

სინქრონული ძრავის ჩართვის გარდამავალი პროცესის მათემატიკური მოდელირება

გიორგი ხაჩიძე, დოქტორანტი
დემურ კობრეიძე, პროფესორი

რეზიუმე

ხანმოკლე სინქრონული ძრავის (კომპესატორის) ხანმოკლე გამორთვის შემდეგ ქსელთან მიერთების გარდამავალი პროცესის ოპერატორული განტოლებები. არდაქმნების შემდეგ მიღებულია სტატორის დენების d, q შემდგენლების ოპერატორული გამოსახულებები მანქანის ყველა პარამეტრის მხედველობაში მიღებით. ენების ოპერატორული გამოსახულებებიდან ორიგინალზე გადასვლა ხდება დაშლის თეორემის ან გამოსახულებების და ორიგინალების შესაბამისობების ცხრილებიდან.

Summary

Operator Equations Of Starting The Transition Process Of Synchronous Engine

There is discusses operator equations of grid connection of the transition process after a brief shutdown in of synchronous engine (condenser). There is received as a result of transformation of the stator currents drawn up taking into account the operational parameters for all the images of a generator. Currents camerawork images from the original dissolution occurs theorems or images and tables of correspondence from the originals.

სინქრონული მანქანის გარდამავალი პროცესი აღწერილია პარკი-გორვეის დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემით [1]. განტოლებების სრულ სისტემას დემპფერული კონტურების არსებობის შემთხვევაში d, q დერძებში ფარდობით

$$\begin{aligned} & (x_{ad}) \\ & -e_d = \frac{d\psi_d}{d\tau} - \psi_q(1+s) + r_a i_d; \\ & -e_q = \frac{d\psi_q}{d\tau} + \psi_d(1+s) + r_a i_q; \\ & u_f = \frac{d\psi_f}{d\tau} + r_f i_{fd}; \\ & 0 = \frac{d\psi_D}{d\tau} + r_D i_D; \\ & 0 = \frac{d\psi_Q}{d\tau} + r_Q i_Q; \\ & e_0 = \frac{d\psi_0}{d\tau} + r_a i_0; \\ & T_M \frac{d^2\theta}{d\tau^2} + \psi_q i_d - \psi_d i_q = M_H; \\ & \frac{d\theta}{d\tau} = s. \end{aligned}$$

e_d, e_q სტატორის d და q ელექტრო-
მამოძრავებელი ძალები;

$\psi_d, \psi_q, \psi_f, \psi_D, \psi_Q$ - ნაკადთშემე-
ბია;

i_d, i_q, i_f, i_D, i_Q - გრაგნილებში
დენებია,

τ - სინქრონული დრო (რად);

θ - კუთხეთა ქსელის ძაბვის ვექტორსა და q
დერძის უარყოფით მიმართულებას შორის.

$$S = (\omega_r - \omega_s) / \omega_s \text{ სრიალი};$$

ω_s - სინქრონული სიჩქარე;

ω_r - როტორის სიჩქარე.

M_H - დატვირთვის მომენტი;

T_M - მექანიზმის ინერციის მუდმივა.
მანქანის ნაკად შემტობია:

$$\psi_d = L_d i_d + M_{af} i_f + m_{qD} i_D = x_d i_d + x_{ad} i_f + x_{aD} i_D;$$

$$\psi_q = L_q i_q + m_{aQ} i_Q = x_q i_q + x_{aQ} i_Q;$$

$$\psi_f = M_{af} i_f + L_f i_f + m_{fD} i_D = x_{ad} i_D + x_f i_f + x_{fD} i_D;$$

$$\psi_D = m_{qD} i_D + m_{fD} i_f + L_D i_D = x_{aQ} i_q + x_{fD} i_f + x_D i_D;$$

