

ВИОКРЕМЛЕННЯ ПРОЦЕДУРИ ЦІЛЕСПРЯМОВАНОЇ ЗМІНИ РІВНЯ НАПРУГИ У МНОЖИНІ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

К.О. Липківський¹, докт. техн. наук, **В.А.Халіков²**, канд. техн. наук, **А.Г. Можаровський³**, канд. техн. наук

1–3 – Інститут електродинаміки НАН України,
пр. Перемоги, 56, Київ-57, 03680, Україна

Підведено підсумки досліджень у звітному періоді за науковим напрямком "Розвиток та узагальнення теорії регулювання напруги змінного струму" та обґрунтовано їх значущість для виконання наступних етапів НДР "Стан". Наведено інформацію щодо практичної реалізації та впровадження нових розробок. Бібл. 7, рис. 2, табл. 3.

Ключові слова: регулятор (стабілізатор) напруги змінного струму, трансформаторно-ключова виконавча структура.

Виконані минулого року наукові дослідження є етапом у вирішенні проблеми надійного енергоефективного перетворення напруги змінного струму. Вони проводились згідно з планом НДР "Стан" – "Розвиток та узагальнення теоретичних і практичних засад неспотворюючої технології регулювання напруги змінного струму, синтез на цій основі енергоощадних багатофункціональних перетворювачів та систем у цілому". (Попередньо було проведено узагальнення комплексу досліджень за завершеною темою "Ренап", що слугувала підґрунтям та "відправною точкою" для початку роботи над НДР "Стан" [2, 3]).

Основні наукові результати виконаних досліджень полягають у наступному.

1. Вперше розглянуто дуальність двох видів перетворення напруги (підкреслимо, що мова йде виключно про напругу змінного струму), яка виявляється вже на перших етапах формування завдання та вибору методів управління: при регулюванні передбачається живлення перетворювача від напруги незмінної (номінальної) величини ($U_1=U_{1н}=\text{const}$) і зміна вихідної або за певною програмою, або за вимогою споживача ($U_2\approx\text{var}$); при стабілізації, навпаки, необхідно підтримувати вихідну напругу незмінною ($U_2\approx\text{const}$) при стохастичній зміні вхідної напруги та можливій зміні навантаження ($U_1\approx\text{var}$, $Z_{н}\approx\text{var}$).

Якщо для "чисто" напівпровідникового перетворювача дуальність на цьому "закінчується" (ключовий елемент у колі силового струму буде однаковим для регулятора і для стабілізатора), то для перетворювачів на основі трансформаторно-ключових виконавчих структур (ТКВС) вона прослідковується і на етапі вибору схемотехнічного рішення та розрахунку його параметрів. Це детально розглянуто у роботі [1], де за об'єкт дослідження було вибрано найбільш простий та зручний для розгляду варіант ТКВС, що складається з силового секціонованого автотрансформатора (АТ) та тиристорного комутатора К, що може бути розміщений як на первинному (К1), так і на вторинному (К2) боці АТ: обидві конфігурації придатні, у принципі, як для регулювання, так і стабілізації напруги змінного струму. (Як показали подальші дослідження, основні висновки, що були зроблені при цьому, справедливі й для більш складних варіантів ТКВС, зокрема для структур з декомпозицією ключових елементів комутатора, структур з винесенням цих елементів з кіл силового струму, структур з іншими типами трансформуючого елемента тощо).

У зазначеному комутаторі у кожному режимі працює лише один ключовий елемент, тобто кількість можливих станів структури J дорівнює кількості ключів $J=N$. Необхідний перехід з одного стану в інший реалізується перекомутацією КЕ, внаслідок чого відповідним чином змінюється коефіцієнт передачі, який у загальному випадку визначається відношенням сумарних витків АТ, з яких знімається вихідна напруга, до сумарних витків АТ, на які подається напруга живлення: $K_j=(\sum W_2)_j/(\sum W_1)_j$, $i=1, J$. При розміщенні комутатора на виході

АТ (К2) змінюється чисельник цього виразу, а при розміщенні на вході АТ (К1) змінюється його знаменник.

