

НАПІВПРОВІДНИКОВІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ

УДК 621.314.5

DOI: <https://doi.org/10.15407/publishing2024.67.054>

ПРИСТРОЇ КОРИГУВАННЯ ФОРМИ НАПРУГИ МЕРЕЖІ, ЯКА ЖИВИТЬ НАПІВПРОВІДНИКОВИЙ КЕРОВАНИЙ ВЕНТИЛЬНИЙ ВИПРЯМЛЯЧ ЗІСТАВНОЇ З МЕРЕЖЕЮ ПОТУЖНОСТІ

О.І. Чиженко, докт. техн. наук
Інститут електродинаміки НАН України,
пр. Берестейський, 56, Київ, 03057, Україна
e-mail: alivchizh@ukr.net

Ілюструється застосування технічного способу вольтододавання у перетворювачах, запропонованих для коригування форми напруги мережі, яка живить потужний керований вентильний випрямляч зіставної з живлячою мережею потужності. Розглядається модифікація схеми відомого перетворювача з діодним випрямлячем, пристосована для випадку живлення керованого випрямляча і для коригування форми напруги мережі на його вході, вказуються її недоліки. Наведено оригінальні ефективні схемо-технічні рішення пристроїв коригування форми напруги мережі, у яких використовується спосіб вольтододавання. У першому рішенні живлення пристрою здійснюється від мережі власних потреб, а у другому – більш універсальне – безпосередньо від мережевого трансформатора. Бібл. 7, рис. 3.

Ключові слова: електрична мережа живлення, керований вентильний випрямляч, коригування форми напруги, комутаційні піки та провалини напруги.

У роботах [1–3] було показано: якщо електрична мережа живить потужний, зіставний із потужністю мережі напівпровідниковий керований вентильний випрямляч, то в такому випадку процеси комутації струму з однієї фази мережі на іншу, які відбуваються за допомогою вентилів випрямляча (де цей струм переходить із однієї групи вентилів на іншу їхню групу), супроводжуються спотворенням форми фазної напруги мережі, в якій спостерігаються провалини напруги або навпаки – її піки [2], внаслідок чого форма цієї напруги стає досить далекою від синусоїдальної. А саме на інтервалах комутації з синусоїди напруги живлення випрямляча вирізаються або навпаки додаються до неї так звані комутаційні площадки [2]. Гармонійний склад спотвореної таким способом напруги містить вагомий за амплітудою вищий гармоніки напруги, які псують якість енергії, що передається від електричної мережі до випрямляча чи до інших суміжних з ним споживачів електроенергії. Наслідком цієї проблеми є необхідність розробки способів та технічних засобів коригування форми спотвореної напруги мережі [4, 5].

Основою одного з підходів до розроблення таких технічних засобів коригування форми напруги електричної мережі, яка живить керований вентильний випрямляч зіставної з мережею потужності, є спосіб так званого «вольтододавання». У перетворювальній техніці відомо застосування цього способу для регулювання величини напруги на вході некерованого (діодного) випрямляча [6, 7]. Модель модифікації із запірними тиристорами схемо-технічного рішення, запропонованого у роботах [6, 7] стосовно керованого випрямляча й коригування в живлячій його мережі комутаційних піків та провалин напруги, наведена на рис. 1. У цій моделі електрична мережа змодельована блоком 1, де e_a , e_b і e_c моделюють трифазну систему ЕРС вторинної обмотки розподільчого трансформатора на вході мережі; L_a моделює індуктивність мережі, у якій враховується індуктивність лінії електропередачі (ЛЕП) та індуктивність обмоток розподільчого трансформатора (РТ) на вході мережі; блоком 2 змодельовано напівпровідниковий вентильний випрямляч, який



містить випрямний тиристорний міст, підключений до фазних клем мережі A , B і C , зібраний на тиристорах В1–В6, у діагональ випрямленого струму якого ввімкнено навантаження з опором r_d , послідовно з яким ввімкнено згладжуючий дросель з індуктивністю L_d ; блок 3 – це ланка для коригування форми напруги, яку підключено до мережі власних потреб із фазними клемми A' , B' , C' і $0'$. У кожній фазі ланки вентильні групи 4 і 5, кожна з яких складається з двох зустрічно-паралельно ввімкнутих запірних тиристорів, формують коригувальні імпульси, які компенсують у напругах фаз A , B і C комутаційні піки та провалини.

