

სარკინიგზო ცვლადი დენის ელექტრული ტრანსპორტის
ელექტრომომარაგების გაერთიანებულ გარდამქმნელ სისტემაში IGBT-
ტრანზისტორული მოდულებიანი მართვადი სამფაზა უკუ გამმართველი
აგრეგატის გათვალისწინებით იმპულსური მართვის ალგორითმების
დამუშავება

ბივი კოხრეიძე - ტექნ. მეცნ. დოქტორი, პროფესორი

E-mail: gmgmgkf@mail.ru

გოჩა კოხრეიძე - პროფესორი

E-mail: gocha.kokhreidze@gse.com.ge

ნანა ბერაძე - ასოცირებული პროფესორი

E-mail: beradzenana@gmail.com

ბივი მურჯიკნელი - ტექნ. მეცნ. დოქტორი, პროფესორი

E-mail: givi.murjikneli@magticom.ge

ივოლდა ყურაშვილი - ასოცირებული პროფესორი

E-mail: kurashviliizolda02@gtu.ge

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ანოტაცია. სამეცნიერო საინჟინრო ნაშრომში წარმოდგენილია ელექტრული ტრანსპორტის ელექტრომომარაგების გაერთიანებულ გარდამქმნელ სისტემაში IGBT-ტრანზისტორული მოდულებიანი მართვადი სამფაზა ძირითადი გამმართველის, სამფაზა ძაბვის ინვერტორის და მის პარალელურად მიერთებული მართვადი სამფაზა უკუ გამმართველი აგრეგატების კომპუტატორების ალგორითმები და შესაბამისი დენების კომპუტაციური ფუნქციები. ნაჩვენებია ყველა ელექტრული სიდიდის ტალღური დიაგრამები, ტრანზისტორული მოდულების იმპულსური მართვის ალგორითმები. დადგენილია კომპუტაციური ფუნქციების ანალიზური გამოსახულებები ჩვეულებრივი ტირისტორების და IGBT- ტრანზისტორული მოდულების შემთხვევებისათვის.

საკვანძო სიტყვები: IGBT-ტრანზისტორული მოდული, სარკინიგზო ელექტრული ტრანსპორტი, სამფაზა ძაბვის ინვერტორი.

შესავალი

მეტად მნიშვნელოვანია IGBT-ტრანზისტორული მოდულებიანი ძირითადი მართვადი სამფაზა გამმართველი, მართვადი უკუ გამმართველი და ძაბვის სიხშირული მართვის ინვერტორული აგრეგატების (კომპუტატორების) იმპულსური მართვის ალგორითმების კანონზომიერების დადგენა. აღნიშნულ ალგორითმები უზრუნველყოფენ გაერთიანებულ გარდამქმნელ სისტემაში IGBT-ტრანზისტორული მოდულების წინასწარ დადგენილი კანონზომიერებით იმედიან, მდგრად მუშაობას. მეტად საჭიროა თითოეულ აგრეგატების კომპუტატორებისათვის დენების და ძაბვების მიხედვით კომპუტაციური ფუნქციების ანალიზური გამოსახულებების მიღება, რომლებიც იძლევიან საშუალებას მიღებულ იქნას სრული მათემატიკური და კომპიუტერული მოდელი.

თემის აქტუალობა

მეტად აქტუალურია IGBT-ტრანზისტორულ მოდულებიანი თითოეული კომპუტატორებისათვის მართვის ალგორითმების და, შესაბამისად, დენებისა და ძაბვების მიხედვით კომუტაციური ფუნქციების დროში ცვალებადობის კანონზომიერების დადგენა ანალიზური სახით.

სამუშაოს მიზანი

სტატიის მიზანია გაშუქდეს კომპუტატორებში შემავალი თითოეული IGBT - ტრანზისტორული მოდულების ღია(მუშა) მდგომარეობაში ყოფნა დროის ნებისმიერ აღებულ განზოგადებულ ინტერვალებისათვის; დადგინდეს დენებისა და ძაბვების მიხედვით კომუტაციური ფუნქციების ანალიზური გამოსახულებები; მიღებული იქნას მუდმივი და ცვლადი ელექტრული სიდიდეებს შორის კავშირის განტოლებები შესაბამისი კომუტაციური ფუნქციების გამოყენებით.

