{2}$	/	/	/	/	0,695	0,766	0,827	0,877	0,915	0,941

3.1.3. ODREĐIVANJE PRESJEKA VODIČA ZA NAMATANJE

Prije određivanja presjeka vodiča za namatanje treba odrediti oblik i debljinu izolacije utora. Ta je debljina ovisna od napona, veličine motora, te pogonskim uvjetima u kojima motor radi, a ona se kreće u granicama od 0,21 do 0,63 mm za motore s naponom do 500V. Osim izolacije utora, u utoru je još i klin, drveni, plastični, bakelitni itd., a kod dvoslojnih namota i međuslojna izolacija. Tako za namot ostaje mali dio presjeka utora. No ni taj dio se ne smije u potpunosti ispuniti vodičima, jer je između njih potrebno ostaviti izvjesne praznine radi lakšeg namatanja i manje deformiranja i oštećivanja vodiča prilikom njihovog ubacivanja u utore. Zbog toga se pri izračunavanju uzima u obzir faktor punjenja utora f_u. Njegova srednja vrijednost je između 0,35 i 0,45, a kod dvoslojnih namota taj faktor zbog međuslojne izolacije treba sniziti za 0,04 do 0,05. Na slici 19 prikazani su oblici statorskih utora i formule za izračunavanje njihovih poprečnih presjeka.



Slika 19 Formule za izračun poprečnih presjeka različitih oblika statorskih utora

Ovisno o obliku statorskog utora izračunava se njegov poprečni presjek Q_u . Od njega moramo oduzeti poprečni presjek svih izolacija u utoru te poprečni presjek za klin ako ga ima te tek tada imamo čisti poprečni presjek za vodiče.

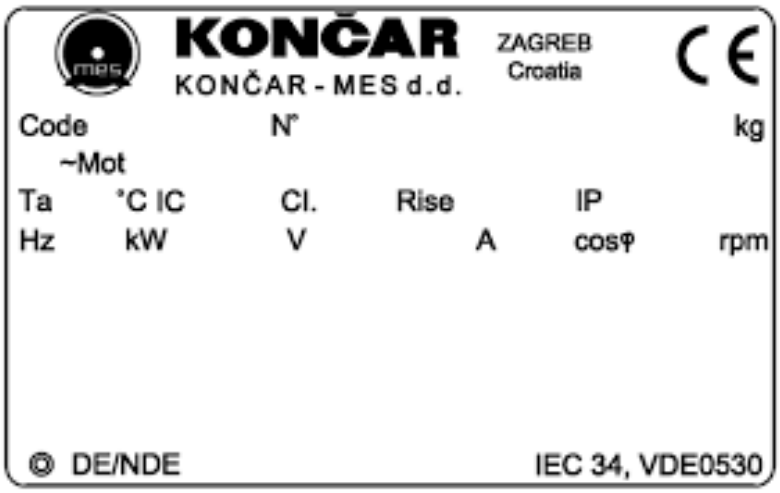
Uz taj korisni presjek utora, faktor punjenja i broja vodiča u utoru možemo izračunati presjek jednoga vodiča s izolacijom:

$$Q_v = \frac{Q_u * f_u}{S} \ [mm^2]$$

S obzirom da ponekad presjek izoliranog vodiča ispadne suviše debeo, a s kojim je teško manipulirati i oblikovati namot, razdijelimo ga na nekoliko paralelnih vodiča koji odgovaraju dobivenom poprečnom presjeku za jedan vodič. S obzirom da ne možemo računati na baš sve dimenzije poprečnih presjeka vodiča uzimamo najbliži presjek iz tablica za standardne tvorničke presjeke izoliranih vodiča.

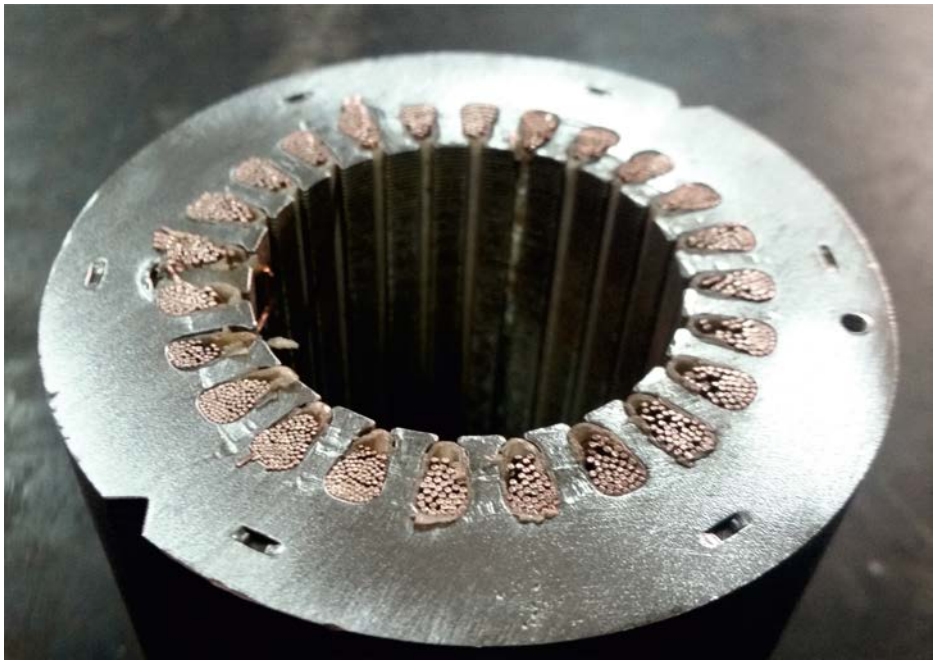
3.2. PREMATANJE S ISTIM PODACIMA U CILJU POPRAVKA ASINKRONOG ELEKTROMOTORA

Najučestalija vrsta prematanja jest upravo ta gdje svi tehnički podaci o namotu ostaju napromjenjeni. Sve karakteristike asinkronog motora moraju ostati jednake originalnim karakteristikama. Da bi se to postiglo bez poznavanja glavnih karakteristika namota kao broj aktivnih zavoja, korak namota, broj serija u svitku, promjer žice, spoj namota, potrebno ih je prepoznati iz samog asinkronog motora kojeg treba premotati. Da bi se došlo do podataka o namotu asinkronog motora njega je prvo potrebno demontirati. Razdvojiti bočne poklopce koji ujedno sa ležajevima drže rotor u centru te izdvojiti rotor iz statorskog paketa. Ovisno o veličini i težini samog motora ovi procesi mogu dosta da se razlikuju po pitanju vremena, alata, dizala itd. Ponekad se zbog pregorenosti namota ne može vidljivo razaznati broj svitaka u seriji, spoj namota pa se u takovom slučaju kroz dimenzije i karakteristike statorskog paketa i naravno natpisne pločice sa motora može izračunom doći do željenih podataka. Natpisna pločica motora, primjer na slici 20, nam u početku već daje određene podatke o namotu kao nazivni napon, frekvencija za koju je konstruiran, broj okretaja koji nam ujedno i govori o paru polova namota, nazivna struja, spoj namota za zvijezdu ili trokut sa odgovarajućim naponima, snaga motora, korisnost motora te ovisno o zahtjevima struke i još neke druge podatke kao težina, godina proizvodnje itd.



Slika 20 Natpisna pločica elektromotora

Karakteristike namota koje možemo vidljivo, ako nije došlo do velikih oštećenja namota, razaznati su broj svitaka u seriji, da li je namot jednoslojan ili dvoslojan, korak svitka-y, broj aktivnih zavoja u svitku, promjer žice te naravno spoj namota izveden na čeonoj strani namota. Broj svitaka u seriji i korak svitka moguće je dobiti bez razdvajanja namota od statorskog paketa. Dok je broj aktivnih zavoja najbolje i najsigurnije dobiti ako namot izvučemo iz statorskog paketa i prebrojimo žice koje su se nalazile u utoru statorskog paketa. Namot se izvlači iz statorskog paketa na način da se čeona strana namota, u praksi je to uvijek ona gdje je bio spoj namota, izreže sjekačem do samog paketa, vidljivo na slici 21, pritom se treba paziti da se ne ošteti statorski paket i utorski zubi jer bi to u konačnici utjecalo na nepovoljan rad motora.



Slika 21 Izgled statorskog paketa bez čeone strane namota

Namot se izbija iz utora alatom, posebno oblikovanim po poprečnom presjeku utora statorskog paketa. Udarcima čekićem po alatu u krug paketa, po svakom utoru, namot se izbija iz utora statorskog paketa dok ga u konačnici ne izbijemo iz statorskog paketa, što se može vidjeti na slici 22. Kada je namot zbog kvalitetnijeg lakiranja i pečenja nemoguće izbiti iz utora samo sa čekićem i alatom namot je prije izbijanja potrebno zagrijati kako bi se lak omekšao što omogućuje lakše i brže odvajanje namota od statorskog paketa. Na odvojenom namotu sada je moguće lakše izbrojati aktivne zavoje koji su se nalazili u utoru statorskog paketa. Sve relevantne podatke koje smo prepoznali o namotu potrebno je zapisati kako bi imali evidenciju za buduća prematanja ili obnove istih ili sličnih asinkronih motora.



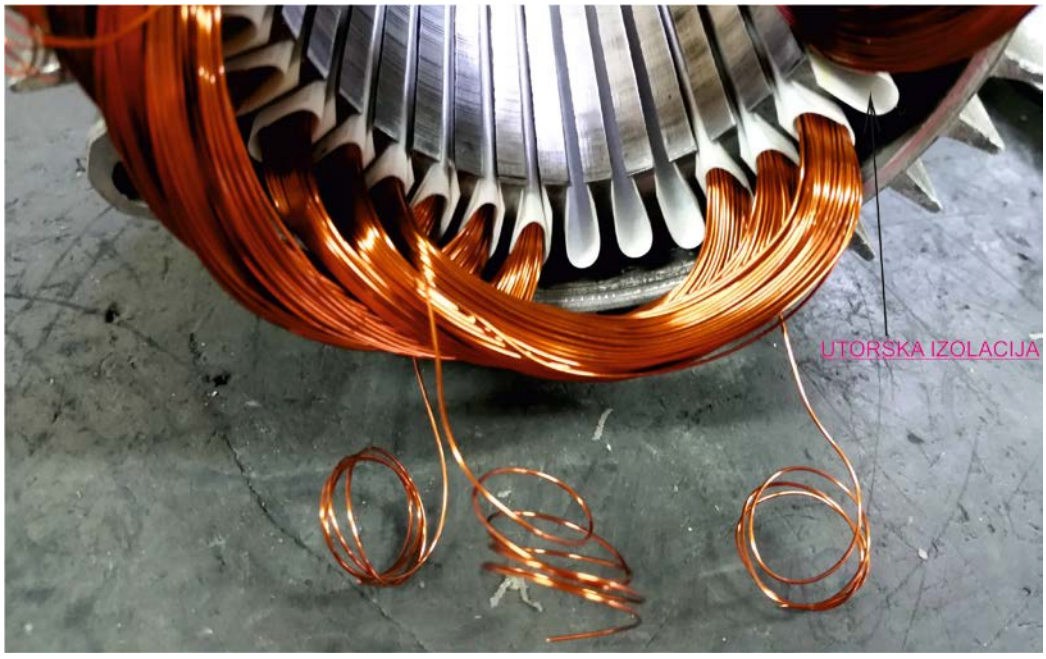
Slika 22 Izvlačenje namota iz statorskog paketa

Podaci o namotu potrebni za prematanje:

- Broj svitaka u seriji
- Korak svitka
- Promjer žice
- Broj aktivnih zavoja
- Spoj namota
- Broj slojeva namota

Statorski paket potrebno je prije očistiti od prijašnjih ostataka laka i izolacije u utorima kako nam to ne bi smetalo prilikom premotavanja motora. U utore statora postavlja se nova izolacija koja se ovisno o namjeni i režimu u kojem motor radi može i poboljšati u odnosu na početnu tvorničku što isto produžuje vijek trajanja motora.

