

ТЕОРИЈСКА ПИТАЊА

Напомене:

- Питања су подељена у 4 групе, у складу са поделом градива на 4 дела.
- Питања су формулисана тако да усмеравају студента у фази савладавања теоријских знања и стицању практичних вештина у решавању проблема и задатака из електричних машина. Градиво које је потребно савладати током курса једнозначно је одређено датим питањима.
- Испитна и колоквијумска питања не морају бити са дате листе. Испитна питања ће се бавити истим градивом као и питања са листе, али ће бити другачије формулисана и прилагођена околностима.
- Многа питања са дате листе вишеструко превазилазе обим/дужину/трајање израде одговора који би били прихватљиви на колоквијуму и испиту, где треба очекивати питања која хоће бити слична приложеним, али ће бити краћа, концизнија, и са мањим бројем тражених одговора.
- Многа питања су формулисана тако да у себи садрже и упутство о ефектима и појавама које треба уважити, прорачунима и анализама које треба спровести како би се дошло до одговора или решења. Оваква формулација питања помаже студенту у фази савладавања градива, утврђивања и вежбања. Треба имати у виду да ове врсте помоћи код испитних питања неће бити.
- Ознака (**опционо**, изван фонда испитних питања) стоји поред тежих питања која се препоручују у фази савладавања и утврђивања градива. **Таква питања се не појављују на испиту.**

ПРВА ЧЕТВРТИНА ГРАДИВА

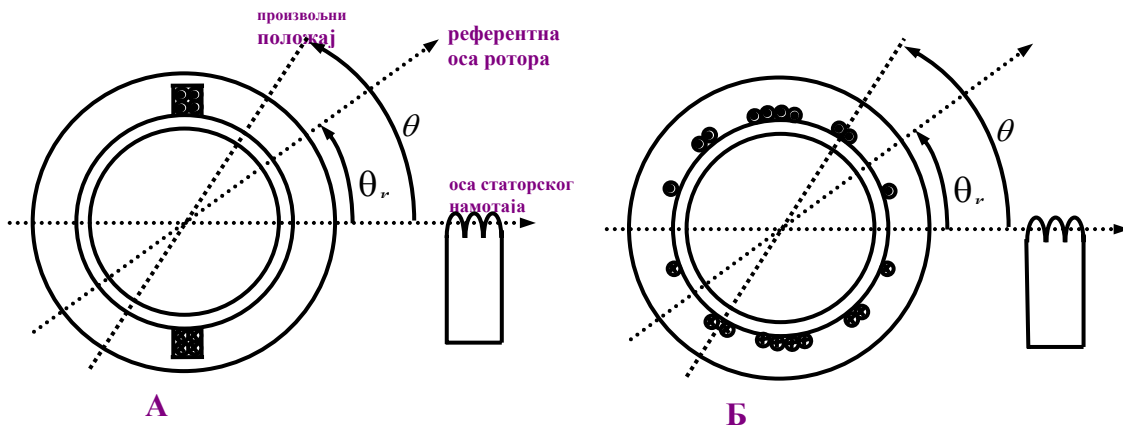
1. Објаснити и показати примером стварање покретачке силе/момента коришћењем променљиве магнетске отпорности у систему који обухвата међу собом покретне делове начињене од феромагнетског материјала и домен у коме постоји магнетско поље.
2. Исказати Фарадејев и Лоренцов закон и дати пример примене.
3. Извести и објаснити изразе за момент/силу електромеханичког претварача у условима када је извор прикључен и условима када извор није прикључен. Објаснити ток и расподелу енергије у првом и другом случају (сматрати да је средина линеарна). Објаснити разлоге из којих се континуалан рад претварача мора обављати у циклусима.
4. Објаснити везу између величине домена у коме постоји поље, учестаности циклуса и снаге коју један електромеханички претварач може развити. Дати процену силе/момента на основу волумена.
5. Посматрати електромеханички претварач у коме се сила и механички рад стварају деловањем магнетског поља на проводнике у којима постоји електрична струја. Објаснити потребу за постојањем магнетског кола, објаснити улогу магнетског кола. На који начин магнетско коло побољшава карактеристике претварача?
6. Скицирати магнетско коло са ваздушним зазором, одредити магнетопобудну силу F коју ствара намотај са N навојака и са струјом i , одредити поље H и магнетску индукцију B у феромагнетику и у зазору, одредити флукс у једном навојку Φ као и флукс намотаја Ψ . Представити магнетско коло дуалним електричним колом.
7. Одредити магнетску отпорност магнетског кола које има $n = 10$ делова од који је сваки константног и познатог попречног пресека S_k и дужине l_k . У сваком од делова користи се феромагнетик који има другачију пермеабилност μ_k .
8. Објаснити појаву магнетског засићења у феромагнетику. Приказати карактеристику магнетисања феромагнетског материјала. За хомогено магнетско коло начињено од феромагнетика без зазора, објаснити начин на који $B(H)$ карактеристика одређује зависност између флукса и струје у побудном намотају.
9. Дати израз за губитке у феромагнетику, објаснити (две) компоненте и променљиве (B, f) које у изразу фигуришу. Уколико се магнетско коло начини од међу собом изолованих лимова познате дебљине,

која компонента губитака се смањује а која остаје иста? **Опционо:** *Одредити зависност ове компоненте од дебљине лима.*

