

КОМБІНОВАНІ КЕРОВАНІ ВИПРЯМЛЯЧІ ОДНОФАЗНОГО ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ

Запропоновано схемотехнічні рішення комбінованих керованих випрямлячів (ККВ), в котрих розширені можливості способів фазового керування (ФК) і широтно-імпульсної модуляції (ШІМ) ключами ККВ. Показано, що мережні ККВ, які складені шляхом поєднання схем випрямлення Латура-Греца, мають найбільш широкий діапазон регулювання їх вихідних напруг – у межах $\sim (300 \dots 600)$ В при живленні від мережі ~ 220 В. Розглянуто чотири різновиди керованих випрямлячів Латура-Греца. На прикладі узагальненої блок-схеми Латура (класичної та подвоєної) – Греца показано, що переважним є створення в них дворівневої ШІМ. При такому підході покращуються якість і ефективність стабілізації вихідної напруги цих випрямлячів. Узагальнено переваги запропонованих ККВ – автономних і у складі пристроїв силової перетворювальної техніки. Бібл. 7, рис. 7, таблиця.

Ключові слова: комбіновані керовані випрямлячі, схеми випрямлення Латура-Греца, фазове керування, широтно-імпульсна модуляція.

V. Zozulov¹, O. Bondarenko², V. Yurchyshyn³

1 – The Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Peremohy, 56, Kyiv, 03057, Ukraine

2, 3 – National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Peremohy, 37, Kyiv, 03057, Ukraine

COMBINED CONTROLLED RECTIFIERS OF SINGLE-PHASE POWER SUPPLY

The circuits of combined controlled rectifiers (CCR) with advanced possibilities of phase control (PhC) and pulse-width modulation control (PWM) methods of CCR switches are proposed. It is shown that the network CCR combining the Latour-Graetz rectification circuits have the widest range of the output voltage regulation (300...600 V) under the network supply ~ 220 V. The four variants of Latour-Graetz controlled rectifiers are considered. The example of generalized block-diagram of Latour (classic and double) – Graetz showed that the use of two-level PWM control is preferable. This approach makes it possible to improve the quality and effectiveness of the output voltage stabilization. The benefits of the proposed CCR (as autonomous units and as parts of power converters) are highlighted. References 7, figures 7, table.

Key words: combined controlled rectifiers, Latour-Graetz rectification circuits, phase control, pulse-width modulation.

1. Veksler G.S., Pilinskiy V.V. Electro-feed-in devices of electro-acoustic and cinematechnical apparatus. Kyiv: Vyshcha shkola, 1986. 383 p. (Rus)
2. Rudenko V.S., Senko V.I., Chizenko I.M. Conversion technique. Kyiv: Vyshcha shkola. 1983. 431 p. (Rus)
3. Shrayberg G. 300 charts of sources of feed. Rectifiers. Impulsive sources of feed. Linear stabilizers and converters: Trudged. with franc. Moskva: DMK, 2000. 224 p. (Rus)
4. Holubev V.V. Pulse conversion of alternating voltage. Kyiv: Naykova dumka, 2014. 248 p. (Rus)
5. Mykhalskiy V.M. Means for improving the quality of electricity at the input and output of frequency and voltage converters with pulse-width modulation. Kyiv: Instytut Elektrodynamiky NAN Ukrainy, 2013. 340 p. (Ukr)
6. Volkov I.V., Zozulev V.I., Kuskova N.I., Khrysto O.I. Development of principles for constructing a pre-transformer part of magnetic-semiconductor pulse generators. Pratsi Instytutu elektrodynamiky NAN Ukrainy. 2017. Vyp. 47. P. 45–53. (Rus)
7. Yrvynh M. Hottlyb. Power supplies. Inverters. Converters. Linear and pulsed stabilizers. Moskva: Postmarket, 2002. 544 p. (Rus)