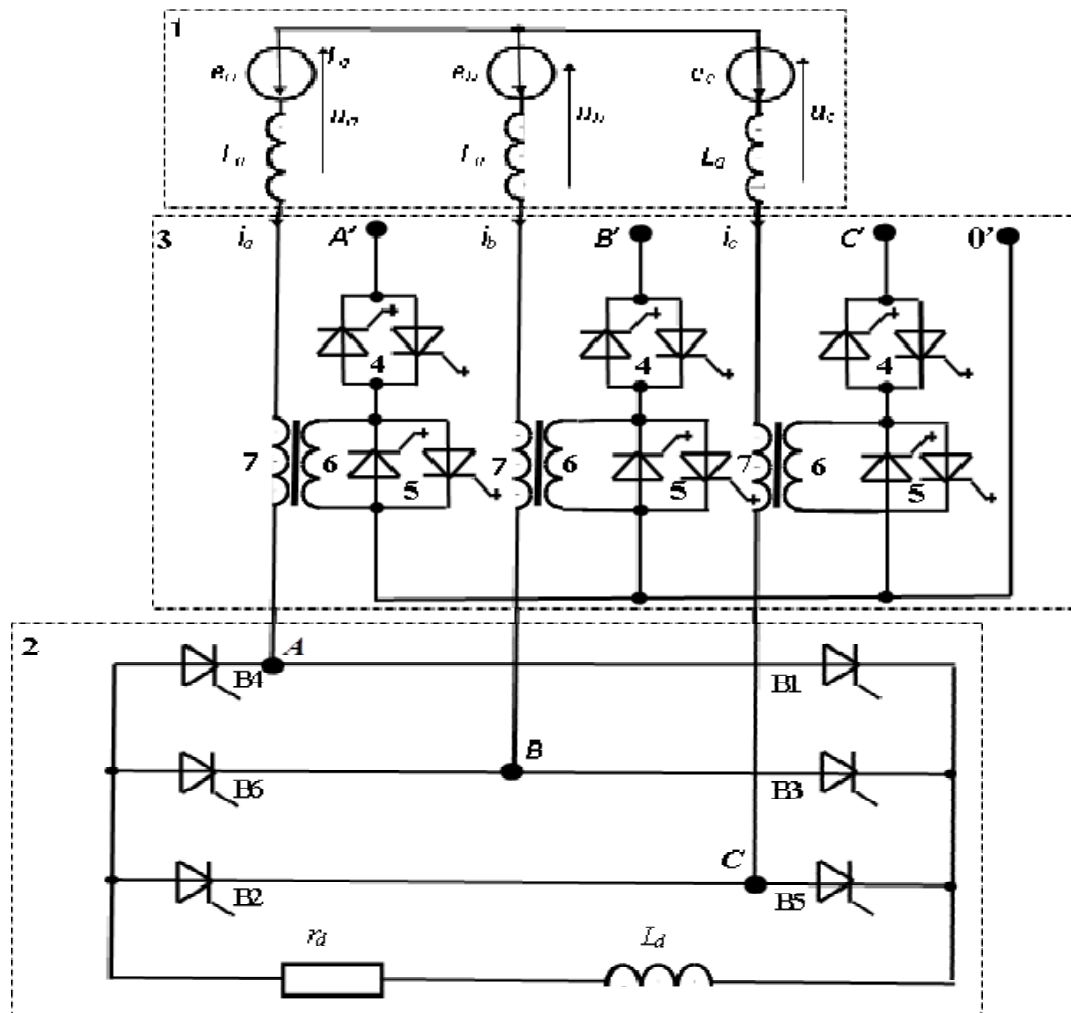


Рис. 1

Групи тиристорів 4 за їхнього відкриття під'єднують первинні обмотки 6 трьох однофазних трансформаторів вольтододавання, які містяться в ланці коригування форми напруги 3, до мережі власних потреб (клемми A' , B' , C' і $0'$). Вони вирізають із напруги мережі власних потреб, яка прикладається до обмоток 6, коригувальні імпульси напруги відповідної полярності, формуючи їхню тривалість (дорівнює довжині в часі процесу комутації) та моменти їхнього подавання до цієї обмотки 6 (відповідають моментам початку комутації), звідки імпульси коригування трансформуються в обмотки 7. Ці вторинні обмотки 7 трансформаторів вольтододавання увімкнені в розриви фазних дротів, між фазами мережі 1 і випрямлячем 2. Групи тиристорів 5 увімкнені паралельно первинним обмоткам 6. Ці тиристори за необхідності закорочують первинні обмотки 6, чим формують задні фронти коригуючих імпульсів, знімаючи у відповідні моменти напругу з обмоток 6 і 7.

Суттєвим недоліком схемотехнічного рішення рис. 1, як і оригінальних перетворювачів змінної напруги в сталу, запропонованих у роботах [6, 7], є те, що на кожному півперіоді напруги живлення вони формують імпульс вольтододавання лише однієї полярності, тобто лише позитивної або лише негативної, що значно обмежує функціональні

