

Порівняння характеристик розробленого стабілізатора з еталоном-калібратором електричної потужності 6101A відомої компанії Fluke [4] демонструє переконливу перевагу пропонуємого стабілізатора як за ціною, так і за точністю відтворення ПЯЕ.

1. *Пронзелева С.Ю.* Прецизійні стабілізатори амплітуди синусоїдального сигналу // Техн. електродинаміка. – 2009. – № 4. – С. 75–78.
2. *А. с. 329636 СРСР.* Стабілізатор змінного струму / Б.А. Маршаленко, А.І. Рудой, С.Г. Таранов – Оpubл. 1972, Бюл. № 7.
3. *А. с. 262995 СРСР.* Стабілізоване джерело амплітуди змінного струму / С.Г. Таранов, В.В. Брайко, Б.А. Маршаленко. – Оpubл. 1970, Бюл. № 7.
4. *Fluke Corporation.* Printed in United Kingdom by Graphics Master Ltd. 09/2002 1779013-B-ENG-N A.DS264.

УДК 621.317

Ю.Ф. Тесик, докт. техн. наук, **С.Ю. Пронзелева**, канд. техн. наук, **Р.Н. Мороз**

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

Анализ статистики стабилизаторов основной гармоники в диапазоне частот сети

Рассмотрены замкнутые структуры стабилизированных источников переменного тока. Определено влияние параметров тракта коррекции схем стабилизаторов выходных сигналов. Предложены корректировки структурной схемы стабилизированного источника основной гармоники в диапазоне частот путем введения в тракт коррекции регулируемого селективного усилителя. Библ. 4, рис. 7.

Ключевые слова: електроенергія, показателі якості, точність, джерело струму, усилитель.

Yu.F. Tesik, S.Yu. Pronzeleva, R.N. Moroz

Institute of Electrodynamics National Academy of Sciences of Ukraine,
Peremohy, 56, Kyiv-57, 03680, Ukraine

Analysis of static stabilizers of the fundamental harmonic frequencies in the range of the network

Closed structures of stabilized AC sources are considered. Influence of parameters of the circuits of correction tract of stabilizers of outputs signals is defined. Correction of block diagram of stabilized source of the fundamental harmonic in a frequency range by help of implementation a controlled selective amplifier in channel of correction is proposed. References 4, figures 7.

Key words: generator-calibrator, electric power energy, indexes of quality, accuracy, amplifier.

Надійшла 22.08.2016

Received 22.08.2016

УДК 621.314

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ВОЛЬТОДОДАВЧИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ З СЕКЦІОНОВАНИМИ ОБВИТКАМИ У СКЛАДІ СТАБІЛІЗАТОРА 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 (ТЕ) з секціонуванням обвиток у системах перетворювальної техніки беруть безпосередню участь у реалізації основного функціонального перетворення. Такий клас ТЕ має низку особливостей, які були враховані у розробленій авторами методології їхнього розрахунку та проектування. У цій роботі таку методологію застосовано для розрахунку вольтододавчих трансформаторів з секціонуванням обвиток, що характеризуються багатоваріантністю виконання, у складі стабілізатора напруги змінного струму. При цьому отримано суттєве підвищення ефективності використання таких трансформуючих елементів за рахунок варіювання густини струму секцій обвиток. Бібл. 11, рис. 5, табл. 3.

Ключові слова: трансформаторно-ключова виконавча структура, стабілізатор напруги змінного струму, вольтододавчий трансформатор, ефективність використання.

У роботі [3] було запропоновано методику розрахунку специфічного класу трансформуючих елементів (ТЕ), що мають або обвитки з відводами (так звані tap changing transformers [10, 11]), або поділяються на окремі секції, розташування яких може варіюватися. Перші – це, зокрема, автотрансформатори у інтерактивних джерелах гарантованого живлення (Line Interactive UPS, які ще називають Smart UPS [6]). Другі – ТЕ трансформаторно-ключових виконавчих структур (ТКВС) перетворювачів напруги змінного струму, яким притаманна багатоваріантність виконання [4]. Характерним для ТЕ цього класу є цілеспрямована зміна в процесі роботи коефіцієнта передачі за напругою (K_n) за рахунок введення в дію (виведення з дії) тих чи інших сполучень секцій обвитки (обвиток), що призводить до зміни їхнього струмового завантаження, яке не може бути максимальним одночасно у всіх секціях. Зазначена методика розрахунку враховує ці особливості та дозволяє підвищити ефективність використання ТЕ (збільшення їхньої питомої потужності). Це було проілюстровано у [3] на прикладі кількох варіантів автотрансформатора з секціоною обвиткою у складі стабілізатора напруги, проте ця методика може бути використана й у перетворювачах напруги з іншими типами трансформуючих елементів.

