

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ СИСТЕМ ОДНОФАЗНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ И РЕАКТОРОВ С ВИТЫМИ МАГНИТОПРОВОДАМИ

Садовой А. С.

Николаевский национальный аграрный университет

Обоснованы технические решения изменения конструкций электромагнитных систем с целью уменьшения материалоёмкости и повышения надежности однофазных трансформаторов и реакторов с витыми магнитопроводами. Указанные изменения заключаются в использовании совмещённых витых элементов трапецевидного сечения, формирующих шестигранные сечения стержней. Достигается повышение прочности изоляции при увеличении изгиба витков катушек в угловых зонах с 90° до 120° , а также создаётся возможность снижения массоёмкостных показателей и потерь активной мощности названных индукционных статических устройств уменьшением средней длины витков обмоток. Определены задача и метод оптимизационного сравнительного анализа вариантов однофазных электромагнитных систем указанных устройств.

Постановка проблемы. В различных системах электрооборудования, радиотехнической и электронной аппаратуры широко применяются однофазные трансформаторы и реакторы (дрессели) [1, 2].

Существует множество различных конструкций индукционных статических устройств (ИСУ). Которые имеют как миниатюрные так и гигантские размеры для транспортировки которых требуются специальные железнодорожные платформы или мощные плавучие средства [1-3].

К настоящему времени конструктивно-структурные решения состоящих в производстве указанных ИСУ с "традиционными" прямоугольными конфигурациями сечений магнитопроводов [2] достигли практического предела развития [3].

В "традиционных" конструкторско-технологических решениях активной части трансформаторов малой, средней и большой мощности [1, 2] структуры планарных и пространственных электромагнитных систем (ЭМС) сформированы плоскими параллельными, а также цилиндрическими образующими поверхностями (ОП) стержней и обмоточных окон [4].

Плоские ОП планарных ЭМС массового выпуска обеспечивают низкую трудоемкость производства шихтованных и витых магнитопроводов на основе фактора идентичности ширины слоев электротехнической стали (ЭТС) в сечении стержней, но создают прямоугольную форму витков катушек обмоток. Прямоугольная форма повышает среднюю длину витка и снижает прочность изоляции при малом радиусе прямоугольного изгиба проводника [3]. Криволинейная форма витков катушек с цилиндрическими ОП уменьшает среднюю длину витка, но значительно усложняет и удорожает технологию производства магнитопроводов.

Поэтому задача дальнейшего усовершенствования однофазных ИСУ различного назначения является важной и актуальной.

Анализ последних достижений и публикаций. Традиционными способами повышения технического уровня ЭМС электромеханических устройств являются использование усовершенствованных электротехнических материалов и технологий изготовления, а также оптимизационное проектирование. На основе освоения производства новой анизотропной и аморфной рулон-

ных ЭТС осуществляется массовый выпуск витых магнитопроводов с минимальной толщиной слоёв ЭТС и достигнуто снижение потерь однофазных ИСУ. Технология навивки также снижает трудоёмкость производства магнитопроводов применением средств комплексной автоматизации.

Цель статьи. Обосновать технические решения усовершенствования однофазных трансформаторов и реакторов с витым магнитопроводом.

Основные материалы исследования. Из [4, 5] известны конструкции как однофазных, так и трёхфазных ЭМС которые могут быть усовершенствованы путём преобразования образующих контуров (ОК) стержней обмоточных окон и обмоточных катушек витых магнитопроводов.

Согласно конструкции и способу изготовления ЭМС, который предложен в [6], стержни шестигранного сечения (рис. 1а) и магнитопровод в целом состоят из секций, которые навиваются из ленты ЭТС изменяющейся ширины. В свою очередь такая лента $aa'b'b$ выполняются "косым" разделением cd прямоугольной полосы на две симметричные части $acdb$ и $ca'b'd$. (рис. 1б).

Шестигранные сечения стержней уменьшают среднюю длину витка и повышают надежность обмоточных катушек относительно аналога с прямоугольным сечением увеличением угла изгиба витков с 90° до 120° .