можливості перетворювача за схемою рис. 1. Дійсно, на півперіоді у фазній напрузі можуть утворюватися як комутаційні провалини, так і піки, для компенсації яких відповідно потрібні коригувальні імпульси як позитивної, так і негативної полярностей.

Мета роботи – розроблення нових ефективних, функціонуючих за принципом вольтододавання схемо-технічних рішень пристроїв коригування форми напруги мережі, яка спотворена живленням від неї керованого напівпровідникового вентильного мостового випрямляча зіставної з живлячою його мережею потужності.

Для подолання згаданого вище недоліку перетворювача за схемою рис. 1 з обмеженими функціональними можливостями коригування форми напруги мережі пропонується схема пристрою коригування форми напруги мережі, яка живить потужний випрямляч, зображена на рис. 2 (заявка на корисну модель № u2023 03735 від 03.08.2023). У цій схемі живлення ланки коригування форми напруги здійснюється від мережі власних потреб, що передбачає безпосередній прямий доступ до цієї мережі. Такий доступ є не завжди можливим. Тому на рис. 3 наводиться інше схемо-технічне рішення (№ u2023 04473 від 21.09.2023), де живлення ланки коригування форми напруги є більш універсальним, а саме здійснюється безпосередньо від мережі живлення випрямляча через мережевий трансформатор.

