

# ISPITIVANJE I ODRŽAVANJE ASINKRONIH MOTORA

---

**Teskera, Ante**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2023**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Split / Sveučilište u Splitu**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:228:754296>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-10-21**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of University Department of Professional Studies](#)



**SVEUČILIŠTE U SPLITU**  
**SVEUČILIŠNI ODJEL ZA STRUČNE STUDIJE**

Preddiplomski stručni studij Elektroenergetike

**ANTE TESKERA**

**ZAVRŠNI RAD**

**ISPITIVANJE I ODRŽAVANJE ASINKRONIH  
MOTORA**

Split, rujan 2023.



**SVEUČILIŠTE U SPLITU**  
**SVEUČILIŠNI ODJEL ZA STRUČNE STUDIJE**

Preddiplomski stručni studij Elektroenergetike

**Predmet:** Ispitivanje električnih strojeva

**ZAVRŠNI RAD**

**Kandidat:** Ante Teskera

**Naslov rada:** Ispitivanje i održavanje asinkronih motora

**Mentor:** Ivica Lovrić, pred.

Split, rujan 2023.



# SADRŽAJ

SAŽETAK .....	1
1. UVOD .....	2
2. OPĆENITO O ASINKRONIM MOTORIMA .....	3
2.1 Asinkroni motor .....	3
2.2. Podjela asinkronih motora .....	4
2.3 Princip rada asinkronog motora .....	5
2.4 Natpisna pločica i nazivni podatci elektromotora.....	7
3. EKSPLOATACIJA ASINKRONIH MOTORA .....	9
3.1 Općenito o upotrebi asinkronih motora .....	9
3.2 Vibracije asinkronih motora .....	9
3.3 Zagrijavanje asinkronih motora .....	10
3.4 Izolacija asinkronih motora.....	11
3.5 Kvarovi asinkronih motora .....	12
3.5.1 Kvarovi ležajeva.....	12
3.5.2 Kvarovi statora .....	13
3.5.3 Kvarovi rotora .....	14
3.5.4 Ostali kvarovi .....	15
4. ODRŽAVANJE ASINKRONIH MOTORA .....	16
4.1 Preventivno održavanje.....	16
4.2 Korektivno održavanje.....	17
4.3 Preventivno-korektivno održavanje .....	17
4.4 Prijevoz i skladištenje .....	17
4.5 Održavanje .....	17
5. ISPITIVANJE ASINKRONIH MOTORA .....	20
5.1 Vizualni pregled motora .....	20
5.2 Mjerenje vibracije .....	20
5.3 Pokus opterećenja asinkronog motora .....	20
5.4 Pokus praznog hoda asinkronog motora.....	22
5.5 Pokus kratkog spoja .....	23
5.6 Mjerenje otpora namota asinkronog motora .....	25
5.7 Mjerenje izolacijskog otpora namota asinkronog motora.....	26
5.8 Pokus visokim (ispitnim) naponom .....	26
5.9 Mjerenje rasipnog (rezidualnog) magnetnog toka .....	27

5.10 Mjerenje zagrijavanja motora .....	28
5.11 Mjerenje buke motora .....	29
6. ZAKLJUČAK.....	30
LITERATURA .....	31
POPIS SLIKA .....	33

# SAŽETAK

## Ispitivanje i održavanje asinkronih motora

U ovom radu analiziran je postupak ispitivanja asinkronih motora, problemi koji uzrokuju otežan rad ili prestanak rada, karakteristike asinkronih motora te postupak njihovog održavanja, objašnjen princip rada i eksploatacija asinkronih motora. Asinkroni motori, zbog svoje jednostavnosti i cijene, su našli široku primjenu u industriji i kućanstvima. Zadatak rada je pokazati i objasniti postupak ispitivanja i dijagnosticiranja problema te njihovo otklanjanje i održavanje samog motora.

**Glavne riječi:** asinkroni motor, ispitivanje, održavanje, karakteristike, dijagnostika, kvarovi asinkronih motora.

## SUMMARY

### Testing and maintenance of induction motors

In this paper, the test procedure of induction motors, the problems that cause difficult operation or stoppage of operation, the characteristics of induction motors and their maintenance procedure are analysed. Induction motors, due to their simplicity and price, have found wide application in industry and households. The task of the work is to show and explain the procedure of testing and diagnosing problems and their elimination, as well as maintenance of the motor itself.

**Key words:** induction motor, testing, maintenance, characteristics, diagnostics, malfunctions of induction motors.



## 1.UVOD

Zadatak rada je pokazati način ispitivanja asinkronih motora te ih u kratkim crtama pojasniti. Ispitivanja motora su jako bitan faktor jer samim ispitivanjem se može pobliže otkriti ispravnost motora za korištenje. U dugotrajnom radu motora se javljaju razni problemi i kvarovi koji su opisani u radu. Navedeni su i načini održavanja i njihova važnost za neometan rad samog motora.

U drugom poglavlju ovog rada opisano je općenito o asinkronim motorima, njihovoj podjeli prema izvedbi rotorskog namota, te podjela po načinu napajanja.

U trećem poglavlju je opisana eksploatacija asinkronih motora te njihovi najčešći kvarovi s kojima se susreću.

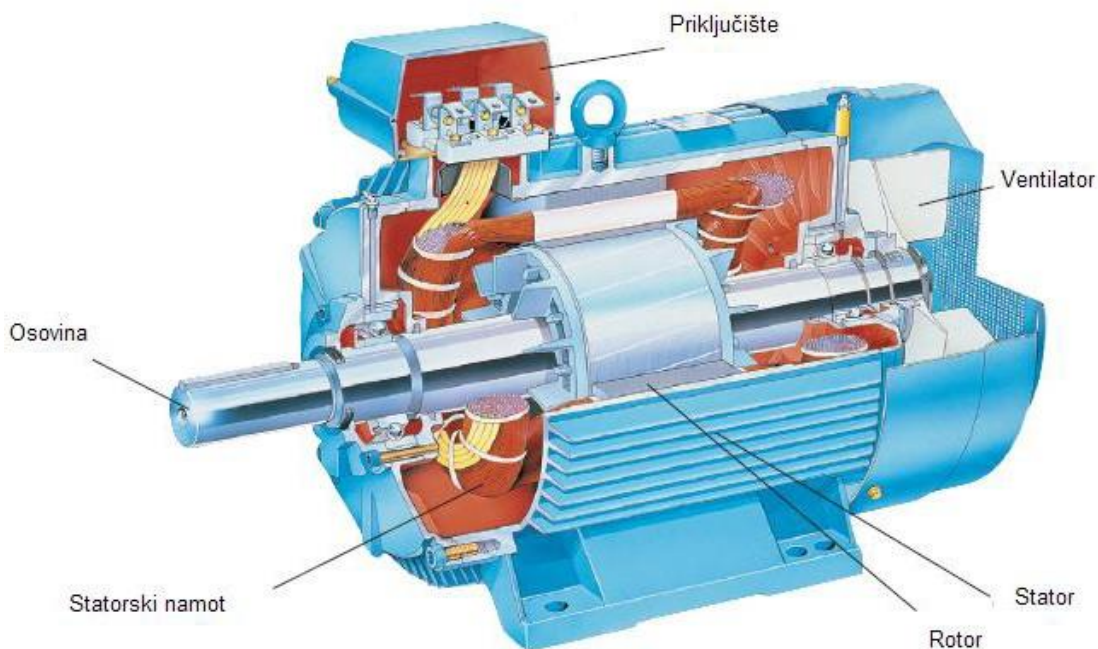
U četvrtom poglavlju obrađen je postupak održavanja asinkronog motora kao i problemi koji se mogu dogoditi ukoliko motor nije pravilno održavan.

U petom poglavlju odrađen je postupak ispitivanja asinkronog motora na temelju pokusa kao što su: opterećenje asinkronog motora, pokus kratkog spoja te pokus praznog hoda.

## 2. OPĆENITO O ASINKRONIM MOTORIMA

### 2.1 Asinkroni motor

Indukcijski ili asinkroni motor je motor koji ima statični dio (stator) i rotirajući dio (rotor). Na rotor se inducira napon djelovanjem okretnog magnetnog polja koje stvara struju u namotajima statora. Ovi strojevi su jednostavne konstrukcije, robusni i jako pouzdani u pogonu pa se zbog tih razloga najčešće koriste u skoro svim vrstama elektromotornih pogona. Naziva se asinkroni motor zbog toga jer brzina vrtnje rotora se razlikuje od brzine okretanja statorskog polja. Ta razlika brzine naziva se klizanjem i ona je bitna kako bi motor uopće mogao raditi. Rotor se vrti brzinom vrtnje koja je uvijek manja od sinkrone brzine vrtnje, a samim tim i manja od brzine vrtnje okretnog magnetnog polja. Razlika sinkronih i asinkronih motora je ta što kod sinkronih motora nema klizanja jer se rotor vrti sinkronom brzinom. Na slici 2.1 su prikazani osnovni dijelovi motora kao što su rotor, stator, statorski namot, osovina rotora, ventilator i priključna kutija. Na osovini se spaja radni stroj kojeg asinkroni motor pogoni.



Slika 2.1. Primjer asinkronog motora [18]

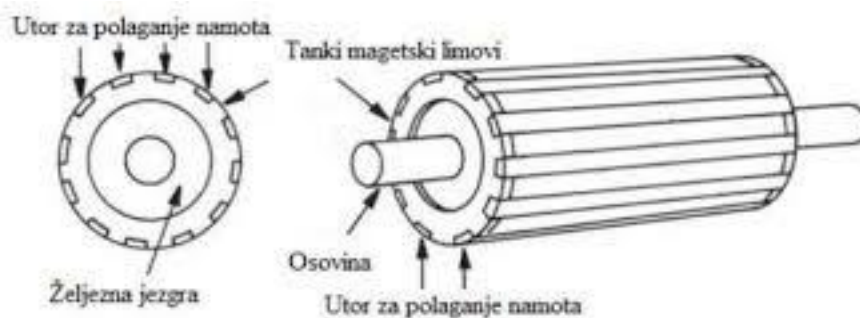
## 2.2. Podjela asinkronih motora

Asinkroni motori se dijele na više načina, a jedna od podjela je na jednofazne i trofazne asinkrone motore.

