UDC 621.313.13

SCOPUS CODE 2102

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2021-3-69-75>

მრავალმრავიანი ელექტროამბრავის მრავალარხიანი მართვის სისტემის დინამიკური მახასიათებლები მექანიკური გადამცემების დრეკადობათა გათვალისწინებით

ნანა ბერაძე ენერგეტიკისა და ელექტრონიკის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 75
E-mail: beradzenana@gmail.com

ოლეგი ხაჭაპურიძე ენერგეტიკისა და ელექტრონიკის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 75
E-mail: o.khachapuridze@gtu.ge

რეცენზენტები:

ს. მეზონია, საქართველოს მეცნიერების ეროვნული აკადემიის მანქანათა მექანიკის ინსტიტუტის წამყვანი სპეციალისტი

E-mail: meboniaslava@mail.ru

ე. კორქია, სტუ-ის ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის ასოცირებული პროფესორი

E-mail: e.korkia@gtu.ge

ანოტაცია. სამეცნიერო სტატიაში განხილულია მუდმივი დენის ორ- და სამმრავიანი ტირისტორული ელექტროამბრავის დინამიკური მახასიათებლების გამოკვლევა, მრავალმრავიანი მართვის სისტემის შემთხვევაში, მექანიკური ლილვების დრეკადობის გათვალისწინებით. ასეთი მრავალმრავიანი მართვის სისტემები ფართოდ გამოიყენება მეტალურგიულ წარმოებაში. მაგალითად, ფურცელ საგლინავ დგანებში, სადაც მექანიკურ ნაწილში ადგილი აქვს მნიშვნელოვან დინამიკურ გრეხით მომენტებს.

ნაშრომში ასევე განხილულია შეკრული მრავალმრავიანი სისტემის ფუნქციონალური და სტრუქტურული სქემები

გარდამავალი რეჟიმების კვლევების შედეგად მიღებული ხარისხის მაჩვენებლები ახლოსაა ოპტიმალურ პარამეტრებთან, ამიტომ განხილული სისტემა ვარგისია მრავალმრავიანი საგლინავი დგანებისთვის.

საკვანძო სიტყვები: მრავალმრავიანი; ავტომატიზებული; ელექტროამბრავი; ასინქრონული; ტირისტორი; აგზნებით რეგულირებადი; ელექტროამბრავი დრეკადი კავშირებით.

შესავალი

მეტალურგიული წარმოების ფურცელსაგლინი დგანები, როგორც წესი, წარმოადგენს მრავალ-ლილვიან საწნებ დანადგარებს, რომლებსაც შემდეგ მოემსახუროს როგორც ცვლადი, ისე მუდმივი დენის მრავალმრავიანი ელექტროამძრავები [1-3]. სიჩქარის რეგულირების დიაპაზონისა და მუშაობაში საიმედოობის თვალსაზრისით ზოგიერთი ფირმები ამ ტიპის მანქანებზე ამჯობინებს 1-ლ სურათზე წარმოდგენილი მუდმივი დენის მრავალ-მრავიანი ავტომატიზებული ტირისტორული ელექტროამძრავის მართვის სისტემას [4-8].

ძირითადი ნაწილი

სურ. 1

სქემაზე გვაქვს: სრ1-სრ3 არის სიჩქარის რეგულატორები; დრ1-დრ3 – დენის რეგულატორები; ტგ1-ტგ3 – ძრავების ღუზების მკვეზავი ტირისტორული გამმართველები; M1-M3-მუდმივი დენის დამოუკიდებელ აღზნებიანი ძრავები; u_a – სისტემის მართვის სიგნალი; $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ – ძრავების ბრუნთა კუთხური სიჩქარეები.

2 ა,ბ-ე სურათებზე წარმოდგენილია ორ და სამძრავიანი ელექტროამძრავების გარდაქმნილი

სტრუქტურული ბლოკ-სქემები. სქემებზე შესაბამისად გვაქვს შემდეგი აღნიშვნები: W_{0i} , $i = \overline{1;3}$, M_{iq} , $i, q = \overline{1;3}$ პირდაპირი არხების და არხებს შორის ურთიერთმკავშირეული რგოლების ექვივალენტური გადამცემი ფუნქციები.

