

Električne mašine u automatici - Skripta

1. Kako glasi Kulonov zakon? Napisati vektorski izraz, navesti oznake svih veličina i parametara u izrazu sa odgovarajućim mernim jedinicama, dati adekvatnu ilustraciju! 6
2. Pojam električnog polja? Dati oznaku, navesti jedinicu kojom se izražava, matematičku formulaciju? Kakve je prirode električno polje jednog tačkastog naelektrisanja? Skicirati linije polja za pozitivno i negativno punktualno naelektrisanje. 6
3. Definirati pojmove električnog potencijala neke tačke i električnog napon između dve proizvoljne tačke u proizvoljnom električnom polju. Koliko iznosi razlika potencijala tačaka koje se nalaze na istom radijalnom rastojanju od položaja tačkastog naelektrisanja u polju razmatranog naelektrisanja? 7
4. Objasnite pojavu elektrostatičke indukcije. Koliko iznosi vrednost električnog polja unutar provodnog tela u elektrostatici? Navesti i ukratko objasniti primer primene prethodnog. 7
5. Šta se postiže postavljanjem nekog elementa u tzv. „Faradejev“ kavez. Objasniti. 8
6. Definirati pojam kondenzatora? Čemu služi kondenzator? Dati definiciju za kapacitivnost pločastog kondenzatora? Koja je osnovna jedinica za kapacitivnost? Koje veličine figurišu u izrazu. 8
7. Definirati pojam kondenzatora u elektrostatickom polju? Dati definiciju za izračunavanje kapacitivnosti homogenog pločastog kondenzatora i navesti koje veličine figurišu u izrazu? Koja je osnovna jedinica za kapacitivnost? 9
8. Pravila za izračunavanje ekvivalentne kapacitivnosti redno i paralelno vezanih kondenzatora. 9
9. Dati izraz kojim se definiše energija elektrostatickog polja. Koje veličine figurišu u izrazu i u kojim jedinicama se daju? 9
10. Koliko će se promeniti kapacitivnost nekog pločastog kondenzatora od linearnog dielektrika ukoliko se količina naelektrisanja poveća na dvostruku vrednost? Kolika je promena iste kapacitivnosti u slučaju da se rastojanje smanji na dvostruko manju vrednost? 9
11. Definirati pojam električne struje kroz provodnu sredinu? Čime se ista karakteriše? Objasniti! 10
12. Kako glasi Omov zakon. Koja pojava se modeluje ovim zakonom? Dati i objasniti definiciju za izračunavanje otpornosti dugog pravog homogenog provodnika kružnog poprečnog preseka 10
13. Napisati izraz kojim se opisuje temperaturna zavisnost otpornosti provodnika. Opisati veličine u izrazu i dati jedinice u kojima se daju. 11
14. Dati definiciju Džulovog zakona, opisati veličine u izrazu i navesti kojim jedinicama se daju. Primenom Omovog zakona napisati varijacije Džulovog zakona. Kako se preko Džulovog zakona objašnjava činjenica da se prenos električne energije uvek vrši na visokim naponskim nivoima 12

15. Pravila za izračunavanje ekvivalentne otpornosti redno i paralelno vezanih otpornika! Koliki napon vlada na krajevima paralelno vezanih otpornika a kolika struja postoji kroz granu sa redno vezanim otpornicima? 12
16. Definirati pojam električnog izvora i nacrtati ekvivalentnu šemu jednog realnog naponskog izvora. Čime se karakteriše realan naponski izvor električne energije? 13
17. Navesti i objasniti karakteristična stanja jednog naponskog izvora? 13
18. Definirati i objasniti Kirchofova pravila. 14
19. Bio–Savardov zakon (definicija, zapis, veličine u formuli, parametri i njihove jedinice, adekvatna ilustracija). 15
20. Vektor magnetne indukcije (definicija, zapis, veličine u formuli)! 16
21. Definirati pojam magnetskog fluksa Φ vektora magnetne indukcije B kroz proizvoljnu površinu S i navesti u kojim jedinicama se izražava? Kakva je veza između rada magnetskih sila A i fluksa Φ za slučaj kada se pokretni provodnik dužine aktivne stranice l nalazi u homogenom magnetskom polju indukcije B , i upravo na njega seče linije magnetskog polja dužinom a ! 17
22. Opisati Faradejev zakon elektromagnetne indukcije i dati primer primene? Napišite vektorski izraz za slučaj provodnika dužine koji se kreće u magnetnom polju indukcije B brzinom v upravo na njega. Kog smera će biti indukovana EMS u tom slučaju? Kojim zakonom se objašnjava prethodno? 17
23. Objasniti pojavu samoindukcije i međuiindukcije. Princip rada koje električne mašine se direktno opisuje ovim pojavama? 18
24. Definirati pojam induktivnosti prigušnice i navesti u kojim jedinicama se izražava. Koliko iznosi induktivnost tankog torusa od navojaka žice gusto motane oko feromagnetnog jezgra površine poprečnog preseka i srednjeg poluprečnika ? 19
25. Podela materijala prema načinu interakcije sa spolja primenjenim magnetnim poljem. Koje materijale upotrebljavamo za izradu magnetnih kola električnih mašina i zašto? 19
26. Podela feromagnetnih materijala prema obliku histerezisne petlje. Navesti oblasti primene nabrojanih klasa. Detaljno objasniti histerezisni efekat feromagnetnih materijala. Dati grafički prikaz i naznačiti karakteristične tačke na $B-H$ dijagramu. Pri kakvom tipu struje se ovaj efekat ispoljava? Definirati pojmove remanentne indukcije i koercitivnog polja nekog feromagnetnog materijala. 20
27. Nacrtati krivu prvobitnog magnetisanja tipičnog feromagnetnog materijala, označiti ose na dijagramu i karakteristične oblasti rada. Objasniti zašto koleno krive magnetisanja predstavlja optimalnu radnu tačku za eksploataciju jednog magnetnog materijala. 21
28. Definirati pojam magnetne permeabilnosti neke sredine. Na koju sposobnosti materijala se odnosi ova karakteristika? Da li veću magnetnu permeabilnost ima aluminijum ili dinamo lim. 21
29. Definirati amperov zakon i navesti Kirchofove zakone za magnetska kola! 21
30. Energija magnetnog polja – matematička forma, veličine u matematičkoj formi i jedinice u kojima se daju. 22

31. Napišite izraz za jednu naizmeničnu veličinu i objasnite sve veličine koje u izrazu figurišu. Koje je frekvencije i kolika je efektivna vrednost faznog napona u Srbiji? 22
32. Na koja dva načina se tri monofazna potrošača povezuju da bi kreirali trofazni potrošač? U kom su odnosu u tim slučajevima vrednosti faznih i linijskih (međufaznih) napona i struja? Koje je frekvencije i kolika je efektivna vrednost linijskog napona u Srbiji? 23
33. Kolo se sastoji iz proste veze izvora prostoperiodičnog napona efektivne vrednosti U i promenljive frekvencije i otpornika otpornosti R . Ako je u prvom slučaju frekvencija napajanje bila 50Hz, a u drugom 20Hz komentarisati kakav je međusoban odnos struja u tim slučajevima. Komentarisati kako ste do tog zaključka došli? 24
34. Kolo se sastoji iz proste veze izvora prostoperiodičnog napona efektivne vrednosti , promenljive frekvencije i idealnog kalema . Ako je u prvom slučaju frekvencija napajanje bila 50 Hz, a u drugom 20 Hz u kom slučaju je struja kroz kolo bila veća? Kako ste to odredili. 24
35. Kolo se sastoji iz proste veze izvora prostoperiodičnog napona efektivne vrednosti , promenljive frekvencije i idealnog kondenzatora kapaciteta . Ako je u prvom slučaju frekvencija napajanje bila 50 Hz, a u drugom 20 Hz u kom slučaju je struja kroz kolo bila veća? Kako ste to odredili. 24
41. Objasniti značaj i ulogu transformatora u elektroenergetskom sistemu! 24
42. Energetski bilans transformatora. 24
43. Objasniti princip rada transformatora. Napisati jednačine koje su u osnovi principa rada transformatora. 25
44. Da li energetski transformator može funkcionisati priključen na jednosmerni napon? Obrazložiti! 25
45. Na koje načine se mogu smanjiti magnetni gubici usled vrtložnih struja transformatora? 25
46. Koja je osnovna svrha primene energetskih transformatora u prenosu električne energije? Dokazati! 26
47. Podela transformatora? Opisati u kratkim crtama svaku od podvrsta! 26
48. Primena transformatora? 26
49. Opisati ukratko konstrukciju jednog trofaznog energetskog distributivnog transformatora. 27
50. Opisati efekat galvanske izolacije koju transformator obezbeđuje putem električne izolacije između namotaja primara i sekundara! 27
1. Navedite i obrazložite primer ili područje primene motora jednosmerne struje sa nezavisnom i rednom pobudom! Iz čega to proizilazi? Ilustrovati. 28
2. Na koji način se upravlja brzinom obrtanja kod motora jednosmerne struje sa nezavisnom pobudom? Nacrtajte upravljačku karakteristiku mašine u celokupnom opsegu regulacije! 28
3. Opišite rotor mašine za jednosmernu struju. 29

5. Objasniti princip rada mašine za jednosmernu struju sa nezavisnom pobudom za režim rada po izboru!	31
6. Da li je neophodno vršiti lameliranje gvođenog jarma statora mašine jednosmerne struje? Objasniti.	32
7. Na koja dva načina je moguće izvršiti promenu smera obrtanja motora jednosmerne struje sa nezavisnom pobudom?	32
8. Objasniti problematiku pokretanja mašina jednosmerne struje sa nezavisnom pobudom. Kako se problematika rešava.	32
9. Regulacija brzine mašine jednosmerne struje sa nezavisnom pobudom. Prikazati grafičku zavisnost veličina brzine, struje pobude i priključnog napona rotora (armature). Opisati funkcionalnu zavisnost pomenutih veličina!	33
10. Prema kom kriterijumu je izvršena podela mašina jednosmerne struje? Navedite vrste mašina jednosmerne struje?	33
11. Energetski bilans mašine jednosmerne struje sa namotajem na statoru.	34
12. Opisati u kratkim crtama konstrukciju jedne tipične mašine jednosmerne struje?	34
13. Ilustrovati momentnu karakteristiku nezavisno pobuđenog motora jednosmerne struje. Obrazložiti oblast njegove primene na osnovu oblika momentne karakteristike.	35
14. Objasniti ulogu komutatora i četkica kod mašina jednosmerne struje. Da li su ovi delovi neophodni za funkcionisanje mašine? Objasniti.	35
15. Napisati jednačine stacionarnog stanja koje karakterišu rad mašine jednosmerne struje sa nezavisnom pobudom.	36
16. Objasniti zašto se mašine jednosmerne struje danas gotovo ne koriste kao generatori električne energije?	36
17. U kojoj vrstu električnih mašina spada alnaser? Gde nalazi primenu? Objasniti.	36
18. Objasniti princip rada asinhronog motora.	37
19. Nacrtati momentnu karakteristiku asinhronog motora sa kaveznim rotorom i obeležiti karakteristične tačke i zone rada!	39
20. Opisati rotor jednog asinhronog kaveznog motora?	39
21. Zašto su asinhroni motori potisnuli motore jednosmerne struje u industriji?	40
22. Koji uslovi moraju biti ispunjeni da bi se jedan asinhroni motor mogao startovati upuštanjem zvezda – trougao (u smislu njenog mehaničkog opterećenja)?	40
23. U čemu je konstruktivna razlika između asinhrona mašine sa kaveznim i namotanim rotorom? Šta se može postići i na koji način, prilikom startovanja kliznokolutnih asinhronih motora u odnosu na asinhrona kavezne?	40

24. Čim se karakteriše pogonsko stanje praznog hoda i kratkog spoja jedne rotacione električne mašine?	40
25. Objasniti princip rada asinhronog motora.	41
26. Kolika je struja prilikom direktnog priključenja trofaznog asinhronog motora na mrežu (izraženo u procentima nazivne struje)? Od čega zavisi dužina trajanja ove struje? Da li je njena pojava nepovoljna i zašto?	41
Velike struje pokretanja, obično 5 -8 puta veće od nazivnih. Ove struje izazivaju visoka zagrijavanja i velike padove napona mreže, što može štetno uticati na druge uređaje vezane u mreži. Ovakve struje opadaju kako se mašina obrće brzinom bliskoj sinhronoj brzini obrtanja rotacionog magnetnog polja. Dužina trajanja zavisi od opterećenosti mašine.	41
27. Kako se vrši promena smera obrtanja asinhronog motora?	41
28. Koja je svrha dodavanja kondenzatora na red sa namotajem pomoćne faze kod jednofaznih asinhronih motora?	41
29. Čime se karakteriše rad trofaznog asinhronog motora u situaciji kada dođe do prekida jednog napojnog faznog provodnika?	42
30. Navesti i objasniti dva najčešće korišćena načina kojima se ostvaruje promene brzine obrtanja kod asinhronog motora?	42
31. Na koje načine se može sprečiti pojava velikih polaznih struja prilikom direktnog priključenja trofaznog asinhronog motora na mrežu?	42
32. Energetski bilans asinhronog motora kaveznim rotorom.	42
33. Definirati klizanje rotora asinhronne mašine. Koliki je red veličine klizanja normalnom opsegu rada asinhronne mašine?	43
34. Napisati izraz za izračunavanje brzine obrtanja obrtnog polja asinhronne mašine? Koji su potrebni uslovi za formiranje obrtnog (Teslinog) polja?	43
35. Dati formulu za brzinu obrtanja asinhronne mašine. Komentarisati u skladu sa formulom kako se može regulisati brzina obrtanja asinhronne mašine. Koji je danas najviše u upotrebi?	44
36. Gubici u gvožđu kavezne asinhronne mašine? Zašto nastaju i gde? Zašto su gubici u gvožđu skoncentrisaniji u magnetnom kolu statora nego rotora?	44
37. Objasniti problematiku puštanja u rad asinhronog motora.	45
38. Zašto se asinhrona mašina u izuzetno retkim slučajevima koristi kao generator električne energije?	45
39. Opisati konstrukciju statora jednofaznog asinhronog motora.	45
40. Nacrtati momentnu karakteristiku jednofazne asinhronne mašine. Očitati vrednost polaznog momenta sa karakteristike.	46

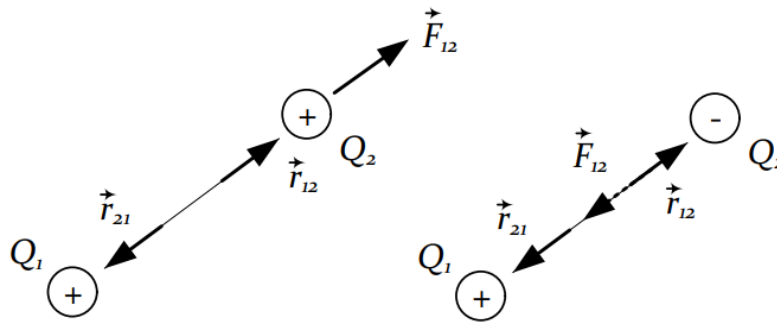
1. Kako glasi Kulonov zakon? Napisati vektorski izraz, navesti oznake svih veličina i parametara u izrazu sa odgovarajućim mernim jedinicama, dati adekvatnu ilustraciju!

