

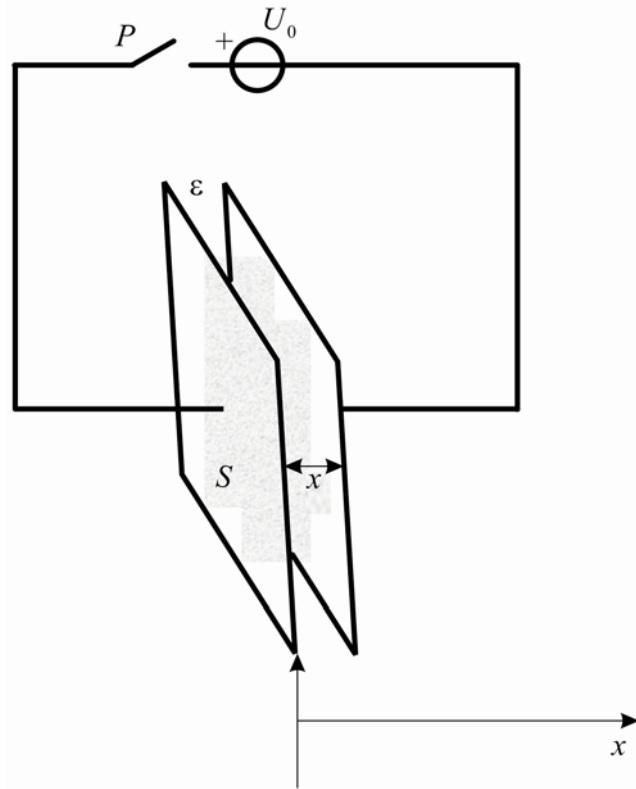
Električne mašine

Računske vežbe

PRVI DEO

1. zadatak

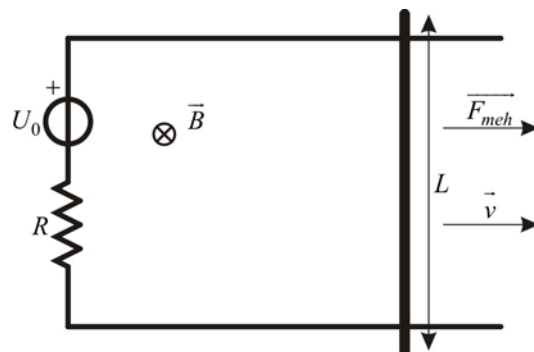
Elektrostatički pretvarač je načinjen u formi pločastog kondenzatora (vidi sliku). Površina njegovih elektroda je S a rastojanje između njih x (smatrati da je rastojanje x mnogo manje od dimenzija ploča, kao i da je polje između ploča homogeno). Između ploča se nalazi homogeni dielektrik relativne permitivnosti ϵ_r . Jedna elektroda kondenzatora je nepokretna dok se druga može pomerati. Elektrode kondenzatora su preko prekidača P vezane za generator konstantnog napona U_0 . Prekidač je bio zatvoren toliko dugo da se u kolu uspostavi stacionarno stanje.



- Ako se pokretna elektroda pomeri tako da se rastojanje između ploča poveća za Δx , odrediti:
 - količinu energije ΔW_i koju u tom procesu preda izvor stalnog napona U_0 ,
 - iznos promene energije električnog polja, ΔW_e ,
 - izvršeni mehanički rad, ΔW_{meh} ,
 - kako se u toku kretanja elektrode menja sila koja deluje na svaku od ploča, $F(x)$.
- Ponoviti izračunavanje iz tačke a) ali pod pretpostavkom da je pre pomeranja ploče kondenzatora trajno otvoren prekidač P .