Po podacima koje su prethodno dobiveni iz pregorenog namota mogu se napraviti novi svitci. Oni se motaju po uzorku kojeg se napravi na osnovu podataka o namotu i dopuštenog slobodnog mjesta za čeone strane namota u bočnim poklopcima, što znači da namot u konačnici ne smije biti ni premalen u odnosu na njegov korak jer se isti neće moći ugraditi u statorski paket, a ni prevelik jer će u tom slučaju čeone strane namota dodirivati bočne poklopce što može dovesti do probijanja namota na metalne dijelove motora. Napravljeni uzorak se postavlja na kalupe koji se montiraju na rotacijski stroj gdje se ovisno o karakteristikama namota prave novi svitci. Ovisno o vrti izvedbe asinkronog motora namot se u utore može usipati, šivati, ulagati. Primjer na slici 23 pokazuje stator asinkronog motora sa usipnim petljastim namotajem gdje je korak svitka deset, broj svitaka u seriji je tri .



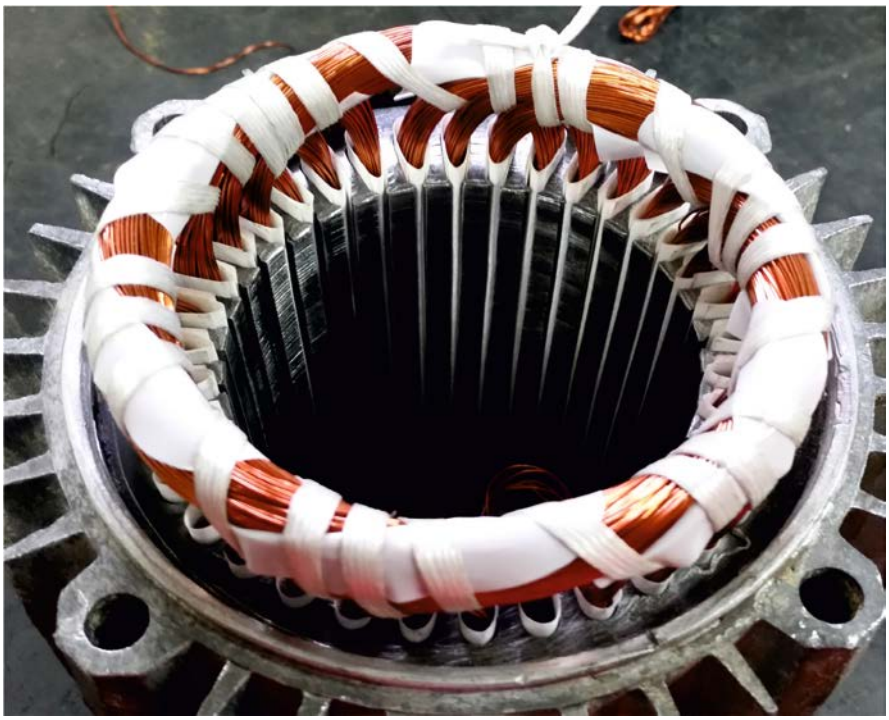
Slika 23 Petljasti usipni namot

Kada je namot ubačen u statorski paket njegove se čeone strane moraju urediti kako ne bi smetale prolasku rotora u stator da ne dodiruju bočne poklopce motora i ujedno odvojiti faze izolacijom unutar namotaja kako ne bi došlo do proboja između faza, vidljivo na slici 24.



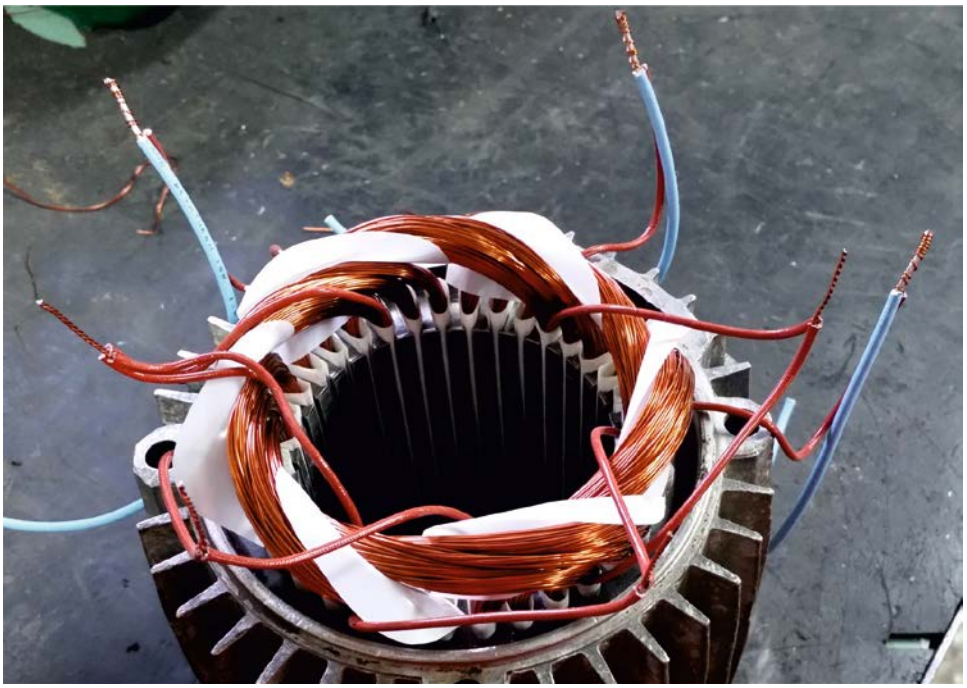
Slika 24 Čeona strana namota sa međufaznom izolacijom

Zbog centrifugalne sile rotora i pulsiranja žice, tokom prolaska struje kroz nju, čeone strane namota se moraju povezati, prošivati posebnom trakom od staklenih niti kako bi ona ostala kompaktna poslije impregnacije, primjer na slici 25.



Slika 25 Prošivena čeona strana namota

Na čeonoj strani na kojoj se nalaze izvodi, slika 26, treba isto tako odvojiti faze izolacijom ali ujedno i izvršiti spajanje motora po njegovim karakteristikama. Spajanje izvoda se vrši na način da se žice omotavaju jedna s drugom te se nakon toga tvrdo zaleme. U starije se doba spajanje vršilo pomoću mekog lemljenja tako da se lak sa bakrene žice sastrugao kako bi se lem mogao uhvatiti za bakrenu površinu.



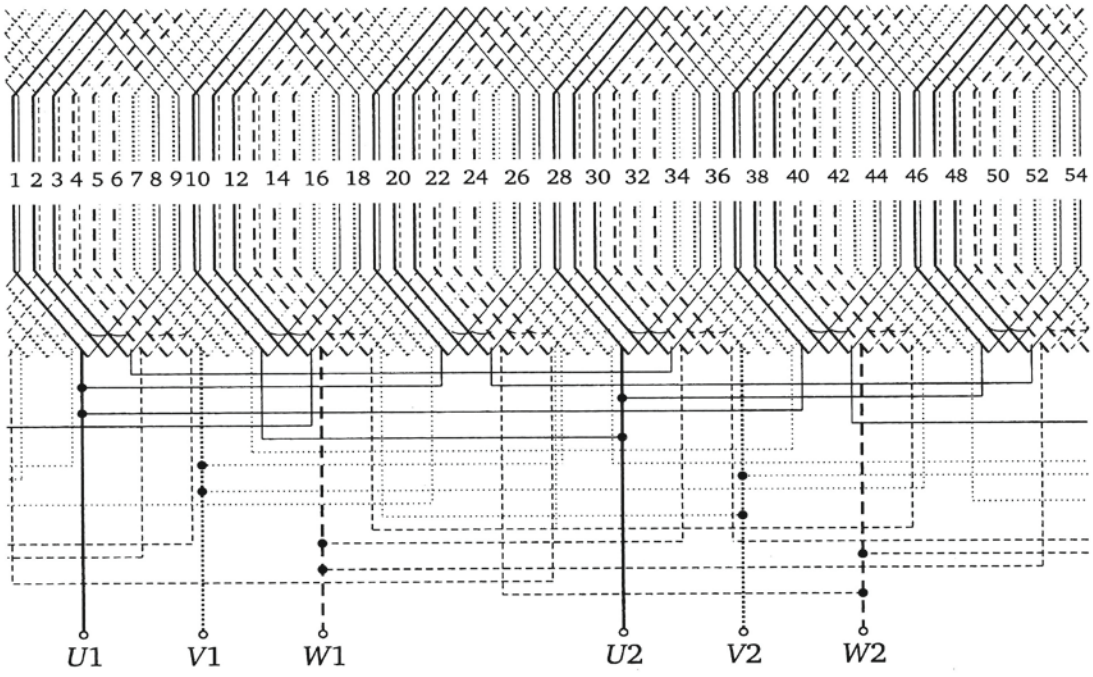
Slika 26 Čeona strana namota na kojoj se nalaze izvodi svitaka

I ova se čeona strana kao i prethodna mora ušiti, a izvode proslijediti u spojnu kutiju motora nakon čega se motor ispituje te ako odgovara željenim karakteristikama može se pristupiti impregnaciji namota.

