

17. Zadatak: U dvopobudnom sistemu sa induktivnostima rotora $L_{11} = 0,63 + 0,39\cos 2\vartheta_m$ H, statora $L_{22} = 0,94 + 0,51\cos 2\vartheta_m$ H i međusobnom induktivnošću $L_{12} = 0,72\cos 2\vartheta_m$ H, kroz namotaje teku jednosmerne struje $I_1 = 10$ A, $I_2 = 7,5$ A. Odrediti:

- Rad pri promeni ugla ϑ_m od 0 do 45° . Da li moment koji se pri tome javlja teži da smanji ili poveća ugao ϑ_m ?
- Ukupnu energiju razmenjenu između električne mreže i posmatranog dvopobudnog sistema.
- Promenu energije spreznog (magnetnog) polja.

Kako je induktivnost rotora $L_{11} = f(2\vartheta_m)$ može se zaključiti da je stator sa isturenim polovima, a kako je induktivnost statora $L_{22} = f(2\vartheta_m)$ može se zaključiti da je rotor takođe sa isturenim polovima.

- Kada se u jednačinu za momenat konverzije dvopobudnog sistema:

$$m_c = \frac{1}{2} I_1^2 \frac{dL_{11}}{d\vartheta_m} + \frac{1}{2} I_2^2 \frac{dL_{22}}{d\vartheta_m} + I_1 I_2 \frac{dL_{12}}{d\vartheta_m}, \quad (17.1)$$

uvrste struje i induktivnosti dobija se momenat konverzije koji razvija ovaj dvopobudni sistem:

$$m_c = -\frac{1}{2} 10^2 \cdot 0,39 \cdot 2 \sin 2\vartheta_m - \frac{1}{2} 7,5^2 \cdot 0,51 \cdot 2 \sin 2\vartheta_m - 10 \cdot 7,5 \cdot 0,72 \cdot 2 \sin 2\vartheta_m, \quad (17.2)$$

$$m_c = -175,68 \sin 2\vartheta_m \text{ Nm}. \quad (17.3)$$

O smeru momenta konverzije. Za momenat konverzije je usvojen pozitivan referentni smer kada on nastoji uvećati mehaničku koordinatu rotora. Prema (17.3) za uglove $0 < \vartheta_m < 45^\circ$ momenat konverzije je negativan što ukazuje da on teži da smanji ugao. Za navedeni interval dvopobudni sistem radi u generatorskom režimu rada.

Rad pri promeni ugla od $\vartheta_{m1} = 0$ do $\vartheta_{m2} = 45^\circ$ je:

$$A_{meh} = \int_{\vartheta_{m1}}^{\vartheta_{m2}} m_c d\vartheta_m = -175,68 \int_{0^\circ}^{45^\circ} \sin 2\vartheta_m d\vartheta_m = 87,84 \cos 2\vartheta_m \Big|_0^{45^\circ} = -87,84 \text{ J}, \quad (17.4)$$

- Kako se radi o dvopobudnom sistema postoje dva električna sistema (dve električne mreže), pa je priraštaj energije razmenjen između električne mreže i dvopobudnog sistema:

$$dW_{el} = i_1 d\psi_1 + i_2 d\psi_2 = dW_{el1} + dW_{el2}. \quad (17.5)$$

Priraštaj električne energije razmenjen između električne mreže i namotaja rotora pri promeni ugla od $\vartheta_{m1} = 0$, (što je označeno gornjim indeksom ⁽¹⁾) do $\vartheta_{m2} = 45^\circ$ (što je označeno gornjim indeksom ⁽²⁾) iznosi:

$$\Delta W_{el1} = \int_{\psi_1^{(1)}}^{\psi_1^{(2)}} i_1 \cdot d\psi_1 = I_1 \int_{\psi_1^{(1)}}^{\psi_1^{(2)}} d(L_{11} I_1 + L_{12} I_2) = I_1^2 \int_{L_{11}^{(1)}}^{L_{11}^{(2)}} dL_{11} + I_1 I_2 \int_{L_{12}^{(1)}}^{L_{12}^{(2)}} dL_{12}, \quad (17.6)$$

$$\Delta W_{el1} = I_1^2 (L_{11}^{(2)} - L_{11}^{(1)}) + I_1 I_2 (L_{12}^{(2)} - L_{12}^{(1)}), \quad (17.7)$$

$$\Delta W_{el1} = I_1^2(-\Delta L_{11}) + I_1 I_2(-\Delta L_{12}) = 10^2 \cdot (-0,39) + 10 \cdot 7,5 \cdot (-0,72) = -93 \text{ J}. \quad (17.8)$$

