

О.А. Авдєєва, Л.В. Вахоніна, О.С. Садовий, Р.А. Ставинський, О.М. Циганов

Покращення основних показників трансформаторів з витими нероз'ємними магнітопроводами шляхом зміни формування кругових витків обмотки

Виконано аналіз конструктивно-технологічних особливостей електромагнітних систем трансформаторів з витими нероз'ємними магнітопроводами і круговими утворюючими контурами стрижнів та обмоткових витків. Запропоновано конструкцію обмоткової котушки з зовнішньою рухомою та внутрішньою нерухомою частинами опорно-ізоляційного каркасу та заміну вмотки витків на технологію намотки. Показано, що використання замість човникової вмотаної конструкції виконання обмотки з зовнішньою частиною ізоляційного каркаса, що обертається, призводить до поліпшення масогабаритних і енергетичного показників трансформатора. Бібл. 14, табл. 2, рис. 4.

Ключові слова: витий трансформатор, нероз'ємний магнітопровід, ізоляційний каркас, обмотка, намотка.

Постановка проблеми. Загальна потужність трансформаторів систем передачі перевищує потужність генерації в 6-7 разів, при цьому основні витрати ресурсів і основні втрати п'яти-шестикратної трансформації електроенергії приходяться на трансформатори I-III габаритів масового випуску [1]. З початку XXI століття в розвинених державах прийняті нові стандарти, що регламентують суттєве зниження втрат неробочого руху трансформаторів малої і середньої потужності та зниження втрат навантаження великих трансформаторів [1-5]. Структурні схеми і конструкції електромагнітних систем (ЕМС) трансформаторів, що перебувають у виробництві є незамінними протягом століття, а зниження втрат відбувається використанням інновацій матеріалознавства та зниженням електромагнітних навантажень [6]. Подальше зростання вимог до енергоресурсозбереження потребує застосування нових інноваційних технічних рішень удосконалення трансформаторів [1-6].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У минулому столітті виробництво магнітопроводів трансформаторів на основі шихтування пластин доповнено технологіями навивки стрічки (рулону) електротехнічної сталі (ЕТС). Виті магнітопроводи трансформаторів малої потужності виконуються розрізними. Наявність стиків призводить до зростання втрат до 30 %. Тому виті магнітопроводи, що використовуються у виробництві однофазних і трифазних трансформаторів потужністю до 2000 кВ·А, виконуються безперервними (нероз'ємними) з круговими утворюючими контурами стрижнів і обмоткових котушок (рис. 1,а,б). Обмотки з круговими витками вмотуються на човникових верстатах, що передбачає технологічне збільшення конструктивного проміжку між суміжними котушками обмоток і між обмотками та ярами трансформаторів з стрижневими і броньовими магнітопроводами. Зростають металомісткість, габарити та втрати, що знижує ефективність технології навивки ЕТС при виробництві однофазних і трифазних трансформаторів.

Основним із сучасних засобів енергоефективності трансформаторів вважається використання стрічкової аморфної ЕТС з мінімальними втратами, але меншою робочою індукцією та підвищеною вартістю [1, 7, 8].

Значні можливості вдосконалення трифазних трансформаторів згідно [5] забезпечують симетричні

просторові виті аксіальні магнітопроводи (рис. 1,а) з аморфної ЕТС. При цьому трифазні трансформатори, зокрема ТСЗМ і ТСЗМВ морського виконання (рис. 1,б) з анізотропними магнітопроводами виду (рис. 1,а) освоєні у виробництві в 60-х роках XX століття та випускаються в даний час (Техническое описание и инструкция по эксплуатации ОБТ. 140.240. – М.: ИнформЭлектро, 1975, зак. 1265. – 21 с).