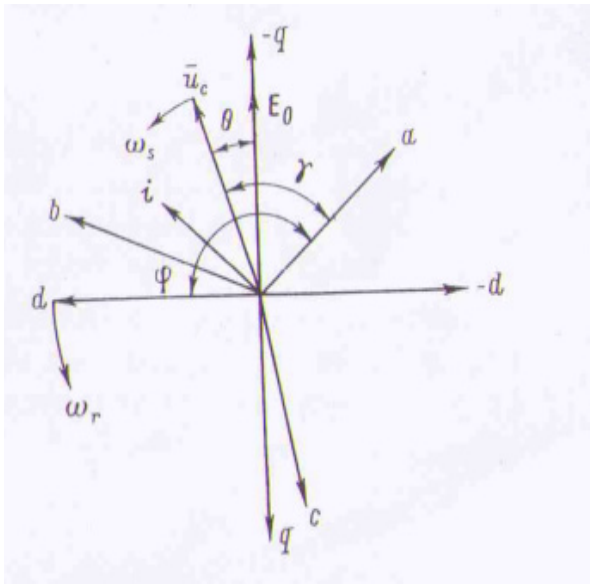
$$\psi_Q = m_{aQ} i_q + L_Q i_Q = x_{aQ} i_q + x_Q i_Q. \quad (2)$$

(1) განტოლებათა სისტემა შეიძლება გადაინეროს
ძაბვის ჩართვის რეჟიმის შემთხვევაში, როდესაც
სრიალი მიიღებს დადებით მნიშვნელობას როტორის
სიჩქარე ამ შემთხვევაში ნაკლებია სინქრონულ სიჩ-
ქარეზე. ჩვენს განტოლებათა სისტემა:

$$\begin{aligned}
U_d &= \frac{d\psi_d}{d\tau} - (1-s)\psi_q + r_a i_d; \\
U_q &= \frac{d\psi_q}{d\tau} + (1-s)\psi_d + r_a i_q; \\
U_f &= \frac{d\psi_f}{d\tau} + r_f i_f; \\
0 &= \frac{d\psi_D}{d\tau} + r_D i_D; \\
0 &= \frac{d\psi_Q}{d\tau} + r_Q i_Q; \\
T_M \frac{d^2\theta}{d\tau^2} + \psi_q i_d - \psi_d i_q &= M_H; \\
\frac{d\theta}{d\tau} &= s.
\end{aligned} \quad (3)$$

სადაც $u_d, u_q - d, q$ გრაგნილებზე მოდებული ძაბვებია.

ნახ. 1-ზე ნაჩვენებია სიდიდეთა გამომსახველი ვექტორები.



ნახ. 1 სიდიდეთა გამომსახველი ვექტორები

განვიხილოთ ძრავას ხანმოკლე გამორთვა, მანქანის ბრუნვის სიჩქარე და მანქანის პარამეტრები მუდმივი სიდიდეებია და (3) განტოლებათა სისტემა წარმოადგენს დიფერენციალურ განტოლებებს მუდმივი კოეფიციენტებით და მისი ამოხსნა შეიძლება ოპერატორული მეთოდით. $x_d(p)$ და $x_q(p)$ ოპერატიული პარამეტრების შემოღება ამარტივებს ანალიზს. გამოვიყენოთ ზედდების პრინციპი. ელექტრომაგნიტურ გარდამავალ პროცესებს ვიკვლევთ როტორის მუდმივი ბრუნვის სიჩქარის შემთხვევაში. ვიხილავთ განტოლებათა ორ სისტემას. პირველი სისტემა აღწერს მანქანის სტატორის მიერთებას ქსელზე, როცა აგზნების გრაგნილი მოკლედ არის შერთული. ჩანტოლებებს აქვთ სახე:

$$\begin{aligned}
U_d &= \frac{d\psi_d}{d\tau} - (1-s)\psi_q + r_a i_d; \\
U_q &= \frac{d\psi_q}{d\tau} - (1-s)\psi_d + r_a i_q; \\
0 &= \frac{d\psi_f}{d\tau} + r_f i_f; \\
0 &= \frac{d\psi_D}{d\tau} + r_D i_D; \\
0 &= \frac{d\psi_Q}{d\tau} + r_Q i_Q.
\end{aligned} \quad (4)$$