2. zadatak

Na slici pored su prikazane dve nepokretne šine po kojima može klizati pokretni provodnik dužine L . Sistem se nalazi u stranom homogenom polju magnetske indukcije B , čije su linije normalne na ravan šina. Na jednom kraju, šine su priključene na izvor stalnog napona U_0 . Unutrašnja otpornost izvora je R . Otpornosti šina i provodnika su zanemarive, dok se provodnik može kretati

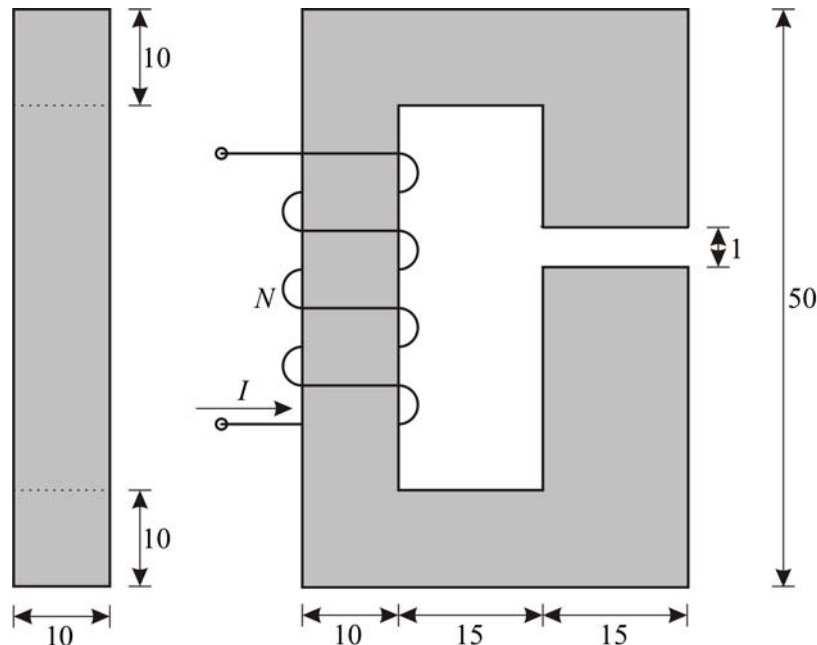


bez trenja. Na provodnik deluje spoljašnja sila F_{meh} u pravcu i smeru koji je prikazan na slici. Ako se provodnik kreće konstantnom brzinom v , odrediti:

- Elektromotornu silu naponskog izvora U_0 ,
- Snagu izvora P_i i snagu električnih gubitaka u kolu, P_{γ_e} , kao i snagu elektromehaničkog pretvaranja, P_{em} .

3. zadatak

Jezgro magnetskog kola prikazano je na slici. Jezgro je načinjeno od linearnog feromagnetskog materijala, konstantne relativne permeabilnosti $\mu_r = 1000$. Dimenzije jezgra i procepa su označene na slici, a date su u milimetrima. Na jezgru je namotano $N=300$ navojaka, u kojima postoji struja $I=1\text{A}$.