Jednofazni asinkroni motor je fizički sličan kaveznom trofaznom motoru. Glavni razlog prisutnosti jednofaznih motora je jednofazna električna instalacija u kućanstvima pošto se jednofazni motori najviše primjenjuju u kućanstvu i radionicama. Skuplji su i lošijih karakteristika od trofaznog motora te se uglavnom proizvode u manjim snagama (do 2,5 kW).

Trofazni asinkroni motori se dijele prema vrsti rotorskog namota. Postoje kliznokolutni asinkroni motor i kavezni asinkroni motor.

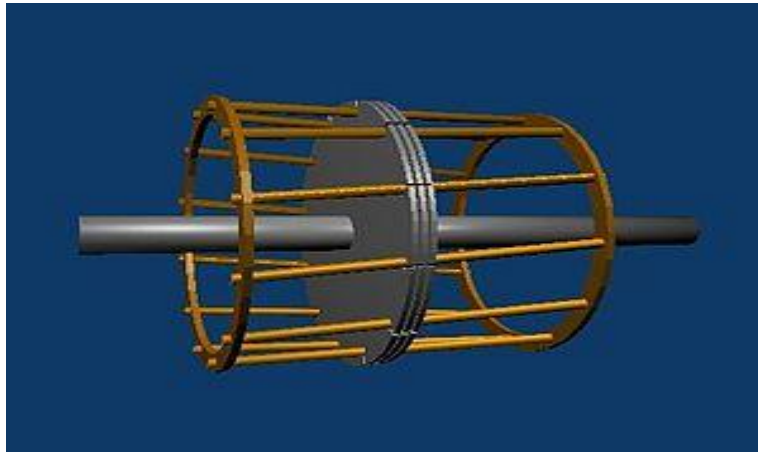
Kliznokolutni asinkroni motor na rotoru ima trofazni namot sa istim brojem pari polova kao i statorski namot. Utori ovih rotora su ili zatvoreni ili otvoreni te se u njih stavljaju trofazni namoti kao i kod statora. Završetci rotorskog namota se spajaju na klizne kolute te na svaku fazu rotora u seriju se dodaje vanjski otpor koji služi za regulaciju brzine ili pokretanje stroja. U slučaju da vanjski otpor služi za regulaciju brzine fino je dimenzioniran i stupnjevan za trajni pogon, a u slučaju da služi kao pokretač onda je grubo stupnjevan i namijenjen za kratkotrajni pogon. Prilikom pokretanja pomoću vanjskog otpora omogućava se veći potezni moment te bolja karakteristika uz manju poteznu struju. U slučaju da vanjski otpori nisu potrebni rotorski namot se kratko spoji na rotor, a četkice podignu s koluta pomoću uređaja namijenjenog za to. Slika 2.2 prikazuje dijelove kliznokolutnog asinkronog motora.



Slika 2.2. Rotor kliznokolutnog asinkronog motora i njegovi dijelovi [19]

Kavezni asinkroni motor je češće upotrebljavana vrsta asinkronog motora. Najveću primjenu ima u industriji zbog toga što se na njegov rotor ne treba dovoditi struja pa klizni koluti i četkice nisu potrebni. Glavna prednost kavezne izvedbe je ta što ima jeftiniju i jednostavniju izvedbu rotora te veću sigurnost u radu od kliznokolutne izvedbe. Kavezni motor se sastoji od neizoliranih bakrenih ili aluminijskih

štapova koji su simetrično raspoređeni po obodu željezne jezgre motora. Koriste se dvije vrste kaveznih namota, a to su uložni i lijevani. Uložni se izrađuju od bakrenih štapova dok se lijevani izrađuju od aluminija. Razlika je u tome što se lijevani koriste za motore manjih snaga dok se uložni koriste za motore srednjih i velikih snaga. [9]



Slika 2.3. Prikaz kaveza asinkronog kaveznog motora [20]

### 2.3 Princip rada asinkronog motora

Asinkroni motori se zbog svoga principa rada često nazivaju indukcijskim motorima. Interakcijom magnetskih polja rotora i statora dolazi do rotacije pokretnog dijela elektromotora. Za razliku od drugih vrsta elektromotora u asinkronom elektromotoru nema namotaja uzbude. Zbog toga je asinkroni elektromotor najsličniji transformatoru.

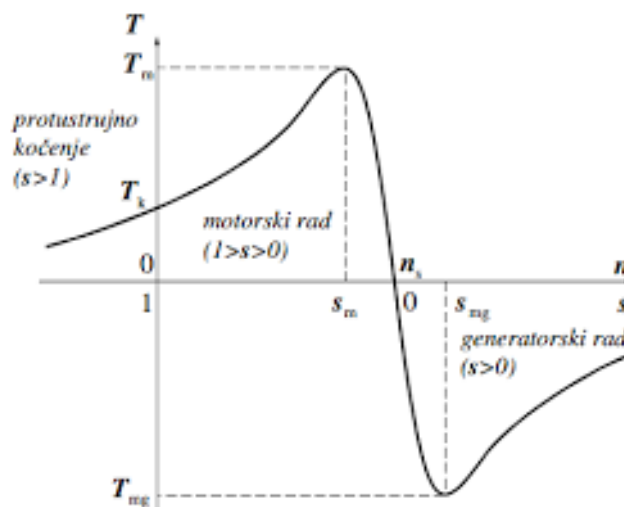
Na slici 2.4 je vidljiv raspored namota na statoru trofaznog asinkronog motora.



Slika 2.4. Namoti jezgre statora [21]

Prilikom prolaska trofazne struje namotima statora javlja se magnetno polje. Struja teče u namotima statora i uzrokuje indukciju u namotu rotora. Ta indukcija stvara struju te magnetsko polje koje pokreće rotor motora.

Brzina kojom se rotira magnetno polje statora se naziva sinkronom brzinom. Interakcija tih dvaju magnetnih polja djeluje na rotor koji se počne rotirati. Rotor asinkronog motora nikad neće postići brzinu magnetnog polja statora. Razlog tome je što onda ne bi dolazilo do nikakve indukcije te ne bi ni struja u rotoru tekla. Pošto se rotor vrti različitom brzinom od brzine magnetnog polja statora (sinkrone) nazivamo ga asinkronim motorom. Postoje dva režima rada asinkronog motora a to su motorski i generatorski režim rada. Motorski režim rada se javlja kad se rotor vrti brzinom manjom od sinkrone brzine vrtnje magnetnog polja statora, poznatija pod nazivom pod-sinkrona brzina. Ovaj režim rada je najčešći oblik rada asinkronog motora. Generatorski režim rada se javlja kad se rotor vrti brzinom većom od brzine vrtnje magnetnog polja statora, poznatija pod nazivom nad-sinkrona brzina vrtnje. U ovom režimu rada motor proizvodi električnu energiju i predaje je u mrežu. Postoji i treći režim rada asinkronog motora a zove se elektromagnetska kočnica. Ovaj režim rada se dogodi kada motor uzima električnu energiju iz mreže a pritom se na rotor dovodi mehanička snaga iz vanjskog izvora. U tom slučaju je brzina vrtnje magnetnog polja statora suprotan smjeru vrtnje osovine rotora na koji utječe vanjska mehanička sila. Dolazi do proizvodnje elektromagnetnog momenta kojim se stroj suprotstavlja vanjskom mehaničkom momentu te zbog toga dolazi naziv elektromagnetna kočnica. Na slici 2.5 prikazani su tri režima rada asinkronog motora. Zbog interakcije nastaje krivulja prikazana u dijagramu te se iščitava kada je motor u kojem režimu rada.



Slika 2.5. Režimi rada asinkronog motora [22]

## 2.4 Natpisna pločica i nazivni podatci elektromotora

Svaki elektromotor pa tako i asinkroni elektromotor na svom kućištu ima istaknutu natpisnu pločicu. Natpisna pločica služi za dobivanje osnovnih podataka o gradnji stroja te o njegovim mogućnostima u korištenju. Na natpisnoj pločici se nalaze nazivni podatci stroja među kojima su:

- nazivna snaga  $P_n$ ,
- nazivni napon  $U_n$ ,
- nazivna struja  $I_n$ ,
- nazivna brzina vrtnje  $n_n$ ,
- nazivna frekvencija  $f_n$ ,
- nazivni faktor snage  $\cos\phi_n$ ,
- spoj namota,
- vrsta zaštite,
- vrsta pogona,
- tvornički tip,
- vrsta izvedbe,
- naziv proizvođača i
- klasa izolacije namota.

Uz navedene veličine na natpisnoj se pločici još nalazi i tipna oznaka motora no ona se razlikuje od proizvođača do proizvođača. Ona sadrži informacije kao što su :

- visina osovine,
- oznake vrste zaštite motora,
- broj polova,
- serijski broj i
- duljinu kućišta.

Od iznimne je važnosti pridržavati se podataka s natpisne pločice kako bi se izbjeglo krivo spajanje ili preopterećivanje motora te samim tim i kvar. U slučaju da dolazi do prepravaka na motoru i promjena nazivnih i natpisnih veličina potrebno je te podatke unijeti na natpisnu pločicu zbog daljnjeg korištenja motora.