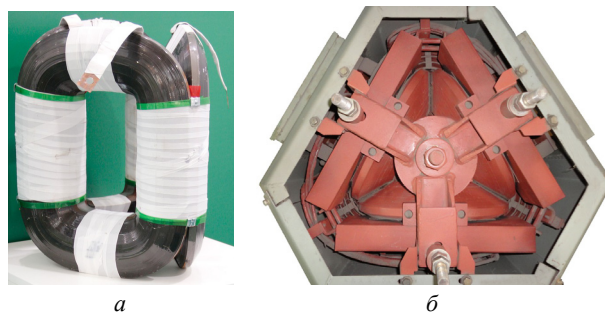


Рис. 1. Витий трисекційний магнітопровід (а) та вид зверху трансформатора ТСЗМ-40-74.ОМ5 зі знятою кришкою оболонки (б)

Додатково до використання стрічкових анізотропної мікрористалічної і аморфної ЕТС та трифазних ЕМС з витими трисекційними просторовими магнітопроводами [5-7] основними інноваціями вважаються «кабельні» обмотки та застосування високотемпературної надпровідності обмоток [1]. Також існують можливості удосконалення трансформаторів структурно-конструктивними перетвореннями елементів ЕМС [6]. Відомими прикладами відносно простого структурного перетворення витих магнітопроводів є застосування комбінації марок ЕТС зон внутрішніх і зовнішніх та середніх шарів ЕТС та заміна зовнішньої секції трифазного трисержневого планарного магнітопроводу на дві бокові секції вдвоє меншої ширини [9-11]. Однак, відповідно до [1, 5] існує протиріччя між вимогами ринка до здешевлення трансформаторної продукції і світовою тенденцією енергоресурсозбереження на основі інноваційних конструкцій і технологій. Крім того, існує можливість удосконалення трансформаторів шляхом використання «залишкових резервів» традиційних конструкцій і інноваційних способів виготовлення елементів ЕМС [6].

Останнім часом виті магнітопроводи трансформаторів обмеженої потужності витискаються анало-

гами з умовно косими стиками і технологією формування охоплюючих шарів розділенням і вигином ділянок стрічки довжини, що змінюється. Використовується спеціальне обладнання для формування шарів сталі зі зсувом стиків («Unicore» – магнітопроводи) [1, 12]. Однак використання названої технології при виробництві ЕМС з круговими утворюючими контурами (рис. 2,а,б) з витих секцій (рис. 3,а) з конфігурацією розгортки сталі (рис. 3,б) обумовлює додаткові складності. Також крихка аморфна сталь (скляний метал) не допускає малих радіусів вигину.

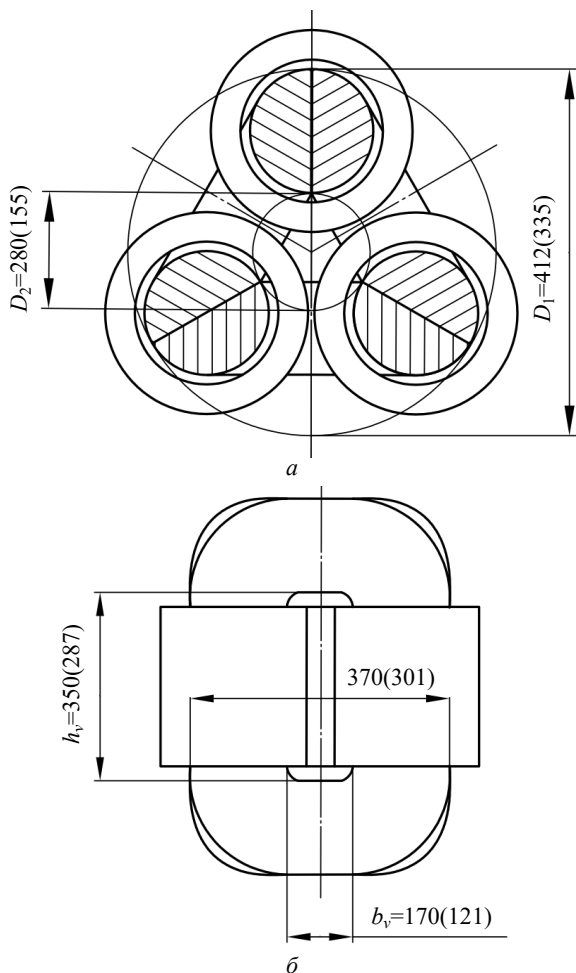


Рис. 2. Геометричні параметри електромагнітної системи трансформатора ТСЗМ-40-74.ОМ5 з $K_w''=0,177$ та його аналога з $K_w''=0,3$ у поперечному розрізі (а) та вигляді збоку (б)

Виходячи з викладеного, вирішення завдання зниження маси, матеріалоемності та втрат, а також витрат праці при виробництві трансформаторів з витими магнітопроводами є актуальним.