3-ე სურათზე წარმოდგენილია დრეკად მექანიკურ ლილვებიანი ორძრავიანი ტირისტორული ელექტროამძრავის დეტალიზებული სტრუქტურული სქემა, რომელიც შედგენილია ანალოგიურად [4]-ში მიღებული გადამცემი ფუნქციების გამოყენებით.

ა)

ბ)

სურ. 2

სურ. 3

სქემაზე გვაქვს შემდეგი სიდიდეები: $s = d/dt$ არის წარმოებულის სიმბოლო; β_i , τ_{i1} , $i = \overline{1;2}$ – სიჩქარის რეგულატორების დინამიკური გაძლიერების კოეფიციენტები და საკუთარი უკუკავშირის წრედების დროის მუდმივები; k_i , $i = \overline{1;2}$ – დენის უკუკავშირების გადაცემის კოეფიციენტები; $T_{\Sigma 2i}$, $i = \overline{1;2}$ – დენის კონტურების გაუკომპენსირებელი დროის მუდმივები; $T_{\alpha 1}$, $T_{\alpha 2}$, T_{α} ძრავებისა და მექანიზმის მუშა ლილვების მექანიკური დროის მუდმივები; $k_{დ1}$ და $k_{დ2}$ – ძრავების დატვირთვის კოეფიციენტები; Δu_{θ} , $\Delta i_1, \Delta i_2$ – მართვის სიგნალის, ძრავების ღუზის დენებისა და $\Delta \omega_1, \Delta \omega_2$ – კუთხური სიჩქარეების ფარდობითი ნაზრდების სიდიდეები; $\Delta M_{დრ1}, \Delta M_{დრ2}, \Delta M_{სტ}$ – მექანიკური ლილვების დრეკადი მომენტებია და მექანიზმის დატვირთვის სტატიკური მომენტი; T_{di}, T_{ci} , $i = \overline{1;2}$ – გრძელი მექანიკური ლილვების დრეკადი თვისებისა და სიხისტის შესატყვისი დროის მუდმივები.

მრავალძრავიანი ტირისტორული ელექტროამძრავის სისტემაში ძრავებს შორის დატვირთვათა სწორი განაწილების პირობების დადგენის მიზნით გამოკვლეულია ორძრავიანი ამ-ძრავის სტრუქტურული სქემა, რომელიც წარმოდგენილია 3-ე სურათზე. სქემა გამოკვლეულ იქნა კომპიუტერზე პროგრამა MATLAB-ის გამოყენებით 300 კვტ და 150 კვტ სიმძლავრის ძრავების პარამეტრების შემდეგი მნიშვნელობებისათვის: $\beta_1 = 10$, $\tau_1 = 0,1$ წმ., $\beta_2 = 8$, $\tau_2 = 0,3$ წმ., $k_{i1} = k_{i2} = 0,1$, $T_{\Sigma 2} = 0,01$ წმ., $T_{\alpha 1} = 1,5$ წმ., $T_{\alpha 2} = 1,2$ წმ., $T_{\alpha} = 10$ წმ., $k_{დ1} = 0,6$, $k_{დ2} = 0,4$, $T_{d1} = T_{d2} = 0,002$ წმ., $T_{c1} = T_{c2} = 0,0004$ წმ. ელექტროამძრავის სისტემის (სურ. 3) გამოკვლევის შედეგად დადგინდა, რომ ელექტროძრავებს შორის დატვირთვის პროპორციული განაწილებისთვის აუცილებელია ცალკეულ სეპარატულ არხებს შორის ჯვარედინი კავშირის ჩართვა, 0.1-ის ტოლი გადაცემის კოეფიციენტით. სისტემაში გრეხითი რხევების ჩასაქრო-