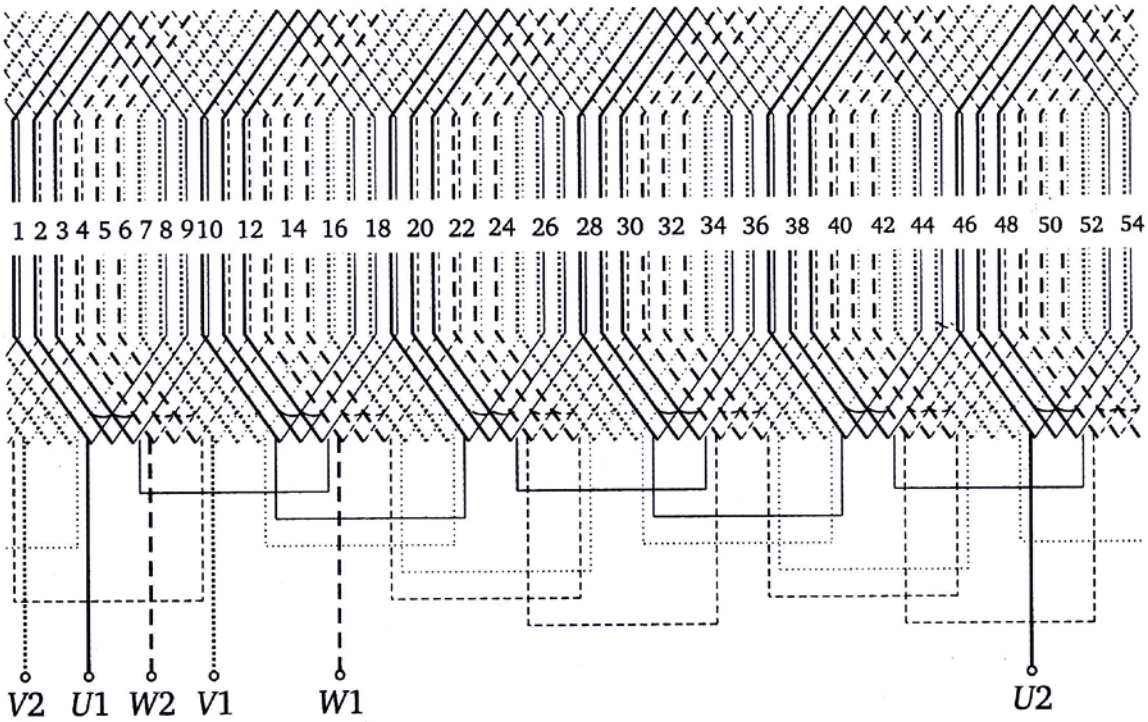
3.3. PREMATANJE S CILJEM PROMJENE NAZIVNOG NAPONA

Često je u praksi potrebno trofazni asinkroni motor premotati na drugi nazivni napon. Pri tome se moraju izmijeniti samo neki podaci o namotu, a da se zadrži neizmijenjena brzina vrtnje i snaga motora. Osim prematanjem u nekim je slučajevima zbog same konstrukcije motora moguće samo prespojiti namot. U tome slučaju mogu postojati dva postupka: prespajanje za viši napon i prespajanje za niži napon. Ako želimo prespojiti namot za viši napon, ako uvjeti namota to dopuštaju, moramo zamijeniti paralelno spajanje namota sa serijskim, primjeri na slici 27 i 28. Sniženje nazivnog napona motora postiže se zamjenom serijskog spajanja sa paralelnim. Prespajanje namota motora na novi napon nije uvijek

moguće, a zavisi od konstrukcije statorskog namota. Dvoslojni namoti omogućuju znatno veće mogućnosti za naponsko preklapanje od jednoslojnih namota. U tablici 6 je prikaz mogućeg broja paralelnih grana pri pojedinom broju polova za jednoslojne i dvoslojne namote.



Slika 27 Trofazni dvoslojni namot s jednakim svicima i paralelnim spojem (broj paralelnih grana a=3)



Slika 28 Trofazni dvoslojni namot s jednakim svicima i serijskim spojem (broj paralelnih grana a=1)

Tabela 6 Mogućnosti naponskog preklapanja jednoslojnih i dvoslojnih namota

Broj polova, (2p)	Mogući broj paralelnih grana, (a)	
	Jednoslojni namot	Dvoslojni namot
2	1	1,2
4	1,2	1,2,4
6	1,3	1,2,3,6
8	1,2,4	1,2,4,8
10	1,5	1,2,5,10
12	1,2,3,6	1,2,3,4,6,12

Matematički mora biti ispunjen uvjet: $a_{nov} * U_{nov} = a * U$

Gdje je:

$a_{nov} - broj\ paralelnih\ grana\ novog\ namota$

$U_{nov} - novi\ napon\ u\ V$

$a \quad - broj\ paralelnih\ grana\ prvobitnog\ namota$

$U \quad - prvobitni\ napon\ u\ V$

U koliko nije moguće prespajanjem namota osigurati rad motora na novom naponu motor je potrebno premotati. Potrebno je odrediti samo novi broj aktivnih zavoja, novi presjek vodiča i novu nazivnu struju motora. Motoru se pristupa kao i kod postupka prematanja sa istim podacima namota. Novi broj aktivnih zavoja u utoru potreban za rad na promijenjenom naponu dobija se iz uvjeta:

$$\frac{S_{nov}}{U_{nov}} = \frac{S}{U}$$

Gdje je:

$S_{nov} \ - broj\ aktivnih\ zavoja\ u\ utoru\ novog\ namota$

$S \quad - broj\ aktivnih\ zavoja\ u\ utoru\ prvobitnog\ namota$

$U_{nov} - novi\ napon\ u\ V$

$U \quad - prvobitni\ napon\ u\ V$

Presjek vodiča obrnuto je proporcionalan broju aktivnih zavoja u utoru :

$$Q_{nov} = Q_v * \frac{S}{S_{nov}} \quad [mm^2]$$

Gdje je:

$Q_{nov} - računski\ presjek\ vodiča\ za\ novi\ napon$

$Q_v \quad - presjek\ vodiča\ za\ prvobitni\ napon$

Stvarni presjek vodiča Q_{nov} treba izabrati iz tablica za standardne presjeke bakrenih lakiranih žica. Odstupanja ne smiju biti veća od 2%, odnosno omjer novog presjeka i starog mora biti u granicama 0,98....1,02.

Nova nazivna struja izračunom se dobija iz izraza:

$$I_{nov} = I * \frac{U}{U_{nov}} \quad [A]$$

Gdje je:

$I_{nov} - nazivna\ struja\ pri\ novom\ naponu$

$I \quad - nazivna\ struja\ pri\ prvobitnom\ naponu$

3.4. PREMATANJE ZA PROMJENU FREKVENCIJE

Najčešća promjena frekvencije asinkronog motora u praksi jest sa 50 na 60 Hz ili obrnuto. Isti se namot može primijeniti za razne frekvencije al je pritom potrebno uzeti u obzir da se pri prijelazu s niže na višu frekvenciju smanjuje indukcija proporcionalno sa frekvencijom. Zbog smanjene indukcije statorski paket limova nije dovoljno iskorišten pa motor ne može davati svoju punu snagu. Obratno je pri prijelazu sa više na nižu frekvenciju.

Tada jako poraste indukcija, a sa njom i struja magnetiziranja pa i gubici u željezu što rezultira jako lošim faktorom snage cosφ.

Potpuno iskorištenje motora pri drugim frekvencijama može se jedino postići njegovim prematanjem. Gdje se jednostavnim izrazima mijenjaju karakteristike namota kao što su broj aktivnih zavoja u utoru i presjek vodiča. Broj aktivnih zavoja u utoru mijenja se obrnuto proporcionalno frekvenciji pa izraz za novi broj zavoja glasi:

$$S_{nov} * f_{nov} = S * f$$

Gdje je :

$S_{nov} - broj\ aktivnih\ zavoja\ u\ utoru\ pri\ novoj\ frekvenciji$

$S \quad - \ broj\ aktivnih\ zavoja\ u\ utoru\ pri\ prvobitnoj\ frekvenciji$

$f_{nov} - nova\ frekvencija\ u\ Hz$

$f \quad - prvobitna\ frekvencija\ u\ Hz$

S promjenom broja zavoja u utoru mijenja se i presjek vodiča, a njegovu vrijednost dobivamo iz izraza:

$$Q_{nov} = Q_v * \frac{S}{S_{nov}}\ [mm^2]$$

Također pravu vrijednost presjeka vodiča treba izabrati iz tablica za standardne presjeke vodiča.

Promjenom frekvencije mijenja se dakle i brzina vrtnje motora pa se nova brzina vrtnje motora dobija iz izraza:

$$n_{nov} = n * \frac{f_{nov}}{f}\ [min^{-1}]$$

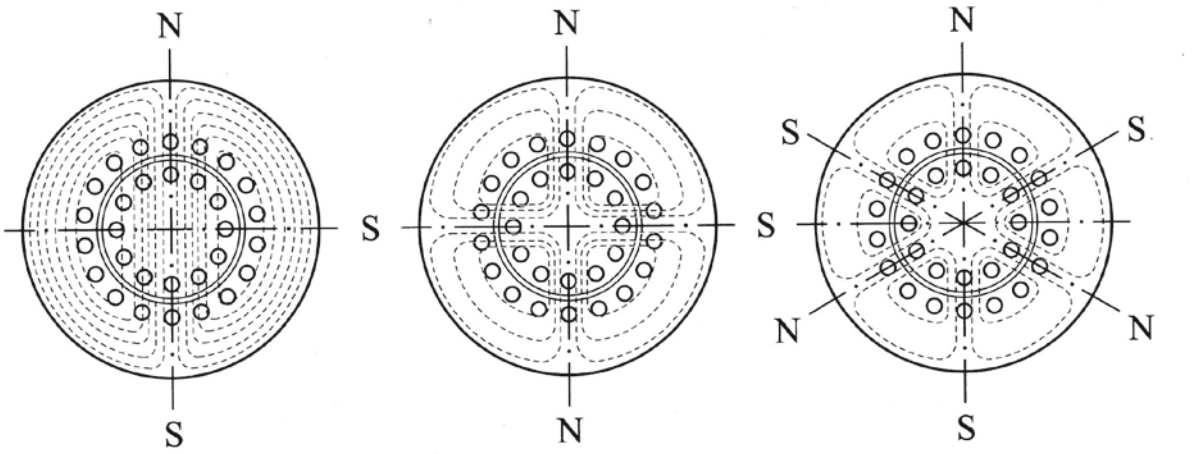
Gdje su:

$n_{nov} - brzina\ vrtnje\ motora\ pri\ novoj\ frekvenciji$

$n \quad - brzina\ vrtnje\ motora\ za\ prvobitnu\ frekvenciju$

3.5. PREMATANJE U CILJU PROMJENE BROJA POLOVA

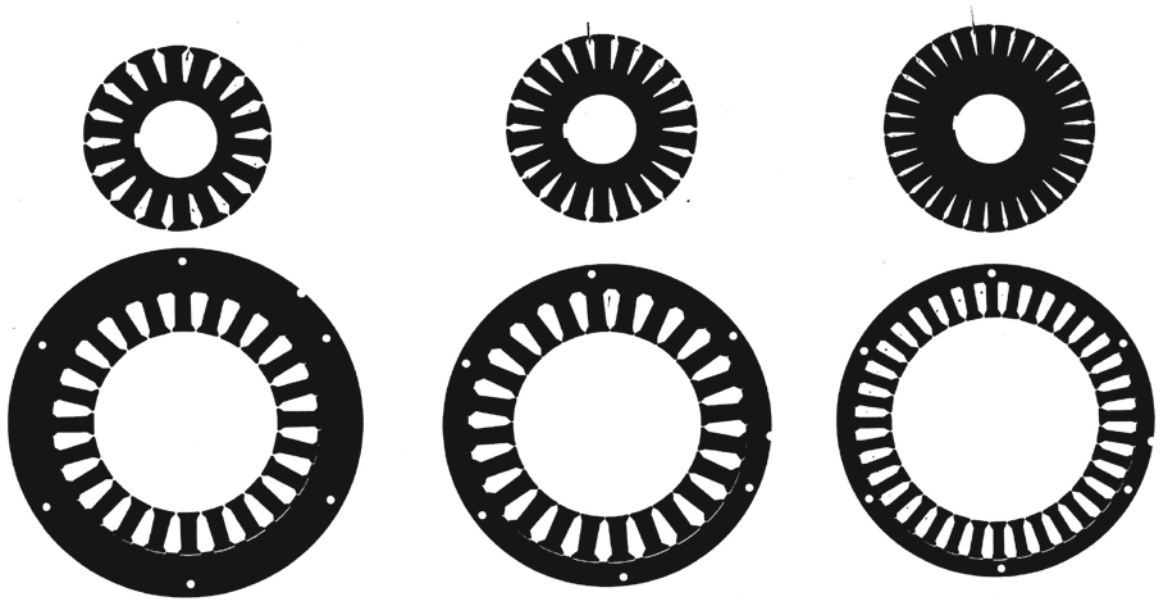
Brzina vrtnje kod asinkronih motora je dosta kruta, odnosno ovisi o namotu statora i njegovim karakteristikama kao što je broj svitaka u seriji, korak svitka, spoj namota itd. Promjena broja polova nije uvijek moguća kod svakog asinkronog motora pa se prije prematanja mora proanalizirati ta mogućnost. Skoro pa u svim slučajevima prematanja motora na drugi broj polova redovito se njegove karakteristike pogoršavaju, upravo zato jer su već predodređeni optimalno samo za jednu snagu i jednu brzinu vrtnje. Te snage i brzine vrtnje odredio je proizvođač elektromotora. Promatra li se prvo ukupni magnetski tok motora, tj. ukupni broj silnica koje prolaze kroz zračni raspor, tada je za određeni motor taj tok jednako velik i neovisan o broju polova, ukoliko je pritom najveća indukcija u zračnom rasporu uvijek jednaka. U 2-polnom motoru ukupni tok tvori jedan magnetski krug. U 4-polnom motoru dijeli se ukupni tok na dva jednaka magnetska kruga, u 6-polnom svaka trećina ukupnog magnetskog toka tvori magnetski krug itd[4]. Na slici 29 vidi se da se polovica silnica svakog pola spaja lijevo, a polovica desno sa silnicama susjednih polova.



Slika 29. Magnetski odnosi u motoru pri različitim brojevima polova: a) 2-polni motor; b) 4-polni motor; c) 6-polni motor

Vidi se i to da su za različite brojeve polova potrebni različiti poprečni presjeci statorskog i rotorskog paketa. Zbog toga se limovi asinkronih motora međusobno znatno razlikuju, slika 30.

[4] Neven Srb; Ispitivanje i prematanje elektromotora; Graphis; Zagreb;2005g.; str 61



a) b) c)

Slika 30 Statorski i rotorski limovi normalnih trofaznih asinkronih motora: a) 2-polni motor; b) 4-polni motor; c) 6-polni motor

Pri dvopolnoj izvedbi motora polovina ukupnog magnetskog toka mora proći kroz presjek paketa, stoga dvopolni motor mora imati najveću širinu paketa. Za 4-polni motor potrebna je samo polovica najveće širine paketa jer samo četvrtina ukupnog magnetskog toka motora prolazi kroz paket. Za 6 i više polova potrebna se širina paketa dalje smanjuje. Iz toga je vidljivo da je moguće, s obzirom na dimenzije paketa limova, prematati asinkroni motor s dva na više polova Pogoršanje nastaje zbog nedovoljnog iskorištenja željeza što je nepotrebno velika težina motora za određenu snagu. Smanjenje broja polova znatno je nepovoljnije. Najlošiji se odnosi dobivaju pri prematanju 4-polnog motora u 2-polni. U tom bi slučaju trebalo udvostručiti širinu statorskog paketa.

Izrazi koji se koriste u preračunavanju podataka o prematanju kod promjene broja polova su sljedeći:

Odnos snage motora nakon prematanja prema snazi prije prematanja, ako se zanemari cosφ i korisnost, približno jednak odnosu brzine vrtnje nakon prematanja i prije njega:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

Gdje je:

$P_1 - Prvobitna\ snaga\ motora$

$P_2 - Snaga\ nakon\ prematanja$

$n_1 - Prvobitna\ brzina\ vrtnje$

$n_2 - Brzina\ vrtnje\ nakon\ prematanja$

Odnos broja zavoja u utoru nakon prematanja, prema broju zavoja u utoru prije prematanja, obrnuto je proporcionalan odnosu brzine vrtnje:

$$\frac{S_{nov}}{S} = \frac{n_1}{n_2}$$

Gdje je:

$S_{nov} - Broj\ zavoja\ za\ novi\ broj\ polova$

$S \quad - Prvobitni\ broj\ zavoja$

Presjek vodiča za namatanje jest:

$$Q_{nov} = Q_v * \frac{n_2}{n_1}$$

$Q_{nov} - Računski\ presjek\ vodiča$

$Q_v - Prvobitni\ presjek\ vodiča$

Stvarni presjek vodiča uzimamo iz tablica za standardne presjeke vodiča.

4. IMPREGNIRANJE, LAKIRANJE I SUŠENJE NAMOTA

U proizvodnji električkih strojeva upotrebljavaju se mnogi i različiti materijali. Tako na primjer neki od materijala koji se upotrebljavaju pri namatanju elektromotora služe za međusobnu izolaciju pojedinih vodiča u svitku, za izolaciju svitka od svitka za međusobnu izolaciju grupa svitaka, a i namota od paketa motora.

Vodiči za namatanje izrađuju se obično od bakra, materijala malenog specifičnog otpora. Osim bakrenih vodiča upotrebljavaju se i aluminijski vodiči, te vodiči od mjedi i fosforne bronce. Oni se uglavnom proizvode u okruglim profilima ali i pravokutnim te kvadratnim.

Za izolaciju vodiča za namatanje upotrebljavaju se specijalni lakovi za obične radne uvjete motora, a staklene trake za motore koji rade u teškim uvjetima.

Sve većom primjenom frekventnih pretvarača za regulaciju brzine kod asinkronih motora pojavila se i potreba za novim izolacijama vodiča pa se tako vodiči osim lakom izoliraju i tankim slojem mike. To produžava rad motora pogonjenog preko frekventnog pretvarača s obzirom na brze promjene napona koje uzrokuju starenje izolacije, a samim tim i prijevremeno pregaranje motora.

Za međusobnu izolaciju svitaka i grupa svitaka upotrebljavaju se plosnate trake, cijevi i platna od pamuka i svile, a za izolaciju namota od paketa motora prešpan, mikanit, nomex, myoflex, teflex, staklena vlakna i drugi materijali u obliku listova. Navedeni materijali velike su mehaničke čvrstoće, međutim zajednički im je nedostatak velika higroskopičnost i velik volumen zraka u porama, u koje se uvlači vlaga iz okoline. Ovi materijali upotrijebljeni za izolaciju vodiča za namatanje ili za izolaciju pojedinih elemenata namota u suhom stanju posjeduju dobra izolaciona svojstva, no u vlažnom stanju su loši izolacioni materijali. Da bi takvi materijali imali dobra izolaciona svojstva i u vlažnoj okolini, potrebno je namot impregnirati impregnacionim lakovima, nakon čega impregnirani namot podliježe sušenju i pokrivanju (lakiranju) glava i spojeva zaštitnim lakom.

4.1. SUŠENJE NAMOTA

Vlaknasti i tvrdi elektroizlolacioni materijali upijaju u različitom stupnju vlagu iz okoline. Najhigroskopičniji su elektroizlolacioni vlaknasti materijali, posebno pamučna

vlakna, karton, papir i azbestno vlakno. Svilena i staklena vlakna manje su higroskopični. U suštini sama staklena vlakna nisu higroskopična, no u raspor između pojedinih njenih vlakana uvlači se nešto vlage. Praktički promatrano, sve vrste elektroizolacionih materijala koje upotrebljavamo za namote elektromotora malo su ili mnogo higroskopične. Zbog toga se namoti svih elektromotora koji izlaze iz remonta ili su stavljeni na skladište kao rezerva, prije nego što ih se pusti u rad moraju isušiti. Tek kada otpor izolacije namota bude poboljšan, mogu se motori koristiti. I svaki novi namot prije impregnacije treba da bude podvrgnut sušenju. Sušenju podliježu i namoti motora koji su u pogonu, ali su na neki način ovlaženi, te oni namoti u koje je dospjela voda. Sušenju treba podvrći i namote motora koje koristimo, kojih je izolacioni otpor prema kućištu zadovoljavajući, ali nas ne zadovoljava otpor između zavoja. U praksi je poznato nekoliko načina sušenja namota.

4.1.1. SUŠENJE ELEKTRIČNOM STRUJOM U NAMOTIMA

Takvo sušenje možemo provesti na dva načina. Narinemo promjenljivi napon, koji je snižen nekim autotransformatorom, na jedan namot motora, a drugi kratko spajamo. Obično se napaja statorski namot, a namot rotora kratko spaja. Napon koji se pri tome koristi iznosi 7 do 15% nazivnog napona namota, a struja koja pri tome prolazi kroz namot jednaka je 60 do 70 % vrijednosti nazivne struje.

Temperaturu pri sušenju kontroliramo pomoću termoelementa ili pomoću običnog termometra, a struju pomoću ampermetra, koje spajamo na faze.

4.1.2. SUŠENJE U PEĆI

Sušenje namota motora prema ovom načinu ima tu prednost, da u peć možemo smjestiti više motora, pa je sušenje ekonomičnije i sigurnije od prvoga. U peć treba stavljati samo namote dobro ocijeđene od laka, inače postoji opasnost da se lak koji curi na dno peći zapali. Temperatura na kojoj je potrebno sušiti neimpregnirane i impregnirane namote .kreće se između 95 i 105 °C, no može biti i viša, što ovisi o vrsti laka.