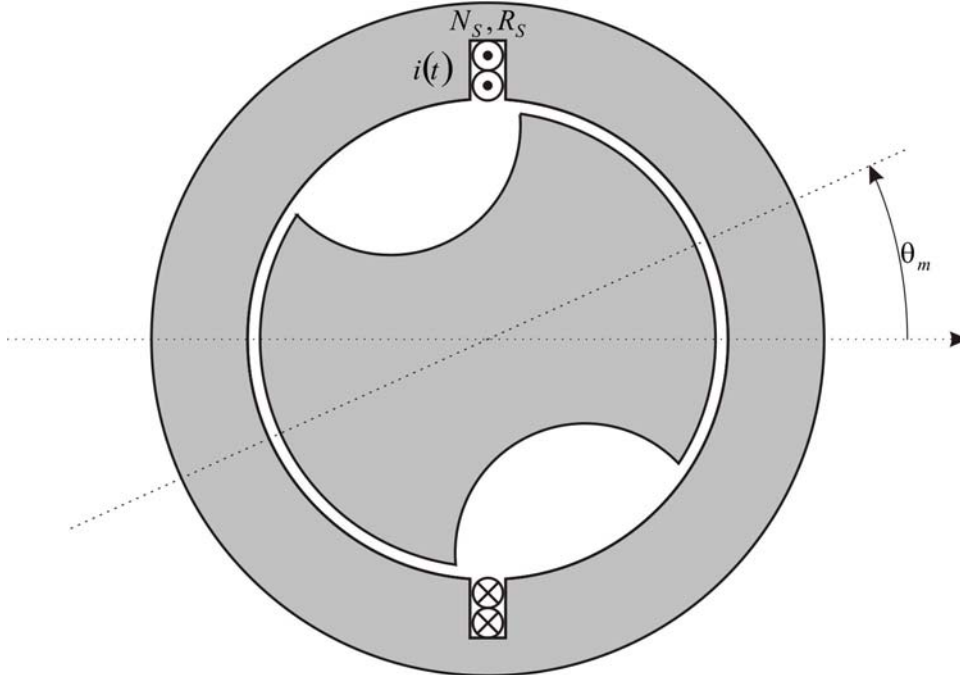


Smatrajući da je magnetsko polje u magnetskom kolu homogeno:

- Izračunati ukupnu magnetsku otpornost ovog kola, R_{μ} .
- Za vazdušni procep, uži i širi deo magnetskog jezgra odrediti vrednost magnetske indukcije (B_0 , B_1 , B_2), kao i jačinu magnetskog polja (H_0 , H_1 i H_2).
- Izračunati fluks po poprečnom preseku jezgra, Φ i fluks namotaja, Ψ .
- Izračunati ukupnu magnetsku energiju akumulisanu u vazdušnom procepu, $W_{m,0}$ i feromagnetskom materijalu, $W_{m,fe}$.

4. zadatak

Na slici je prikazan poprečni presek elektromehaničkog pretvarača cilindričnog oblika koji poseduje samo jedan namotaj na nepokretnom delu (statoru). Ovaj namotaj ima N_S navojaka i njegova otpornost je R_S . Rotor ovog pretvarača je načinjen tako da njegova magnetska otpornost zavisi od pravca koje ima posmatrano magnetsko polje.



Kao posledica toga, induktivnost statorskog namotaja se prostoperiodično menja između maksimalne vrednosti L_{\max} i minimalne vrednosti L_{\min} :

$$L_S(\theta_m) = \frac{L_{\max} + L_{\min}}{2} + \frac{L_{\max} - L_{\min}}{2} \cdot \cos(2 \cdot \theta_m)$$

Statorski namotaj se napaja iz kontrolisanog izvora strujom $i(t) = I_m \cdot \cos(\omega_i \cdot t)$, pri čemu je $\omega_i > 0$. Rotor se obrće konstantnom brzinom $\Omega_m = d\theta_m / dt$, u smeru suprotnom od smera kazaljke na satu ($\Omega_m > 0$), tako da se ugao $\theta_m(t)$ prikazan na slici menja po zakonu $\theta_m(t) = \Omega_m \cdot t - \delta$, pri čemu je δ položaj rotora u trenutku $t = 0$. Podrazumevajući stacionarni radni režim:

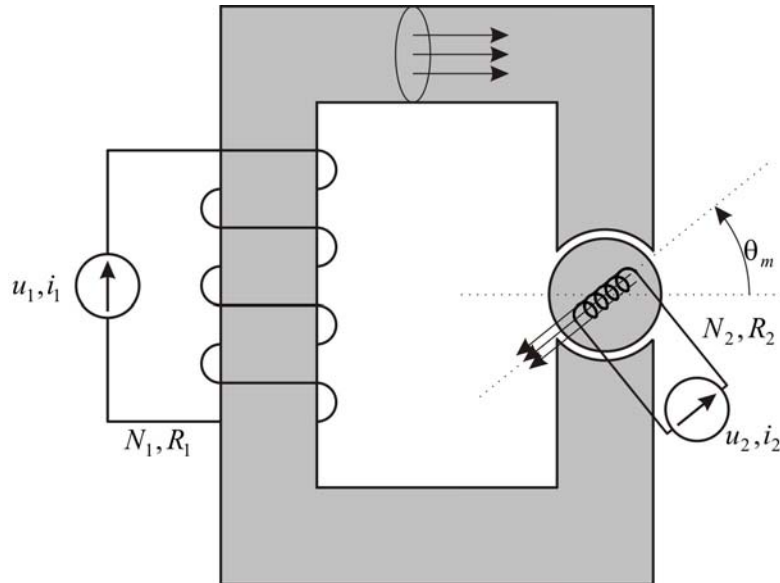
- a) Izvesti izraz za trenutnu vrednost momenta, $m(t)$ i na osnovu toga odrediti uslov postojanja nenulte srednje vrednosti elektromagnetskog momenta.