10. Навести четири карактеристична занемарења која се усвајају у поступку моделовања цилиндричних електричних машина, описати разлог и последице сваког од занемарења.
11. Дати скицу електромеханичког претварача са магнетским спрежним пољем који се састоји од N контура. Одредити матрицу индуктивности, објаснити њене елементе, одредити енергију спрежног поља.
12. Електромеханички претварач има N контура. Контуре се напајају из струјних извора познатих струја. Средина у којој постоји спрежно поље је линеарна. Једна од контура се може обртати, и њен положај је θ_m . Записати матрицу индуктивности. У функцији струја и матрице индуктивности, одредити једначине равнотеже напона, одредити израз за енергију спрежног поља, као и израз за момент који делује на покретну контуру.
13. За претварач из претходног питања извести израз за покретачку силу/момент. Приказати модел механичког подсистема претварача за случај да је кретање обртно и да је позната инерција и коефицијент трења.
14. За електромеханички претварач који има магнетско спрежно поље и који има обртно кретање, изразити енергију акумулисану у електричном и механичком подсистему, губитке у оба подсистема и губитке у спрежном пољу, снагу електромеханичког претварања, улазну електричну снагу и излазну механичку снагу. Графички приказати биланс снаге.
15. Записати динамички модел електромеханичког претварача са магнетским спрежним пољем и са N спрегнутих контура (модел обухвата матрицу индуктивности, једначине равнотеже напона, израз за енергију спрежног поља, израз за моменат, као и Њутнову једначину која описује механички подсистем).
16. Дати пример једнострано напајаног претварача. Одредити магнетску отпорност у функцији положаја ротора. Одредити индуктивност побудног намотаја и енергију поља. Израчунати електромагнетски моменат у случају када у намотајима постоји једносмерна струја. Одредити тренутну и средњу вредност момента у случају када у намотају постоји наизменична струја. Дискутовати утицај учестаности напајања и брзине обртања на средњу вредност момента. Одредити фазни став и учестаност струје који дају највећу средњу вредност момента. Одредити електромоторну силу у намотају као и снагу извора. Дискутовати сабирке у изразу за снагу извора (губици, снага електромеханичког претварања). Објаснити компоненте електромоторне силе (динамичка, трансформаторска).
17. Дати пример двострано напајаног претварача. Приказати скицу магнетског кола начињеног тако да је међусобна индуктивност променљива, док су сопствене индуктивности константне. Одредити међусобна индуктивност у функцији положаја ротора и укупну енергију спрежног поља. Израчунати електромагнетски моменат у општем случају (у коме су струје статора и ротора произвољног облика $i_1(t)$, $i_2(t)$). Одредити снагу извора $u_1(t)$ и њене компоненте. Одредити електромоторну силу статора и њене компоненте (трансформаторска, динамичка). Уз претпоставку да су струје статора и ротора наизменичне, учестаности ω_1 , ω_2 ($\omega_1=0$ имплицира постојање једносмерне струје); као и да је позната брзина обртања ротора Ω_m , одредити у ком односу морају бити брзине обртања и учестаности напајања како би средња вредност момента била различита од нуле. Дати вредности Ω_m , ω_1 , и ω_2 који се имају код машина за једносмерну струју, асинхроних машина и синхроних машина.
18. У ком релативном односу треба да буду вектори флукса статора и ротора цилиндричне машине да би се стварао моменат што веће средње вредности? Објаснити који положај у односу на непомични статор и обртни ротор заузимају ова два флукса код машина за једносмерну струју, асинхроних машина и синхроних машина. На који начин се ствара флукс који се не покреће у односу на намотај? Како се ствара флукс који се обрће у односу на систем намотаја који га проузрокују?
19. Цилиндрична машина поседује статорски намотај са простопериодичном расподелом проводника по обиму машине. Позната је максимална подужна густина проводника као и струја у сваком од проводника. Одредити радијалне и тангенцијалне компоненте поља H и B у ваздушном процепу (зазору), као и у магнетском колу статора у непосредној близини зазора.
20. За намотај из претходног питања одредити флукс у једном навојку (навојак формирају два дијаметрално супротна проводника). Одредити (интеграцијом по обиму) укупан флукс намотаја. Одредити коефицијент сопствене индуктивности намотаја.
21. За цилиндричну машину из претходног питања, одредити доминантну компоненту поља (радијална или тангенцијална) и приказати је одговарајућим вектором. Дискутовати оријентацију и алгебарски интензитет вектора.
22. На ротору цилиндричне машине из претходног питања постоји намотај са простопериодичном расподелом проводника по обиму. Позната је роторска струја и максимална подужна густина проводника. Одредити компоненте роторског поља у процепу. Имајући у виду угаони померај ротора у односу на статор, одредити резултатно радијално поље у зазору, то јест збир статорског и роторског

- поља. Занемарујући тангенцијалне компоненте поља, одредити укупну енергију спрежног поља, то јест укупну енергију магнетског поља у процепу између статора и ротора.
23. Ослањајући се на резултат добијен у претходном питању, одредити електромагнетски момент (као извод енергије поља по виртуелном померају $d\theta$). Доказати да се добијени резултат може изразити као производ амплитуда статорског и роторског флуksа и угла између њих.
 24. Цилиндрична машина поседује два статорска намотаја (α и β) просторно померена за $\pi/2$. Познат је број навојака N сваког од намотаја. Одредити тренутне вредности струје које треба имати у сваком од намотаја како би се остварила магнетопобудна сила статора жељене амплитуде F која се обрће задатом брзином и у тренутку $t=0$ заузима положај колинеаран са осом намотаја α . Одговорити на исто питање за случај када на статору постоје три дела (фазе) намотаја, a , b , c , просторно померене за $2\pi/3$, при чему се оса намотаја a поклапа са осом намотаја α .
 25. Ротор синхроног генератора обрће се познатом брзином. Побудни намотај ротора има проводнике који су расподељени по обиму ротора тако да роторска струја ствара магнетско поље простопериодичне расподеле. Простопериодична расподела $B(\theta)$ и $H(\theta)$ се обрће скупа са ротором. Одредити облик електромоторне силе која се индукује у једном навојку статора који се састоји од два дијаметрално супротна проводника.
 26. **Опционо:** У генератору који је дат у претходном питању један навојак статора састоји се од два проводника постављена на угаоном растојању $\alpha < \pi$. Одредити електромоторну силу која се индукује у навојку. Одредити ефективну вредност електромоторне силе у функцији роторског флуksа Φ и брзине обртања ротора. Поређењем са резултатима из претходног питања, дефинисати тетивни навојни сачинилац.
 27. **Опционо:** Статорски намотај генератора, чији је ротор дефинисан у претходном питању, састоји се од 6 проводника, смештених на положајима $-\alpha$, 0 , $+\alpha$, $\pi-\alpha$, π и $\pi+\alpha$ ($\alpha < \pi/4$). Редно повезани проводници формирају намотај статора. Проводници на позицијама $-\alpha$, 0 , $+\alpha$, положени су у жлебове на једнак начин (\otimes), док преостала три проводника имају супротну оријентацију (\odot). Одредити ефективну вредност E_1 електромоторне силе која се индукује у једном пару дијаметрално супротних проводника. Уочити три пара дијаметрално супротних проводника (навојака) и нацртати на истом дијаграму њихову временску промену. Одредити укупну (збир) електромоторну силу статора и одредити њену ефективну вредност. Одредити појасни навојни сачинилац (број мањи од 1 који одређује меру у којој је добијени збир мањи од троструке вредности E_1).
 28. **Опционо:** Примером показати да статорски намотај са простопериодичном расподелом проводника по обиму цилиндричне машине делује као филтар који уклања више хармонике проузроковане несинусоидалним пољем. Узети да ротор ствара поље у зазору, такво да је његова расподела $B(\theta) = B_{max} \operatorname{sgn} [\cos(\theta - \theta_m)]$, где је θ_m тренутни положај ротора који се обрће константном брзином. Приказати развој функције у $B(\theta)$ Фуријеов ред. Показати да поред основног постоје и виши, непарни хармоници функције. Одредити електромоторну силу која се индукује у пару дијаметрално супротних проводника (тј. и једном навојку) на произвољној позицији θ . Приказати временску промену ове електромоторне силе, уочити да она има облик одређен функцијом $B(\theta)$, те да садржи више хармонике. Одредити укупни флуks статорског намотаја (интеграцијом индивидуалних доприноса појединих навојака дуж обима). Одредити укупну електромоторну силу статора. Показати да у њој постоји само први хармоник, те да нема виших хармоника, без обзира на постојање сложенепериодичне расподеле поља у процепу (ваздушном зазору).
 29. **Опционо:** (опционо=изван фонда испитних питања) Одредити резултантну амплитуду магнетопобудне силе статора цилиндричне машине. Укупан број статорских проводника је $2N$, при чему су проводници простопериодично расподељени. У статору постоји струја I . Представља ли $(\pi/4 NI)$ тачан одговор?
 30. **Опционо:** (опционо=изван фонда испитних питања) Одредити резултантну магнетску отпорност код цилиндричне машине са простопериодично расподељеним проводницима статорског намотаја. Укупан број статорских проводника је $2N$. Дужина статорског и роторског цилиндра је L . Напомена: магнетска отпорност је количник амплитуда вектора магнетопобудне силе и вектора флуksа. Напомена: у последњем исказу се **не** ради о *укупном* флуksу кроз статорски намотај већ о флуksу у једном навојку. Представља ли резултат $(LR\mu_0 Ni/\delta)$ амплитуду флуksа? Представља ли резултат $(\pi\delta / (4\mu_0 LR))$ резултантну магнетску отпорност? Ако је тако, зашто је он различит од резултата $(\delta / (\mu_0 S)) = \delta / (\mu_0 L\pi R)$?
 31. На располагању су две цилиндричне електричне машине (машина А и машина Б, приказане на сликама испод текста) идентичних димензија ($L = 1 \text{ m}$, $D = 0.5 \text{ m}$, $\delta = 2 \text{ mm}$). Намотај машине А се састоји од навојака смештених у два дијаметрално супротна жлеба статора, док код машине Б навојци имају простопериодичну расподелу. Обе машине имају исти укупни број навојака: $N_{SA} = N_{SB} = 75$. Обе машине имају сталне магнете на ротору који у зазору δ стварају поље магнетне индукције која има простопериодичну расподелу $B(\theta) = 0,4 \cos(\theta - \theta_m)$ [Т], где θ_m означава положај ротора док θ означава положај тачке у којој се посматра поље магнетске индукције. Утицај струје статора на поље у зазору се