Метою роботи є визначення можливості підвищення ефективності використання вольтододавчого трансформатора (ВДТ) з секціонованими обвитками у виконавчій структурі стабілізатора напруги змінного струму.

Керований ВДТ завжди вводиться у схему перетворювача напруги за допомогою мостової структури змінного струму на напівпровідникових ключових елементах (КЕ) з двосторонньою провідністю V1...V4, які працюють у дискретно-разовому режимі [8]. У найпростішому випадку ВДТ має дві обвитки – первинну W_1 та вторинну W_0 (рис. 1 а), що дає змогу реалізувати три значення коефіцієнта передачі ($J=3$): максимальний $K_{nmax}=(W_1+W_0)/W_1$ (увімкнені V1, V3), мінімальний $K_{nmin}=W_1/(W_1+W_0)$ (увімкнені V2, V4) та $K_n=1$, що відповідає прямій передачі енергії зі входу на вихід (замкнені V1 та V2 або V3 та V4, тобто обвитки ВДТ створюють короткозамкнене коло). На діаграмі роботи такого перетворювача, зображеній на рис. 1 б, використано позначення δ_1 для похибки стабілізації – $\delta_1=(U_{2max}-U_{2min})/(U_{2max}+U_{2min})$, при цьому стабілізація вихідної напруги відбувається у діапазоні зміни вхідної напруги (нормованої за номінальним значенням, як всі напруги та струми в цій роботі) від $U_{1min}^*=(1-\delta_1)^2/(1+\delta_1)$ до $U_{1max}^*=(1+\delta_1)^2/(1-\delta_1)$.

ВДТ у цьому випадку слід розраховувати, обираючи максимальні значення струмів у обвитках з першого режиму – $I_{W1max}^*=2\delta_1(1+\delta_1)/(1-\delta_1)$; $I_{W0}^*=(1+\delta_1)$, а максимальні значення

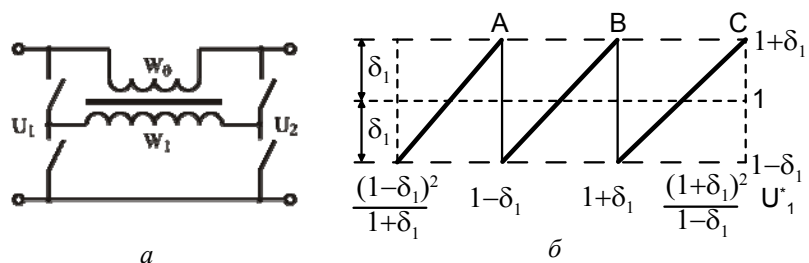


Рис. 1

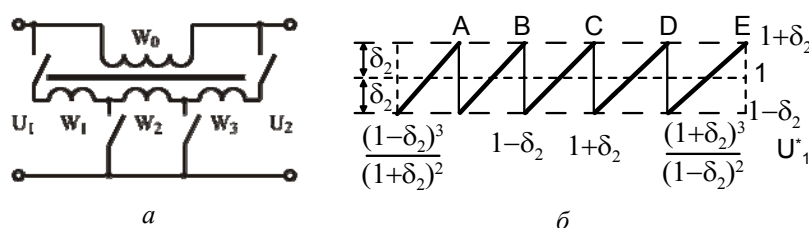


Рис. 2

напруг з третього режиму, коли $U_{W1max}^*=(1+\delta_1)$; $U_{W0max}^* = 2\delta_1(1+\delta_1)/(1-\delta_1)$. Якщо за аналогією з [3] для ВДТ стабілізатора напруги (при тій же похибці стабілізації $\delta_1=0,05$) обрати магнітопровід типу ШЛ40х80, то при тій же максимальній індукції магнітопроводу $B=1,2$ Тл напруги на обвитках та кількість їхніх витків дорівнюватимуть відповідно $U_{W1}=231$ В, $W_1=304$; $U_{W0}=231$ В, $W_0=32$. Розрахунки показують, що обраний варіант ВДТ (назвемо його ВДТ-3) за-

