

JEDNOFAZNI ASINKRONI MOTOR

Stojanov, Mario

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

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:228:973040>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-30**



Repository / Repozitorij:

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



UNIVERSITY OF SPLIT



SVEUČILIŠTE U SPLITU
SVEUČILIŠNI ODJEL ZA STRUČNE STUDIJE

Preddiplomski stručni studij Elektroenergetika

Mario Stojanov

ZAVRŠNI RAD

JEDNOFAZNI ASINKRONI MOTOR

Split, rujan2018.

SVEUČILIŠTE U SPLITU
SVEUČILIŠNI ODJEL ZA STRUČNE STUDIJE

Preddiplomski stručni studij Elektroenergetika

Predmet: Električni strojevi II

ZAVRŠNI RAD

Kandidat: Mario Stojanov

Naslov rada: Jednofazni asinkroni motor

Mentor: Višnja Troškot

Split, rujan 2019.

SADRŽAJ

1. UVOD	5
2. OPĆENITO O ASINKRONIM STROJEVIMA	6
2.1. Asinkroni strojevi.....	6
2.2. PODJELA PREMA VRSTI ROTORSKOG NAMOTA	7
2.2.1 Kliznokolutni asinkroni motor	7
2.2.2 Kavezni asinkroni motor.....	8
2.3. REŽIMI RADA.....	9
2.4. MEHANIČKE KARAKTERISTIKE I RADNE TOČKE ELEKTROMOTORNOG POGONA	11
2.4.1. Mehaničke karakteristike elektromotornog pogona	11
2.4.2. Radne točke elektromotornog pogona	12
2.5. JEDNOFAZNI ASINKRONI MOTOR	13
3. PODEŠAVANJE BRZINE VRTNJE I MOTORSKI REŽIM RADA ASINKRONOG STROJA	14
3.1. Podešavanje brzine vrtnje asinkronog motora.....	14
3.1.1. Promjena broja pari polova.....	14
3.1.2 Promjena otpora u rotorskom krugu	15
3.1.3. Promjena frekvencije	15
3.1.4. Promjena napona napajanja	16
3.2. Momentna karakteristika asinkronog motora.....	17
3.3 Klizanje i brzina vrtnje kod asinkronog motora	18
3.4. Podešavanje brzine vrtnje i motorski režim rada jednofaznog asinkronog motora	19
4. PODEŠAVANJE BRZINE VRTNJE PROMJENOM NAPONA NAPAJANJA JEDNOFAZNOG ASINKRONOG MOTORA	20
4.1. Nazivni podaci i podaci praznog hoda pri različitim naponima napajanja.....	20
4.2. Pokus opterećenja jednofaznog asinkronog motora	23
4.2.1. Podešavanje brzine vrtnje (220 V)	24
5. PRIMJENA JEDNOFAZNIH ASINKRONIH MOTORA, POKRETANJE I REVERZIRANJE	28
5.1. Primjena jednofaznih asinkronih motora	28

5.2. Pokretanje jednofaznih asinkronih motora.....	29
5.2. Reverziranje jednofaznih asinkronih motora	32
ZAKLJUČAK	34
POPIS LITERATURE	36
POPIS TABLICA.....	39
POPIS DIJAGRAMA	40

SAŽETAK

Jednofazni asinkroni motor

U ovo radu analiziran je jednofazni asinkroni motor, njegov princip rada, izvedba, karakteristike, podvrste te primjena. Pokusi opterećenje asinkronog motora i upravljanje brzinom vrtnje promjenom napona izvršeni su u laboratoriju na Sveučilišnom odjelu za stručne studije. Svi dobiveni rezultati pokusa su prikazani u dijagramima i tablicama, a snimanje karakteristika je obavljeno pomoću programa „Active Drive/DCMA“.

Ključne riječi: asinkroni motor, brzina vrtnje, vanjska karakteristika, jednofazni asinkroni motor.

SUMMARY

Single phase induction motor

In this paper the single phase asynchronous motor, its working principle, performance, characteristic, subtypes and applications are analyzed. Experiments of induction motor load and speed control modes have been performed in a laboratory at the University's department of professional studies. All tests results are shown in diagrams and tables and the recording of the characteristics is performed using the „Active Drive /DCMA“ program.

Key words: induction motor, speed control, external characteristic, single-phase induction motor.

1. UVOD

U drugom poglavlju rada je opisan način rada asinkronog stroja, njegove prednosti i mane te podjela prema izvedbi rotorskog namota. Dan je uvod u specifičnosti jednofaznog asinkronog motora, koji je tema ovog rada.

U trećem poglavlju obrađen je motorski režim rada kao uobičajeni režim rada asinkronog stroja. Također su obrađene glavne karakteristike i fizikalne veličine stroja u motorskom režimu rada, kao što su: klizanje, momentna karakteristika i brzina vrtnje.

U četvrtom poglavlju su opisani pokusi i rezultati istih kao što su: pokus opterećenja jednofaznog asinkronog motora, pokus kratkog spoja, pokus praznog hoda te pokus upravljanja brzinom vrtnje promjenom napona napajanja.

U petom poglavlju opisano je pokretanje i reverziranje dan je uvid u primjenu jednofaznog asinkronog motora. Objasnjeni su načini pokretanja, navedeni su elementi koji se koriste pri pokretanju i reverziranju te sistemi za isključenje uređaja koji služe pri pokretanju motora.

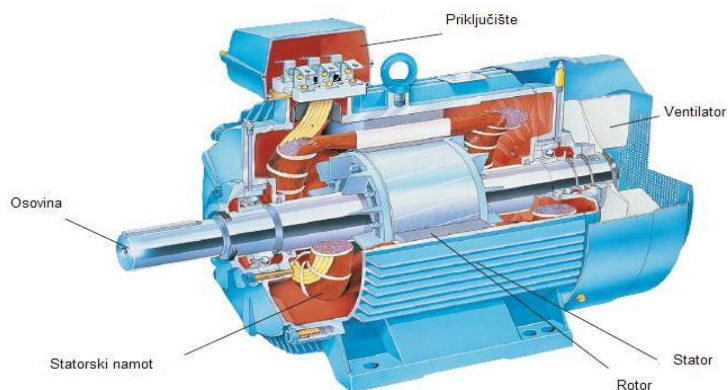
2. OPĆENITO O ASINKRONIM STROJEVIMA

2.1. Asinkroni strojevi

Električni strojevi kod kojih je brzina rotora različita od brzine okretnog magnetskog polja zovu se asinkroni strojevi. Rotor asinkronog stroja nikad neće postići brzinu vrtnje okretnog magnetskog polja, zato što se pri toj brzini ne bi ništa induciralo, ne bi tekla struja i ne bi bilo sile. Ako se rotor vrti brzinom manjom od sinkrone tj. podsinkronom brzinom, tada radi u motorskom režimu rada, što je i najčešći oblik rada asinkronog stroja. Ako se rotor vrti brzinom većom od sinkrone, tj. nadsinkronom brzinom, stroj radi u generatorskom režimu rada i predaje električnu energiju u mrežu.

Kućište stroja služi kao nosač i zaštita namota stroja. Izrađeno je od lijevanog željeza ili valjanog čelika. Kućište može biti otvoreno ili zatvoreno, što ovisi o vrsti hlađenja i zaštite. U većini slučajeva, s vanjske strane kućišta nalaze se rebra koja služe za povećanje površine hlađenja. Na kućištu se još nalazi priključna kutija na kojoj su stezaljke vezane s krajevima statorskog namota.

Stator se izrađuje u obliku šupljeg valjka, koji je izrađen od dinamo limova, međusobno izoliranih smolom ili papirom. Statorski namot je najčešće trofazni, i kad se spoji na trofazni napon, njime poteku struje. Rotor asinkronog stroja se izrađuje s namotom raspoređenim na obodu rotora bez istaknutih polova. Zbog okretnog magnetskog polja statora u vodičima rotora koji je kratko spojen se inducira napon i poteku struje. Što je zračni raspor između statora i rotora manji to je bolja elektromagnetska veza, manja je struja magnetiziranja, a bolji faktor snage. Zračni raspor za strojeve od 1,5 kW do 35 kW zračni raspor se kreće u granicama od (0,3 do 1,5 mm). Slika 1. prikazuje osnovne dijelove asinkronog stroja. [1]



Slika 1. Osnovni dijelovi asinkronog stroja. [2]

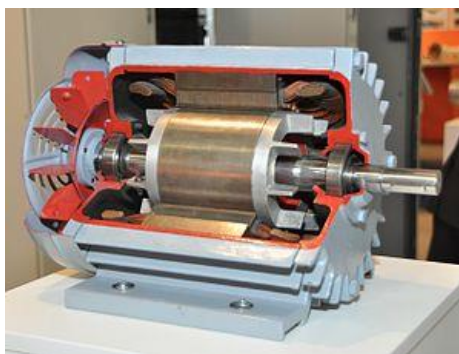
2.2. PODJELA PREMA VRSTI ROTORSKOG NAMOTA

Prema vrsti rotorskog namota asinkroni motori se dijele u dvije skupine:

1. kliznokolutni asinkroni motor,
2. kavezni asinkroni motor.

2.2.1 Kliznokolutni asinkroni motor

Asinkroni motor s kliznim kolutima ima na rotoru trofazni namot s istim brojem pari polova kao i statorski namot. Utori ovih rotora su zatvoreni ili otvoreni, u njih se stavljaju trofazni namoti kao i kod statora. Krajevi rotorskog namota se spajaju na klizne kolutove, te se na svaku fazu rotora u seriju može priključiti neki vanjski otpor, koji služi pri pokretanju stroja ili regulaciji brzine. Uključenjem i promjenama vanjskih otpora mijenja se ukupni radni otpor u fazi rotora. Ako vanjski otpor služi za regulaciju brzine, fino je stupnjevan i dimenzioniran za trajni pogon, a ako služi kao pokretač, onda je grubo stupnjevan i namijenjen za kratkotrajni pogon. Pri pokretanju, vanjski otpor omogućava veći potezni moment i bolju karakteristiku, uz manju struju pokretanja. Kad dodatni otpori nisu potrebni, rotorski namot se kratko spoji na rotoru, a četkice podignu s koluta pomoću posebnog uređaja. [2] Slika 2. prikazuje presjek asinkronog motora sa kliznim kolutima.



