ISSN 2409-9295 (print)

УДК 621.391 DOI: http://doi:10.20998/2409-9295.2019.20.18

НОВИЙ ПІДХІД ДО РОЗРОБКИ РЕАКТОРА ДЛЯ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖНИХ ПРОТИЗАВАДНИХ ФІЛЬТРІВ НА ВЕЛИКІ СТРУМИ

В. О. ПАВЛОВСЬКИЙ, О. М. ЮРЧЕНКО, Ю. О. ТВЕРДОХЛІБ

Інститут електродинаміки НАН України, Київ, УКРАЇНА

АНОТАЦІЯ. *Проаналізовано особливості виготовлення обмоток реактора для електромережних протизавадних фільтрів на великі струми (сотні і тисячі ампер), наприклад, з декількох U-подібних сегментів кожного витка, які вирубають з плоских металевих листів завтовшки 5…15 мм, відповідним чином вигинають, розміщують на осерді і кожні два сусідні сегменти з'єднують так, щоб утворити безперервну послідовність витків, які охоплюють кільцеве осердя. Також проаналізовані технічні рішення, в яких для підвищення гнучкості обмотки та спрощення технології намотування обмотки на тороїдальне осердя пропонується обмотку реактора виконувати у вигляді джгута ізольованих дротів. Показана складність та затратність виготовлення обмоток відомими способами. Запропоновано нову технологію виготовлення обмотки з використанням неізольованого багатожильного гнучкого дроту, причому діаметр кожного дроту у джгуті не перевищує 0,5 мм. В іншій конкретній формі виконання джгут формують з одного або декількох джгутів меншого діаметра, причому кожен джгут меншого діаметра складається з дротів без ізоляції і має діаметр від 1-го до 5-ти мм, а відношення діаметра джгута меншого діаметра до діаметра дротів без ізоляції, з яких складається джгут меншого діаметра, знаходиться в межах від 20 до 40 одиниць. Така технологія дозволяє значно спростити і здешевити процес намотування обмотки і з'єднання кожного кінця обмотки з наконечником, а також одночасно одержати надійне з'єднання кожного кінця обмотки з наконечником, яке забезпечує мінімальний перехідний опір між обмоткою та наконечником, і пришвидшити виготовлення реактора в цілому.*

Ключові слова: *обмотка реактора; джгут дротів; протизавадні фільтри*

A NEW APPROACH TO THE WORKING OUT OF A REACTOR FOR POWER LINE FILTERS

V. PAVLOVSKYI, O. YURCHENKO, Yu. TVERDOCHLIB

Institute of Electrodynamics of National Academy of Sciences of Ukraine. Kyiv, UKRAINE

ABSTRACT. *In the paper, it is analyzed features of production of reactor's windings for heavy duty power line filters (designed for currents of hundreds and thousands amperes), for example, of several U-shaped segments of every turn which are cut out of a flat metal sheet with thickness of 2…5 mm; these segments are being appropriately bended, placed on the core and every two adjacent segments connected to create a continuous sequence of turns that cover the core. Also it is analyzed technical solutions, in which it is suggested to carry out the reactor winding in the form of insulated wires harness, with the aim of winding flexibility increase and simplification of winding technology on the toroidal core. It is showed the complexity and high price of windings manufacture by known methods. It is proposed a new technology of winding creation with using of bare multicore flexible wire, the diameter of every wire in the wire harness not exceeding 0.5 mm. In other specific form of execution the wire harness is being formed of one or several wire harnesses of smaller diameter, every wire harness of smaller diameter consisting of non-insulated wires and having the diameter of 1 to 5 mm, the ratio between the diameter of wire harness of smaller diameter and the diameter of non-insulated wires which consist the wires harness of smaller diameter being within 20 to 40 units. This technology allows greatly simplify the process of winding's winding itself and connection of every winding's end with the tip, and simultaneously to get the reliable connection of every winding's end with the tip, providing the minimal transient resistance between the winding and the tip, and to speed up the process of manufacturing the reactor as a whole.*

Keywords: *reactor's winding; wires harness; power line filter*

Вступ

Реактори з осердям широко застосовуються у електромережних протизавадних фільтрах [1,2], у схемах перетворювачів напруги з активною корекцією коефіцієнта потужності [3,4] та у багатьох інших випадках.