безпечує живлення споживача номінальною потужністю 6,87 кВт. При цьому $I_{W1\max}^* \cdot U_{W1\max}^* = I_{W0\max}^* \cdot U_{W0\max}^* = 2\delta_1(1+\delta_1)^2/(1-\delta_1) = 0,116$, отже, кожна обвитка займає половину вікна осердя. Оскільки, як було показано раніше, у ВДТ-3 найбільше струмове завантаження (а отже, і найбільші втрати) мають обидві обвитки одночасно – у режимі підвищення напруги, то саме на ці максимальні струми треба розраховувати ВДТ, як і звичайний двообвитковий трансформатор [1, 5]. Тому будь-яке варіювання розташуванням обвиток або їх струмовим завантаженням є не виправданим, тобто недоцільним.

Інша справа – ВДТ у зображеній на рис. 2 а так званій "модернізованій мостовій структурі", у якій первинна обвитка поділена на три секції: одна з них введена (як і раніше) у діагональ моста (W_2), а інші (W_1 та W_3) – у його плечі [4]. Завдяки цьому тут за тієї ж кількості ключових елементів ($N=4$) можливо реалізувати п'ять нетотожних станів структури ($J=5$) відповідно з п'ятьма коефіцієнтами передачі за напругою: $K_{п1} = (W_0 + W_1)/W_1 = (1 + \delta_2)^2 / (1 - \delta_2)^2$; $K_{п2} = (W_0 + W_1 + W_2)/(W_1 + W_2) = (1 + \delta_2)/(1 - \delta_2)$; $K_{п3} = 1$; $K_{п4} = W_3/(W_0 + W_2 + W_3) = (1 - \delta_2)/(1 + \delta_2)$; $K_{п5} = W_3/(W_0 + W_3) = (1 - \delta_2)^2 / (1 + \delta_2)^2$ (рис. 2 б).

З аналізу режимів знаходимо співвідношення витків секцій обвитки ВДТ як функції від похибки δ_2 та базової величини, за яку обрано W_1 : $W_1^* = W_3^* = 1$, $W_2^* = (1 + \delta_2)/(1 - \delta_2)$. У табл. 1 наведено нормовані за номінальними значеннями аналітичні залежності максимальних напруг секцій та поточних струмів у них для режимів, що відповідають точкам А, В, С, D, Е діаграми роботи ТКВС (рис. 2 б), а також гіпотетичному режиму одночасного максимального струмового завантаження всіх секцій (позначено літерою М). Ця таблиця фактично відображає математичну модель процесу стабілізації напруги змінного струму за допомогою такого ВДТ (назвемо його ВДТ-5) у ТКВС з дискретно-разовим керуванням.

Зауважимо, що встановлена потужність ТЕ у стабілізатора напруги визначається діапазоном зміни вхідної напруги. Тому, якщо при $J=3$ (як показано вище та у [3]) обирали для порівняння значення похибки стабілізації $\delta_1=0,05$ ($\pm 5\%$), тобто мали $U_{1\max}/U_{1\min} = (1 + \delta_1)^3 / (1 - \delta_1)^3 \approx 1,3502$, то для коректності у цьому випадку при $J=5$ приймемо $\delta_2=0,03$ ($\pm 3\%$). При цьому $U_{1\max}/U_{1\min} \approx 1,3499$, тобто різниця у глибині діапазону лише 0,016 %.

Таблиця 1

	$U_{W_{i\max}}$	I_{W_i}					
		А	В	С	D	Е	М
W_1^*	$1 + \delta$	$4\delta \frac{1 + \delta}{(1 - \delta)^2}$	$2\delta \frac{1 + \delta}{1 - \delta}$	$4\delta \frac{1 + \delta}{(3 + \delta^2)}$	–	–	$4\delta \frac{1 + \delta}{(1 - \delta)^2}$
W_2^*	$\frac{(1 + \delta)^2}{1 - \delta}$	–	$2\delta \frac{1 + \delta}{1 - \delta}$	$4\delta \frac{1 + \delta}{(3 + \delta^2)}$	2δ	–	$2\delta \frac{(1 + \delta)}{1 - \delta}$
W_3^*	$1 + \delta$	–	–	$4\delta \frac{1 + \delta}{3 + \delta^2}$	2δ	$4\delta \frac{1}{1 + \delta}$	$4\delta \frac{1}{1 + \delta}$
W_0^*	$4\delta \frac{1 + \delta}{(1 - \delta)^2}$	$1 + \delta$	$1 + \delta$	$\frac{(3 - \delta)(1 - \delta^2)}{3 + \delta^2}$	$1 - \delta$	$\frac{(1 - \delta)^2}{1 + \delta}$	$1 + \delta$