Na slici 2.6 je prikazan primjer natpisne pločice asinkronog motora. Sa nje se vide podatci bitni za daljnje rukovanje a kasnije i ispitivanje motora. Na ovom primjeru vidimo da se radi o motoru nazivne vrtnje 1420 okretaja u minuti, nazivnog napona 230 V i nazivne struje 5A u spoju trokut, a napona 400

V i struje 2.9A u spoju zvijezda, nazivne frekvencije 50Hz, da motor ima 3 faze, stupanj zaštite je IP45, nazivne snage 2,2 kW itd. [10]

KONČAR		made in Croatia	
Code 276684		Nr 528011	
3 ≈	Type 5AZ 112M4	B3	
Δ / Y	230 / 400 V	5 / 2.9 A	
2,2 kW	cos φ=0,82		
50 Hz	1420 min <sup>-1</sup>		
t <sub>o</sub> °C	Isol.F	IP45	S1
IEC34-1VDE0530			

Slika 2.6. Natpisna pločica motora [23]

## **3. EKSPLOATACIJA ASINKRONIH MOTORA**

### **3.1 Općenito o upotrebi asinkronih motora**

Asinkroni motori zbog svoje jednostavne izvedbe, male cijene te ne zahtjevnog održavanja našli su se u širokoj primjeni kako u kućanstvima tako i u industriji. U kućanstvima se najčešće koriste jednofazni asinkroni motori manjih snaga. U industriji se koriste trofazni asinkroni motori većih snaga pošto pokreću veće pogone. Nalaze se u dizalima, pokretnim trakama, mješačima, ventilacijama te za pogon raznoraznih strojeva. Svoju primjenu su našli i u autoindustriji i industriji radnih strojeva te u brodskoj industriji. Kao primjer se može navesti električni automobili i motocikli te električni viljuškari. U ranijim vremenima su se koristili manje zbog problema upravljanja brzinom vrtnje no razvojem energetske poluvodičke tehnologije taj problem je riješen ugradnjom frekventnih pretvarača. Prednost nad sinkronim motorima je ta što na asinkronim motorima nije potrebno dovoditi kontakte na rotacijski dio jer električnu energiju dobiva indukcijom.

Zbog svoja 3 moda rada isključivo ih nalazimo u dizalima kako tereta tako i ljudi. Prilikom dizanja potrebna je električna energija pa motor radi u režimu elektromotora i podiže dizalo. Prilikom spuštanja dizala radi u generatorskom režimu rada a posebnost asinkronog motora je u tome što ima i režim elektromagnetne kočnice. Nju koristi prilikom zaustavljanja dizala. Isto tako ih nalazimo i u pokretnim trakama u raznim industrijskim postrojenjima. Asinkroni motori imaju veću operativnu učinkovitost i bolje radne karakteristike od ostalih vrsta motora. [17]

### **3.2 Vibracije asinkronih motora**

Svaki motor pa tako i asinkroni motor ima pokretnih dijelova. Oni mogu biti uzrok vibracija koje mogu naštetiti i onemogućiti rad motora. Prilikom rada motor vibrira svojom prirodnom frekvencijom te se nosači samog motora dimenzioniraju tako da spriječe vibracije samog motora da ne bi došlo do pomicanja i oštećenja motora. Postoji više uzroka vibriranja motora te više različitih rješenja za takve probleme. Možemo ih podijeliti u 3 skupine a to su elektromagnetske, mehaničke i zračne vibracije.

Elektromagnetske vibracije su uzrokovane interakcijom magnetnih polja unutar zračnog rasporeda motora. Ta interakcija stvara elektromagnetnu silu koja se mijenja s vremenom te uzrokuje vibracije motora.



Mehaničke vibracije mogu biti uzrokovane raznim mehaničkim faktorima. Iskrivljen rotor, istrošenost i krivo postavljanje zupčanika, slabo učvršćen nosač, prevelik razmak između osovine i ležaja ili neuravnotežen rotor te manjkava struktura samog stroja su samo neki od mehaničkih problema koji uzrokuju vibracije motora.

Zračne vibracije motora uzrokovane su strujanjem zraka i zračnim silama u komponentama ventilacije motora.

Sve od navedenih vibracija će skratiti vijek motora te oštetiti i samo kućište motora što će omogućiti ulaz prašini i vlagi u unutrašnjost motora što kasnije može dovesti do ozbiljnih posljedica. Vibracije uzrokuju i zamor svih mehaničkih dijelova koji su povrgnuti vibracijama. Prilikom vibriranja zbog malog ili velikog razmaka između ležaja i osovine dolazi do nedovoljnog podmazivanja te se tako generiraju velike temperature što uvelike skraćuje vijek motora. [11]

### **3.3 Zagrijavanje asinkronih motora**

Temperatura motora je među glavnim veličinama koji je potrebno pratiti prilikom rada motora. Svaki motor u svom radu pretvara električnu energiju u mehaničku no uslijed pretvorbe dolazi do gubitaka koji se manifestiraju kao zagrijavanje motora. Ako se temperatura motora povećava iznad dozvoljene vrijednosti, motor je potrebno isključiti iz pogona da ne bi došlo do oštećenja uslijed pregrijavanja. Uzroci pregrijavanja mogu biti mehaničke i električne prirode.

Mehanički uzroci pregrijavanja su :

- kvar ležaja uslijed nedostatka podmazivanja,
- smanjen protok zraka (oštećen ventilator, rebra kućišta puna prljavštine),
- iskrivljena osovina motora,
- istrošenost četkica motora kod kliznokolutnih motora i
- velika struja zbog povećanog opterećenja

Električni uzroci su:

- ispad jedne od faza,
- promjena ulaznog napona,
- pogreška u ožičenju motora i
- kratki spoj u namotu (skraćenje namota).

### 3.4 Izolacija asinkronih motora

Izolacija asinkronog elektromotora je jako bitan dio motora. Izolacija služi da bi fizički odvojila vodove da bi se izbjegao kratki spoj. Kako izolacija štiti vodove tako štiti i rukovaoca motora od strujnog udara. Da bi motor neometano radio te bio siguran za rad potrebno je dimenzionirati izolaciju prema vrsti i veličini napona na koji će motor biti priključen za trajni rad. Izolacija je izložena električnim, mehaničkim i temperaturnim promjenama kao i promjenama uzrokovanih okolinom. Svi ti čimbenici utječu na sam vijek izolacije te dovode do starenja i degradacije izolacije.

Stupanj izolacije elektromotora se odnosi na stupanj otpornosti na toplinu korištenog izolacijskog materijala. Postoji 4 razreda stupnjeva izolacije što je vidljivo na slici 3.1.

Klasa izolacije	Maksimalna radna temperatura (°C)	Dozvoljeni porast temperature (100% opterećenja)
A	105	60
B	130	80
F	155	105
H	180	125

Slika 3.1. Klase izolacije i temperaturne veličine [24]

Porast temperature je ona vrijednost za koju je temperatura statora viša od temperature okoline u nominalnom radnom stanju elektromotora. Dozvoljeni porast temperature je granična temperatura u odnosu na okolinu motora. Temperatura okoline se u praksi uvijek računa da je 40 stupnjeva osim ako je motor smješten u specifičnoj radnoj okolini. Tada se temperatura okoline naglašava. Na slici 3.1 prikazane su različite klase izolacije sa njima pripadajućim podacima o maksimalnoj temperaturi te dozvoljenom porastu temperature pri 100%-tnom opterećenju motora. U elektromotorima i generatorima izolacijski materijal je najslabija karika jer je jako osjetljiv na visoke temperature koje dovode do ubrzanog starenja, oštećenja te raspadanja izolacije. Zbog toga različiti izolacijski materijali imaju različita svojstva toplinske otpornosti.

Uz visoke temperature degradaciju mogu uzrokovati i drugi čimbenici. Pri samom izlivanju izolacije (za slučaj da nije dobro odrađeno) se javljaju praznine i šupljine koje su napunjene zrakom. Zrak ima manju propusnost od izolacije te zbog toga eklektično polje prisiljava praznine na strujni proboj. Ukoliko se ti proboji učestalo ponavljaju oni će karbonizirati i oslabiti izolaciju. Još jedan faktor je prašina i vlaga u izolaciji. Oni će inducirati površinski djelomični proboj. Ponavljanjem tih proboja pokrivat će se sve veća površina izolacije koja će zbog utjecaja proboja izgubiti svoja svojstva.

Kemijska oštećenja motora također mogu oslabiti izolaciju elektromotora te dovesti do proboja. Proces degradacije izolacije je relativno spor i može se lako otkriti.

### **3.5 Kvarovi asinkronih motora**

Trofazni asinkroni motori su kao što je navedeno u samom općenitom dijelu jeftini i lakši za održavati od drugih vrsta motora. Neispravnim rukovanjem, korištenjem u krive svrhe te dugotrajnim korištenjem može doći do oštećenja i kvara samog motora. Prevladavaju kvarovi trošenjem uslijed dugotrajnog korištenja te kvarovi uzrokovani ljudskom greškom. Najčešći pogrešan odabir motora za pojedinu svrhu je nedostatak zaštite, nedostatak nadzora te odabir motora neodgovarajuće snage. Kvarove dijelimo na 4 vrste s obzirom na sastav motora a oni su :

- kvarovi ležajeva,
- kvarovi statora,
- kvarovi rotora i
- ostali kvarovi.

Daljnijim pregledom te samim opisom problematike zaključuje se da kvarovi ležajeva te statorski kvarovi najviše uzrokuju poteškoće u radu trofaznih asinkronih motora.

