

ЄДНІСТЬ ТА ВІДМІННОСТІ РІЗНОВИДІВ НЕСПОТВОРЮЮЧОГО ПРОЦЕСУ ЦІЛЕСПРЯМОВАНОЇ ЗМІНИ ВЕЛИЧИНИ НАПРУГИ ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ

К.О.Липківський, докт.техн.наук, **А.Г.Можаровський**, канд.техн.наук
Інститут електродинаміки НАН України,
пр. Перемоги, 56, Київ-57, 03680, Україна.
e-mail: lypkivskyk@ukr.net

Просліджено особливості реалізації процедури неспотворюючої зміни величини напруги електричного струму в залежності від пріоритетної функції перетворювача на основі трансформаторно-ключової виконавчої структури (ТКВС) – регулювання чи стабілізація або їхнє поєднання. Визначена дуальність і принципова оберненість відповідних перетворювачів напруги, яка не є повною і потребує оцінювання доцільності використання певних схемотехнічних рішень ТКВС для конкретних різновидів перетворення напруги. Бібл. 5, рис. 3.

Ключові слова: регулювання, стабілізація, дуальність перетворень, оберненість перетворювачів напруги.

У множині функціональних перетворень електричного сигналу окреме чільне місце займає цілеспрямована зміна величини напруги електричного струму. Різновидами цього виокремленого виду перетворення є: необхідне для споживача регулювання рівня живлячої напруги; стабілізація вихідної напруги на певному рівні при дії будь-яких дестабілізуючих факторів (якщо цей рівень нормований стандартами, то логічно оперувати терміном "нормалізація напруги") і, нарешті, – поєднання обох операцій в одному пристрої. Всі вказані функції ефективно (з позиції електромагнітної сумісності власне перетворювача зі споживачем та мережею живлення) можна реалізувати за допомогою перетворювачів на основі трансформаторно-ключових виконавчих структур – ТКВС [1, 2] з дискретно-разовим принципом управління [5], які у стаціонарних режимах апріорі не вносять ніяких спотворень у вихідну напругу та струм споживання.

Найбільш простий та зручний для розгляду варіант ТКВС складається з секціонованого автотрансформатора (АТ) та комутатора з ключовими елементами (КЕ), який можна розмістити як на первинному (К1), так і на вторинному (К2) боці АТ (рис. 1). (Зауважимо, що основні зроблені при цьому висновки є справедливими й для більш складних варіантів ТКВС, зокрема з декомпозицією КЕ, з винесенням їх з кіл силового струму, з іншими типами трансформуючого елемента тощо).

Основні різновиди перетворення напруги – регулювання та стабілізація – є дуальними, що прослідковується на всіх етапах їхнього дослідження – при формуванні завдання та визначенні методів управління, виборі схемотехнічного рішення та розрахунку параметрів елементів ТКВС.

Виходячи з того, що регульовальні секції доцільно розміщувати у тому колі, де відбувається основна зміна напруги [2], для стабілізації обирається ТКВС з комутатором К1. При цьому для випадку можливої зміни вхідної напруги від $U_{1\min}^* = U_{1\min}/U_n = 0,6$ до $U_{1\max}^* = U_{1\max}/U_n = 1,2$ при 9 ключах у К1 вихідна напруга буде підтримуватися з відносно похибкою $\delta = \pm 3,85\%$, а встановлена (розрахункова) відносна потужність знаходиться на рівні 0,481. (Якщо для стабілізації обрати схему з комутатором К2, цей показник зросте до 0,775, тобто майже на 60%). При регулюванні вихідної напруги у тому ж діапазоні (0,6–1,2) за тієї ж кількості ключів, але у комутаторі К2, встановлена потужність АТ буде на рівні 0,224. (Якщо обрати варіант з К1, то вона зросте до 0,306 – на 36%).