може занемарити. Спољашњи прикључци статорског намотаја сваке од машина су кратко спојени (што је приказано на слици). Ротори обе машине се обрћу константном брзином $\Omega_m=100$ rad/s. Одредити вредности отпорности статорских намотаја R_{SA} и R_{SB} при којима се развија максимална снага губитака у намотајима машина (узети у обзир околност да се струји противи и реактанса сваког од намотаја). За описани радни режим, одредити максималне снаге губитака у намотајима за обе машине.



32. **Опционо:** (опционо=изван фонда испитних питања) Посматрати идеализовану цилиндричну машину са простопериодично расподељеним статорским и роторским намотајем. Намотаји се могу представити синусоидалним струјним плаштом амплитуде J_{S0} и J_{R0} , респективно. Ротор се обрће и у посматраном тренутку је у положају θ_m у односу на статор. Познат је полупречник R , ваздушни зазор δ као и осна дужина машине L . (а) Одредити радијалну и тангенцијалну компоненту поља H које ствара роторски струјни плашт у ваздушном зазору, непосредно уз површину статора. (б) Одредити компоненте електричног поља у истој тачки. (ц) Одредити доминантну компоненту вектора $E \times H$. Одредити флукс овог вектора кроз цилиндричну површ која пролази кроз ваздушни зазор и дели статор од ротора. Добијену флукс вектора $E \times H$ представља снагу обртног поља, док његов количник са брзином обртања дефинише моменат.

(следећи текст се односи на наредна 3 питања): Електромеханички претварач цилиндричног облика поседује један статорски намотај са N_s навојака укупне отпорности R_s . Ротор је начињен тако да магнетска отпорност зависи од правца простирања поља (ротор је анизотропан). Уколико се релативни померај ротора у односу на статор означи са α [rad], тада је коефицијент сопствене индуктивности статорског намотаја може изразити као $L = L_{sr} + \Delta L \cos(2\alpha)$. Статорски намотај се напаја из контролисаног струјног извора који даје променљиву струју $i(t)$.

36. Доказати: Уз претпоставку да у намотају статора постоји стална струја, максимални електромагнетски моменат се постиже онда када је угао α (угао између осе статорског намотаја и осе у којој је магнетски отпор магнетског кола ротора најмањи) једнак: $\alpha = \pi/4$
37. Доказати: Уз претпоставку да се ротор обрће константном брзином $d\alpha/dt = \Omega_m$, за добијање средње вредности снаге претварања која је већа од нуле, мора бити испуњен следећи услов: (Струја статора је наизменична, учестаности $\omega_p = \Omega_m$, нулте средње вредности)
38. У погледу могућности да структура описана у горњем тексту промени смер обртања, која од следећих тврдњи је исправна? А) Смер обртања зависи од учестаности статорске струје. Б) Смер обртања директно зависи од смера струје статора Ц) Смер обртања зависи од амплитуде струје, Д) Смер обртања зависи од релативног положаја импулса струје у односу на положај ротора. Е) Смер се код описане структуре не може променити.
39. Претпостављајући да су димензије цилиндричне машине $D = 1/\pi$ [m], $L_d = 1$ [m], $\delta = 1$ [mm], закључује се да она може развити моменат од приближно [Nm]: А) 0,000 001 Б) 0,001 Ц) 1 Д) 1000 Е) 1 000 000
40. Претпостављајући да статорски намотај има $N = 10$ завојака, као и да су димензије машине дате у претходном питању, закључује се да је коефицијент сопствене индукције L_s близак: 0.03 mH, Б) 1mH, Ц) 30mH, Д) 1 H, Е) 30 H
41. **Опционо:** (опционо=изван фонда испитних питања) Електрична машина има унутрашњи пречник статора $D=0.1$ m, док ваздушни зазор износи $\delta=1$ mm. Познато је $n_{NOM}=1000$ [o/мин] као и $M_{nom}=10$ [Nm]. По уклањању магнетног кола ротора, дозвољени моменат трајног рада ће опасти на вредност блиску [Nm]: А) 5 Б) 0.2 Ц) 0.01 Д) 0.005 Е) 0.00005