Виготовлення реактора з трьома або чотирма обмотками які розраховані на протікання струму у сотні і тисячі ампер, потребує застосування спеціальної технології. Так, відома тороїдальна котушка, яка складається з осердя тороїдальної форми та з декількох U-подібних сегментів кожного витка; сегменти вирубають з плоских металевих листів завтовшки 5..15 мм, відповідним чином сегменти вигинають, розміщують їх на осерді і кожні два сусідніх сегменти з'єднують так, щоб утворити безперервну послідовність витків, які охоплюють кільцеве осердя [5].

© В. О. Павловський, О. М. Юрченко, Ю. О. Твердохліб, 2019

До недоліків цього технічного рішення можна віднести те, що таке виконання обмотки реактора потребує декількох складних та затратних етапів для її виготовлення.

Відомі також технічні рішення, в яких для підвищення гнучкості обмотки та спрощення технології намотування обмотки на тороїдальне осердя пропонується обмотку реактора виконувати у вигляді джгута ізольованих дротів.

Джгут може складатися з однакових провідників і мати спеціальну форму [6]. Недоліком цього технічного рішення є складність та затратність операцій по формуванню джгута, а також складність забезпечення надійного з'єднання кожного кінця обмотки з наконечником, яке повинне мати малий перехідний опір між кінцем обмотки та корпусом наконечника, щоб струм силою десятки-сотні ампер, який буде протікати по обмотці та наконечнику, не спричинив перегрівання останнього.

Джгут може складатися з однакових провідників типу «літцендрат», які оточують центральний провідник більшого діаметра, причому останній виконаний з гнучкого матеріалу і має заглиблення, розташовані по всій його довжині [7]. До недоліків цього технічного рішення також можна віднести складність та затратність операцій по формуванню джгута, а також складність забезпечення надійного з'єднання кожного кінця обмотки з наконечником, яке забезпечить малий перехідний опір між кінцем обмотки та корпусом наконечника.

Найбільш близьким технічним рішенням є реактор з тороїдальним осердям, який містить осердя кільцевої форми та обмотку, що складається з джгута ізольованих дротів типу «літцендрат» [8].

Недоліком цього технічного рішення також є складність забезпечення надійного з'єднання кожного кінця джгута ізольованих дротів з наконечником, яке має малий перехідний опір між кінцем обмотки та корпусом наконечника. Складність спричинена тим, що перед надяганням наконечника на кінець джгута з тонких ізольованих дротів, яким обмотують осердя, і обжиманням циліндричної частини наконечника навколо кінцевої частини джгута, кінець кожного з десятків і навіть сотень тонких дротів в джгуті потрібно ретельно очистити від ізоляції.

Очистку ізоляції в джгуті дротів типу «літцендрат» можна виконати зануренням кінця джгута у концентрований розчин кислоти або спеціального флюсу, витримуванням у цьому розчині впродовж декількох хвилин, наступних промивки, контролю якості та просушки кінця джгута. Такі операції є достатньо складними технологічно та потребують додаткових матеріальних затрат і додаткового обладнання для захисту дихальних шляхів і очей оператора від дії кислотних випаровувань (витяжна вентиляція тощо).

Якщо ізоляція кожного з дротів у джгуті дозволяє залужувати такий дріт без попередньої очистки, то для забезпечення малого перехідного опору між кінцем джгута і наконечником необхідно перед надяганням наконечника залудити кінець всього джгута, не допускаючи неякісного залужування окремих дротів джгута. Така операція також є достатньо складною технологічно, також потребує застосування витяжної вентиляції і не гарантує якісного залужування провідників всередині джгута.

Якщо ізоляцію буде очищено не повністю, або в процесі очистки деякі дроти будуть пошкоджені (їх діаметр зазвичай складає 0,05..0,15 мм, а загальна кількість дротів у джгуті може сягати декількох сотень), то це зменшить сумарну площу поперечного перерізу обмотки реактора і, відповідно, зросте щільність струму та перегрів наконечника. Враховуючи, що через кожну з трьох або чотирьох обмоток такого реактора протікає робочий струм у сотні та навіть тисячі ампер впродовж десятків годин, то згаданий перегрів може стати причиною серйозної аварії.