Доведено, що у одній і тій же за топологією структури можна реалізувати як регулювання, так і стабілізацію напруги, причому структури з комутатором на вході й структури з комутатором на виході є принципово оберненими: ТКВС стабілізатора можна "перетворити" на ТКВС регулятора простою зміною місць підключення навантаження та мережі живлення. Проте ця "оберненість" не є повною: при різних видах перетворення змінюються закони секціонування АТ та струмові навантаження секцій і, як наслідок, змінюються масогабаритні показники ТКВС, які і є похідними переважно від розрахункових значень встановленої потужності трансформуючого елемента.

Отримано аналітичні залежності встановленої потужності секціонованого автотрансформатора P_{AT} для обох варіантів розміщення комутатора ТКВС для перетворювачів трьох типів – стабілізатора напруги СН, регулятора напруги РН та стабілізатора струму СС, який є похідним від РН (він відрізняється від останнього, по-перше, тим, що комутація КЕ відбувається у ньому відповідно до закону зміни вихідного опору, та, по-друге, більшим струмовим навантаженням секцій автотрансформатора).

За цими залежностями було розраховано значення P_{AT} , нормовані за номінальною потужністю навантаження РН, для множини співвідношень меж зміни вхідної напруги U_{1min} , U_{1max} (для СН) або вихідної напруги U_{2min} , U_{2max} (для РН) та різної кількості ключових елементів N у комутаторі ТКВС. Для прикладу у табл. 1 наведено отримані величини

Таблиця 1

Комутатор	вид перетворювача		
	СН	РН	СС
К1	0,4807	0,3057	0,4925
К2	0,7755	0,2230	0,3193

табл. 1 наведено отримані величини

$P_{AT}^* = P_{AT}/P_n$ для випадку зміни вказаних напруг, нормованих за номінальним значенням напруги, у межах 0,6...1,2, та використання комутатора на дев'яти ключах. (При цьому похибка стабілізації/регулювання дорівнює 3,85 %). Як видно з табл. 1, кращими за цим показ-

ником є ТКВС стабілізаторів з комутатором на вході та ТКВС регуляторів з комутатором на виході. Схемотехнічні рішення саме цих варіантів наведено у табл. 2. Там також наведено запропоновані у роботі [3] вольт-амперні діаграми (ВАД) – контурні фігури, що складаються з $(J+1)$ прямокутників, вертикальні розміри яких пропорційні максимальним напругам на відповідних секціях обмотки АТ, а горизонтальні – максимальним значенням струмів через них. Ці діаграми, по-перше, наочно ілюструють "внесок" окремих секцій у встановлену розрахункову потужність, а по-друге, допомагають порівняти різні варіанти ТКВС. Аналіз наведених ВАД підтверджує неповноту оберненості ТКВС регуляторів і стабілізаторів: "перехід" від РН до СН можливий, але не є доцільним, бо при цьому маса витків секцій АТ буде над-

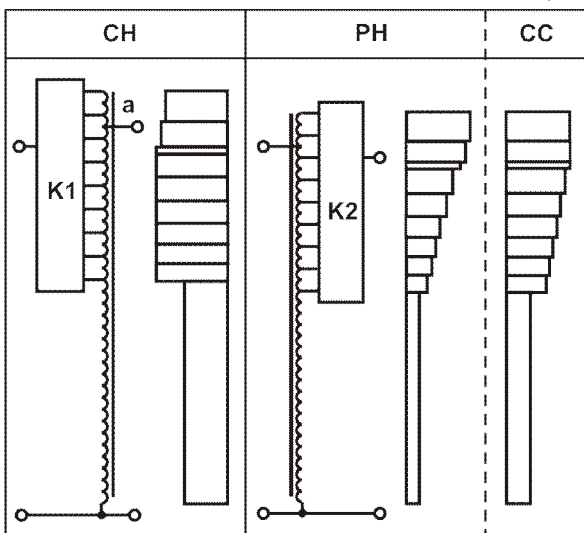
лишковою; перехід від РН до СН можливий лише за умови суттєвого зменшення струмів у секціях АТ, тобто зниження припустимої потужності навантаження.

Виконані дослідження дозволили сформулювати висновки у вигляді низки певних положень, що мають узагальнюючий характер.

По-перше, за допомогою будь-якої ТКВС можна здійснювати обидва різновиди єдиного функціонального перетворення величини напруги змінного струму – і стабілізацію, і регулювання.