Priraštaj električne energije razmenjen između električne mreže i namotaja statora pri promeni ugla od $\vartheta_{m1} = 0$, do $\vartheta_{m2} = 45^\circ$ iznosi:

$$\Delta W_{el2} = \int_{\psi_2^{(1)}}^{\psi_2^{(2)}} i_2 \cdot d\psi_2 = I_2 \int_{\psi_2^{(1)}}^{\psi_2^{(2)}} d(L_{12}I_1 + L_{22}I_2) = I_1 I_2 \int_{L_{12}^{(1)}}^{L_{12}^{(2)}} dL_{12} + I_2^2 \int_{L_{22}^{(1)}}^{L_{22}^{(2)}} dL_{22}, \quad (17.9)$$

$$\Delta W_{el2} = I_1 I_2 (L_{12}^{(2)} - L_{12}^{(1)}) + I_2^2 (L_{22}^{(2)} - L_{22}^{(1)}), \quad (17.10)$$

$$\Delta W_{el2} = I_1 I_2 (-\Delta L_{12}) + I_2^2 (-\Delta L_{22}) = 10 \cdot 7,5 \cdot (-0,72) + 7,5^2 \cdot (-0,51) = -82,69 \text{ J}. \quad (17.11)$$

Predznak minus u (17.8) i (17.11) ukazuju da je namotaj rotora dao 93 J električne energije dok je stator dao 82,69 J. Dvopobudni sistem u toku navedenog kretanja radi u generatorskom režim, pa je prema (17.5) priraštaj električne energije razmenjen između električne mreže i ovog dvopobudnog sistema:

$$dW_{el} = dW_{el1} + dW_{el2} = -93 + (-82,69) = -175,69 \text{ J}. \quad (17.12)$$

c) Energija magnetnog (spreznog) polja dvopobudnog sistema je:

$$W_p = \frac{1}{2} \underline{i}^t \cdot \underline{L} \cdot \underline{i} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} i_1 & i_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L_{11} & L_{12} \\ L_{12} & L_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{2} i_1^2 L_{11} + i_1 i_2 L_{12} + \frac{1}{2} i_2^2 L_{22}. \quad (17.13)$$

Kada se uvaži da su struje jednosmerne, priraštaj energije polja je:

$$dW_p = d\left(\frac{1}{2} I_1^2 L_{11} + L_{12} I_1 I_2 + \frac{1}{2} I_2^2 L_{22}\right) = \frac{1}{2} I_1^2 dL_{11} + I_1 I_2 dL_{12} + \frac{1}{2} I_2^2 dL_{22}. \quad (17.14)$$

Promena energije polja pri promeni ugla od $\vartheta_{m1} = 0$ do $\vartheta_{m2} = 45^\circ$ je:

$$\Delta W_p = \frac{1}{2} I_1^2 \int_{L_{11}^{(1)}}^{L_{11}^{(2)}} dL_{11} + I_1 I_2 \int_{L_{12}^{(1)}}^{L_{12}^{(2)}} dL_{12} + \frac{1}{2} I_2^2 \int_{L_{22}^{(1)}}^{L_{22}^{(2)}} dL_{22}, \quad (17.15)$$

$$\Delta W_p = \frac{1}{2} I_1^2 (-\Delta L_{11}) + I_1 I_2 (-\Delta L_{12}) + \frac{1}{2} I_2^2 (-\Delta L_{22}), \quad (17.16)$$

$$\Delta W_p = \frac{1}{2} 10^2 (-0,39) + 10 \cdot 7,5 (-0,72) + \frac{1}{2} 7,5^2 (-0,51) = -87,845 \text{ J}. \quad (17.17)$$