Надійшла 15.08.2018

Received 15.08.2018

УДК 621.314

ОРГАНІЗАЦІЯ ПАРАЛЕЛЬНОЇ РОБОТИ ІМПУЛЬСНИХ СТАБІЛІЗАТОРІВ ПОСТІЙНОЇ НАПРУГИ НА ОСНОВІ ВИСОКОЧАСТОТНИХ МАГНІТНИХ ПІДСИЛЮВАЧІВ

В.І. Яськів, А.В. Яськів

Тернопільський національний університет ім. Івана Пулюя,

вул. Руська, 56, м. Тернопіль, 46001, Україна

e-mail: yaskiv@yahoo.com

Для отримання високого рівня струму в навантаженні існує проблема організації паралельної роботи окремих стабілізаторів постійної напруги. Запропоновано методи ввімкнення на паралельну роботу імпульсних стабілізаторів постійної напруги на основі високочастотних магнітних підсилювачів. Сформульовано умови рівномірного розподілу струму навантаження між окремими стабілізаторами напруги. Наведено приклад реалізації такої системи. Бібл. 12, рис. 3.

Ключові слова: імпульсний стабілізатор постійної напруги, паралельна робота, високочастотний магнітний підсилювач, нерівномірність розподілу струму.

Вступ. Для реалізації різного роду зарядних пристроїв, а також для живлення пристроїв автоматики, обчислювальної техніки та зв'язку часто потрібен низьковольтний високого рівня струму (десятки-сотні ампер) стабілізатор напруги з високою якістю вихідної напруги, динамічних характеристик та високим рівнем питомої потужності. Сучасна елементна база та існуючі принципи побудови імпульсних джерел електроживлення не завжди дають змогу отримати необхідні вихідні параметри на одному стабілізаторі напруги. Тому використовують ввімкнення на паралельну роботу кількох імпульсних стабілізаторів постійної напруги (ІСПН). Паралельна робота використовується також для резервування з метою підвищення надійності систем електроживлення.

Загалом можна виділити такі види паралельної роботи [1]:

1) на спільні шини з довільним розподілом потужності між окремими ІСПН за умови, що потужність навантаження не перевищує номінальну потужність окремого ІСПН (іноді такий вид роботи називають сумісною). Реалізується найбільш просто ввімкненням їх на спільні шини через відокремлюючі діоди. Недоліком є завищена установлена потужність. Застосовується переважно в резервованих системах живлення;

2) на спільні шини з розподілом потужності навантаження пропорційно номінальній потужності кожного ІСПН, але не більшим за неї. Реалізація цього виду паралельної роботи забезпечується введенням додаткових зворотних зв'язків між навантаженням і кожним стабілізатором та формуванням сигналу керування пропорційно значенням давачів струму стабілізаторів;

3) на спільні шини з довільним розподілом потужності навантаження між окремими ІСПН, але з обмеженням завантаження кожного з них на рівні номінальної (чи допустимої перевантажувальної) потужності. Вимагає розробки модулів із спеціальною зовнішньою характеристикою, що призводить до їх схемотехнічного ускладнення і відповідно до зростання їхньої вартості та масогабаритних показників.

Методи ввімкнення на паралельну роботу ІСПН на високочастотних магнітних підсилювачах. Одним з варіантів побудови ІСПН, що працюють на спільне навантаження, є стабілізатор на основі високочастотних магнітних підсилювачів (ВМП). Принцип їх роботи розглянуто в [2, 3–7].

Відомі методи організації паралельної роботи стабілізаторів постійної напруги на основі ВМП із забезпеченням рівномірного розподілу струму навантаження між окремими стабілізаторами [8–10]. Базуються вони на використанні додаткових зворотних зв'язків за струмом навантаження та пропорційно-струмовому формуванні сигналу керування силовими ключами (струму розмагнічення ВМП). Такі підходи використовуються у разі організації паралельної роботи перетворювачів з силовими транзисторними ключами. Перевагою цього способу є реалізація паралельної роботи не тільки кількох вихідних каналів (стабілізаторів напруги) одного транзисторного інвертора, як показано в [8, 10]. На думку авторів, цей спосіб забезпечує також можливість паралельної роботи вихідних каналів (стабілізаторів напруги) різних транзисторних інверторів, причому з різними частотами комутації. Однак реалізація цього способу забезпечення паралельної роботи вимагає значного ускладнення схеми керування всією системою: давачі струму в кожному вихідному каналі, додаткові зворотні зв'язки за струмом навантаження, організація пропорційно-струмового керування. Зростання кількості стабілізаторів напруги, що ввімкнені на паралельну роботу, призводить до ще більшого ускладнення схеми керування, яка в свою чергу потребує додаткового службового живлення. Крім того, поява у всій системі вузла (схема пропорційно-струмового керування), який одноосібно визначає роботу всієї системи, призводить до зменшення рівня її надійності.