По-друге, при побудові перетворювача напруги необхідно пам'ятати, що при використанні ТКВС необхідно дотримуватись принципу дуальності на всіх етапах – не тіль-

Таблиця 2



ки на етапах формулювання завдання та вибору системи керування, а й на етапах вибору топології ТКВС та її розрахунку.

По-третє, вибираючи топологію ТКВС, орієнтовану на конкретний різновид перетворення, необхідно, щоб регульовальні секції АТ розміщувались у тому колі, де відбувається основна зміна напруги. Інше рішення призводить до зміни індукції у широких межах, виткової надлишковості обвиток АТ і, внаслідок цього, до зростання розрахункового значення його встановленої потужності. Виходячи з цих позицій, рекомендується у ТКВС стабілізаторів напруги розміщувати комутатор виключно у вхідному колі, а у ТКВС регуляторів напруги – виключно на виході структури.

По-четверте, ТКВС, орієнтована на стабілізацію напруги, може при зміні місць підключення мережі та споживача реалізувати процес регулювання напруги (і навпаки), що свідчить про принципову оберненість цих структур.

По-п'яте, пріоритетна функція ТКВС (регулювання чи стабілізація) визначає її певні (притаманні тільки їй) особливості, внаслідок чого задекларована вище принципова оберненість практично не є повною – при використанні ТКВС стабілізатора напруги для регулювання обвитки АТ будуть недозавантажені по струму, тобто АТ матиме зайву непотрібну масу; у протилежному випадку стабілізатор потрібно буде використовувати для живлення споживачів меншої потужності.

2. На основі аналізу відомих та запропонованих авторами трансформаторно-ключових виконавчих структур були запропоновані та сформульовані структурно-топологічні ознаки для ТКВС, що дозволило на наступному етапі виконання НДР "Стан" у 2011 р. провести повну детальну систематизацію електричних кіл з трансформуючими та ключовими елементами з поділом їх на класи та групи, а також орієнтацію їх на реалізацію певного виду функціонального перетворення напруги змінного струму.

Завершено комплекс теоретичних досліджень секціонованих трансформаторно-ключових систем електроживлення технологічного устаткування [4].

3. Продовжено дослідження одного з видів перетворювачів – дискретних стабілізаторів величини напруги змінного струму на основі ТКВС [7]. Основну увагу було приділено формуванню характеристики вхід-вихід регулюючого органу та законам вибору величини коефіцієнтів передачі $K_j, j=1, \overline{J}$, де J – загальна кількість нетотожних станів ТКВС, оскільки вони визначають більшість основних параметрів всього пристрою.

Було розглянуто найбільш ефективні для використання на практиці закони, зокрема, коли величини K_j співвідносяться згідно з геометричною прогресією з коефіцієнтом γ й при цьому можна отримати гранично можливу характеристики вхід-вихід, та закон, коли петлі гістерезису характеристики, наявність яких є необхідною умовою працездатності цих пристроїв, мають однакову ширину. Було досліджено вплив гістерезису характеристики вхід-вихід дискретного стабілізатора на його параметри.

Доведено, що при заданому числі станів зміни ширини петель гістерезису можна досягти шляхом варіації похибки вихідної напруги при незмінних за величиною коефіцієнтах передачі K_j . Щоб у характеристиці виник гістерезис, необхідно збільшити похибку вихідної напруги в порівнянні з мінімальною. Це призведе до пропорційного збільшення діапазону зміни вхідних напруг. Доведено, що його величина при цьому визначається параметрами граничної характеристики. Показано, що змінюються обидві межі діапазону: нижня – знизиться, а верхня – підвищиться, причому абсолютні значення цих змін різні: для нижньої вона визначається величиною першого коефіцієнта передачі K_1 , а для верхньої – останнього K_J , тобто зміна нижньої межі у γ^{J-1} менша за верхню. Для цього закону петлі гістерезису мають різну ширину, перша петля $\Delta U_{\text{ПН}}$ – найвужча, а кожна наступна ширша попередньої на постійний коефіцієнт γ .

При використанні другого закону вибору K_j зміни ширини петель гістерезису досягаються тільки шляхом варіації величини коефіцієнтів передачі при незмінному числі J .