Ako se pretpostavi da su u analiziranom radnom režimu uspostavljeni uslovi određeni u tački a), odrediti:

- b) Srednju vrednost elektromagnetskog momenta, M_{sr} ,
c) Vremensku zavisnost napona na krajevima statorskog namotaja, $u(t)$,
d) Srednju snagu elektromehaničkog pretvaranja, P_{em} i srednju snagu kontrolisanog izvora, $P_{i, sr}$.

5. zadatak

Na slici je prikazan dvostrano napajani elektromehanički pretvarač.

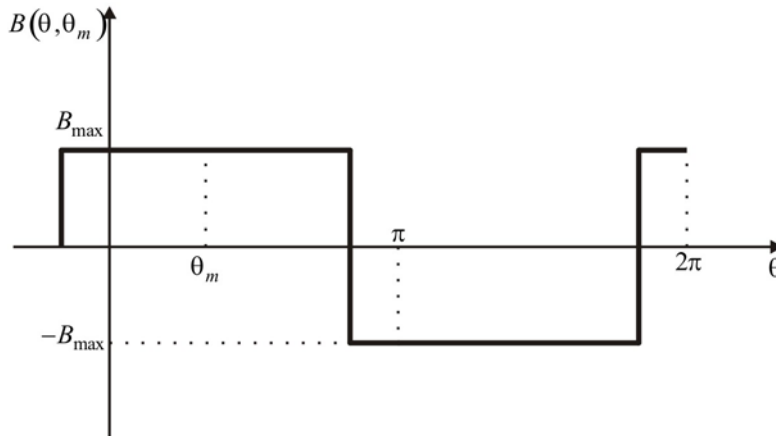


Pokretni deo pretvarača (rotor) se obrće ugaonom brzinom $\Omega_m = 50 \cdot \pi$ rad/s, u smeru suprotnom od smera kazaljke na satu. Namotaj na nepokretnom delu (statoru) se napaja iz kontrolisanog izvora prostoperiodičnom strujom: $i_1(t) = 4 \cdot \cos(50 \cdot \pi \cdot t)$ [A], dok u namotaju rotora postoji konstantna struja $i_2(t) = 10$ A. Sopstvene induktivnosti statorskog i rotorskog namotaja su konstantne i iznose, redom: $L_1 = 0.1$ H i $L_2 = 0.04$ H. Međusobna induktivnost između dva namotaja zavisi od položaja rotora na sledeći način: $L_{12}(\theta_m) = 0.05 \cdot \sin(\theta_m(t))$, gde je θ_m ugao koji je prikazan na slici. Poznato je da u trenutku $t=0$, u kom započinje posmatranje ovog sistema, ugao θ_m ima vrednost $\theta_m(0) = \pi/3$. Otpornosti statorskog i rotorskog namotaja iznose, redom: $R_1 = 1 \Omega$ i $R_2 = 2 \Omega$.

- Odrediti trenutnu vrednost elektromagnetskog momenta, $m(t)$, koji deluje na pokretni deo pretvarača.
- Odrediti srednju vrednost momenta, M_{sr} , kao i srednju vrednost snage elektromehaničkog pretvaranja, P_{em} .
- Odrediti trenutnu vrednost napona na krajevima statorskog namotaja, $u_1(t)$.
- Odrediti srednju vrednost snage koja se preko statorskih priključaka predaje pretvaraču, $P_{i,sr}$.

