

**МОДЕЛЮВАННЯ ТРАНСФОРМУЮЧИХ ЕЛЕМЕНТІВ З СЕКЦІОНУВАННЯМ ОБВИТОК
У СКЛАДІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ НАПРУГИ ЗМІННОГО 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

Трансформуючі елементи з секціонуванням обвиток, що є складовими трансформаторно-ключових виконавчих структур (ТКВС) перетворювачів напруги змінного струму, відрізняються багатоваріантністю сполучень одночасно працюючих секцій та їхнього струмового завантаження. Для врахування і використання цієї обставини з метою покращення масогабаритних показників цих елементів проведено мультифізичне моделювання процесів у ТКВС. Обґрунтовано можливість і розроблено методика розрахунку таких трансформуючих елементів. Запропоновано кілька варіантів збільшення питомої потужності автотрансформатора з трьома секціями обвитки. Бібл. 9, табл. 3, рис. 6.

Ключові слова: трансформаторно-ключова виконавча структура, трансформуючі елементи, секціонування обвитки, електричні та теплові процеси, питома потужність, методика розрахунку.

Складовими переважної більшості систем перетворювальної техніки є різноманітні трансформуючі елементи – ТЕ (трансформатори, автотрансформатори, вольтододавчі трансформатори та їхні сполучення), які, крім основної функції – забезпечення необхідного для споживача рівня живлячої напруги, дозволяють, у разі необхідності, здійснювати гальванічний розв'язок споживача в мережі. Коли у цих системах ТЕ комплексується з напівпровідниковими ключовими елементами (КЕ) з природною комутацією, що працюють у дискретно-разовому режимі [8], створюється так звана трансформаторно-ключова виконавча структура (ТКВС) перетворювача, яка дозволяє реалізувати додатково третю функцію – цілеспрямовану зміну коефіцієнта передачі за напругою без спотворень вихідної напруги та вхідного струму [5]. Для цього ТЕ повинен мати секціоновані обвитки, при комутації яких відповідно до завдання змінюється кількість витків на первинній і (та, або) вторинній стороні ТЕ. Априорі таким трансформуючим елементам притаманна багатоваріантність вибору виткових співвідношень та взаємного розташування секцій обвитки, а також реалізації режимів (станів) роботи [4].

Якщо моделювання і розрахунок двообвиткового ТЕ (або ТЕ з кількома вихідними обмотками, що здійснюють одночасне живлення кількох споживачів) достатньо розвинені, зокрема [1, 3], то ТЕ з секціонованими обвитками, робота яких пов'язана зі зміною кількості одночасно працюючих секцій та їхнього струмового завантаження у різних режимах (станах), потребують подальшого всебічного розвитку з аналізом взаємопов'язаних процесів, що в них відбуваються.

Метою роботи є моделювання та порівняльний аналіз варіантів побудови таких секціонованих автотрансформаторів (АТ) у складі ТКВС з урахуванням мультифізичності процесів, що у них відбуваються, обґрунтування можливості та здійснення коригування методики розрахунку таких трансформуючих елементів для найбільш ефективного їхнього використання.

Оскільки кожний режим роботи ТКВС може мати будь-яку тривалість, а перехідні процеси при зміні струмового завантаження секцій ТЕ обмежуються на потрібному рівні завдяки використанню методів доцільної комутації [6], у цій роботі будуть досліджуватися лише усталені режими роботи трансформуючих елементів. Внаслідок цього вмотивованого виключення з розгляду комутаційних процесів, які могли б вплинути на механічну стійкість ТЕ, предметом розгляду обрано моделювання автотрансформатора як елемента електричного кола та визначення теплових режимів елементів АТ, що є обмежуючим фактором при його проектуванні. (Зауважимо, що тут мова піде про трансформуючі елементи ТКВС малої та середньої потужності, які працюють на промисловій частоті з напругою $\leq 0,4$ кВ, проте певні рекомендації, що будуть отримані, мають загальний характер).