Доведено, що при певному збільшенні похибки вихідної напруги петлі "стикаються" й виникає надмірність станів характеристики, тобто мова йде про нераціональний закон вибо-

ру її коефіцієнтів передачі. Визначено, що для першого закону таке відбувається за умови, якщо відношення меж вихідної напруги g перевищує γ^2 . Для другого закону також існують обмеження по ширині петлі. Отримано аналітичний вираз для розрахунку величини мінімального відносного діапазону, при якому петлі "стикаються".

Отримано аналітичні вирази для розрахунку співвідношення меж вхідного діапазону

Таблиця 3

δ (%)	$U_{1\min}$ (В)	$U_{1\max}$ (I) (В)	D (I) (В)	$U_{1\max}$ (II) (В)	D (II) (В)	$\Delta U_{\text{ПІ}}$ (В)
3,0	145,0	248,9	103,9	248,9	103,9	0
4,0	143,5	251,3	107,9	257,5	114,1	3,19
5,0	142,0	253,8	111,8	267,0	125,0	6,38
6,0	140,5	256,1	115,6	277,3	136,8	9,57

робочої характеристики та ширини петель гістерезису при варіації похибки вихідної напруги. Для прикладу у табл. 3 наведено результати розрахунків для першого закону (I) та другого (II): нижньої $U_{1\min}$, верхньої $U_{1\max}$ меж зміни вхідної напруги; абсолютного значення діапазонів D ; величини першої петлі гістерезису $\Delta U_{\text{ПІ}}$ при різних значеннях

похибки δ вихідної напруги для випадку, коли ТКВС має 9 робочих станів. У першому рядку таблиці вказано величини параметрів для граничної характеристики. Величину нижньої межі $U_{1\min}$ взято однаковою для порівняння обох варіантів. З таблиці видно, що у другому варіанті вхідний діапазон ширший, ніж для першого, тобто за рахунок використання іншого закону вибору коефіцієнтів передачі отримано інший – більший вхідний діапазон.

Проведено порівняльний аналіз обох законів з точки зору можливості реалізації певного вхідного діапазону, який показав, що співвідношення між діапазонами представляє собою досить складну залежність. При цьому вхідний діапазон при розширенні петлі для обох законів та різному числі станів зменшується. Характер зміни діапазонів для них подібний. Збільшення петлі гістерезису зменшує різницю між діапазонами при варіації числа станів. Дослідження параметрів стабілізатора при інших початкових даних показали, що характер залежностей не змінюється, а змінюються їх значення.

Таким чином, введення гістерезису в характеристику вхід-вихід дискретного стабілізатора призводить або до зменшення діапазону вхідних напруг, або до збільшення похибки вихідної напруги, що вимагає корекції характеристики шляхом збільшення числа станів. Дослідження показали, що жоден з законів, які розглядалися, абсолютно не кращий за інший: кожен з них має свої вади й переваги. При застосуванні якогось з них на практиці слід враховувати фактори, які впливають на параметри та властивості стабілізатора в цілому.

Отримані під час звітнього періоду результати дозволяють обґрунтувати вибір робочих характеристик регулюючих органів перетворювачів змінного струму на основі ТКВС для подальших досліджень на наступному етапі виконання НДР "Стан".

4. Розпочато систематизоване дослідження процесів та організації комутації трансформаторів у ТКВС [5] на предмет мінімізації екстремальних проявів у первинній обмотці трансформатора, спричинених насиченням магнітопроводу. На прикладі найпростішого двохобмоткового трансформатора за допомогою апарата імітаційного візуального моделювання програмного пакета MATLAB детально проаналізовано комутаційні процеси при підключенні первинної обмотки до мережі живлення.

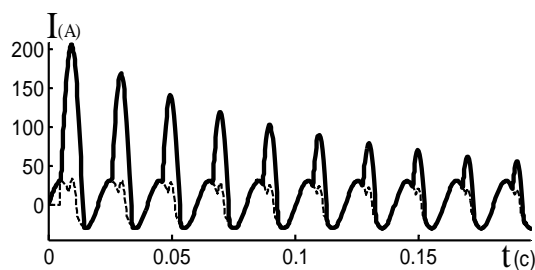
Було показано, що величина та характер навантаження трансформатора не впливають суттєво на величину магнітного потоку його осердя, тобто перехідні процеси, пов'язані із насиченням магнітної системи, можна розглядати окремо від процесів у навантаженні. Виходячи з того, що додатне значення вхідної напруги завжди викликає зростання магнітного потоку, а від'ємне – його спад, тобто при синусоїдальній формі напруги амплітуда потоку завжди припадає на її нульове значення, показано, що включення трансформатора у фазовому проміжку $\varphi=0\dots\pi/2$ при додатньому значенні вхідної напруги завжди супроводжується додатнім сплеском струму намагнічування (рис. 1 а), що в часі співпадає з півперіодом напруги, на який припала комутація. Комутація у фазовому проміжку $\varphi=\pi/2\dots\pi$ при тому ж значенні