На рис. 2. приведены примеры традиционных магнитопроводов с четырёх граням сечением стержней которые могут быть преобразованы согласно [6] до структур с шестигранным сечением.

Также возможно усовершенствование ИСУ изменением числа и положений в пространстве активных элементов, например использованием трех стержней магнитопровода вместо двух (рис. 3).

Варианты однофазной ЭМС с трехстержневым витым разрезным магнитопроводом отличаются четырёхгранными (рис. 3, а) и шестигранными (рис. 3, б) сечениями стержней и трехсекционной первичной (вторичной) обмоткой. Катушки обмоток ЭМС (рис. 3) выполняются на каркасах отдельно от магнитопроводов аналогично "традиционным" планарным ЭМС и лишены известных недостатков не плотности укладки и повышения длины витка тороидальной намотки [1, 2, 4].

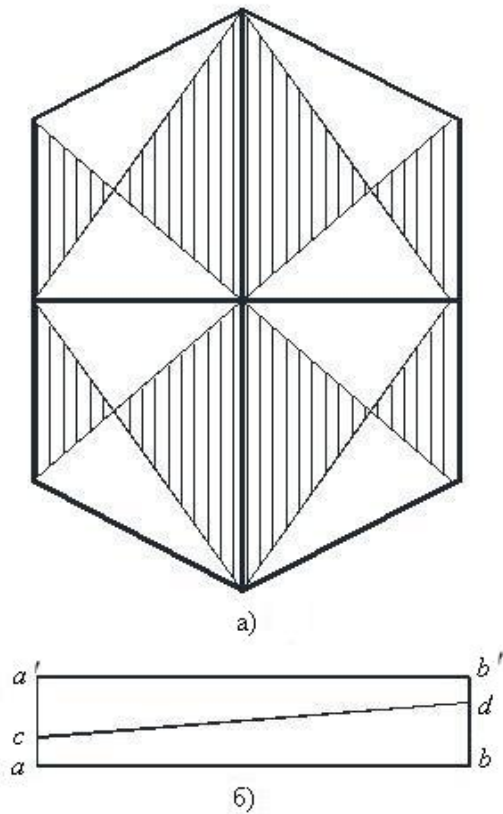


Рисунок 1 – Поперечное сечение магнитопровода из четырёх секций (а) и схема разделения ленты стали для навивки секции (б)

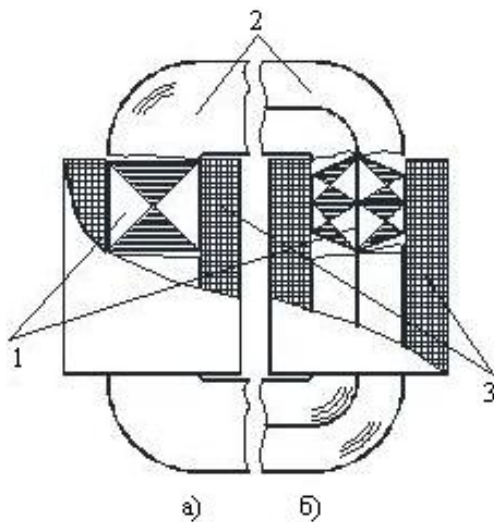


Рисунок 2 - Примеры традиционных витых магнитопроводов с четырёхгранным (а) и шестигранным (б) сечением стержней: 1 – стержень; 2 – ярмо; 3 – катушка обмотки

Для решения задач практического использования определённого варианта однофазных трансформаторов (ОТ), целесообразно выполнять сравнительный анализ, который удовлетворял бы условию универсальности. [7-10].

Оптимизационный сравнительный анализ вариантов ЭМС может быть осуществлён при соблюдении принципа электромагнитной эквивалентности,

на основе определения и сопоставления экстремумов (минимумов) целевых функций (ЦФ) соответствующих основным показателям технического уровня и специальным управляемым переменным (УП).