#### **3.5.1 Kvarovi ležajeva**

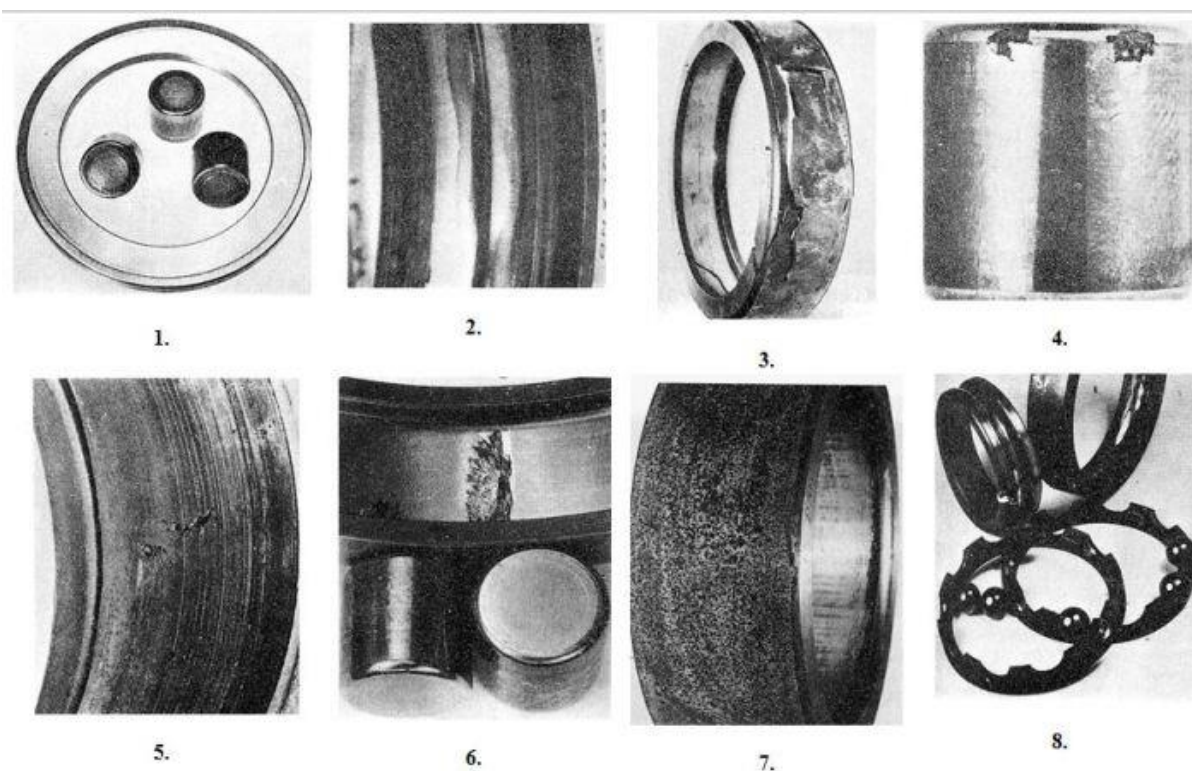
Ležajevi u motorima imaju funkciju da zadrže rotor na mjestu te mu pomažu pri rotiranju uz smanjenje trenja. Opće je poznato da kad u nekom motoru postoji pomični dio da se koriste ležajevi. Prema slici 3.2 se vidi da se ležaj sastoji od dva prstena između kojih se, ovisno o vrsti ležaja, nalaze kuglice ili valjčići te tekućina ili mast koja služi kao umanjitelj trenja između ta dva dijela.

Kod asinkronih motora postoji više faktora zbog kojih dolazi do oštećenja ležajeva.

Prašina i korozija se pojavljuju zbog ne idealnih uvjeta okoline kod industrijske primjene (ne idealna okolina). Prašina se pojavljuje zbog nečiste okoline gdje je postavljen sam motor, a korozija zbog prisustva vode i raznih tekućina u industrijskim postrojenjima. Još jedan od faktora oštećenja ležaja je neadekvatno podmazivanje ležajeva. Razlikuju se dva tipa neadekvatnog podmazivanja ležajeva a to su pretjerano i nedovoljno podmazivanje. Oba slučaja izazivaju porast temperature unutar motora koja u krajnjem slučaju rezultira kvarom. Sljedeći faktor kvara je nestručno postavljanje ležaja na osovinu ili kućište. To rezultira fizičkim oštećenjima samog ležaja te kućišta motora što ometa kontinuiran rad

motora. Sudeći po tome da je ležaj napravljen od vodljivog materijala dolazi do prolaska struje kroz njega te svaki prolaz struje može oštetiti sam ležaj.

Na slici 3.2 prikazani su znakovi i uzroci oštećenja ležajeva nastalih kao posljedica lošeg održavanja. Sama ta oštećenja mogu dovesti do još ozbiljnijih posljedica kao i štete na ostalim dijelovima samog motora. Pod brojem jedan je abrazivno trošenje uzrokovano gubitkom površinske čvrstoće valjčića. Pod brojem 2 je nejednoliko trošenje ležaja koje se manifestira u obliku nejednolikih valova na površini ležaja. Broj 3 prikazuje trošenje površine vanjskog i unutarnjeg prstena što je uočljivo promjenom boje. Otkidanjem komadića metala uzrokovanih zamorom materijala dolazi do oštećenja prikazanih pod brojem 4, 5 i 6. Pod brojem 7 je prikazan utjecaj korozije na vanjski prsten ležaja, a pod brojem 8 je prikazan lom prstena ležaja uzrokovan greškom prilikom montaže samog ležaja.



Slika 3.2. Razni primjeri oštećenja ležajeva [25]

### 3.5.2 Kvarovi statora

Uz kvarove na ležajevima motora, statorski kvarovi predstavljaju najveću prijetnju za daljnji nastavak rada motora. Razne vrste napreznja će pomoći u stvaranju statorskih kvarova te se po tome razlikuju termičko, električno i mehaničko napreznje.

Jedan od razloga termičkog naprezanja statora je variranje vrijednosti napona na koji je motor spojen. Uz variranje napona prečesto paljenje motora može uzrokovati termičko naprezanje statora. Razlog tome je jer pri pokretanju motor zahtjeva 5 do 8 puta veću struju nego što je potrebna za rad samog motora.

Prilikom dimenzioniranja izolacije te odabira izolacijskog materijala koji će se koristiti treba pripaziti da svojom otpornošću budu dovoljni za napone kojima će biti izloženi. Odabirom preslabe izolacije te nedovoljnom izoliranošću statora od okoline dolazi do električnih naprezanja.

Prilikom pokretanja motora zavoji statora će početi vibrirati duplo većom frekvencijom od nominalne te će ta pojava oštetiti stator na više načina. Posljedica vibriranja je pojava štete na izolaciji namota te na bakrenim vodičima. Sudar (kontakt) između statora i rotora također stvara mehanička naprezanja te nastaje kvarom na osovini ili ležaju.

Prilikom postavljanja samog motora treba pripaziti da okolina motora bude adekvatna. Pri tom se misli da okolina bude što čišća i jako male vlažnosti. Sam motor bi trebao biti suh i čist i izvan i iznutra, te se treba pripaziti da ima konstantno strujanje zraka da bi se izbjegli neželjeni porasti temperature pri radu. [8]

### **3.5.3 Kvarovi rotora**

Slično kao i kod statora postoji više uzroka kvarova rotora od kojih se razlikuju sljedeći uzroci:

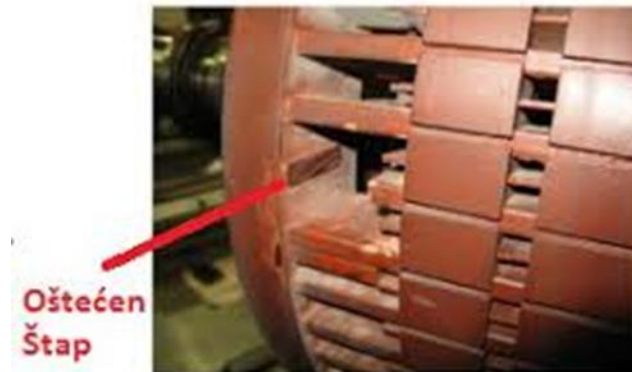
- termičko naprezanje rotora,
- magnetsko naprezanje rotora,
- mehaničko naprezanje rotora i
- ostala naprezanja.

Svaka vrsta pregrijavanja rotora može dovesti do prestanka rada kompletnog motora. Uzroci pregrijavanja motora su prečesto pokretanje motora, promjena brzine motora, prevelik teret na motoru (nemogućnost pokretanja motora), neadekvatan napon i toplinsko istežanje štapova.

Protjecanjem struje kroz namote samog motora stvara se elektromagnetno polje. To elektromagnetno polje može dovesti do savijanja štapova unutar motora. Savijanje štapova dovodi do onemogućavanja rada motora. Utjecajem magnetnog polja stvara se problem pozicioniranja samog rotora unutar zračnog prostora između statora. Ako rotor nije centriran dolazi do kontakta između rotora i statora (sudar).

Do mehaničkog naprezanja rotora može doći zbog neispravnih dijelova, loše geometrije rotora, kvara na ležaju, iskrivljene osovine te korištenjem pogrešnih materijala. Usred samih tih naprezanja može doći i do puknuća štapova na rotoru kao što je prikazano na slici 3.3.

Vezano uz ostala naprezanja, zbog lijevanja, lemljenja i zavarivanja zna doći do promjene geometrije samog rotora što može onemogućiti normalan rad motora. Osovina rotora se dizajnira da podnese visoke vibracije uzrokovane centrifugalnom silom jer bi u protivnom došlo do oštećenja same osovine rotora. [8]

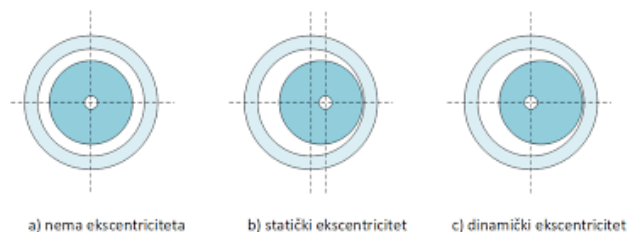


Slika 3.3. Oštećenje štapa rotora [26]

### 3.5.4 Ostali kvarovi

Ekscentricitet rotora je jedan od najčešćih kvarova trofaznih motora. On je pojava nejednolikog zračnog rasporeda između rotora i statora. Postoji više uzroka ovakve vrste kvara a među njima su: elektromagnetski uzroci, mehanički uzroci, te uvjeti okoline. Prekasnom detekcijom ove vrste kvara postoji mogućnost za teška oštećenja na samom motoru a samim tim i zastoje u pogonu.