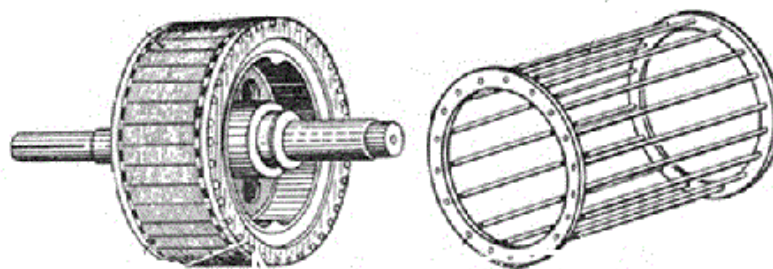
Slika 2. Presjek asinkronog motora sa kliznim kolutima [5]

2.2.2 Kavezni asinkroni motor

Kavezni asinkroni motor je najčešće upotrebljavana vrsta asinkronog motora. Najveću primjenu ima u industriji, jer se na njegov rotor ne mora dovoditi struja pa kolektor i četkice nisu potrebni. Sastoji se od neizoliranih aluminijskih ili bakrenih štapova, simetrično raspoređenih po obodu željezne jezgre rotora. Štapovi su sa svake strane kratko spojeni prstenovima i čine višefazni namot. Takav namot izgleda poput kaveza, po čemu je i ova izvedba motora dobila ime. Glavna prednost kavezne izvedbe motora nad kliznokolutnom izvedbom je ta što kavezni imaju jeftiniju i jednostavniju izvedbu rotora te veću sigurnost u radu. Nedostatak kavezne izvedbe je teško pokretanje, jer su struje pokretanja velike pa se kavezni motor najčešće koristi za manje snage. Koriste se dvije izvedbe kaveznog namota: uložni i lijevani. Uložni se izrađuju od bakrenih štapova. Ova izvedba koristi se kod motora srednjih i velikih snaga. Lijevani kavezni namot izrađuje se od aluminija i koristi se za motore manjih snaga.[2] Slika 3. prikazuje kavezni motor sa rotorom izrađenim od aluminija, a slika 4. dijelove kaveznog motora.



Slika 3. Kavezni motor sa rotorom izrađenim od aluminija. [6]

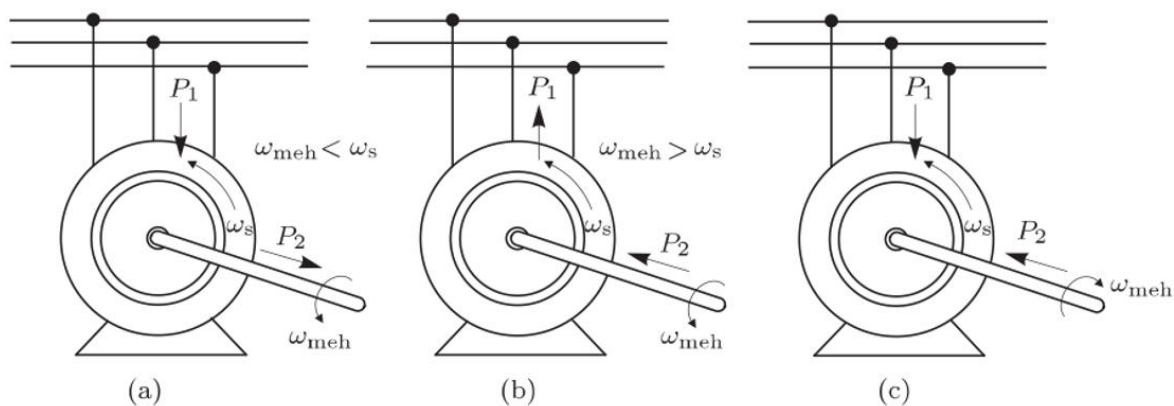


Slika 4. Dijelovi kaveznog motora. [6]

2.3. REŽIMI RADA

U elektromotornim pogonima motor može raditi u tri režima rada :

1. motorski režim, Slika 5a.,
2. generatorski režim, Slika 5b.,
3. elektromagnetska kočnica, Slika 5c.



Slika 5. Režimi rada elektromotornog pogona a) motor; b) generator; c) elektromagnetska kočnica. [2]

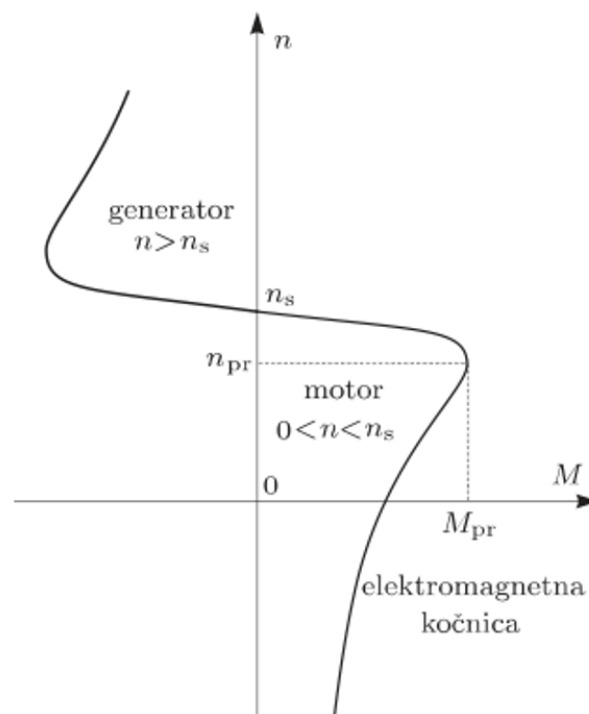
Priključkom namota statora asinkronog motora na električnu mrežu nastaje motorski režim rada. U motorskom režimu rada stroj proizvodi mehanički moment, kojim se može savladati mehanički moment nekog radnog stroja koji je priključen na osovinu motora. Električna snaga

preuzeta iz mreže u stroju se pretvara u mehaničku i predaje na osovину. Mehanička kutna brzina vrtnje rotora je manja od mehaničke kutne brzine vrtnje okretnog magnetskog polja ($\omega_{\text{meh}} < \omega_s$). U motornom režimu rada brzina vrtnje stroja se kreće u granicama od 0 do sinkrone brzine vrtnje $0 < n < n_s$. Klizanje se kreće u granicama od 0 do 1, s tim da klizanje nikad neće biti 1, niti će se asinkroni stroj vrtiti sinkronom brzinom vrtnje.

Generatorski način rada nastaje kad se dovede mehanička energija na osovину stroja iz vanjskog izvora. Vanjski mehanički moment će zavrtiti rotor stroja brzinom većom od brzine vrtnje okretnog magnetskog polja statora ($\omega_{\text{meh}} > \omega_s$). Asinkroni stroj će mehaničku energiju pretvarati u električnu i predavati je u električnu mrežu.

U slučaju kad stroj uzima električnu energiju iz mreže, a na osovину se dovodi mehanička snaga iz vanjskog izvora, stroj radi kao elektromagnetska kočnica. Smjer vrtnje okretnog magnetskog polja statora je suprotan smjeru vrtnje kojom mehanički moment vrti rotor stroja ω_{meh} . U ovom režimu stroj proizvodi vlastiti elektromagnetski moment kojim se suprotstavlja vanjskom mehaničkom momentu. [3]

Vanjska karakteristika ovisnosti između momenta i brzine vrtnje za sva tri režima rada prikazana je na slici 6.



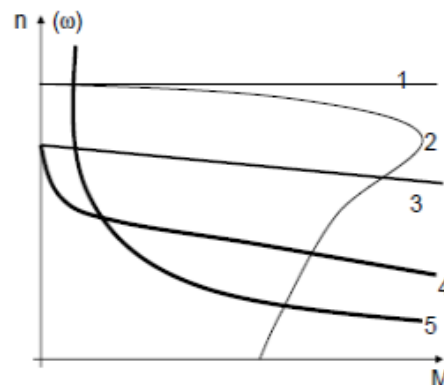
Slika 6. Vanjska karakteristika asinkronog stroja za tri režima rada. [8]

2.4.MEHANIČKE KARAKTERISTIKE I RADNE TOČKE ELEKTROMOTORNOG POGONA

2.4.1. Mehaničke karakteristike elektromotornog pogona

Mehanička karakteristika je jedan od osnovnih parametara kod izbora motora za neki pogon i ta karakteristika mora odgovarati mehaničkoj karakteristici pogona. Motor koji se odabere za pogon mora odgovarati tom pogonu u stacionarnim i prijelaznima stanjima. Na slici 7. prikazani su oblici mehaničkih karakteristika motora. Postoje tri vrste mehaničkih karakteristika elektromotora:

- kruta karakteristika,
- tvrda karakteristika,
- meka karakteristika.



Slika 7. Oblici mehaničkih karakteristika motora. [8]

Kod motora s krutom karakteristikom, brzina vrtnje ostaje konstantna kad se mijenja vanjski moment tereta. Ovakvu karakteristiku imaju sinkroni motori (krivulja 1).