Мета роботи

Створення обмотки реактора, в якій завдяки використанню багатожильного неізольованого дроту досягається новий технічний результат - спрощення та здешевлення технології з'єднання кожного кінця обмотки з наконечником, яке забезпечить мінімальний перехідний опір між обмоткою та наконечником, а також пришвидшення виготовлення реактора в цілому.

Поставлена задача вирішується завдяки тому, що у відомому технічному рішенні, яке містить осердя тороїдальної форми і обмотку у вигляді джгута з дротів, джгут формують з неізольованих дротів, причому діаметр кожного дроту у джгуті не перевищує 0,5 мм [9].

В іншій конкретній формі виконання джгут формують з одного або декількох джгутів меншого діаметра, причому кожен джгут меншого діаметра складається з дротів без ізоляції, і має діаметр від 1-го до 5-ти мм, а відношення діаметра джгута меншого діаметра до діаметра дротів без ізоляції, з яких складається джгут меншого діаметра, знаходиться у межах від 20 до 40 одиниць.

Ще в одній конкретній формі виконання в якості джгута меншого діаметра використовують стандартний багатожильний гнучкий неізольований провід типу ПЩ (ТУ У 27.4-02970197-002:2006).

Обговорення результатів

Порівняльний аналіз відомих технічних рішень показує, що запропонований метод виготовлення обмотки реактора дозволяє значно спростити і здешевити технологію з'єднання кожного кінця обмотки з наконечником, яке забезпечить мінімальний перехідний опір, а також пришвидшити виготовлення реактора в цілому. Це пояснюється тим, що перед обжиманням наконечника не потрібно за допомогою складних технологічних операцій видаляти ізоляцію на кінці кожного з сотень тонких мідних дротів, або за

допомогою інших технологічних операцій залужувати кінці джгута з ризиком залишити не залуженими дроти всередині джгута.

Натомість на кінець джгута, який складається з неізольованих дротів діаметром не більше 0,5 мм, можна зразу після формування джгута надягти наконечник і обжати останнього за допомогою відповідного інструмента.

При обжиманні наконечника навколо джгута з тонких неізольованих дротів відбувається холодне зварювання цих дротів всередині наконечника, і вони перетворюються на монолітний стержень, який стає одним цілим з внутрішньою поверхнею циліндричної частини наконечника; отже, перехідний опір між кінцем обмотки і наконечником буде практично відсутній, а площа поперечного перерізу обмотки залишиться такою ж, якою вона була у джгуті до обжимання наконечника.

Крім того, формування джгута для обмотки реактора з тонких неізольованих дротів або з одного чи декількох джгутів меншого діаметра забезпечує дуже високу гнучкість джгута для обмотки реактора навіть при площі поперечного перерізу 50..100 мм^2, що відповідає безпечному протіканню через обмотку робочих струмів силою 200…500 ампер і більше. Така висока гнучкість обмоток реактора при невеликій довжині джгута для однієї обмотки (вона зазвичай складає 1,5…2 м) дозволяє легко намотувати їх на осердя кільцевої форми навіть вручну, без ризику механічного пошкодження крихкого феритового осердя, яке часто застосовують у таких реакторах.

Ізоляцію між витками однієї обмотки та ізоляцію між обмотками легко забезпечити відомими методами: застосувати гнучку тонкостінну трубку відповідного діаметра з полівінілхлориду або іншого ізоляційного матеріалу, яку потрібно натягнути на джгут перед його намотуванням на осердя, застосувати ізоляційні прокладки між витками однієї обмотки або між обмотками реактора тощо.

Висновки

Таким чином, формування джгута для обмотки реактора з тонких неізольованих дротів дозволяє досягти нового технічного результату – спростити та здешевити технологію з'єднання кожного кінця обмотки з наконечником, яке забезпечить мінімальний перехідний опір між кінцем обмотки і наконечником, а також пришвидшити виготовлення реактора в цілому.