Метою статті є підвищення основних показників трансформатора на прикладі варіантів електромагнітних систем з вмотаною «човниковою» та намотаною обмотками, а також обґрунтування доцільності підвищення заповнення провідниками обмоткового вікна на основі зміни способу намотки обмоткових витків.

Методи та результати дослідження. Резервом удосконалення трансформаторів з витими нероз'ємними магнітопроводами можна вважати підвищення компактності ЕМС усуненням технологічних

проміжків в обмоткових вікнах. Таке підвищення є можливим зміною конструкції ізоляції і зміною зі спрощенням технології виготовлення обмоток вилученням кінематичних ланок руху намотувальних човників.

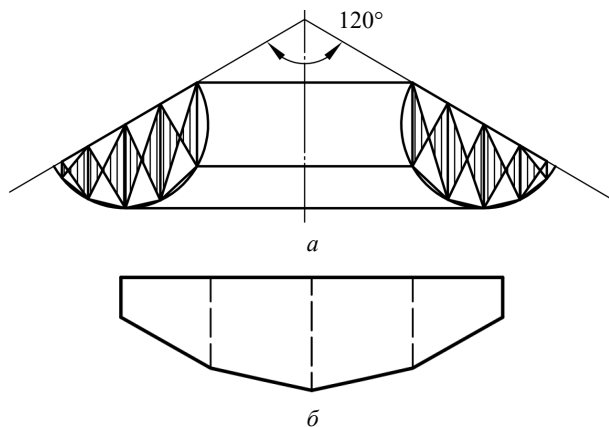


Рис. 3. Схеми секції магнітопроводу (а) та секційної розгортки полоси електротехнічної сталі (б)

Для виключення технологічних обмоткових проміжків та стикових зазорів, що забезпечують можливості відповідно «човникової обкатки» ізоляційного циліндра (шарів витків) та встановлення виткових котушок на роз'ємну стрижневу частину магнітопроводу, пропонується конструкція з двошаровою опорно-ізоляційною базою обмоток (рис. 4,а). Внутрішній ізоляційний циліндр обмоткового каркаса, що охоплює стрижень, нерухомий. Зовнішній шар обмоткового каркаса є рухомих циліндром, який з'єднаний з кільцевими ізоляційними елементами, що розташовані над торцями обмоткових котушок. Поверхні зон зовнішніх діаметрів кілець утворюють кінематичний зв'язок з передавачем обертового руху від привода намотувального пристосування (рис. 4,б).

Намотування обмоток на стрижні забезпечується обертанням зовнішньої частини збірної обмоткового каркаса. Після намотування фазних котушок зовнішній циліндр фіксується нерухомо. Концентричні обмоткові каркаси формуються скріпленням, зокрема клеєнням, напівкільцевих заготовок.

Порівняння варіантів ЕМС (рис. 2) виконується на основі універсального методу структурного та структурно-параметричного синтезу електромеханічних пристроїв [6]. Використовуються цільові функції маси F_m і втрат активної потужності F_e з безрозмірними оптимізаційними складовими $I_m^*(x_c, y_w)$ та $I_e^*(x_c, y_w, z_l)$ та відносними керованими змінними [6]:

$$F_m = (I_T)^{3/4} \gamma_{st} I_m^*(x_c, y_w, K_w^{(w)}); \quad (1)$$

$$F_e = (I_T)^{3/4} \gamma_{st} I_e^*(x_c, y_w, z_e, K_w^{(w)}), \quad (2)$$

де I_T – показник вихідних даних та електромагнітних навантажень трансформатора [6]; x_c – відношення діаметрів D_1 та D_2 розрахункових окружностей магнітопроводу (рис. 2,а); y_w – відношення висоти h_v та ширини b_v обмоткового вікна (рис. 2,б); $K_w^{(w)}$ – коефіцієнт заповнення обмоткового вікна міддю (класу напруги); z_e – електромагнітна керована змінна, γ_{st}, P_{st} – густина та питомі втрати ЕТС відповідно.