42. Нацртати попречни пресек машине за једносмерну струју. Приказати флуks побуде као и роторске проводнике са назначеним смером струје. Приказати векторе који одговарају статорском (побудном) и роторском флуksу. Навести угао који постоји између ова два флуksа, као и брзине њиховог обртања у односу на статор и на ротор. Приказати облик струје у једном од проводника ротора. Приказати промену електромоторне силе која се индукује у једном од роторских проводника.
43. **Опционо:** Навести делове магнетског и струјног кола машине за једносмерну струју. Скицирати попречни пресек магнетског кола машине као и изглед комутатора са четкицама.
44. Извести израз за електромоторну силу машине за једносмерну струју и израз за електромагнетски моменат.
45. **Опционо:** Ротор машине за једносмерну струју има 8 проводника и 4 колекторске кришке. Нацртати развијену шему намотаја, то јест шему која подразумева да је цилиндрични омотач ротора развијен у правоугаону форму, и приказати роторске проводнике, начин њиховог повезивања са кришкама, смер струје и електромоторне силе, полове статора и четкице.
46. За машину једносмерне струје позната је осна дужина L , ширина полова W , број намотаја индуктора N_1 и број проводника индукта N_2 . Познате су све димензије машине, укључујући и ваздушни зазор. Одредити сопствену индуктивност побудног намотаја. За познату вредност побудног флуksа кроз један навојак, одредити стрмину механичке карактеристике $\Delta M/\Delta \Omega$. Уз претпоставку да је побудни флуks константан, записати четири једначине (од којих 2 диференцијалне) које одређују динамички модел машине.
47. Исказати у форми диференцијалних једначина динамички модел машине за једносмерну струју са независном побудом.
48. Електрична машина за једносмерну струју поседује независну побуду. Побудни намотај се напаја из засебног извора и побудна струја се одржава на номиналној вредности, која резултује номиналним побудним флуksом. Крајеви намотаја индукта (тј. арматуре) имају словне ознаке А и Б. Крајеви А и Б нису прикључени на извор. Уместо тога, између крајева А и Б прикључен је спољашњи отпорник познате отпорности R_{EXT} . Сматрати да су сви релевантни параметри машине познати. У решењу, обележити их ознакама $P_{nom}, I_{nom}, U_{nom}, R_a, L_a, R_p, L_p, K_e, K_m, \Phi_{nom}$.
49. Изразити моменат који машина за једносмерну струју развија у ом стању у функцији брзине обртања. Нацртати резултујућу механичку карактеристику. У оквиру механичке карактеристике, потребно је дефинисати област у којој машина може радити у трајном раду. Границе ове области дискутовати. У оквиру дискусије дозвољено је претпоставити да је $R_a I_a \ll U_{nom}$.
50. Машина за једносмерну струју ради као генератор и обрће се константном брзином. Нацртати електричну шему и означити смерове електромоторне силе и струје. Уз претпоставку да је побудна струја константна, одредити и приказати зависност напона на потрошачу од струје потрошача I_G . Уз претпоставку да је могуће по вољи подешавати побудну струју, као и да је магнетско коло линеарно, одредити функцију $I_p = f(I_G)$ по којој треба мењати побудну струју у функцији струје терета како би напон на потрошачу остао константан.
51. Приказати механичку карактеристику независно побуђене машине за једносмерну струју и дати њене карактеристичне тачке и нагибе у функцији параметара машине и услова напајања. Објаснити на који начин варијација напона напајања арматурног намотаја утиче на механичку карактеристику. Дискутовати режим рада (М, Г) као и смер арматурне струје и напона при раду у сваком од 4 квадранта.
52. **Опционо:** Приказати топологију (електричну шему) енергетског претварача који омогућује промену средње вредности напона применом ширинске модулације и рад машине за једносмерну струју у два квадранта. Приказати топологију која омогућује рад у 4 квадранта.
53. **Опционо:** Образложити које особине и параметри машине за једносмерну струју омогућују да арматурни намотај, начињен за једносмерни напон напајања, буде прикључен на прекидачки извор који даје напон импулсног облика. Одредити везу средње вредности напона и ширине импулса. Одредити везу између учестаности напонских импулса, параметара МЈСС и валовитости струје.
54. Дати дефиниције, образложење и пример следећих величина и карактеристика
- механичка карактеристика
 - природна карактеристика
 - експлоатациона и транзијентна карактеристика
55. Дати дефиниције, образложење и пример следећих величина и карактеристика
- a. номинална струја
 - b. номинални напон
 - c. номинални моменат
 - d. номинална брзина
 - e. номинална снага
56. **Опционо:** Машина треба да развије релативно велики моменат при веома малој брзини обртања. Сагледавајући губитке у магнетском и струјном колу, као и могућност да се, у познатим границама,

мења побудни флуks, одредити побудни флуks тако да се потребни моменат оствари уз што мање губитке.

57. **Опционо:** (опционо=изван фонда испитних питања) Дати одговор на претходно питање за случај у коме је захтевани моменат потребно остварити при брзини која је блиска номиналној, тј. одредити ниво флуksа при коме су укупни губици снаге најмањи, при чему машина развија задати моменат.
58. Имајући у виду дефиницију номиналне брзине и номиналног напона, одредити начин на који се мора мењати флуks побуде при раду са брзинама већим од номиналне. У функцији брзине обртања, дати графички приказ промене флуksа, као и струје, момента и снаге који се могу имати у трајном раду.