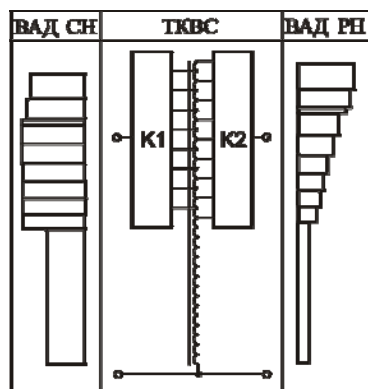


Рис. 1

Співвідношення встановлених потужностей АТ і "внесок" до них окремих секцій наочно ілюструють запропоновані у [2] вольтамперні діаграми (ВАД) – контурні фігури, що складаються з прямокутників, вертикальні розміри яких пропорційні максимальним напругам на відповідних секціях обвитки АТ, а горизонтальні – максимальним значенням струмів у них.

Таким чином, одна й та сама ТКВС може в залежності від розташування комутатора (або, що те ж саме, місць підключення мережі та споживача) реалізувати як регулювання, так і стабілізацію, що свідчить про принципову оберненість цієї структури. Проте ця оберненість практично не є повною – при використанні ТКВС стабілізатора для регулювання обвитки АТ будуть недозавантажені по струму, тобто АТ буде мати зайву непотрібну масу; у протилежному випадку стабілізатор потрібно бути використовувати для живлення споживачів меншої потужності.

У разі необхідності здійснення стабілізації напруги на декількох рівнях або, що теж саме, регулювання рівня напруги, що стабілізується, виникає

потреба у поєднанні обох дуальних видів перетворення. У цьому випадку доцільно оперувати поняттям "поле перетворення напруги" – прямокутною зоною на графіку залежності $U_2 = f(U_1, j)$, що обмежена по горизонталі заданими мінімальним та максимальним значеннями вхідної напруги, нормованими по номінальній її величині (відповідно, $\mu = U_{1\min}/U_n$ та $\rho = U_{1\max}/U_n$), а по вертикалі – бажаними відносними значеннями мінімальної та максимальної вихідної напруги ($M = U_{2\min}/U_n$ та $R = U_{2\max}/U_n$).

Логічне, здавалося б, розподілення функцій перетворювача, показано на рис. 1, (комутатор K1 забезпечує стабілізацію напруги, а комутатор K2 – регулювання її рівня), не є оптимальним. Дійсно, якщо взяти, наприклад, простіші комутатори з трьох KE (у K1 – V1, V2, V3, а у K2 – V4, V5, V6), то поле перетворення матиме вигляд, зображений на рис. 2. Тут стабілізація на номінальному рівні U_{22} , який задається ключем V5, реалізується послідовною комутацією ключів V1, V2, V3. При замкненому ключі V4 маємо стабілізацію на вищому рівні $U_{21} = U_{22} \gamma_1$, а при V6 – на нижчому рівні $U_{23} = U_{22}/\gamma_1$ ($\gamma_1 = U_{2i\max}/U_{2i\min}$). Як видно, перший, найбільший коефіцієнт передачі $K_1 = K_{\max} = R/\mu\gamma_1$ забезпечується ключами V1, V4, коефіцієнт $K_2 = K_1/\gamma_1$ – ключами V1, V5 або V2, V4, коефіцієнт $K_3 = K_2/\gamma_1$ – ключами V1, V6 або V2, V5, або V3, V4, $K_4 = K_3/\gamma_1$ – ключами V2, V6, або V3, V5, а найменший коефіцієнт $K_5 = K_4/\gamma_1$ – ключами V3, V6. Тобто, багатоваріантність реалізації кожного коефіцієнта передачі призводить до недовикористання можливостей даної виконавчої структури, бо з дев'яти можливих станів ($J=9=3 \times 3$) нетотожними є тільки п'ять. При цьому похибка стабілізації напруги при такій кількості KE буде на кожному рівні надто високою. Так, при $U_{1\min} = 178$ В (80%) та $U_{1\max} = 264$ В (120%) маємо $\gamma_1 = \sqrt[3]{\rho/\mu} = 1,1447$, звідки $\delta_1 = (\gamma_1 - 1)/(\gamma_1 + 1) = \pm 0,0675$ ($\pm 6,75\%$).