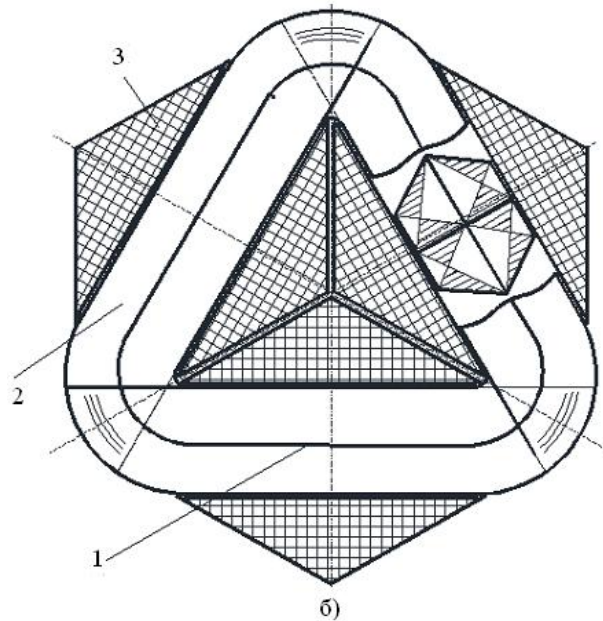
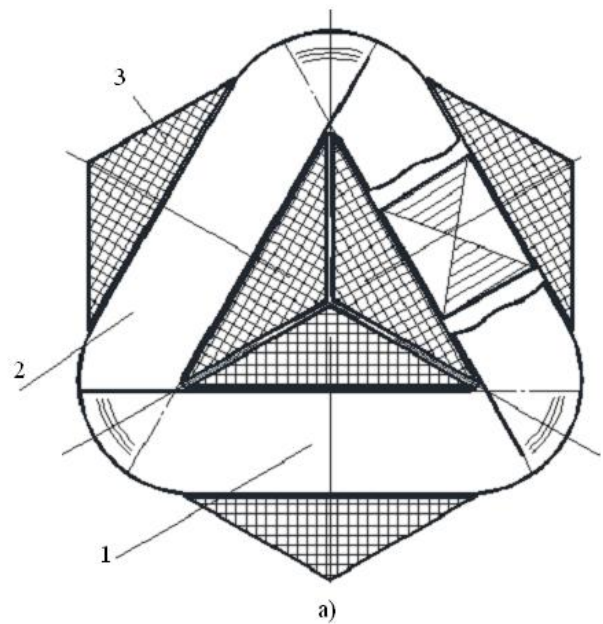


Рисунок 3 - Варианты конструктивных схем (в поперечном сечении) однофазной пространственной радиальной электромагнитной системы с витыми магнитопроводами с четырёхгранными (а) и шестигранными (б) поперечными сечениями:

1 – стержень; 2 – ярмо; 3 – катушка обмотки

УП включают электромагнитные нагрузки и элементы геометрии, соответствующие конкретным конфигурациям катушек обмоток и стержней магнитопроводов [2]. Одними из взаимонеприемлемых геометрических УП оптимизации традиционных ЭМС [1, 2] являются соотношение сторон прямоугольного сечения и диаметр образующего контура секционированного "ступенчатого" сечения стерж-

ня. Указанное несоответствие затрудняет объективный сравнительный анализ различных структурных вариантов ЭМС.

Для сравнительного анализа рассматриваемых вариантов в соответствии с принципом электромагнитной эквивалентности [10] принимаются специальные относительные УП являющиеся универсальными для вариантов сравниваемых ЭМС. На основе ЦФ с указанными УП установлены преимущества однофазных ЭМС "традиционной" и "не традиционной" конструкции [11].

Выводы. Обоснованы технические решения повышения ПТУ на основе использования "безотходной" технологии производства магнитопроводов. Сравнительный анализ для выбора наилучшей ЭМС с точки зрения минимумов капитализованных затрат, а также потерь возможен на основе метода структурной оптимизации с частными или интегральными критериями.