Kulonov zakon izražava silu koja deluje između čestice 1 sa naelektrisanjem q_1 [C] i čestice 2 sa naelektrisanjem q_2 [C], koje su međusobno udaljene r [m]. On glasi:

$$\vec{F}_{1na2} = \frac{1}{4\pi \cdot \varepsilon} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} \cdot \vec{r}_{12} \text{ [N]}$$

gde je:

- $\varepsilon = \varepsilon_r \cdot \varepsilon_0$ [F/m] – permitivnost sredine (dielektrična konstanta sredine);
- ε_0 [F/m] – permitivnost vakuuma ($\varepsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12}$ [F/m]);
- ε_r – relativna permitivnost sredine (za vazduh $\varepsilon_r \approx 1$)!

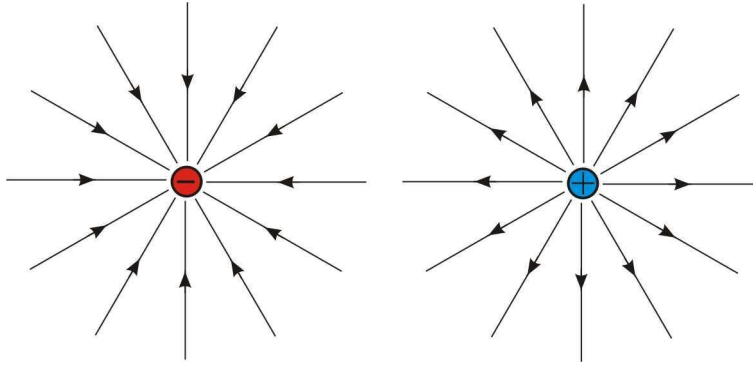


2. Pojam električnog polja? Dati oznaku, navesti jedinicu kojom se izražava, matematičku formulaciju? Kakve je prirode električno polje jednog tačkastog naelektrisanja? Skicirati linije polja za pozitivno i negativno punktualno naelektrisanje.

Ako u neki prostor unesemo naelektrisanu česticu i primetimo da na nju deluje sila, onda se kaže da u tom prostoru postoji "električno polje". Električno polje se kvantitativno opisuje jačinom električnog polja:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_{naq}}{q} \text{ [V/m]}$$

Elektricno polje je radijalno.



3. Definirati pojmove električnog potencijala neke tačke i električnog napon između dve proizvoljne tačke u proizvoljnom električnom polju. Koliko iznosi razlika potencijala tačaka koje se nalaze na istom radijalnom rastojanju od položaja tačkastog naelektrisanja u polju razmatranog naelektrisanja?

Potencijal je količnik rada potrebnog za premeštanje naelektrisanja iz referentne tačke u tačku i tog naelektrisanja:

$$V_A = \frac{A_{NA}}{q} = \frac{-\int_A^N \vec{F}_{SP} \cdot d\vec{l}}{q} = \int_A^N \vec{E} \cdot d\vec{l} [V]$$

Razlika potencijala tačaka koje se nalaze na istom radijalnom rastojanju od položaja tačkastog naelektrisanja u polju razmatranog naelektrisanja iznosi 0.

4. Objasnite pojavu elektrostatičke indukcije. Koliko iznosi vrednost električnog polja unutar provodnog tela u elektrostatici? Navesti i ukratko objasniti primer primene prethodnog.

Ako razmatramo neko provodno naelektrisano telo, zapazimo da će se naelektrisanja na površini tog tela rasporediti u vrlo tankom sloju i to tako da se, što je više moguće, udalje jedna od drugih (zbog dejstva odbojnih sila). Naravno, raspodela naelektrisanja na površini provodnih tela je u direktnoj zavisnosti sa oblikom provodnog tela. Bitno je naglasiti da je veličina električnog polja unutar provodnih tela jednaka 0. Zamislamo sada situaciju da u okruženje provodnog tela unesemo drugo nenaelektrisano telo. Primetićemo da će, u kratkom vremenskom intervalu tj. praktično trenutno, doći do preraspodele naelektrisanja na oba tela. Preraspodela naelektrisanja će trajati do trenutka postizanja ravnotežnog stanja. Ova pojava, da se na površini nenaelektrisanog tela pojave opterećenja se naziva elektrostatička indukcija. Opterećenja tj. naelektrisanja koja su nastala dejstvom indukcije se nazivaju indukovana opterećenja. Potrebno je naglasiti da je i dalje algebarska suma naelektrisanja na telu na kojem je došlo do indukcije 0, samo je izvršena njihova preraspodela.

5. Šta se postiže postavljanjem nekog elementa u tzv. „Faradejev“ kavez.
Objasniti.

Kada se u metalni, Faradejev kavez postavlja element, on ce biti zaštićen od uticaja spoljašnjeg elektrostatičkog polja (česta primena u elektronici kada se kontrolni elementi postavljaju unutar metalnog kućišta). Veličina električnog polja unutar provodnih tela jednaka je 0.

6. Definirati pojam kondenzatora? Čemu služi kondenzator? Dati definiciju za kapacitivnost pločastog kondenzatora? Koja je osnovna jedinica za kapacitivnost? Koje veličine figurišu u izrazu.

Kondenzatori su pasivne komponente (nisu pretvarači). Kondenzator je sistem od dva provodna tela (zvana elektrode) sa izolatorom (dielektrikom) između njih. Naelektrisanja na provodnim telima će zbog ravnoteže uvek biti međusobno suprotna (jednaka po apsolutnoj vrednosti), pa se može definisati stalan odnos koji se naziva kapacitivnost:

$$C = \frac{Q}{V} [F]$$

Q – količina naelektrisanja [C]

U – napon [V]

Pločasti kondenzator ima provodne obloge u vidu ravnih paralelnih ploča površine poprečnog preseka i normalnog rastojanja između njih . Kapacitivnost pločastog kondenzatora se računa na sledeći način:

$$C = \frac{Q}{U} = \varepsilon \cdot \frac{S}{d} [F]$$

Primena kondenzatora: za stabilizaciju jednosmernog napona, filtriranje u svrhe frekventijske selektivnosti spektra signala od interesa...

7. Definirati pojam kondenzatora u elektrostatičkom polju? Dati definiciju za izračunavanje kapacitivnosti homogenog pločastog kondenzatora i navesti koje veličine figurišu u izrazu? Koja je osnovna jedinica za kapacitivnost?

Realno vrlo slicno pitanje kao 6..odgovore pronaci u 6. pitanju

8. Pravila za izračunavanje ekvivalentne kapacitivnosti redno i paralelno vezanih kondenzatora.

$$C_{\text{uk}} = \sum_i C_i = C_1 + C_2 + \dots + C_n$$

При паралелном споју електричних кондензатора укупни електрични капацитет комбинације једнак је збиру капацитета појединих кондензатора.

$$\frac{1}{C_{\text{uk}}} = \sum_i \frac{1}{C_i} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

При серијском спајању кондензатора сабирају се реципрочне вредности капацитета појединих кондензатора тако да укупан капацитет такве комбинације буде мањи од капацитета појединих кондензатора. Реципрочна вредност укупног капацитета једнака је збиру реципрочних вредности појединих капацитета.

9. Dati izraz kojim se definiše energija elektrostatičkog polja. Koje veličine figurišu u izrazu i u kojim jedinicama se daju?

Kondenzator kapacitivnosti C priključen na napon U je naelektrisan količinom naelektrisanja Q i sadrži energiju elektrostatičkog polja:

$$W = \frac{1}{2} \cdot Q \cdot U = \frac{1}{2} \cdot \frac{Q^2}{C} = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U^2 [J]$$

10. Koliko će se promeniti kapacitivnost nekog pločastog kondenzatora od linearnog dielektrika ukoliko se količina naelektrisanja poveća na dvostruku vrednost? Kolika je promena iste kapacitivnosti u slučaju da se rastojanje smanji na dvostruko manju vrednost?

$$C = \frac{Q}{U} = \varepsilon \cdot \frac{S}{d} [F]$$

Dva puta se poveća.

11. Definirati pojam električne struje kroz provodnu sredinu? Čime se ista karakteriše? Objasniti!

Električna struja predstavlja usmereno kretanje naelektrisanja. Ovo kretanje vrši se pod dejstvom stacionarnog električnog polja, koje, za razliku od elektrostatičkog polja, postoji i u unutrašnjosti provodnika i za njegovo održavanje je potreban stalan utrošak energije. Pod dejstvom električnog polja dolazi do kretanja naelektrisanih čestica.

Jačina (intenzitet)

električne struje kroz površinu S se definiše kao količnik priraštaja količine naelektrisanja koje je kroz tu površinu prošlo $\Delta Q_{kroz S}$, i priraštaja vremena za koje je prošlo Δt :

$$I = \frac{\Delta Q_{kroz S}}{\Delta t} [A]$$

12. Kako glasi Ohmov zakon. Koja pojava se modeluje ovim zakonom? Dati i objasniti definiciju za izračunavanje otpornosti dugog pravog homogenog provodnika kružnog poprečnog preseka

Ako se na krajeve provodnika priključi izvor, kroz provodnik će postojati (proteći) struja. Ako povećamo napon izvora, povećaće se i struja kroz provodnik. *Zaključak da je intenzitet električne struje kroz provodno telo I srazmeran priključenom naponu na njegovim krajevima U naziva se Ohmov zakon. Ohmov zakon važi samo za one otpornike čija otpornost ne zavisi od iznosa struje kroz otpornik ili od napona priključenog na njegove krajeve.* Takvi otpornici se nazivaju linearni. Izraz koji opisuje Ohmov zakon glasi:

$$I = \frac{1}{R} \cdot U$$

Koeficijent proporcionalnosti naziva se električna otpornost, jedinica za električnu otpornost je om $[\Omega]$. Električna otpornost provodnika predstavlja njegovu sposobnost da se suprotstavlja uspostavljanju struje kada se na njega priključi električni napon.

Pokazuje se da je električna otpornost pravog homogenog provodnika proporcionalna dužini l a obrnuto proporcionalna njegovoj površini poprečnog preseka S :

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S}$$

13. Napisati izraz kojim se opisuje temperaturna zavisnost otpornosti provodnika. Opisati veličine u izrazu i dati jedinice u kojima se daju.

Pošto je specifična električna otpornost provodnika zavisna od temperature jasno je da je i električna otpornost veličina koja zavisi od temperature. Otpornost bilo kog otpornika izrađenog od homogenog otpornog materijala menja se na i isti način kao i specifična otpornost ρ :

$$R_{\vartheta} = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \vartheta)$$

Podaci koji se daju za gornju jednačinu važe za temperaturu 0 [°C].

U praksi se najčešće daju podaci o otpornosti i temperaturnom koeficijentu otpornosti za temperaturu od 20 [°C]. U tom slučaju jednačina za proračun električnog otpora se modifikuje i glasi:

$$R_{\vartheta} = R_{20} \cdot (1 + \alpha \cdot (\vartheta - 20))$$

Temperaturni koeficijent provodnika od bakra na temperaturi 20 [°C] iznosi $\alpha = 0.00392$ [1/°C].

14. Dati definiciju Džulovog zakona, opisati veličine u izrazu i navesti kojim jedinicama se daju. Primenom Omovog zakona napisati varijacije Džulovog zakona. Kako se preko Džulovog zakona objašnjava činjenica da se prenos električne energije uvek vrši na visokim naponskim nivoima

Kako je električna struja usmereno kretanje naelektrisanja, pri tom kretanju dolazi do sudaranja sa ostalim česticama i oslobađanja toplotne energije. Džulov zakon glasi: *ako su krajevi provodnika otpornosti R priključeni na napon U , i pri tome kroz njega postoji električna struja jačine I , snaga električne energije koja se u provodniku (otporniku) pretvara u toplotu iznosi:*

$$P = U \cdot I \text{ [W]}$$

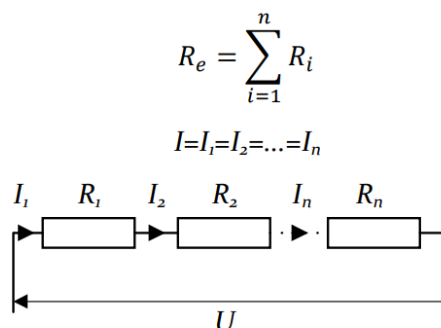
Električna snaga se izražava u vatima. Džulov zakon se može napisati i pomoću otpornosti koja se dobija iz Omovog zakona:

$$P = R \cdot I^2 \text{ [W]}$$

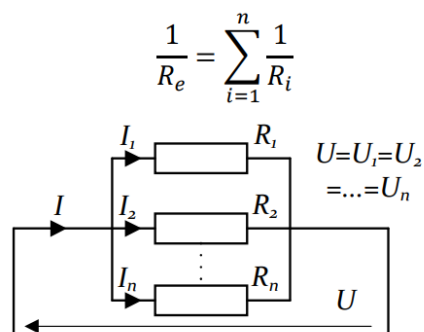
Pokazuje se da je povoljnije vršiti prenos električne energije višim naponom amanjom strujom, jer će tako biti postignuti manji gubici. Naravno upotreba višeg napona zahteva dodatna ulaganja za njegovo dobijanje i izolaciju, pa se između ove dve suprotne tendencije pravi kompromis.