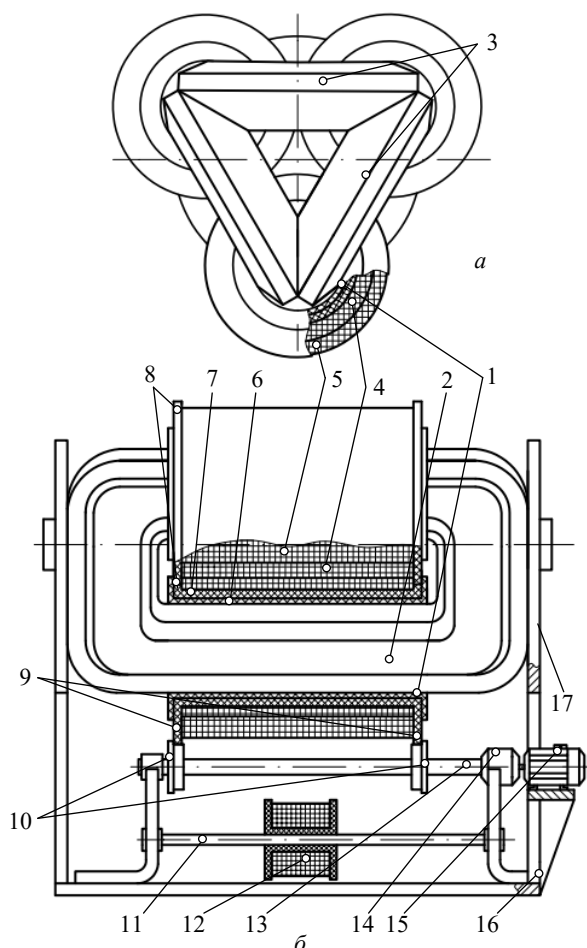


Рис. 4. Вид зверху активної частини (а) та принципова схема обладнання намотки обмоток на обертові складові ізоляційних каркасів (б): трансформатора з витим нероз'ємним магнітопроводом: 1 – каркас; 2 – стрижень; 3 – магнітопровід; 4, 5 – обмоткові витки низької та високої напруг; 6, 7 – нерухомий та рухомий ізоляційні шари; 8 – кільцевий ізоляційний елемент; 9 – кінематична пара; 10 – передавач обертового моменту; 11 – вісь; 12 – котушка заготовки витків обмотки; 13 – вал; 14 – редуктор; 15 – привідний двигун; 16 – основа; 17 – опора

Показники маси та втрат математичної моделі трансформатора з ЕМС (рис. 1, б та рис. 2) визначаються рівняннями [13, 14]:

$$I_m^*(x_c, y_w, K_w^{(n)}) = 2,07 \sqrt[4]{\left[K_w^{(n)} K_R K_{st} f(x_c, y_w) \right]^{3/4}} \times \left\{ K_w^{(n)} K_R \left[(y_w + 1)(1 - 0,0718x_c)(x_c - 1)^2 + 0,657(x_c - 1)^3 \right] + 3,482 K_w^{(n)} y_w (1 - 0,0718x_c)^2 (1 - 0,0718x_c) \gamma_{cu} / \gamma_{st} \right\} \quad (3)$$

$$I_e^*(x_c, y_w, z_e, K_w^{(n)}) = 2,07 K_{st} \sqrt[4]{\left[K_w^{(n)} K_R K_{st} f(x_c, y_w) \right]^{3/4}} \times \left\{ K_w^{(n)} K_R \left[(y_w + 1)(1 - 0,0718x_c)(x_c - 1)^2 + 0,657(x_c - 1)^3 \right] + 3,482 z_e K_w^{(n)} y_w (1 - 0,0718x_c)^2 (1 - 0,0718x_c) \right\} \quad (4)$$

$$f(x_c, y_w) = y_w (1 - 0,0718x_c)^2 (x_c - 1)^2,$$

де K_{st} – коефіцієнт заповнення магнітопроводу ЕТС; K_R – коефіцієнт заповнення кругового утворюючого контуру поперечним перерізом стрижня; K_{st} – коефіцієнт додаткових втрат неробочого руху; γ_{cu} – густина міді.