* * * * *

59. Нацртати попречни пресек асинхроне машине и описати магнетско и струјно коло статора и ротора.
60. На примеру асинхроног мотора у коме постоји обртно поље, који на ротору поседује само једну кратко спојену контуру, познате отпорности и занемариве расипне индуктивности, објаснити принцип рада асинхроних машина. Извести приближан израз за покретачки моменат и скицирати механичку карактеристику која се на основу таквог израза добија.
61. Објаснити какав би се моменат добио у трајном раду када би асинхрони мотор поседовао ротор на коме постоје само два дијаметрално постављена проводника који формирају само једну кратко спојену контуру.
62. Симетричан трофазни систем струја у статору асинхроног мотора има прстопериодичне фазне струје вршне вредности од 100 А. Сваки фазни намотај има $N = 100$ проводника. Намотаје треба заменити двофазним, смештеним у ортогоналним осама α и β , са $N_1 = 150$ завојака. Одредити струје $i_{\alpha}(t)$ и $i_{\beta}(t)$ које су потребне да би се добило обртно поље исте амплитуде и брзине обртања као и пре замене намотаја.
63. **Опционо (изван фонда испитних питања):** На примеру датом у претходном питању, одговорити какав је однос амплитуде напона који постоји на трофазним намотајима и амплитуде напона двофазних намотаја α и β ? Записати релације трофазно-двофазне трансформације (Кларкина) где се све величине (укључујући напоне и струје) трансформишу користећи матрицу са водећим коефицијентом $2/3$. Дискутовати однос снаге $u_a i_a + u_b i_b + u_c i_c$ и снаге $u_{\alpha} i_{\alpha} + u_{\beta} i_{\beta}$ за случај хипотетичког равнотежног стања са прстопериодичним напонима и струјама, где су поједине струје у фази са одговарајућим напонима ($P_{abc} \neq P_{\alpha\beta}$). У случају да се трофазна машина мења двофазном, а уз услов да се добије исто обртно поље у зазору, одговорити јели могуће одредити број навојака двофазних намотаја тако да напони и струје u_{α} , i_{α} , u_{β} , i_{β} који се могу измерити на прототипу двофазне машине буду једнаки двофазним напонима и струјама које се добијају применом $3\phi/2\phi$ трансформације са водећим коефицијентом $K = 2/3$? (...није могуће...).
64. Записати диференцијалне једначине напонске равнотеже и матрицу индуктивности за асинхрону машину која има два статорска намотаја у осама (α_s , β_s) и два кратко спојена роторска намотаја у осама (α_r , β_r), при чему су роторске осе померене за угао θ_m у односу на статор. (у једначинама равнотеже напона није потребно изразити флуksеве у функцији струја).
65. Навести и објаснити два главна недостатка модела асинхроне машине који је формулисан у претходном питању.
66. Нацртати два координатна система, (α_s , β_s), и (d , q), померена за одговарајући угао. Нацртати и вектор магнетопобудне силе статора. Уочити да овај вектор, подељен са бројем навојака, представља вектор статорске струје. Нацртати пројекције вектора статорске струје на све 4 приказане осе. Извести и показати каква веза мора постојати између струје у (α_s , β_s), и (d , q) координатном систему да би се систем (α_s , β_s), намотаја могао заменити системом (d , q) намотаја, а да при томе вектор магнетопобудне силе остане неизмењен. (Паркова трансформација)
67. Нацртати два правоугла координатна система, координатни систем везан за ротор (α_r , β_r), и синхронно ротирајући (d , q) систем. Назначити референтну осу статора. Дефинисати и означити сва три релевантна угла (θ_m , θ_k , $\theta_{dq} = \theta_e$). Записати једначине обртне трансформације свих роторских величина (напон, струја, флуks) у синхронно ротирајући координатни систем.
68. Нацртати синхронно ротирајући (d , q) систем и референтну осу статора и унети симболе за виртуелне намотаје d , q , D , Q . Дефинисати статорски, роторски и међусобни флуks у оба осама. Записати матрицу индуктивности. Исказати коефицијенте статорског и роторског расипања. Одредити еквивалентно расипање L_{re} и показати да је оно приближно једнако збиру статорског и роторског расипања.
69. Записати (диференцијалне) једначине напонске равнотеже у синхронно ротирајућем dq координатном систему. Објаснити и показати како се број једначина може умањити усвајањем комплексне нотације. Израчунати снагу коју извор даје машини преко прикључака статорског намотаја. У добијеном изразу, указати на губитке, снагу обртног поља и снагу која увећава енергију поља. Дати израз за моменат.
70. Полазећи од модела асинхроне машине у синхронно ротирајућем координатном систему, известити замену шему за устаљена стања. Рекапитулирати занемарена која су у добијању овакве шеме начињена.