Promena električne energije bi se mogla odrediti i primenom zakona o održanju energije:

$$\Delta W_{el} = \Delta W_p + A_{meh} = -87,845 + (-87,845) = -175,69 \text{ J}, \quad (17.18)$$

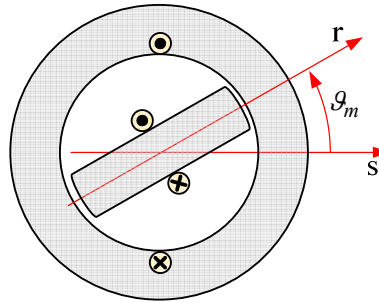
ali se ne može odrediti koliko je kom namotaju predato električne energije.

20. Zadatak: Dvopobudni sistem ima induktivnost statora $L_{22} = 0,75 + 0,5 \cdot \cos 2\vartheta_m$ H, induktivnost rotora $L_{11} = 1,5$ H, međusobnu induktivnost $L_{12} = 1,2 \cdot \cos \vartheta_m$ H.

- Skicirati izgled ovog dvopobudnog sistema.
- Kada su struje kroz namotaje jednosmerne, konstantne i iznose $I_1 = 20$ A i $I_2 = 15$ A, odrediti momenat konverzije koji se razvija za ugao rotora $\vartheta_{m1} = -30^\circ$.
- Odrediti položaj rotora ϑ_{m2} u kome će se on zaustaviti ukoliko je opterećen momentom od 360 Nm pri istim strujama kao u delu zadatka pod b).
- Koliki rad se izvrši pri promeni ugla od ϑ_{m1} do ϑ_{m2} ?

Napomena. Otpornosti se mogu zanemariti.

- Kako je induktivnost rotora L_{11} konstantna može se zaključiti da je stator cilindričan, a induktivnost statora je $L_{22} = f(\vartheta_m)$ pa se može zaključiti da je rotor sa isturenim polovima. Na slici 20.1. prikazan je izgled ovog dvopobudnog sistema.



Slika 20.1. Izgled dvopobudnog sistema.

- Momenat konverzije dvopobudnog sistema sa rotacionim kretanjem je:

$$m_c = \frac{1}{2} i_1^2 \frac{dL_{11}}{d\vartheta_m} + \frac{1}{2} i_2^2 \frac{dL_{22}}{d\vartheta_m} + i_1 i_2 \frac{dL_{12}}{d\vartheta_m}, \quad (20.1)$$

pa kada se uvaži da su induktivnosti $L_{11} = \text{const.}$ i $L_{22} = f(\vartheta_m)$ i da su struje konstantne, sledi:

$$m_c = \frac{1}{2} I_2^2 \frac{dL_{22}}{d\vartheta_m} + I_1 I_2 \frac{dL_{12}}{d\vartheta_m} = -\frac{1}{2} I_2^2 \sin 2\vartheta_m - 1,2 \cdot I_1 \cdot I_2 \sin \vartheta_m. \quad (20.2)$$

Za položaj rotora $\vartheta_{m1} = -30^\circ$ momenat konverzije iznosi:

$$m_c = -\frac{1}{2} \cdot 15^2 \sin(-60^\circ) - 1,2 \cdot 20 \cdot 15 \sin(-30^\circ) = \frac{225}{2} \frac{\sqrt{3}}{2} + 1,2 \cdot 300 \frac{1}{2} = 277,43 \text{ Nm}. \quad (20.3)$$

Momenat konverzije za ovaj dvopobudni sistem je uvek usmeren tako da teži da rotor postavi u položaj maksimalne sopstvene induktivnosti tj. u položaj $\vartheta_m = 0^\circ$ ili $\vartheta_m = 180^\circ$, što predstavlja njegov ravnotežni položaj. Očigledno je da kada se rotor kreće ka nultom položaju pretvara se električna energija u mehaničku, što odgovara motorskom režimu rada.