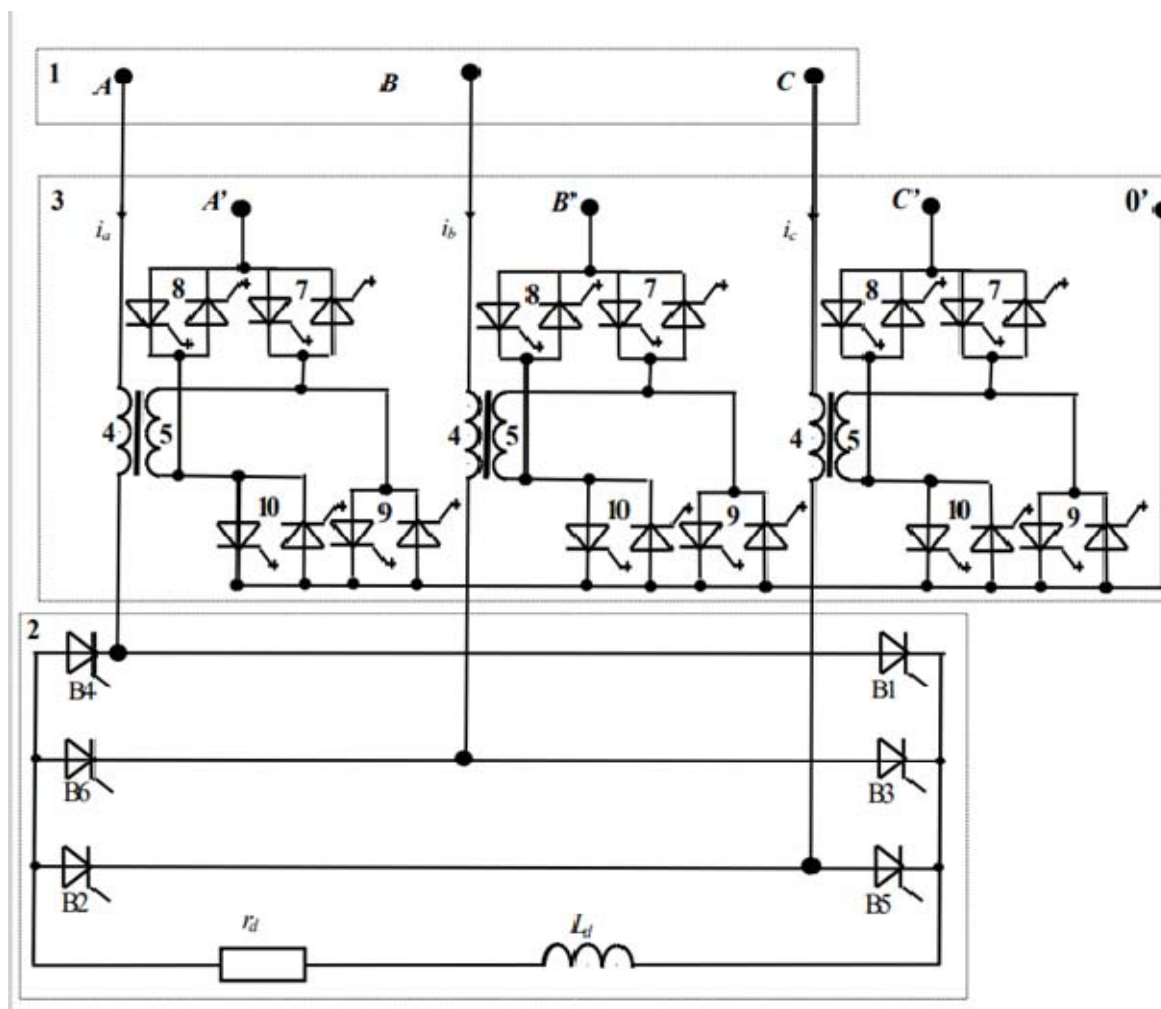


Рис. 2

Поставлена мета в перетворювачі, схему якого зображено на рис. 2, досягається тим, що замість однієї групи зустрічно-паралельно з'єднаних запірних тиристорів (на рис. 1 – це група 4), через яку в схемі на рис. 1 від мережі власних потреб живиться ланка коригування форми напруги 3, у пристрої за схемою на рис. 2 таких груп запірних тиристорів вже чотири. Таке збільшення груп запірних тиристорів дає змогу на кожному півперіоді живлячої

напруги мережі формувати коригуючі імпульси обох полярностей – як для компенсування комутаційних провалів напруги цієї мережі, так і для компенсації комутаційних піків у ній.

Слід відмітити, що крива, яка утворює в перетворювачі за схемою рис. 3 вершину коригуючого імпульсу, що формується запірними тиристорами шляхом вирізання із спотвореної напруги, трохи відрізняється від аналогічної кривої в комутаційній площадці, яку цей імпульс компенсує. Тому якість компенсації спотворень у перетворювачі за схемою рис. 2, де коригуючі імпульси формуються шляхом їхнього вирізання запірними тиристорами із синусоїди достатньо якісної напруги мережі власних потреб, є трохи краща.

Алгоритм роботи пристрою за схемою рис. 2 пояснимо для інтервалу часу, коли у фазі (в якійсь із А', В' і С') мережі власних потреб діє позитивна півхвиля напруги. Нехай за такої умови обмотки трансформатора вольтододавання (обмотки 6 і 7) увімкнено узгоджено, у цьому випадку полярності напруги в них співпадають.