Обираючи для ВДТ-5 той же тип магнітопроводу ШЛ40Х80 з осердям з електротехнічної сталі 3411 при $B=1,2$ Тл [7], знаходимо розрахункові напруги на секціях обвитки і кількість їхніх витків: $U_{W1} = U_{W3} = (1 + \delta_2)U_n = 226,6$ В, $W_1 = W_3 = 298$; $U_{W2} = U_n(1 + \delta_2)^2 / (1 - \delta_2) = 240,6$ В; $W_2 = 316$; $U_{W0} = U_n \cdot 4\delta_2(1 + \delta_2) / (1 - \delta_2)^2 = 28,9$ В; $W_0 = 38$. Виходячи з того, що площа, яку займають у вікні осердя ($S_b = a \times b$) витки кожної i -ї секції S_{W_i} , пропорційна добутку максимальних значень її напруги та струму, отримуємо $S_{W1}^* = S_{W0}^* = 29,4$ %; $S_{W2}^* = 15,2$ %; $S_{W3}^* = 26$ %, звідки матимемо $a_{W1} = a_{W0} = 11,46$ мм; $a_{W2} = 5,92$ мм; $a_{W3} = 10,16$ мм. При обраній густині струму

$j=1,5$ А/мм² отримуємо значення поперечних перерізів витків секцій: $q_{W1}=1,38$ мм², $q_{W2}=0,68$ мм², $q_{W3}=1,84$ мм², $q_{W0}=10,83$ мм² та відповідно струмів у них: $I_{W1\max}=2,07$ А; $I_{W2\max}=1,01$ А; $I_{W3\max}=1,84$ А; $I_{W0\max}=16,25$ А.

На рис. 3 наведено поперечний переріз однієї чверті ВДТ-5, з якого видно черговість розміщення секцій обвитки та співвідношення їхніх розмірів (тут О – центр мас, К – каркас котушки).

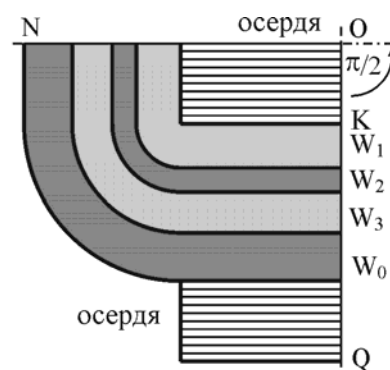


Рис. 3

Розраховані втрати потужності у секціях обвиток та в осерді у варіанті ВДТ-5 наведено у табл. 2. Якщо цей варіант ВДТ-5 розрахувати так, як ВДТ-3, тобто за максимальними струмами і напругами секцій (що відповідає гіпотетичному режиму М), то він при значно вищій точності стабілізації (у $\delta_1/\delta_2=1,66$ разу) зможе жити навантаження номінальним струмом 15,77 А при номінальній вихідній потужності лише 3,47 кВА, тобто майже вдвічі меншій, ніж менш точний ТКВС з ВДТ-3.

З метою покращення цього показника звернімося до запропонованої у [3] методики розрахунку ТЕ з секціонованими обвитками. Аналізуючи дані табл. 2, бачимо, що сумарні втрати енергії у всіх робочих режимах ТКВС, які визначають тепловий режим елементів ВДТ-5, значно менші, ніж у гіпотетичному режимі М, який відповідає повному використанню всіх секцій обвитки ВДТ – аналогічно звичайному двообвитковому трансформатору. Меншими відповідно будуть тепловиділення та рівень температури ВДТ-5.