- Rotor će se zaustaviti kada se izjednače momenat opterećenja $m_m = 360$ Nm i momenat konverzije pa se može napisati sledeća jednačina:

$$360 = m_m = m_c = -\frac{1}{2} \cdot 225 \sin 2\vartheta_{m2} - 360 \sin \vartheta_{m2}, \quad (20.4)$$

čija su rešenja $\vartheta_{m2} = -90^\circ$ ili $\vartheta_{m2} = -43,5^\circ$.

d) Energija konverzije pri promeni ugla od $\vartheta_{m1} = -30^\circ$ do $\vartheta_{m2} = -90^\circ$ je:

$$W_c = \int_{\vartheta_{m1}}^{\vartheta_{m2}} m_c(\vartheta_m) d\vartheta_m = \int_{-30^\circ}^{-90^\circ} \left(-\frac{225}{2} \sin 2\vartheta_m \right) d\vartheta_m + \int_{-30^\circ}^{-90^\circ} (-360 \sin \vartheta_m) d\vartheta_m, \quad (20.5)$$

$$W_c = \left[\frac{225}{4} \cos 2\vartheta_m \right]_{-30^\circ}^{-90^\circ} + [360 \cos \vartheta_m]_{-30^\circ}^{-90^\circ} = \frac{225}{4} \left(-1 - \frac{1}{2} \right) + 360 \left(0 - \frac{\sqrt{3}}{2} \right) = -396,145 \text{ J}.$$

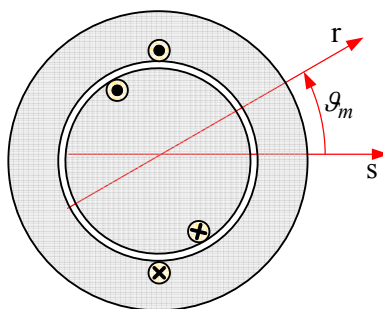
Treba primetiti da je promena ugla od $\vartheta_{m1} = -30^\circ$ do $\vartheta_{m2} = -90^\circ$ u smeru od ravnotežnog položaja.

Energija konverzije jednaka je mehaničkom radu. Predznak minus za izračunatu vrednost energije konverzije ukazuje da je spoljna (mehanička) sila izvršila rad od $A_{meh} = W_c$. Pri ovom pretvaranju energije dati dvopobudni sistem se nalazio u generatorskom režimu rada.

23. Zadatak: U dvopobudnom sistemu induktivnost namotaja statora je $L_{22} = 12$ mH, induktivnost namotaja rotora je $L_{11} = 5$ mH, a međusobna induktivnost, kada su ose namotaja poklopljene (po pravcu i smeru), ima vrednost $M = 10$ mH.

- Skicirati izgled sistema.
- Kroz statorski namotaj protiče jednosmerna struja $I_2 = 10$ A, a kroz rotorski namotaj jednosmerna struja $I_1 = 20$ A. Rotor se drži u ukočenom položaju $\vartheta_m = -30^\circ$. Odrediti momenat konverzije koji razvija sistem u ovakvim uslovima.
- Rotor se optereti radnom mašinom čiji je momenat $\sqrt{2}$ Nm. U kom položaju će se naći rotor pod dejstvom radne mašine? U kom položaju će se zaustaviti rotor kada se otkoči?
- Struja statorskog namotaja naglo se poveća na $I_2 = 20$ A. Koji položaj će sada zauzeti rotor?

a) Kako je induktivnost rotora konstantna može se zaključiti da je stator cilindričan, a kako je induktivnost statora takođe konstanta može se zaključiti da je rotor cilindričan. Međusobna induktivnost statora i rotora je $L_{12} = M \cdot \cos \vartheta_m$. Na slici 23.1. prikazan je izgled ovog dvopobudnog sistema.



Slika 23.1. Izgled dvopobudnog sistema.

b) Momenat konverzije dvopobudnog sistema sa cilindričnim statorom i rotorom ima samo osnovnu komponentu momenta:

$$m_c = i_1 i_2 \frac{dL_{12}}{d\vartheta_m}, \quad (23.1)$$

te kada se uvaži da su struje konstantne i uvrsti međusobna induktivnost, momenat konverzije postaje:

$$m_c = -I_1 I_2 M \sin \vartheta_m = -20 \cdot 10 \cdot 0,01 \sin \vartheta_m = -2 \sin \vartheta_m. \quad (23.2)$$