Tri vrste ekscentriciteta su prikazane na slici 3.4. Najpovoljnija situacija je prikazana pod slikom a, kada nema ekscentriciteta rotora. Pod b i c slikama vide se statički i dinamički ekscentricitet rotora koji mogu biti posljedica težeg kvara a samim time i prestanka rada asinkronog motora. [8]



Slika 3.4. Vrste ekscentriciteta rotora [27]

## 4. ODRŽAVANJE ASINKRONIH MOTORA

Održavanje asinkronih motora je važan postupak koji omogućava dugotrajnu i neometanu uporabu motora. Kombinacija je svih tehničkih postupaka tijekom vijeka trajanja nekog uređaja u cilju vraćanja u stanje u kojem može izvoditi svoju funkciju. Održavanjem asinkronih motora se pazi na:

- sigurnost u radu,
- veću raspoloživost,
- veću pouzdanost i
- redukciju troškova.

Redovnim održavanjem produljuje se vijek motora što garantira sigurnost u radu a samim tim i pouzdanost samog motora. Zbog toga jer motor ima produljen vijek trajanja nema potrebe za zamjenom pa se samim tim i reduciraju i troškovi.

Najčešće se provode sljedeće 3 vrste održavanja:

- korektivno održavanje,
- preventivno održavanje i
- preventivno-korektivno održavanje. [16]

### 4.1 Preventivno održavanje

Preventivno održavanje [7] je održavanje u kojem se kvar predviđa i odvija se prije nastanka samog kvara. Preventivno održavanje ima svoje prednosti naspram korektivnog održavanja a to su:

- mogućnost planiranja trenutka održavanja,
- mogućnost predviđanja i kontrola troškova i
- veća pouzdanost uređaja u radu.

Naime kako ima i prednosti tako ima i nedostataka naspram korektivnog održavanja a to su:

- povećana mogućnost kvara uređaja uzrokovana ljudskim faktorom (neželjena pogreška vršitelja održavanja),
- visoki troškovi održavanja uslijed nepotrebne zamjene dijelova i
- povećani troškovi održavanja.

## **4.2 Korektivno održavanje**

Korektivno održavanje [6], za razliku od preventivnog održavanja, se opisuje kao vrsta održavanja u kojem se poduzimaju mjere kad je neki dio motora istrošen ili u kvaru. Ovo održavanje se obavlja nakon kvara određenog dijela motora. U ovoj vrsti održavanja motora se ne mogu predvidjeti ni vrijeme ni troškovi održavanja zbog toga što se obavlja nakon nastanka kvara. Naime kad se jedan dio motora pokvari i potrebno ga je promijeniti, u većini slučajeva se uslijed kvara jednog dijela dogode i oštećenja na okolnim dijelovima motora te je zbog toga trošak samog popravka nemoguće predvidjeti. Da bi se što više smanjilo vrijeme povrata motora u prvotno operativno stanje najbolje je imati pričuvne dijelove no to uvelike podiže cijenu održavanja te se ova vrsta održavanja koristi za manje strojeve i motore. Korektivno održavanje se primjenjuje u velikoj većini slučajeva neplanski i bez ikakvog rasporeda.

## **4.3 Preventivno-korektivno održavanje**

Ova vrsta održavanja je kombinacija dvaju prije navedenih održavanja. Počinje tako da se preventivno pregledava elektromotor. Ako se prilikom preventivnog pregleda uoči problem na nekom dijelu elektromotora taj dio se odmah zamijeni bez ikakve odgode. Ova vrsta održavanja se odvija prije nastanka kvara uz uvjet da je procjena da bi do kvara ubrzo moglo doći ako se dio odmah ne zamijeni.

## **4.4 Prijevoz i skladištenje**

Motori, posebice industrijski motori velikih gabarita, trebaju biti prevoženi na način da se izbjegnu sva oštećenja. Obavezno se trebaju skladištiti na suhom i natkrivenom prostoru. Ukoliko je motor skladišten dulje od 3 godine potrebno je rotor motora okrenuti za jedan puni okret. Ako motor u tom periodu nije stavljan u rad potrebno je podmazati ležajeve te ga testno pokrenuti i ako se daljnjim ispitivanjem pokaže onda i zamijeniti ležajeve. [17]

## **4.5 Održavanje**

Elektromotori, u ovom slučaju asinkroni motori, su napravljeni tako da im je održavanje lako i jednostavno. Ispravno instaliran i dobro zaštićen motor može trajati desecima godina. Potrebno ih je



čistiti izvana, a ukoliko im je radni okoliš prljav i zagađen onda je potrebno ispuhati ventilacijske kape te očistiti prostore između rashladnih rebara.

U sljedećem poglavlju su navedeni postupci dijagnostike i ispitivanja asinkronih motora i bilo koja odstupanja od nominalnih veličina potrebno je podrobnije istražiti da bi se što lakše i jednostavnije otklonio kvar. Prilikom nabavljanja rezervnih dijelova najbolje se obratiti proizvođaču samog motora te mu pritom navesti tipsku oznaku motora te kodni broj s natpisne pločice koja se nalazi na samom motoru.

Kod većine asinkronih motora ležajevi su podmazani za vijek trajanja te u slučaju defekta samog ležaja potrebno je koristiti propisan alat da bi se spriječilo novo oštećenje motora te nepravilna ugradnja samog ležaja. Prilikom zamjene ležajeva trebaju se izbjegavati primjene velikih sila i udaraca.

Prilikom svakog rastavljanja motora bilo to u svrhe pregleda ili popravka preporuča se ugradnja novih brtvila kojima se osigurava stupanj zaštite motora.

Održavanje asinkronog motora se dijeli u dvije skupine:

- popravak i
- zaštitno održavanje

Popravak je najčešća aktivnost održavanja motora koji se odvija nakon nastanka kvara. Mane popravka su manje vremena za korisni vijek stroja te rasipanje energije. Popravak spada pod korektivno održavanje. Za razliku od popravka zaštitno održavanje spada pod planirano održavanje te mu je glavni cilj spriječiti nastajanje kvarova. Promjena ulja kod velikih asinkronih motora, podmazivanje, promjena filtera te čišćenje su samo neki od primjera zaštitnog održavanja. Glavna cilj održavanja elektromotora je spriječiti nastanak kvarova a ne popravljati ih.

Kavezni asinkroni motor (JZ2) zahtjeva puno manje održavanja zbog toga jer ne sadrži četkice i klizne prstenove. Dok kliznokolutni asinkroni motor sadrži četkice i klizne prstenove te zahtjeva više održavanja.

Ovim održavanjima se izbjegavaju greške u ležajevima, greške rotora i greške namota statora.

Zbog lakšeg otklona grešaka u asinkronim motorima formiraju se rasporedi pregleda koji se provode.

Ovi pregledi se mogu razlikovati ovisno o vrsti asinkronog motora .

Program održavanja na tjednoj bazi:

- pregled kliznih koluta i četkica motora,
- provjera razine ulja u ležajevima,
- pregled osigurača i kontrola motora,
- zatezanje svih labavih spojeva i
- provjera postizanja nominalne brzine u normalnom vremenu.

Program održavanja na polugodišnjoj bazi:

- čišćenje i ispuhivanje motora,
- provjera i zamjena istrošenih četkica,
- ispiranje i promjena ulja,
- provjera ležajeva,
- provjera stanja i pričvršćenosti zupčanika, poklopaca i štitnika i
- zatezanje spojeva na motoru i upravljačkom uređaju.

Program održavanja na godišnjoj bazi:

- očistiti te podmazati ležajeve i kućište ležaja,
- očistiti magnetnu prašinu,
- provjera razmaka između osovine i ležajeva,
- čišćenje i provjera kliznih kolutova,
- pregled spojeva svitaka,
- ispitivanje otpora izolacije i
- provjera zračnog rasporeda.

U sljedećem poglavlju su opisane razne metode ispitivanja i dijagnosticiranja koja se primjenjuju kod asinkronih motora. Svi ti pokusi i mjerenja uvelike pomažu pri pronalasku kvarova na motoru, a dosta njih se i koristi kod samog održavanja motora. [16]

## **5. ISPITIVANJE ASINKRONIH MOTORA**

Ispitivanje asinkronih motora se koristi da bi se na vrijeme detektirao i uklonio problem na određenom dijelu motora. U prijašnjem poglavlju su navedeni problemi s kojima se susreću motori te zbog toga se uvodi potreba za održavanjem, kontroliranjem i prikupljanjem informacija da bi se omogućio rad pogona sa što manje smetnji i poteškoća.