Розрахункове обґрунтування доцільності зміни конструкції ізоляційного каркасу та способу укладан-

ня обмотки в нероз'ємний магнітопровід виконано на прикладі трифазного трансформатора ТСЗМ-40-74.ОМ5 (рис. 1, б). Основні дані технічної характеристики зазначеного трансформатора (далі ТТ-40) і розрахункові дані його компактного аналога наведені в табл. 1.

Таблиця 1
Основні технічні характеристики варіантів трифазного трансформатора «ТТ-40»

Варіант	Номинальна потужність, кВт	Напруга U_1/U_2 , В	Маса активної частини, кг	Коефіцієнт корисної дії
ТСЗМ-40-74.ОМ5	40	380/230	182	0,973
Аналог	40	380/230	154,15	0,976

Розрахунок величини втрат та коефіцієнту корисної дії варіантів ТТ-40 (табл. 1) виконаний при значенні відносної електромагнітної керуваної змінної [14]

$$z_e = \frac{K_{lcu} \gamma_{cu} P_{cu}^2 J_w^2}{K_{lst} \gamma_{st} P_{st}} = \frac{1,04 \cdot 8900 \cdot 2,4 \cdot 10^{-12} \cdot (2 \cdot 10^6)^2}{1,34 \cdot 76500 \cdot 1,1} = 7,88; \quad (5)$$

де K_{lcu} , P_{cu} і J_w – відповідно коефіцієнт додаткових втрат короткого замикання, показник питомих втрат і густина струму мідних обмоток варіантів ТТ-40 сухого виконання.

Коефіцієнт K_{lst} визначається наявністю третіх гармонік секційних магнітних потоків магнітопроводу. Питомі втрати P_{st} відповідають амплітуді індукції 1,6 Тл і ЕТС 3407.

Значення геометричних та конструктивних параметрів варіантів ТТ-40 представлені в табл. 2. Розрахункові значення (табл. 1) маси ЕМС та втрат ТСЗМ (рис. 1, б) практично збігаються з паспортними даними, що підтверджує адекватність математичної моделі [13, 14]. Вказані значення отримані за рівняннями (3), (4), даними та реальними значеннями розмірів ЕМС (рис. 2).

Таблиця 2
Геометричні та конструктивні параметри варіантів «ТТ-40»

Варіанти	Значення керуваних змінних, о.е.			Коефіцієнти заповнення обмоткового вікна
	x_c	y_w	z_e	
ТСЗМ-40-74.ОМ5	412/208 = 1,98	350/170 = 2,06	7,88	0,177
Аналог	335/155 = 2,16	287/301 = 2,37	7,88	0,3

Розрахункові значення показників (табл. 1) компактного аналога ТТ-40 визначені при ідентичних для варіантів (рис. 2) значеннях I_T (1), (2). Екстремальні значення x_c , y_w рівнянь (3), (4) відповідають критерію оптимізації мінімум маси ЕМС.

Підвищення величини $K_w = 0,177$ до значення, що відповідає класу напруги до 1000 ($K_w = 0,3$), при-

зводить до суттєвого поліпшення технічної характеристики ТТ-40.

Висновки.

Заміна вмотаної «човникової» конструкції електромагнітних систем з безперервними стрічковими (нероз'ємними) секціями магнітопроводу на компактне виконання без технологічних міжкатушкових проміжків призводить до поліпшення показників трансформаторів з витими трисекційними магнітопроводами.

Зниження маси і габаритних розмірів електромагнітних систем класу напруги 1000 В при потужності 40 кВ·А становить приблизно 15 % і (17-18) %. Коефіцієнт корисної дії підвищується приблизно на 0,3 %.