Хоча у ТКВС використовуються, як згадувалося вище, різноманітні ТЕ з секціонованими обвитками, кількість і розташування яких визначається функціональним призначенням (регулятор, стабілізатор) та заданою точністю зміни напруги, доцільним видається дослідити це питання на прикладі найпростішої ТКВС стабілізатора напруги, що складається з автотрансформатора з трьома секціями

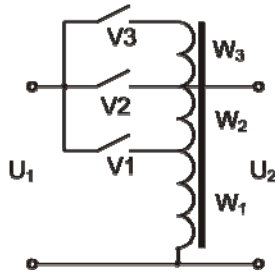


Рис. 1

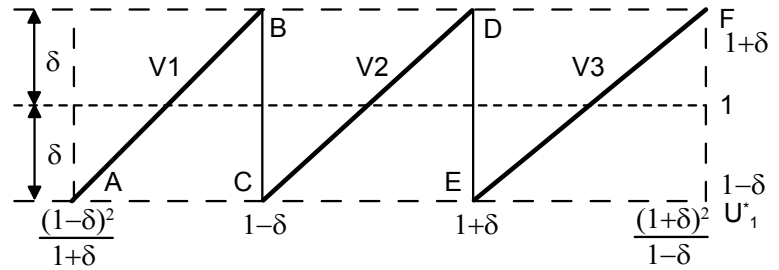


Рис. 2

обвитки W_1, W_2, W_3 та трьох ключів V1, V2, V3 (рис. 1). Діаграму роботи цього ТКВС наведено на рис. 2, де δ – нормована за номінальною напругою похибка стабілізації, тобто

$$\delta = (U_{2max} - U_{2min}) / 2U_{ном}; U_{2max}^* = U_{2max} / U_{ном} = 1 + \delta; U_{2min}^* = U_{2min} / U_{ном} = 1 - \delta; \Delta U_2^* = 2\delta.$$

При замкненому ключі V2 коефіцієнт передачі ТКВС за напругою дорівнює одиниці ($K_2=1$) і по секціях обмоток W_1 та W_2 тече незначний струм холостого ходу. При замкненому V1 маємо $K_1 = (1 + \delta) / (1 - \delta) > K_2$, а при замкненому V3 – $K_3 = (1 - \delta) / (1 + \delta) < K_2$. Цьому відповідає діапазон зміни вхідної напруги від $U_{1min}^* = (1 - \delta)^2 / (1 + \delta)$ до $U_{1max}^* = (1 + \delta)^2 / (1 - \delta)$, тобто $\Delta U_1^* = U_{1max}^* - U_{1min}^* = 2\delta(3 + \delta^2) / (1 - \delta^2)$ і коефіцієнт стабілізації напруги $K_{ст} = \Delta U_1^* / \Delta U_2^* = (3 + \delta^2) / (1 - \delta^2) \approx 3$.

З аналізу першого та третього режимів знаходимо співвідношення витків секцій обвитки АТ як функції від похибки δ та базової величини W_1 : $W_2^* = W_2 / W_1 = 2\delta / (1 - \delta)$, $W_3^* = W_3 / W_1 = 2\delta(1 + \delta) / (1 - \delta)^2$. У табл. 1 наведено ці співвідношення, а також відповідні нормовані за номінальними значеннями аналітичні залежності напруг і струмів у секціях обвитки АТ для режимів, що відповідають точкам А, В та Е, F на діаграмі роботи ТКВС (рис. 2). Ця таблиця фактично відображає математичну модель процесу стабілізації напруги за допомогою ТКВС з дискретно-разовим керуванням.