განტოლებათა მეორე სისტემა შეესაბამება სტატორის მოკლედ შერთულ გრაგნილს და მუდმივ ძაბვაზე ჩართულ აგზნების გრაგნილს:

$$\begin{aligned}
0 &= \frac{d\psi_d}{d\tau} - (1-s)\psi_q + r_a i_d; \\
0 &= \frac{d\psi_q}{d\tau} + (1-s)\psi_d + r_a i_q; \\
U_f &= \frac{d\psi_f}{d\tau} + r_f i_f; 0 \\
0 &= \frac{d\psi_D}{d\tau} + r_D i_D; \\
0 &= \frac{d\psi_Q}{d\tau} + r_Q i_Q.
\end{aligned} \quad (5)$$

(4) განტოლებები ოპერატორულ ფორმაში ასე ჩაიწერება:

$$\begin{aligned}
U_d(p) &= p\psi_d(p) - \psi_{d0} - (1-s)\psi_q(p) + r_a i_d(p); \\
U_q(p) &= p\psi_q(p) - \psi_{q0} + (1-s)\psi_d(p) + r_a i_q(p); \\
0 &= p\psi_f(p) - \psi_{f0} + r_f i_f(p); \\
0 &= p\psi_D(p) - \psi_{D0} + r_D i_D(p); \\
0 &= p\psi_Q(p) - \psi_{Q0} + r_Q i_Q(p).
\end{aligned} \quad (6)$$

სადაც $\psi_{d0}, \psi_{q0}, \psi_{f0}, \psi_{D0}, \psi_{Q0}$ — ნაკადთშებმების საწყისი მნიშვნელობებია. ნაკადთშებმებისთვის გვაქვს განტოლებები:

$$\psi_d(p) = x_{ad}i_d(p) + x_{ad}i_f(p) + x_{ad}i_D(p);$$

$$\psi_q(p) = x_{aq}i_q(p) + x_{aq}i_f(p);$$

$$\psi_f(p) = x_{fd}i_d(p) + x_{ad}i_d(p) + x_{fd}i_D(p);$$

$$\psi_D(p) = x_{ad}i_d(p) + x_{fd}i_f(p) + x_{D}i_D(p);$$

$$\psi_q(p) = x_{aq}i_q(p) + x_{q}i_q(p). \quad (7)$$

ნაკადთშეშეშების მნიშვნელობები ოპერატორული $x_d(p)$ და $x_q(p)$ წინააღმდეგობების გათვალისწინებით ტოლია:

$$\begin{aligned} \psi_d(p) &= x_d(p)i_d(p); \\ \psi_q(p) &= x_q(p)i_q(p). \end{aligned} \quad (8)$$

დავუშვათ $r_a = 0$ და ჩავწეროთ სტატორის წრედის განტოლებები მაქვრი(კულ) სახეში:

$$\begin{bmatrix} U_d(p) + \psi_{d0} \\ U_q(p) + \psi_{q0} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} px_d(p) & -(1-s)x_q(p) \\ (1-s)x_d(p) & px_q(p) \end{bmatrix} X \begin{bmatrix} i_d(p) \\ i_q(p) \end{bmatrix} \quad (9)$$

(9) განტოლებათა სისტემიდან ვპოულობთ სტატორის დენებს

$$i_d(p) = \frac{[U_d(p) + \psi_{d0}]p + [U_q(p) + \psi_{q0}](1-s)}{[p^2 + (1-s)^2]x_d(p)}; \quad (10)$$

$$i_q(p) = \frac{[U_q(p) + \psi_{q0}]p - [U_d(p) + \psi_{d0}](1-s)}{[p^2 + (1-s)^2]x_q(p)}. \quad (11)$$

u_a, u_b, u_c ფაზური ძაბვებით გამოსახება სტატორის ძაბვის d და q შემდგენები:

$$\begin{aligned} U_d &= \frac{2}{3} \left[U_a \cos \alpha + U_b \cos \left(\alpha - \frac{2\pi}{3} \right) + U_c \cos \left(\alpha + \frac{2\pi}{3} \right) \right]; \\ U_q &= \frac{2}{3} \left[U_a \sin \alpha + U_b \sin \left(\alpha - \frac{2\pi}{3} \right) + U_c \sin \left(\alpha + \frac{2\pi}{3} \right) \right], \end{aligned}$$