ბად გამოყენებულია კალმანის ფილტრი მთავარი ძრავას კუთხურ სიჩქარესა და სიჩქარის რეგულატორს შორის, მე-4 სურ. კალმანის ფილტრი აგებულია ამძრავის მექანიკური ნაწილის შესაბამისი სტრუქტურული სქემის მიხედვით. მისი დახმარე-

ბით მიიღება მთავარი ძრავას კუთხური სიჩქარის წარმოებულის $\dot{\omega}_1$ შეფასებითი სიგნალი [3]. $\dot{\omega}_1$, $\dot{\omega}_2$ და $\dot{M}_{\text{დრ}}$ – კალმანის ფილტრის ეტალონური მოდელის შესაბამისი შეფასებითი სიდიდეებია.

სურ. 4

5, ა სურათზე მოცემულია გარდამავალი პროცესების მრუდები ძრავებისა და მექანიზმის კუთხური სიჩქარეებისა $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ სისტემის შენაკვალზე ერთეულოვანი ნახტომისებრი სიგნალის

მიწოდებისას, ხოლო 5,ბ და გ – სურათებზე ძრავების ღუზების დენებისა i_1, i_2 დატვირთვის ნახტომისებრი შეცვლისას.

სურ. 5

შემუშავებული რეკომენდაციების გათვალისწინებით ელექტროამძრავის სისტემა უზრუნველყოფს დინამიკურ მახასიათებლებს ხარისხის შემდეგი ოპტიმალური მნიშვნელობებით: გადამეტრეგულირება შეადგენს $\sigma = 40\%$, გარდამავალი პროცესის ხანგრძლივობა $t_{\phi} = 2$ წმ.

დასკვნა

მრავალძრავიანი ტურისტული ელექტროამძრავების სისტემის შემთხვევაში, დატვირთვის სწორი

განაწილების დადგენის მიზნით, გამოკვლეული იქნა ორძრავიანი ამძრავის სტრუქტურული სქემა. კვლევა ჩატარებულია კომპიუტერული პროგრამა - MATLAB - ის გამოყენებით 150 კვტ და 300 კვტ სიმძლავრის ძრავების გათვალისწინებით.

სისტემაში წარმოქმნილი გრეხითი რხევების ჩასაქრობად გამოყენებულია კალმანის ფილტრის მსგავსი დამკვირვებელი მოწყობილობა.

ლიტერატურა

1. Dochviri, J., Khachapuridze, O., Beradze, N. (2015). A Digital Filter for Electrical Drive with Elastic Shaft. *American Journal of Electrical and Electronic Engineering*, 3 (5), 112-116. (In English);
2. Dochviri, J., Khachapuridze, O., Beradze, N. (2016). Dynamics of Digital System of Two-Motor Electrical Drive with Elastic Transmissions. *American Journal of Electrical and Electronic Engineering*, 4 (1), 16-22. (In English);
3. Dochviri, J. (2020). Configuration of the control system of an asynchronous electric drive with an observing device in the presence of an elastic mechanical shaft, Russia: *Electromechanics*, 1, 38-42. (In Russian);
4. Dochviri, J., Khachapuridze, O. (2012). Modeling the dynamic modes of a two-motor electric drive taking into account the elasticity and clearances of mechanical transmissions. Ukraine: *Electrical and Computer Systems*, 05 (81), 43-49. (In Russian);
5. Dochviri, J., Beradze, N. (2016). Dynamics of a two-motor electric drive with regulation of excitations of motors with digital control. Ukraine: *Electrical and Computer Systems. Proceedings of the II International Conference. ELTECS-2016*, 22 (98), 28-32. (In Russian);
6. Dochviri, J. (2005). Optimization of the dynamics of a thyristor electric drive with an elastic link according to the Kalman-Frobenius criteria. *Electricity*, 1, 26-31.
7. Dochviri, J. (2006). Optimization of transient processes of multi-motor thyristor electric drives with elastic connections for press mechanisms of continuous technological machines. *Electricity*, 2, 34-42.
8. Dochviri, J. (2002). Multi-motor automated electric drive with elastic connections. Ukraine: *Radio Electronics, Informatics, Management*, 1(7), 114-119. (In Russian).