Таблиця 1

i	W_i^*	A		B		E		F	
		U_{Wi}^*	I_{Wi}^*	U_{Wi}^*	I_{Wi}^*	U_{Wi}^*	I_{Wi}^*	U_{Wi}^*	I_{Wi}^*
1	1	$\frac{(1-\delta)^2}{1+\delta}$	$\frac{2\delta}{1-\delta}$	$1-\delta$	$2\delta \frac{1+\delta}{1-\delta}$	$\frac{(1-\delta)^2}{1+\delta}$	$2\delta \frac{1-\delta}{1+\delta}$	$1-\delta$	2δ
2	$\frac{2\delta}{1-\delta}$	$2\delta \frac{1-\delta}{1+\delta}$	$1-\delta$	2δ	$1+\delta$	$2\delta \frac{1-\delta}{1+\delta}$	$2\delta \frac{1-\delta}{1+\delta}$	2δ	2δ
3	$2\delta \frac{1+\delta}{(1-\delta)^2}$	2δ	0	$2\delta \frac{1+\delta}{1-\delta}$	0	2δ	$\frac{(1-\delta)^2}{1+\delta}$	$\frac{1+\delta}{1-\delta}$	$1-\delta$

Виходячи з того, що ТКВС може як завгодно довго працювати в кожному з режимів, розрахунків АТ зазвичай ведуть для найбільших значень напруги та струмів: $U_{W1p}^* = 1 - \delta$, $I_{W1p}^* = 2\delta(1 + \delta) / (1 - \delta)$; $U_{W2p}^* = 2\delta$, $I_{W2p}^* = 1 + \delta$; $U_{W3p}^* = 2\delta(1 + \delta) / (1 - \delta)$, $I_{W3p}^* = 1 - \delta$. Якщо прийняти похибку стабілізації 5% ($\delta = 0,05$), то матимемо: $U_{W1p}^* = 0,95$, $I_{W1p}^* = 0,115$; $U_{W2p}^* = 0,1$, $I_{W2p}^* = 1,05$; $U_{W3p}^* = 0,1105$, $I_{W3p}^* = 0,95$; $U_{1min}^* = 0,8595$, $U_{1max}^* = 1,1605$, $\Delta U_1^* = 0,301$.

Якщо для АТ обрати, наприклад, магнітопровід типу ШЛ40×80 (позначимо цей варіант АТ11), то при $U_{ном} = 220$ В та максимальній індукції магнітопроводу $B = 1,2$ Тл розрахункові напруги на секціях обвитки та кількість їхніх витків дорівнюватимуть відповідно $U_{W1p} = 209$ В, $W_1 = 276$; $U_{W2p} = 22$ В, $W_2 = 29$; $U_{W3p} = 24,3$ В, $W_3 = 32$. Оскільки $U_{W1p}^* \times I_{W1p}^* = U_{W2p}^* \times I_{W2p}^* = U_{W3p}^* \times I_{W3p}^* = 2\delta(1 + \delta)$, то кожна з цих секцій буде займати одну третину вікна магнітопроводу S_e , тобто $S_{W1} = S_{W2} = S_{W3} = S_W = S_e / 3$, а з врахуванням коефіцієнта заповнення $K_{zn} = 0,341$ [1] $S_W = 4000 \times 0,341 / 3 = 455$ мм². При цьому для

перерізу проводів секцій відповідно маємо $q_1 = S_W/W_1 = 1,65 \text{ мм}^2$, $q_2 = 15,7 \text{ мм}^2$, $q_3 = 14,2 \text{ мм}^2$. Приймаючи густину струму $j = 1,5 \text{ А/мм}^2$, знаходимо значення струмів у секціях обвитки АТ11 $I_{W_1} = 2,47 \text{ А}$, $I_{W_2} = 23,55 \text{ А}$, $I_{W_3} = 21,3 \text{ А}$ та номінальний струм навантаження $I_n = 22,4 \text{ А}$. Тобто АТ з таким магнітопроводом дозволяє здійснювати живлення споживача потужністю $P_n = 220 \times 22,4 = 4,93 \text{ кВт}$.

Розраховані активні опори витків секцій обвитки АТ і втрати потужності в них для визначальних режимів, що відповідають точкам В та F діаграми, наведено у табл. 2 (зауважимо, що секції у вікні розміщуються згідно з порядковими номерами i). Остання колонка таблиці, позначена літерою М, відповідає гіпотетичному (практично неможливому) варіанту, коли всі секції обвитки мають максимальне струмове навантаження, і, відповідно, максимальні сумарні втрати потужності. Як зазначалося раніше, саме для цього варіанту зазвичай і ведуться розрахунки автотрансформатора.