Мета роботи полягає у розробці методів забезпечення паралельної роботи ІСПН на ВМП, в яких були б максимально використані як переваги техніки магнітного перетворення, так і можливість використання простих компенсацийно-параметричних методів регулювання електричних параметрів.

Вимоги до таких стабілізаторів можуть бути сформульовані таким чином:

- рівномірний розподіл струму навантаження між окремими стабілізаторами в усьому діапазоні зміни всіх збурюючих факторів;
- мінімальна кількість дискретних елементів;
- максимально можлива простота схеми керування для всіх ІСПН на ВМП, ввімкнених на паралельну роботу;
- існування в системі єдиного зворотного зв'язку за вихідною напругою;
- відсутність спільного вузла в системі, що визначає її режими роботи.

На рис. 1 наведено функціональну схему ввімкнення таких ІСПН на паралельну роботу. Стабілізація вихідної напруги в ІСПН на ВМП здійснюється за рахунок відповідної зміни напруги на виході широтно-імпульсного модулятора, реалізованого на ВМП. У робочий півперіод, коли до дроселя насичення ВМП прикладено "плюс" напруги вторинної обмотки силового високочастотного трансформатора TV , відбувається перемагнічування в режимі джерела ЕРС від якогось початкового рівня індукції до індукції насичення B_s . Напруга насичення дроселя рівна

$$U_n = 4fB_sWS, \quad (1)$$

де f – робоча частота; B_s – індукція насичення матеріалу магнітопроводу; W – кількість витків дроселя насичення; S – площа поперечного перерізу магнітопроводу.

У разі досягнення насичення через обмотку дроселя протікає струм навантаження. В цей час до обмотки іншого дроселя насичення прикладено "мінус" змінної напруги живлення, що відповідає керуючому півперіоду. В цей півперіод відбувається перемагнічування магнітопроводу в режимі джерела струму від рівня B_s до рівня індукції, який визначається стабілізуючим зворотним зв'язком за вихідною напругою. По обмотці дроселя насичення протягом всього півперіоду протікає струм розмагнічування, величина якого визначається законом повного струму. Таким чином, здійснюється відпрацювання збурень по виходу. Зміна мережевої напруги відпрацьовується дроселем насичення шляхом порівняння напруги вторинної обмотки трансформатора з напругою насичення дроселя.

У разі ввімкнення кількох ІСПН на спільне навантаження одним із вирішальних факторів рівномірного розподілу струму навантаження між ІСПН і стійкої роботи такої системи є організація кола зворотного зв'язку. Особливістю ІСПН на ВМП є те, що його схема керування, яка складається з вузла порівняння та підсилювача постійного струму, працює в лінійному режимі. У цьому випадку вихідний струм її на частотах перетворення десятки-сотні кілогерц складає десятки міліампер та коефіцієнт підсилення на порядок нижчий, ніж у регулюючого елемента – дроселя насичення. У разі ввімкнення таких стабілізаторів на спільне навантаження вузол порівняння виконується спільним для всіх стабілізаторів. При цьому в усій багатоканальній системі буде існувати лише один рівень сигналу похибки розузгодження, котрий подається на входи підсилювачів постійного струму кожного стабілізатора.