სტატიის ძირითადი შედეგები და მეცნიერული სიახლე

დამუშავებული მართვის ალგორითმების საფუძველზე მიღებულია კომუტაციური ფუნქციების ანალიზური გამოსახულებები ფურიეს მწკრივების სახეში α_p -რეგულირების და β -წინსწრების კუთხეების გათვალისწინებით, რაც აისახება მუდმივი და ცვლადი ელექტრული სიდიდეებს შორის კავშირის განტოლებებში.

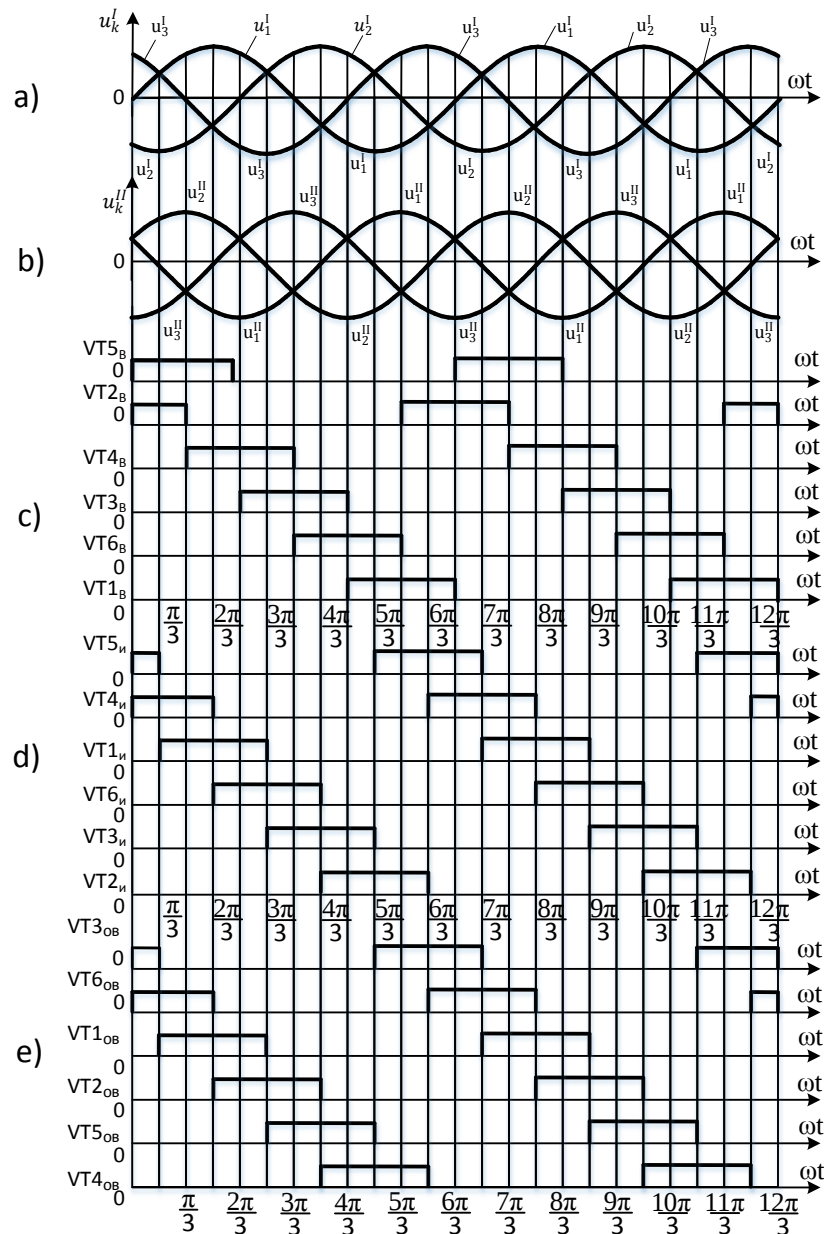
შედეგების გამოყენების სფერო

მიღებული შედეგები გამოიყენება ერთიანი მართვის გარდამქმნელ სისტემაში ელექტრომაგნიტური და ელექტრომექანიკური გარდამავალი და დამყარებული ერთიანი დინამიკური პროცესების სრული მათემატიკური და კომპიუტერული მოდელირების ჩატარებისათვის. შესაბამისი შედეგები დადებითად აისახება ციფრული და სარელეო დაცვის ზუსტი და ხარისხიანი უზრუნველყოფაში.

სამუშაოს შინაარსი

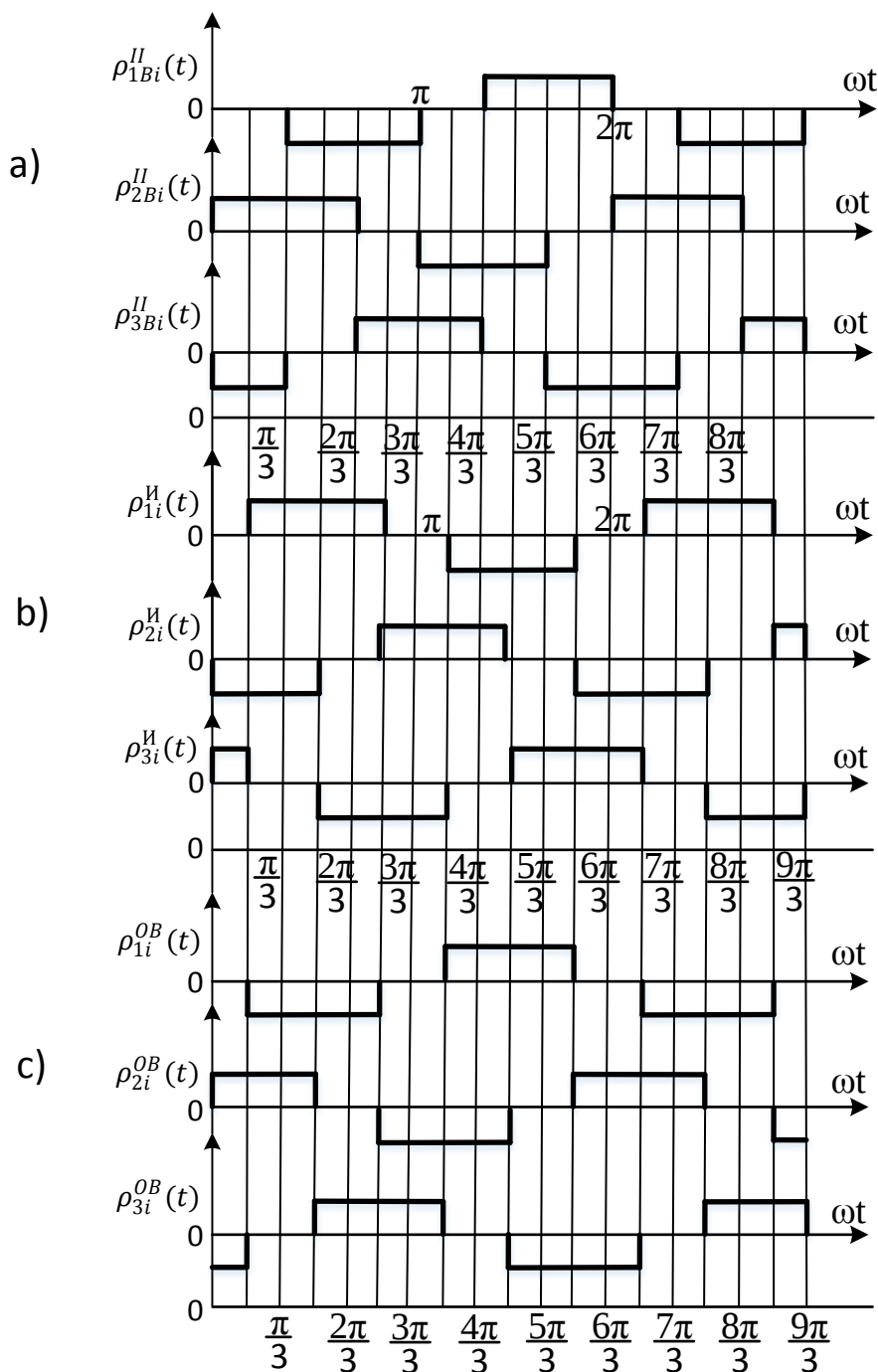