Згідно з ідеологією запропонованої у [3] методики, це дає змогу "обважнити" режими, тобто шляхом збільшення первинного значення густини струму суттєво підвищити робочі струми у секціях обвитки (і, таким чином, рівень вихідної потужності), що відповідно призведе до підвищення втрат енергії та температури елементів ВДТ-5. Виходячи тільки з величини втрат енергії у елементах ТЕ, неможливо визначити припустимий ступінь цього обважнення – його верхня межа визначається досягненням температури елементів ВДТ-5 певного рівня – T_{\max} . У методиці [3] обрано $T_{\max}=80,9$ °С (це значення можна варіювати, наприклад, прийняти $T_{\max}=105$ °С; головне, щоб воно дотримувалося для всіх варіантів ТЕ, що підлягають порівняльному аналізу).

Розв'язок теплової задачі виконується, як і у [3], за допомогою спеціалізованої програми моделювання Comsol Multiphysics [9], за тих же спрощень й умов та тих самих значень теплопровідності осердя ($\lambda_{\text{оср}}=4$ Вт/(м×К)), секцій обвиток ($\lambda_{\text{обв}}=2$ Вт/(м×К)) й каркаса котушки ($\lambda_{\text{кш}}=0,2$ Вт/(м×К)) та загального коефіцієнта тепловідведення з поверхні $\alpha=11,77$ Вт/(м²×К), еквівалентного сумі коефіцієнта тепловідведення з поверхні за рахунок конвекції $\alpha_{\text{кв}}=5$ Вт/(м²×К) та випромінювання при степені чорноти поверхні $\varepsilon=0,8$ [2].

Рис. 4 ілюструє відповідно розподіл втрат енергії в елементах ВДТ-5 згідно з табл. 2 (рис. 4 б) та значення температур (рис. 4 а) вздовж ортогональних відрізків МО та QO (див. рис. 3) для всіх режимів. Задля наочності вони об'єднані та розміщені в одній площині (на цих рисунках позначення збігаються з позначеннями режимів).

Як видно, найвищі температури спостерігаються у режимах А ($T_{\text{Аmax}}=70,4$ °С) та Е ($T_{\text{Еmax}}=70,2$ °С), які обираємо за визначальні при обважненні. Здійснюючи цю процедуру, знаходимо

Таблиця 2

i	ΔP_{Wi} (Вт)					
	А		А		А	
W_1	6,1	W_1	6,1	W_1	6,1	W_1
W_2	0	3,7	1,6	3,3	0	3,7
W_3	0	0	0,9	2,0	7,4	7,4
W_0	9,9	9,9	9,1	8,7	7,7	9,9
$\sum W_i$	15,9	15,0	12,2	14,0	15,2	27,1
Осердя	7,5	4,0	0	4,5	8,4	8,4
Разом	23,4	19,0	12,2	18,5	23,6	35,5

Таблиця 3

i	ΔP_{W_i} (Вт)					
	A	B	C	D	E	M
W_1	5,9	1,4	0,6	0	0	5,9
W_2	0	5,7	2,4	5,1	0	5,7
W_3	0	0	0,9	1,9	7,3	7,3
W_0	8,4	8,4	7,7	7,4	6,6	8,4
$\sum W_i$	14,3	15,5	11,6	14,4	13,9	27,3
Осердя	7,5	4,0	0	4,5	8,4	8,4
Разом	21,8	19,4	11,6	18,9	22,3	35,7

нові просторові залежності температур у всіх режимах (криві A', B', C', D', E'), отримані при збільшенні густини струму до 1,97 А/мм², чому відповідає можливість підвищення вихідної потужності до 4,56 кВт, тобто у 1,31 разу. (Зуважимо, що обважнення відбувається лише за рахунок секцій обвитки, втрати у яких збільшуються пропорційно квадрату величини струмів (тобто у 1,31²≈1,73 разу), а втрати у осерді за-