Momenat konverzije koji razvija ovaj dvopobudni sistem zavisi od pozicije rotora. Kako je rotor ukočen na položaju $\vartheta_m = -30^\circ$ to je momenat konverzije:

$$m_c = -2 \sin(-30^\circ) = 1 \text{ Nm}. \quad (23.3)$$

Ako se rotor otkoči on će spontano zauzeti položaj u kome se magnetne ose namotaja statora i rotora poklapaju tj. $\vartheta_m = 0^\circ$.

c) Kada se rotor ovog dvopobudnog sistema optereti radnom mašinom mehaničkog momenta $m_m = \sqrt{2}$ Nm on će se zaustaviti na poziciji ϑ_m na kojoj će se izjednačiti momenat koji razvija ovaj dvopobudni sistem sa mehaničkim momentom tj. $m_m = m_c$:

$$\sqrt{2} = m_m = m_c = -2 \sin \vartheta_m \Rightarrow \vartheta_m = -45^\circ. \quad (23.4)$$

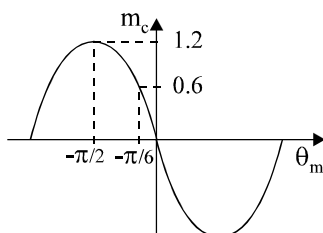
Ako se ukine mehaničko opterećenje tj. radna mašina otpusti rotor on će zauzeti položaj u kome se magnetne ose statora i rotora poklapaju $\vartheta_m = 0^\circ$ - ravnotežni položaj.

d) Ako se struja statora naglo poveća na $I_2 = 20$ A, pri nepromenjenoj vrednosti mehaničkog opterećenja, promeniće se amplituda u (23.2). Nova vrednost ugla ϑ_m na kojoj je momenat koji razvija ovaj dvopobudni sistem jednak sa mehaničkim momentom iznosi:

$$\sqrt{2} = m_m = m_c = -4 \sin \vartheta_m \Rightarrow \vartheta_m = -20,7^\circ. \quad (23.5)$$

Rotor će se zaustaviti na poziciji $\vartheta_m = -20,7^\circ$.

Zavisnost momenta konverzije ovog dvopobudnog sistema od položaja rotora za različite struje statora prikazana je na slici 23.2.



Slika 23.2. Zavisnost momenta konverzije od položaja rotora, za različite struje statora.

31. Zadatak: Dvopobudni sistem ima induktivnost namotaja rotora $L_{11} = 1$ H, induktivnost namotaja statora $L_{22} = 0,75$ H i međusobnu induktivnost $L_{12} = M \cos \vartheta_m$ H, gde je $M = 0,8$. Omski otpori namotaja se zanemaruju.

- Kroz namotaj statora teče jednosmerna struja od $I_2 = 1$ A, a kroz namotaj rotora $I_1 = 1,5$ A. Odrediti i skicirati izraz za momenat konverzije. Koji položaj će zauzeti rotor ako se optereti sa momentom opterećenja $m_m = 0,6$ Nm?
- Odrediti iznos i smer mehaničkog rada za promenu položaja rotora iz prethodnog položaja u položaj $\vartheta_m = -90^\circ$.
- Odrediti trenutnu i srednju vrednost momenta konverzije pri naizmeničnoj struji efektivne vrednosti 2 A i učestanosti 50 Hz u statoru, kada je namotaj rotora kratko spojen i rotor je ukočen u položaju $\vartheta_m = 15^\circ$.
- Koliku efektivnu vrednost napona treba dovesti na stator da bi se ostvarile struje kao u delu zadatka pod c)?

Kako su induktivnosti namotaja statora i rotora konstantne može se zaključiti da ovaj dvopobudni sistem ima cilindričan i stator i rotor.