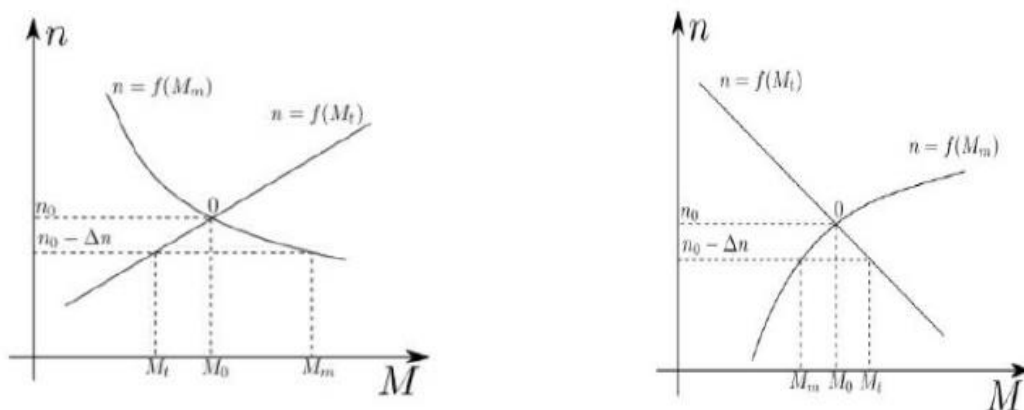
Tvrdu karakteristiku imaju motori kod kojih se brzina vrtnje neznatno mijenja s promjenom momenta opterećenja. Ovakvu karakteristiku imaju poredni i asinkroni motori, ovo je ujedno i najpovoljnija karakteristika za elektromotorne pogone (krivulje 3 i 2).

Meku karakteristiku imaju serijski istosmjerni motori, njima se brzina vrtnje jako mijenja promjenom momenta tereta (krivulja 5).

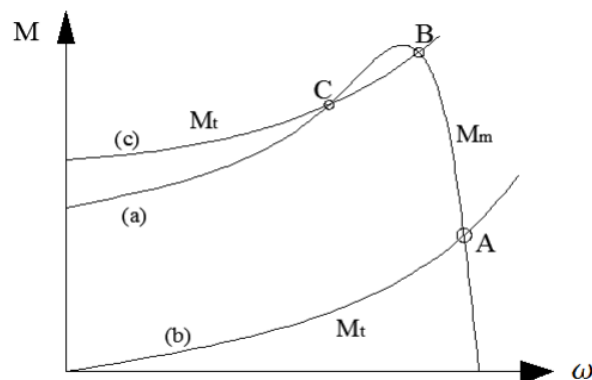
Istosmjernim kompaundiranim motorima može se dobiti cijelo polje krivulja između tvrde i meke, što označava krivulja 4.

2.4.2. Radne točke elektromotornog pogona

Točka u kojoj su moment tereta i moment motora jednaki, a brzina vrtnje elektromotornog pogona konstantna naziva se radna točka. Ako se u elektromotornom pogonu dogodi neki poremećaj i ako se nakon tog poremećaja elektromotorni pogon vrati u istu radnu točku ili neku drugu radnu točku, u kojoj je brzina vrtnje konstantna, kaže se da je radna točka stabilna. Ako se motor nakon poremećaja ne vrati u početnu radnu točku ili neku drugu radnu točku u kojoj bi uspostavio ravnotežu momenta na osovini, kaže se da je radna točka nestabilna. Stabilnost radne točke elektromotornog pogona ovisi o odnosima karakteristika između stroja i njegovog tereta.[2] Stabilne i nestabilne točke prikazane su na slici 8. dok je na slici 9. prikaz mehaničke karakteristike pogona.



Slika 8. Prikaz stabilne i nestabilne radne točke elektromotornog pogona.[8]



Slika 9. Prikaz mehaničke karakteristike pogona 2.

Na slici 9. je prikazana karakteristika motora (a) i dvije karakteristike tereta (b) i (c). Tačka (A) je radna tačka ovog pogona, u kojoj on radi stabilno. Ako se pogon optereti s karakteristikom (c), javljaju se dvije presječne točke. Tada će tačka (B) biti stabilna radna tačka pogona, zato što bi se povećanjem brzine povećao moment tereta, a smanjio moment motora što znači da bi brzina vraćala nazad u radnu tačku. Tačka (C) ne može biti stabilna radna tačka, zato što bi se pri malom povećanju brzine ona još više povećala zbog smanjenja momenta motora i povećanja momenta tereta, a ako bi se smanjila brzinu ona bi se još više smanjivala zbog povećanja momenta tereta i smanjenja momenta motora.

2.5. JEDNOFAZNI ASINKRONI MOTOR

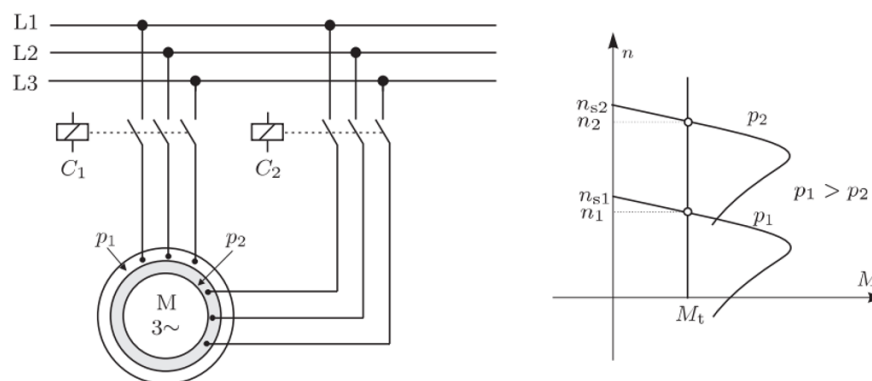
Jednofazni asinkroni motor je fizikalno sličan kaveznom asinkronom trofaznom motoru. Jednofazni motor je skuplji i lošijih karakteristika naspram trofaznog motora iste snage, ali je i dalje često zastupljen kao pogonski stroj u kućanstvu, poljoprivredi i radionicama. Glavni razlog sveprisutnosti jednofaznog motora je jednofazna električna instalacija u takvim objektima. Uglavnom se proizvode kao jedinice manjih snaga do 2,5 kW i s različitim brojem polova, od 2 do 16. Izvedba kućišta može biti standardna ili specifično namijenjena radnom mehanizmu (perlica rublja, pumpe, kompresori). [2]

3. PODEŠAVANJE BRZINE VRTNJE I MOTORSKI REŽIM RADA ASINKRONOG STROJA

3.1. Podešavanje brzine vrtnje asinkronog motora

3.1.1. Promjena broja pari polova

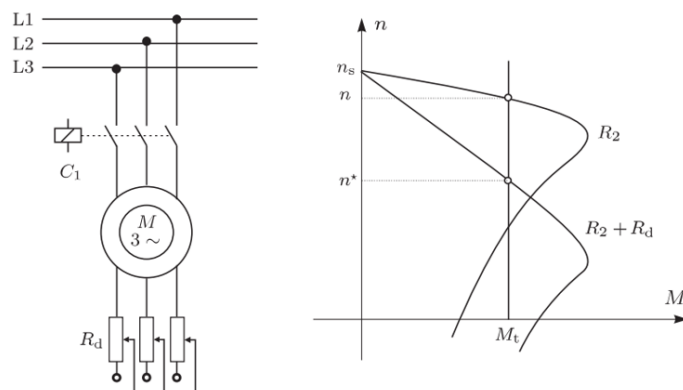
Promjena broja pari polova se izvodi na dva načina. Prvi način je da su stator postavbe dva odvojena namota od kojih svaki ima potreban broj pari polova, prikazano na slici 10. Na ovaj način se dobiju dvije brzine vrtnje koje je moguće samo stupnjevito podešavati. Drugi način da se u stator postavi jedan namot koji omogućuje prespajanje na željeni broj polova.[2]



Slika 10. Shema spoja i mehanička karakteristika motora s dva namota i različitim brojem polova. [2]

3.1.2 Promjena otpora u rotorskom krugu

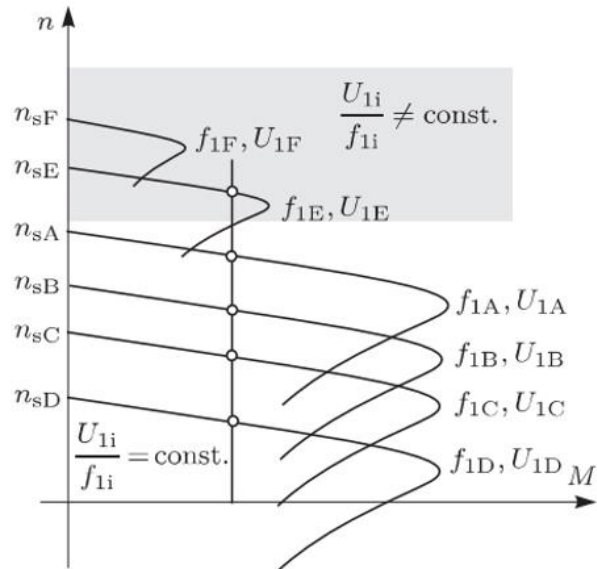
Podešavanje brzine vrtnje promjenom otpora u rotorskom krugu moguće je samo kod kliznokolutnih motora, prema slici 11. Spajanjem otpora u rotorski krug direktno se utječe na prekretno klizanje motora. Brzina vrtnje se smanjuje, a nagib mehaničke karakteristike povećava. Iako je ovakvo upravljanje jednostavno, ima dva velika nedostatka: neekonomičnost i nestabilnost radne točke pri malim teretima. Momentna karakteristika i shem spoja prikazani su na slici 11. [3]



Slika 11. Momentna karakteristika i shema spoja motora kod dodavanja u otpora u rotorski krug. [2]