15. Pravila za izračunavanje ekvivalentne otpornosti redno i paralelno vezanih otpornika! Koliki napon vlada na krajevima paralelno vezanih otpornika a kolika struja postoji kroz granu sa redno vezanim otpornicima?

Ako su otpornici vezani na red, kroz njih postoji jednaka struja, dok se oni u opštem slučaju nalaze na različitim naponima. Zaključak je da se dodavanjem otpornika na red struja izvora (ujedno i struja u kolu) smanjuje.

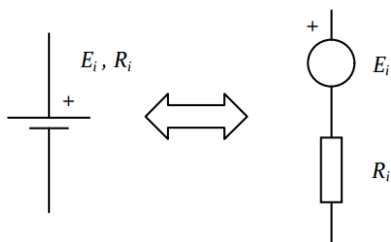


Ako su otpornici vezani paralelno, oni su priključeni na isti napon, dok kroz njih protiče u opštem slučaju različita struja. Zaključak je da se dodavanjem otpornika paralelno struja izvora povećava.



16. Definirati pojam električnog izvora i nacrtati ekvivalentnu šemu jednog realnog naponskog izvora. Čime se karakteriše realan naponski izvor električne energije?

Električni izvor je uređaj sa dva kraja (priklička) koji naelektrisanja sa jednog svog kraja premešta na drugi kraj pomoću neelektričnih sila. Te sile mogu biti hemijske, mehaničke, toplotne, svetlosne, elektromagnetne... Pri tome se izvori koji pretvaraju mehaničku energiju u električnu obično nazivaju generatori. Svaki električni izvor se karakteriše elektromotornom silom i unutrašnjom otpornošću.



17. Navesti i objasniti karakteristična stanja jednog naponskog izvora?

Stanje u kojem kroz izvor ne postoji struja, tj. kada krajeva izvora nisu povezani ni u kakvo električno kolo naziva se prazan hod izvora. Za izvor u stanju praznog hoda koristi se i izraz "neopterećen" izvor. Nasuprot ovome, stanje izvora u kome su njegovi krajevi direktno povezani provodnikom

zanemarljive otpornosti naziva se kratak spoj. Elektromotorna sila (EMS) izvora jednaka je naponu na krajevima generatora u stanju praznog hoda:

$$E_i = U_{PN}$$

Kada se voltmetrom meri napon izvora dobija se elektromotorna sila jer je struja kroz voltmetar (a time i izvor) vrlo mala pošto je otpornost voltmetra "ogromna" (svojim priključenjem u kolo, idealan voltmetar ne remeti stanje u ostatku kola; R_V):

$$U_{PN} = E_i - R_i \cdot I = E_i - R_i \cdot \frac{E_i}{R_i + R_V} \cong E_i$$

Međutim, kada se meri napon izvora priključenog u električno kolo dobija se napon izvora manji od elektromotorne sile:

$$U_{PN} = E_i - R_i \cdot I = E_i - R_i \cdot \frac{E_i}{R_i + R_P} = \frac{R_P}{R_i + R_P} \cdot E_i < E_i$$

U slučaju kratkog spoja struja izvora je određena količnikom njegove EMS i unutrašnje otpornosti:

$$I_{ks} = \frac{E_i}{R_i}$$

18. Definirati i objasniti Kirhofova pravila.

Postoje dva *Kirhofova* zakona koja se najlakše mogu zapamtiti kao strujni i naponski *Kirhofov* zakon.

Strujni Kirhofov zakon (SKZ) zasnovan je na principu održanja naelektrisanja – naelektrisanje se u prirodi ne može ni stvoriti ni uništiti. SKZ glasi:

"Zbir jačina struja koje ulaze u čvor jednak je zbiru struja koje izlaze iz čvora"

$$\sum_{i=1}^n I_n = 0$$

Pri primeni SKZ treba se držati pravila da struja koja "ulazi" u razmatrani čvor pri primeni gornje jednačine ima negativan predznak, a da struja koja "izlazi" iz razmatranog čvora pri primeni gornje jednačine ima pozitivan predznak.

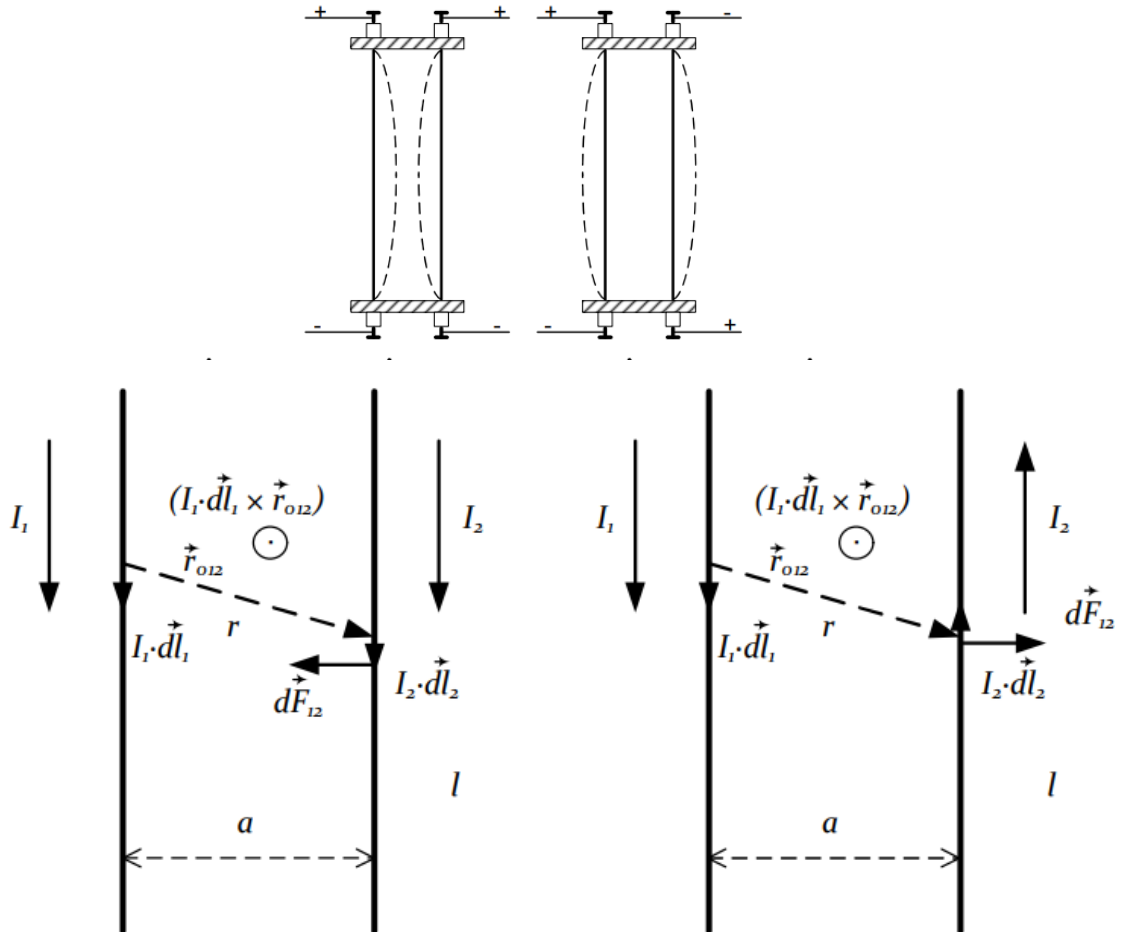
Naponski *Kirhofov* zakon (NKZ) zasniva se na jednostavnoj činjenici da je razlika potencijala u jednoj istoj tački jednaka nuli. NKZ glasi:

"Zbir napona u zatvorenoj konturi jednak je nuli"

$$\sum E - \sum R \cdot I = 0$$

19. Bio–Savarov zakon (definicija, zapis, veličine u formuli, parametri i njihove jedinici, adekvatna ilustracija).

Kada električna struja protiče kroz provodnik, njeno delovanje se ne oseća samo u provodniku nego i u okolnom prostoru. Ovo delovanje može biti primećeno na razne načine. Eksperiment pokazuje da će se dva provodnika kroz koje protiče struja u istom smeru privlačiti (sila je privlačna), a ako su te struje suprotnog smera odbijaće se jedan od drugog (sila je odbojna).



Sila koja deluje između kontura kroz koje protiče struja izračunava se primenom Bio–Savar–ovog zakona.

$$d\vec{F}_{12} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I_2 d\vec{l}_2 \times (I_1 d\vec{l}_1 \times \vec{r}_{012})}{r^2} [N]$$

gde je:

- $I_1 d\vec{l}_1$ – strujni element konture 1;
- $I_2 d\vec{l}_2$ – strujni element konture 2;
- \vec{r}_{012} – jedinični element (ort) usmeren od strujnog elementa konture 1 prema strujnom elementu konture 2;
- $d\vec{F}_{12}$ – elementarna sila;
- $\mu_0 [H/m]$ – magnetna permeabilnost vakuumu ($\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} [H/m]$);

20. Vektor magnetne indukcije (definicija, zapis, veličine u formuli)!

Magnetna indukcija je brojno jednaka mehaničkoj sili koja deluje na jedinicu dužine provodnika kroz koji protiče struja jednaka jedinici jačine struje. Za jedinicu magnetne indukcije u SI sistemu usvojena je jedinica [T] (tesla).

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{Id\vec{l} \times \vec{r}_0}{r^2}$$

21. Definirati pojam magnetskog fluksa Φ vektora magnetne indukcije B kroz proizvoljnu površinu S i navesti u kojim jedinicama se izražava? Kakva je veza između rada magnetskih sila A i fluksa Φ za slučaj kada se pokretni provodnik dužine aktivne stranice l nalazi u homogenom magnetskom polju indukcije B , i upravno na njega seče linije magnetskog polja dužinom a !

$$A = F \cdot a = B \cdot I \cdot l \cdot a = B \cdot I \cdot S = (B \cdot S) \cdot I = \Phi \cdot I$$

gde je Φ magnetni fluks (skalar koji opisuje rad sila magnetnog polja) $\Phi = B \cdot S$ koji je jednak proizvodu magnetne indukcije B i površine S koju taj fluks "prožima". Površina S je u stvari aktivni deo provodnika koji učestvuje u interakciji polja i struje koja formira silu na provodnik.

22. Opisati Faradejev zakon elektromagnetne indukcije i dati primer primene? Napišite vektorski izraz za slučaj provodnika dužine koji se kreće u magnetnom polju indukcije B brzinom v upravno na njega. Kog smera će biti indukovana EMS u tom slučaju? Kojim zakonom se objašnjava prethodno?

Faradejev zakon: Ako se provodnici kreću u magnetnom polju, ili se magnetno polje u kome se oni nalaze menja, u njima se indukuje elektromotorna sila proporcionalna izvodu fluksa.

$$e = -\frac{d\Phi}{dt} [V]$$

Ako razmotrimo situaciju pravolinijskog provodnika videćemo da je vrednost EMS proporcionalna vrednosti magnetne indukcije, brzini kretanja provodnika i aktivnoj dužini provodnika:

$$e = (\vec{v} \times \vec{B}) \cdot \vec{l} [V]$$

Za određivanje smera indukovane elektromotorne sile primenjuje se Arnold—ovo pravilo desne ruke: "Ako desnu ruku postavimo tako da linije sile padaju na dlan, a ispruženi palac pokazuje pravac kretanja provodnika, tada će ostali ispruženi prsti pokazivati smer indukovane elektromotorne sile. "

Poznato je da kod mehaničkog kretanja postoji zakon inercije, prema kome inerciona sila deluje tako da se protivi promeni vektora brzine tela. Analogno tome, indukovana EMS uvek ima takav smer da teži uspostaviti struju koja stvara magnetno polje suprotno promeni postojećeg magnetnog polja. Primer: ako magnetno polje slabi, smer indukovane EMS je takav da se struja koju ona stvara "protivi" ovoj promeni tako što ga pojačava. Zakon o određivanju smera indukovane EMS naziva se Lencovo pravilo.

Primena: transformatori.

23. Objasniti pojavu samoindukcije i međui indukcije. Princip rada koje električne mašine se direktno opisuje ovim pojavama?

Posmatrajmo električno kolo – kalem (sistem redno vezanih navojaka tanke žice) u kome se intenzitet struje menja. Jasno je da će se u okolini tog kola pojaviti promenljivo magnetno polje opisano sa promenljivim vektorom magnetske indukcije. Naravno, jedan deo linija polja će "prolaziti" kroz električne provodnike razmatranog kola, izazivajući u njemu, prema Faradejevom zakonu, EMS. Ova EMS, koja je smera određenog Lencovim pravilom, se naziva EMS samoindukcije jer je mesto i uzrok njenog postojanja jedna te ista kontura.

$$e = -L \cdot \frac{di}{dt}$$

U drugoj situaciji posmatrajmo dva odvojena namotaja postavljena jedan do drugog. Ukoliko u jednom od njih menjamo jačinu struje doći će (po Faradejevom i Lencovom zakonu) do indukovanja EMS u drugom. Ova pojava se naziva pojava međui indukcije.

$$e_2 = -M \cdot \frac{di_1}{dt}$$

- M – koeficijent međui induktivnosti koji zavisi od dimenzija, oblika i međusobnog položaja namotaja i od magnetne permeabilnosti sredine!

Primena kod transformatora.

24. Definirati pojam induktivnosti prigušnice i navesti u kojim jedinicama se izražava. Koliko iznosi induktivnost tankog torusa od navojaka žice gusto motane oko feromagnetnog jezgra površine poprečnog preseka i srednjeg poluprečnika ?

$$e = -L \cdot \frac{di}{dt}$$

- L – koeficijent samoindukcije – (samo)induktivnost kalema $[H]$ (jedinica *Henri*);

Induktivitet proizvoljne zatvorene konture predstavlja sposobnost iste da se suprotstavlja brzini uspostavljanja struje kada se na njega priključi električni napon – tzv. magnetna inercija konture na uspostavljanje struje ("*protoka električnog fluida*")!