### **5.1 Vizualni pregled motora**

Ovakva vrsta pregleda je jedna od najosnovnijih i najjednostavnijih vrsta pregleda motora. Prilikom ovakvog pregleda sam motor je potrebno rastaviti te detaljno pregledati svaki dio rastavljenog motora. Pregled započinje promatranjem statorskog paketa i namota. Nakon statorskog paketa slijedi pregled rotora. Nakon pregleda rotora slijedi pregled vratila te pregled stanja kablova i kontakata priključnica. Vizualnim pregledom može se uočiti puknuće statorskog paketa, oštećenja na limu rotorskog paketa ili loših kontakata priključnica. Vizualni pregled pruža grubu procjenu stroja.[2]

### **5.2 Mjerenje vibracije**

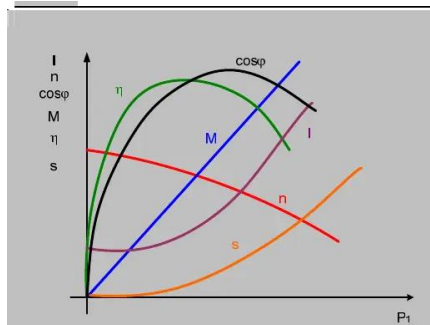
Razine vibracija se dijele u više razreda ili klasa s obzirom na njihove srednje vrijednosti. Razredi ili klase nam daju informacije o djelovanju vibracija na rotacijski dio stroja. Mjerenja vibracija se izvode na prednjem i stražnjem ležajnom štitu motora. Za potrebe ovog mjerenja koristi se piezoelektrični pretvornik u radijalnom i aksijalnom položaju s obzirom na osovinu ispitivanog motora. Signal koji se dobije iz tih pretvornika može se iskoristiti i za analitičko višefunkcijsko mjerenje vibracija. Prepoznavanjem harmonika u motoru mogu se otkriti razni kvarovi i pogreške u sustavu kao što su asimetrije, greške ležajeva, neravnoteže i slično. [11]

### **5.3 Pokus opterećenja asinkronog motora**

Zadatak pokusa opterećenja asinkronog motora je određivanje karakteristika opterećenja. Iz ovog pokusa dobiju se podaci koji se uspoređuju sa podacima koji se nalaze na natpisnoj ploči samog motora. Uspoređivanjem podataka se odredi ispravnost samog motora. U slučaju da se radi o testiranju

novog motora ovaj pokus omogućava usporedbu testiranih veličina sa veličinama zadanim u projektu motora. Postoje 4 karakteristične točke u radu asinkronog motora prema stanju opterećenja a to su:

- neopterećeno stanje ( $I=I_0$ ),
- djelomično opterećenje ( $I=0.5I_n$ ),
- nazivno opterećenje ( $I=I_n$ ) i
- dozvoljeno preopterećenje ( $I=1.1I_n$ ).



Slika 5.1. Karakteristike opterećenja asinkronog motora [28]

Uspješno obavljenim pokusom opterećenja asinkronog motora se dobiju sljedeće karakteristične veličine koje ovise o opterećenju motora koje su prikazane na slici 5.1:

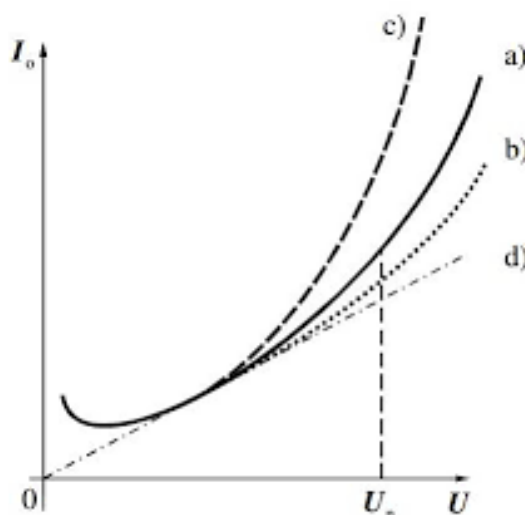
- brzina vrtnje  $n$ ,
- klizanje  $s$ ,
- faktor snage  $\cos \phi$ ,
- struja  $I$ ,
- korisnost  $\eta$  i
- moment motora  $M$ .

Snaga motora te snaga gubitaka na motoru se dobiju daljnjim računanjem iz prethodno dobivenih veličina. [1]

## 5.4 Pokus praznog hoda asinkronog motora

Pokus praznog hoda asinkronog motora je pokus kad se motor pokreće bez opterećenja na osovini. Ovaj pokus daje informacije o gubitcima u željezu te mehaničkim gubitcima motora. Sličan je pokusu praznog hoda transformatora gdje stezaljke transformatora ostaju otvorene. Pokus praznog hoda se provodi promjenom napona  $U$  i zabilježavanjem vrijednosti radne snage motora  $P_0$  i linijske struje statora  $I_0$ . Nadomjesna shema spajanja motora u prazni hod je prikazana na slici 5.4.

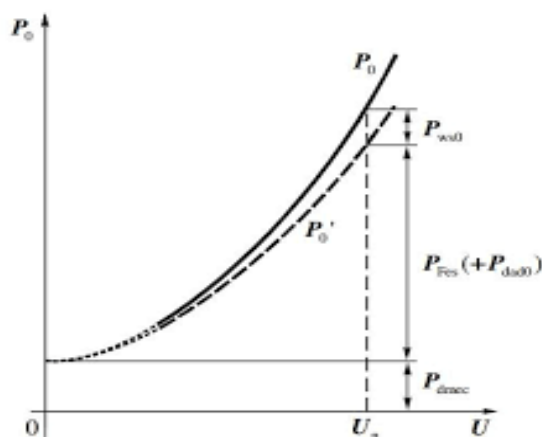
Iz ovog pokusa se dobije i karakteristika zasićenja asinkronog motora koja prikazuje ovisnost linijske struje statora u odnosu na narinuti napon  $U$ . Razlikuju se četiri različita tipa zasićenja prikazana na slici 5.2, a to su uobičajeno zasićenje (a), manje zasićenje (b), veće zasićenje (c) te bez zasićenja (d). Krivulja je u svom donjem djelu svinuta zbog porasta radne komponente struje praznog hoda. Bez obzira što se motor u ovom pokusu ne tereti nikakvim vanjskim momentom, motor mora razviti moment da bi pokrio gubitke trenja i ventilacije. U pokusu praznog hoda gubici trenja i ventilacije su konstantni jer se brzina vrtnje skoro pa i ne mijenja. [10]



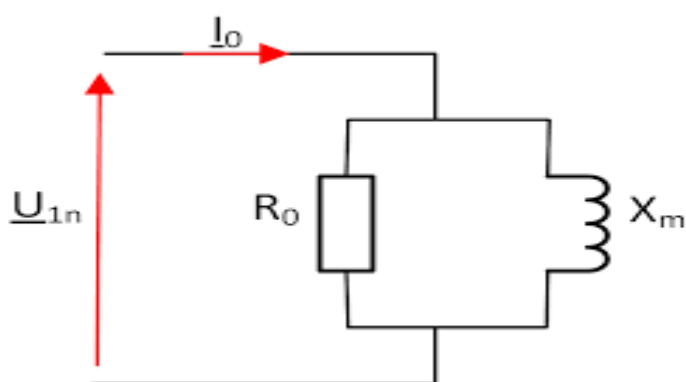
Slika 5.2. Karakteristika zasićenja asinkronog motora [29]

Ovom metodom se dobije i karakteristika gubitaka u praznom hodu, grafički prikazana na slici 5.3, koja se dijele na:

- gubitke u statorskom namotu  $P_{ws0}$ ,
- gubitke trenja i ventilacije  $P_{dmec}$ ,
- gubitke u željezu  $P_{Fes}$ .



Slika 5.3. Gubitci u praznom hodu [30]



Slika 5.4. Nadomjesna shema praznog hoda asinkronog motora [31]

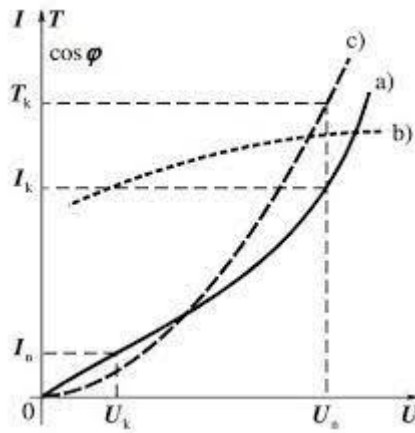
### 5.5 Pokus kratkog spoja

Prilikom ispitivanja pokusom kratkog spoja rotor motora se mora mehanički zakačiti dok se stator spaja na vanjski napon. Cilj ovog pokusa je izmjeriti sljedeće veličine:

- ulazna električna snaga  $P_k$ ,
- struja  $I_k$ ,
- moment na osovini  $T_{ki}$
- napon  $U_k$ .

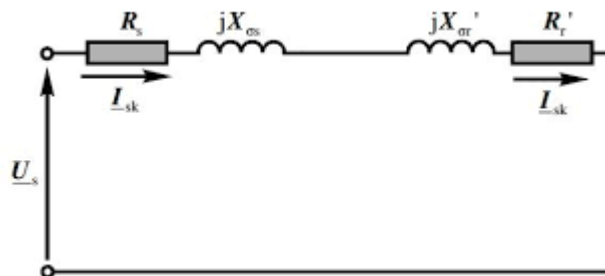
Pri ovom pokusu se treba obratiti pozornost na temperaturu namota pošto su vrijednosti struje jako velike pa dolazi do jako brzog zagrijavanja stroja. Mjerenje se provodi snižavanjem napona od maksimalne vrijednosti prema nuli kako bi se izbjeglo prekomjerno zagrijavanje namota.

Pokus se odrađuje sa naponom koji je znatno niži od nazivnog napona asinkronog motora a razlog tome je što preveliki napon može izazvati neželjeno zagrijavanje namota koje dovodi do oštećenja ako biva dugo izložen.



Slika 5.5. Karakteristika kratkog spoja asinkronog motora [32]

Karakteristike prikazane na slici 5.5 odnose se na karakteristiku struje (a), faktora snage (b) i momenta (c) u pokusu kratkog spoja. Naime sa karakteristike je vidljivo da prilikom većih napona zbog velikih struja dolazi do zasićenja magnetskog toka pa struja počne naglo rasti uz povećanje napona.