3.1.3. Promjena frekvencije

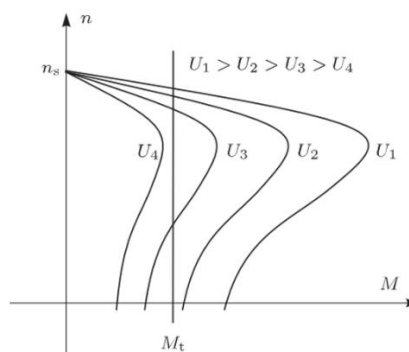
Promjenom frekvencije struje napajanja mijenjaju se sve veličine koje karakteriziraju rad motora: napon na stezaljkama, struja praznog hoda, magnetski tok, snaga, moment... Prednost upravljanja brzinom vrtnje promjenom frekvencije uz konstantan omjer U_s/f_s , je mogućnost postizanja željene brzine od 0 do nazivne, pri čemu pokretni moment zadržava svoju vrijednost. U praksi se uz promjenu frekvencije proporcionalno mijenja i napon napajanja ($U_s/f_s = \text{konst.}$), da bi se zadržali isti magnetski tok i gustoća struje. Na slici 12. prikazana je momentna karakteristika motora s promjenjivom frekvencijom i naponom. [2]



Slika 12. Momentna karakteristika motora s promjenjivom frekvencijom i naponom. [2]

3.1.4. Promjena napona napajanja

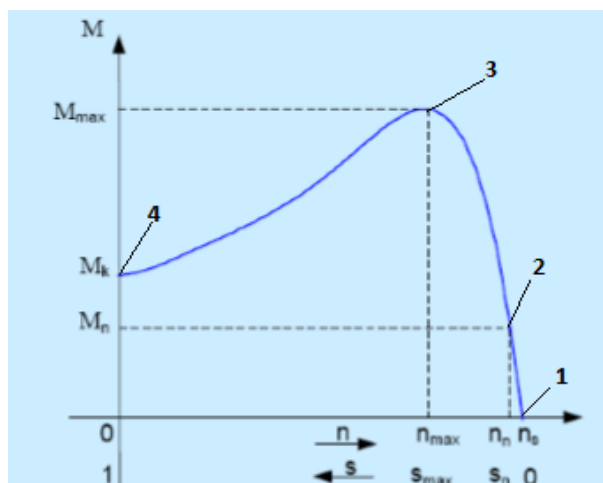
Iznos momenta motora ovisi o kvadratu napona pa se u tom omjeru mijenja i oblik karakteristike momenta. Prema slici 13. se može zaključiti da se povećanjem napona momentna karakteristika pomiče u desno, što znači da stroj može preuzeti veće opterećenje, uz blago opadanje brzine vrtulje. U svakoj točki karakteristike moment se promijeni proporcionalno kvadratu promjene napona. [2]



Slika 13. Momentna karakteristika motora s promjenjivim naponom napajanja. [2]

3.2. Momentna karakteristika asinkronog motora

Momentna karakteristika je vanjska karakteristika motora, a pokazuje ovisnost momenta o brzini vrtnje, odnosno klizanju, slika 14. Sa slike je vidljivo da stroj ima tvrdi mehaničku karakteristiku jer male promjene opterećenja ne utječu bitno na brzinu vrtnje.



Slika 14. Momentna karakteristika asinkronog motora s karakterističnim točkama. [2]

Na momentnoj karakteristici su označene 4 radne točke: mehanički kratki spoj, prekretno stanje, nazivno stanje i mehanički prazni hod.

Mehanički kratki spoj predstavljen je točkom 4., u kojoj je osovina rotora mehanički zakočena i on se ne može pokrenuti ($n=0$). Klizanje je maksimalno $s=1$. Moment je jednak poteznom momentu (M_{pot}), koji se kreće u granicama $0,6 M_n < M_{pot} < 1,5 M_n$.

Prekretna radna točka se nalazi na sjecištu maksimalne brzine vrtnje i maksimalnog momenta (oznaka 3.) Ako se motor opereti više od prekretnog momenta dolazi do njegovog usporavanja i na kraju zaustavljanja. Prekretni moment se kreće u granicama $1,8 M_n < M_{pr} < 2,8 M_n$, a klizanje $5\% < s_{pr} < 25\%$.

Točkom 2 predstavljena je nazivna radna točka, a nalazi se na sjecištu nazivne brzine i nazivnog momenta. Povećanjem momenta, brzina vrtnje pada, klizanje se povećava i struja inducirana u rotoru se povećava, što ima za posljedicu veću zakretnu silu rotora.

Mehanički prazni hod (točka 1) je stanje rada asinkronog motora u kojem su mu stezaljke spojene na nazivni napon, a rotor se slobodno okreće, bez opterećenja ($M=0$). Kod idealnog praznog hoda brzina vrtnje rotora je jednaka sinkronoj brzini ($n_s = n_n$). Pošto u praksi nije moguće postići sinkronu brzinu (jer se tad ne bi mogao inducirati napon na rotoru) uvijek postoji neko malo klizanje kod praznog hoda. [2]

3.3 Klizanje i brzina vrtnje kod asinkronog motora

Rotor asinkronog stroja nikad ne postiže sinkronu brzinu, tj. uvijek postoji neko klizanje. To je zato iz razloga što kad bi se rotor asinkronog stroja vrtio jednakom brzinom kao i okretno magnetsko polje statora, u vodičima rotora se ne bi inducirao napon i struja ne bi potekla. Klizanje je razlika brzine vrtnje okretnog magnetskog polja i brzine vrtnje rotora.

Formula za brzinu vrtnje rotora :

$$n = n_s \cdot (1 - s) = 60 \cdot \frac{f}{p} \cdot (1 - s) \quad (1)$$

Formula za klizanje:

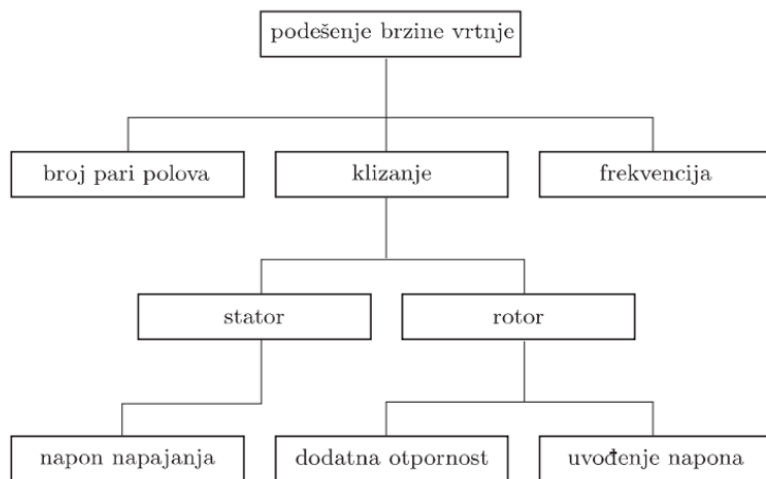
$$s = \frac{n_s - n}{n_s} \quad (2)$$

Klizanje se često izražava i u postotcima:

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} \cdot 100 \quad (3)$$

Iz jednadžbe (1) je vidljivo da je brzina vrtnje rotora ovisna o broju pari polova, frekvenciji i klizanju, to jest promjenom jedne od navedenih karakteristika izravno se utječe na brzinu vrtnje.

Mogućnosti podešenja brzine vrtnje prikazane su na slici 15.



Slika 15. Mogućnosti podešenja brzine vrtnje asinkronog motora[1]

3.4. Podešavanje brzine vrtnje i motorski režim rada jednofaznog asinkronog motora.

Podešavanje brzine vrtnje i motorski režim rada jednofaznog asinkronog motora analogni su podešavanju brzine vrtnje i motorskom režimu rada trofaznog asinkronog motora. U motorskom režimu rada stroj proizvodi mehanički moment, kojim se može savladati mehanički moment nekog radnog stroja, koji je priključen na osovinu motora. Električna snaga preuzeta iz mreže u stroju se pretvara u mehaničku i predaje na osovinu. Mehanička kutna brzina vrtnje rotora je manja od mehaničke kutne brzine vrtnje okretnog magnetskog polja ($\omega_{meh} < \omega_s$). U motorskom režimu rada brzina vrtnje stroja se kreće u granicama od 0 do sinkrone brzine vrtnje $0 < n < n_s$. Klizanje se kreće u granicama od 0 do 1 s tima da klizanje nikad neće biti 1, niti će se asinkroni stroj vrtiti sinkronom brzinom vrtnje. [2]

4. PODEŠAVANJE BRZINE VRTNJE PROMJENOM NAPONA NAPAJANJA JEDNOFAZNOG ASINKRONOG MOTORA

U laboratoriju su obavljena mjerenja i pokusi praznog hoda i opterećenja pri različitim naponima napajanja.

4.1. Nazivni podaci i podaci praznog hoda pri različitim naponima napajanja

Na slici 16. je natpisna pločica jednofaznog asinkronog motora koji je korišten u pokusu.



Slika 16. Natpisna pločica jednofaznog asinkronog motora koji je korišten u pokusu

U tablici 1. dani su podaci s natpisne pločice jednofaznog asinkronog motora koji je korišten u pokusu.

Tablica 1. Natpisna pločica

Nazivni napon U_n	220 V
Nazivna snaga P_n	750 W
Nazivna struja I_n	5,3 A
Nazivna brzina vrtnje n_n	1370 okr/min
Nazivni faktor snage $\cos\varphi_n$	0,9
Nazivna frekvencija f_n	50 Hz

Nazivna snaga na statoru stroja dobije se iz relacije:

$$P_{1n} = U_n \cdot I_n \cdot \cos\varphi_n = 220 \cdot 5,3 \cdot 0,9 = 1049,4 \text{ W} \quad (4)$$

Nazivni moment moguće je izračunati korištenjem izraza:

$$M_n = \frac{30 \cdot P_n}{\pi \cdot n_n} = \frac{30 \cdot 750}{3,14 \cdot 1370} = 5,23 \text{ [Nm]} \quad (5)$$

Nazivna korisnost stroja dobije se kad se podijeli nazivna mehanička snaga P_n s nazivnom snagom na statoru P_{1n} :

$$\eta_n = \frac{P_n}{P_{1n}} = \frac{750}{1049,4} = 71,5 \text{ [%]} \quad (6)$$

Prvi pokus je bio pokus praznog hoda jednofaznog asinkronog motora. Nakon puštanja motora u rad na vatmetru su praćeni iznosi struje, napona i snage. Motor je bio spojen na nazivni napon mreže, a na rotoru nema opterećenja pa je moment jednak nuli ($M=0$). U tablici 2. su zapisani rezultati dobiveni pokusom praznog hoda za napon napajanja od 220 V, u tablici 3. 110 V te u tablici 4. 70 V.