სადაც

$$\begin{aligned} U_a &= U_c \cos \gamma; \quad \gamma = \tau + \gamma_0; \quad U_b = U_c \cos \left(\gamma - \frac{2\pi}{3} \right); \\ \tau &= \omega_s t; \quad U_c = U_c \cos \left(\gamma + \frac{2\pi}{3} \right); \quad \alpha = \varphi + \frac{\pi}{2}. \end{aligned}$$

ძრავულ რეჟიმში მუშაობისას $\varphi = (1-s)\tau + \varphi_0$; $\theta = -s\tau + \theta_0$ და u_d და u_q ასე გამოისახება;

$$\begin{aligned} U_d &= U_c \sin(s\tau - \theta_0) = U_c \sin(-\theta); \\ U_q &= U_c \cos(s\tau - \theta_0) = U_c \cos(-\theta), \end{aligned}$$

ე.ი როტორის მუდმივი კუთხური სიჩქარით ბრუნვისას $S = \text{const}$, და u_d და u_q წარმოადგენენ დროის ჰარმონიულ ფუნქციებს.

θ კუთხის დადებითი მნიშვნელობა შეესაბამება

გენერატორულ რეჟიმს, ხოლო უარყოფითი — ძრავულ რეჟიმს. შეაბამისად გვაქვს:

$$u_d = u_c \sin \theta \quad u_q = u_c \cos \theta \quad \text{ძრავული რეჟიმისთვის } u_d \text{ და } u_q \text{ ძაბვების: ოპერატორული გამოსახულებები:}$$

$$\begin{aligned} U_d(p) &= \frac{U_{q0}s + U_{d0}(p)}{p^2 + s^2}; \\ U_q(p) &= \frac{-U_{d0}s + U_{q0}(p)}{p^2 + s^2}. \end{aligned}$$

ჩავსვათ ეს მნიშვნელობები (11) და (12) — ში, მივიღებთ დენების ოპერატორულ გამოსახულებას:

$$\begin{aligned} i_d(p) &= \{p^3\psi_{d0} + p^2[U_{d0} + \psi_{q0}(1-s)] + p[U_{q0}(1-2s) + \psi_{d0}s^2] + \\ &+ U_{d0}(1-s) + \psi_{q0}s^2(1-s)\} \{(p^2+s)[p^2+(1-s)^2]x_d(p)\}^{-1} \\ i_q(p) &= \{p^3\psi_{q0} + p^2[U_{q0} - \psi_{d0}(1-s)] - p[U_{d0}(1-2s) - \psi_{q0}s^2] + \\ &+ U_{q0}(1-s) + \psi_{d0}s^2(1-s)\} \{(p^2+s)[p^2+(1-s)^2]x_q(p)\}^{-1}. \end{aligned} \quad (12)$$

$$u_d = u_c \sin \theta; \quad u_q = u_c \cos \theta.$$

სადაც

როტორის სინქრონული სიჩქარით ბრუნვისას ძრავას ქსელში ჩართვისას ე.ი. $S = 0$ და s სანყისი მნიშვნელობა ტოლია θ_0 -ისა ტოლობები მიიღებს სახეს:

$$\begin{aligned} i_d \text{ და } i_q \text{ დენების ცვლილების ხასიათი დამოკიდებულია (13)-ის მახასიათებელი განტოლებების ფესვებზე. } p = 0 \text{ ნულოვანი ფესვი შეესაბამება დენების დამყარებულ მნიშვნელობას.} \\ i_d(n) \text{ და } i_q(n) \end{aligned}$$

$$i_{dn} = \frac{U_c \cos \theta_0}{x_d(p)_{p=0}}; \quad i_{qn} = \frac{U_c \sin \theta_0}{x_q(p)_{p=0}}. \quad (14)$$

დენების მყისი მნიშვნელობები განისაზღვრება (13) ოპერატორული განტოლებებიდან დაშლის თეორემის მეშვეობით. ჩატარებული ანალიზი ეხებოდა სინქრონული ძრავას რეჟიმებს. შედეგები სამართლიანია სინქრონული კომპესატორისათვის ლილვზე დატვირთვის არ არსებობის შემთხვევაში.

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. Горев А.А., Переходные процессы синхронной машины. Л. Наука, 1985.
2. Коненко Е. В. Сипайлов Г.А. Харьков К.А. Электрические машины (специальный курс). М. : “Высшая школа”, 1975.