Для забезпечення рівномірного струморозподілу між окремими ІСПН на ВМП мають виконуватись такі умови:

- 1) існування в системі єдиного спільного сигналу похибки розузгодження для всіх ІСПН на ВМП;

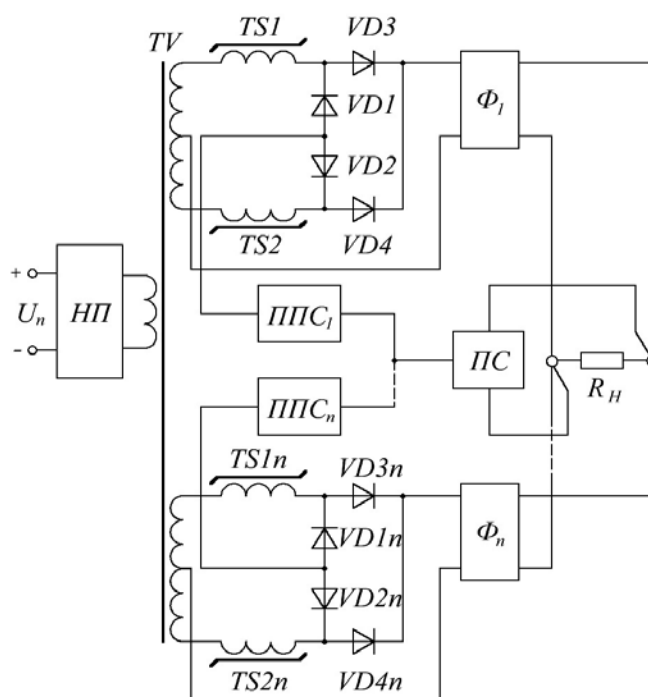


Рис. 1

- 2) рівномірний розподіл сигналу керування між регулюючими елементами (дроселями насичення) різних стабілізаторів;
- 3) рівність миттєвих значень напруг вторинних обмоток трансформаторів;
- 4) рівність частот цих напруг.

Перша умова виконується, коли в системі існує єдиний вузол порівняння, спільний для всіх стабілізаторів, ввімкнених на паралельну роботу.

Розподіл сигналу керування між окремими регулюючими елементами забезпечується режимами роботи підсилювачів постійного струму у зворотному зв'язку за напругою. Вони працюють у режимі джерела струму. Обмеження рівня їх вихідного струму (струму розмагнічення) здійснюється опорами перемагнічування магнітних ключів різних стабілізаторів (для існуючих на сьогодні матеріалів він складає 5...10 кОм на робочій частоті 50 кГц). Оскільки ІСПН на ВМП виконані за схемою з середньою точкою і керуючі періоди при цьому чергуються в часі, то вихідний сигнал підсилювачів постійного струму буде неперервним у часі. Окрім того, дроселі насичення володіють еквівалентним опором перемагнічування $R_{\text{екв.пер.}}$, який визначається як

$$R_{\text{екв.пер.}} = \frac{4fW^2 S k_{\text{ст}} k_{\text{п}}}{1} \cdot \frac{\Delta B}{\Delta H}, \quad (2)$$

де $k_{\text{ст}}$ – коефіцієнт заповнення сталі магнітопроводу; $k_{\text{п}}$ – коефіцієнт прямокутності; l – довжина магнітної лінії магнітопроводу осердя; ΔH – приріст напруженості поля перемагнічування; ΔB – відповідний приріст індукції.

На частотах перетворення в десятки-сотні кілогерц $R_{\text{екв.пер.}}$ складає декілька кілоом. Відповідно у разі одного сигналу похибки розузгодження глибина перемагнічування дроселів насичення в керуючий півперіод ΔB_y буде однаковою за умови рівності їх еквівалентних опорів перемагнічування.

На останній стадії виготовлення магнітопроводів проводяться випробовування та сортування із заданим кроком за такими параметрами: коефіцієнт прямокутності $k_{\text{п}}$; напруженість поля повного перемагнічування $H_{\text{пп}}$ та напруга перемагнічування на один виток U_1 . Останній параметр є інтегральним і зв'язаний з іншими параметрами матеріалу виразом

$$U_1 = 4fWS(B_r + B_m), \quad (3)$$

де B_r – залишкова індукція; B_m – максимальна індукція.