Tablica 2. Izmjereni podaci struje, napona , snage i brzine vrtnje za napon mreže 220 V, u praznom hodu

U [V]	220
I [A]	3,25
P [W]	333
n_n [okr/min]	1495

Tablica 3. Izmjereni podaci struje, napona ,snage i brzine vrtnje za napon mreže 110 V

U [V]	110
I [A]	1,62
P [W]	134,5

Tablica 4. Izmjereni podaci struje, napona, snage i brzine vrtnje za napon mreže 70 V

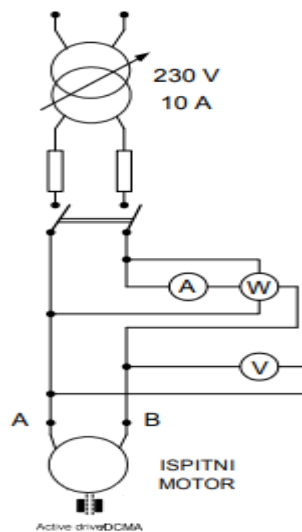
U [V]	70
I [A]	1,30
P [W]	72,9

Dijagram 1. Prikazuje brzinu vrtnje u ovisnosti o momentu za napone napajanja 220 V, 110 V, 70 V. Pokus je sniman programom ActiveDrive/DCMA.

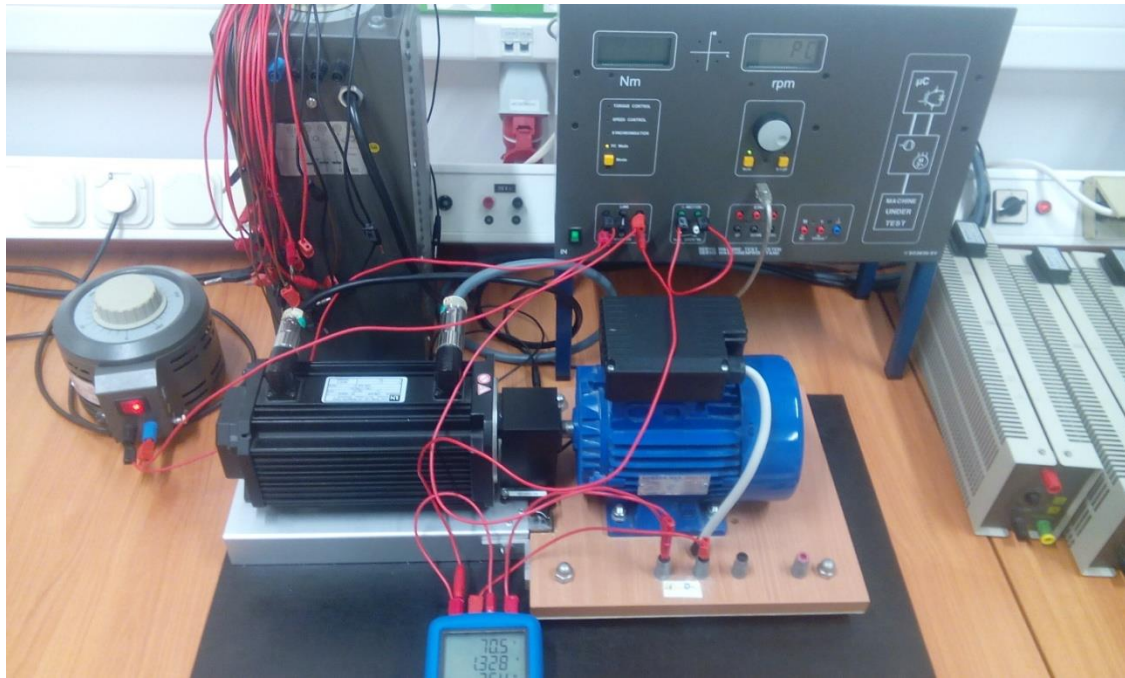
4.2. Pokus opterećenja jednofaznog asinkronog motora

Pokus opterećenja jednofaznog asinkronog motora se provodi tako da se priključi teret na osovinu motora koji će kočiti motor. Svrha mjerenja je da se dobije što bolji uvid u rad motora pri raznim opterećenjima. Sve karakteristične veličine pri raznim opterećenjima snimane su pomoću programa „ActiveDrive/DCMA“, koji može upravljati opterećenjem motora u širokom rasponu i na taj način dati uvid u sve iznose opterećenja, koji se mogu javiti u normalnom radu motora.

Pokus je napravljen za tri različita napona napajanja: 220 V, 110 V, 70 V. Uz pomoć programa ActiveDrive/ DCMA za svaki od napona je napravljeno posebno mjerenje i dobiveni su grafovi, koji su zahtijevani od programa. Na slici 17. prikazana je shema spoja za snimanje karakteristika tereta jednofaznog asinkronog motora, a slika 18. je shema spoja u laboratoriju. [2]



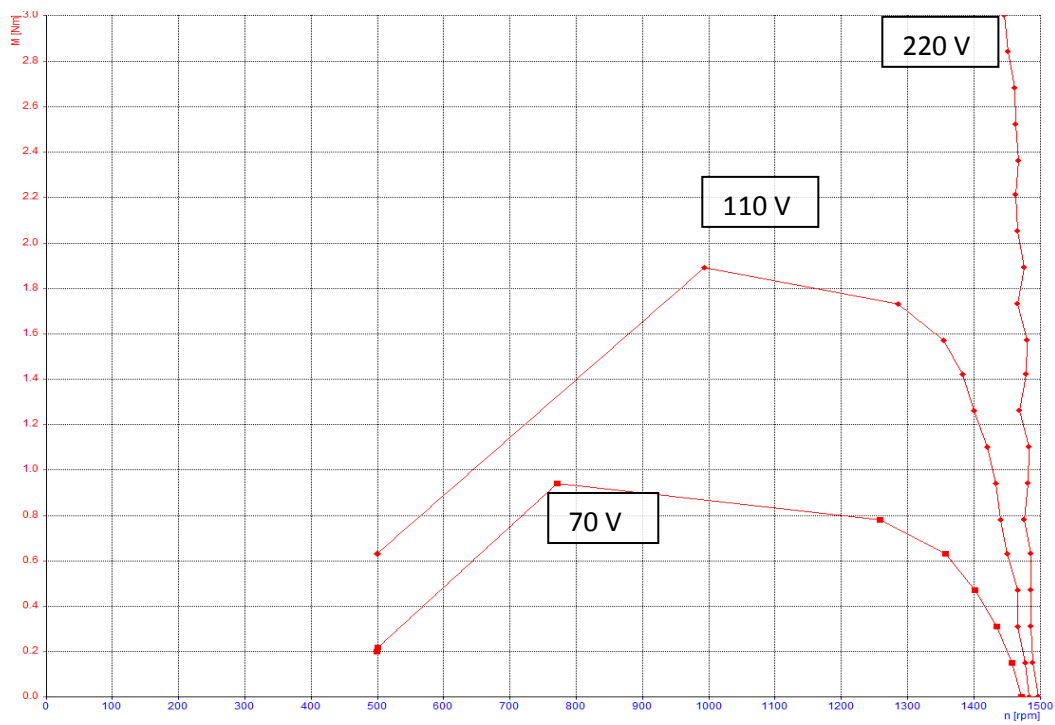
Slika 17. Natpisna pločica jednofaznog asinkronog motora koji je korišten u pokusu. [2]



Slika 18. Shema spoja jednofaznog asinkronog motora u laboratoriju

4.2.1. Podešavanje brzine vrtnje (220 V)

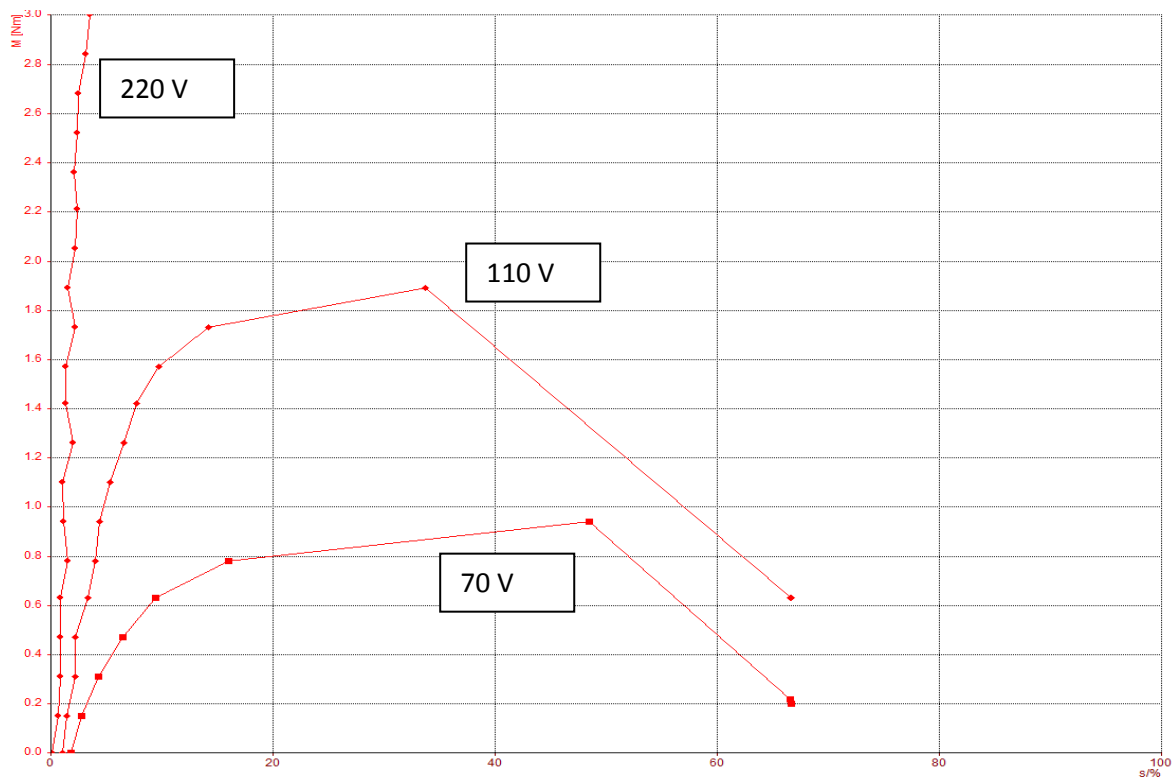
Dijagram 1. prikazuje ovisnost brzine vrtnje o momentu za napone 220 V, 110 V, 70 V.