ნახ. 1,*ა*-ზე წარმოდგენილია წევის სამფაზა ძალური ტრანსფორმატორის პირველად გრაგნილზე მოდებული მაღალი ძაბვის $u_k^I, k = 1, 2, 3$ -ფაზური მყისა მნიშვნელობების ტალღური დიაგრამა; ნახ. 1,*ბ*-ზე წარმოდგენილია მეორად გრაგნილებზე დაინდუქცირებული $u_k^{II}, k = 1, 2, 3$ -ფაზური მყისა მნიშვნელობების ტალღური დიაგრამა. ნახ. 1, *გ*-ზე წარმოდგენილია სამფაზა მართვადი ძირითადი გამმართველი აგრეგატის ბოგირების შემცველი IGBT-ტრანზისტორული მოდულების იმპულსური მართვის ალგორითმები $0 \leq t < \frac{12\pi}{3\omega}$ დროის ინტერვალებში; ნახ. 1,*დ*-ზე წარმოდგენილია უკუ მართვადი გამმართველი აგრეგატის ბოგირების შემცველი IGBT-ტრანზისტორული მოდულების იმპულსური მართვის ალგორითმები $0 \leq t < \frac{12\pi}{3\omega}$ -დროის ინტერვალებში. ნახ.1,*ე*-ზე წარმოდგენილია უკუ მართვადი გამმართველი აგრეგატის ბოგირების შემცველი IGBT- ტრანზისტორული