71. Користећи матрицу индуктивности за намотаје d, q, D, Q , изразити статорски, роторски и међусобни флуks у функцији струја статора и ротора i_d, i_q, i_D, i_Q . На заменској шеми за устаљена стања обележити напоне (3) који су пропорционални статорском, роторском и међусобном флуksу.
72. За асинхронни мотор чији су фазни намотаји везани у звезду и који се напаја из градске мреже, одредити фазор статорског напона који стоји у заменској шеми за а стања (сматрати да се код 3ф/2ф трансформације користи $K = 2/3$). Потом претпоставити да је режим рада такав да се има статорска струја чији фазор $I_d + j I_q$ у посматраној заменској шеми једнак $1 + j$ [A]. Одредити активну снагу која се посматраној трофазној асинхроној машини предаје из градске мреже.
73. Полазећи од заменске шеме за устаљена стања (код 3ф/2ф $K = 2/3$) и сматрајући да је струја магнетисања значајно мања од статорске, одредити израз за моменат у функцији релативног клизања. Упростити овај израз а) у случају када је релативно клизање веома мало, б) у случају када је клизање блиско 1.
74. Полазећи од израза за момент $M(s)$, одредити релативну вредност превалног клизања и превални момент. Изразити превални момент у функцији статорског флуksа и еквивалентне индуктивности ($R_S = 0$). Исказати моменат $M(s)$ у функцији превалног момента и превалног клизања.
75. Објаснити који напон (квадрат напона) стоји у бројиоцу израза за момент $M(s)$ и у каквој је вези са фазним и линијским напонима трофазне машине. Уколико би се на место поменуте величине увео квадрат ефективне вредности фазног напона, показати како треба изменити израз за моменат.
76. Навести губитке у асинхроној машини и исказати биланс снаге. Исказати губитке у бакру и гвожђу статора и ротора у функцији струје, флуksа и учестаности у статору и ротору.
77. Сматрајући да у асинхроној машини постоје само губици у намотајима ротора, дефинисати снагу обртног поља, исказати губитке у ротору као и излазну, корисну снагу у функцији снаге обртног поља и клизања.
78. **Опционо:** Нацртати природну механичку карактеристику асинхроног мотора. Који параметри машине имају пресудан утицај на полазни моменат? Који параметри имају пресудан утицај на превални моменат? Каког утицаја може имати облик роторског жлеба на поменуте моменте? (напомена: облик жлеба може одредити индуктивност расипања. Код отвореног/затвореног жлеба ова индуктивност је мања/већа).
79. **Опционо:** Статор машине за наизменичну струју има статорски намотај од укупно 4 проводника, смештена на угаоним положајима 0, 90, 180 и 270 угаоних степени. Назначити смер струје који се мора имати у овим проводницима да би магнетско поље имало четири пола (2 N, 2 S). Приказати на који начин треба формирати и повезати трофазни намотај машине да би он стварао четворополно обртно поље (узети да је сваки фазни намотај је подељен на два дела која су постављена дијаметрално). Изразити брзину којом се обрће поље (синхрону брзину) у функцији учестаности напајања и броја парова полова p . Полазећи од снаге обртног поља P_{ob} и околности да је моменат једнак количнику снаге обртног поља и синхроне брзине, ревидирати израз за покретачки момент у функцији клизања ($M(s)$).
80. **Опционо – изван фонда испитних питања.** Претпостављајући да асинхронни мотор треба да има континуалну промену брзине обртања, при чему флуks треба одржати константним. Занемарујући серијске падове напона у заменској шеми за а стања, из претходног извести закључак о томе како треба мењати амплитуду и учестаност статорског напона. Дати електричну шему енергетског претварача који се напаја трофазним системом напона добијеним из градске мреже и који може да напаја асинхронни мотор трофазним системом напона чија се учестаност и напон може континуално мењати.
81. **Опционо:** Напајање асинхроног мотора се остварује из трофазног инвертора, који ствара три (за сваку фазу) поворке напонских импулса са периодом од 100 μ S, чија се ширина мења у складу са жељеним (простопериодичним) променама фазних напона. Средња вредност импулсног напона одређена је ширином импулса. Ослањајући се на особине асинхроног мотора (заменска шема), објаснити разлоге из којих је овакво, импулсно напајање са простопериодичном променом средње вредности напона прихватљиво (у идеалном случају, напајање би требало бити такво да се тренутне вредности фазних напона простопериодично мењају). Какве паразитне ефекте има импулсно напајање на облик фазних струја.
82. **Опционо:** На $M-\Omega$ дијаграму нацртати природну карактеристику асинхроног мотора. Нацртати $U-f$ дијаграм и на њему показати како се мења амплитуда напона статора при променама учестаности напајања, уз услов да се одржи номинални флуks у свим случајевима када је то могуће, као и да амплитуда напона не пређе номиналну вредност. Сада показати како се мења механичка карактеристика при променама учестаности напајања - уважити при томе промене напона учртане на $U-f$ дијаграму. Учртати и дискутовати обвојницу (анвелопу) овако добијених кривих. то јест криву која одражава промену превалног момента.
83. **Опционо:** Нацртати и дискутовати транзијентну и експлоатациону карактеристику асинхроног мотора. Дати функције које одражавају границе поменутих области у функцији брзине. Одредити пресек транзијентне и експлоатационе граничне линије и одредити приближну вредност брзине при којој се има овакав пресек (тј. критична брзина). Дискутовати могући рад изнад критичне брзине.
84. **Опционо:** Код напајања из извора варијабилне учестаности, однос напона и учестаност се уобичајено одржава константним како би се имао константан флуks. Међутим, у режиму малих брзина, напон се додатно увећава. Ово се назива Ri компензација. Објаснити потребу да се ово чини и дати релевантна образложења и изразе.

85. За електричну машину илустровати рад у режиму константног момента и режиму слабљења поља приказом промене U, I, Ψ, M, P у функцији брзине. Дати неопходне изразе/функције и образложити одлуке (избор амплитуде флукса у функцији брзине).
86. **Опционо:** Изразити превални момент у функцији $L_{\gamma e}$. Изразити критичну брзину у функцији односа између превалног и номиналног момента. Ако је позната релативна вредност расипне индуктивности $L_{\gamma e} = 0.1$ [р.у.], одредити релативну вредност превалног момента и критичне брзине.
87. Нацртати природну карактеристику АМ и изразити момент у функцији релативног клизања. Показати како се ова карактеристика мења код промене амплитуде напона, а како код варијације роторског отпора.
88. **Опционо:** (опционо=изван фонда испитних питања) Објаснити принцип рада монофазног асинхроног мотора.
89. **Опционо:** Објаснити потребу за трофазно двофазном трансформацијом. Који су недостаци модела у оригиналном abc домену? Описати речима зашто је један од показатеља коректно обављене трансформације инваријатност (непроменљивост) магнетопобудне силе машине. Исказати Кларкину трансформацију, објаснити и указати на потребу и начин за постизање инваријантности импеданси, индуктивности и снаге. Објаснити могући избор коефицијента K и указати на последице избора. (израз за снагу). Записати комплетан модел електричног подсистема у $\alpha\beta$ координатном систему, укључујући и једначине ротора, као и матрицу индуктивности. Указати на недостатке овог модела.
90. **Опционо:** Објаснити след размишљања који даје закључак како треба начинити обртну трансформацију координата стања, то јест зашто се статорски и роторски намотаји трансформишу у исти координатни систем, а потом објаснити како се одређује брзина обртања овог система да би се недостаци модела уклонили. (поћи од недостатака модела у устаљеном координатном систему). Исказати обртну трансформацију најпре статорских а потом и роторских величина у матричном облику, а потом и коришћењем комплексне представе вектора. Одредити матрицу индуктивности у dq систему. Јели она устаљена? Објаснити зашто је матрица устаљена, а моменат ипак није једнак нули. Извести једначине напонске равнотеже за статорске и роторске намотаје у синхроно ротирајућем координатном систему. Записати их у комплексном скаларном облику. Одредити израз за улазну снагу, исказати биланс снаге, извести израз за моменат. Који је однос напона и струја у синхроно ротирајућем координатном систему а који у оригиналном, фазном (abc) домену? Ако је мотор прикључен на градску мрежу, шта се може рећи за напоне у dq осама? Уколико је позната струја у dq координатном систему, како се могу одредити фазне струје?
91. **Опционо:** (опционо=изван фонда испитних питања) Асинхрони мотор познатих параметара са кратко спојеним ротором има сталне (једносмерне) струје у статорским намотајима. Анализирати и објаснити појаве које се одвијају у случају када се вратило овакве машине обрће. Одредити брзину обртања при којој је јачина струје у ротору највећа. Одредити брзину обртања при којој је снага електромеханичког претварања највећа.
92. **Опционо:** (опционо: изван фонда испитних питања) Асинхрони мотор са статорским прикључцима А, В, С обрће се у смеру казаљке на часовнику у случају када се напаја из градске мреже, чије су фазе А, В, С доведене на истоимене прикључке мотора. Који је смер обртања мотора ако се редослед прикључења фаза измени и постане А, С, В? Хоће ли мотор наставити да се обрће уколико се једна од фаза прекине?