Dijagram 1. Ovisnost brzine vrtnje o momentu za napone 220 V, 110 V, 70 V

Iz ovog dijagrama je vidljivo da je brzina vrtnje u praznom hodu tek nešto manja od sinkrone brzine što znači da je klizanje malo manje od 1, što vrijedi za sve tri krivulje. Krivulje prikazuju brzinu vrtnje prilikom opterećenja motora, jedna za napon od 220 V, druga za napon od 110 V, a treća za napon od 70 V. Kad je napon napajanja 110 V motor na opterećenju od oko 1,9 Nm počinje naglo gubiti brzinu te se na poslijetku zaustavlja, karakteristika je slična i za napon od 70 V, samo što već prilikom postizanja opterećenja od 0,9 Nm dolazi do naglog gubitka brzine i zaustavljanja stroja. Struja je u praznom hodu i pri nazivnom naponu 3,25 A, dok pri naponu 110 V pada na 1,62 A, a pri naponu od 70 V pada na 1,30 A.

Dijagram 2. prikazuje klizanje u ovisnosti o momentu opterećenja za napone napajanja 220 V, 110 V, 70 V. Pokus je snimam s programom ActiveDrive/DCMA.

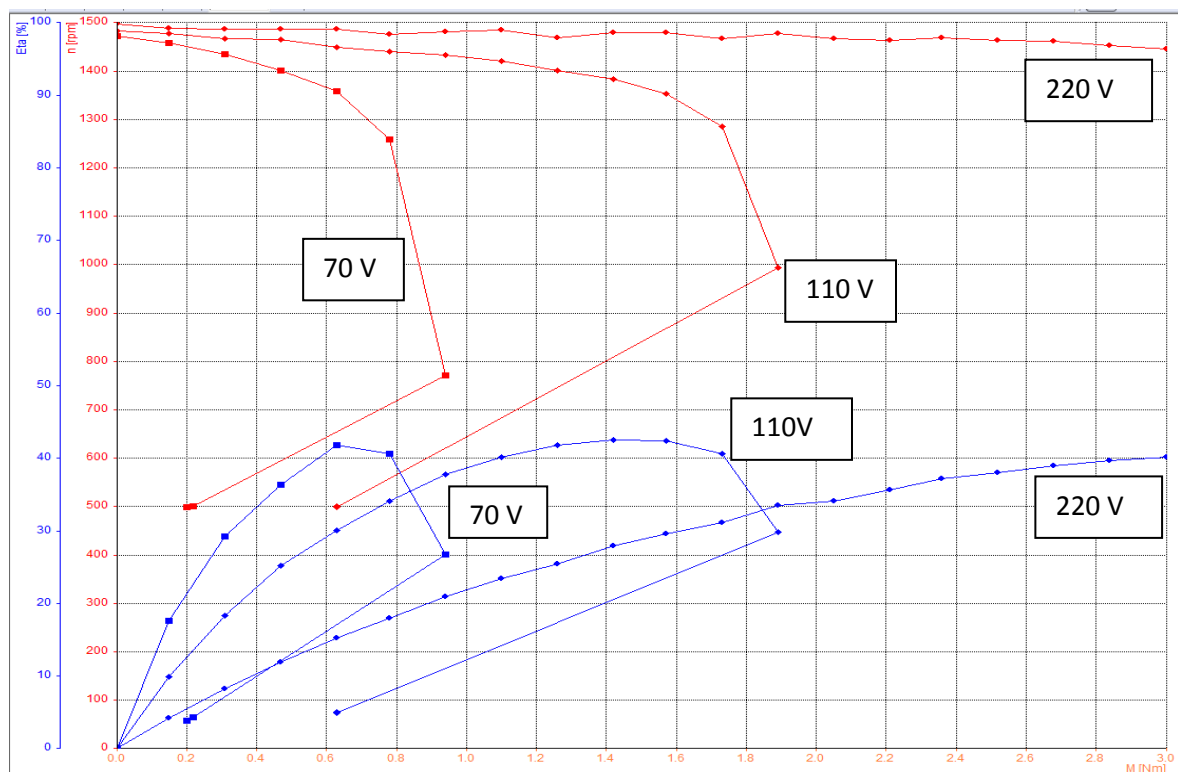


Dijagram 2. Ovisnost klizanja o opterećenju za napone napajanja 220 V, 110 V, 70 V

Iz dijagrama je vidljivo da je klizanje najmanje kad je motor u praznom hodu, odnosno kad je brzina najbliža sinkronoj. Klizanje je kod ovog pokusa postiglo maksimum na oko 70 %, jer se motor nije u potpunosti zaustavio, inače bi se postiglo 100%. Ako je klizanje u

granicama od $1 > s > 0$, stroj je u motorskom režimu rada, ako postane negativno ($s < 0$), stroj je u generatorskom režimu rada, a ako je klizanje veće od 1 ($s > 1$), stroj radi u kočnom režimu protustrujno kočenje.

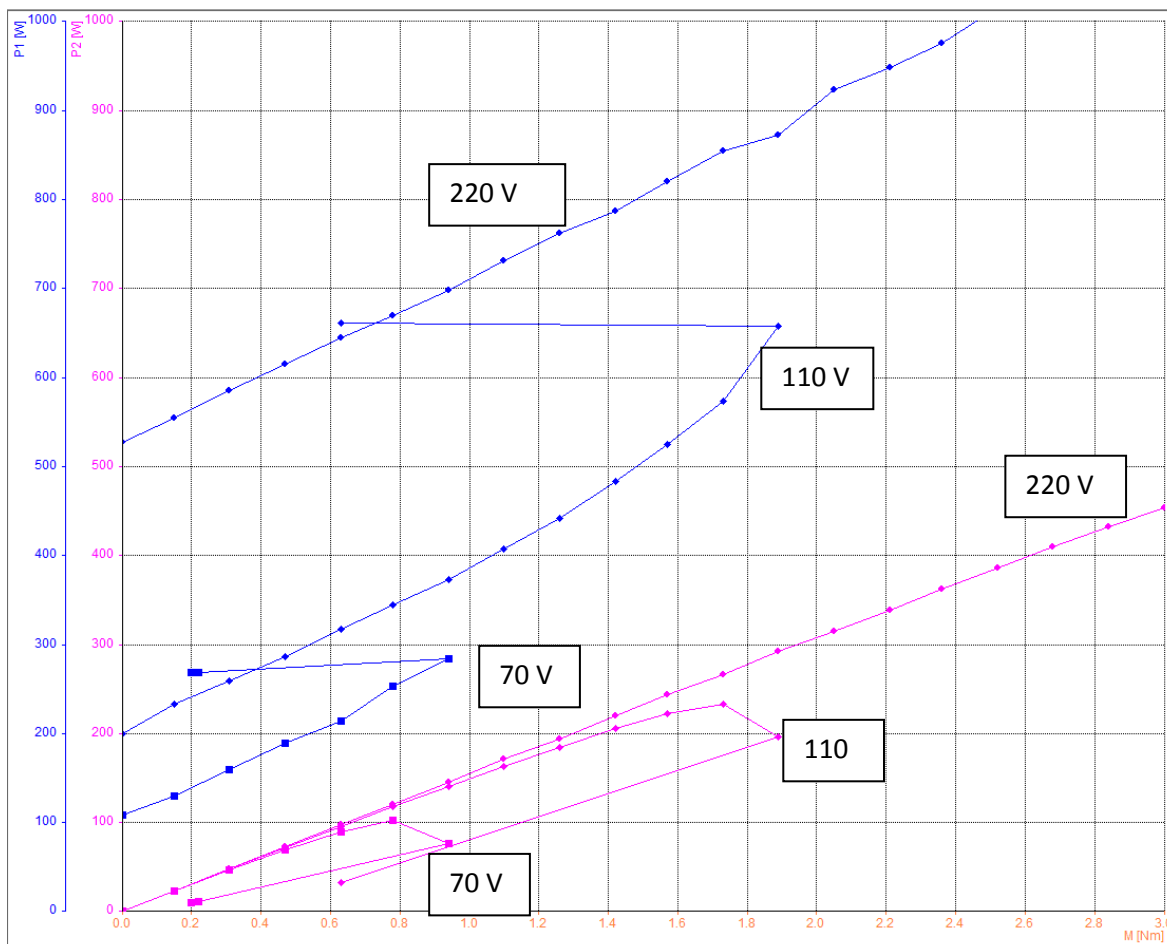
Dijagram 3. Prikazuje ovisnost brzine vrtnje motora i njegove korisnosti o momentu opterećenja za napone napajanja 220 V, 110 V i 70 V. Karakteristike su snimane pomoću programa ActiveDrive/DCMA.