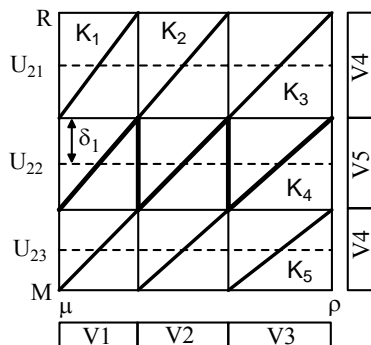


Рис. 2

У [3] було досліджено інший, більш досконалий варіант реалізації цього комбінованого виду перетворення напруги, що не має таких обмежень. У ньому кожний з KE бере участь як у стабілізації, так і у регулюванні рівня напруги, а кожний коефіцієнт передачі реалізується тільки однією парою KE (рис. 3): $K_1 = K_{\max}$ (V1, V4), $K_2 = K_1/\gamma_2$ (V1, V5), $K_3 = K_2/\gamma_2$ (V1, V6), $K_4 = K_3/\gamma_2$ (V2, V4), $K_5 = K_4/\gamma_2$ (V2, V5), $K_6 = K_5/\gamma_2$ (V2, V6), $K_7 = K_6/\gamma_2$ (V1, V4), $K_8 = K_7/\gamma_2$ (V1, V6), $K_9 = K_8/\gamma_2$ (V2, V5). Завдяки цьому $\gamma_2 = \sqrt[3]{\rho/\mu} = 1,0844$, звідки $\delta_2 = \pm 4,049\%$. Таким чином, простою зміною алгоритму роботи тієї ж кількості ключових елементів комутаторів K1 та K2 (при відповідній зміні виткових співвідношень секцій обвитки ТЕ) отримана в 1,66 разу менша похибка стабілізації. До того ж, це рішення має й ту перевагу, що крім 5 (замість 3) "стандартних" рівнів вихідної напруги (тобто тих, що межують один з одним) є можливість стабілізувати напругу з тією ж похибкою на будь-якому іншому рівні, який можна виставляти (змінювати) плавно попри власне дискретний принцип регулювання.

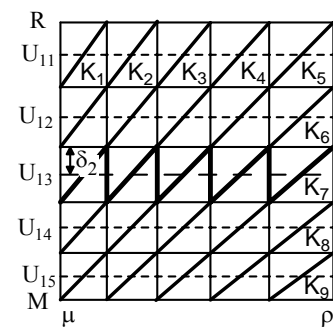


Рис. 3

Завершуючи короткий аналіз функціональних можливостей перетворювачів з ТКВС, зауважимо, що на основі розглянутих регуляторів можуть бути реалізовані стабілізатори змінного струму, в яких його величина підтримується з тією ж відносною похибкою $\pm \delta$ при зміні опору навантаження за рахунок того, що кожного разу при збільшенні вихідного опору в γ разів система зворотного зв'язку (за струмом) буде збільшувати в γ раз вихідну напругу. Проте, цей стабілізатор не є джерелом струму, таким, наприклад, як індуктивно-ємнісний перетворювач [4]: у кожний момент – це джерело напруги, величина якої змінюється згідно з законом геометричної прогресії.

Висновки. Виокремлення та дослідження процедури цілеспрямованої зміни напруги електричного струму дозволили створити теоретичне підґрунтя для реалізації широкого кола високоефективних перетворювачів напруги різного функціонального призначення і ступеня складності.

1. Григораши О.В., Усков А.Е., Энгватова В.В., Военцов Д.В., Чесовский А.С. Автоматизированные устройства стабилизации напряжения переменного тока // Промышленная энергетика. – 2008. – №5. – С. 17–20.
2. Липківський К.О. Дуальність побудови трансформаторно-ключових виконавчих структур дискретних стабілізаторів та регуляторів напруги змінного струму // Техн. електродинаміка. – 2010. – №6. – С. 16–23.
3. Липківський К.О. Особливості регулювання рівня напруги, що стабілізується, за допомогою перетворювача з трансформаторно-ключовою виконавчою структурою // Техн. електродинаміка. – 2012. – №1. – С. 23–26.