Induktivnost L predstavlja koeficijent srazmere između fluksa koji prožima konturu i struje kroz tu konturu

$$\Phi = L \cdot I$$

Za slučaj kalema (namotana tanka torusna struktura sa N navojaka žice gusto motane oko feromagnetnog jezgra površine poprečnog preseka S i srednjeg poluprečnika R) važi:

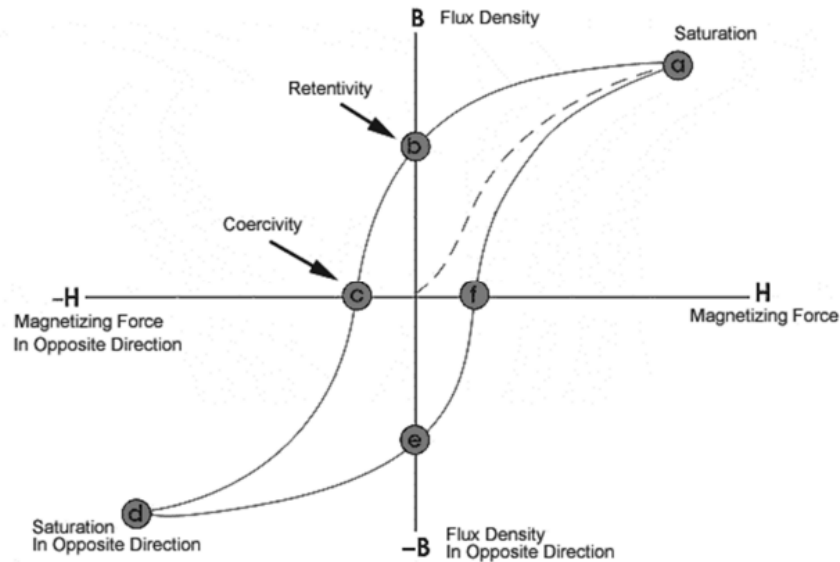
$$L = \mu \cdot S \cdot \frac{N^2}{2\pi \cdot R} [H]$$

25. Podjela materijala prema načinu interakcije sa spolja primenjenim magnetnim poljem. Koje materijale upotrebljavamo za izradu magnetnih kola električnih mašina i zašto?

Materijali se na osnovu načina interakcije sa spolja primenjenim magnetnim poljem dele na:

Paramagnetike (materijali koji slabo pojačavaju spoljašnje polje), dijamagnetike (materijali koji slabe spoljašnje polje), feromagnetike (materijali koji jako pojačavaju spoljašnje polje).

26. Podela feromagnetnih materijala prema obliku histerezisne petlje. Navesti oblasti primene nabrojanih klasa. Detaljno objasniti histerezisni efekat feromagnetnih materijala. Dati grafički prikaz i naznačite karakteristične tačke na B–H dijagramu. Pri kakvom tipu struje se ovaj efekat ispoljava? Definirati pojmove remanentne indukcije i koercitivnog polja nekog feromagnetnog materijala.



Na slici je prikazana tipična histerezisna petlja feromagnetnog materijala sa karakterističnim tačkama. Sa isprekidanom linijom je predstavljena kriva prvobitnog magnetisanja materijala.

Na osnovu histerezisne petlje izvršena je podela feromagnetnih materijala na magnetno meke i magnetno tvrde. Osnovna karakteristika magnetno mekih materijala je uska histerezisna petlja, veliki remanentni magnetizam i malo koercitivno polje. Odlikuju se i malih histerezisnim gubicima pa se ovi materijali koriste za izradu magnetnih kola električnih mašina. Osnovna karakteristika magnetno tvrdih materijala je široka histerezisna petlja, mali remanentni magnetizam i veliko koercitivno polje. Polja primena podrazumeva indukcione peći i izrada stalnih magneta!

27. Nacrtati krivu prvobitnog magnetisanja tipičnog feromagnetnog materijala, označiti ose na dijagramu i karakteristične oblasti rada. Objasniti zašto koleno krive magnetisanja predstavlja optimalnu radnu tačku za eksploataciju jednog magnetnog materijala.

Neki odgovori su isti kao u 26. Pitanju. Kod kolena krive sa promenom H nema značajne promene B , dolazi do zasícenja...

28. Definirati pojam magnetne permeabilnosti neke sredine. Na koju sposobnosti materijala se odnosi ova karakteristika? Da li veću magnetnu permeabilnost ima aluminijum ili dinamo lim.

brate...

29. Definirati amperov zakon i navesti Kirhofove zakone za magnetska kola!

Amperov zakon se odnosi na cirkulaciju vektora jačine magnetnog polja \vec{H} i glasi: Cirkulacija vektora jačine magnetnog polja jednaka algebarskom zbiru svih struja koje prolaze kroz zamišljenu površinu oslonjenu na konturu C (sa proizvoljnim koncentrisanim brojem navojaka N), po kojoj se određuje cirkulacija vektora \vec{H} .

$$\oint_C \vec{H} \cdot d\vec{l} = \sum N \cdot I$$

Za linearne sredine (u magnetnom pogledu) važi linearna veza:

$$\vec{B} = \mu \cdot \vec{H}$$

Prvi Kirhofov zakon za magnetna kola (Zakon konzervacije magnetnog fluksa) glasi:

$$\sum \Phi = 0$$

Drugi Kirhofov zakon za magnetna kola (Amperov zakon) glasi:

$$\sum_c (\pm H_K \cdot l_k) = \sum_c (\pm N \cdot I)_k$$

30. Energija magnetnog polja – matematička forma, veličine u matematičkoj formi i jedinice u kojima se daju.

$$A = W = \frac{1}{2} \cdot \Phi \cdot I = \frac{1}{2} \cdot \frac{\Phi^2}{L} = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I^2 [J]$$

Φ - fluks [Wb]

I – jčina struje [A]

L – induktivnost [H]

31. Napišite izraz za jednu naizmeničnu veličinu i objasnite sve veličine koje u izrazu figurišu. Koje je frekvencije i kolika je efektivna vrednost faznog napona u Srbiji?

$$a(t) = A_m \sin(\omega t + \alpha) = \sqrt{2}A \sin(\omega t + \alpha)$$

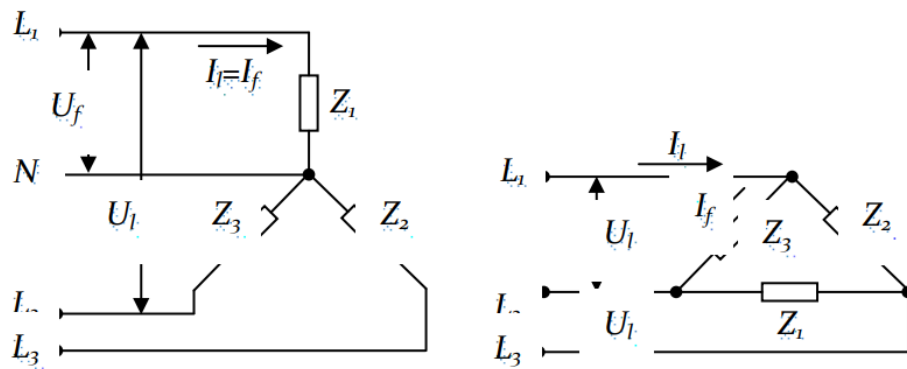
- *Amplituda* A_m – maksimalna vrednost (najveća vršna) koju dostiže naizmenična prostoperiodična veličina u vremenskom intervalu od jedne periode oscilacija!
- *Efektivna vrednost* $A = A_m/\sqrt{2}$ – intenzitet (jačina) ekvivalentne vremenski konstante veličine koja za isto vreme proizvede istu količinu energije (ima isti učinak) kao posmatrana naizmenična veličina!
- *srednja vrednost* $A_{sr} = 0$ – količina ukupnog fluksa (integrala vremena) fizičke veličine koja prođe kroz poprečni presek medijuma za prenos energije u toku jedne periode oscilovanja!
- *Kružna učestanost* ω – ugaona brzina obrtanja fazora naizmenična prostoperiodične veličine u faznoj ravni!
- *Frekvencija* $f = \omega/2\pi$ – broja ponavljanja oscilacija u jedinici vremena!
- *Perioda* $T = 1/f$ – vremenski interval trajanja jedne pune oscilacije vremenski promenljive veličine!
- *Fazni (početni) stav* α – ugao koji zaklapa fazor naizmenične prostoperiodične veličine sa faznom osom u početnom trenutku posmatranja!

32. Na koja dva načina se tri monofazna potrošača povezuju da bi kreirali trofazni potrošač? U kom su odnosu u tim slučajevima vrednosti faznih i linijskih (međufaznih) napona i struja? Koje je frekvencije i kolika je efektivna vrednost linijskog napona u Srbiji?

$$u_1(t) = \sqrt{2}U \cdot \sin(\omega t), u_2(t) = \sqrt{2}U \cdot \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right), u_3(t) = \sqrt{2}U \cdot \sin\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right)$$

Ovakva trojka napona zovu se simetrični naponi (direktnog redosleda)!

Tri takva izvora ili potrošača se nikada ne realizuju sa 6 priključaka, već se vezuju kao na slici (*zvezda levo ili trougao desno*).



Kod zvezde:

$$I_f = I_l$$

$$U_f = \frac{U_l}{\sqrt{3}}$$

Kod trougla:

$$U_f = U_l$$

$$I_f = \frac{I_l}{\sqrt{3}}$$

50Hz, 220V.

33. Kolo se sastoji iz proste veze izvora prostoperiodičnog napona efektivne vrednosti U i promenljive frekvencije i otpornika otpornosti R . Ako je u prvom slučaju frekvencija napajanje bila 50Hz, a u drugom 20Hz komentarisati kakav je međusoban odnos struja u tim slučajevima. Komentarisati kako ste do tog zaključka došli?

??????????????

34. Kolo se sastoji iz proste veze izvora prostoperiodičnog napona efektivne vrednosti , promenljive frekvencije i idealnog kalema . Ako je u prvom slučaju frekvencija napajanje bila 50 Hz, a u drugom 20 Hz u kom slučaju je struja kroz kolo bila veća? Kako ste to odredili.

??????????????

35. Kolo se sastoji iz proste veze izvora prostoperiodičnog napona efektivne vrednosti , promenljive frekvencije i idealnog kondenzatora kapaciteta . Ako je u prvom slučaju frekvencija napajanje bila 50 Hz, a u drugom 20 Hz u kom slučaju je struja kroz kolo bila veća? Kako ste to odredili.

??????????????

36. Navesti prednosti korišćenja trofaznih naizmeničnih sistema u odnosu na monofazne? Sa kakvim naponima se napaja trofazni uravnoteženi potrošač? Dati matematički zapis i fazorski dijagram veličina. Ilustrovati na razmatranom dijagramu linijski napon između proizvoljne dve faze.
37. Ako je faktor snage monofaznog potrošača jednak 1 o kom tipu potrošača se radi. Koliko iznosi aktivna a koliko reaktivna snaga razmatranog potrošača priključenog na napon efektivne vrednosti ako kroz njega protiče struja efektivne vrednosti? Šta ukoliko potrošač ima faktor snage 0?
38. Nacrtati trougao snaga i impedansi i napisati veze među veličinama koje figurišu? Napisati izraze za aktivnu, reaktivnu i prividnu snagu uravnoteženog trofaznog potrošača. U kojim veličinama se daju ove snage?
39. Napisati izraze za trenutne vrednosti faznih napona tri izvora naizmenične struje povezana u zvezdu koji čine simetričan trofazni sistem napajanja. Koji odnosi važe za efektivne vrednosti linijskih i faznih napona i struja?
40. Ukoliko idealan kondenzator spojimo na jednosmerni napon koliku će on otpornost protoku struje pružati. Kako ste to odredili. Šta bi se desilo ako bismo u tom slučaju umesto idealno kondenzatora priključili idealan kalem!

Transformatori

41. Objasniti značaj i ulogu transformatora u elektroenergetskom sistemu!

Transformator je statički elektrotehnički aparat koji, pomoću elektromagnetne indukcije, pretvara jedan sistem naizmeničnih struja u jedan ili više sistema naizmeničnih struja iste učestanosti i obično različitih vrednosti struja i napona. Uloga transformatora u elektroenergetskom sistemu je veoma značajna jer on omogućuje ekonomičnu, pouzdanu i bezbednu proizvodnju, prenos i distribuciju električne energije pri najprikladnijim naponskim nivoima.

42. Energetski bilans transformatora.

U zavisnosti od mesta nastanka, gubici unutar transformatora su dvojaki:

- gubici u bakru: gubici usled nenulte otpornosti namotaja primara i sekundara (Džulov efekat) kao i dodatni gubici u bakru usled indukovanih struja u namotaju koji prouzrokuju nejednaku raspodelu gustine struje (površinski efekat i efekat blizine);
- gubici u gvožđu: gubici u feromagnetnim limovima koji se sastoje od gubitaka usled histereza i gubitaka usled vrtložnih struja

Kod transformatora ne postoje mehanički gubici iz razloga što nema nikakvih pokretnih delova (transformator je statički aparat).

43. Objasniti princip rada transformatora. Napisati jednačine koje su u osnovi principa rada transformatora.

Transformator je uređaj koji pomoću elektromagnetske indukcije transformiše električnu energiju napona U_1 i struje I_1 na primarnoj strani u električnu energiju napona U_2 i struje I_2 na sekundarnoj strani, pri čemu frekvencija f ostaje ista.

Prva konstrukciona relacija transformatora podrazumeva da isti ne unosi gubitke niti aktivne niti reaktivne snage:

$$S_1 = U_1 \cdot I_1 \approx U_2 \cdot I_2 = S_2 \quad \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2}$$

****ovde fali jos jednacina**

Na primarni namotaj transformatora dovodi se električna energija u obliku naizmeničnog napona, koja u magnetno spregnutom sekundarnom namotaju indukuje odgovarajuću naizmeničnu elektromotornu silu, odnosno struju, koja se koristi za napajanje prijemnika. Pod pretpostavkom zanemarenja efekata rasipanja magnetskog fluksa namotaja, u magnetskom kolu se uspostavlja zajednički fluks u jezgri, koji je posledica dejstva struja u namotajima transformatora. Na primarnom namotaju se dešava pojava samoindukcije dok se na sekundarnom namotaju dešava međui indukcija! Prenos energije sa primara na sekundar je isključivo magnetskim putem, a ne galvanskim spojem!