Dijagram 3. Ovisnost brzine vrtnje motora i njegove korisnosti o momentu opterećenja

Iz dijagrama 3. vidljivo je da je korisnost motora pri nazivnom naponu 40%, za opterećenje od 3 Nm. Za napon od 110 V maksimalna korisnost od oko 45% je postignuta kod opterećenja od 1,5 Nm, kad je vrijednost opterećenja dosegla iznos od 1,6 Nm korisnost počinje lagano opadati, dok za vrijednost od 1,9 Nm naglo opada do trenutka u kojem se motor gotovo zaustavlja. Krivulja za napon od 70 V je slična krivulji za 110V, samo što su vrijednosti momenta puno manje. Ovisnost brzine vrtnje o momentu je prethodno prikazana u dijagramu [1].

Dijagram 4. Prikazuje ovisnost mehaničke i električne snage o momentu opterećenja za napone 220V, 110V, 70V. Karakteristike su snimane pomoću programa ActiveDrive/DCMA.



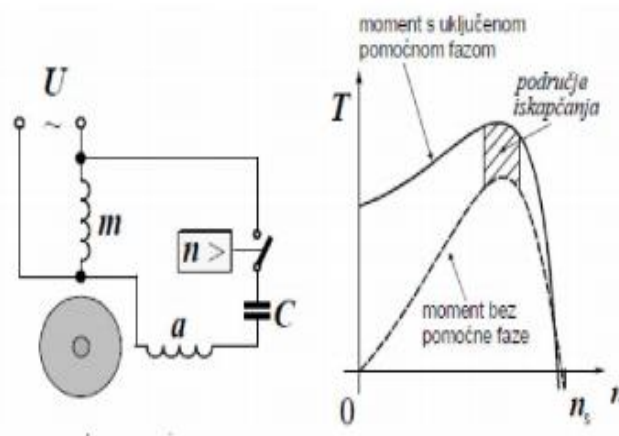
Dijagram 4. Ovisnost električne P_1 i mehaničke snage P_2 o momentu opterećenja za napone 220 V, 110 V, 70 V

Iz dijagrama je vidljivo da se kod praznog hoda električna snaga kreće u granicama od 530 W do 1000 W, a mehanička snaga u granicama od 0 W do 450 W. Povećanjem opterećenja električna i mehanička snaga rastu gotovo proporcionalno. Za opterećenje od oko 1,9 Nm kod napona od 110 V dolazi do prekretnog momenta što rezultira naglim smanjenjem obje snage, motor usporava i zaustavlja se. Krivulje za napon napajanja od 110 V i 70 V su jednakog oblika, samo što za napon od 70 V prekretni moment iznosi oko 0,9 Nm. Trajno preopterećenje motora smanjuje njegov životni vijek.

5. PRIMJENA JEDNOFAZNIH ASINKRONIH MOTORA, POKRETANJE I REVERZIRANJE

5.1. Primjena jednofaznih asinkronih motora

Jednofazni asinkroni motor je vrlo često zastupljen kao pogonski stroj u laboratorijskim, radioničkim i kućanskim uređajima (perilica rublja, hladnjaci) i u ventilacijskim sustavima, a razlog tome je najčešće jednofazna električna instalacija u takvim objektima. Većinom se proizvode za manje snage (do 2,5 kW) s različitim brojem polova, od 2 do 16. Neke izvedbe imaju i dvije brzine (perilica rublja), što znači da imaju dva namota s različitim brojem polova. Izvedba kućišta može biti standardna ili specijalna, namijenjena radnom mehanizmu (pumpe, kompresori). Motori s kondenzatorom za trajni rad prikladni su za velik broj pogona, posebice onih s laganim zaletom, s obzirom na to da se velik broj pogona pokreće neopterećen ili s malim opterećenjem (kružne pile, brusilice, mlinovi). Jednofazni asinkroni motori s pogonskim i zaletnim kondenzatorom imaju primjenu u pogonima s teškim uvjetima rada, kao što su teški poljoprivredni strojevi i preše, njih se naziva još i motorima sa povećanim poteznim momentom. Zaletni kondenzator uključen je paralelno s pogonskim kondenzatorom dok traje zalet motora, a isključuje ga centrifugalna sklopka kad motor postigne 80% nazivne brzine vrtnje. Shema spoja prikazana je na slici 19., a na slici 20. je prikazana izvedba motora u perilici rublja. [7]



Slika 19. Jednofazni asinkroni motor s pomoćnom fazom za zalet. [7]



Slika 20. Izvedba motora u perilici rublja. [7]

5.2. Pokretanje jednofaznih asinkronih motora

Da bi se postigao željeni potezni moment motora u praksi se u motor ugrađuje još jedan pomoćni namot, pri čemu glavni namot zauzima $2/3$ utora a pomoćni namot $1/3$ utora tako da su prostorno pomaknuti za 90° . Pomoćnom namotu u seriju se spaja kondenzator o čijem kapacitetu ovisi koliki će on biti.

Postoje tri kombinacije s kondenzatorima:

- motor s pomoćnom fazom i kondenzatorom za zalet koji se isključuju nakon zaleta,
- kondenzatorski motor-kondenzator i pomoćna faza su trajno uključeni,
- motori s povećanim poteznim momentom-pomoćna faza i kondenzator su stalno uključeni, a tijekom zaleta uključen je još jedan (start kondenzator).

Motori s pomoćnom fazom i kondenzatorom koji se isključuju nakon zaleta su pogodni za pokretanje u praznom hodu ili s početnim malim teretom. Kad motor dostigne 80% nazivne brzine, isklonni uređaj isključuje pomoćnu fazu i kondenzator.

Kondenzatori za pokretanje su aluminijski, elektrolitski nepolarizirani kondenzatori smješteni u plastično kućište valjkastog oblika. Imaju velik kapacitet u odnosu na dimenzije do $1000\mu\text{F}$. Radni napon im je 230 V ili 330 V. Ovi kondenzatori smiju biti uključeni samo kratkotrajno, dok traje zalet motora.[7] Startni kondenzatori prikazani su slikom 21.



Slika 21. Start kondenzatori. [7]

Postoje tri načina isključivanja pomoćne faze i start kondenzatora. Najčešće upotrebljavani mehanizam je centrifugalna sklopka, ona je smještena na osovini motora čiji se kontakti otvore zbog centrifugalne sile kad motor postigne određenu brzinu vrtnje, većinom od 80% nazivne brzine. Izvedba centrifugalne sklopke prikazana je na slici 22.



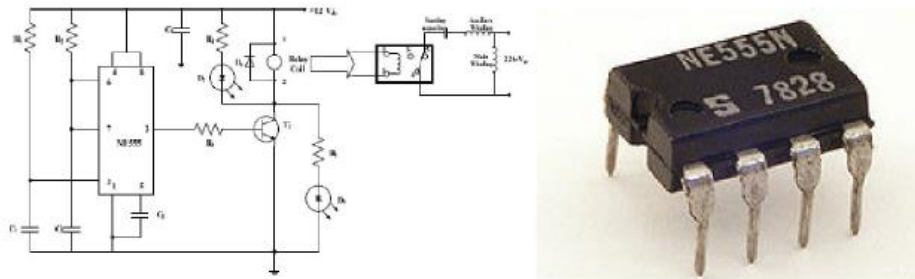
Slika 22. Centrifugalna sklopka. [7]

Drugi način isključivanja pomoćne faze i start kondenzatora je pomoću strujnog releja (klixon). Zavojnica releja spojena je serijski s radnim namotom i dimenzionirana je za struje pokretanja koje su od 3 do 7 puta veće od nazivne. Struja aktivira elektromagnet releja i zatvori njegove kontakte preko kojih je spojena pomoćna faza i start kondenzator. Ubrzavanjem motora slabi struja kroz radni namot i zavojnicu releja i kad se približi nazivnoj vrijednosti, elektromagnetska sila oslabi pa se pod utjecajem opruge kontakti otvore i isključe pomoćnu fazu sa start kondenzatorom. [7] Startni relej prikazan je na slici 23.



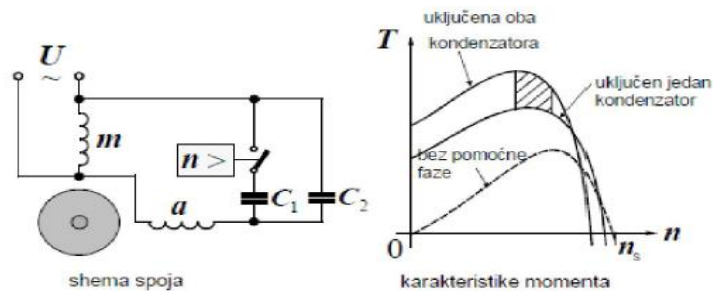
Slika 23. Startni relej – klixon. [7]

Treći način isključivanja je elektronički način koji se bazira na PTC otporniku ili elektroničkom tajmeru. Električni tajmer i shema spoja prikazani su na slici 24.



Slika 24. Shema spoja isključivanja motora bazirana na elektroničkom tajmeru. [7]

Kad se motor pokreće pod opterećenjem (perilica rublja), pomoćna faza i radni kondenzator su trajno uključeni pa moraju biti dimenzionirani za trajni rad, a startni kondenzator se isključuje jednim od spomenutih načina rad. Što je veći kapacitet kondenzatora, to je veći i moment motora, što proporcionalno povećava cijenu i veličinu kondenzatora. [7] Slikom 25. prikazan je spoj jednofaznog motora s pomoćnom fazom kad su uključena oba kondenzatora.