Конфлікт інтересів. Автори статті заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Костинский О.С. Обзор состояния трансформаторного производства и тенденций развития конструкций силовых трансформаторов. *Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики*, 2018, т. 20, № 1-2, с. 14-32. doi: <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2018-20-1-2-14-32>.
2. Targosz R., Topalis F.V. Energy efficiency of distribution transformers in Europe. *2007 9th International Conference on Electrical Power Quality and Utilisation*, 2007, pp. 1-5. doi: <https://doi.org/10.1109/EPQU.2007.4424121>.
3. De Almeida A., Santos B., Martins F. Energy-efficient distribution transformers in Europe: impact of Ecodesign regulation. *Energy Efficiency*, 2016, vol. 9, no. 2, pp. 401-424. doi: <https://doi.org/10.1007/s12053-015-9365-z>.
4. Charalampopoulos C., Psomopoulos C.S., Ioannidis G.Ch., Kaminaris S.D. Implementing the EcoDesign Directive in distribution transformers: First impacts review. *AIMS Energy*, 2017, vol. 5, no. 1, pp. 113-124. doi: <https://doi.org/10.3934/energy.2017.1.113>.
5. *Инновационный прорыв на рынке силовых трансформаторов.* Режим доступу: <http://www.elec.ru/articles/innovacionnyy-proryv-na-rynke-silovyh-transformatorov> (Дата звернення: 24.03.2021).
6. Ставинский А.А., Авдеева Е.А., Пальчиков О.О., Ставинский Р.А. Обобщенный метод структурно-параметрического синтеза электромагнитных систем электрических машин и индукционных аппаратов. Ч.1. Результаты сравнительного анализа вариантов трехфазных электромагнитных систем трансформаторов. *Электричество*, 2017, № 4, С. 39-49. doi: <https://doi.org/10.24160/0013-5380-2017-4-39-49>.
7. Almen J., Breitholtz M. *Performance evaluation of amorphous hexa-core for distribution transformers.* Bachelor's Thesis in Electric Power Engineering. Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden 2012. 50 p. Available at: <https://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/167013.pdf> (Accessed 20 March 2021).
8. Najafi A., Iskender I. Comparison of core loss and magnetic flux distribution in amorphous and silicon steel core transformers. *Electrical Engineering*, 2018, vol. 100, no. 2, pp. 1125-1131. doi: <https://doi.org/10.1007/s00202-017-0574-7>.
9. Kefalas T. Transformers Made of Composite Magnetic Cores: An Innovative Design Approach. *Recent Patents on Electrical Engineering*, 2009, vol. 2, no. 1, pp. 1-12. doi: <https://doi.org/10.2174/1874476110902010001>.
10. Kefalas T.D., Kladas A.G. Development of Distribution Transformers Assembled of Composite Wound Cores. *IEEE Transactions on Magnetics*, 2012, vol. 48, no. 2, pp. 775-778. doi: <https://doi.org/10.1109/TMAG.2011.2172976>.

11. Kefalas T.D., Magdaleno-Adame S. Techno-economic comparative evaluation of mixed and conventional magnetic wound cores for three-phase distribution transformers. *Electric Power Systems Research*, 2018, vol. 155, pp. 331-339. doi: <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2017.11.003>.

12. Hernandez I., Olivares-Galvan J.C., Georgilakis P.S., Cane-do J.M. A Novel Octagonal Wound Core for Distribution Transformers Validated by Electromagnetic Field Analysis and Comparison With Conventional Wound Core. *IEEE Transactions on Magnetics*, 2010, vol. 46, no. 5, pp. 1251-1258. doi: <https://doi.org/10.1109/TMAG.2010.2040623>.

13. Avdieieva E.A., Stavinskiy R.A. Mass and cost figures for spatial axial three-phase electromagnetic systems with circular and hexagonal forming contours of twisted magnetic core rods. *Electrical Engineering & Electromechanics*, 2014, no. 1, pp. 15-20. doi: <https://doi.org/10.20998/2074-272X.2014.1.02>.