6. zadatak

Cilindrična mašina, dužine L , se sastoji od pokretnog dela (rotora) i nepokretnog dela (statora). Rotor je napravljen od permanentnog magneta (vidi slike) čiji je prečnik, D , mnogo veći od širine zazora, δ . Kao posledica dejstva permanentnog magneta na rotoru, u zazoru se ima magnetska indukcija čija je raspodela po obimu zazora prikazana na Sl. 1

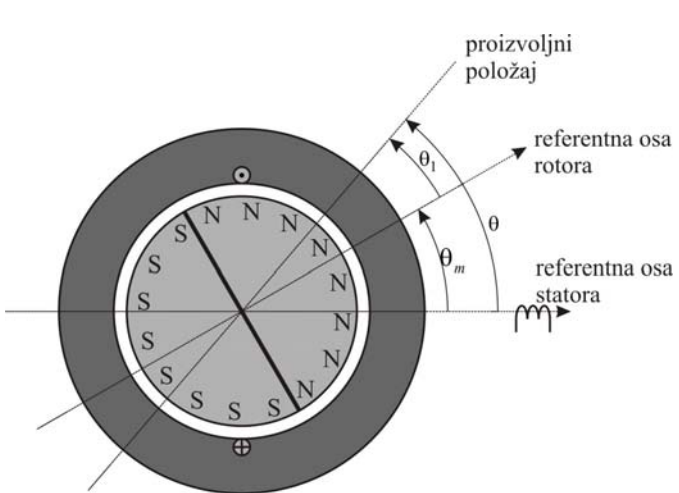


Slika 1

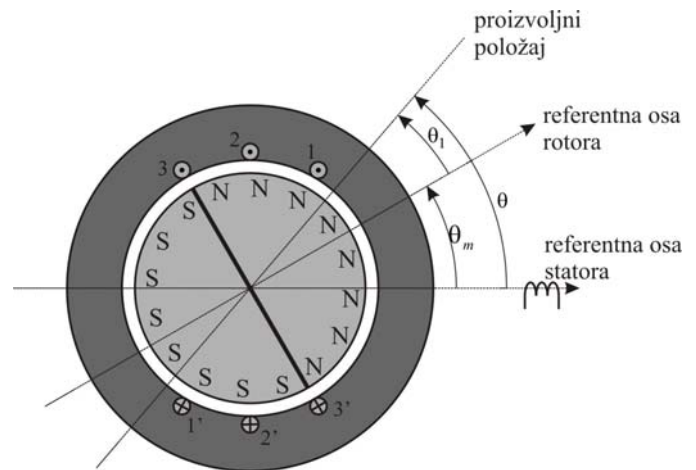
Rotor se obrće konstantnom brzinom Ω_m u smeru suprotnom od smera kazaljke na satu. Na statoru se nalazi namotaj koji se sastoji od:

- Jednog navojka (slika 2).
- Tri redno vezana navojka, međusobno pomerena za 30° (slika 3).

Priključci statorskog namotaja su otvoreni (ima se nulta vrednost statorske struje). Pretpostavljajući da je položaj rotora u početnom trenutku $\theta_m(t=0)=0$, odrediti i nacrtati vremensku promenu elektromotorne sile indukovane u statorskom namotaju, $e(t)$, na vremenskom intervalu koji odgovara jednom obrtaju rotora.