напруги завжди викликає від'ємний сплеск струму (рис. 1 б), проте у півперіоді, що є наступним за тим, у якому було проведено підключення. Це правило відповідно транспонується і на негативний півперіод комутації.

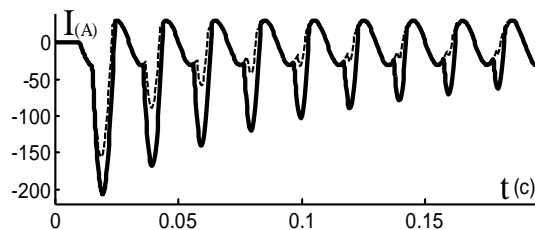
Мінімізації впливу перехідних процесів можна досягти збільшенням відношення R_{w1}/L_{w1} (внутрішні параметри опору первинної обмотки $w1$). Це проілюстровано на рис. 1, де відображено перехідні процеси для двох відносних значень R_{w1} – 0,002 (неперервна лінія) та 0,02 (штрихова лінія). Проте цей шлях є небажаним через необхідність включення в коло силового струму достатньо громіздких елементів. Тому було запропоновано низку інших алгоритмічних способів організації комутації.

Один із таких способів реалізується шляхом повторного короткочасного включення трансформатора після попереднього його відключення від джерела живлення, що виконується при іншій полярності напруги U_1 із погляду достатності вольт-секундної площі u_1 від моменту включення і до нульового значення напруги, для забезпечення примусового зведення потоку осердя до нульового значення. В такому разі трансформатор у наступному циклі комутації завжди повинен включатися в амплітуді напруги, що досить легко реалізується. Проте, коли мова йде про довільні варіації як величини навантаження, так і його характеру та часті і неперіодичні комутації, то все ж неможливо уникнути згаданих негативних ефектів, дотримуючись лише жорсткої синхронізації моменту комутації із фазою вхідної напруги. Тому на основі принципу електромагнітної інерції, відповідно до якого завжди наявна тенденція до збереження незмінності магнітного потоку Φ осердя трансформатора, було запропоновано більш універсальний спосіб комутації. Він базується на тому, що фазовий кут подачі вхідної напруги трансформатора має бути таким, щоб у подальшому зумовлена ним амплітуда потоку не виходила за вказані допустимі рамки. Тобто для реалізації цього способу комутації ще до моменту власне її здійснення необхідно мати інформацію про усталений магнітний потік Φ_y трансформатора, що буде наявний після його підключення. Значення цього потоку можна одержати шляхом інтегрування напруги мережі живлення u_1 . Якщо відобразити обидва потоки – усталений Φ_y і миттєвий (поточний) Φ – на одному графіку рис. 2 а за тих же умов активного навантаження, то від моменту природного закриття тиристорного ключа в момент t_1 одержимо ряд точок їх співпадіння. При цьому форма Φ матиме характер експоненціального спаду, а Φ_y буде змінюватись за синусоїдальним законом. Можна припустити, що прийнятні умови комутації будуть належати саме точкам співпадіння поточного Φ і усталеного Φ_y потоків, адже в такому випадку потік у магнітопроводі відразу стане циркулювати по траєкторії свого усталеного значення, що буде наявним після комутації.

Перевірка цього припущення легко піддається автоматизації у середовищі пакета MATLAB. На рис. 2 б...д наведено графіки потоків і струмів первинної обмотки трансформатора відповідно для двох вибірових значень $t_2=0,1484$ с і $t_2=0,0634$ с, в яких було досягнуто рівність Φ і Φ_y . Приклади ілюструють повторне включення трансформатора як при висхідному, так і при низхідному значеннях вхідної напруги, а також як при максимальному його наближенні до моменту попереднього закриття ключа, так і при відносному віддаленні від нього.