4. Милых А.Н., Волков И.В. Системы неизменного тока на основе индуктивно-емкостных преобразователей. – Киев: Наукова думка. – 1974. – 216 с.

5. Bimal K.Bose. Power Electronics – Why the Field is so Exciting // IEEE Power Electronics Society Newsletter / Fourth Quarter. – 2007. – Vol. 19. – Pp. 11–20.

УДК 621.314.214

ЕДИНСТВО И ОТЛИЧИЯ РАЗНОВИДНОСТЕЙ НЕИСКАЖАЮЩЕГО ПРОЦЕССА ЦЕЛЕНАПРАВЛЕННОГО ИЗМЕНЕНИЯ ВЕЛИЧИНЫ НАПРЯЖЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

К.А.Липковский, докт.техн.наук, **А.Г.Можаровский**, канд.техн.наук

Институт электродинамики НАН Украины,

пр. Победы, 56, Киев-57, 03680, Украина.

e-mail: lypkivskyk@ukr.net

Прослежены особенности реализации процедуры неискажающего изменения величины напряжения электрического тока в зависимости от приоритетной функции преобразователя на основе трансформаторно-ключевой исполнительной структуры (ТКИС) – регулирования или стабилизации или их соединения. Определена дуальность и принципиальная обратимость соответствующих преобразователей напряжения, которая не является полной и требует оценки целесообразности использования определенных схемотехнических решений ТКИС для конкретных разновидностей преобразования напряжения. Библ. 5, рис. 3.

Ключевые слова: регулирование, стабилизация, дуальность преобразования, обратимость преобразователей напряжения.

CONSISTENCY AND VARIETIES OF THE DIFFERENCES OF UNDISTORTED PROCESS OF THE TASK-ORIENTED CHANGE OF THE ELECTRIC VOLTAGE

K.O.Lypkivskyi, A.G.Mozharovskyi

Institute of Electrodynamics National Academy of Science of Ukraine,

pr. Peremohy, 56, Kyiv-57, 03680, Ukraine.

e-mail: lypkivskyk@ukr.net

The features of the implementation procedure of undistorted change of the electrical voltage depending on the priority function of the converter based on the transformer-switches executive structure (TSES) – regulation or stabilization or their connection are investigated. The duality and essential invertibility of appropriate voltage converters, which are not complete and require an estimation of the feasibility of using specific circuit solutions of TSES for concrete varieties of the voltage conversion, are define. References 5, figures 3.

Key words: regulation, stabilization, duality conversion, reversibility voltage converters.

1. Grigorash O.V., Uskov A.E., Engovatova V.V., Voentsov D.V., Chesovskii A.S. Automated devices stabilize the alternating current voltage // Promyshlennaia energetika. – 2008. – № 5. – Pp. 17–20. (Rus)

2. Lypkivskyi K.O. Duality of Transformer-and-Switches Executive Structures of Alternating Current Voltage Stabilizers and Regulators // Tekhnichna Elektrodynamika. – 2010. – № 6. – Pp. 16–23. (Ukr)

3. Lypkivskyi K.O. Features level control voltage is stabilized by means of the converter transformer-and-switches executive structures // Tekhnichna Elektrodynamika. – 2012. – № 1. – Pp. 23–26. (Ukr)

4. Miliakh A.N., Volkov I.V. Systems based on a constant current of capacitive transducers inductively. – Kiev: Naukova Dumka, 1974. – 216 p. (Rus)

5. Bimal K.Bose. Power Electronics – Why the Field is so Exciting // IEEE Power Electronics Society Newsletter / Fourth Quarter. – 2007. – Vol. 19. – Pp. 11–20.

Надійшла 22.02.2014