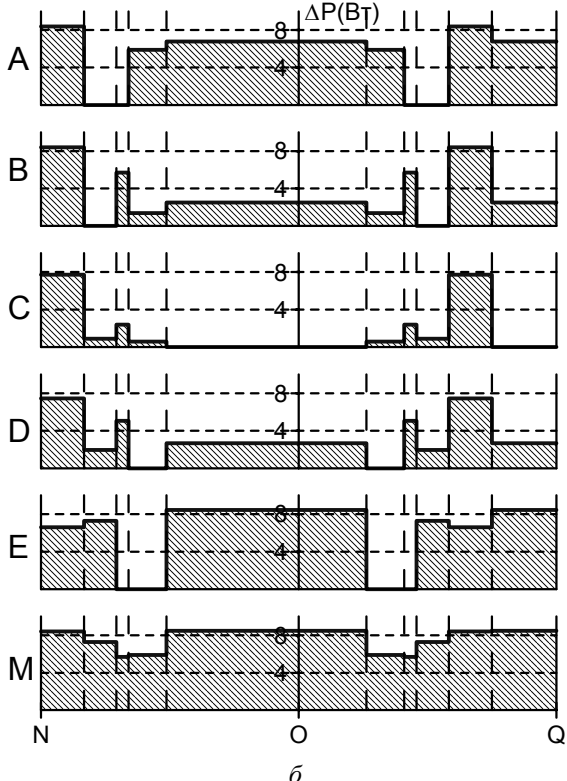
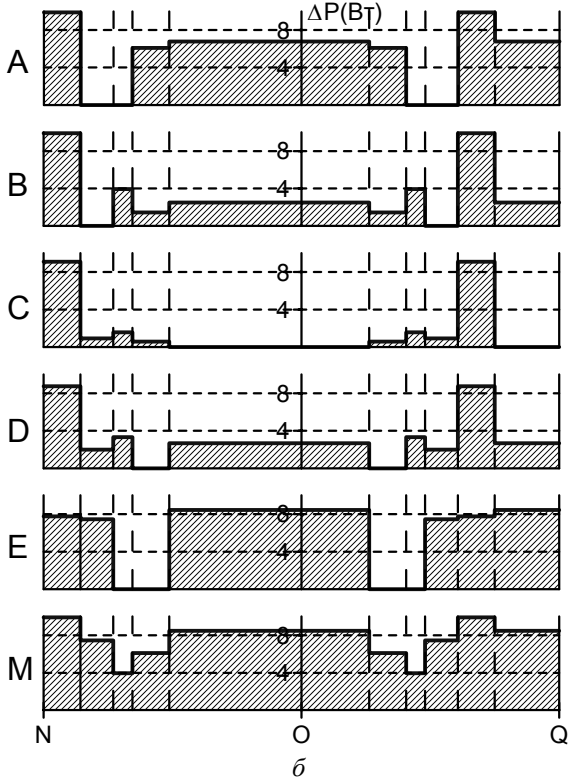
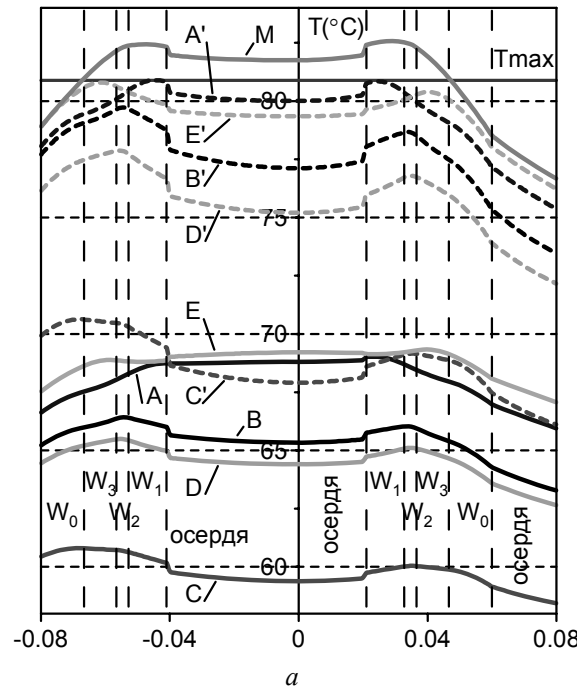
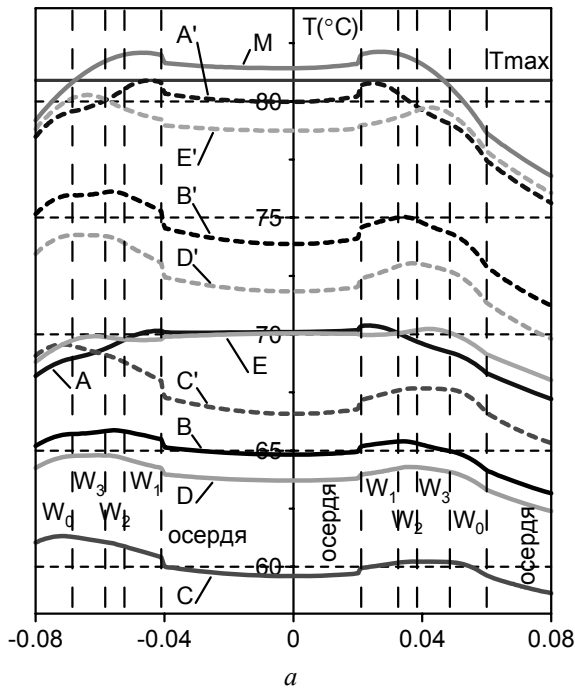