Таблиця 2

i	r_i , Ом	ΔP_{W_i} , Вт		
		В	F	М
W_1	1,1	6,73	5,51	6,73
W_2	0,0154	8,71	0,11	8,71
W_3	0,0235	–	10,70	10,70
$\sum \Delta P$		15,44	16,32	26,71

Таблиця 3

i	r_i , Ом	ΔP_{W_i} , Вт		
		В	F	М
W_1	1,51	9,25	7,57	9,25
W_2	0,0221	12,28	0,11	12,28
W_3	0,0341	–	15,46	15,46
$\sum \Delta P$		21,53	23,14	36,99

Отримані при розв'язанні електричної задачі значення втрат потужності в обвитках (а також втрат потужності у магнітопроводі, які для обраної електротехнічної сталі 3411 при $B=1,2 \text{ Тл}$ складають $P_{Fe} = 8,44 \text{ Вт}$ [7]) дозволяють перейти до наступної частини мультифізичного моделювання – визначення теплового стану АТ у різних режимах з метою пошуку шляхів покращення його характеристик. Це доцільно зробити з використанням спеціалізованої програми моделювання COMSOL [9].

Модель АТ, яка складається з осердя магнітопроводу, каркаса котушки та трьох розміщених на ньому секцій обвитки W_1 , W_2 , W_3 , реалізовано таким чином, що між усіма його конструктивними елементами відсутні будь-які повітряні проміжки. Виходячи з того, що нас цікавить співставлення у стаціонарних станах різних виконань ТЕ, у яких, проте, використовуються однотипні магнітопроводи з однакової електротехнічної сталі та однотипні обвитки, було прийнято певні спрощення – зокрема не враховувалась анізотропія матеріалів елементів АТ. Для осердя взято еквівалентну теплопровідність $\lambda_{оср} = 4 \text{ Вт/(м}\times\text{К)}$, тепловиділення у ньому відповідає зазначеним вище втратам потужності $\Delta P_{ст} = 8,44 \text{ Вт}$. Каркас котушки виконано з текстоліту товщиною 1 мм, теплопровідність якого $\lambda_{ктуш} = 0,2 \text{ Вт/(м}\times\text{К)}$. Всі обвитки трансформатора представляються як однорідний матеріал з еквівалентною теплопровідністю $\lambda_{обв} = 2 \text{ Вт/(м}\times\text{К)}$, що враховує наявність ізоляції [2], а тепловиділення у кожній з них визначається втратами потужності згідно з даними табл. 2.

При моделюванні обрано наступні умови: температура оточуючого середовища складає 50°C , теплообмін між поверхнею трансформатора й оточуючим середовищем (для того, щоб дещо спростити, але не спотворити остаточний результат) прийнято однаковим у всіх напрямках і він відбувається шляхом природньої конвекції з коефіцієнтом конвекції $\alpha = 5 \text{ Вт/(м}^2\times\text{К)}$ та випромінюванням, при цьому ступінь чорноти поверхні моделі взято 0,8 [2].

Програма COMSOL дозволяє отримати кольорову картину розподілу тепла в елементах АТ, проте вона має більш демонстраційний характер, тому ми обмежимося графічними залежностями температур, що достатньо детально і зручніше представляють теплові режими в АТ.

На рис. 3 зображено графіки розподілу температури всередині АТ вздовж відрізка характерної прямої, що проходить через центр мас (позначено "0"), обидві частини осердя та обвитки, межі яких позначено вертикальними штриховими лініями. На рисунку криві 1 та 2 відповідають точкам В та F діаграми роботи (рис. 2), а крива 5 – гіпотетичному випадку одночасного максимального струмового навантаження всіх обвиток (варіант М табл. 2). Всі залежності мають монотонний характер, є незначний перепад температури на границі між W_1 та осердям, обумовлений наявністю каркасу, який виконує ізолюючу функцію між елементами (через малий розмір каркас на рисунку не позначено).