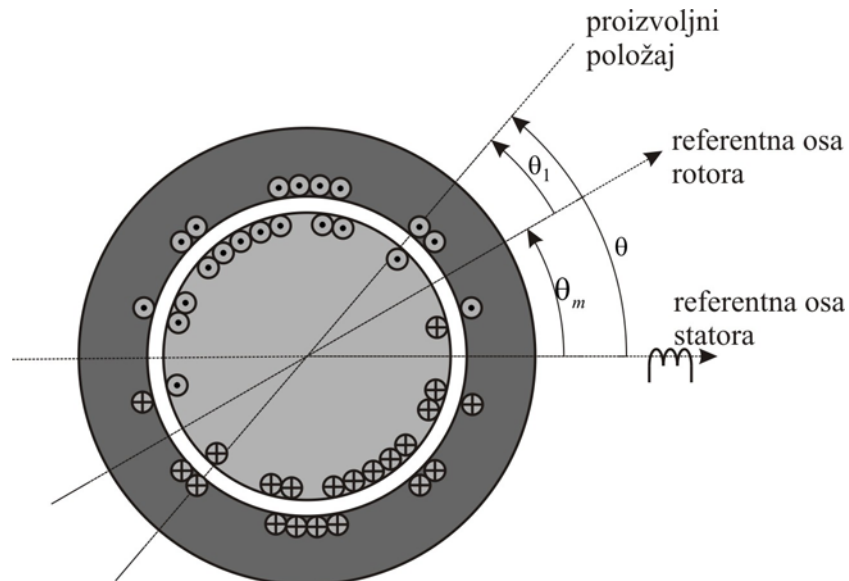
Slika 2.



Slika 3

7. zadatak

Cilindrična mašina dužine L , sa rotorom čiji je prečnik D znatno veći od vazdušnog zazora δ između statora i rotora, poseduje jedan namotaj na rotoru u kome postoji konstantna struja I_r . Provodnici ovog namotaja su distribuirani po obimu mašine tako da se podužna gustina provodnika (t.j. broj provodnika po jedinici dužine duž obima cilindrične površine koja deli rotor i vazdušni zazor) može modelovati kao $N'_r(\theta_1) = N'_{r,\max} \cdot \sin(\theta_1)$, gde je θ_1 ugaono rastojanje posmatrane tačke od ose rotorskog namotaja. Pored rotorskog, mašina poseduje i statorski namotaj čiji su priključci otvoreni. Permeabilnost feromagnetskog materijala od kojeg je načinjeno magnetsko kolo statora i rotora se može smatrati beskonačno velikom. Pretpostaviti da u zazoru postoji samo radialno polje te da se tangencijalna komponenta u svemu može zanemariti.

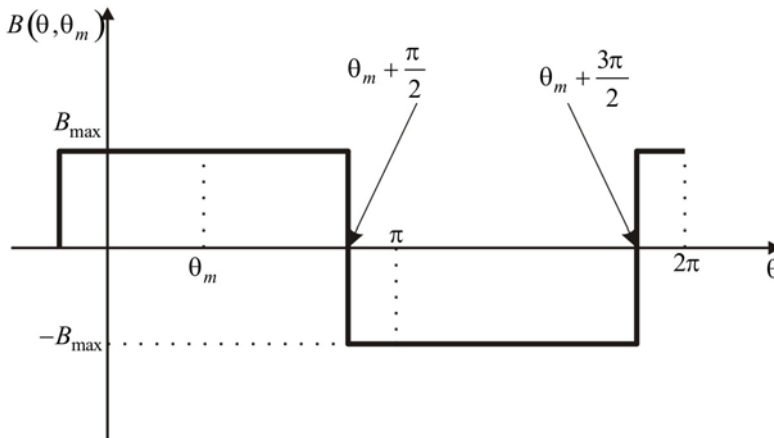


a) Odrediti izraz za prostornu raspodelu magnetne indukcije u zazoru, $B(\theta, \theta_m)$, u funkciji ugaonog pomeraja θ_m koji se ima između osa rotorskog i statorskog namotaja. Zatim odrediti magnetsku energiju, W_m , akumulisanu u zazoru i na osnovu toga **proceniti** maksimalni moment, M_{\max} , koji ovakva mašina može da razvije.