14. Avdieieva E.A., Stavinskiy R.A. Watt loss in three-phase transformers with circular and hexagonal forming contours of twisted spatial magnetic core rods. *Electrical Engineering & Electromechanics*, 2014, no. 2, pp. 14-17. doi: <https://doi.org/10.20998/2074-272X.2014.2.02>.

REFERENCES

1. Kostinskiy S.S. The review of the condition of branch of transformer manufacture and tendencies of development of the design of power transformers. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Problemy Energetiki*, 2018, vol. 20, no. 1-2, pp. 14-32. (Rus). doi: <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2018-20-1-2-14-32>.
2. Targosz R., Topalis F.V. Energy efficiency of distribution transformers in Europe. *2007 9th International Conference on Electrical Power Quality and Utilisation*, 2007, pp. 1-5. doi: <https://doi.org/10.1109/EPQU.2007.4424121>.
3. De Almeida A., Santos B., Martins F. Energy-efficient distribution transformers in Europe: impact of Ecodesign regulation. *Energy Efficiency*, 2016, vol. 9, no. 2, pp. 401-424. doi: <https://doi.org/10.1007/s12053-015-9365-z>.
4. Charalampopoulos C., Psomopoulos C.S., Ioannidis G.Ch., Kaminaris S.D. Implementing the EcoDesign Directive in distribution transformers: First impacts review. *AIMS Energy*, 2017, vol. 5, no. 1, pp. 113-124. doi: <https://doi.org/10.3934/energy.2017.1.113>.
5. *Innovative breakthrough in the power transformer market.* (Rus). Available at: <http://www.elec.ru/articles/innovacionnyy-proryv-na-rynke-silovyh-transformatorov> (Accessed 24 March 2021).
6. Stavinskii A.A., Avdeyeva Y.A., Pal'chikov O.O., Stavinskii R.A. The Generalized Method for Structural-Parametric Synthesis of the Electromagnet Systems of Electrical Machines and Induction Apparatuses. Part 1. Results from a Comparative Analysis of Different Versions of Three-Phase Transformer Electromagnet Systems. *Elektrichestvo*, 2017, vol. 4, pp. 39-49. (Rus). doi: <https://doi.org/10.24160/0013-5380-2017-4-39-49>.
7. Almen J., Breitholtz M. *Performance evaluation of amorphous hexa-core for distribution transformers.* Bachelor's Thesis in Electric Power Engineering. Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden 2012. 50 p. Available at: <https://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/167013.pdf> (Accessed 20 March 2021).
8. Najafi A., Iskender I. Comparison of core loss and magnetic flux distribution in amorphous and silicon steel core transformers. *Electrical Engineering*, 2018, vol. 100, no. 2, pp. 1125-1131. doi: <https://doi.org/10.1007/s00202-017-0574-7>.
9. Kefalas T. Transformers Made of Composite Magnetic Cores: An Innovative Design Approach. *Recent Patents on Electrical Engineering*, 2009, vol. 2, no. 1, pp. 1-12. doi: <https://doi.org/10.2174/1874476110902010001>.
10. Kefalas T.D., Kladas A.G. Development of Distribution Transformers Assembled of Composite Wound Cores. *IEEE Transactions on Magnetics*, 2012, vol. 48, no. 2, pp. 775-778. doi: <https://doi.org/10.1109/TMAG.2011.2172976>.

Transactions on Magnetics, 2012, vol. 48, no. 2, pp. 775-778. doi: <https://doi.org/10.1109/TMAG.2011.2172976>.

11. Kefalas T.D., Magdaleno-Adame S. Techno-economic comparative evaluation of mixed and conventional magnetic wound cores for three-phase distribution transformers. *Electric Power Systems Research*, 2018, vol. 155, pp. 331-339. doi: <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2017.11.003>.

12. Hernandez I., Olivares-Galvan J.C., Georgilakis P.S., Cane-do J.M. A Novel Octagonal Wound Core for Distribution Transformers Validated by Electromagnetic Field Analysis and Comparison With Conventional Wound Core. *IEEE Transactions on Magnetics*, 2010, vol. 46, no. 5, pp. 1251-1258. doi: <https://doi.org/10.1109/TMAG.2010.2040623>.