4.2. IMPREGNIRANJE NAMOTA I LAKIRANJE ČEONIH SPOJEVA NAMOTA

Pod impregniranjem izolacije namota podrazumijeva se proces kojim se sve pore elektroizolacionih traka ili lisnatih materijala zapunjuju impregnacionim lakom. Irnpregnacijom se postiže povećanje mehaničke i električke čvrstoće namota, poboljšanje toplinske vodljivosti, povećanje toplinske izdržljivosti i jako smanjenje higroskopičnosti elektroizolacionog materijala. S druge strane, pomoću impregnacije namota stvara se kompaktna masa, tako da zavoji nisu više izloženi vibraciji, pa je prema tome smanjena mogućnost oštećenja i guljenja izolacije vodiča. Impregnacija je, nadalje, potrebna i zbog toga što povećava vijek trajanja motora. Impregniranje provedeno na način da se motor uranja u kadu sa lakom je kvalitetno ako se namot potapa u lak u toplom stanju. Namot se drži u laku tako dugo dok se ne prestanu pojavljivati na površini laka zračni mjehurići. Nakon toga namot se vadi iz kade, ostavlja iznad njega, da se lak ocijedi i tek tada se daje na sušenje prema jednome od načina s kojima smo se upoznali. Sušenje traje 8 do 12 sati, na temperaturi koja se određuje u ovisnosti od vrste i marke laka. U ovisnosti od uvjeta u kojima će motor raditi (vlaga, kemijske pare) namot se daje na drugo i treće impregniranje, a nakon svakog impregniranja opet treba provesti sušenje.

Nakon konačnog impregniranja i sušenja namota i nakon ispitivanja izolacionih svojstava, čeone spojeve lakiramo specijalnim, za to određenim lakom, ali i tu poslije svakog lakiranja slijedi sušenje. Lakiranjem čeonih spojeva dobivamo njihovu glatku i sjajnu površinu i poboljšane sve prije rečena poboljšanja impregnacije. U mnogim specijalnim slučajevima, osobito kad motor radi u veoma vlažnoj okolini, čeone spojeve namota možemo prekriti i jednim slojem email-laka.

4.2.1. VRSTE LAKOVA

Elektroizolacioni lakovi se dijele na impregnacijske, na lakove za premazivanje čeonih spojeva namota i na isparljive lakove, koji služe za lijepljenje na druge elektroizolacione materijale. Lakovi se sastoje od dva osnovna elementa: osnove (srno1e, bitumena) i rastvarača. U sastav lakova ulaze i različite druge materije, kao ornekšavajuća plastična masa, ubrzivači sušenja (sušila) i obojivači, a svaka od njih daje im izvjesna potrebna svojstva. Prema načinu sušenja postoje lakovi koji se suše na zraku i oni koji se suše na određenoj temperaturi.

Podatke o viskoznosti laka, vremenu sušenja, dopuštenoj temperaturi, boji, otpornosti prema ulju i temperaturi, treba tražiti od samog proizvođača. Osim lakova za impregniranje, upotrebljavaju se i lakovi za premazivanje namota, koji pružaju otpornost prema ulju, vlazi i nekim kemikalijama. Specijalni način impregniranja namota, posebno onih predviđenih za visoki napon, te namota motora koji rade u veoma vlažnoj okolini, jest kompaundiranje namota. Kompaundiranje je impregniranje namota smjesom rijetkog bitumena, ulja i kolofonija, što se naziva kompaundni lak. Kompaundni lak je na normalnoj temperaturi tvrd. Da bi se mogao upotrijebiti on se zagrijava do 150 °C i u stanju na toj temperaturi upotrebljava se za kompaundiranje. Kompaundiranje se provodi na temperaturi od 165 do 175 °C, pod pritiskom od 6 do 8 at.[5]

[5] Ralčovski V.;Prematanje asinhronih motora;tehnička knjiga;Zagreb,970g str 228

5. VRSTE I POSTUPCI ISPITIVANJA ELEKTROMOTORA

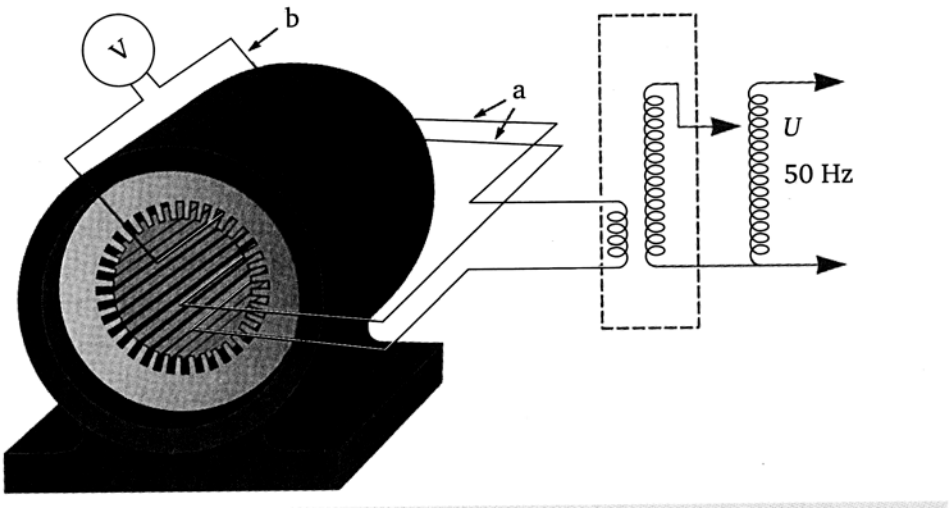
5.1. IPITIVANJE ŽELJEZNE JEZGRE ELEKTROMOTORA

Pri svakom rastavljanju elektromotora, a posebno prije prematanja ili drugih zahvata, treba provjeriti na namotu ispravnost međulamelne izolacije statorskog paketa. U praksi su prematanja električnih rotacijskih strojeva ponekad neuspješna zbog bitno povećanih gubitaka u statorskoj jezgri. Takve jezgre ne treba prematati ili ih treba prije prematanja potpuno sanirati kompletnim preslaganjem limova ili barem izoliranjem limova oštećenih dijelova statorskog paketa.

Gubici u željezu sastoje se od histereznih gubitaka i gubitaka vrtložnih struja. Histerezni gubici ovisni su o elektromagnetskim svojstvima magnetskih limova i praktički se ne mijenjaju tijekom eksploatacije električnog rotacijskog stroja. Nasuprot tome, gubici vrtložnih struja osim o otporu magnetskog lima, ovise u znatnoj mjeri i o izolaciji između limova, koja s vremenom slabi i oštećuje se. Da bi se smanjili gubici vrtložnih struja u statorskom paketu (željeznoj jezgri) izrađuje se statorski paket od izoliranih limova. Pritom se u proizvodnji najčešće upotrebljavaju limovi debljine 0,5 mm. Kod strojeva čiji iznos gubitaka u željezu nije presudan, izrađuju se radi ekonomičnosti statorski paketi od limova debljine 0,63 mm. Nasuprot tome, kod strojeva za visoke frekvencije, čiji su gubici u željezu jako izraženi upotrebljavaju se za paket limovi debljine 0,35 mm.

5.1.1. KLASIČNI NAČIN IPITIVANJA STATORSKE JEZGRE

Kod ovog načina ispitivanja statorske jezgre, oko jezgre i kućišta elektromotora ili generatora omota se toroidno od nekoliko do nekoliko desetina zavoja uzbudnog kabela, kroz koji se protjera struja od 100 A i više, tako da se dobiju potrebni amperzavoji za stvaranje približno 80% iznosa nazivnog magnetskog toka u paketu statora. Kod velikih strojeva, primjerice hidrogeneratora, uzbudni se kabel namata jednoliko po cijelom statoru. Kod manjih strojeva uzbudni kabel ima malo zavoja, pa se može smjestiti koncentrirano na jednom mjestu, slika 31, ili se može rasporediti u dvije, tri ili četiri grupe jednoliko po obodu. Za utvrđivanje postignutog iznosa indukcije treba namotati na jezgru jedan ili dva zavoja mjernog kabela.



Slika 31 Shema ispitivanja statorskog paketa asinkronog motora

Postupak mjerenja:

1) Uzbudni kabel priključi se na napon i postupno se povećava jakost struje kroz kabel dok voltmetar na mjernom kabelu ne pokaže potrebni/izračunati iznos napona po zavoju. Ne smije se dodirivati željezo i1i ulaziti u željeznu jezgru kod velikih statora dok kroz uzbudni kabel teče struja jer se inducira napon između lamela. Metalni komadi, kao primjerice alat, zatici, svornjaci i dr., ne smiju za vrijeme ispitivanja doći u kontakt sa statorskom jezgrom.

2) Stalno treba promatrati pojavu „vrućih mjesta“ u jezgri, jer ona mogu nastati vrlo brzo uzrokujući daljnja oštećenja međulamelne izolacije ako ispitivanje nije prekinuto i ako vruća mjesta nisu odmah popravljena prije nastavka daljnjeg ispitivanja. Ukoliko se takva „vruća mjesta“ nisu odmah pojavila treba nastaviti s ispitivanjem najmanje 15 min. U međuvremenu treba pomoću termovizije ili postavljenih temperaturnih senzora provjeravati eventualnu pojavu „vrućih mjesta“. Temperaturu treba mjeriti na dnu utora i na vrhu zuba na različitim položajima jednako raspoređenim po statorskoj jezgri. Također, treba izračunati približnu srednju temperaturu statorske jezgre.

„Vruća mjesta“ su svi dijelovi statorske jezgre čija je temperatura za 10 °C iznad srednje temperature jezgre. Po završetku ispitivanja treba označiti sva „vruća mjesta“ za kasnije popravke. Ako se nisu pojavila „vruća mjesta“ i ako je nakon primjerice 15 minutnog ispitivanja kod asinkronih motora prosječno zagrijanje jezgre manje od 20 °C može se zaključiti da je jezgra ispravna. Ako su ustanovljena „vruća mjesta« ili ako se jezgra

kompletno pregrijava treba utvrditi da jezgra nije ispravna za daljnji rad ili prematanje. Jezgru treba popraviti ili zamijeniti s novom[6].

Nedostaci klasičnog načina ispitivanja statorske jezgre:

- Glavnina magnetskog toka prolazi jarmom statora tako da su statorski zubi znatno manje zasićeni nego u normalnom pogonu električnog stroja. Uslijed toga ne mogu se ustanoviti sva mjesta oštećenja izolacije među limovima u području statorskih zubi, što je izuzetno važno jer se u praksi najveći dio oštećenja izolacije nalazi u ovom području.

- Ispitivanje je dugotrajno, jer se osim relativno velikih pripremnih radova treba dugo čekati da statorski paket zbog svoje velike mase i duge vremenske konstante zagrijavanja postigne stacionarnu temperaturu. Termovizijom se tada lako i brzo utvrde zagrijanja pojedinih mjesta u statorskom paketu.

- Veliki nedostatak klasične metode je i njezina destruktivnost. Zbog jakog lokalnog zagrijavanja dolazi do povećanog oštećenja izolacije među limovima, pa je nakon ispitivanja željezna jezgra ponekad u lošijem stanju nego što je bila prije ispitivanja.