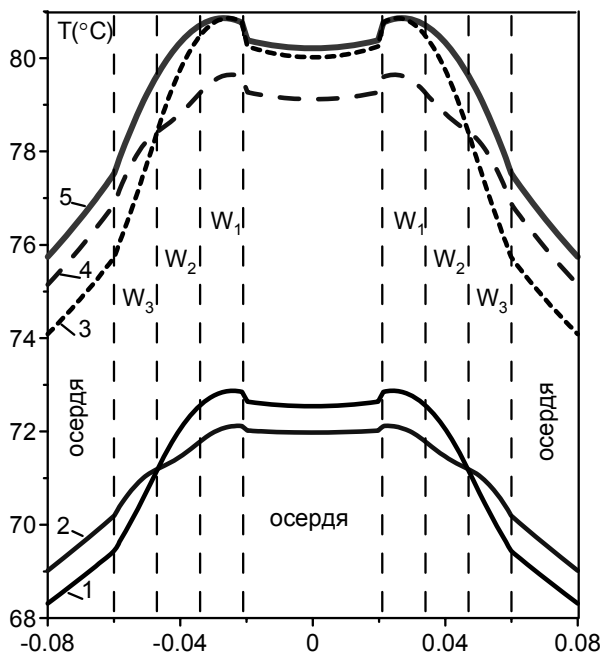


Рис. 3

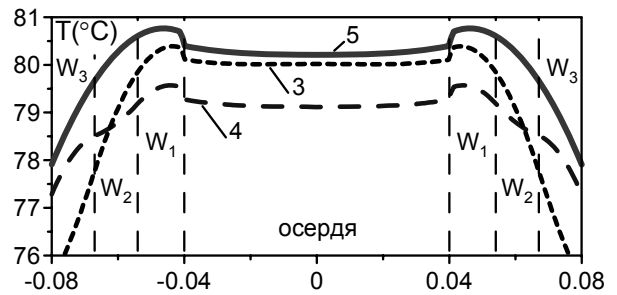


Рис. 4

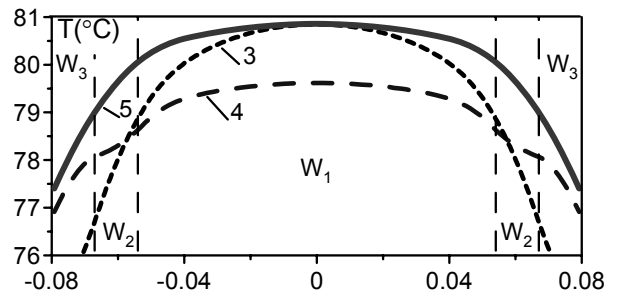


Рис. 5

З аналізу кривих 1 та 2 цього рисунку можна зробити наступні висновки. Нерівномірність нагріву елементів АТ для точки В діаграми незначна – $4,56^{\circ}\text{C}$ (6,4% відносно середнього значення) і $3,1^{\circ}\text{C}$ (4,3%) – для точки F. (Якщо нормувати різницю температур за перегрівом $\Delta T_n = T - 50^{\circ}\text{C}$, то ці величини зростуть до 21,5% і 14,7% відповідно). Менший температурний діапазон і менша максимальна температура – $72,11^{\circ}\text{C}$ спостерігається в точці F, хоча втрати потужності в цьому випадку дещо більші, ніж у точці В (табл. 2). Максимальна температура фіксується у першій (внутрішній) секції обвитки W_1 внаслідок гірших умов тепловідведення, хоча втрати потужності в ній менші, ніж у секції W_2 (точка В) або у секції W_3 (точка F).