Тоді для формування в обмотці 5 позитивного імпульсу коригування для компенсації провалини в спотвореній напрузі фази А мережі живлення, яка виникає в процесі комутації відповідних тиристорів випрямляча, необхідно в момент початку комутації, тобто в момент $\pi k/3 + \alpha$ (де $k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$, α – кут управління тиристорами В1-В6, він відраховується від точок перетину фазних ЕРС, управління симетричне) відкрити запірні тиристори, які на рисунках розташовані ліворуч у групах 7 і 10 (надалі ці тиристори будемо називати прямими, а парні до них, розташовані у цих групах праворуч, зворотними). По закінченню процесу комутації фазних струмів, що розглядається, у момент $\pi k/3 + \alpha + \gamma$ (де γ – кут комутації, визначає тривалість процесу комутації) відкриваються всі запірні тиристори груп 9 і 10, які закорочують обмотку 5, чим обнуляють напругу на ній, внаслідок чого обнуляють напругу також і на обмотці 4. По завершенню процесу комутації в момент $\pi k/3 + \alpha + \gamma + \delta$ (де кут δ відповідає часу спадання заднього фронту коригуючого імпульсу до нуля) усі запірні тиристори груп 7–10 закриваються аж до наступного чергового процесу комутації.

Для формування за таких самих умов у обмотці 4 коригуючого імпульсу негативної полярності для компенсації комутаційного піку у фазній напрузі живлення необхідно в момент $\pi k/3 + \alpha$ відкрити прямі запірні тиристори груп 8 і 9. По закінченню процесу комутації, у момент $\pi k/3 + \alpha + \gamma$ відкриваються всі запірні тиристори груп 9 і 10, які закорочують обмотку 5 і знімають напругу з обмоток 4 і 5. У момент $\pi k/3 + \alpha + \gamma + \delta$ усі запірні вентиля групи 8–10 запираються.

Розглянемо тепер випадок, коли півхвиля напруги мережі власних потреб – негативна. Тоді для формування в обмотці 5 коригуючого імпульсу позитивної полярності необхідно в момент початку комутації відкрити зворотні запірні тиристори груп 8 і 9. По завершенню комутації відкриваються всі запірні тиристори груп 9 і 10, внаслідок чого протягом кута δ обнуляються напруги на обмотках 4 і 5. Коли спливає кут δ , усі раніше відкриті тиристори запираються.

Для формування за цих умов коригуючого імпульсу негативної полярності в момент початку процесу комутації відкривають зворотні запірні тиристори груп 7 і 10, а далі все повторюється так само, як і для випадку формування коригуючого імпульсу позитивної полярності.

Регулювання амплітуд імпульсів коригування здійснюється зміною коефіцієнта трансформації n або застосуванням керованих автоматично (із використання системи зворотного зв'язку, яка забезпечує рівність амплітуди коригуючого імпульсу висоті комутаційної площадки) потенціометрів, які увімкнені в кожній фазі послідовно з первинною обмоткою 5 трансформатора вольтододавання.

Алгоритм управління запірними тиристорами ланки коригування форми напруги у схемі, зображеній на рис. 3, аналогічний алгоритму управління цими тиристорами, наведеному вище в схемі рис. 2, відрізняється лише нумерація тиристорів.