5.1.2. ALTERNATIVNI NAČINI ISPITIVANJA STATORSKE JEZGRE

Alternativni načini ispitivanja željezne jezgre primjenjuju se u svijetu sve više jer imaju znatne prednosti u jednostavnosti primjene i ekonomičnosti. Kod nas još nisu našli svoju pravu primjenu.

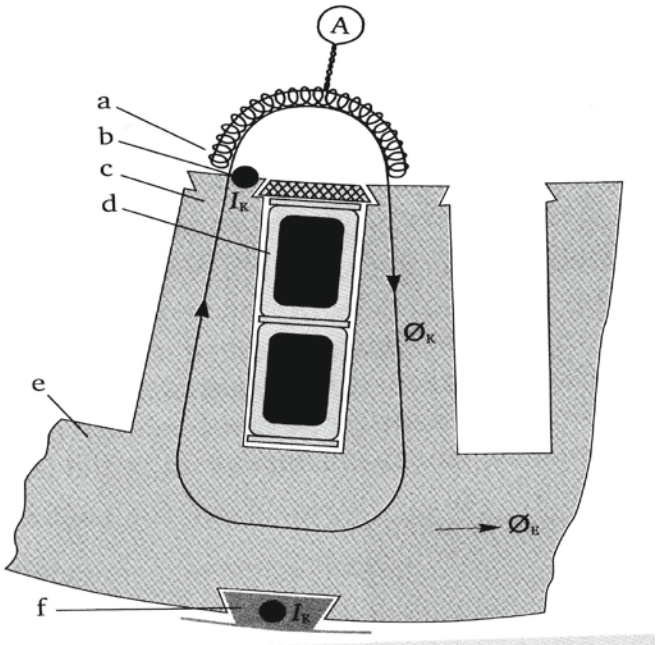
5.1.2.1. MJERENJE GUBITAKA U JEZGRI

Pomoću prikladnog vatmetra mogu se izmjeriti gubici u željeznoj jezgri. Gubici u jezgri ovisni su o tipu primijenjenog magnetskog lima i materijalu za kućište motora. Radi bolje usporedivosti izmjerenih rezultata na raznim jezgrama izračunava se težina magnetske jezgre i rezultati se izražavaju kao gubici u W/kg. Potrebna je određena banka izmjerenih podataka da bi se usporedbom izmjerenih vrijednosti moglo odrediti je li ispitana jezgra ispravna ili neispravna za prematanje.

[6] Neven Srb;Asinhroni motori,priručnik; Tehnička knjiga; Zagreb; 1971g.; str 119

5.1.2.2. EL C.I.D. METODA

Dobro je poznata oprema za utvrđivanje slabih mjesta u izolaciji među limovima firme ADWEL (Velika Britanija) tzv. EL CID (Elektromagnetic Core Imperfection Detector). Kod ove se metode za utvrđivanje neispravne izolacije izvodi mjerenje s Rogowskijevim svitkom prema slici 32. Glavna je prednost ove metode ispitivanja međulamelne izolacije u potrebi za znatno manjom indukcijom, svega 4% od indukcije pri klasičnom ispitivanju. Dakle uzbuda može biti oko 25 puta manja, pa nisu više potrebni veliki kabeli i jaki izvori električne energije. Metoda je u prvom redu primjenjiva za turbogeneratore koji imaju mali broj zubi (48...96). S mjernom sondom potrebno je proći svaki par statorskih zubi po cijeloj duljini. Kod hidrogeneratora koji imaju nekoliko stotina statorskih utora primjena EL CID metode relativno je velik posao pa se zbog toga upotrebljava rijetko.



Slika 32 Princip mjerenja izolacije limova s Rogowskijevim svitkom; a) Rogowskijev svitak; b) mjesto oštećenja limova; c) statorski zub; d) utor sa statorskim namotom; e) statorski paket; f) letva za učvršćenje paketa; Ik- struja zbog oštećenja limova; Φk- rasipni tok zbog struje oštećenja; ΦE- tok zbog uzbude generatora

5.2. MJERENJE IZOLACIJE

Kvaliteta izolacije određuje u velikoj mjeri sposobnost rada i vijek trajanja elektromotora. U skladu s tim treba odgovarajuću pažnju posvetiti kontroli izolacijske sposobnosti. To se prvenstveno odnosi na mjerenje izolacijskog otpora, ispitivanje izolacije namota i ispitivanje izolacije među zavojima.

5.2.1. MJERENJE IZOLACIJSKOG OTPORA

Nakon vizualne kontrole namota, a posebno impregnacije, treba provjeriti dielektričnu čvrstoću namota. Ona se kontrolira mjerenjem izolacijskog otpora između pojedinih faza i između namota i kućišta motora. Pri mjerenju izolacijskog otpora između pojedinih faza namota potrebno je odspojiti sve stezaljke, a kod kolutnih motora podignuti četkice. Najbolje je mjeriti pomoću megaohm-metra sa stabilnim izvorom napona. U instrument je ugrađen tranzistorski mjerni generator, koji se uključuje pritiskom na tipku, a proizvodi stabilizirani mjerni napon od 500 V, 1000 V, 2500 V ili 5000 V. Prednost je instrumenta praktična izvedba skale i mogućnost neposrednog mjerenja istosmjernih i izmjeničnih napona posredstvom dviju istih stezaljki koje služe za mjerenje otpora izolacije. Izolacijski otpor namota ovisan je o upotrijebljenim izolacijskim materijalima i impregnaciji namota. On u velikoj mjeri opada s porastom temperature namota, a posebno je malen kod nečistih i vlažnih namota. Stoga je kod takvih namota potrebno paziti da se previsokim mjernim naponom ne ošteti izolacija namota.

Vidljivo vlažne i nečiste namote treba prije mjerenja izolacijskog otpora obavezno isušiti i očistiti. Budući da vrijednost izolacijskog otpora u velikoj mjeri ovisi o trajanju mjerenja, za mjerodavnu vrijednost uzima se izolacijski otpor koji se izmjeri 1 minutu nakon priključivanja napona na izolaciju. Izolacijski otpor namota niskonaponskih motora ne bi smio biti manji od 1 MΩ. Vrijednost izolacijskog otpora kvalitetno izrađenih motora je oko 5 MΩ u hladnom stanju i oko 2 MΩ u pogonski toplom stanju. Minimalna vrijednost izolacijskog otpora motora srednjeg i visokog napona najčešće mora biti toliko MΩ koliko kV iznosi nazivni napon motora.

5.2.2. ISPITIVANJE IZOLACIJE NAMOTA

Da bi se osigurala funkcionalna sposobnost električnih strojeva, ispitivanjem izolacije namota utvrđuje se njihova dovoljna dielektrična čvrstoća. Ispitivanje izolacije namota označava se često i kao naponsko ispitivanje. Pod ispitivanjem izolacije namota podrazumijeva se međusobno naponsko ispitivanje svih dijelova namota koji nisu trajno kratko spojeni i njihovo ispitivanje prema kućištu električnog stroja. Veličina ispitnog napona određena je propisima, vidi tablicu 4. Kod niskonaponskih strojeva ispitivanje se smatra

uspješnim, ako je napon narinut dulje od jedne minute i pritom ne dolazi do proboja izolacije. Neispravna izolacija može se pri probojnom ispitnom naponu prepoznati po pucketavoj buci, malim bljeskovima ili skokovito narasloj struji iz transformatora. Budući da se pri visokonaponskim ispitivanjima služe za izolacija jako napreže, ova ispitivanja ne treba ponavljati. Visokonaponsko ispitivanje s propisanim ispitnim naponom vrši se u pravilu na novom električnom stroju u stanju mirovanja nakon pokusa zagrijavanja.

5.2.3. ISPITIVANJE IZOLACIJE MEĐU ZAVOJIMA

Mjerenjem izolacijskog otpora i ispitivanjem izolacije namota utvrđuje se izolacijska čvrstoća pojedinih namota međusobno i prema masi. Ispitivanjem izolacije među zavojima utvrđuje se dovoljna izoliranost između pojedinih međusobno galvanski povezanih zavoja namota. Najjednostavniji način ispitivanja izolacije među zavojima je rad stroja u praznom hodu s povišenim naponom. Pritom se stroj priključi na 1,3 puta veći nazivni napon u trajanju preko 3 minute. Određenu poteškoću stvara utvrđivanje eventualnog spoja među zavojima nakon ispitivanja izolacije među njima. U namotima trofaznih i jednofaznih strojeva i u rotoru istosmjernih strojeva kroz koje prolazi izmjenično magnetsko polje, kratko spojeni zavoj predstavlja sekundarnu stranu transformatora. U njemu se uslijed izmjeničnog toka inducira napon. On protjera struju, koja jako zagrije kratkospojeni zavoj i dovodi čak do izgaranja izolacije na oštećenom mjestu. Općenito su ove pojave povezane s bukom koja je slična buci kratkospojenog transformatora.

5.2.4. VISOKONAPONSKO ISPITIVANJE IZOLACIJE NAMOTA

Premotani ili novi motor treba izdržati visokonaponsko ispitivanje izolacije namota s mrežnom frekvencijom u trajanju od 1 min bez oštećenja ili proboja izolacije. Visokonaponsko ispitivanje se zbog svoje destruktivnosti (početna oštećenja izolacije) ne smije ponavljati u punom iznosu. Ako je to potrebno iz bilo kojeg razloga, namot je potrebno prvo dobro osušiti i tek ga tada ispitati s 80 % ispitnog napona navedenog u tablici 7. Namot motora koji je bio u pogonu treba očistiti i osušiti i tek ga tada ispitati s naponom 1,5 puta nazivni napon, s najnižim naponom od 1000 V ako je nazivni napon veći ili jednak 100 V, odnosno s najnižim naponom od 500 V ako je nazivni napon manji od 100 V.

Tabela 7. Ispitni naponi za visokonaponsko ispitivanje izolacije

Komponenta/motor koji se ispituje Izolirane komponente	Efektivna vrijednost ispitnog napona (V) 1000 V plus dvostruki nazivni napon, minimalno 1500 V
Sekundarni izolirani namot (obično rotor)	
a)Motori bez reverziranja i motori s promjenom smjera	1000 V plus dvostruki napon otvorenog kruga (mjeren u stanju mirovanja između sekundarnih stezaljki kod nazivnog napona na stezaljkama primarnog namota), minimalno 1500 V
b)Motori koji se reverziraju ili koče reverziranjem primarnog napajanja za vrijeme vrtnje motora	1000 V plus četverostruki napon otvorenog kruga, mjeren kao u (a) minimalno 1500 V

5.3. MJERENJE OTPORA NAMOTA

Pri popravku i prematanju elektromotora često je potrebno mjeriti otpor namota. Usporedbom mjerenih i računskih vrijednosti otpora novog namota može se provesti uspješna i brza kontrola ispravnosti popravka, odnosno prematanja. Tu kontrolu treba napraviti prije isporuke motora, a preporučuje se i prije impregniranja namota.