Slika 5.6. Nadomjesna shema kratkog spoja asinkronog elektromotora [33]

Ako se pomnije pogleda nadomjesna shema kratkog spoja (slika 5.6) vidljivo je da u kratkom spoju sva snaga preuzeta iz mreže prelazi u gubitke u namotima s tim da se gubitci u željezu zanemaruju iz razloga što se rotor ne rotira. Ako se od izmjerene snage  $P_k$  oduzme snaga gubitaka u statoru  $P_{wsk}$  dobija se snaga koja prelazi s statora na rotor  $P_{ok}$ . [8]

## 5.6 Mjerenje otpora namota asinkronog motora

Mjerenje otpora namota statora se izvodi na način da se izmjeri otpor između 3 para stezaljki: U1-V1, V1-W1, U1-W1. Dobiveni podaci se uspoređuju s podacima koji su dostupni uz trofazni asinkroni motor i ako se podaci ne podudaraju dobiva se zaključak da ne postoji nikakva simetričnost namota armature.

U slučaju da dođe do pogreške u spajanju namota ovim pokusom bi se to vrlo jednostavno otkrilo. Zbog greške u spajanju namota dobilo bi se odstupanje izmjerenih veličina otpora između stezaljki. Mala odstupanja će se uvijek dogoditi zbog nesavršenosti materijala i spojeva pa zbog toga postoji tolerancija od  $\pm 5\%$  unutar srednje vrijednosti. Ako su izmjerene veličine unutar tog postotka namoti se smatraju simetričnim. Dobivene podatke treba prebaciti u fazni otpor radi usporedbe. Za spoj namota u trokutu to se postiže izrazom :

$$R_f = \frac{3}{2} * R \quad (5.2.)$$

a za namot u spoju zvijezda izrazom:

$$R_f = \frac{1}{2} * R \quad (5.3.)$$

gdje je:

- $R_f$  – srednja vrijednost faznog otpora i
- $R$  – srednja vrijednost izmjerenog otpora između stezaljki.

Kada se otpor preračuna na vrijednost otpora pri 20 °C (sobna temperatura), uspoređuje se sa računskim podacima. Za vrijeme mjerenja potrebno je što točnije mjeriti temperaturu namota. Da bi ovi podaci bili što točniji, neovisno o načinu mjerenja, stroj mora biti van pogona minimalno 24 sata. Ovaj pokus se još koristi za izračun gubitaka u namotu motora . Gubici u namotu motora se računaju prema formuli :

$$P_{Cu} = 3I^2 R_f \quad (5.1.)$$

gdje je:

- $P_{Cu}$ - gubici namota,
- $I$ - struja koja prolazi kroz namot i
- $R_f$ -srednja vrijednost otpora. [2]



## 5.7 Mjerenje izolacijskog otpora namota asinkronog motora

Ovaj pokus ima cilj utvrditi kvalitetu izolacije namota motora prema masi. Ovaj pokus je usko povezan s pokusom opisanim pod poglavljem 5.6 no glavna razlika je što se u ovom pokusu mjeri otpor izolacija a ne vodiča. Ispitni istosmjerni napon u iznosu od 1000 [V] se spaja jednim krajem na izvod faze kojoj se mjeri izolacijski otpor, a drugim krajem na masu. Dok je ispitni napon priključen mjeri se struja koja teče kroz izolaciju odabrane faze. Uz taj napon kroz izolaciju teče struja reda veličine mikroampera i sadrži tri komponente:

- apsorpcijska struja koja se javlja zbog gubitaka uzrokovanih polarizacijom u izolaciji,
- provodna struja koja se javlja zbog postojanja slobodnih nositelja naboja i
- struja punjenja koja nastaje zbog kapacitivnog svojstva izolatora.

Uređaj kojim se mjeri otpor izolacije namota se zove megaohmmetar a jedinica u kojoj se izražavaju dobiveni podatci je megaohm. Zbog promjene karaktera struje kroz izolator otpor izolacije se očitava u točno definiranim trenucima. Prema propisima definirana su očitavanja 15 i 60 sekundi nakon početka mjerenja. Indeks polarizacije je zadan sljedećim izrazom:

$$I_p = \frac{R_{60s}}{R_{15s}} \quad (5.4.)$$

gdje je :

- $I_p$  – indeks polarizacije,
- $R_{60s}$  – otpor očitani nakon 60 sekundi i
- $R_{15s}$  – otpor očitani nakon 15 sekundi.

Indeks polarizacije služi za procjenu stanja izolacije, vlage i poroznosti izolacije. Otpor izolacije novih strojeva ne smije biti manji od 100 [MΩ] na temperaturi od 40 [°C]. [2]

## 5.8 Pokus visokim (ispitnim) naponom

Svrha ovog pokusa je dokazivanje ispravnosti namota. Namot motora koji se ispituje i kućište motora se spajaju na ispitni napon. Bitno je naglasiti da kućište motora obavezno mora biti uzemljeno. Trajanje pokusa je jedna minuta uz konstantni napon. U slučaju da se desi proboj prema masi namot se smatra neispravan.

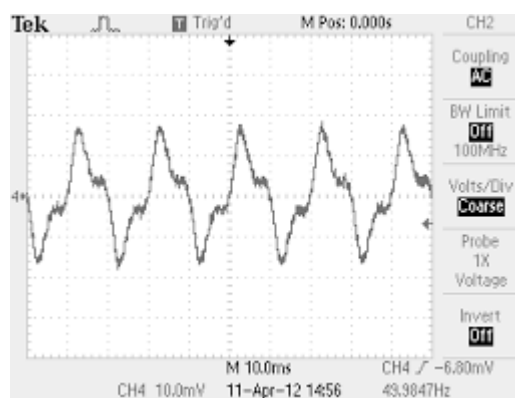
Visoki ispitni napon se određuje pomoću izraza :

$$U_{isp} = 2U_n + 1 [kV] \quad (5.5.)$$

Ovaj ispitni napon se primjenjuje kao test dielektrične apsorpcije i koristi se u periodu od 60 do 90 sekundi. Maksimalni napon se zadržava 5 minuta a svakih 60 sekundi se očitavaju struje gubitaka. Prilikom korištenja ovog napona kao test naponskih razina , napon se podiže u nekoliko jednakih povećanja. Svaka razina povećanja zadržava isti vremenski period. Na kraju svakog vremenskog intervala mjere se gubici struje i otpor izolacije. Na kraju ispitivanja moguće je grafički prikazati sve veličine te dobiti prikaz stanja izolacije namota. [13]

### 5.9 Mjerenje rasipnog (rezidualnog) magnetnog toka

Ovaj pokus kao glavni cilj ima pokazati ispravnost kaveza motora. Temelji se na mjerenju i spektralnoj analizi magnetskog polja električnog motora. Kvar nekog dijela motora može izazvati nesimetrije rasipnih magnetskih tokova. Informacije o nesimetriji uzrokovanoj kvarom dobiva se pomoću mjernih senzora. Na slici 5.7 prikazan je primjer očitavanja magnetnog toka. Valjkasta zavojnica se postavi uz motor te tako očitava sve promjene magnetnog toka. Potrebno je naglasiti da se ta zavojnica postavlja na minimalnu udaljenost od motora a svitak motora se rotira u svim smjerovima (aksijalni, radijalni i tangencijalni). Na taj način se magnetski tokovi očitavaju što preciznije. [4]



Slika 5.7. Magnetni tok [34]

## 5.10 Mjerenje zagrijavanja motora

Prednost mjerenja temperature i zagrijavanja motora je rano otkrivanje kvara motora gdje nije nužno zaustavljati motor. Ispitivanja se provode termovizijskom kamerom. Pokus se izvodi na način da se motor radi u praznom hodu i snima se kamerom dok god temperatura izmjerena na kućištu ne postane konstanta (jedna ustaljena vrijednost). Termokamera omogućava snimanje svih kritičnih točaka unutar samog motora i prikazana je na slici 5.8. Ako se snimanjem motora ne nađe odstupanje temperature od nazivne potrebno je izvaditi rotorski paket motora i snimiti ga u što je kraće mogućem roku da se ne bi ohladio.

Temperatura motora se još može mjeriti metodom nadzora pomoću senzora u samim namotima motora ili naknadno postavljenim termometrima.



Slika 5.8. Termovizijska kamera [35]

Glavni kriterij kod asinkronih motora, pošto se koriste za trajne pogone, je da pri nazivnom opterećenju se ne smije zagrijavati iznad granice dopuštene za klasu izolacije koja se koristi. Pokus zagrijavanja započinje tako da se motor optereti nazivnom snagom u dovoljnom vremenu da se temperatura u svim dijelovima motora ustali. Ovisno o veličini motora taj vremenski period varira. Frekvencija, napon i struja cijelo vrijeme se moraju održati na konstantnoj vrijednosti. Nakon stagniranja temperature zagrijavanje motora se odredi iz izmjerenih vrijednosti otpora statorskog namota prije i nakon zagrijavanja. Zagrijavanje se dobije iz izraza:

$$R_{\partial} = R_{\partial a}(1 + \alpha C u \Delta \vartheta) \quad (5.6.)$$

gdje je :

- $R_{g_a}$  – otpor izmjeren prije zagrijavanja,
- $R_g$  – otpor nakon zagrijavanja,
- $\alpha_{Cu}$  – temperaturni koeficijent materijala namota i
- $\Delta\vartheta$  – povišenje temperature namota u odnosu na temperaturu okoline.