* * * * *

93. Нацртати попречни пресек синхроног мотора и описати магнетско и струјно коло статора и ротора. Приказати случај када роторски флуks стварају стални магнети, као и случај када ротор има побудни намотај који се напаја преко клизних прстенова и одговарајућих дирки. Нацртати векторе роторског флукса и магнетопобудне силе статора. Одредити моменат у функцији ова два вектора.
94. Синхрона машина има три фазна намотаја у којима је симетричан систем наизменичних струја. Вршна вредност магнетопобудних сила појединих фаза (F_a, F_b, F_c) износи $F_{max} = 10000$ Ампер-навојака. У посматраном тренутку, у фази А постоји струја јачине $+I_{max}$, док су струје у фазама b и c једнаке $-I_{max}/2$. На ротору се налази стални магнет. Флуks ротора је 1 Wb. Одредити положај ротора у коме постоји највећи моменат и дати процену тог момента.
95. Описати принцип рада синхроне машине. Поћи од претпоставке да је флуks ротора константан, да је његов правац одређен положајем ротора, док у намотају статора постоје фазно померене струје чија јачина и почетна фаза дају магнетопобудну силу статора $F_s = F_a + F_b + F_c$ жељена амплитуде и оријентације. Под којим углом треба створити F_s да би се моменат добио са што мањим губицима у бакру статора? Изразити моменат у функцији амплитуда вектора и угла који вектори образују.
96. Постоје ли разлике између статора (магнетског и струјног кола на статору) код асинхроних и синхроних машина? Одговор образложити.
97. **Опционо:** Као што је познато, трофазни намотај статора ствара магнетопобудну силу чија је амплитуда пропорционална вршној вредности фазних струја, $F_s = 1.5 N I_{max} = 1.5 N \sqrt{2} I_{fazno, eff}$. Оријентација вектора F_s одређена је фазним ставом струја ia, ib, ic . Познато је да синхрона машина може имати анизотропан ротор, такав да његова магнетска отпорност зависи од правца. Нацртати ротор магнетске от-

- порности која је најмања у уздужном а највећа у попречном правцу. Отпорност R_μ у колу флукса статора ($\Phi_s = F_s / R_\mu$) најмањи је у случају када се правац вектора F_s поклапа са уздужном осом ротора. Обележавајући са ξ угао који образује вектор F_s са уздужном осом ротора, познато је $R_\mu = N^2/[L_0 + L_1 \cos(2\xi)]$, где је N број навојака статора. Одредити угао ξ за који се, при датој амплитуди статорске струје I_{\max} , добија највећи моменат. (користити израз за енергију магнетског/спрежног поља) (добијени момент је последица варијабилног магнетског отпора, то јест варијабилне релуктансе и назива се релуктантни моменат). (Постоје синхрони мотори који не поседују побуду на ротору, већ стварају електромагнетски моменат на описаном принципу).
98. Нацртати магнетско и струјно коло ротора синхроне машине са намотаном побудом и објаснити како се намотај побуде напаја.
 99. **Опционо:** Подсетити се - из дела курса који говори о асинхроним машинама - да се статорски намотај, који у оквиру курса сматрамо двополним ($p=1$), може повезати тако да адекватно расподељене половине фазних намотаја формирају четворополно статорско поље, то јест поље које дуж обима ствара 2 северна и 2 јужна пола. Уколико је статор синхроне машине баш тако начињен, како тада треба изменити конструкцију ротора, нацртану као одговор на претходно питање, да би машина могла да даје моменат?
 100. **Опционо:** Уколико се посматра двополна синхрона машина (то јест машина са 2 магнетска пола на статору, један северни и један јужни пол, и са 2 пола на ротору), одговорити јели могуће добити функционалну машину тако што би се статор задржао а ротор заменио другим, који има 4 пола, $2N$ & $2S$. Размотрити како се у овом погледу понашају асинхрони мотори - посматрати два асинхрона мотора, таква да су им све димензије једнаке, тако да је са механичке тачке гледишта могуће разменити њихове роторе. Статор једног од мотора је начињен као двополни, док је статор другог четворополни. Уколико им разменимо роторе, хоће ли се добити функционални мотори? Треба ли очекивати било какве суштинске промене њихових карактеристика?
 101. Нацртати карактеристику магнетисања типичног сталног магнета ($B-H$). Одредити нагиб криве у 1. квадранту. Дискутовати пресек криве са апсцисом и ординатом. Шта се догађа са магнетом који је изложен деловању поља ($-H$) које радну тачку доводи до пресека са апсцисом?
 102. У ваздушни зазор магнетског кола са зазором $\delta \ll l_{Fe}$ унет је стални магнет такве дебљине да линије поља дужином од $\delta/2$ пролазе кроз ваздух и дужином $\delta/2$ кроз магнет. Сматрати да је поље H у гвозденим делу кола једнако нули. На $B-H$ дијаграму приказати карактеристику магнетисања магнета и радну праву до које се долази анализом магнетског поља. Који је смер магнетског поља унутар сталног магнета? Дискутовати на који начин ће се мењати ово поље ако се магнет лагано извлачи из магнетског поља. Може ли доћи до оштећења магнета?
 103. **Опционо – изван фонда испитних питања:** Објаснити разлику између релативних вредности индуктивности статора код синхроних мотора са сталним магнетом уграђеним на површини ротора и код мотора са магнетом који је уграђен у унутрашњост магнетског кола ротора. Уз одговарајуће образложење, дати ред величине ових вредности.
 104. Одредити матрицу индуктивности за синхрону машину која поседује побудни намотај на ротору и два фазна намотаја на статору, померена за 90 степени.
 105. **Опционо – изван фонда испитних питања** За машину из претходног питања, одредити матрицу индуктивности за намотаје у dq систему, где се оса d поклапа са осом побудног намотаја на ротору. Којом брзином треба да се обрће одабрани координанти систем? Каква је веза ове брзине са учестаношћу напајања машине? Како се однос поменуте брзине обртања dq система и учестаности напајања мења у случају да је машина четворополна? Шестополна?
 106. **Опционо – изван фонда испитних питања** за машину дату у претходном питању записати комплетан динамички модел у синхронно ротирајућем координантом систему. Модел треба да обухвати и механички подсистем, као и појаве у побудном намотају. Објаснити како се овај модел може користити: која је веза између напона u_d , u_q и фазних напона трофазне машине, како се из струја у dq систему могу добити фазне струје, која је веза између снаге (момента) израчунаног у моделу ($u_d i_d + u_q i_q$) и снаге трофазне машине.
 107. Записати једначине напонске равнотеже у синхронно ротирајућем координантном систему за изотропну синхрону машину која ради у устаљеном стању. Известити заменску шему за устаљена стања. Која учестаност множи индуктивности ове шеме код израчунавања реактанси? Каква је њена веза са брзином обртања ротора? *Размотрити и случај вишеполне машине.*
 108. Нацртати фазорски дијаграм изотропне синхроне машине у моторном режиму рада у случају када је индукована електромоторна сила мања од напона напајања. Дефинисати угао снаге синхроне машине.
 109. **Опционо – изван фонда испитних питања** За синхрону машину која има анизотропан ротор ($L_d \neq L_q$), и која ради прикључена на круту мрежу (напон статора не мења учестаност нити амплитуду), одредити струје у уздужној и попречној оси (d, q) у функцији напона, електромоторне силе и угла снаге. Одредити момент машине. Издвојити релуктантни момент и момент који је последица интеракције са побудом. Нацртати дијаграм зависности овог момента од угла снаге.
 110. **Опционо – изван фонда испитних питања** Нацртати механичку карактеристику машине из претходног питања.
 111. **Опционо:** Синхрона машина има изотропан ротор ($L_d = L_q$), и ради прикључена на круту мрежу (напон статора не мења учестаност нити амплитуду). Вратило ротора није спрегнуто са теретом. Позната