5.3.1. WHEATSTONEOV I THOMSONOV MOST ZA MJERENJE OTPORA

Mjerenje nepoznatog otpora Rx od oko 0,1Ω naviše omogućeno je kod Wheatstoneova mosta određenom kombinacijom veličina mjernih otpora. Za dovođenje mosta u ravnotežu promjenljivim otpornikom (struja kroz galvanometar / = 0) vrijedi:

$$R_x = R_2 * \frac{R_3}{R_4} \ [\Omega]$$

Za mjerenje malih otpora, ispod 1 Q, upotrebljava se Thomsonov most. Most se dovodi u ravnotežu pomoću dvostrukog promjenljivog otpornika. Uključivanje mosta i njegovo dovođenje u ravnotežu obavlja se kao i kod Wheatstoneova mosta. Pri mjerenju Wheatstoneovim i Thomsonovim mostom treba se pridržavati sljedećih pravila: Ako se

kazaljka nul-instrumenta otkloni ulijevo, treba prijeklopu okretati udesno (povećavati mjerno područje) tako dugo dok se kazaljka nul-instrumenta ne otkloni na desnu stranu i obratno. Nakon tako obavljenog grubog podešavanja slijedi fino podešavanje okretanjem označene kružne skale na suprotnu stranu od pokazivanja kazaljke nul-instrumenta tako dugo, dok se most ne dovede u ravnotežu (kazaljka galvanometra zauzima nulti položaj na skali). Uz ravnotežu mosta vrijednost mjerenog (nepoznatog) otpora bit će određena umnoškom očitane vrijednosti A na kružnoj skali i konstante B (broj označen uz birani mjerni opseg):

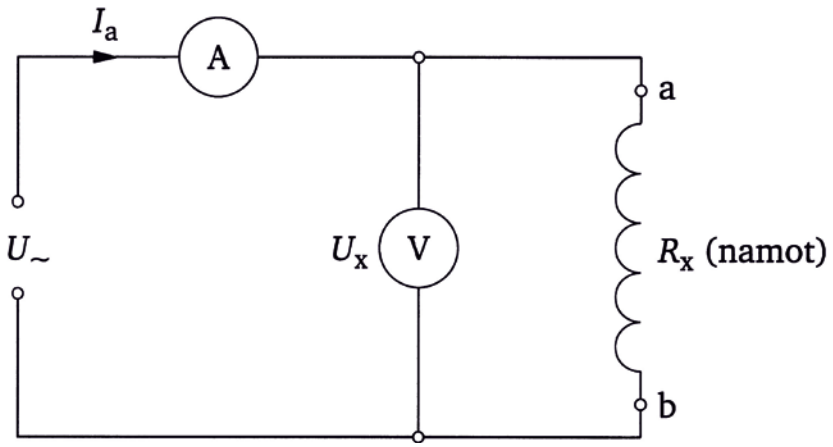
$$R_x = A * B \ \ [\Omega]$$

5.3.2. U-I METODA MJERENJA OTPORA

Pri mjerenju malih otpora upotrebljava se shema spoja prema slici 33. Struja ampermetra Ia grana se u tom slučaju na struju kroz voltmetar Iv i na struju kroz namot (trošilo) I. Traženi otpor namota bit će, uz primijenjeni Ohmov zakon, određen formulom:

$$R_x = \frac{U_x}{I_a - \frac{U_x}{R_v}} \ \ [\Omega]$$

Izmjerene su vrijednosti struja kroz ampermetar Ia i pad napona na namotu Ux, a vlastiti (unutarnji) otpor voltmetra Rv mora biti poznat (najčešće označen na instrumentu).

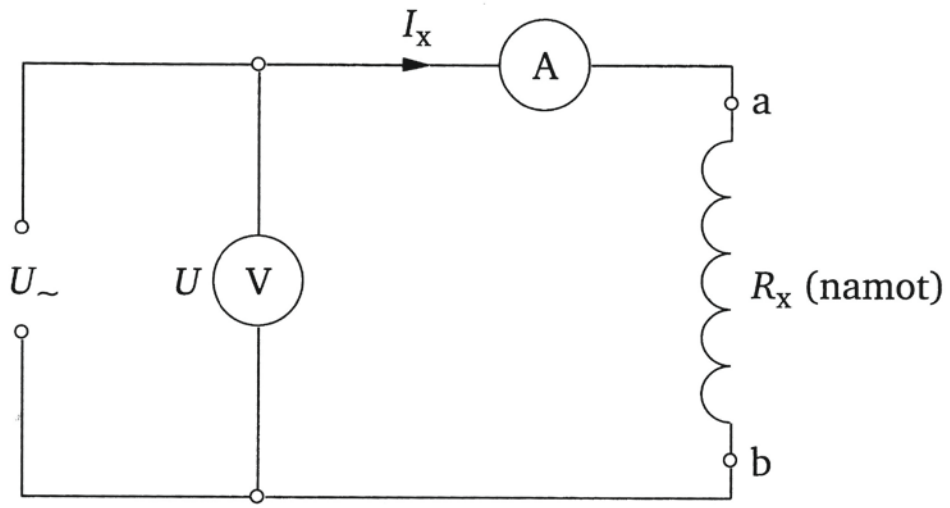


Slika 33 Shema mjerenja malih otpora U-I metodom

Pri mjerenju velikih otpora upotrebljava se shema spoja prema slici 34. Voltmetrom se mjeri ukupni napon U, koji je za pad napona na ampermetru (Ua = I*Ra) viši od pada napona na namotu (trošilu). Ampermetar točno mjeri struju kroz namot. Traženi otpor namota bit će, uz Ohmov zakon, određen formulom:

$$R_x = \frac{U - I_x * R_u}{I_x} \quad [\Omega]$$

Izmjerene su vrijednosti napona U i struja Ix, a vlastiti otpor ampermetra Ra mora biti poznat (najčešće označen na instrumentu).



Slika 34 Shema mjerenja velikih otpora U-I metodom

Pri mjerenju velikih otpora, kod kojih nije potrebna velika točnost, mogu se zanemariti razlike između U i Ux, te otpor izračunati prema Ohmovu zakonu:

$$R = \frac{U}{I} \quad [\Omega]$$

Za izvor električne energije upotrebljavaju se istosmjerni generator, akumulator ili akumulatorska baterija. Pri mjerenju otpora ne smije se zaboraviti da i spojni (priključni) vodovi imaju određen, iako malen, otpor koji se pribraja mjerenom. Treba povesti računa, osobito pri mjerenju otpora malih vrijednosti, i o prijelaznom (kontaktnom) otporu, koji nastaje na priključnim stezaljkama.

5.4. MJERENJA PRAZNOG HODA

Nakon što je provjeren otpor namota i izolacija namota sastavlja se motor. Ako postoji mogućnost, motor se priključi na snižen napon (30...50 % nazivnog napona). Ako motor bez ikakvih smetnji dosegne brzinu vrtnje tek neznatno manju od sinkrone, napon napajanja može se podignuti na nazivnu vrijednost. Brzina vrtnje mjeri se jednostavno pomoću tahometra (brojač okretaja). Osim ocjene magnetskih odnosa pokusom praznog hoda mogu se utvrditi i gubici u praznom hodu. Na ovaj način određeni gubici trenja daju uvid u kvalitetu ležaja i montaže električnog stroja. Mjerenjem pri nazivnom naponu i frekvenciji mogu se ustanoviti i grube električne pogreške, primjerice zbog pogrešnog spajanja namota. Mjeriti treba na razrađenom stroju. Ovo stanje postiže se kada se gubici ležaja više ne mijenjaju. Kao smjernica može se uzeti vrtnja motora od oko 1 sat. Nakon razrade stroja (ležaja) treba podizati napon u stupnjevima od po 10 % do 120 % nazivne vrijednosti. U svakoj mjernoj točki treba odrediti napon praznog hoda Uo, struju praznog hoda Io i djelatnu snagu praznog hoda Po. Kod trofaznih motora, struje trebaju u sve tri faze biti približno jednake. Struja mjerena u bilo kojoj fazi ne smije odstupati za više od ±5% od srednje vrijednosti pri simetričnom naponu napajanja. Snaga praznog hoda malih motora je do 10% nazivne snage. S porastom nazivne snage motora taj postotak opada i kod većih motora je oko 6%. Osim navedenih veličina, u praznom hodu treba kontrolirati buku, vibracije i zagrijavanje elektromotora. Buka koju stvara elektromotor može biti magnetska, ventilacijska i mehanička. Porijeklo buke može se odrediti na jednostavan način.

Ako se motor na kraće vrijeme (nekoliko sekundi) isključi iz mreže, on se i dalje zbog kinetičke energije rotora vrti približno istom brzinom. Magnetska buka, međutim, nestaje zbog nestanka magnetskog polja. Preostala buka sastoji se od ventilacijske i mehaničke buke. Ventilacijsku buku moguće je odvojiti od mehaničke (najčešće buke ležaja) zatvaranjem ulaza za rashladni zrak ili skidanjem ventilatora za hlađenje. Pokus treba biti kratkotrajan da se spriječi pregrijavanje motora. Vibracije elektromotora mogu nastati zbog pogrešnog spajanja namota ili nesimetričnog zračnog raspora ili sličnih kombinacija mehaničkih i električnih uzroka. Isklapanjem motora s mreže spomenute vibracije nestaju. Vibracije elektromotora nastale samo zbog mehaničkih uzroka, kao što su neuravnotežen rotor, savijena osovina, prevelika zračnost između osovine i ležaja i sl. također su česte. Ovalnost statora ili rotora uz djelovanje magnetskog polja također uzrokuje vibracije elektromotora. Ako se u praznom hodu elektromotora primijeti brz porast temperature namota odnosno kućišta, to je siguran

znak da je namot motora pogrešno izrađen ili spojen. Izuzetak su jednofazni asinkroni motori s pogonskim kondenzatorom, koji se u praznom hodu zagrijavaju jednako ili čak više nego pri nazivnom opterećenju. Ako postoji sumnja u lokalna pregrijavanja, motor treba nakon kraćeg rada rastaviti i ustanoviti mjesta lokalnog pregrijavanja. Lokalna pregrijavanja znak su kratkih spojeva ili neispravnih spojeva u pojedinim grupama namota. Ako je motor zadovoljio sve spomenute kontrole u praznom hodu, onda je to za veliku većinu motora dovoljna garancija kvalitetnog popravka, odnosno prematanja.