а



б

Рис. 1

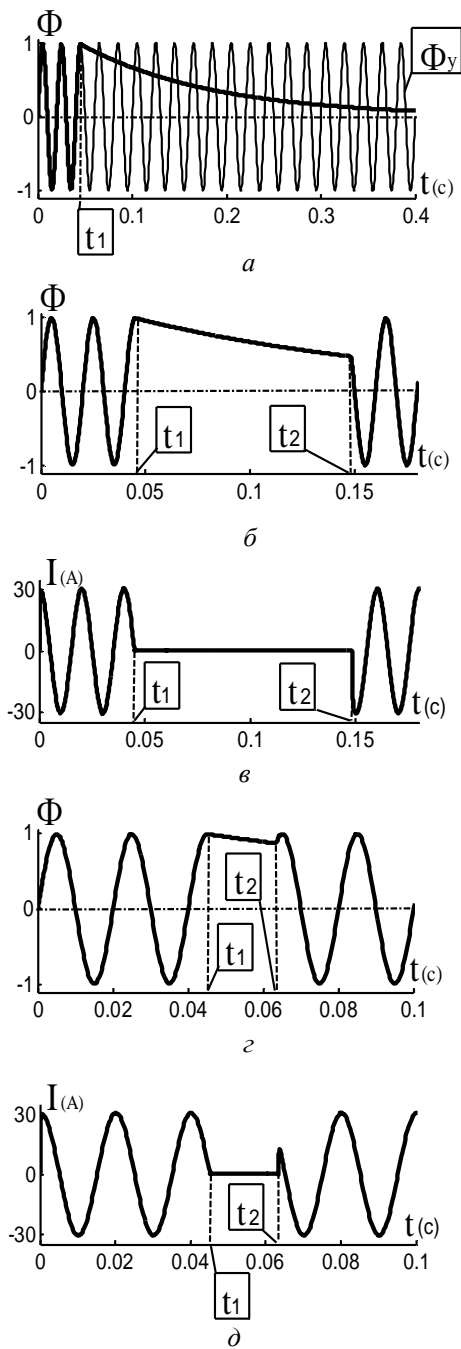


Рис. 2

З рис. 2 а, б, г видно, що протягом спаду потоку Φ наявний ряд нерівномірно розміщених дискретних точок, у яких тільки і можлива задовільна комутація трансформатора, при цьому їх кількість – дві дискрети на період напруги. Якщо при спаді значення потоку досягне нульового значення, то природно, що рівність Φ і Φ_y припадатиме на моменти амплітуди U_I і буде отримано окремий граничний випадок одержання точок комутації при нульовому значенні потоку, відомий з літератури. У рамках програми моделювання також реалізована достатньо проста система управління комутацією із автоматичним дискретним вибором моменту включення трансформатора при довільній за часом на це команді.

Отримані результати дозволили спроектувати ефективні вузли комутації трансформаторів, особливо в сфері напівавтоматичних систем зварювання.

У подальшому планується продовжити такого ж роду роботу в частині силових вузлів із вольтододатковими трансформаторами.

Результати, отримані при виконанні досліджень теоретичних питань щодо електричних кіл з трансформаторами та ключовими елементами, слугували основою для **практичних розробок** переважно для систем живлення технологічного обладнання.

Зокрема, для апаратури електрозварювання розроблялися системи організації комутації, які, як правило, є лише частиною комплексу. Наприклад, контролер РА-v5.1.2 установки напівавтоматичного зварювання в середовищі газу CO_2 ПДГУ-150 при розмірах $102,0 \times 78,7$ мм забезпечує повне функціонування установки, захист силової частини установки при тривалому короткому замиканні кола електрода та ряд інших функцій. Для того щоб здешевити установку в цілому, було розроблено контролер РА-v5.2.1. При його використанні електродвигун привода подачі електрода живиться безпосередньо від вторинної обмотки трансформатора джерела дуги, а сам блок управління – від окремого малопотужного (0,5 Вт) трансформатора. Також в контролері відсутні елементи, пов'язані з реалізацією режиму ручного зварювання. Розміри конструктиву – $93,8 \times 78,7$ мм – зменшені порівняно з РА-v5.1.2 несуттєво, що пов'язано з наявністю на платі трансформатора. Ці пристрої знаходять широке застосування, й установки з їх використанням виготовляються серійно.