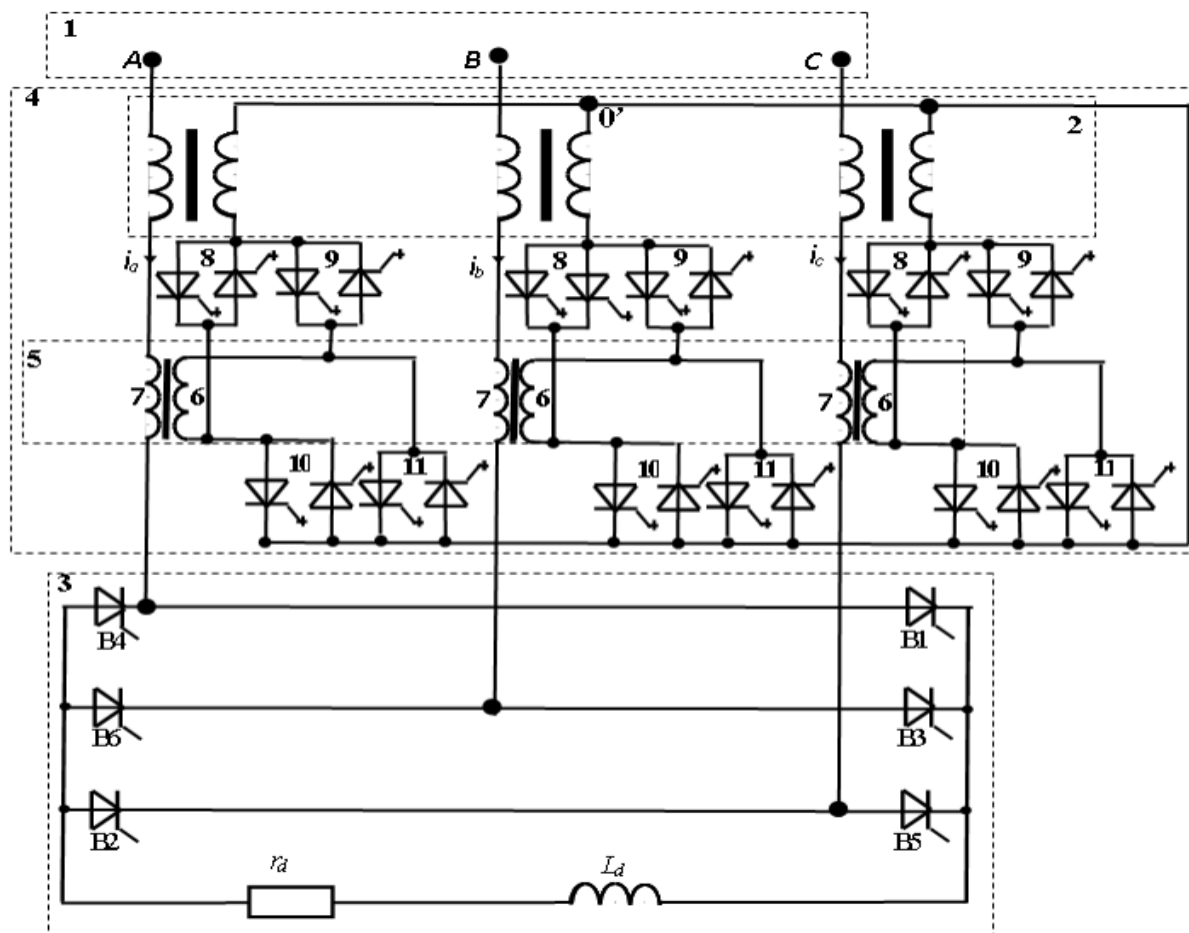


Рис. 3

Висновки. Для коригування форми напруги мережі, яка живить випрямляч з'єднаної з нею потужності, доцільно використовувати спосіб вольтододавання, застосований у модифікації відомого перетворювача, зображений на рис. 1. Якщо на практиці є безпосередній прямий доступ до мережі власних потреб, то для цього більш ефективно використовувати сфокусовані рішення, наведені на рис. 2, функціональні можливості якого є більш широкими. За відсутності прямого доступу до мережі власних потреб ефективним видається рішення, наведене на схемі рис. 3, де приєднання ланки коригування форми напруги до джерела живлення є більш універсальним.

Робота виконана за держбюджетною темою "Моделі та засоби запобігання погіршення якості електропостачання промислових споживачів.", шифр "Монітор-4". Державний реєстраційний номер 01221U001266.

1. Блінов І.В., Кириленко О.В., Чиженко О.І. та інші. Моделі та засоби запобігання погіршення якості енергопостачання промислових споживачів. Етап 1 (проміжний). Звіт про НДР № ДР 01221U001266. Шифр «Монітор-4». К. 2022. 119 с.
2. Чиженко О.І., Блінов І.В., Трач І.В., Рибіна О.Б., Чибеліс В.І. Дослідження спотворень форми напруги мережі при живленні потужного трифазного мостового випрямляча. Навчальний посібник. К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. 78 с.
3. Чиженко І.М., Руденко В.С., Сенько В.І. Основы преобразовательной техники. М.: Высшая школа, 1974. 448 с.
4. Чиженко О.І. Спосіб коригування форми напруги мережі, що живить випрямляч з'єднаної з нею потужності, та пристрій для його реалізації. Пат. України №117053 МПК Н03К 7/2 (2006.01), Н02М 7/162(2006.01), Н03М 3/53 (2006.01). Опубл. 2018. Бюл. № 11.
5. Чиженко О.І., Блінов І.В. Пристрій для коригування форми напруги мережі, яка живить потужний керований випрямляч. *Праці ІЕД НАН України*. 2022. Вип. 61. С. 37–43. DOI: <https://doi.org/10.15407/publishing2022.61.037>