5.5. MJERENJA ZAGRIJAVANJA

Vijek trajanja električnih strojeva prilično je ovisan o postojanosti izolacijskih materijala. Veličina koja najjače utječe na starenje izolacije je temperatura. Iz istraživanja i iskustava u praksi poznato je da povećanje temperature namota ovisno o klasi izolacije za 8...15 stupnjeva smanjuje vijek trajanja za 50 %. Granično zagrijanje predstavlja temperaturnu razliku za koju se određeni dio električnog stroja smije zagrijati pri odgovarajućoj vrsti pogona i nazivnom opterećenju. Dokaz i kontrola ove veličine smisao je i svrha mjerenja zagrijavanja. Mjeri se općenito pri nazivnom naponu i nazivnoj frekvenciji. Neovisno o vrsti pogona zagrijavanje treba trajati do postizanja stacionarne temperature ispitivanog dijela električnog stroja. Pod tim se podrazumijeva stanje stroja kod kojeg se temperatura željeza odnosno namota ne mijenja prema temperaturi rashladnog zraka za više od 2 stupnja na sat.

6. KALUPI ZA NAMATANJE SVITAKA

Svaki asinkroni motor ima različite svitke u namotu, osim onih tvorničkih koji se rade u serijama za iste motore. Ako se poznaju karakteristike namota ili su prethodno dobivene izračunom može se pristupiti namatanju svitaka. Osim osnovnih karakteristika namota i svitka, namot je ograničen i čeonim prostorom tj. prostorom između bočne strane statorskog paketa i bočnih poklopaca. Ono je naravno određeno samom konstrukcijom proizvođača i nije podložno promjenama. Stoga je vrlo važno da se svitak napravi, namota, u dopuštenim granicama jer ako se napravi manji svitak nije ga moguće ubaciti u statorski paket, a veći svitak, koliko to bilo olakšavajuće za ubaciti u statorski paket, daje veće čeone strane namotu pa se može dogoditi da namot dodiruje bočne poklopce što dovodi do proboja namota prema masi. Zato se prije namatanja radi probni uzorak svitka sa samo jednim zavojem kojim se fizički može odrediti kolika nam veličina svitka zapravo treba. Ovisno o specifičnosti namota i njegove izvedbe moguće je napraviti i više uzoraka ako se recimo radi o koncentričnom namot gdje imamo više različitih koraka ili pak o motorima sa više odvojenih i različitih namota. Da bi se to izbjeglo većinom su statorski paketi i njihove izvedbe namota standardizirani pa se prilikom pravljenja uzorka za koncentrični namot može uzeti samo jedan korak i to u praksi uvijek bude onaj najmanji.

Kada smo odredili i napravili probni uzorak svitka može se pristupiti namatanju svitaka te se probni uzorak postavlja na kalupe za namatanje. Zbog lakšeg i bržeg namotavanja kalupi za namatanje se izrađuju tako da se s jednom vrstom kalupa za namatanje može namotati različite veličine svitaka za različite tipove motora sa različitim korakom svitaka. Širenjem ili skupljanjem kalupa dobivaju se željene veličine svitaka.

Kalupi se uglavnom izrađuju od lakih materijala, drvo, bakelit, plastika itd. Kod koncentričnih namota zbog standardizacije statorskih paketa kalupi za namatanje imaju već određene stupnjeve koraka namota pa se u principu bez prekidanja vodiča može namotati čitava polno fazna grupa, a kod namota sa jednim korakom svitka čak čitava faza namota. Na slici 35 i 36 prikazani su neki od radionički kalupa za namatanje svitaka napravljeni od bakelita. Ni jedan rub kalupa gdje se smještaju vodiči ne smije biti oštar jer bi u suprotnom moglo doći do oštećenja izolacije vodiča što bi u konačnici rezultiralo nepotrebnim bacanjem materijala i dodatnih troškova.



Slika 35 Radionički kalupi za namatanje koncentričnih svitaka



Slika 36 Radionički kalupi za namatanje svitaka sa jednakim korakom

7. ZAKLJUČAK

Asinkrone motore u današnje vrijeme nalazimo u gotovo svakoj grani industrije pa je njihova primjena nezamisliva u pogonima. Osnovna mana od samih početaka primjene asinkronih motora bila je njegova ograničena brzina vrtnje što se danas sa lakoćom rješava upotrebom frekventnih pretvarača pa je i ta negativna konotacija promijenjena u korist istih. Osim potrošnje energije njihovo je ekološko zagađenje pa gotovo jednako nuli, a njihovim se recikliranjem, ako nije nastalo preveliko oštećenje na statorskom ili rotorskom paketu, praktički dovede u novo stanje.

Osim premotavanjem, recikliranjem, asinkronih motora na iste karakteristike u cilju popravka, moguće je dakako uz poneke modifikacije njegove početne tehničke karakteristike i poboljšati što naravno doprinosi da se u točno određenim uvjetima rada i potrebe isti motor može kvalitetnije i duže iskoristiti bez troškova kupnje novih.

Da bi se ostvarila poboljšanja u radu asinkronih motora potrebno je izmijeniti njegov namot. Dakako to nije uvijek moguće jer se u osnovi baziramo na gotov statorski i rotorski paket pa tako već u početku možemo odrediti kako i koliko možemo mijenjati njegove karakteristike. Ovim se radom daju smjernice kako, kroz vizualnu, tako i teorijsku metodu, odabrati karakteristike koje je moguće izmijeniti prilikom prematanja. Da li konstrukcijski motor dozvoljava željene promjene i kako uz pomoć jednostavnog proračunavanja dobiti podatke o namotu za željene promjene u radu asinkronog motora.

8. LITERATURA

8.1 KNJIGE

1. L. M. Piotrovskij; Električni strojevi; Tehnička knjiga; Zagreb; 1967.
2. Ing. Werner Nürnberg; Ispitivanje električnih strojeva; Školska knjiga; Zagreb; 1951.
3. V. Ralčovski; Prematanje asinkronih motora; Tehnička knjiga; Zagreb; 1970.
4. Neven Srb; Ispitivanje i prematanje elektromotora; Graphis; Zagreb; 2005.
5. Neven Srb; Asinkroni motori, priručnik; Tehnička knjiga; Zagreb; 1971.
6. Berislav Jurković; Elektromotorni pogoni; Školska knjiga; Zagreb; 1978.
7. H. Vahid, Jakob Danon; Električne mašine; Tehnička knjiga; Beograd; 1972.
8. Dr. Ing. Prof. Crisci Giorgio; Costruzione schemi e calcolo degli avvolgimenti delle macchine elettriche rotanti; S.T.E.M. Mucchi; 1978.

8.2 INTERNET

1. http://www.fer.unizg.hr/_download/repository/EEPE_2010_2011_AM.pdf ;
2. http://www.pfri.uniri.hr/~vucetic/BEU_BS_2012.pdf
3. https://bib.irb.hr/datoteka/629238.SinAsin.pdf
4. https://hr.wikipedia.org/wiki/Elektri%C4%8Dni_strojevi
5. http://people.etf.unsa.ba/~jvelagic/laras/dok/Lekcija8.pdf

9. POPIS SLIKA I TABLICA

9.1 POPIS SLIKA

Slika 1. Statorski paket 4
Slika 2. Različite izvedbe kućišta statorskih paketa 4
Slika 3. Dijelovi asinkronog elektromotora; 1 - Bočni poklopac; 2 - Spojna kutija; 3- Priključnica; 4 - Ležaj 5
Slika 4. Rotorski paket 5
Slika 5. Kolutni asinkroni motor; 1- Kućište; 2- Bočni poklopac; 3- Nosač četkica; 4- Četkica; 5- Klizni prsten 6
Slika 6. Kavezni rotor asinkronog motora; 1- Ventilator za hlađenje; 2- Kratkospojni prsten; 3- Osovina; 4- Rotorski štap; 5- Ležaj; 6- Rotorski paket 7
Slika 7. Shematski prikaz trofaznog asinkronog motora 8
Slika 8. Prikaz struja u trofaznom asinkronom motoru 8
Slika 9. Zavoj-element namota 11
Slika 10. a) svitak sa više aktivnih zavoja b) svitak sa jednim aktivnim zavojem 11
Slika 11. a) utor sa jednoslojnim namotom; b) utor sa dvoslojnim namotom 12
Slika 12. Shematki prikaz polno fane grupe; a) koncentrični namot; b) petljasti namot 12
Slika 13. Namot jedne faze 4-polnog dvoslojnog petljastog namota 13
Slika 14. Shema trofaznog statorskog namota 13
Slika 15. Shema spajanja trofaznog asinkronog motora na električnu mrežu 14
Slika 16. Shema spajanje jednofaznog asinkronog motora na mrežu 15
Slika 17. Glavne dimenzije statorskog paketa 16
Slika 18. Prikaz utorskog koraka sa oznakama 18
Slika 19. Formule za izračun poprečnih presjeka različitih oblika statorskih utora 24
Slika 20. Natpisna pločica elektromotora 26
Slika 21. Izgled statorskog paketa bez čeone strane namota 26
Slika 22. Izvlačenje namota iz statorskog paketa 27
Slika 23. Petljasti usipni namot 28
Slika 24. Čeona strana namota sa međufaznom izolacijom 29
Slika 25. Prošivena čeona strana namota 29
Slika 26. Čeona strana namota na kojoj se nalaze izvodi svitaka 30
Slika 27. Trofazni dvoslojni namot s jednakim svicima i paralelnim spojem (broj paralelnih grana a=3) 31

Slika 28. Trofazni dvoslojni namot s jednakim svicima i serijskim spojem (broj paralelnih grana a=1) 31
Slika 29. Magnetski odnosi u motoru pri različitim brojevima polova: a) 2-polni motor; b) 4-polni motor; c) 6-polni motor 35
Slika 30. Statorski i rotorski limovi normalnih trofaznih asinkronih motora: a) 2-polni motor; b) 4-polni motor; c) 6-polni motor 36
Slika 31. Shema ispitivanja statorskog paketa asinkronog motora 43
Slika 32. Princip mjerenja izolacije limova s Rogowskijevim svitkom; a) Rogowskijev svitak; b) mjesto oštećenja limova; c) statorski zub; d) utor sa statorskim namotom; e) statorski paket; f) letva za učvršćenje paketa; Ik- struja zbog oštećenja limova; Φk- rasipni tok zbog struje oštećenja; ΦE- tok zbog uzbude generatora 45
Slika 33. Shema mjerenja malih otpora U-I metodom 49
Slika 34. Shema mjerenja velikih otpora U-I metodom 50
Slika 35. Radionički kalupi za namatanje koncentričnih svitaka 54
Slika 36. Radionički kalupi za namatanje svitaka sa jednakim korakom 54

9.2 POPIS TABLICA

Tabela 1. Tipizirane brzine vrtnje asinkronih motora 10
Tabela 2. Oznake početaka i krajeva namota trofaznog asinkronog motora 14
Tabela 3. Neke od vrijednosti koeficijenta punjenja željeza 19
Tabela 4. Vrijednosti magnetske indukcije za asinkrone motore snage do 100kW 22
Tabela 5. Vrijednosti koeficijenta namota k za dvoslojni petljasti namot sa skraćenim korakom ovisnosti od q i y 23
Tabela 6. Mogućnosti naponskog preklapanja jednoslojnih i dvoslojnih namota 32
Tabela 7. Ispitni naponi za visokonaponsko ispitivanje izolacije 48