Порівняння кривих 1, 2 та 5 свідчить, що при традиційному розрахунку ТЕ за максимальними значеннями напруг і струмів у всіх секціях обвитки (варіант М) автотрансформатор у складі ТКВС у реальних режимах роботи виявляється недозавантаженим. Є різні шляхи використання даного резерву. Наприклад, збільшення розрахункової густини струму у всіх секціях обвитки і, відповідно, втрат у них до рівня, коли спричинене цим підвищення температури у найважчому режимі – крива 3 (режиму В відповідає крива 4) досягне максимальної температури в режимі М. (У нашому випадку густину струму можна збільшити до $j_{max} = 1,87 \text{ А/мм}^2$). При цьому від ТКВС з таким АТ можна буде живити споживача потужністю 6,2 кВт. Якщо при цьому густину струму зробити різною – у W_1 зменшити, а у W_3 – збільшити відносно W_2 , то криві 3 та 4 наблизилися б одна до одної і ефект був би дещо більшим.

Для більш детального розгляду результатів моделювання на рис. 4 наведено графіки розподілу температури вздовж відрізка іншої характерної лінії, що проходить через центр мас перпендикулярно першій характерній лінії, а на рис. 5 – аналогічні графіки вздовж третьої характерної лінії, яка паралельна другій і перетинається з першою лінією в точці з найбільшою температурою, що розміщується приблизно посередині секції W_3 . Тут позначення кривих ті ж самі, що й на рис. 3.

У разі відсутності необхідності підвищення вихідної потужності доцільним може бути другий шлях досягнення більш ефективного використання обраного АТ. Полягає він у тому, що при тому самому навантаженні $P_n = 4,93 \text{ Вт}$ і тих самих струмах обирається більша густина струму в секціях обвитки, внаслідок чого зменшується поперечний переріз витків, зростають опори і втрати потужності в обмотці і, відповідно, нагрів елементів АТ. Обмеженням підвищення густини струму є, як і раніше, досягнення максимальною температурою обвитки W_1 у режимі В обмежуючого значення $80,9^{\circ}\text{C}$ – максимальної температури в гіпотетичному режимі М обраного варіанту АТ. При цьому відбувається зміна умов тепловідведення (з'являється повітряний проміжок між секцією W_3 обвитки і осердям) та спостерігається неоднозначність визначення опорів секцій обвитки АТ (зменшення поперечного перерізу проводів внаслідок збільшення густини струму веде до збільшення опорів, а зменшення серед-

ніх довжин витків – до деякого їхнього зменшення), що впливає на втрати потужності. Розрахунок економії міді, що буде досягнуто при цьому, потребує окремого розгляду.

Ще один шлях вдосконалення ТКВС з секціонованим АТ передбачає зменшення типорозміру осердя магнітопроводу. Залишаючи потужність навантаження ТКВС на початковому рівні 4,93 кВт (а, отже, напруги і струми у секціях обвитки), проведемо розрахунок варіанту АТ з осердям ШЛ40х64 (позначимо цей варіант АТ12) з тієї самої сталі (при $B=1,2$ Тл; $\Delta P_{cm}=6,68$ Вт). Витки секцій обвитки і площі поперечного перерізу їхніх проводів будуть наступними: $W_1=343$, $q_1=1,326$ мм²; $W_2=36$, $q_2=12,6$ мм²; $W_3=40$, $q_3=11,37$ мм². Оскільки величини струмів секцій не змінилися, зростає його густина до 1,865 А/мм². Нові значення опорів секцій обвитки і втрат потужності у них для визначальних режимів (точки В та F на діаграмі) та гіпотетичного режиму М наведено у табл. 3.