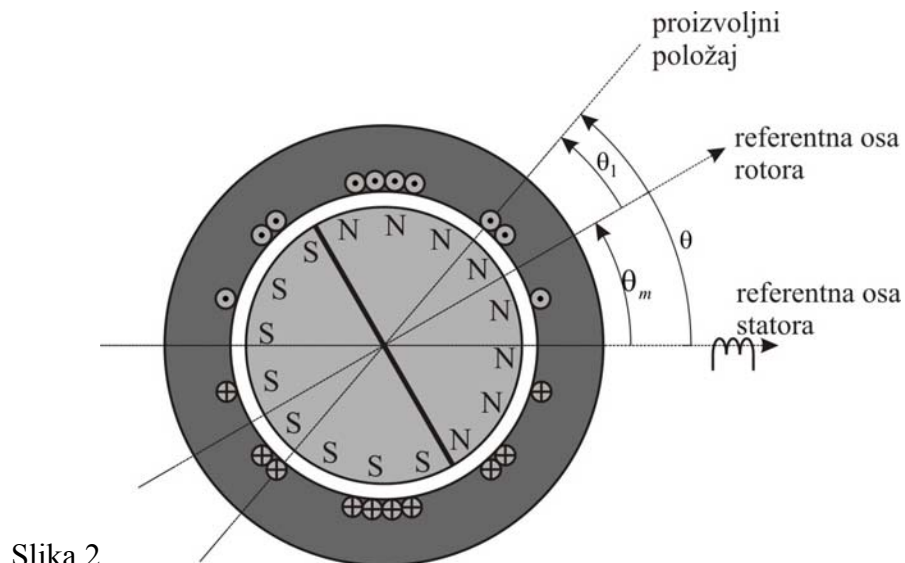
b) Ako se statorski namotaj sastoji od provodnika koji su sinusoidalno distribuirani po obimu statora tako da se njihova podužna gustina može modelovati kao $N'_s(\theta) = N'_{s,\max} \cdot \sin(\theta)$, gde je θ ugaono rastojanje posmatrane tačke od ose statorskog namotaja, odrediti indukovanu kontraelektromotornu silu, $e(\theta_m, \Omega_m)$, u ovom namotaju u funkciji brzine obrtanja i položaja rotora.

8. zadatak

Cilindrična mašina, dužine L , poseduje rotor koji je napravljen od permanentnog magneta (slika 2) čiji je prečnik, D , mnogo veći od širine zazora, δ . Kao posledica permanentnog magneta na rotoru u zazoru se ima magnetska indukcija čija je raspodela po obimu zazora prikazana na slici 1. Rotor se obrće konstantnom brzinom Ω_m u smeru suprotnom od smera kazaljke na satu. Mašina poseduje i statorski namotaj čiji su priključci otvoreni. Permeabilnost feromagnetskog materijala od kojeg je načinjeno magnetsko kolo statora i rotora se može smatrati beskonačno velikom. Pretpostaviti da u zazoru postoji samo radijalno polje te da se tangencijalna komponenta u svemu može zanemariti. Ako se statorski namotaj sastoji od provodnika koji su sinusoidalno distribuirani po obimu statora tako da se njihova podužna gustina može modelovati kao $N'_s(\theta) = N'_{s,\max} \cdot \sin(\theta)$ (slika 2), gde je θ ugaono rastojanje posmatrane tačke od ose statorskog namotaja, odrediti indukovanu elektromotornu silu, $e(\theta_m, \Omega_m)$, u ovom namotaju u funkciji brzine obrtanja i položaja rotora.



Slika 1



Slika 2

9. zadatak

Za generator jednosmerne struje sa nezavisnom pobudom dati su sledeći podaci:

- nominalni napon na priključnim krajevima armaturnog namotaja generator $U_{\text{nom}} = 220\text{V}$,
- nominalna struja generatora $I_{\text{nom}} = 50\text{A}$,
- otpornost armaturnog namotaja $R_a = 0.4\Omega$,
- otpornost pobudnog namotaja $R_p = 12\Omega$,
- nominalni napon pobudnog namotaja $U_{p,\text{nom}} = 24\text{V}$.

Brzina obrtanja se smatra konstantnom i jednakom nominalnoj. Uticaj reakcije indukta (magnetopobudne sile i fluksa rotora) na pobudni fluks se zanemaruje, kao i svi gubici osim snage gubitaka u namotajima. Smatra se da je pri datom režimu rada magnetsko kolo generatora nezasićeno (linearno).