Рис. 4

Рис. 5

лишаються незмінними. Це, зокрема, пояснює, чому за практично рівних значень максимальних температур у режимах А та Е ($\delta T=2,8\%$) максимальна температура у режимі А' буде на 7,4 % більшою, ніж у режимі Е', у якому $\Delta P_{FeE} = \Delta P_{FeE} = 8,44 \text{ Вт} > 6,79 \text{ Вт} = \Delta P_{FeA} = \Delta P_{FeA}$.

Хоча було досягнуто суттєве збільшення вихідної потужності при тому ж магнітопроводі, попередній досвід роботи з цим класом трансформуючих елементів ТКВС свідчить, що в цьому сенсі використано не всі резерви. Знову, звертаючись до задекларованої авторами тези щодо багатоваріантності виконання трансформуючих елементів, проаналізуємо дані табл. 2 під цим кутом зору. Струмове завантаження секції W_2 позначається на втратах потужності лише у режимах В, С, та D, які є найбільш "легкими". Найбільші втрати у визначальному режимі А пов'язані з W_0 . Виходячи з цього, запропоновано скоригувати густину струмів у секціях наступним чином: $j_1=1,45 \text{ А/мм}^2$; $j_2=2,31 \text{ А/мм}^2$; $j_3=1,51 \text{ А/мм}^2$; $j_0=1,3 \text{ А/мм}^2$ (при цьому відповідно змінилися площі поперечного перерізу витків та площі, які займають секції у вікні осердя). Розрахований при такому коригуванні розподіл втрат у елементах трансформатора (назвемо його ВДТ-5М) наведено у табл. 3 та рис. 5 б. Як видно з табл. 3, потужність втрат у визначальних режимах А та Е значно зменшилася (на 7,3 та 5,5 % відповідно).

Таким чином, виконане дослідження підтвердило коректність і доцільність застосування запропонованої у [3] методики розрахунку вольтододавчих трансформаторів ТКВС з секціонуванням первинної обвитки, яке дало змогу значно підвищити ефективність їхнього використання.

Наведений на рис. 5 а розподіл температур у секціях обвитки та осерді магнітопроводу свідчить, що і максимальні температури елементів у режимах А та Е стали меншими, ніж у попередньому варіанті ($T_{A\max}=69,03^\circ\text{C}$, $T_{E\max}=69,33^\circ\text{C}$), що дозволило ще збільшити ступінь обважнення – з 1,73 до $1,91 = 1,38^2$ та відповідно підвищити припустиму вихідну потужність у 1,38 разу – до 4,79 кВт. Теоретично шляхом наближень цей показник можна ще збільшити, проте мова при цьому буде йти про долі відсотка. Зауважимо, що при такому обважненні найбільше зросла температура у режимі В' (до $79,7^\circ\text{C}$, а було $76,1^\circ\text{C}$), проте вона не лімітує проведену процедуру.

Висновки. Досліджено вольтододавчий трансформатор з секціонуванням первинної обвитки у складі ТКВС стабілізатора напруги змінного струму, який дає змогу у 1,66 разу зменшити похибку стабілізації у порівнянні з двообвитковим ВДТ. При його розрахунку за максимальними струмовими завантаженнями секцій (як звичайного двообвиткового ТЕ) максимальна вихідна потужність буде вдвічі меншою, ніж у двообвитковому ВДТ. Використання розробленої методики розрахунку, яка ґрунтується на врахуванні неоднаковості струмового завантаження різних секцій у робочих режимах стабілізатора, дало змогу збільшити найбільшу припустиму вихідну потужність у 1,38 разу – до 4,79 кВт.