- је инерција J ротора. Одредити зависност момента од угла снаге и извршити линеаризацију ове зависности за моменте блиске нули. Ослањајући се на добијени резултат, одредити диференцијалну једначину (другог реда) која описује промену угла снаге у одзиву на мале поремећаје. Показати и објаснити да ће одзив бити осцилаторан (слабо пригушен).
112. **Опционо:** Објаснити конструкцију пригушног намотаја синхроне машине. Којој величини је пропорционалан момент који је резултат присуства оваквог намотаја на ротору? Доказати да ће пригушни намотај пригушити (стабилизovati) осцилације анализирани у претходном питању.
113. **Опционо:** Нацртати принципску шему енергетског претварача који се користи за напајање синхроног мотора трофазним системом напона са континуално променљивом амплитудом и учестаношћу статорског напона. Приказати трофазни диодни исправљач као спрегу са мрежом $3 \times 400V$ 50 Hz, приказати једносмерно међуколо са кондензатором и трофазни инвертор са 6 идеалних прекидача. Скицирати тренутну вредност фазних напона (поворка импулса амплитуде $\pm E/2$, варијабилне ширине, учестаности од 5 до 10 kHz). Објаснити разлоге због којих је овакав, импулсни облик напона прихватљив, и који чине да је напајање фазним напонима импулсног облика, варијабилне ширине (тј. ширине која се мења по простопериодичном закону), еквивалентно напајању напонима чија се тренутна вредност мења простопериодично.
114. **Опционо:** (опционо=изван фонда испитних питања) На прикључке инвертора дефинисаног у претходном питању, прикључен је синхрони мотор са сталним магнетима на ротору. Примереним поједностављењем једначина напонске равнотеже, показати да је правовременим деловањем на прекидаче могуће постићи (уз одређене услове, $\omega_m < \omega_{max}$) да у статорском намотају постоје струје које имају жељену промену $i_a(t) = i^*(t)$. Проценити брзину Ω_m .
115. **Опционо:** У контексту претходна два питања, одредити начин на који треба оријентисати вектор статорске струје у односу на ротор како би се добио највећи момент. Узимајући да је статорски напон ограничен на $U_s(max) = E/\sqrt{2}$, као и да је $R_s = 0$, и $I_s = I_{nom}$, одредити највећу брзину коју у трајном раду може достићи машина са сталном побудом у празном ходу.
116. Дати попречни пресек и навести све делове магнетског кола синхроне машине са намотаним ротором. Изразити губитке у гвожђу који се имају у појединим деловима магнетског кола. Губитке исказати у функцији релевантних флуксева и учестаности.
117. Навести сва струјна кола (намотаје) која постоје у синхроној машини са намотаним ротором. Записати губитке у баку синхроне машине у функцији релевантних струја.
118. Дати биланс снаге синхроне машине у моторном раду, уважавајући при томе и губитке у механичком подсистему. Записати биланс снаге у генераторском режиму рада. (Биланс снаге подразумева графички или аналитички приказ тока снаге од прикључка машине који се сматра улазом, и који представља извор снаге/енергије, према прикључку који се сматра излазом, уз одвајање одговарајућих губитака, по исправном редоследу, и описом/именовањем појединих међурезултата/остатака након одбитка губитака).
119. Нацртати фазорски дијаграм синхроне машине која ради у празном ходу на крутој мрежи и дискутовати реактивну снагу.
120. **Опционо:** Хоће ли лако оптерећени синхрони мотор прикључен на круту мрежу наставити рад по испаду једне фазе?
121. **Опционо:** Синхрони мотор са сталном побудом, познатих параметара R_s и $L_d=L_q=L_s$, има статорске прикључке у кратком споју (сви линијски напони једнаки су нули). Анализирати и објаснити појаве које се одвијају у случају да се вратило овакве машине обрће услед деловања споља доведеног момента. Одредити брзину обртања при којој постоји максимална јачина струје. Одредити брзину обртања при којој постоји максимална снага.
122. **Опционо:** У статору асинхроног мотора постоји једносмерна струја I . Отпорност статорског намотаја је R_s . Вратило се врти брзином Ω_m . Одредити
- Механичку карактеристику мотора који је напајан на описани начин
 - Биланс снаге за дати случај
 - Одредити смер и амплитуду момента.
123. Познати су губици у гвожђу машине за једносмерну струју P_{Fe} , брзина обртања, као и коефицијенти k_m, k_e , струја I_a и флукс побуде. Одредити моменат на вратилу (моменат зависи од P_{Fe}).
124. **Опционо:** За синхронну машину која има анизотропан ротор ($L_d \neq L_q$), и која ради прикључена на круту мрежу, то јест напон статора не мења учестаност нити амплитуду, одредити струје у уздужној и попречној оси (d, q) у функцији напона, електромоторне силе и угла снаге. Одредити моменат машине. Издвојити релуктантни момент и момент који је последица интеракције са побудом. Нацртати дијаграм зависности овог момента од угла снаге.