44. Da li energetski transformator može funkcionisati priključen na jednosmerni napon? Obrazložiti!

Ne može, jer tada ne postoji promjenljivo magnetno polje koje može indukovati elektromotornu silu na sekundaru.

45. Na koje načine se mogu smanjiti magnetni gubici usled vrtložnih struja transformatora?

Radi smanjenja gubitaka usled vrtložnih struja, koriste se međusobno izolovani limovi male debljine za magnetsko kolo.

46. Koja je osnovna svrha primene energetskih transformatora u prenosu električne energije? Dokazati!

Smanjenje dzulovih gubitaka usled prenošenja energije na velike distance. Npr. ako prenosimo el. energiju $U = 200V$ i $I = 400A$ preko dalekovoda od centrale gubici će biti $R \cdot I^2$ gde je R velik zbog dužine kablova. Ali ako ovo prebacimo na npr $U = 80000V$ i $I = 1A$ gubici će biti mnogo manji.

47. Podela transformatora? Opisati u kratkim crtama svaku od podvrsta!

- energetski, standardni: po broju faza trofazni ili jednofazni;
- autotransformatori: imaju samo jedan namotaj; primar i sekundar su fizički (galvanski) sjedinjeni, ali postoji visokonaponska i niskonaponska strana;
- regulacioni transformatori: koriste se tamo gde je potrebno da se odnos transformacije menja;
- merni transformatori: osnovna funkcija im je svođenje velikih struja (strujni) i napona (naponski) na one struje i napone koji se mogu meriti standardnom mernom opremom i povećanje sigurnosti rada putem galvanskog odvajanja od kola sa velikim strujama i naponima.
- transformatori pretvarači broja faza: (3 u 2, 6, 12);
- transformatori za energetske pretvarače: sa nesinusoidalnim naponima i strujama;
- suvi transformatori – porast potrošnje i cene električne energije i ograničavanje građevinskog prostora za smeštaj trafo stanice, nametnuli su zahtev da se transformator umesto u posebnim i udaljenim trafo stanicama ugrađuje u samim centrima potrošnje, kao što su veliki stambeni, poslovni, sportski, industrijski i drugi objekti; ne koriste ulje
- transformatori za zavarivanje: osnovna uloga je da smanje napon mreže (400V/220V), na siguran napon od 50V, koji je dovoljan za paljenje električnog luka, a bezopasan je za rukovaoca

48. Primena transformatora?

Primenom transformatora se uz veoma male gubitke energije, rešavaju problemi raznih naponskih nivoa i međusobne izolovanosti kola koje se nalaze na različitim naponskim nivoima.

Neke od osnovnih svrha za koje se primenjuju transformatori su prenos električne energije preko velikih razdaljina i snabdevanje energijom iz prenosne mreže.

49. Opisati ukratko konstrukciju jednog trofaznog energetskog distributivnog transformatora.

U pogledu konstrukcije, transformator se sastoji iz sledećih osnovnih delova:

- *magnetskog kola;*
- *namotaja;*
- *izolacije;*
- *transformatorskog suda;*
- *pomoćnih delova i pribora.*

Magnetsko kolo se gradi od visokokvalitetnih hladnovaljanih transformatorskih limova. Osnovni fizički elementi magnetskog kola su stubovi (jezgra), oko kojih su smešteni namotaji i jarmovi (donji i gornji). Trofazni transformator sa jezgrom se konstruiše u varijanti trostubnog ili petostubnog magnetskog kola!

Namotaji se prave od okruglog, profilnog ili trakastog provodnika od bakra ili aluminijuma, materijala koji imaju mali električni otpor. Namotaj koji se priključuje na napajanje se naziva primar, dok se namotaj koji je spojen na prijemnik naziva sekundar.

Izolacija predstavlja kombinaciju celuloze i izolacionog ulja (koje obezbeđuje i hlađenje transformatora) u slučaju uljnih transformatora, odnosno čvrste izolacije u kombinaciji sa vazduhom kod suvih transformatora.

Transformatorski sud postoji kod uljnih transformatora i izrađuje se od kvalitetnog čelika sa ojačanjima.

50. Opisati efekat galvanske izolacije koju transformator obezbeđuje putem električne izolacije između namotaja primara i sekundara!

Galvanska izolacija predstavlja električnu izolaciju između visokog i niskog napona. Služi kako bi se zaštitili niskonaponski uređaji od velikih struja u visokonaponskoj mreži. Na primer, na ulazu u kućni aparat postavljen je transformator između njega i električne mreže. Njegov primarni namotaj je povezan na mrežu, a sekundarni namotaj snabdeva struju koja je indukovana u njemu za njegovo napajanje.

Drugi deo - MJS i AM

1. Navedite i obrazložite primer ili područje primene motora jednosmerne struje sa nezavisnom i rednom pobudom! Iz čega to proizilazi? Ilustrovati.

Nezavisno pobuđen motor jednosmerne struje se od svih vrsta MJS najčešće primenjuje u elektromotornim pogonima za upravljanje i regulaciju brzine obrtanja.

Redno pobuđen motor jednosmerne struje se u praksi najčešće primenjuje u električnoj vuči. Ovaj motor predstavlja veoma fini menjač brzine (bez skupih sklopova zupčanika).

2. Na koji način se upravlja brzinom obrtanja kod motora jednosmerne struje sa nezavisnom pobudom? Nacrtajte upravljačku karakteristiku mašine u celokupnom opsegu regulacije!

Brzinu obrtanja motora jednosmerne struje možemo vršiti na tri osnovna načina:

1. promenom napona napajanja armaturnog namotaja
2. promenom pobudnog fluksa u mašini ψ
3. promenom otpora u kolu indukta

Od ova tri navedena načina, praktično se najčešće primenjuju prva dva načina.

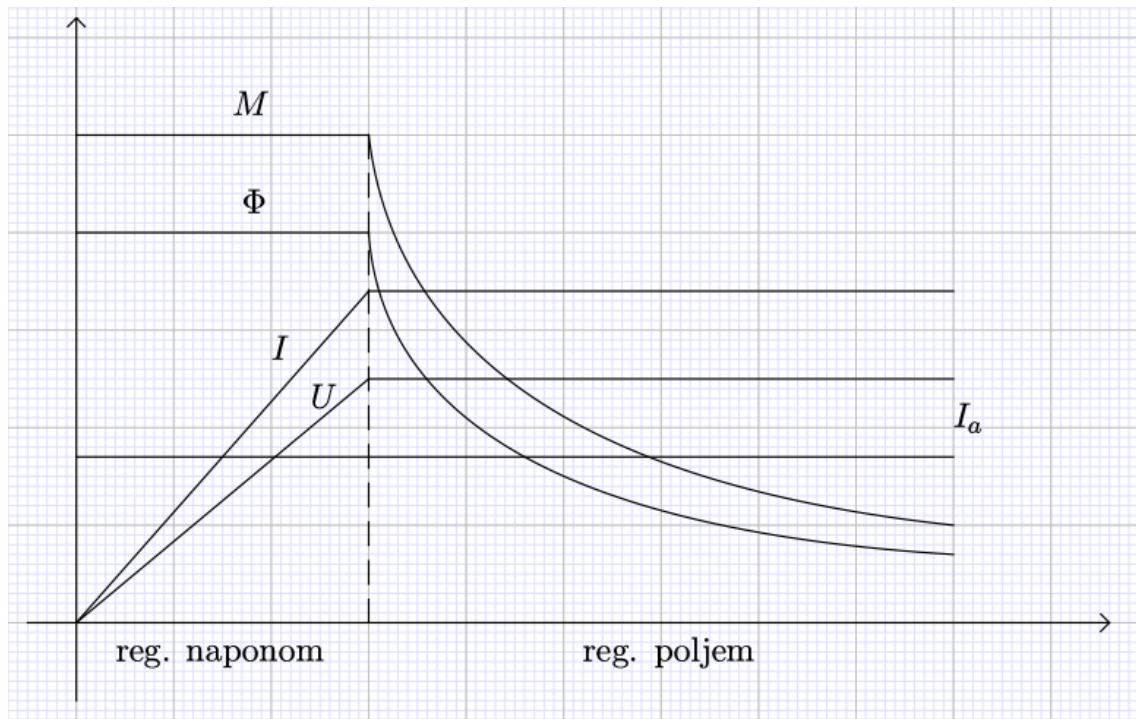
Regulacija naponom armature je efikasna počevši od brzine obrtanja jednakoj nuli, pa do brzine koja odgovara naznačenom naponu motora, uz neku konstantnu, obično naznačenu pobudu. To je veliki opseg regulacije, i kod mašina sa nezavisnim hlađenjem, u odnosu na brzinu obrtanja, motor se u celom ovom opsegu može opteretiti konstantnom strujom, odnosno konstantnim momentom (uz konstantnu pobudu), tako da je snaga motora proporcionalna brzini obrtanja, odnosno približno proporcionalna sa naponom. Kod motora hlađenih ventilatorom ugrađenim na vratilu mašine, kod manjih brzina se mora smanjiti struja, odnosno momenat, da ne bi došlo do pregrevanja.

Regulacija poljem se sprovodi tako da se priključeni napon drži na konstantnoj vrednosti, a magnetsko polje se smanjuje smanjenjem struje pobude. Opseg regulacije je otprilike 2:1 za motore normalne izvedbe, tj. sa regulacijom brzine se može ići do dvostruke vrednosti u odnosu na brzinu kod punog magnetnog fluksa. Dalje smanjenje fluksa se ne praktikuje, jer bi rad motora mogao da postane nestabilan, te može lako da pobegne (eksplozija rotora), nastupaju poteškoće kod komutacije, a mora se voditi računa i o mehaničkim naprezanjima usled centrifugalnih sila koja rastu sa kvadratom brzine obrtanja.

Upravljanje brzinom obrtanja dodavanjem otpora u kolo indukta se vrši u slučaju da se u pogonu ima neupravljiv izvor konstantnog napona (tradicionalni pogoni koji nisu imali pretvarače energetske elektronike). Ovakva kontrola je danas neopravdana sa aspekta energetske efikasnosti jer se na račun uvećanja gubitaka u kolu indukta smanjuje brzina obrtanja.

Za regulaciju brzine obrtanja motora jednosmerne struje prirodno je da se konstantni momenat postiže regulacijom napona, dok se konstantna snaga postiže regulacijom poljem.

Upravljačka karakteristika MJS sa nezavisnom pobudom u celokupnom opsegu brzina, koji pored baznog opsega uključuje i brzine obrtanja veće od nominalne (opseg slabljenja polja).



**umesto I treba da pise P, snaga

3.Opišite rotor mašine za jednosmernu struju.

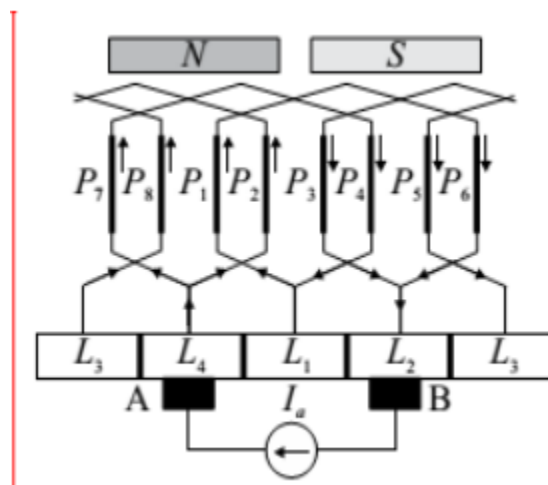
Magnetsko kolo rotora je cilindričnog oblika (ako se zanemare žlebovi za smeštaj namotaja) i izrađuje se od izolovanih feromagnetskih limova radi smanjenja gubitaka usled vrtložnih struja. Kroz namotaj na rotoru protiče struja, a on se nalazi u stranom magnetskom polju (polju koje stvara stator). Kod MJS se rotorski namotaj napaja mehaničkim kontaktom preko grafitnih četkica i komutatora.

Četkice se nalaze u držaču četkica koji je pričvršćen za stator. Svaku četkicu na komutator pritiska opruga radi ostvarenja što boljeg kontakta. Na vratilu se nalazi komutator na koji naležu četkice. Komutator ima izgled polisegmentnog prstena: čine ga segmenti (lamelle ili kriške) od tvrdog bakra izolovani međusobno i u odnosu na vratilo. Sa lamela polaze provodnici rotorskog namotaja. Komutator i četkice su osetljivi na mehanička i električna oštećenja što predstavlja slabu tačku motora jednosmerne struje.

Namotaj rotora je najsloženiji deo mašina jednosmerne struje. On je jedna koncentrična kontura od dva provodnika sa strujama suprotnih smerova ispod suprotnih polova pobude. U praksi, u cilju iskorišćenja raspoloživog prostora i nastojanja da se umanje pulsacije momenta a time i oblik elektromotorne sile približio idealnom jednosmernom naponu, umesto jednog navojka, rotor se gradi sa žlebovima sa provodnicima postavljenim po celom obimu!

Kroz sve provodnike ispod jednog pola protiču struje jednog smera, a kroz provodnike pod suprotnim polom suprotnog smera, što je zasluga komutatora i četkica! U svakom žlebu se obično nalazi veći broj provodnika! Prema načinu spajanja provodnika u žlebovima rotora postoje petljast i valoviti namotaj!

Razvijena šema namotaja rotora sa četiri žleba u kojima je smešteno osam provodnika P₁-P₂ i četiri lamele L₁-L₄:



4. Zašto se mašine jednosmerne struje veće snage nikada ne startuju direktnim priključenjem na jednosmernu mrežu. Da li to važi i za asinhronne motore?