Крім того, було розроблено та налагоджено вузли для високовольтного джерела живлення електронно-променевої гармати з "холодним катодом" "ДЖЕН 30-15" [6]. Зокрема, швидкодіючий двадцятифазний вузол формування керуючих сигналів силовими ключами на основі програмуємих логічних інтегральних схем (ПЛІС) фірми Altera та вузли системи керування на основі 8-розрядних AVR контролерів фірми Atmel, що використовуються для контролю за службовими параметрами, обміну даних з зовнішнім контролером та реалізації необхідного алгоритму роботи системи.

1. Липківський К.О. Дуальність побудови трансформаторно-ключових виконавчих структур дискретних стабілізаторів та регуляторів напруги змінного струму // Техн. електродинаміка. – 2010. – № 6. – С. 16–23.
2. Липківський К.О., Мартинов В.В., Руденко Ю.В., Халіков В.А., Можаровський А.Г. Аналіз та оптимізація процесів у перетворювальних системах для живлення електротехнологічного обладнання // Пр. Ін-ту електродинаміки НАН України: Зб. наук. пр. – К.: ІЕД НАНУ. – 2010. – Вип. 26. – С. 99–105.
3. Липківський К.О., Халіков В.А., Можаровський А.Г. Дослідження проблеми перетворення параметрів напруги змінного струму в електротехнічних та електротехнологічних системах // Техн. електродинаміка. – 2010. – № 1. – С. 30–41.
4. Липковський К.А., Руденко Ю.В. Режимы стабилизации выходного напряжения в секционированных системах электропитания // Пр. Ін-ту електродинаміки НАН України: Зб. наук. пр. – К.: ІЕД НАНУ. – 2010. – Вип. 27. – С. 97–100.
5. Липківський К.О., Халіков В.А. Процеси та організація комутації трансформаторів // Техн. електродинаміка. – 2010. – № 5. – С. 22–30.
6. Мартинов В.В., Монжеран Ю.П., Можаровський А.Г., Лебедев Б.Б., Смитюх Г.Е., Чайка Н.В., Иванов А.М. Высоковольтный источник питания для электронно-лучевого нагрева // Современная электротехнология. – 2010. – № 2. – С. 57–60.
7. Халіков В.А., Можаровський А.Г., Косенков О.І. Вплив гістерезису характеристики вхід-вихід дискретного стабілізатора на його параметри // Пр. Ін-ту електродинаміки НАН України: Зб. наук. пр. – К.: ІЕД НАНУ. – 2010. – Вип. 27. – С. 100–105.

УДК 621.314

К.А. Липковський¹, докт. техн. наук, **В.А. Халіков²**, канд. техн. наук, **А.Г. Можаровський³**, канд. техн. наук
1–3 – Інститут електродинаміки НАН України,
пр. Перемоги, 56, Київ-57, 03680, Україна

Выделение процедуры целенаправленного изменения уровня напряжения в множестве функциональных преобразований параметров электроэнергии

Подведены итоги исследований за отчетный период по научному направлению “Развитие и обобщение теории регулирования напряжения переменного тока” и обоснована их значимость для выполнения следующих этапов НИР “Стан”. Приведена информация по практической реализации и внедрению новых разработок. Библ. 7, рис. 2, табл. 3.

Ключевые слова: регулятор (стабилизатор) напряжения переменного тока, трансформаторно-ключевая исполнительная структура.

K.O. Lypkivskiy¹, V.A. Khalikov², A.G. Mozharovskiy³

1–3 – Institute of Electrodynamics National Academy of Science of Ukraine,
Peremogy, 56, Kyiv-57, 03680, Ukraine

Isolation procedures purposeful change the voltage level in a variety of functional changes of parameters of electricity

Summarized the results of studies in the reporting period on scientific direction on the development and generalization of the theory of regulation of the alternating current voltage and grounded them in implementing the next stages of SRW “Stan”. Provides information on the practical realization and implementation of new developments. References 7, figures 2, tables 3.

Key words: alternating current voltage regulator (stabilizer), transformer switching executive structure.

Надійшла 24.03.2011
Received 24.03.2011