Для здійснення рівномірного струморозподілу навантаження між різними ІСПН необхідно встановити залежність нерівномірності струморозподілу ΔI від параметрів матеріалу $\Delta I = f(k_{\text{п}}, H_{\text{пп}}, U_1)$ та мінімізувати її.

Розглянемо вплив параметра $H_{\text{пп}}$ на розподіл струму навантаження між паралельно ввімкненими стабілізаторами. Для цього необхідно визначити залежність

$$\Delta B_y = f(\Delta H), \quad (4)$$

де ΔB_y – розкид глибини розмагнічування ДН різних стабілізаторів у керуючий півперіод; ΔH – реальний розкид за параметром $H_{\text{пп}}$ у партії магнітопроводів.

Протягом керуючого півперіоду має місце такий режим перемагнічування ДН: більшу частину півперіоду відбувається перемагнічування в режимі джерела струму, який визначається схемою керування стабілізатора. Для цього режиму, коли швидкість зміни індукції в ДН нижча існуючого в схемі рівня обмеження швидкості перемагнічування, перемагнічування ДН відбувається відповідно до індивідуальних характеристик кожного ДН без обмеження його швидкості.

Проте у разі ввімкнення ІСПН на ВМП на паралельну роботу в системі існує один рівень обмеження швидкості перемагнічування ДН різних стабілізаторів у керуючий півперіод. Цей рівень визначається зовнішнім полем, прикладеним до паралельно ввімкнених ДН, і є однаковою (напруги вторинних обмоток рівні між собою, а сигнал розузгодження та

вихідна напруга є спільними для всіх ДН). Враховуючи, що перемагнічування ДН відбувається за частковою петлею гістерезису з обмеженням швидкості перемагнічування, розкид параметра $H_{\text{пн}}$ у партії магнітопроводів не впливає на момент насичення різних ДН за робочий півперіод.

Для визначення залежності $\Delta I = f(k_{\text{п}}, U_1)$ у разі паралельної роботи двох ІСПН на ВМП були зроблені такі припущення: джерела ЕРС повністю ідентичні (рівність напруг $e_1 = e_2$ та частот $f_1 = f_2$ силового високочастотного трансформатора, а також внутрішніх опорів $r_{\text{вн1}} = r_{\text{вн2}}$ нерегульованих транзисторних інверторів), дроселі насичення виконані з магнітопроводів одного типорозміру з однаковою кількістю витків, вольт-амперні характеристики діодів співпадають. У результаті проведеного аналізу було отримано таку залежність:

$$\Delta I = \frac{\Delta U}{2R_n} = \frac{W}{4R_n} \cdot [(U_{12} - U_{11}) - (U_{12}k_{\text{п2}} - U_{11}k_{\text{п1}})], \quad (5)$$

де ΔU – різниця вихідних напруг окремих стабілізаторів; R_n – опір навантаження; U_{11}, U_{12} – напруга перемагнічування на один виток відповідно першого та другого дроселів насичення, ввімкнених на паралельну роботу; $k_{\text{п1}}, k_{\text{п2}}$ – коефіцієнт прямокутності осердь відповідно першого та другого дроселів насичення, ввімкнених на паралельну роботу.

Цей вираз дає змогу зробити висновок, що для забезпечення рівномірного струморозподілу коефіцієнти прямокутності та параметри U_1 мусять бути однаковими для магнітопроводів обох дроселів насичення, що працюють в один проміжок часу (один півперіод для двотактної схеми).

У разі ввімкнення на паралельну роботу вихідних каналів одного джерела живлення третя і четверта умови виконуються автоматично. При виконанні цих умов рівномірність розподілу струму навантаження між окремими ІСПН досягається за рахунок того, що момент насичення дроселів ВМП всіх паралельно ввімкнених ІСПН у робочий півперіод досягається одночасно, оскільки силові регулюючі елементи (дроселі насичення) всіх ВМП працюють на одному куті.