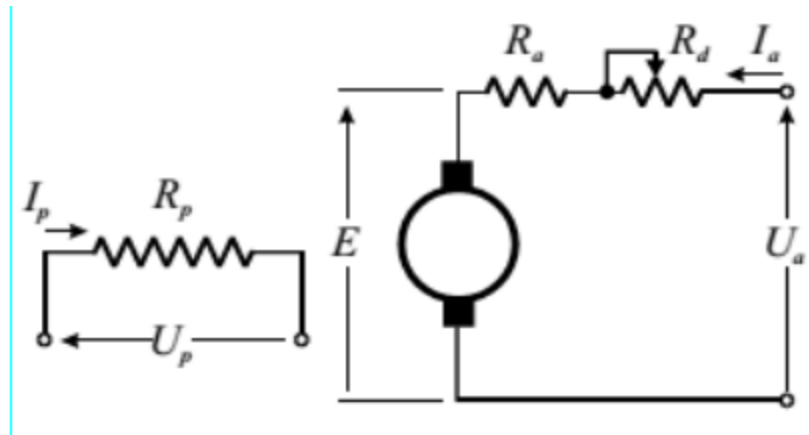
Puštanje motora jednosmerne struje iz stanja mirovanja je složen problem. Pošto se radi o nezavisno pobuđenom motoru onda je pre priključka strujnog kola indukta motor potrebno pobuditi punim fluksom ψ_{pn} , kako se ne bi pojavila mogućnost pobega (velikog povećanja brzine) motora usled slabog fluksa (postoji magnetska remanencija usled histerezisa ukoliko magnetsko kolo nije pre toga bilo nenamagnetisano). Dakle, tek kod potpuno pobuđenog motora (uspostavljena nominalna pobudna

struja), indukt se priključuje na napon izvora (jednosmerne mreže). Prilikom puštanja u rad u motoru se mogu javiti veoma velike struje, što se može videti iz jednostavne analize koja sledi.

U trenutku puštanja u rad imamo: $n=0 \rightarrow E=0$. Iz naponske jednačine motora $U_a = E + R_a I_a$ sledi

$I_a = \frac{U_a}{R_a} \gg I_n$. Dozvoljena polazna struja ograničena je vrednošću koju motor može da komutuje bez

varničenja ili dozvoljenim opterećenjem mreže odnosno priključaka za napajanje motora. Za ograničenje struje prilikom puštanja motora u rad koriste se specijalni otpori priključeni na red sa namotajem indukta. Oni su tako odabrani da struja pri puštanju u rad ne bude mnogo veća, npr. najviše dva puta, od naznačene. Otpornici za puštanje u rad mogu ponekad i da služe za regulisanje brzine obrtanja, ali tada moraju da trajno izdrže punu struju opterećenja motora. Ako služe samo za pokretanje, onda su dimenzionisani za kratkotrajni rad i kao takvi su znatno jeftiniji.



Drugi način puštanja u rad bi bio, da nakon uspostavljanja nominalne pobude u motoru, obezbedimo postepeno podizanje napona indukta. Često se za to koriste tiristorski ispravljači ili DC-DC pretvarači (čoperi).

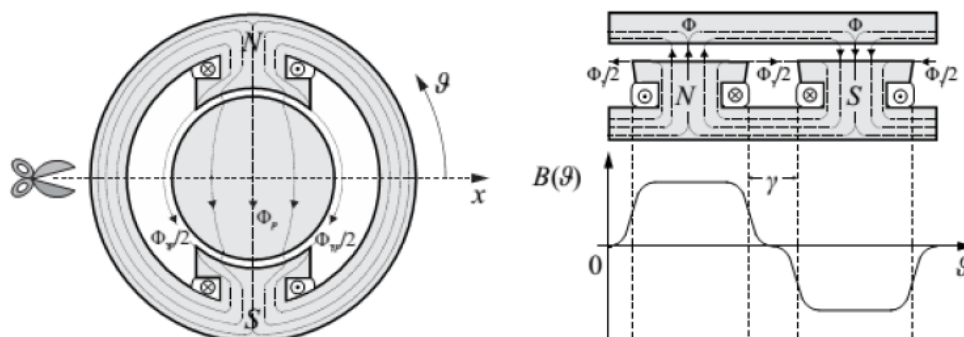
Kod motora manjih snaga relativne vrednosti otpora indukta su veće, tako da nije potrebno koristiti otpornike za puštanje u rad jer je struja puštanja neznatno veća od naznačene.

Asinhroni motor se može direktno povezati na mrežu, ali to će biti proračunato manjim ili većim strujnim udarima.

5. Objasniti princip rada mašine za jednosmernu struju sa nezavisnom pobudom za režim rada po izboru!

Princip rada mašine jednosmerne struje (MJS) pojednostavljeno se može objasniti na primeru generatora. Kada se kroz provodnike namotaja statora uspostavi jednosmerna struja, ona će stvoriti stalno magnetsko polje vektora indukcije B , odgovarajućeg polariteta, vezanog za smer struje po pravilu desne zavoynice. Ovo polje je periodično i funkcija je samo prostorne koordinate θ (položaja na obimu mašine).

Obrazuju se magnetski polovi, severni (N) i južni (S) pod kojima magnetska indukcija ima ekstremne i konstantne vrednosti!



Kada se pomoću neke pogonske mašine rotor obrće konstantnom ugaonom brzinom ω , u njegovim provodnicima, dužine aktivne stranice l , će se usled presecanja sa linijama zajedničkog magnetskog fluksa vektora indukcije Φ indukovati odgovarajuća elektromotorna sila, po **Faradejevom zakonu**:

$$e = Blv$$

Sa v je označena periferna brzina kretanja provodnika $v = \omega D/2$ gde je sa D označena dužina bočne veze navojka. Budući da je u prethodnoj jednačini samo magnetska indukcija $B(v)$ promenljiva, oblik e će biti isti kao i oblik magnetskog polja (indukcije B). Konture rasipnih flukseva $\Phi_{\gamma}/2$ oko rotorskog kola su takođe prikazane na istoj slici, ali ne utiču na pojave vezane za indukovanje u rotoru!

6. Da li je neophodno vršiti lameliranje gvozdenog jarma statora mašine jednosmerne struje? Objasniti.

Ne. Jaram statora kod MJS nije izlozen promenljivom magnetnom polju, konstantno je, stoga se u njemu ne stvaraju magnetni gubici. To se ipak radi iz tehnoloskih razloga.

7. Na koja dva načina je moguće izvršiti promenu smera obrtanja motora jednosmerne struje sa nezavisnom pobudom?

Možemo promeniti polaritet strujnog kola pri napajanju ili u namotajima polja. Druga opcija je da promenimo polaritet u namotaju armature.

Dodatno: Obrnuti smer motora će prouzrokovati da se ugljene četkice gurnu preko komutatora, suočavajući se sa većim trenjem nego u drugom smeru. Ovo može dovesti do bržeg trošenja ugljenih četkica i, ako se ne održavaju pravilno, može dovesti do oštećenja kritičnih segmenata komutatora, koji nisu zamenljivi.

8. Objasniti problematiku pokretanja mašina jednosmerne struje sa nezavisnom pobudom. Kako se problematika rešava.

Problematika pokretanja mašina jednosmerne struje sa nezavisnom pobudom se najbolje uočava razmatrajući jednačinu momentne karakteristike:

$$\omega = \frac{U_a}{\psi_p} - \frac{R_a}{\psi_p^2} M$$

Iz jednačine se vidi da, ako se mašina pokrene bez prvobitnog pobuđenja pobudnim fluksom ($\psi_p \cong 0$, skoro pa nula jer je moguće postojanje magnetne remanencije, ako je mašina već bila pokretana), sledi da rotaciona brzina teži beskonačnosti, što je problem i što znači da mašina može da se razleti. Dakle, slijedi da je prvobitno potrebno pobuditi motor nekim pobudnim fluksom (odnosno, pobudnom nominalnom strujom), pa tek onda priključiti namotaje indukta na jednosmjernu mrežu. Napomena je ta da struje indukta, odnosno struje armature, mogu dostići velike vrijednosti, te se u ublažavanju takvih efekata koriste specijalni otpori priključeni na red sa namotajem. Ovi otpornici mogu poslužiti i za regulaciju brzine, ali moraju biti sposobni da izdrže punu struju opterećenja napona.

9. Regulacija brzine mašine jednosmerne struje sa nezavisnom pobudom.
Prikazati grafičku zavisnost veličina brzine, struje pobude i priključnog napona rotora (armature). Opisati funkcionalnu zavisnost pomenutih veličina!

Opisano u pitanju 2.

10. Prema kom kriterijumu je izvršena podjela mašina jednosmerne struje? Navedite vrste mašina jednosmerne struje?

Podjela mašina jednosmjerne struje izvršena je prema konstrukciji statora - razlikuju se dva tipa:

- MJS sa namotajem na statoru
- MJS sa stalnim magnetima na statoru

Takođe, prema načinu spajanja namotaja pobude u odnosu na namotaj rotora (namotaj indukta), razlikujemo MJS:

- sa nezavisnom pobudom
- sa otočnom (paralelnom) pobudom
- sa rednom (serijskom) pobudom
- sa složenom pobudom

11. Energetski bilans mašine jednosmerne struje sa namotajem na statoru.

Gubici koji se pojavljuju u MJS su:

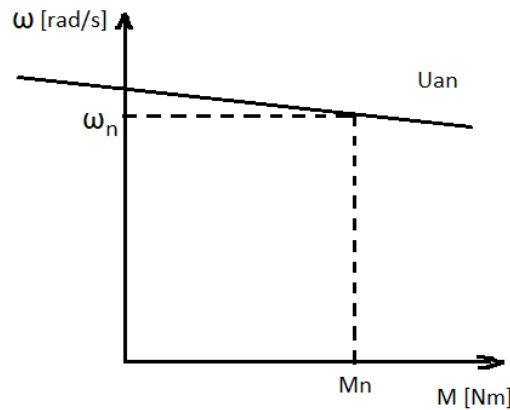
- **Gubici u namotajima statora** usljed proticanja jednosmjerne struje $P_{cus} = R_P I_P^2$.
Važno je napomenuti da ovakvih gubitaka nema ako stator kao pobudu koristi permanentne magnete
- **Gubici u namotajima rotora** usljed proticanja struje kroz rotorski namotaj $P_{cur} = R_A I_A^2$.
- **Mehanički gubici**, među kojima su trenje četkica o komutator, kao i ventiliranje u slučaju da je samoventilirajuća MJS
- **Gubici u magnetnom kolu rotora**, koji se javljaju usljed obrtanja rotora gdje se magnetno kolo presjeca sa linijama polja, kao i gubici na polnim nastavcima statora usljed pulsacije struje.
Napomena je da **gubici u gvožđu statora ne postoje** jer je polje kroz njega konstantno.

12. Opisati u kratkim crtama konstrukciju jedne tipične mašine jednosmerne struje?

Mašine jednosmjerne struje se grade iz dva dijela - **statora i rotora**.

- **Stator** se sastoji iz magnetnog kola, koje ima isturene polove, oko kojih se se motaju namotaji pobude. Namotaji se motaju na takav način da se po obimu naizmjenično smjenjuju sjeverni i južni pol. Kod mašina velikih snaga, obično se doda još polova, koji su uži i nalaze se između svaka dva glavna pola. Oni imaju ulogu smanjivanja iskrenja četkica. Iz tehnoloških razloga, ove mašine se rade od feromagnetskih limova (mada za to nema potrebe, gledano sa ugla fizike sistema).
- **Rotor** se sastoji iz magnetskog kola koje je cilindričnog oblika i izrađuje se od izolovanih feromagnetskih limova radi smanjivanja gubitaka usljed pojava vrtložnih struja. Ono po svom obimu ima žljebove u kojima su smješteni namotaji. Ovi namotaji se napajaju preko komutatora (prstena sačinjenog od više lamela) koji imaju kontakt sa grafitnim četkicama (koje pritiska opruga radi ostvarivanja što boljeg kontakta).

13. Ilustrovati momentnu karakteristiku nezavisno pobuđenog motora jednosmerne struje. Obrazložiti oblast njegove primene na osnovu oblika momentne karakteristike.



Momentna karakteristika MJS (mehanička karakteristika) predstavlja zavisnost brzine obrtanja rotora od elektromagnetskog momenta. Na slici iznad, karakteristika 1 predstavlja prirodnu (karakteristika koja se ima pri nominalnim uslovima napajanja motora U_{an} i Φ_{pn} bez dodatnih otpora u kolu rotora).

Nezavisno pobuđen motor jednosmerne struje se od svih vrsta MJS najčešće primenjuje u elektromotornim pogonima za upravljanje i regulaciju brzine obrtanja.

Brzina obrtanja pada sa porastom momenta opterećenja. Konstrukcijom se nastoji obezbediti da vrednost otpora $R \rightarrow 0$, što povlači na zaključak da se brzina obrtanja vrlo malo menja sa promenom opterećenja, tzv. „tvrda“ karakteristika. Pri smanjenju napona napajanja dolazi do translatornog pomeranja prirodne mehaničke karakteristike na niže, tj smanjuje se brzina obrtanja. Jedini nacin za povecanje brzine jeste smanjenje pobude (Φ_{pn}).

14. Objasniti ulogu komutatora i četkica kod mašina jednosmerne struje.

Da li su ovi delovi neophodni za funkcionisanje mašine? Objasniti.

Gotovo najvažniji dijelovi preko kojih se dovodi napon na armaturni namotaj jesu četkice i komutatori. Grafitne četkice naliježu na komutator, koji je sastavljen od više lamela. Razlog lameliranja komutatora jeste promjena smjera struje jednog namotaja, koji za posledicu ima da se dio namotaja konstantno nalazi pod istim magnetnim polom koje proizvodi i on sam, te tim magnetnim odbijanjem proizvodi rotacioni moment. Bez ovakve konstrukcije komutatora, mašina bi stala jer se faktički ne bi mijenjao magnetni polaritet.