- Momenat konverzije dvopobudnog sistema sa cilindričnim statorom i rotorom ima samo osnovnu komponentu:

$$m_c = i_1 i_2 \frac{dL_{12}}{d\vartheta_m}. \quad (31.1)$$

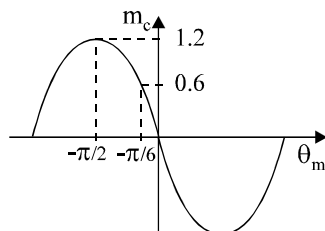
Ako se u (31.1) smene struje i uvrsti međusobna induktivnost dobija se momenat konverzije koji zavisi od pozicije rotora:

$$m_c = -I_1 I_2 \cdot M \sin \vartheta_m = -1,5 \cdot 1 \cdot 0,8 \sin \vartheta_m = -1,2 \sin \vartheta_m. \quad (31.2)$$

Kada se rotor ovog dvopobudnog sistema optereti radnom mašinom, mehaničkog momenta m_m , on će se zaustaviti na poziciji ϑ_m na kojoj će se izjednačiti momenat koji razvija ovaj dvopobudni sistemi sa mehaničkim momentom tj. $m_m = m_c$:

$$0,6 = m_m = m_c = -1,2 \sin \vartheta_m \Rightarrow \vartheta_m = -30^\circ. \quad (31.3)$$

Zavisnost momenta konverzije datog dvopobudnog sistema od položaja rotora prikazana je na slici 31.1.



Slika 31.1. Zavisnost momenta konverzije od položaja rotora.

Treba primetiti da ako se ukine mehaničko opterećenje da će se rotor postaviti na poziciju $\vartheta_m = 0$ tj. na poziciju na kojoj se magnetne ose namotaja poklapaju.

- Mehanički rad za promenu položaja rotora od $\vartheta_{m1} = -30^\circ$ do $\vartheta_{m2} = -90^\circ$:

$$A_{meh} = \Delta W_m = \Delta W_c = \int_{\vartheta_{m1}}^{\vartheta_{m2}} m_c d\vartheta_m = -1,2 \int_{-30^\circ}^{-90^\circ} \sin \vartheta_m d\vartheta_m = 1,2 \cos \vartheta_m \Big|_{-30^\circ}^{-90^\circ} = -1,04 \text{ J} \quad (31.4)$$

Predznak minus u (31.4) ukazuje da je potrebno uložiti mehanički rad da bi došlo do pomeranja rotora iz položaja $\vartheta_{m1} = -30^\circ$ do $\vartheta_{m2} = -90^\circ$.

c) Statorskim namotajem protiče naizmenična struja $i_2 = \sqrt{2}I_2 \cos \omega_2 t$ gde je $I_2 = 2 \text{ A}$, a $\omega_2 = 2\pi f_2 = 100\pi \text{ rad/s}$ koja stvara vremenski promenljiv fluks. Takav fluks u rotorskom namotaju indukuje elektromotornu silu:

$$-e_1 = \frac{d\psi_1}{dt} = L_{11} \frac{di_1}{dt} + L_{12} \frac{di_2}{dt} + \left(i_1 \frac{dL_{11}}{d\vartheta_m} + i_2 \frac{dL_{12}}{d\vartheta_m} \right) \cdot \omega_m. \quad (31.5)$$

Kako je rotorski namotaj kratko spojen to je napon na njegovim krajevima $u_1 = 0$ i kroz njega će proticati struja i_1 koja je takođe naizmenična. Iz jednačine naponske ravnoteže za rotorski namotaj može se odrediti struja i_1 u tom namotaju:

$$u_1 = R_1 \cdot i_1 - e_1 = 0. \quad (31.6)$$

Kada se u (31.6) uvaži da se otpornost namotaja zanemaruje, tada se za indukovanu ems rotora može napisati:

$$-e_1 = \frac{d\psi_1}{dt} = L_{11} \frac{di_1}{dt} + L_{12} \frac{di_2}{dt} + \left(i_1 \frac{dL_{11}}{d\vartheta_m} + i_2 \frac{dL_{12}}{d\vartheta_m} \right) \cdot \omega_m = 0. \quad (31.7)$$

Kako je rotor ukočen to je njegova brzina $\omega_m = 0$, pa postoji samo transformatorska ems, a nema ems rotacije. Iz jednačine (31.7) može se doći do struje rotora:

$$0 = L_{11} \frac{di_1}{dt} + L_{12} \frac{di_2}{dt} \Rightarrow i_1 = -\frac{L_{12}}{L_{11}} \int \frac{di_2}{dt} dt + C. \quad (31.8)$$

Razmatrana konfiguracija dvopobudnog sistema sa ukočenim rotorom funkcioniše kao transformator, gde je primarni namotaj (statorski) priključen na naizmenični napon, a sekundarni (rotorski) je kratko spojen. U tom slučaju i sekundarna (rotorska) struja je takođe naizmenična. Zbog toga je konstanta C u (31.8) jednaka nuli.