У разі паралельної роботи різних перетворювачів електроенергії (у випадку, коли один чи кілька ІСПН на ВМП живляться від незалежних нерегульованих транзисторних інверторів) запропоновано метод забезпечення синхронної та синфазної комутації таких інверторів у всьому діапазоні зміни струму навантаження. Детально цей метод розглянуто в літературі [11]. Саме використання цих методів дало змогу реалізувати систему живлення з вихідними параметрами 5 В, 200 А у разі паралельної роботи чотирьох ІСПН на ВМП (рис. 2). При цьому якість вихідної напруги в системі та її динамічні характеристики збереглися на рівні якісних характеристик одного ІСПН на ВМП.

На рис. 2 позначено: 1, 2 – нерегульований високочастотний транзисторний інвертор; 3, 4, 5, 6 – імпульсний стабілізатор постійної напруги на основі магнітних підсилювачів; 7 – схема керування (один компаратор та чотири підсилювачі струму).

Проте такий метод забезпечення рівномірного розподілу струму навантаження між окремими стабілізаторами на ВМП, ввімкненими на паралельну роботу, вимагає спеціального підбору осердь магнітопроводів ВМП за їх характеристиками – коефіцієнтом прямокутності та індукцією насичення.

Розв'язання цієї задачі можливе у разі використання такої структури: ввімкнення на паралельну роботу ІСПН на ВМП з умовою використання спільного осердя дроселя насичення ВМП у кожному з плечей вихідного високочастотного випрямляча для всіх паралельно ввімкнених ІСПН (рис. 3) [12].

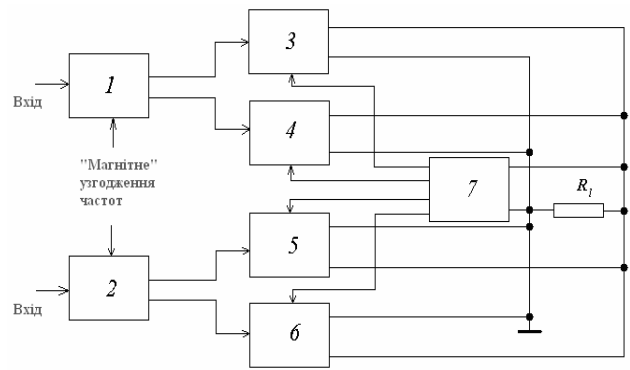


Рис. 2

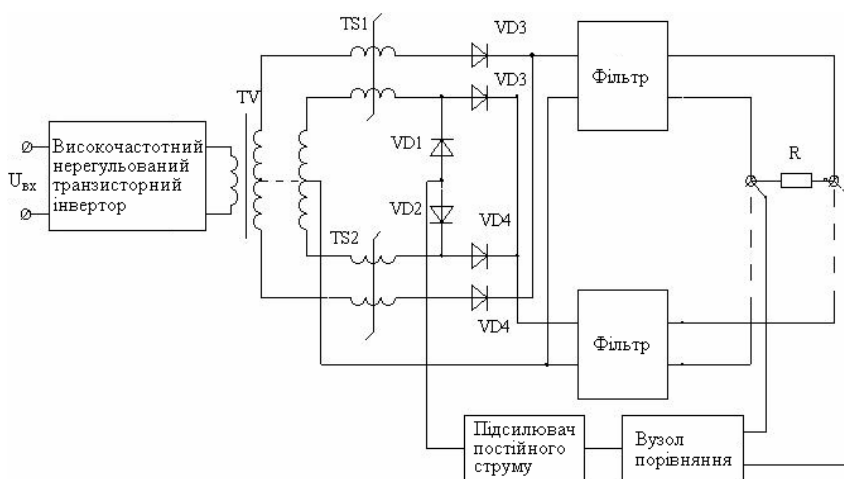


Рис. 3

Оскільки обмотки всіх високочастотних магнітних підсилювачів одного плеча стабілізаторів напруги розміщені на спільному дроселі насичення і вторинні півобмотки трансформаторів всіх стабілізаторів напруги належать одному силовому високочастотному трансформатору, момент насичення дроселя насичення для всіх стабілізаторів напруги настає одночасно. Враховуючи ідентичність всіх імпульсних

стабілізаторів постійної напруги ввімкнених на паралельну роботу (звідси рівність їх внутрішніх опорів) за запропонованим способом, розподіл струму навантаження між усіма стабілізаторами (вихідними каналами) буде рівномірним.