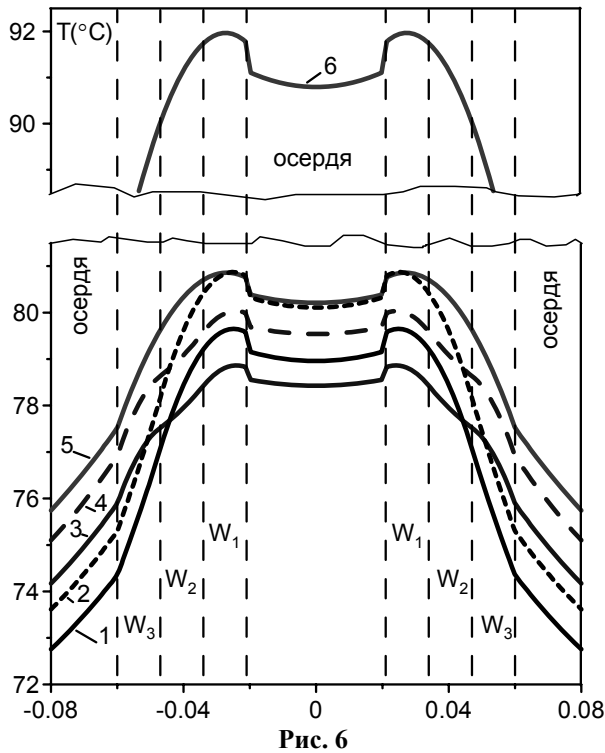


Рис. 6

Отримані дані дозволили перейти до визначення теплового стану елементів АТ12 у різних режимах за допомогою обраної програми моделювання. На рис. 6, який є подібним до рис. 3, зображено графіки розподілу температури у режимах В (крива 1), F (крива 2), М (крива 5). Крім того на цьому рисунку зображена залежність 6, яка повторює залежність 5 з рис. 3 – графік варіанту М для АТ11. Саме його обрано за верхню припустиму межу температури в елементах АТ для всіх варіантів, що розглядаються.

Як видно, характер графіків не змінився, відбулися лише очікувані кількісні зміни – температура елементів АТ12 вища, ніж у АТ11 внаслідок зростання густини струму. Резерв підвищення ефективності використання ТЕ у цьому випадку буде визначатися різницею максимальних температур у режимах, що відповідають не графікам 1 та 5, а графікам 1 та 6. Тобто у АТ12 можна додатково збільшити густину струму до $j_{max}=1,92$ А/мм², що призведе до певного зростання втрат у секціях обвитки і відповідного підвищення максимальної температури в режимах В (крива 3) та F (крива 4). При цьому збільшиться максимальна вихідна потужність до $P_n=5,1$ кВт.

Слід додати, що зміну осердя та варіювання густини струму в секціях обвитки ТЕ можна поєднувати зі зміною величини індукції в осерді. Так, її збільшення у певному діапазоні призведе до збільшення втрат у ньому, але дозволить зменшити кількість витків і при тому самому розмірі вікна осердя збільшити поперечний переріз витків, тобто без зміни величини струмів можна зменшити густину струмів і, як результат, втрати у обвитці та зниження температури трансформуючого елементу.

Аналіз найпростіших автотрансформаторів з секціонованими обвитками ілюструє необхідність проведення досліджень інших варіантів побудови трансформуючих елементів ТКВС.

Висновки. Виконане мультифізичне моделювання АТ з секціонованими обвитками, струмове навантаження яких змінюється зі зміною режиму (стану), та їхнє порівняння дозволило розробити методику їхнього розрахунку, що забезпечує більш високу ефективність використання їхньої встановленої потужності. Запропоновано способи оптимізації автотрансформатора, які при виробництві зменшують витрати міді проводу обвитки та (або) електротехнічної сталі осердя.

1. Белопольский И.И., Каретникова Е.И., Пикалова Л.Г. Расчет трансформаторов и дросселей малой мощности. – М.: Энергия, 1973. – 400 с.

2. Борисенко А.И., Костиков О.Н., Яковлев А.И. Охлаждение промышленных электрических машин. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 296 с.

3. Кучерявая И.Н. Компьютерное моделирование тепловых процессов в однофазном трансформаторе с учетом анизотропии тепловых свойств активных элементов // Техн. електродинаміка. – 2014. – №1. – С. 20–27.

4. Липківський К.О. Особливості розрахунку одиночних секціонованих автотрансформаторів з різними режимами роботи // Техн. електродинаміка. – 2008. – №4. – С. 39–42.