Motori mogu biti opremljeni termosondama smještenim u namot. Na taj način se mogu direktno mjeriti zagrijavanja pojedinih dijelova elektromotora. [15]

### **5.11 Mjerenje buke motora**

Ovaj pokus se izvodi u sobama koje su jako dobro zvučno izolirane (tzv. gluhe sobe). Zbog jako dobre zvučne izolacije dobiju se veličine u najtočnijoj mjeri. Motor u svom radu proizvodi zvukove i samo oni zvukovi koji se smatraju neželjenim ili neobičnim se smatraju bukom. Razlikuju se tri vrste buke koju mogu proizvesti asinkroni motori a to su aerodinamička, mehanička i magnetna buka. Aerodinamičku buku uzrokuje strujanje zraka kod rashladnog uređaja, mehaničku buku uzrokuje vrtnja rotacijskih dijelova motora a magnetsku buku uzrokuju magnetna polja koja djeluju unutar motora.[8]

## 6. ZAKLJUČAK

Asinkroni motori imaju široku primjenu u kućanstvima i industriji. Postoji mnoštvo dijagnostičkih metoda kojima se utvrđuje ispravnost samih motora. Dijagnostička ispitivanja su učinkovita metoda za utvrđivanje stanja stroja i prema dobivenim rezultatima donosi se plan održavanja koji za cilj ima pružiti dugotrajan i pouzdan rad. Počevši od najjednostavnije pa do najkompliciranije metode ispitivanja i usporedbom samih rezultata može se procijeniti i donijeti odluka o kvaru samog motora. Svaka od metoda ima svoju posebnost te ovisno o sumnji na kvar se može koristiti.

Bitno je naglasiti da i briga i održavanje kako samog motora tako i njegove vanjštine uvelike utječe na sam vijek motora. U kućnoj upotrebi su motori malih snaga koji ne zahtijevaju puno brige te prilikom težeg kvara zbog svoje cijene se češće odlučuje za kupnju novih. No u industriji se koriste motori velikih snaga koji su jako skupi i nezgodni za izmjenu. Zbog tih razloga je održavanje motora jako bitno da bi se izbjegli nepotrebni troškovi te prestanak rada samog motora a sa njim i postrojenja s kojim je povezan.

Napredovanjem tehnologije modernizira se i način praćenja stanja i održavanja motora koje uvelike smanjuje vrijeme koje je potrebno za pregled i vraćanje motora u prvobitno stanje. Poboljšanje u održavanju i ispitivanju motora će uvelike biti moguće s razvitkom novih naprednih tehnologija.

## LITERATURA

- [1] Vusić, M. Utjecaj napona mreže na karakteristiku momenta kaveznog asinkronog motora, 2017
- [2] Abraham, Tomljen-ović, M, V. Primjena dijagnostičkih metoda ispitivanja u održavanju asinkronih motora. ISSN 1846-6168. 53 – 58. technical journal 8 (2014)
- [3] <https://www.croris.hr/crosbi/publikacija/prilog-skup/598702> (datum pristupa: 11.9.2023)
- [4] Čvek, K. Rasipni induktivitet transformatora, 2019
- [5] <https://strojarskaradionica.wordpress.com/tag/preventivno-odrzavanje-elektromotora/> (datum pristupa: 11.9.2023)
- [6] [https://hr.wikipedia.org/wiki/Korektivno\\_odr%C5%BEavanje](https://hr.wikipedia.org/wiki/Korektivno_odr%C5%BEavanje) (datum pristupa: 11.9.2023)
- [7] [https://hr.wikipedia.org/wiki/Preventivno\\_odr%C5%BEavanje](https://hr.wikipedia.org/wiki/Preventivno_odr%C5%BEavanje) (datum pristupa: 11.9.2023)
- [8] Holenc, DH. Primjena standardnih metoda ispitivanja u održavanju trofaznih asinkronih motora, 2022
- [9] [https://arhiva-2021.loomen.carnet.hr/pluginfile.php/4681684/mod\\_resource/content/1/Asinkroni%20strojevi2](https://arhiva-2021.loomen.carnet.hr/pluginfile.php/4681684/mod_resource/content/1/Asinkroni%20strojevi2) (datum pristupa: 11.9.2023)
- [10] Krčum, M. Repetitorij s laboratorijskim vježbama iz električnih strojeva. Sveučilište u Splitu, centar za stručne studije, 2009
- [11] <https://www.scribd.com/document/415380124/Naj%20de%20A%20i-Uzroci-Vibracija-Elektromotora#> (datum pristupa: 11.9.2023)
- [13] Meluzin, H. Elektrotehnika na lak način, Golden marketing, Tehnička knjiga, 2007
- [14] Gašparac- Cettolo, I, M. Električni strojevi, Upute za laboratorijske vježbe, Sveučilište u Zagrebu, FER Zagreb, 1999/2000/2001/2010/2011
- [15] <http://ba.modopumpcn.com/info/what-is-the-maximum-temperature-the-motor-71282029.html> (datum pristupa: 11.9.2023)
- [16] <https://riverglennapts.com/hr/basic-induction-motor/66-induction-motor-maintenance.html> (datum pristupa: 11.9.2023)
- [17] Čorak, T. Sustav automatiziranog ispitivanja asinkronog motora u tvornici, Magistarski rad, 2001
- [18] <http://e-elektro.blogspot.com/2013/08/trofazni-asinkroni-motor-s-kaveznim.html> (datum pristupa: 11.9.2023)

- [19] [https://arhiva-2021.loomen.carnet.hr/pluginfile.php/4681684/mod\\_resource/content/1/Asinkroni%20strojevi2.pdf](https://arhiva-2021.loomen.carnet.hr/pluginfile.php/4681684/mod_resource/content/1/Asinkroni%20strojevi2.pdf) (datum pristupa: 11.9.2023)
- [20] [https://hr.wikipedia.org/wiki/Indukcijski\\_motor#/media/Datoteka:Squirrel\\_cage.jpg](https://hr.wikipedia.org/wiki/Indukcijski_motor#/media/Datoteka:Squirrel_cage.jpg) (datum pristupa: 11.9.2023)
- [21] <https://my.electricianexp.com/hr/chto-takoe-asinxronnyj-dvigatel-i-kak-on-rabotaet.html>
- [22] Krkalo, L. Upravljanje trofaznim asinkronim motorima Siemensovom opremom, Završni rad, Sveučilište sjever, 2020. str 8.
- [23] Mitrović, M, Električni strojevi u protueksplozivnoj atmosferi, Završni rad, Sveučilište u Osijeku, 2017, str.16.
- [24] Vidaković, F. Model mreže brodskog napona i analiza kratkog spoja, Diplomski rad , Sveučilište Osijek, 2018, str 8.
- [25] <https://strojarskaradionica.wordpress.com/2019/10/28/5-preporuka-za-odrzavanje-rotacijske-opreme> (datum pristupa: 11.9.2023)
- [26] <http://www.ftn.kg.ac.rs/download/SIR/Naucni%20rad%20Dusan%20Draskic.pdf> (datum pristupa: 11.9.2023)
- [27] Juroš, T . Detekcija kvarnih stanja asinkronog motora analizom strujnog spektra, Diplomski rad , Sveučilište u Osijeku, 2019, str. 12.
- [28] Štigler, D. Snimanje karakteristike asinkronog motora pomoću WaveBook 512 IOTECH-a, Završni rad, Sveučilište u Osijeku, 2017, str. 12.
- [29] ] Štigler, D. Snimanje karakteristike asinkronog motora pomoću WaveBook 512 IOTECH-a, Završni rad, Sveučilište u Osijeku, 2017, str. 8.
- [30] ] Štigler, D. Snimanje karakteristike asinkronog motora pomoću WaveBook 512 IOTECH-a, Završni rad, Sveučilište u Osijeku, 2017, str. 9.
- [31] Benšić, T. Osnove elektrotehnike 2, auditorne vježbe 12, Sveučilište u Osijeku.
- [32] Štigler, D. Snimanje karakteristike asinkronog motora pomoću WaveBook 512 IOTECH-a, Završni rad, Sveučilište u Osijeku, 2017, str. 10.
- [33] Štigler, D. Snimanje karakteristike asinkronog motora pomoću WaveBook 512 IOTECH-a, Završni rad, Sveučilište u Osijeku, 2017, str. 11.
- [34] Holenc,DH. Primjena standardnih metoda ispitivanja u održavanju trofaznih asinkronih motora, 2022, str.26.
- [35] <https://webshop.schachermayer.com/cat/hr-HR/product/bosch-termovizijska-kamera-gtc-400-c-ip53/101167765> (datum pristupa: 11.9.2023)

## POPIS SLIKA

Slika 2.1. Primjer asinkronog motora [18] .....	3
Slika 2.2. Rotor kliznokolutnog asinkronog motora i njegovi dijelovi [19].....	4
Slika 2.3. Prikaz kaveza asinkronog kaveznog motora [20].....	5
Slika 2.4. Namoti jezgre statora [21] .....	5
Slika 2.5. Režimi rada asinkronog motora [22].....	6
Slika 2.6. Natpisna pločica motora [23] .....	8
Slika 3.1. Klase izolacije i temperaturne veličine [24].....	11
Slika 3.2. Razni primjeri oštećenja ležajeva [25] .....	13
Slika 3.3. Oštećenje štapa rotora [26].....	15
Slika 3.4. Vrste ekscentriciteta rotora [27] .....	15
Slika 5.1. Karakteristike opterećenja asinkronog motora [28] .....	21
Slika 5.2. Karakteristika zasićenja asinkronog motora [29].....	22
Slika 5.3. Gubitci u praznom hodu [30] .....	23
Slika 5.4. Nadomjesna shema praznog hoda asinkronog motora [31] .....	23
Slika 5.5. Karakteristika kratkog spoja asinkronog motora [32].....	24
Slika 5.6. Nadomjesna shema kratkog spoja asinkronog elektromotora [33] .....	24
Slika 5.7. Magnetni tok [34].....	27
Slika 5.8. Termovizijska kamera [35] .....	28