Rotor je ukočen u položaju $\vartheta_m = 15^\circ$, pa je vrednosti međusobne induktivnosti za tu poziciju rotora:

$$L_{12}(\vartheta_m = 15^\circ) = 0,8 \cdot \cos(15^\circ) = 0,773. \quad (31.9)$$

Konačno se struja rotora, pri kratko spojenom namotaju i rotorom ukočenim na poziciji $\vartheta_m = 15^\circ$, dobija smenom vrednosti (31.9) u (31.8),:

$$i_1 = -\frac{L_{12}(\vartheta_m = 15^\circ)}{L_{11}} \cdot i_2 = -0,773 \cdot \sqrt{2} \cdot 2 \cos(\omega_2 t) = -\sqrt{2} \cdot 1,546 \cos(\omega_2 t) = -\sqrt{2} \cdot I_1 \cos(\omega_2 t). \quad (31.10)$$

Kada se u jednačinu za momenat konverzije (31.1), ovog dvopobudnog sistema, uvrste struje i induktivnosti, dobija se trenutna vrednost momenta konverzije, pri kratko spojenom namotaju rotora i rotorom ukočenim na poziciji $\vartheta_m = 15^\circ$:

$$m_c = i_1 i_2 \frac{dL_{12}}{d\vartheta_m} = -i_1 i_2 \cdot M \sin \vartheta_m = -\left[-\sqrt{2} I_1 \cos(\omega_2 t) \right] \cdot \left[\sqrt{2} I_2 \cos(\omega_2 t) \right] \cdot M \sin \vartheta_m, \quad (31.11)$$

$$m_c = 2I_1 I_2 M \cos^2(\omega_2 t) \sin \vartheta_m = 2I_1 I_2 M \frac{1 + \cos(2\omega_2 t)}{2} \sin \vartheta_m = M_{sr} (1 + \cos(2\omega_2 t)). \quad (31.12)$$

Srednja vrednost momenta konverzije iznosi:

$$M_{sr} = \frac{1}{T} \int_0^T m_c dt = I_1 I_2 M \sin \vartheta_m = 2 \cdot 1,546 \cdot \sin 15^\circ = 0,8 \text{ Nm}. \quad (31.13)$$

d) Iz jednačine naponske ravnoteže za statorski namotaj, može se odrediti potreban napon kako bi se postigle struje kao u delu pod c):

$$u_2 = R_2 \cdot i_2 - e_2. \quad (31.14)$$

Kada se u (31.14) uvaži da se otpornost statorskog namotaja zanemaruje i da je rotor nepokretan na poziciji $\vartheta_m = 15^\circ$, tada indukovana ems statora sadrži samo transformatorsku ems, pa se može napisati:

$$u_2 = -e_2 = \frac{d\psi_2}{dt} = L_{12} \frac{di_1}{dt} + L_{22} \frac{di_2}{dt}. \quad (31.15)$$

Kada se u (31.15) uvrsti struja rotora data izrazom (31.10) i struja statora, dobija se trenutna vrednost potrebnog napona statora:

$$u_2 = -e_2 = \left[L_{22} - \frac{L_{12}^2}{L_{11}} \right] \frac{di_2}{dt} = - \left[L_{22} - \frac{L_{12}^2}{L_{11}} \right] \sqrt{2} I_2 \omega_2 \sin \omega_2 t = -\sqrt{2} U_2 \sin \omega_2 t. \quad (31.16)$$

Efektivna vrednost potrebnog statorskog napona je:

$$U_2 = \left[L_{22} - \frac{L_{12}^2}{L_{11}} \right] I_2 \omega_2 = \left(0,75 - \frac{0,8^2 \cos^2 15^\circ}{1} \right) \cdot 2 \cdot 100\pi = 96,05 \text{ V}. \quad (31.17)$$