Крім того, отримуємо простішу структуру – достатньо однієї пари розмагнічуючих діодів та схеми керування як у випадку для одного стабілізатора напруги.

Запропонований метод організації паралельної роботи ІСПН може бути реалізований тільки на етапі проектування конкретного стабілізатора напруги з високим рівнем струму навантаження.

Таким чином, досягнуто рівномірний розподіл струму навантаження в усьому діапазоні його зміни між усіма імпульсними стабілізаторами постійної напруги на високочастотних магнітних підсилювачах, ввімкненими на паралельну роботу за рахунок того, що обмотки всіх високочастотних магнітних підсилювачів одного плеча випрямлячів всіх стабілізаторів напруги розміщені на спільному осерді.

Висновки. Запропоновані методи ввімкнення на паралельну роботу ІСПН на ВМП дають змогу отримати високий рівень струму навантаження (десятки-сотні ампер) із забезпеченням рівномірного розподілу струму між окремими стабілізаторами в усьому діапазоні його зміни у разі єдиного зворотного зв'язку за вихідною напругою. При цьому зберігаються висока якість вихідної напруги та високий рівень її динамічних характеристик, забезпечуються висока питома потужність та ККД.

1. Розанов Ю.К. Полупроводниковые преобразователи со звеном повышенной частоты. Москва: Энергоатомиздат, 1987. 184 с.
2. Хруслов Л.Л., Яськів В.И. Многоканальная система питания с равномерным токораспределением. Патент СРСР №1797729, 1993.
3. Harada K., Nabeshima T. Applications of Magnetic Amplifiers to High-Frequency DC-to-DC Converters. *Proc. IEEE*. Vol. 76, no. 4, April 1988. P. 355–361.
4. Harada K., Nabeshima T., Hiramatsu R. On the control of magnetic amplifier for high-frequency DC-to-DC converter. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 1987. P. 234–238.
5. Mag Amp Cores and Materials, Technical Bulletin, BULLETIN SR-4, Magnetics Inc., available on line at: <http://www.mag-inc.com/design/technical-documents>.
6. Mamano B. Magnetic amplifier control for simple, low-cost, secondary regulation. Unitorde corp. slup129, available on line at: <http://www.ti.com/lit/ml/slup129/slup129.pdf>.
7. Yaskiv V. Using of High-Frequency Magnetic Amplifier in Switch Mode DC Power Supplies. Proc. 35th Annual *IEEE Power Electronic Specialists Conference (PESC'04)*, Aachen, Germany, 2004. P. 1658–1662.
8. Chen Y.T., Liang J.M. Paralleling Magamp-Postregulator Modules with Sliding-Mode-Control Method. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 53, No. 3, June 2006. Pp. 974–983.
9. Jamerson C., Chen D. Y. Magamp Postregulators for Symmetrical Topologies with Emphasis on Half-Bridge Configuration. *IEEE Transactions on Power Electronics*. Vol. 8, No. 1, January 1993. Pp. 26–29.
10. Yao W., Hong X., Lu Z. A novel current-sharing scheme based on magamp. *Journal of Zhejiang University Science A*, 2008. P. 1150-1156.

11. Яськів В.І., Гурник О.П. Забезпечення синхронної та синфазної роботи високочастотних транзисторних інверторів. *Вісник Національного університету "Львівська політехніка", "Радіоелектроніка та телекомунікації"*. 2002. № 443. С. 100–104.
12. Яськів А.В., Яськів В.І. Стабілізатор постійної напруги. Патент України на винахід № 112102, 2016.