მოდულების იმპულსური მართვის ალგორითმები $0 \leq t < \frac{12\pi}{3\omega}$ -დროის ინტერვალებში. ნახ. 1-დან ჩანს, რომ დროის ერთი და იმავე ინტერვალებში თითოეული აგრეგატი მუშა მდგომარეობაშია (ღიაა) მხოლოდ ორი ტრანზისტორული მოდული. ე.ი. მთელი ექსპლუატაციის პროცესში ერთდროულად ყველა აგრეგატში ღია მდგომარეობაში არის ჯამში ექვსი IGBT-ტრანზისტორული მოდული.



ნახ. 1. მუდმივი დენის წვეის ქვესადგურის ძალური სამფაზა ტრანსფორმატორის პირველადი და მეორადი გრაგნილების $u_k^I, u_k^{II}, k = 1, 2, 3$ ფაზური ძაბვების ტალღური დიაგრამები და მართვადი გამმართველი-სიხშირული რეგულირების ძაბვის ინვერტორული ბოგირების IGBT ტრანზისტორული მოდულების იმპულსური მართვის ალგორითმი განსახილველ დროის $0 \leq t < \frac{12\pi}{3\omega}$ ინტერვალებში

ნახ. 2,a,b,c-ზე წარმოდგენილია შესაბამისად წევის მართვადი გამმართველის სიხშირული რეგულირების ძაბვის სამფაზა ინვერტორის და უკუ მართვადი სამფაზა გამმართველის აგრეგატების დენების მიხედვით კომპუტაციური ფუნქციები.