Slika 25. Jednofazni motor s pomoćnom fazom kad su uključena oba kondenzatora

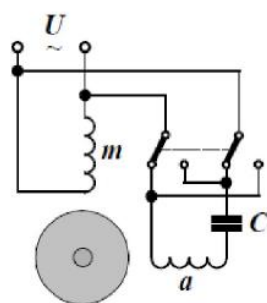
Radni kondenzatori koji se koriste su polipropilenski, smješteni u metalno kućište valjkastog oblika, radnog napona 450 V. S obzirom na dimenzije imaju mali kapacitet (do 100 μF). Kapacitet kondenzatora je ovisan o nazivnoj struji motora. Na slici 26. prikazani su radni kondenzatori.



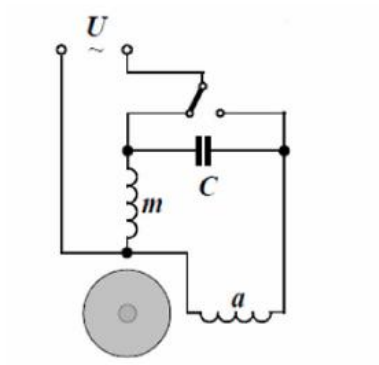
Slika 26. Radni kondenzatori. [7]

5.2. Reverziranje jednofaznih asinkronih motora

Za reverziranje, odnosno promjenu smjera vrtnje motora, potrebno je promijeniti smjer okretnog magnetskog polja. U praksi se to radi promjenom priključka pomoćne faze. Ako su glavna i pomoćna faza namotane jednako, kondenzator se samo prespoji na drugi namot. Pritom kondenzator mora biti trajno uključen. [7] Na slici 27. prikazana je shema spoja reverziranja zamjenom priključaka pomoćne faze, a na slici 28. shema spoja reverziranja sa jednakim namotima radne i pomoćne faze.



Slika 27. Shema spoja reverziranja zamjenom priključaka pomoćne faze. [7]



Slika 28. Shema spoja reverziranja motora s jednakim namotima radne i pomoćne faze. [7]

ZAKLJUČAK

Asinkroni motor je stroj koji ima rotirajući dio (rotor) na koji se električna energija prenosi beskontaktno, pomoću magnetske indukcije djelovanjem okretnog magnetskog polja na statoru. Glavna karakteristika ovog motora je da brzina vrtnje okretnog magnetskog polja na statoru nije jednaka brzini vrtnje rotora, zbog toga se zove asinkroni motor. Razlika između ove dvije brzine naziva se klizanje. Izvedbe ovog motora su najčešće do nazivne snage od 2,5 kW, a imaju široku primjenu u kućanskim uređajima i u laboratorijima jer je u takvim objektima najčešća jednofazna električna instalacija. Prednosti ovih motora je ta što su jeftini, sigurni u pogonu i jednostavne su konstrukcije. Brzinu vrtnje ovih motora je moguće regulirati na nekoliko načina: promjenom frekvencije, promjenom otpora u rotorskom krugu, promjenom broja pari polova i promjenom napona napajanja koja je obrađena u ovom radu.

Na natpisnoj pločici koja se nalazi na svakom motoru su sadržani glavni parametri motora kao što su: nazivni napon, struja, brzina, frekvencija, broj okretaja, $\cos\varphi$. Nazivni moment motora, iako nije na natpisnoj pločici je jedan o važnih parametara, jer on predstavlja maksimalno dozvoljeno opterećenje motora u trajnom radu. Momentna karakteristika asinkronog motora je tvrda, što znači da takav motor ima približno konstantnu brzinu vrtnje pri malim promjenama opterećenja. Momentna karakteristika sadrži karakteristične točke kao što su: idealan prazni hod, nazivna radna točka, prekretna radna točka i mehanički kratki spoj. Potezni moment motora je moment u trenutku pokretanja i taj moment mora biti veći od momenta tereta kako bi se motor pokrenuo. Motor je moguće opterećivati do prekretnog momenta, ako se optereti više od tog motor će se zaustaviti.

U laboratoriju je proveden pokus upravljanja brzinom vrtnje promjenom napona napajanja, s time da su naponi iznosili 220 V, 110 V i 70 V. Pri naponu 220 V bez opterećenja osovine motor je u nazivnom praznom hodu i klizanje je minimalno. Za napon od 110 V, pri promjeni opterećenja se primijete promjene u karakteristici, prekretni moment javlja se pri 1,9 [Nm], a klizanje u toj točki iznosi 35[%], a kad se napon napajanja spusti na 70 V, momentna karakteristika se jako mijenja i prekretni moment se javlja već na 0,9 [Nm], dok je klizanje u toj točki 50[%]. Danas postoje mnogo sofisticiraniji sustavi upravljanja brzinom vrtnje kao što su frekvencijski pretvarači, koji pretvaraju konstantni izmjenični napon i frekvenciju u promjenjivi iznos istih.

Da bi motori postigli željeni potezni moment, u praksi se u pomoćni namot motora ugrađuju kondenzatori koji mogu biti radni ili startni, s time da se startni koriste samo pri zaletu motora, a kasnije se moraju isključiti. Isključiti kondenzator i pomoćnu fazu moguće je na više načina, a najviše se koristi centrifugalna sklopka koja je postavljena na rotor te, kad rotor postigne 80[%] nazivne brzine, ona automatski isključi pomoćnu fazu i kondenzator. Ako se želi promijeniti smjer okretanja rotora, u praksi se to radi promjenom priključka pomoćne faze, taj postupak se još naziva reverziranje motora.

POPIS LITERATURE

- [1] Mandić I., Tomljenović V., Pužar M. : Sinkroni i asinkroni električni strojevi, Tehničko veleučilište u Zagrebu, Zagreb 2012.
- [2] Krčum M.:Asinkroni strojevi-skripta, Sveučilišni odjel za stručne studije, Split, 2008.
- [3] Mašić Š., Smaka S., Elektromotorni pogoni, Elektrotehnički fakultet u Sarajevu, Sarajevo 2011
- [4] Skočilić J.:Priručnik iz električnih strojeva, Zagreb, 2001.
- [5] https://hr.wikipedia.org/wiki/Indukcijski_motor
- [6] https://hr.wikipedia.org/wiki/Elektri%C4%8Dni_strojevi
- [7] http://www.ss-obrtnicko-industrijskazu.skole.hr/dokumenti?dm_document_id=529&dm_dnl=1
- [8] <http://www.sss-makarska.hr/spisi/krtalic/emp-predavanja.pdf>

POPIS SLIKA

Slika 1. Osnovni djelovi asinkronog stroja.....	7
Slika 2. Presjek asinkronog motora sa kliznim kolutima	8
Slika 3. Kavezni motor sa rotorom izrađenim od aluminija.....	8
Slika 4. Dijelovi kaveznog motora	9
Slika 5. Režimi rada elektromotornog pogona a) motor; b) generator; c) elektromagnetska kočnica.....	9
Slika 6. Vanjska karakteristika asinkronog stroja za tri režima rada.....	10
Slika 7. Oblici mehaničkih karakteristika motora	11
Slika 8. Prikaz stabilne i nestabilne radne točke elektromotornog pogona.	12
Slika 9. Prikaz mehaničke karakteristike pogona.....	13
Slika 10. Shema spoja i mehanička karakteristika motora sa dva namota i različitim brojem.....	14
Slika 11. Momentna karakteristika i shema spoja motora kod dodavanja u otpora u rotorski krug	15
Slika 12. Momentna karakteristika motora s promjenjivom frekvencijom i naponom.....	16
Slika 13. Momentna karakteristika motora s promjenjivim naponom napajanja.....	16
Slika 14. Momentna karakteristika asinkronog motora s karakterističnim točkama.....	17
Slika 15. Momentna karakteristika asinkronog motora s karakterističnim točkama.....	19
Slika 16. Natpisna pločica jednofaznog asinkronog motora koji je korišten u pokusu.....	20
Slika 17. Natpisna pločica jednofaznog asinkronog motora koji je korišten u pokusu.....	23
Slika 18. Shema spoja jednofaznog asinkronog motora u laboratoriju	24
Slika 19. Jednofazni asinkroni motor s pomoćnom fazom za zalet.....	28
Slika 20. Izvedba motora u perilici rublja	29
Slika 21. Start kondenzatori.....	30
Slika 22. Centrifugalna sklopka.....	30
Slika 23. Startni relej – klixon.....	31
Slika 24. Shema spoja isključivanja motora bazirana na elektroničkom tajmeru	31
Slika 25. Jednofazni motor s pomoćnom fazom kad su uključena oba kondenzatora	31

Slika 26. Radni kondenzatori.....	32
Slika 27. Shema spoja reverziranja zamjenom priključaka pomoćne faze.....	32
Slika 28. Shema spoja reverziranja motora s jednakim namotima radne i pomoćne faze ..	33

POPIS TABLICA

Tablica 1. Natpisna pločica	21
Tablica 2. Izmjereni podaci struje, napona, snage i brzine vrtnje za napon mreže 220 V .	22
Tablica 3. Izmjereni podaci struje, napona, snage i brzine vrtnje za napon mreže 110 V .	22
Tablica 4. Izmjereni podaci struje, napona, snage i brzine vrtnje za napon mreže 70 V ...	22

POPIS DIJAGRAMA

Dijagram 1. Ovisnost brzine vrtnje o momentu za napone 220 V, 110 V, 70 V.....	24
Dijagram 2. Ovisnost klizanja o opterećenju za napone napajanja 220 V, 110 V, 70 V	25
Dijagram 3. Ovisnost brzine vrtnje motora i njegove korisnosti o momentu opterećenja ..	26
Dijagram 4. Ovisnost električne P_1 i mehaničke snage P_2 o momentu opterećenja za napone 220 V, 110 V, 70 V	27