UDC 621.313.13

SCOPUS CODE 2102

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2021-3-69-75>

Dynamic Characteristics of a Multimotor Electric Motor Multichannel Control System, Taking Into Account the Elasticities of Mechanical Transmitters

Nana Beradze

Department of Energy and Electronics, Georgian Technical University, Georgia,
0160, Tbilisi, M. Kostava 75

E-mail: beradzenana@gmail.com

Oleg Khachapuridze

Department of Energy and Electronics, Georgian Technical University, Georgia, 0160,
Tbilisi, M. Kostava 75

E-mail: o.khachapuridze@gtu.ge

Reviewers:

S. Mebonia, Leading Specialist of the Institute of Mechanical Engineering of the National Academy of Sciences of Georgia

E-mail: meboniaseava@mail.ru

E. Korkia, Associate Professor, Faculty of Energy and Communications, GTU

E-mail: e.korkia@gtu.ge

Abstract. The study of the dynamic characteristics of two- and three-engine thyristor electric motors with constant current, in the case of a multi-motor control system, taking into account the elasticity of mechanical shafts are reviewed in this article. Such multimotor control systems are widely used in metallurgical production. For example, in sheet rolling mills, where in the mechanical part there are moments of significant dynamic curvature.

The paper also reviews the functional and structural schemes of a cohesive multi-engine system.

In the case of a multi-motor touring electric motor system, the structural scheme of a two-engine drive was studied in order to determine the correct load distribution. The study was conducted using a computer program - MATLAB using 150 kW and 300 kW engines.

A Kalman filter-like observation device is used to quench the binding oscillations generated in the system.

The quality indicators obtained from the transient mode studies are close to the optimal parameters, so the considered system is suitable for multi-motor rolling mills.

Key words: automated; asynchronous; electric motor; excitably regulated; electric drive with flexible connections; multi-engine; thyristor.

UDC 621.313.13

SCOPUS CODE 2102

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2021-3-69-75>

Динамические характеристики системы многоканального управления многомоторного электродвигателя с учетом упругости механических передатчиков

ნანა ბერაძე Департамент энергетики и электроники, Грузинский технический университет,
Грузия, 0160, Тбилиси, М. Костава 75
E-mail: beradzenana@gmail.com

Олег Хачапуридзе Департамент энергетики и электроники, Грузинский технический университет,
Грузия, 0160, Тбилиси, М. Костава 75
E-mail: o.khachapuridze@gtu.ge

Рецензенты:

С. Мебония, ведущий специалист Института машиностроения Национальной академии наук Грузии
E-mail: meboniaseava@mail.ru

Э. Коркия, ассоциированный профессор факультета энергетики и связи ГТУ
E-mail: e.korkia@gtu.ge

Аннотация. Рассматривается исследование динамических характеристик двух и трехмоторных тиристорных электродвигателей, в случае системы многодвигательного управления с учетом упругости механических валов. Такие системы многодвигательного управления широко используются в металлургическом производстве. Например, в листопрокатных станах, где в механической части присутствуют моменты значительного динамического кручения.

В работе также обсуждаются функциональные и структурные схемы связанной многодвигательной системы.

В случае системы тиристорного электродвигателя, с целью определения правильного распределения нагрузки, была исследована конструктивная схема двухмоторного вала. Исследование проводилось с помощью компьютерной программы – MATLAB, с учетом двигателей мощностью в 150 и 300 кВт.

Для подавления беспорядочных колебаний, возникающих в системе, используется устройство мониторинга по типу фильтра Калмана.

Показатели качества, полученные при исследовании переходных режимов, близки к оптимальным параметрам, поэтому, рассматриваемая система подходит для многодвигательных прокатных станов.

Ключевые слова: автоматизированный; асинхронный; многодвигательный; регулируемое возбуждение; тиристор; электродвигатель; электропривод с гибкими соединениями.

განხილვის თარიღი 11.06.2021

შემოსვლის თარიღი 15.06.2021

ხელმოწერილია დასაბეჭდად 29.09.2021