УДК 621.314

В.І. Яськів, А.В. Яськів

Тернопольский национальный университет им. Ивана Пулюя,
ул. Руська, 56, г. Тернополь, 46001, Украина

ОРГАНИЗАЦИЯ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ИМПУЛЬСНЫХ СТАБИЛИЗАТОРОВ ПОСТОЯННОГО НАПРЯЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ МАГНИТНЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ

Для получения высокого уровня тока в нагрузке существует проблема организации параллельной работы отдельных стабилизаторов постоянного напряжения. Предложены методы включения на параллельную работу импульсных стабилизаторов постоянного напряжения на основе высокочастотных магнитных усилителей. Сформулированы условия равномерного распределения тока нагрузки между отдельными стабилизаторами напряжения. Показан пример реализации такой системы. Библиограф. 12, рис. 3.

Ключевые слова: импульсный стабилизатор постоянного напряжения, параллельная работа, высокочастотный магнитный усилитель, неравномерность распределения тока.

V.I. Yaskiv, A.V. Yaskiv

Ternopil Ivan Puluj National Technical University, 56,
Ruska str., Ternopil, 46001, Ukraine

ORGANIZATION OF PARALLEL OPERATION OF PULSE DC VOLTAGE REGULATORS BASED ON HIGH-FREQUENCY MAGNETIC AMPLIFIERS

To obtain a high level of the load current, there exists a problem of organization of parallel operation of separate dc voltage regulators. Methods of switching of pulse dc voltage regulators based on high-frequency magnetic amplifiers for their parallel operation is proposed. The conditions for equal current distribution between separate voltage regulators are drawn. An example of a realization of such system is shown. References 12, figures 3.

Key words: pulse dc voltage regulator, parallel operation, high-frequency magnetic amplifier, unequal current distribution.

1. Rozanov Yu.K. Semiconductor power converters with the unit of increased frequency. Moskva: Energoatomizdat, 1987. 184 p. (Rus)
2. Khruslov L.L., Yaskiv V.I. Multichannel power supply system with equal current distribution. The patent USSR No 797729, 1993. (Rus).
3. Harada K., Nabeshima T. Applications of Magnetic Amplifiers to High-Frequency DC-to-DC Converters. *Proc. IEEE*, vol. 76, no. 4, April 1988. Pp. 355–361.
4. Harada K., Nabeshima T., Hiramatsu R. On the control of magnetic amplifier for high-frequency DC-to-DC converter. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 1987. Pp. 234–238.
5. Mag Amp Cores and Materials, Technical Bulletin, BULLETIN SR-4, Magnetics Inc., available on line at: <http://www.mag-inc.com/design/technical-documents>.
6. Mamano B. Magnetic amplifier control for simple, low-cost, secondary regulation. Unitrode corp. slup129, available on line at: <http://www.ti.com/lit/ml/slup129/slup129.pdf>.
7. Yaskiv V. Using of High-Frequency Magnetic Amplifier in Switch Mode DC Power Supplies. *Proc. 35th Annual IEEE Power Electronic Specialists Conference (PESC'04)*, Aachen, Germany, 2004. Pp. 1658–1662.
8. Chen Y.T., Liang J.M. Paralleling Magamp-Postregulator Modules with Sliding-Mode-Control Method. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 53, No. 3, June 2006. Pp. 974–983.
9. Jamerson C., Chen D.Y. Magamp Postregulators for Symmetrical Topologies with Emphasis on Half-Bridge Configuration. *IEEE Transactions on Power Electronics*, Vol. 8, No. 1, January 1993. Pp. 26–29.
10. Yao W., Hong X., Lu Z. A novel current-sharing scheme based on magamp. *Journal of Zhejiang University Science A*, 2008. Pp. 1150–1156.
11. Yaskiv V.I., Gurnyk O.P. Provision of synchronous and synphase operation of high-frequency transistor inverters. *Вісник Національного університету "Львівська політехніка", "Радіоелектроніка та телекомунікації"*. 2002. No 443. Pp. 100–104. (Ukr)
12. Yaskiv A.V., Yaskiv V. I. DC voltage regulator. Invention patent of Ukraine. No.112102, 2016. (Ukr)

Надійшла 02.03.2018

Received 02.03.2018