Список літератури

1. **Ozenbauch, Richard, Lee.** EMI Filter Design. Second Ed. Marcel Dekker, Inc. New York, 2001.
2. **Wang, Shuo.** Developing Parasitic Cancellation Technologies to Improve EMI Filter Performance for Switching Mode Power Supplies / **S. Wang, R. Chen, J. Van Wyk,** et al. // *IEEE Trans. On Electromagnetic Compatibility*. – 2005. – 47, no. 4. – p. 921-929. – doi: 10.1109/TEMC.2007.902191.
3. **Гурін, В.К.** Зменшення кондуктивних завад на вході транзисторних перетворювачів з накопичувальним дроселем / **В.К. Гурін, В.О. Павловський, О.М. Юрченко** // *Технічна електродинаміка*. – 2016. - № 4. – С. 50-52.
4. **Wang, Shuo.** Common Mode Noise Reduction for Power Factor Correction Circuit With Parasitic Capacitance Cancellation / **Wang, Shuo, Lee, Fred** // *IEEE Trans. On Electromagnetic Compatibility*. – 2007. – 49, no. 3. – p. 537-542.
5. Patent JPS63272020(A) – 1988-11-09; Toroidal Coil Device and Manufacture Thereof, **Muranushi Kazuhiko**, H01F 17/06; H01F 27/28.
6. Patent JP2014053397(A) -2014-03-20; Multi-Thread Spiral Coil and Inductor Employing the Same; **Okura Noriyoshi, Iida Minoru, Saito Koichi**, H01F 17/06; H01F 27/28; H01F 5/00.
7. Patent JP2009181760(A) – 2009-08-13; Electric Wire, Litz Wire and Winding; **Ko Yoshio; Ikeda Chisato**, H01B 5/08; H01B 7/00; H01B 7/30; H01F 27/28.
8. Patent JP2017147288(A) -2017-08-24; Toroidal Coil; **Kanazawa Shuichi; Sonehara Makoto; Sato Toshiro**, H01F 17/06; H01F 27/28.
9. **В.О. Павловський**. Патент № 131325 на корисну модель «Обмотка реактора з осердям». МПК H01F 17/06. 10.01.2019. Бюл. № 1.

References (transliterated)

1. **Ozenbauch, Richard, Lee.** EMI Filter Design. Second Ed. Marcel Dekker, Inc. New York, 2001.
2. **Wang, Shuo.** Developing Parasitic Cancellation Technologies to Improve EMI Filter Performance for Switching Mode Power Supplies / **S. Wang, R. Chen, J. Van Wyk,** et al. // *IEEE Trans. On Electromagnetic Compatibility*. – 2005. – 47, no. 4. – p. 921-929. – doi: 10.1109/TEMC.2007.902191.
3. **Gurin, V.K., Pavlovskyi, V.O., Yurchenko, O.M.** Zmenshennia konduktyvnych zavad na vhodi tranzystornych peretvoryuvachiv z nakopychuvalnym droselem. *Techn. Electrodynamika*, 2016, 4, 50-52.
4. **Wang, Shuo.** Common Mode Noise Reduction for Power Factor Correction Circuit With Parasitic Capacitance Cancellation / **Wang, Shuo, Lee, Fred** // *IEEE Trans. On Electromagnetic Compatibility*. – 2007. – 49, no. 3. – p. 537-542.
5. Patent JPS63272020(A) – 1988-11-09; Toroidal Coil Device and Manufacture Thereof, **Muranushi Kazuhiko**, H01F 17/06; H01F 27/28.
6. Patent JP2014053397(A) -2014-03-20; Multi-Thread Spiral Coil and Inductor Employing the Same; **Okura Noriyoshi, Iida Minoru, Saito Koichi,** H01F 17/06; H01F 27/28; H01F 5/00.
7. Patent JP2009181760(A) – 2009-08-13; Electric Wire, Litz Wire and Winding; **Ko Yoshio; Ikeda Chisato**, H01B 5/08; H01B 7/00; H01B 7/30; H01F 27/28.
8. Patent JP2017147288(A) -2017-08-24; Toroidal Coil; **Kanazawa Shuichi; Sonehara Makoto; Sato Toshiro**, H01F 17/06; H01F 27/28.
9. **Pavlovskyi V.O.** Patent № 131325 «Obmotka reactora z oserdiam». H01F 17/06. 10.01.2019. Bul. № 1.