Odrediti:

- a) Napon generatora pri struji opterećenja $I_G = 20\text{A}$,
- b) Dodatnu otpornost ΔR_p koju treba uključiti u kolo pobude generatora, da bi se pri struji $I_G = 20\text{A}$ imao nominalni napon na potrošaču.

10. zadatak

Motor jednosmerne struje sa nezavisnom pobudom ima sledeće nominalne podatke:

- nominalnu mehaničku snagu $P_n = 22\text{kW}$,
- nominalni napon $U_n = 220\text{V}$,
- nominalnu brzinu $n_n = 1500\text{o/min}$,
- nominalnu struju $I_n = 105\text{A}$,
- otpornost namotaja indukta $R_a = 0,1\Omega$.

Smatrati da je fluks u mašini jednak nominalnom, kao i da su od značaja isključivo gubici u armaturnom namotaju, dok se preostala snaga gubitaka može zanemariti. Odrediti:

- a) Mehaničku karakteristiku motora $n(M_{\text{em}})$,
- b) Za koliko je potrebno smanjiti napon na priključnim krajevima motora, ΔU_a , da bi pri brzini $n = 900\text{o/min}$, moment bio jednak nominalnom momentu.

11. zadatak

Motor jednosmerne struje sa nezavisnom pobudom ima sledeće nominalne podatke: $U_{\text{nom}} = 110\text{V}$, $I_{\text{nom}} = 10\text{A}$, $\Omega_{\text{nom}} = 250\text{ rad/s}$, $U_{p,\text{nom}} = 25\text{V}$. Takođe je poznata otpornost armaturnog namotaja, $R_a = 1\Omega$, otpornost statorskog (pobudnog) namotaja, $R_p = 50\Omega$, broj navojaka

statorskog namotaja (1 navojak = 2 provodnika) $N_p = 10$ i broj **provodnika na rotoru** $N_R = 20$. Motor je dvopolni ($p=1$, statorsko magnetsko kolo ima jedan severni i jedan južni glavni pol). Rotorski namotaj je tako formiran da obrazuje jedan par paralelnih grana ($a=1$, ukupno dve paralelne grane između četkica A i B). Smatrajući da je u nominalnom radnom režimu magnetsko kolo mašine linearno, kao i da se svi gubici osim snage gubitaka u namotaju mogu zanemariti:

- Odrediti vrednost nominalnog momenta, M_{nom} .
- Odrediti vrednost induktivnosti pobudnog namotaja, L_p .

12. zadatak

Motor jednosmerne struje sa nezavisnom pobudom ima nominalne podatke: $U_n = 220$ V, $I_n = 20$ A, $\Omega_n = 150$ rad/s. Otpornost namotaja indukta je $R_a = 2\Omega$. Ovaj motor je nominalno napajan, nominalno pobuđen i pokreće opterećenje koje je konstantno (ne zavisi od brzine) i iznosi $M_{opt} = 6$ Nm. Zanemarujući pad napona na četkicama, gubitke u gvožđu mašine, gubitke usled trenja i ventilacije i reakciju indukta:

- Odrediti i nacrtati prirodnu mehaničku karakteristiku motora $M_{em}(\Omega)$. Izračunati i na njoj naznačiti vrednosti brzine praznog hoda Ω_0 i polaznog momenta M_p . Za radni režim opisan u uvodu zadatka izračunati brzinu obrtanja rotora Ω_1 koja se ima pri zadatom opterećenju.
- Ukoliko se napon napajanja promeni na vrednost $U_a = 0$ V (slučaj koji odgovara kratkom spajanju priključaka A i B rotora), odrediti brzinu Ω_2 koju će imati motor u novom stacionarnom stanju. U $M-\Omega$ ravni prikazati rezultujuću mehaničku karakteristiku motora i na njoj uneti dobijenu radnu tačku. Za novo stacionarno stanje odrediti snagu elektromehaničkog pretvaranja P_{em} .