15. Napisati jednačine stacionarnog stanja koje karakterišu rad mašine jednosmerne struje sa nezavisnom pobudom.

Za motorski režim rada, jednačina ravnoteže namotaja rotora (armature): $U_a = E + R_a I_a$

Naponska ravnoteža namotaja statora: $U_p = R_p I_p$

Obrazac za elektromagnetski momenat: $M = \psi_p I_a$

Obrazac za indukovanu elektromotornu silu u namotaju rotora: $E = \psi_p \omega$

Kombinacijom prethodne četiri jednačine dobijamo momentnu karakteristiku MJS sa

nezavisnom pobudom: $\omega = \frac{U_a}{\psi_p} - \frac{R_a}{\psi_p^2} M$

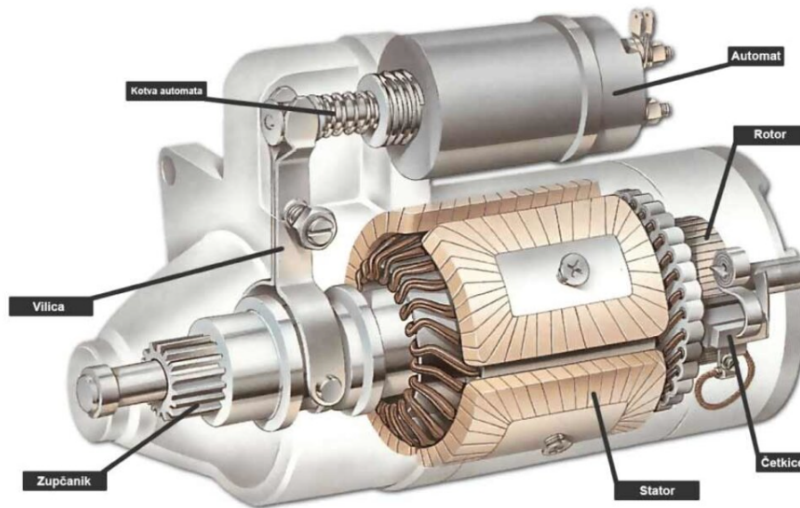
16. Objasniti zašto se mašine jednosmerne struje danas gotovo ne koriste kao generatori električne energije?

Razlog nekorišćenja MJS kao generatora jeste što postoje jeftinije, manje i pouzdanije izvedbe uređaja iste svrhe - ispravljači. Jedini izuzetak jesu mašine male snage koje služe kao davači brzine.

17. U kojoj vrstu električnih mašina spada anlaser? Gde nalazi primenu? Objasniti.

Elektropokretac (starter, anlaser) je uređaj kojim se pokrene SUS motor i omogućava da dalji rad nastavi samostalno. Potrebno je da se na anlaser dovede napajanje sa akumulatora. Maksimalna struja koju može da da akumulator je ona koja je potrebna anlaseru. Protokom te velike količine struje, cetkice koje su u kontaktu sa rotorom i statorom prouzrokuju okretanje rotora velikom brzinom i snagom. Na drugom kraju rotora nalazi se zupčanik koji klizi po osovinu samog rotora te se i on okreće. Taj zupčanik treba da zavrti zamajac od motora. Postoji neki deo koji gura ovaj zupčanik da bude u kontaktu sa zamajcem samo na kratak vremenski period tokom pokretanja motora.

Znaci, primenu pronalazi pri pokretanju motora sa unutrašnjim sagorevanjem (SUS).



18. Objasniti princip rada asinhronog motora.

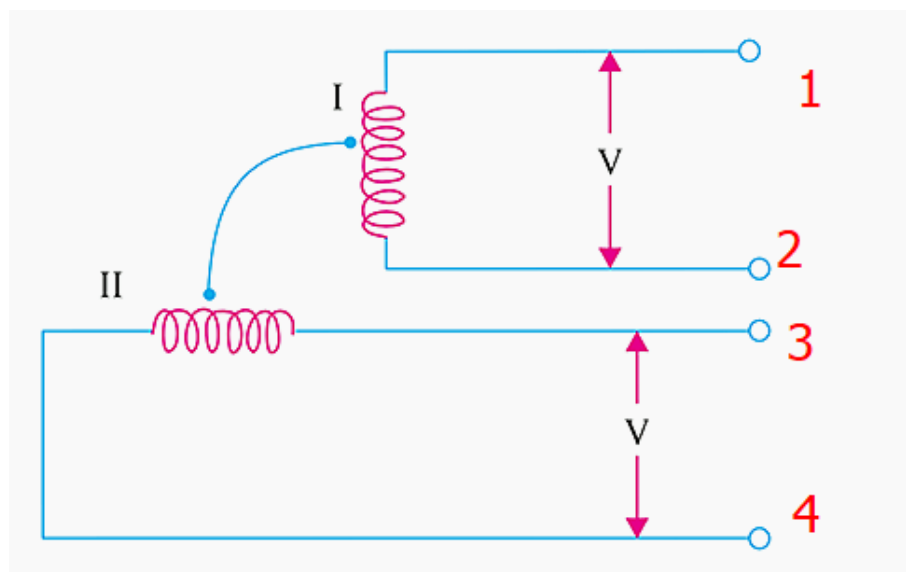
**uz ovo pitanje je trazio i jednacine koje opisuju rad asinhronog motora- struja, momenat, brzina..

Razmotrimo, u prvom slučaju, dva nasuprot postavljena namotaja na isturenim dijelovima statora. Kada propustimo istu prostoperiodičnu struju kroz oba namotaja (namotaji su vezani redno, zato je ista struja), dolazi do stvaranja spregnutog magnetnog polja. Kako je struja koju propuštamo prostoperiodična, to magnetno polje će mijenjati svoj polaritet, ali samo u smjeru x ose. Dodavanjem još dva nasuprot smještena isturena pola na statoru, pomjerena za ugao od $\frac{\pi}{2}$ od početna dva, kao i propuštanjem struje koja je fazno pomjerena za π od početne, dobijamo još jedno spregnuto magnetno polje, koje mijenja svoj polaritet u smjeru y ose. Vektorski, dva polja koja sada imamo se sabiraju i dobijamo rezultatno magnetno polje koje rotira.

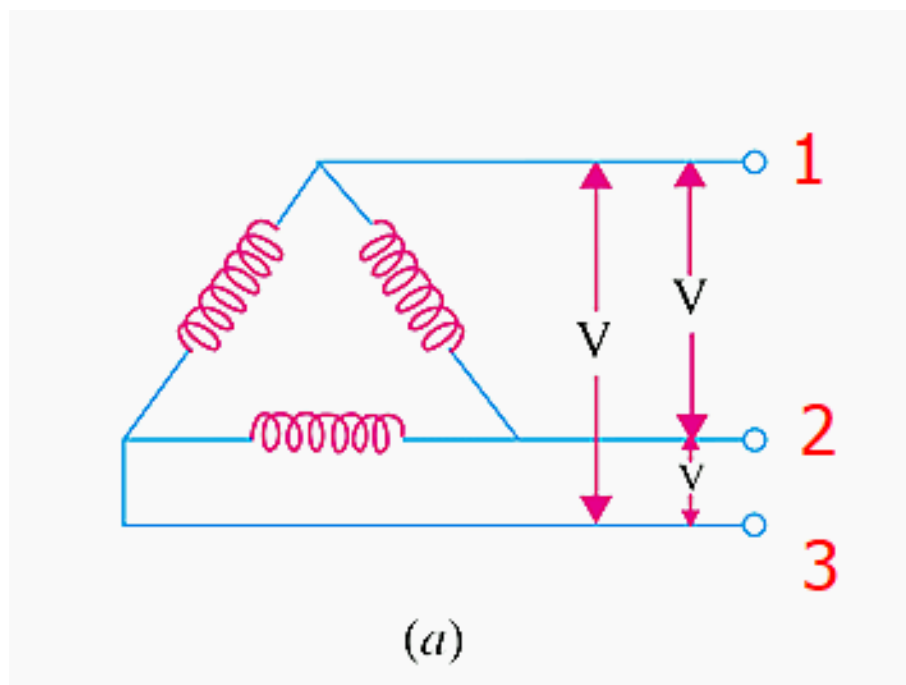
Asinhronne mašine se danas izrađuju sa šest isturenja na statoru (dakle, tri para), jer su trofazni sistemi ekonomski isplativiji (zahtjevaju tri žice, dok dvofazni zahtijevaju četiri). Tri para su fizički pomjerena za 120° , kao i njihove odgovarajuće prostoperiodične struje namotaja.

Logika sa tri para je ista, dakle obrazuju se tri magnetska polja koja se vektorski sabiraju u rezultatno magnetno polje koje se obrće. U to obrtno polje možemo staviti rotorski element, koji će se usljed indukovanja struje usljed prisustva promjenljivog magnetnog polja rotirati.

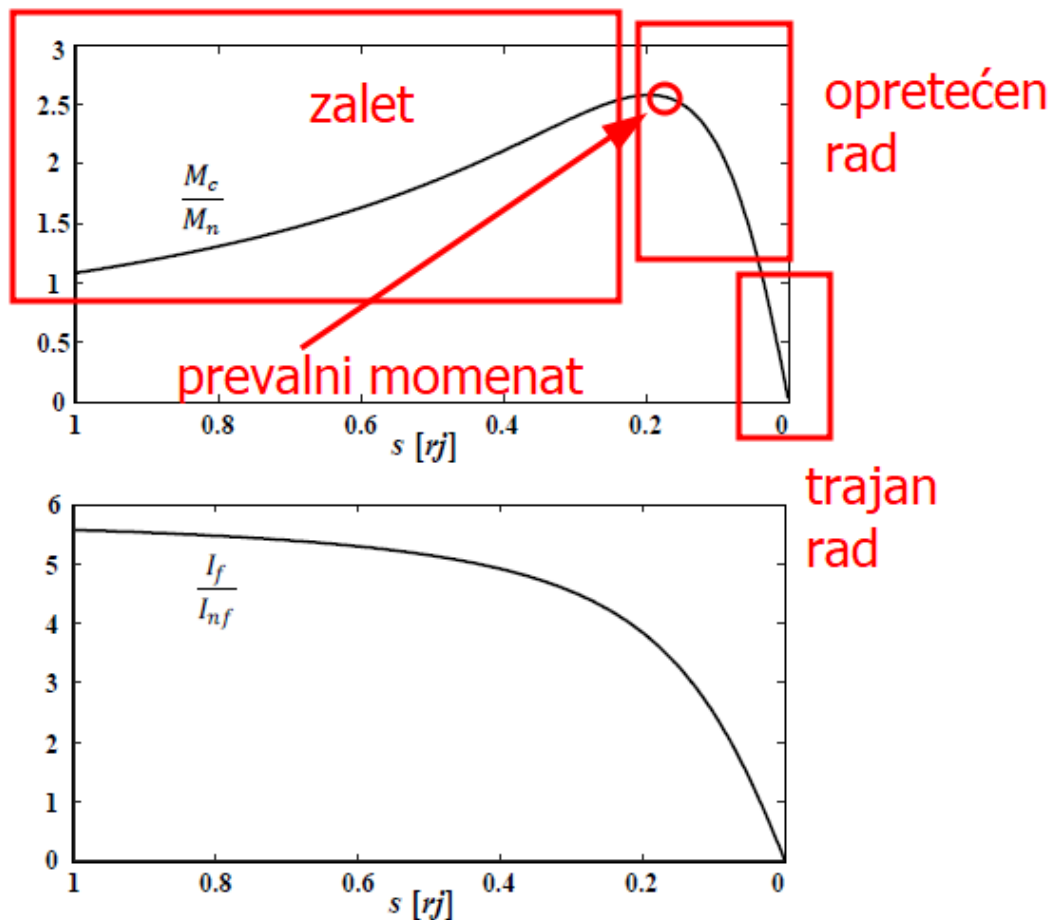
DVOFAZNI SISTEM SA ČETIRI ŽICE



TROFAZNI SISTEM SA TRI ŽICE



19. Nacrtati momentnu karakteristiku asinhronog motora sa kaveznim rotorom i obeležiti karakteristične tačke i zone rada!



Momentna karakteristika asinhronne mašine i zavisnost struje od klizanja

Pad klizanja, odnosno porast brzine rotora, dovodi do porasta elektromagnetnog momenta do vrijednosti prevalnog momenta, nakon koga momenat počinje opadati.

Na slici vidimo da je do vrijednosti momentne karakteristike od 1 (vrijednost kada je moment nominalan) dopušten trajni rad. Mašina može raditi u opterećenom modu rada, ali je bitno da je kratkotrajno, jer se indukuju ogromne struje. Poslije prevalnog momenta, u oblastima kada je klizanje veće od prevalnog, pored javljanja ogromnih struja, javljaju se i ogromna ubrzanja, odnosno veliki zaleti mašine.

20. Opisati rotor jednog asinhronog kaveznog motora?

Kod motora manjih snaga od aluminijuma, kod motora većih snaga izrađen od neizolovanih bakrenih štapnih provodnika. Provodnici se smještaju u žljebove ravnomjerno po cijelom spoljašnjem obodu rotora i na krajevima kratko spajaju prstenovima. Ovakva konstrukcija izgledom podsjeća na kavez. Rotor

nema mogućnost spoljasnog električnog pristupa. Ovako formiran namotaj suštinski predstavlja n - fazni namotaj koji se u analizama poistovjećuje trofaznim.

Osnovni problemi ovakvog rotora jesu loše polazne karakteristike.

21. Zašto su asinhroni motori potisnuli motore jednosmerne struje u industriji?

Prvenstveno zbog manje cijene izrade, jednostavnosti konstrukcije, manjeg momenta inercije, robustnosti, pouzdanosti u radu, lakog održavanja.

22. Koji uslovi moraju biti ispunjeni da bi se jedan asinhroni motor mogao startovati upuštačem zvezda – trougao (u smislu njenog mehaničkog opterećenja)?

Potreban je uslov da uređaj ne traži veliki polazni momenat, jer momenat u zvezda sprezi je tri puta manji od momenta u trougao sprezi.

23. U čemu je konstruktivna razlika između asinhronne mašine sa kaveznim i namotanim rotorom? Šta se može postići i na koji način, prilikom startovanja kliznokolutnih asinhronih motora u odnosu na asinhronne kavezne?

Namotaj rotora kliznokolutnih asinhronih motora je trofazni, kod mašina manjih snaga spregnut u zvezdu, dok kod mašina velikih snaga, spregnut u trougao. Slobodni krajevi rotora su spojeni na tri metalna klizna koluta, izolovana međusobno. Po tri klizna koluta (za svaku fazu ponaosob) klize dirke (četkice) koje su fiksirane za stator i čiji su priključci izvedeni na stator. Na ovaj način je omogućen električni pristup rotorskom namotaju, što je razlika sa kaveznim rotorom, kod koga je to nemoguće.