ნახ. 2. წევის მართვადი გამმართველი, სიხშირული რეგულირების ძაბვის ინვერტორული და უკუ მართვადი გამმართველი აგრეგატების დენების მიხედვით $\rho_{kBi}^{II}(t), \rho_{ki}^{II}(t), \rho_{ki}^{OB}(t), k = 1, 2, 3$ კომპუტაციური ფუნქციები

კომპუტაციური ფუნქციების ანალიზური გამოსახულებები ჩვეულებრივი ტირისტორების შემთხვევაში ($\gamma \neq 0$): γ - კომუტაციის კუთხეების გათვალისწინებით და

ფურიეს მწკრივებით α - რეგულირების კუთხის გათვალისწინებით წარმოდგენილი არის ასეთ სახეში:

$$\left. \begin{aligned} \rho_{kBi}^H(t) &= \frac{8}{\pi\gamma} \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \cos \frac{n\pi}{6} \sin \frac{n\gamma}{6} \cdot \sin n \left\{ \omega_0 t - \left[\alpha + \frac{\gamma}{2} + \pi + (k-1) \frac{2\pi}{3} \right] \right\}; \\ &\quad k = 1, 2, 3; n = m = 1, 3, 5, 7, \dots \\ \rho_{ki}^H(t) &= \frac{4}{\pi} \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \cos \frac{n\pi}{6} \cdot \sin n \left\{ \omega_0 t - (k-1) \frac{2\pi}{3} \right\}; \\ &\quad k = 1, 2, 3; n = m = 1, 3, 5, 7, \dots \\ \rho_{ki}^{OB}(t) &= \frac{4}{\pi} \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \cos \frac{n\pi}{6} \sin n \left\{ \omega_0 t - \left[\pi + (k-1) \frac{2\pi}{3} \right] \right\}; \\ &\quad k = 1, 2, 3; n = m = 1, 3, 5, 7, \dots \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

თუ (1)-ში დავუშვებთ $\gamma \approx 0$ (IGBT-ტრანზისტორული მოდულების შემთხვევაში), მაშინ მივიღებთ:

$$\left. \begin{aligned} \rho_{kBi}^H(t) &= \frac{4}{\pi} \cdot \sum_{m=1}^{\infty} \cos \frac{m\pi}{6} \cdot \sin m \left\{ \omega_0 t - \left[\alpha + \pi + (k-1) \frac{2\pi}{3} \right] \right\}; \\ &\quad k = 1, 2, 3; n = m = 1, 3, 5, 7, \dots \\ \rho_{ki}^H(t) &= \frac{4}{\pi} \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{m} \cos \frac{m\pi}{6} \sin m \left\{ \omega_0 t - (k-1) \frac{2\pi}{3} \right\}; \\ &\quad k = 1, 2, 3; n = m = 1, 3, 5, 7, \dots \\ \rho_{ki}^{OB}(t) &= \frac{4}{\pi} \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{m} \cos \frac{m\pi}{6} \sin m \left\{ \omega_0 t - \left[\pi + (k-1) \frac{2\pi}{3} \right] \right\}; \\ &\quad k = 1, 2, 3; n = m = 1, 3, 5, 7, \dots \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

პირველი (ძირითადი) რიგის ჰარმონიკისათვის (2)-დან ვღებულობთ:

$$\left. \begin{aligned} \rho_{kBi}^H(t) &= -\frac{2\sqrt{3}}{\pi} \cdot \sin \left\{ \omega_0 t - \left[\alpha + (k-1) \frac{2\pi}{3} \right] \right\}, k = 1, 2, 3; \\ \rho_{kBi}^H(t) &= -\frac{2\sqrt{3}}{\pi} \cdot \sin \left[\omega_0 t - (k-1) \frac{2\pi}{3} \right], k = 1, 2, 3; \\ \rho_{ki}^{OB}(t) &= -\frac{2\sqrt{3}}{\pi} \cdot \sin \left\{ \omega_0 t - \left[\pi + (k-1) \frac{2\pi}{3} \right] \right\}, k = 1, 2, 3. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

კავშირი მუდმივი და ცვლადი ელექტორული სიდიდეების შორის დენების შემთხვევაში ჩაიწერება ასეთ სახეში:

$$\left. \begin{aligned} i_k^H(t) &= \rho_{kBi}^H(t) \cdot i_d^B(t), k = 1, 2, 3; \\ i_k^H(t) &= \rho_{kBi}^H(t) \cdot i_d^H(t), k = 1, 2, 3; \\ i_k^{OB}(t) &= \rho_{ki}^{OB}(t) \cdot i_d^{OB}(t), k = 1, 2, 3. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