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. Липківський К.О., Можаровський А.Г. Моделирование трансформующих элементов с секционированием обмоток у складі перетворювачів напруги змінного струму // Техн. електродинаміка. – 2016. – № 3. – С. 39–44.
4. Липковский К.А. Трансформаторно-ключевые исполнительные структуры преобразователей переменного напряжения. – К.: Наук. думка, 1983. – 216 с.
5. Стародубцев Ю.Н. Теория и расчет трансформаторов малой мощности. – М.: ИП РадиоСофт, 2005. – 320 с.
6. Типы ИБП. Available at: <http://www.mos-invertor.ru/art.html> (accessed 25.07.2016).
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 Fourth Quarter. – 2007. – V. 19. – № 4. – P. 11–20.
9. Comsol Multiphysics modeling and simulation software – <http://www.comsol.com>.
10. Automatic voltage regulation technologies. Available at: <http://www.sigmaelectricals.com/autotech01.htm> (accessed 25.07.2016).
11. US Patent 6472851 B2, G05F1/147. Hybrid tap-changing transformer with full range of control and high resolution / Peter Hammond. 29.10.2002.

УДК 621.314

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

Институт электродинамики НАН Украины,
пр. Победы, 56, Киев-57, 03680, Украина

Повышение эффективности использования вольтодобавочных трансформаторов с секционированными обмотками в составе стабилизатора напряжения переменного тока

Transforming elements (TE) with windings sectioning in converter equipment systems take a direct part in the implementation of the main functional transformation. This class of TE has a number of features that have been included in the methodology developed by the authors for their calculation and design. In this work the methodology used for calculating the booster transformers with sectioning windings, which are characterized by multi-variant approach in the execution part of the AC voltage stabilizer. With these a significant increase utilization efficiency of such transforming elements due to variations in the density of the current winding sections. Бібл. 11, рис. 5, табл. 3.

Ключевые слова: трансформаторно-ключевая исполнительная структура, стабилизатор напряжения переменного тока, вольтодобавочный трансформатор, эффективность использования.

К.О. Lypkivskyi, A.G. Mozharovskyi

Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine,
Peremohy, 56, Kyiv-57, 036890, Ukraine

Increasing the efficiency of using booster transformers with segmented winding composed of AC voltage stabilizer

Transforming elements (TE) with windings sectioning in converter equipment systems take a direct part in the implementation of the main functional transformation. This class of TE has a number of features that have been included in the methodology developed by the authors for their calculation and design. In this work the methodology used for calculating the booster transformers with sectioning windings, which are characterized by multi-variant approach in the execution part of the AC voltage stabilizer. With these a significant increase utilization efficiency of such transforming elements due to variations in the density of the current winding sections. References 11, figures 5, tables 3.

Key words: transformer-and-switches executive structure, AC voltage stabilizer, tap changing transformer, booster transformer, utilization efficiency

Надійшла 29.07.2016

Received 29.07.2016

УДК 621.314.:621.3.011

**СИЛОВІ СХЕМИ ГІБРИДНИХ ФІЛЬТРОКОМПЕНСУЮЧИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ
ДЛЯ ТРИФАЗНИХ СИСТЕМ З НЕЛІНІЙНИМИ ТА ЗМІННИМИ
НАВАНТАЖЕННЯМИ**

Д.О. Малахатка, асп.

Институт электродинамики НАН Украины,
пр. Перемоги, 56, 03057, м. Київ, Україна
e-mail: malakhatka@ied.org.ua

Розглянуто основні положення розробки силових схем гібридних фільтрокомпенсуючих перетворювачів, які виконані на основі регульованих фільтросиметруючих пристроїв і «розподільних» D-СТАТКОМ або багатофункціональних компенсаторів реактивної потужності. Гібридні фільтрокомпенсуючі перетворювачі призначено для компенсації навантажувальних струмів у нульовому проводі трифазної мережі, регулювання (стабілізації) напруги навантаження та фільтрації струмів вищих гармонік у мережі. Наведено силові схеми зазначених пристроїв та вирази для розрахунку режимних параметрів трансформаторно-ключового перетворювача у складі гібридного фільтрокомпенсуючого пристрою. Бібл. 10, рис. 4.

Ключові слова: якість електричної енергії, фільтрокомпенсуючий пристрій, регульований фільтросиметруючий пристрій, статичний синхронний компенсатор, електромагнітна сумісність.