Список використаних джерел

1. Бальян Р. Х. Трансформаторы для радиоэлектрики / Р. Х. Бальян. – М.: Сов. Радио, 1971. – 720 с.
2. Белопольский И. И. Расчет трансформаторов и реакторов малой мощности. / И. И. Белопольский, Е. И. Каретникова, Л. Г. Пикалова – М.: Энергия, 1973. – 399 с.
3. Ставинский А. А. Генезис структур и предпосылки усовершенствования трансформаторов и реакторов преобразованием контуров электромагнитных систем (системы с шихтованными и витыми магнитопроводами) / А. А. Ставинский // Электротехника і електромеханіка. – 2011. – № 6 – С. 33–38.
4. Тихомиров П. М. Расчет трансформаторов: учебное пособие для вузов / П. М. Тихомиров. – 5-е изд. перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1986. - 528 с.
5. Ставинский А. А. Формирование структур статических электромагнитных систем на основе нетрадиционных образующих контуров / А. А. Ставинский, Р. А. Ставинский, Е. А. Авдеева // Электротехнічні та комп'ютерні системи. – 2013. – № 11(87). - С. 74–81.
6. Патент на корисну модель № 65005. Україна. Магнітопровід індукційного статичного пристрою / А. А. Ставинський, Р. А. Ставинський, О. А. Авдєєва, О. С. Садовий. - № u201104986; заяв. 20.04.11; опуб. 25.11.11, бюл. № 22. - 3 с.
7. Wu C. J. Minimum weight EI core and pot core inductor are transformer designs / C. J. Wu, F. C. Lee // IEEE Trans Magn - Vol. 16. - № 5. – P. 755 – 758.
8. Eleftherios I. Amoialis Methodology for the optimum design of power transformers using minimum number of input parameters / Eleftherios I. Amoialis, Pavlos S. Georgilakis, Member, IEEE, Erion Litsos // ICEM. – 2006. – P. 470.
9. Andersen O. W. Optimized design of electric power equipment / O. W. Andersen // Computer Applications in Power. - Jan. 1991. - Vol. 4. - № 1. - P. 11-15.
10. Ставинский А. А. Метод сравнительного анализа статических электромагнитных систем, от-

личающихся структурой и конфигурацией элементов / А. А. Ставинский, Р. А. Ставинский, Е. А. Авдеева // Электротехнічні та комп'ютерні системи. – 2014. – № 14 (90). – С. 53 – 60.

11. Садовой А. С. Сравнительный анализ масстоимостных показателей однофазных трансформаторов и реакторов с прямоугольными и шестигранными сечениями стержней стержневого витого магнитопровода / А. С. Садовой // Вісник аграрної науки Причорномор'я. – 2016. – № 4. – С. 143–154.

Анотація

УДОСКОНАЛЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ СИСТЕМ ОДНОФАЗНИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ І РЕАКТОРІВ З ВИТИМИ МАГНІТОПРОВОДАМИ

Садовий О. С.

Обґрунтовано технічні рішення зміни конструкції електромагнітних систем з метою зменшення матеріалоємності та підвищення надійності однофазних трансформаторів і реакторів з витими магнітопроводами. Зазначені зміни полягають у використанні суміщених витих елементів трапецієподібного перерізу, які формують шестигранні перетини стрижнів. Досягається підвищення міцності ізоляції при збільшенні вигину витків котушок в кутових зонах з 90° до 120°, а також створюється можливість зниження масовартісних показників і втрат активної потужності названих індукційних статичних пристроїв зменшенням середньої довжини витків обмоток. Визначено завдання і метод оптимізаційного порівняльного аналізу варіантів однофазних електромагнітних систем зазначених пристроїв.

Abstract

IMPROVEMENT OF ELECTROMAGNETIC SYSTEMS OF ONE-PHASE TRANSFORMERS AND REACTORS WITH WIRELESS MAGNETIC WIRES

A. Sadovoy

Technical solutions for changing the designs of electromagnetic systems are substantiated with the aim of reducing the material capacity and increasing the reliability of single-phase transformers and reactors with twisted magnetic circuits. The specified changes consist in use of the combined twisted elements of a trapezoidal section forming hexagonal cross-sections of cores. An increase in the strength of insulation is achieved with an increase in the bending of coil turns in the corner zones from 90° to 120°, and it is also possible to reduce the mass-cost characteristics and the loss of active power of the named induction static devices by reducing the average length of the windings of the windings. The task and method of optimization comparative analysis of the variants of single-phase electromagnetic systems of these devices are determined.