5. Липковский К.А. Трансформаторно-ключевые исполнительные структуры преобразователей переменного напряжения. – Киев: Наук. думка, 1983. – 216 с.
6. Халиков В.А. Обзор стану та можливостей поліпшення організації комутаційних процесів у силових трансформаторно-ключових вузлах // Техн. електродинаміка. – 2012. – №5. – С. 28–37.
7. ГОСТ 27427.1-83 Сталь электротехническая тонколистовая.
8. Bimal K.Bose. Power Electronics – Why the Field is so Exciting // IEEE Power Electronics Society Newsletter Forth Quarter. – 2007. – Vol. 19. – No 4. – Pp. 11–20.
9. Comsol Multiphysics – <http://www.comsol.com>

УДК 621.314

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАНСФОРМИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ С СЕКЦИОНИРОВАНИЕМ ОБМОТОК В СОСТАВЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЯ ПЕРЕМЕННОГО 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

Трансформирующие элементы с секционированием обмоток, являющиеся составляющими трансформаторно-ключевых исполнительных структур (ТКВС) преобразователей напряжения переменного тока, отличаются многовариантностью соединений одновременно работающих секций и их токовой загрузки. Для учета и использования этого обстоятельства с целью улучшения массогабаритных показателей этих элементов проведено мультифизическое моделирование процессов в ТКВС. Обоснована возможность и разработана методика расчета таких трансформирующих элементов. Предложено несколько вариантов увеличения удельной мощности автотрансформатора с тремя секциями обмотки. Библ. 9, табл. 3, рис. 6.

Ключевые слова: трансформаторно-ключевая исполнительная структура, трансформирующие элементы, секционирование обмотки, электрические и тепловые процессы, удельная мощность, методика расчета.

SIMULATION OF THE TRANSFORMATIVE ELEMENTS WITH SECTIONING OF THE WINDINGS AS PART OF AC VOLTAGE SOURCE CONVERTERS

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

Transformative elements with sectioning of the windings, which are components of transformer-and-switches executive structures (TSES) of AC voltage source converters, differ in multivariance of connections of simultaneously working sections and their current load. In order to take into account and use this fact to improve the weight and size of these components multiphysics modeling of TSES has been conducted. The method of calculation of such transformative elements has been proved and developed. Several options for increasing the specific power of auto-transformer with three winding sections have been proposed. References 9, tables 3, figures 6.

Key words: transformer-and-switches executive structure, transformative elements, sectioning of the windings, electrical and thermal processes, specific power, the method of calculation.

1. Belopolskii I.I., Karetnikova E.I., Pikalova L.G. Calculation of low-power transformers and reactors. – Moskva: Energiia, 1973. – 400 p. (Rus)
2. Borisenko A.I., Kostikov O.N., Yakovlev A.I. Cooling of industrial electric machinery. – Moskva: Energoatizdat, 1983. – 296 p. (Rus)
3. Kucheriava I.M. Computer modeling of thermal processes in single-phase transformer considering anisotropic thermal properties of active elements // Tekhnichna Elektrodynamika. – 2014. – No 1. – Pp. 20–27. (Rus)
4. Lypkivsky K.O. Features of the calculation of unit authorized transformers with different modes of operation // Tekhnichna Elektrodynamika. – 2008. – No 4. – Pp. 39–42. (Ukr)
5. Lypkivskyi K.O. Transformer-and-Switches Executive Structures of Alternating Current Voltage Converters. – Kyiv: Naukova Dumka, 1983. – 216 p. (Rus)
6. Khalikov V.A. Review of the status and opportunities to improve the organization of switching processes in the power transformer and the switches nodes // Tekhnichna Elektrodynamika. – 2012. – No 5. – Pp. 28–37. (Ukr)
7. GOST 27427.1-83 Rolled Electrical Steel. (Rus)
8. Bimal K.Bose. Power Electronics – Why the Field is so Exciting// IEEE Power Electronics Society Newsletter Forth Quarter. – 2007. – Vol. 19. – No 4. – Pp. 11–20.
9. Comsol Multiphysics – <http://www.comsol.com>.

Надійшла 29.03.2016