Asinhronne mašine sa namotanim rotorom imaju dobre karakteristike što se tiče pokretanja, jer posjeduju zaseban otpornik koji služi za puštanje u rad. Pomoću tog otpora omogućeno je razvijanje velikih polaznih momenata pri manjim polaznim strujama. Ovakvu tehniku ne možemo primijeniti na kavezne rotore jer nemamo mogućnost električnog pristupa rotoru.

24. Čim se karakteriše pogonsko stanje praznog hoda i kratkog spoja jedne rotacione električne mašine?

- **Prazan hod asinhronog motora** - stanje motora u kome mu je vratilo neopterećeno. Struje statora mogu iznositi od 20% do 80% vrijednosti nazivne struje. Kako vazdušni prostor između rotora i statora nije kvalitetan "provodnik" u magnetnom smislu, kao i

Činjenica da rotor nema sopstveno napajanje, potrebne su ogromne struje kako bi se indukovalo dovoljno jako magnetno polje koje dopire do rotora i pokreće ga. Pošto je ovo magnetno polje uvijek neophodno za rad mašine, postoje konstantni gubici reaktivne energije, te je potrebna kompenzacija.

- **Kratak spoj asinhronog motora** - režim u kojem vratilu mašine mehanički nije dozvoljena rotacija. Kako rotor vidi punu sinhronu brzinu obrtaja magnetnog polja, u njemu se indukuje EMS, odnosno struja koja kontradindukuje EMS, odnosno struje u statorskom namotaju. Ovo znači veće povlačenje struje iz mreže, koja može dostići vrijednost od 4 do 8 puta veće od nazivne. Pošto je rotor zakločen, sva snaga proizvedena u rotorskom namotaju, kao i u statorskom, troši se kroz Džulove gubitke.

25. Objasniti princip rada asinhronog motora.

Isto kao 18. pitanje

26. Kolika je struja prilikom direktnog priključenja trofaznog asinhronog motora na mrežu (izraženo u procentima nazivne struje)? Od čega zavisi dužina trajanja ove struje? Da li je njena pojava nepovoljna i zašto?

Velike struje pokretanja, obično 5 -8 puta veće od nazivnih. Ove struje izazivaju visoka zagrijavanja i velike padove napona mreže, što može štetno uticati na druge uređaje vezane u mreži. Ovakve struje opadaju kako se mašina obrće brzinom bliskoj sinhronoj brzini obrtanja rotacionog magnetnog polja. Dužina trajanja zavisi od opterećenosti mašine.

27. Kako se vrši promena smera obrtanja asinhronog motora?

Promena smjera obrtanja trofaznog asinhronog motora se vrši zamjenom mjesta priključaka između dvije faze napajanja. Na taj način mijenjamo smjer obrtnog polja, koji povlači to da i rotor mijenja smjer obrtanja jer želi da izjednači svoju brzinu sa brzinom magnetnog polja.

28. Koja je svrha dodavanja kondenzatora na red sa namotajem pomoćne faze kod jednofaznih asinhronih motora?

Svrha dodavanja kondenzatora je izazivanje kašnjenja između faza, što doprinosi stvaranju obrtnog magnetskog polja.

29. Čime se karakteriše rad trofaznog asinhronog motora u situaciji kada dođe do prekida jednog napojnog faznog provodnika?

Ako dođe do prekida jednog napojnog faznog provodnika tokom rada motora, motor će nastaviti rotaciju, ali će raditi uz snažne vibracije i buku, a struje statora će se povećavati. Trofazni motor se ne može startovati monofazno, jer neće postojati obrtno magnetno polje, već pulsirajuće (odnosno, teče ista struja kroz namotaje, bilo oni prethodno konfigurisani kao trougao ili zvezda). U takvoj situaciji, javljaju se velike struje rotora.

30. Navesti i objasniti dva najčešće korišćena načina kojima se ostvaruje promene brzine obrtanja kod asinhronog motora?

- **Promjena broja pari polova** - ona ne može obezbjediti kontinualnu promjenu brzine, već diskretnu, i to dvije do tri različite brzine. Realizuje se na nekoliko načina - stavljanjem nekoliko nezavisnih namotaja statora sa različitim brojem pari polova (broj polova direktno utiče na brzinu obrtanja polja, kao i na brzinu obrtanja rotora) ili postavljanjem jednog namotaja čiji se odvojci izvode do prebacača. Ovakav način regulisanja može se primjeniti samo kod kaveznih rotora koji se svakako prilagođavaju statorskim namotajima, dok bi za kliznokolutne rotore bilo potrebno fizički dodati još namotaja, što je često skupo. Čest u dizaličnim elektromotornim pogonima.
- **Promjena frekvencije učestalosti** - našla primjenu razvojem energetske elektronike. Ide u paru sa istovremenom promjenom napona napajanja, što će zadržati vrijednost maksimalnog momenta, promjena brzine će biti kontinualna i u širokom opsegu. Koristi se standardan motor sa kratkospojenim rotorom.

31. Na koje načine se može sprečiti pojava velikih polaznih struja prilikom direktnog priključenja trofaznog asinhronog motora na mrežu?

- Ako je u pitanju trofazni asinhroni motor sa kliznokolutnim namotajem, dodavanjem dodatnog otpornika smanjujemo intenzitet polaznih struja
- Ako je u pitanju trofazni asinhroni motor sa kratkospojenim, odnosno kaveznim rotorom, primjenom dodatnih uređaja koji se priključuju redno između statora i mreže

32. Energetski bilans asinhronog motora kaveznim rotorom.

1. **Gubici u trofaznom namotaju statora** - usljed proticanja naizmjenične struje, javljaju se gubici u bakru statora, $P_{Cu1} = 3R_S I_S^2$
2. **Gubici u magnetnom kolu statora** - magnetno kolo je izloženo promjenljivoj magnetnom polju, te se javlja pojava histerezisa i vrtložnih struja (P_{Fe})

3. Gubici u ekvivalentnom trofaznom namotaju rotora - gubici koji se javljaju usljed indukovanja EMS u bakru rotora (dakle, proticanja struje), $P_{Cu2} = 3R_R I_R^2$

4. Mehanički gubici - usljed trenja o vazduh i ventilacije (P_f)

Snaga obrtnog elektromagnetnog polja jednaka je razlici uzete (dovedene) snage iz mreže (P) i gubitaka u gvožđu i namotajima statora, $P_{em} = P - P_{Cu1} - P_{Fe} = P_{meh} + P_{Cu2}$, gdje je P_{meh} ukupna mehanička energija na vratilu mašine.

Korisna (mehanička) snaga na vratilu mašine jednaka je razlici ukupne mehaničke snage i mehaničkih gubitaka usljed trenja i ventilacije, $P_2 = P_{meh} - P_f$.

33. Definirati klizanje rotora asinhronne mašine. Koliki je red veličine klizanja normalnom opsegu rada asinhronne mašine?

Klizanje motora je pojava odstupanja brzine obrtanja rotora od brzine obrtanja statorskog polja. Klizanje definišemo na dva načina:

1. Apsolutno klizanje - razlika između brzine statorskog polja (teorijske brzine praznog hoda rotora) i stvarne brzine obrtanja rotora, $\omega_k = \omega_s - \omega_m$

2. Relativno klizanje - procentualno odstupanje brzine rotora od brzine statorskog polja,

koje se označava sa s , $S = \frac{n_s - n_m}{n_s} (n - \text{obrta u minuti})$.

U normalnim opsezima, kod dobro konstruisanih asinhronih mašina, kod motora manjih snaga klizanje je 3 — 8%, dok kod motora velikih snaga 1 — 3%.

34. Napisati izraz za izračunavanje brzine obrtanja obrtnog polja asinhronne mašine? Koji su potrebni uslovi za formiranje obrtnog (Teslinog) polja?

Obrtno polje rotira tzv. sinhronom brzinom, koja se računa kao $n_s = \frac{60f_e}{p}$, gdje

- 60 stoji zbog konverzije iz sekundi u minute,
- f_e je frekvencija mreže (50Hz u zemljama van SAD, 60Hz u SAD) i
- p - broj pari polova.

Broj pari polova p	Broj magnetskih polova $2p$	Sinhrona brzina $n_s [o/min]$
1	2	3000
2	4	1500
3	6	1000
4	8	750

Uslovi za formiranje obrtnog magnetnog (Teslinog) polja su postojanje dva ili više parova polova, gdje je svaki pol razmaknut od sledećeg za ugao od $\frac{\pi}{p}$ na kojima su namotani namotaji kroz koje se propuštaju **naizmjenične** struje, gdje važi da je struja svakog sledećeg para fazno pomjerena za $\frac{2\pi}{p}$ od prethodnog.

35. Dati formulu za brzinu obrtanja asinhronne mašine. Komentarisati u skladu sa formulom kako se može regulisati brzina obrtanja asinhronne mašine. Koji je danas najviše u upotrebi?

Brzina obrtanja asinhronne mašine:

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

Regulaciju brzine možemo izvršiti promjenom frekvencije, broja pari polova ili promjenom klizanja. Danas, sa razvojem energetske elektronike, najviše u upotrebi jeste regulacija frekvencije, koja se izvodi sa istovremenom promjenom napona napajanja.

36. Gubici u gvožđu kavezne asinhronne mašine? Zašto nastaju i gde?
Zašto su gubici u gvožđu skoncentrisaniji u magnetnom kolu statora nego rotora?

Gubici u magnetnom kolu postoje samo u onim delovima feromagnetika koji su prožeti promenljivom magnetnom indukcijom. Obrtno polje prožima feromagnetik statora i rotora. U feromagnetiku je vremenski promenljiva indukcija. Gubici u feromagnetiku imaju dva dela, to su gubici usled vrtložnih struja koji zavise od kvadrata učestanosti i gubici usled histerezisa koji zavise linearno od učestanosti.

Magnetno kolo rotora je prožeto magnetnim poljem čija je učestanost srazmerna klizanju tj. u trajnom radu ona iznosi samo par herca. Zbog male učestanosti magnetnog polja u feromagnetiku rotora, opravdano je zanemariti gubitke u gvožđu rotora. Jedan od režima u kome se gubici u gvožđu rotora ne

mogu zanemariti je polazak asinhronog motora iz stanja mirovanja priključenjem na napajanje, kada je učestanost rotorskih veličina jednaka učestanosti statorskog napona.

37. Objasniti problematiku puštanja u rad asinhronog motora.

Problematika puštanja u rad asinhronog motora ogleda se u velikim vrijednostima polazne struje i polaznog momenta. Kako pri pokretanju rotor miruje, vidjeće obrtno polje pune sinhronne brzine obrtanja koje će u njemu indukovati EMS, odnosno struje učestanosti sinhronne brzine obrtanja. Struje na rotoru indukuju sopstveno magnetno polje koje se suprotstavlja obrtnom magnetnom polju i koje utiče na statorske namotaje u kojima se sada pojavljuju nove EMS, odnosno struje indukovane od strane rotorskog magnetnog polja. To znači da će biti potrebno povlačenje veće struje iz mreže radi uspostavljanja novog stanja ravnoteže, kao reakciju na novonastale indukovane struje. Ovakve pojave mogu izazvati visoka zagrijavanja namotaja motora, kao i visoke padove napona koji mogu negativno uticati na ostale elemente u mreži.

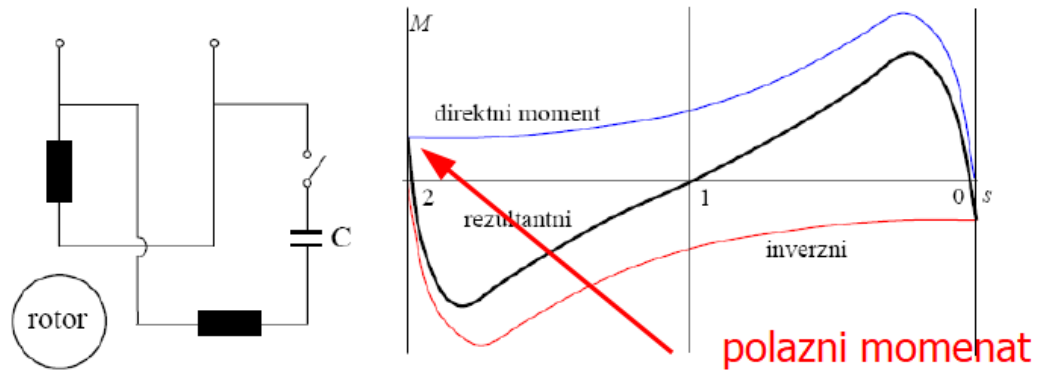
38. Zašto se asinhrona mašina u izuzetno retkim slučajevima koristi kao generator električne energije?

Za generatorski režim rada važiće da je brzina obrtaja rotora veća od sinhronne brzine statorskog polja, što će značiti da se u rotoru indukuju takve struje koje daju momenat suprotnog smjera momenta rotacije rotora. Značajan dio tih struja odlazi na stvaranje magnetnog polja koje je suprotnog smjera rotacije od statorskog polja, jer sam rotor teži da postigne sinhronu brzinu jer tada ne vidi promjenu magnetnog polja (dakle, želi usporiti jer se kreće brže od brzine rotacije statorskog polja). To je mana - potrošnja reaktivne energije.

39. Opisati konstrukciju statora jednofaznog asinhronog motora.

Jednofazni asinhroni motor sastoji se od kaveznog rotora (koji je isti kao i kod trofazne mašine) i od statora. Namotaj statora se sastoji iz dva dijela - glavne faze smještene u $\frac{2}{3}$ ukupnog broja žljebova i pomoćne faze smještene u preostalim $\frac{1}{3}$ žljebova, koji su u odnosu na glavnu fazu pomjereni za 90 stepeni. Pošto je za stvaranje obrtnog magnetnog polja potrebno vremensko kašnjenje između struja faza, sa pomoćnom fazom se redno veže kondenzator, koji izaziva to kašnjenje. Pomoćna faza je priključena pri zaletanju mašine, dok mašina ne ostvari 70 do 80% sinhronne brzine, pri čemu se onda ona isključuje.

40. Nacrtati momentnu karakteristiku jednofazne asinhrone mašine.
Očitati vrednost polaznog momenta sa karakteristike.



Jednofazni asinhroni motor sa zaletnim kondenzatorom i njegova momenta kka