6. Чиженко И.М., Выдолоб Ю.Ф., Грудская Л.П., Кулькин Ю.Ф., Сидорский М.А. Регулирование выпрямленного напряжения вольтодобавочными трансформаторами, управляемыми тиристорами. *Техническая электродинамика*. 1983. № 5. С. 21–26.
7. А.с. 968880 СССР, МКИ Н 02 М 7/12. Преобразователь трехфазного переменного напряжения в постоянное / И.М. Чиженко, Ю.Ф. Выдолоб, Л.П. Грудская, Ю.Ф. Кулькин, В.Ф. Коночук (СССР). № 2956866/24 07; заявл. 14.07.82, опубл. 23.10.82, Бюл. №39.

DEVICES FOR CORRECTING THE VOLTAGE FORM OF THE ELECTRICAL NETWORK THAT FEEDS THE SEMICONDUCTOR CONTROLLED VALVE RECTIFIER OF COMPATIBLE POWER WITH THE ELECTRICAL NETWORK

O.I. Chyzenko

Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine,
Beresteiskyi ave., Kyiv, 03057, Ukraine
e-mail: alivchizh@ukr.net

The paper investigates the application of a technical method of volt-addition in converters designed to correct the voltage waveform of the network supplying a powerful controlled valve rectifier of comparable power to the supply network. A modification of the circuit of a known converter with a diode rectifier adapted for the case of supplying a controlled rectifier and for correcting the voltage waveform at its input is considered, and its shortcomings are indicated. The original effective circuit and technical solutions of devices for correcting the shape of the mains voltage using the method of volt-addition are presented. In the first solution, the device is powered from the auxiliary power supply, and in the second, more universal, it is powered directly from the mains transformer. Ref. 7, fig. 3.

Keywords: electrical power supply network, controlled valve rectifier, voltage waveform correction, switching peaks and dips in voltage.

1. Blinov I.V., Kyrylenko O.V., Chyzenko O.I. and others. Models and means of preventing deterioration in the quality of energy supply to industrial consumers. Stage 1 (intermediate). Research report No DR 01221U001266, code Monitor-4. K. 2022. 119 p. (Ukr)
2. Chyzenko O.I., Blinov I.V., Trach I.V., Rybina O.B., Chibelis V.I. Investigation of distortions of the form of mains voltage when supplying a powerful three-phase bridge rectifier. K.: KPI Igor Sikorsky, 2023. 78 p. (Ukr)
3. Chyzenko I.M., Rudenko V.S., Senko V.I. Basics of converter technology. M., 1974. 448 p. (Rus)
4. Chyzenko O.I. A method for improving the form of mains voltage under supply of controlled rectifier. Patent of Ukraine. №117053. (Ukr)
5. Chyzenko O.I., Blinov I.V. Device for improving the form of mains voltage under supply of controlled rectifier. *Pratsi Instytutu elektrodynamiky Natsionalnoi Akademii Nauk Ukrainy*. 2022. No 61. Pp. 37–43. (Ukr) DOI: <https://doi.org/10.15407/publishing2022.61.037>
6. Chyzenko I.M., Vydolob Yu.F., Grudskaya L.P., Kulkin Yu.F., Sidorsky M.A. Regulation of rectified voltage by voltage-crushing transformers controlled by thyristors. *Tekhnicheskaya Electrodinamika*. 1983. No. 5. Pp. 21–26. (Rus)
6. A.S. 968880 USSR, МКИ Н 02 М 7/12. Converter of three-phase alternating voltage in constant / I.M. Chyzenko, Yu.F. Vydolob, L.P. Grudskaya, Yu.F. Kulkin. № 2956866/24 07; application. 14.07.82, publ. 10/23/82, Bull. No 39. (Rus)

Надійшла: 13.08.2023

Прийнята: 26.10.2023

Submitted: 13.08.2023

Accepted: 26.10.2023