13. Avdieieva E.A., Stavinskiy R.A. Mass and cost figures for spatial axial three-phase electromagnetic systems with circular and hexagonal forming contours of twisted magnetic core rods. *Electrical Engineering & Electromechanics*, 2014, no. 1, pp. 15-20. doi: <https://doi.org/10.20998/2074-272X.2014.1.02>.

14. Avdieieva E.A., Stavinskiy R.A. Watt loss in three-phase transformers with circular and hexagonal forming contours of twisted spatial magnetic core rods. *Electrical Engineering & Electromechanics*, 2014, no. 2, pp. 14-17. doi: <https://doi.org/10.20998/2074-272X.2014.2.02>.

Надійшла (Received) 17.01.2022

Прийнята (Accepted) 23.03.2022

Опублікована (Published) 01.06.2022

Авдеєва Олена Андріївна¹, к.т.н.,
Вахоніна Лариса Володимирівна², к.ф.-м.н., доц.,
Садовий Олексій Степанович², к.т.н.,
Ставинський Ростислав Андрійович¹, к.т.н., доц.,
Циганов Олександр Миколайович², к.т.н.,

¹ Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова,
54025, Миколаїв, пр. Героїв України, 9,
e-mail: e.avdeeva@ukr.net

² Миколаївський національний аграрний університет,
54020, Миколаїв, вул. Георгія Гонгадзе, 9,
e-mail: sadovuyos@mnau.edu.ua (Corresponding author)

How to cite this article:

Avdieieva O.A., Vakhonina L.V., Sadovoy O.S., Stavinskiy R.A., Tsyganov O.M. Improving the main indicators of transformers with twisted one-piece magnetic cores by changing the technology of circular winding turns formation. *Electrical Engineering & Electromechanics*, 2022, no. 3, pp. 3-7. doi: <https://doi.org/10.20998/2074-272X.2022.3.01>

O.A. Avdieieva¹, L.V. Vakhonina², O.S. Sadovoy²,
R.A. Stavinskiy¹, O.M. Tsyganov²

¹ Admiral Makarov National University of Shipbuilding,
9, Avenue Heroes of Ukraine, Mykolaiv, 54020, Ukraine.

² Mykolayiv National Agrarian University,
9, Georgiya Gongadze Str., Mykolaiv, 54020, Ukraine.

Improving the main indicators of transformers with twisted one-piece magnetic cores by changing the technology of circular winding turns formation.

Introduction. With the adoption of standards to reduce losses in transformers it is necessary to change the design of transformers that remain unchanged. Further energy saving is possible with the use of non-traditional technical solutions for the improvement of transformers. **Problem.** In order to reduce idle losses, the curved magnetic circuits of power transformers are carried out in the form of low-volume circuits. Windings are injected into assembled magnetic conductors by shuttle machines. The shuttle of windings provides technological gaps in winding windows, which results in an increase in size, metal capacity and losses. **Goal.** Rationale for transformer performance improvement by excluding process gaps in winding windows. **Methodology.** The definition of the change in transformer indicators is performed using optimization functions of the dimensionless indicators of the technological level. The adequacy of the functions is confirmed by the calculation of the mass of the electromagnetic system and the losses of the transformer. The figures of the compact analogue are calculated from the named serial analogue. **Results.** The result is a reduction in mass and a loss in the compactness of the transformer. **Originality.** The improvement of the indicators and the simplification of the winding technology are provided by a change in the design of insulating frames of winding coils. Winding on the rods is ensured by rotating the outer part of the composite insulating frame. **Practical significance.** Replacement the design of the windings of transformer with power of 40 kVA of 1000 V voltage class with a spatially twisted, small-dimensional magnetic conductor on a compact analogue leads to a reduction in mass and overall dimensions by 15 % and (17-18) %. Efficiency increases by 0.3 %. References 14, tables 2, figures 4.

Key words: twisted transformer, one-piece magnetic core, insulating frame, coil, winding.