ამგვარად, იმპულსური მართვის დადგენილი ალგორითმების საფუძველზე ყალიბდება შესაბამისი კომუტაციური ფუნქციები, ხოლო შემდეგ კი მყარდება მუდმივი (გამართული) და სამფაზა ცვლადი ელექტორული სიდიდეებს შორის ანალიზური კავშირი (4)-

გამოსახულებების სახით; ყოველივე ამის შემდეგ იოლდება გაერთიანებული გარდამქმნელი სისტემაში მიმდინარე საანგარიშო პროცესების როგორც მათემატიკური, ასევე კომპიუტერული მოდელირების ჩატარება [1,2].

ლიტერატურა

1. გ.კოხრეიძე, გოჩა კოხრეიძე, ნ.ბერაძე, გ.მურჯიკნელი, ი.ყურაშვილი. სარკინიგზო ელექტრული ტრანსპორტის ელექტრომომარაგების გარდამქმნელ სისტემაში დინამიკური პროცესების საანგარიშო ელექტრული სქემის დამუშავება IGBT-ტრანზისტორული მოდულებიანი მართვადი სამფაზა უკუ გამმართველი აგრეგატის გათვალისწინებით. "Энергия". №1(105). Tbilisi. 2023.
2. Kokhreidze G., Laoshvili D., Kokhreidze D., Kurashvili I. Three-phase bridge rectifier-inventor converter with pulse-width control of DC traction motor. Energyonline.ge. 2010. №1.

IN RAILWAY ALTERNATING CURRENT ELECTRIC TRANSPORT ELECTRIC-SUPPLY UNITED CONVERTER SYSTEM, CONSIDERING IGBT-TRANSISTOR MODULES CONTROLLED THREE-PHASE RECIPROCAL RECTIFIER UNIT PROCESSING OF IMPULSE CONTROL ALGORITHMS

G.Kokhreidze, Gocha.Kokhreidze, N. Beradze, G.Murjikneli, I. Kurashvili.
"Energy". №1(105). 2023. Tbilisi. p.73-78. geo. sum geo. engl. rus.

In a scientific paper is presented IGBT-transistor modules controlled three- phase reciprocal rectifier unit in Transport electric-supply united converter system, work algorithms of main three-phase rectifier and three-phase voltage inventory units and commutation functions of the corresponding currents. Waveform diagrams of all electrical quantities (phase voltages) are shown; Algorithms of impulse control of transistor modules.

Analytical images of commutation functions for cases of conventional transistors are established (considering the commutation angle) and for cases of IGBT-transistor modules ($=0$). As a result of all this, it becomes easier to carry out current processes in the united converter system.

Ill. 2, bibl. 2.

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ ИМПУЛЬСНОГО УПРАВЛЕНИЯ В ЕДИНОЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С УЧЕТОМ ТРЕХФАЗНОГО УПРАВЛЯЕМОГО ОБРАТНОГО ВЫПРЯМИТЕЛЬНОГО АГРЕГАТА С IGBT-ТРАНЗИСТОРНЫМИ МОДУЛЯМИ.

Г.Кохреидзе, Гоча Кохреидзе, Н.Берадзе, Г.Мурджикнели, И.Курашвили.
"Энергия". №1(105). 2023. Тбилиси. с. 73-78. груз. реф. груз. англ. рус.

В научном труде представлена разработка алгоритмов и соответствующих коммутационных функций токов при работе агрегатов трехфазных управляемых основных и обратных выпрямителей и инвертора напряжений. Приведены волновые диаграммы всех электрических величин и алгоритмы импульсного управления транзисторных модулей. Установлены аналитические выражения коммутационных функций в случаях обыкновенных тиристоров и IGBT-транзисторных модулей. В результате представленных разработок упрощается проведение расчетов в единой преобразовательной системе.

Илл. 2, лит. 2.