Інформація про авторів (About authors)

Павловський Володимир Олександрович – канд. техн. наук, ст. наук. співр., Інститут електродинаміки НАН України, Київ, Україна; e-mail: yuon@ied.org.ua.

Volodymyr Pavlovskyi – Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Institute of Electrodynamics of National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine; e-mail: yuon@ied.org.ua.

Юрченко Олег Миколайович – д-р техн. наук, зав. відділу Інституту електродинаміки НАН України, Київ, Україна; e-mail: yuon@ied.org.ua.

Oleh Yurchenko – Doctor of Technical Sciences, Head of Department of Institute of Electrodynamics of National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine; e-mail: yuon@ied.org.ua.

Твердохліб Юрій Олександрович – мол. наук. співр., Інститут електродинаміки НАН України, Київ, Україна; e-mail: yuon@ied.org.ua.

Yuriy Tverdohlib – junior Researcher, Institute of Electrodynamics of National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine; e-mail: yuon@ied.org.ua.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Павловський, В. О. Новий підхід до розробки реактора для електромережних протизавадних фільтрів на великі струми / **В. О. Павловський, О. М. Юрченко, Ю. О. Твердохліб** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: "Електричні машини та електромеханічне перетворення енергії*. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2019. – № 20 (1345). – С. 129-132. – doi:10.20998/2409-9295.2019.20.18.

Please, cite this article as:

Pavlovskyi, V., Yurchenko, O., Tverdochlib, Yu. A new approach to the working out of a reactor for power line filters. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: Electric machines and electromechanical energy conversion*. – Kharkiv: NTU “KhPI”, 2019, **20** (1345), 129-132, doi:10.20998/2409-9295.2019.20.18.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Павловский, В. А. Новый подход к разработке реактора для сетевых помехоподавляющих фильтров на большие токи / **В. А. Павловский, О. Н. Юрченко, Ю. А. Твердохлеб** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Электрические машины и электромеханическое преобразование энергии*. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2019. – № 20 (1345). – С. 129-132. – doi:10.20998/2409-9295.2019.20.18.

АННОТАЦИЯ. *Проанализированы особенности изготовления обмоток реактора для сетевых помехоподавляющих фильтров на большие токи (сотни и тысячи ампер), например, из нескольких сегментов U-подобной формы каждого витка, которые вырубают из плоских металлических листов толщиной 5…15 мм, соответствующим образом изгибают, размещают на сердечнике и каждые два соседних витка соединяют так, чтобы получить непрерывную последовательность витков, охватывающих кольцевой сердечник. Также проанализированы технические решения, в которых для повышения гибкости обмотки и упрощения технологии намотки обмотки на тороидальный сердечник предлагается обмотку реактора выполнять в виде жгута изолированных проводов. Показана сложность и затратность изготовления обмоток известными способами. Предложено новую технологию изготовления обмотки с использованием неизолированного многожильного гибкого проводника, причём диаметр каждого проводника в жгуте не превышает 0,5 мм. В другой конкретной форме исполнения жгут формируют из одного или нескольких жгутов меньшего диаметра, причём каждый жгут меньшего диаметра состоит из проводников без изоляции и имеет диаметр от 1 до 5 мм а отношение диаметра жгута меньшего диаметра к диаметру проводников без изоляции, из которых составлен жгут меньшего диаметра, находится в пределах от 20 до 40 единиц. Такая технология позволяет значительно упростить и удешевить процесс намотки, и соединение каждого конца обмотки с наконечником, а также одновременно обеспечить надёжное соединение каждого конца обмотки с наконечником, которое обеспечивает минимальное значение переходного сопротивления между обмоткой и наконечником, и ускорить изготовление реактора в целом.*

Ключевые слова: *обмотка реактора; жгут проводов; помехоподавляющий фильтр*

Надійшла (received) 15.06.2019