

Развитие конструкций трансформаторов для встраивания в сферические и цилиндрические оболочки ограниченного диаметра (анализ известных аналогов)

УДК 621.313

Авторы: Ставинский Р.А., к.т.н., доц., Ставинская Е.А., Садовой А.С.

Национальный университет кораблестроения им. адм. Макарова, г. Николаев, Украина

К компонентам систем электрооборудования и автоматики подводных и авиационно-космических аппаратов, в частности электромеханическим, предъявляются жесткие требования по массогабаритным и энергетическим показателям, а также надежности [1–3]. Указанные компоненты размещаются в сферических или трубчатых цилиндрических корпусах–оболочках ограниченного диаметра. Габаритными и металлоемкими электромеханическими элементами автономной энергетики являются трансформаторы. Трехфазные трансформаторы с трехфазными магнитопроводами устанавливаются в сферических оболочках, а для размещения в трубчатых оболочках используются трехфазные группы с тороидальными однофазными трансформаторами [4].

Наиболее приспособленными для размещения в ограниченных, в том числе цилиндрических и сферических, объемах являются трансформаторы с пространственными электромагнитными системами (ЭМС) одним из однофазных вариантов которых являются тороидальные (рис. 1) [5].

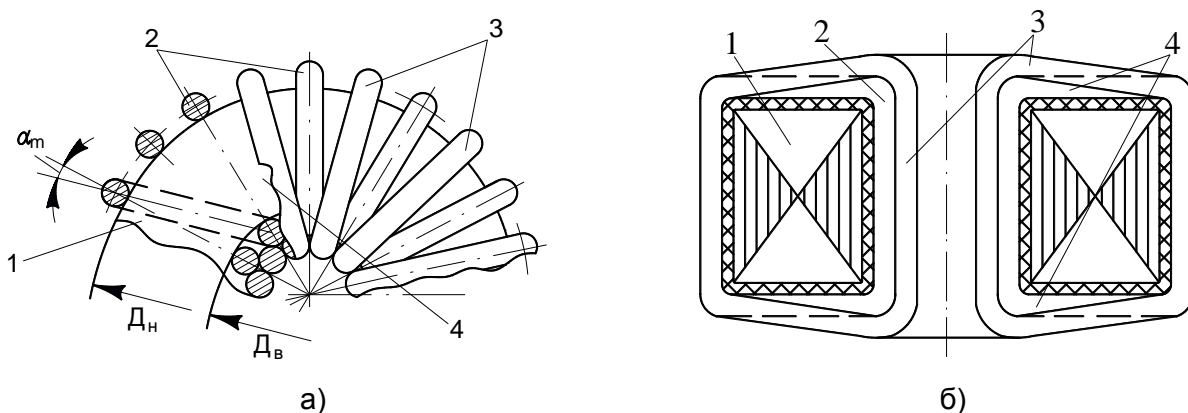


Рис.1. Конструктивно–технологические особенности тороидальной

электромагнитной системы: 1 – магнитопровод; 2 – витки первого (внутреннего) слоя обмотки; 3 – витки второго слоя обмотки; 4 – пустое пространство.

Особенностью используемых для установки в трубчатые оболочки однофазных трансформаторов с тороидальной ЭМС [5] является неплотная укладка витковых проводников над торцевыми поверхностями кольцевого магнитопровода. Наличие полых пространств между витками (рис.1) обусловлено различием величин диаметров  $D_{н}$  и  $D_{в}$  кольцевого магнитопровода и учитывается при расчетах трансформаторов увеличенными на 8...15% значениями коэффициента укладки обмотки. Указанная неплотность, а также смещения на угол  $\alpha_m$  противоположных торцевых участков витка (рис. 1,а), повышают среднюю длину витка, потери и материалоемкость обмотки. Вызванное участками

полого пространства ухудшение теплоотвода, а также малый радиус изгиба на  $90^\circ$  угловых зон внутренних витков, снижают надежность тороидальных трансформаторов (рис. 1).

Трехфазные пространственные аксиальные ЭМС (рис. 2) трансформаторов с улучшенными массогабаритными показателями и пониженными потерями в стали выполняются на стыковых комбинированных (шихтованные стержни, витые ярма) и витых (с двухконтурными фазными элементами) магнитопроводах. Наилучшими массогабаритными показателями (вторая половина прошлого века) отличалась ЭМС (рис. 2, а) [6], а ЭМС (рис. 2, б) использована в трансформаторах ТСЗМ верхнего предела мощности (40 кВ·А, 63 кВ·А, 100 кВ·А – с улучшенными массогабаритными характеристиками) морской серии [7].

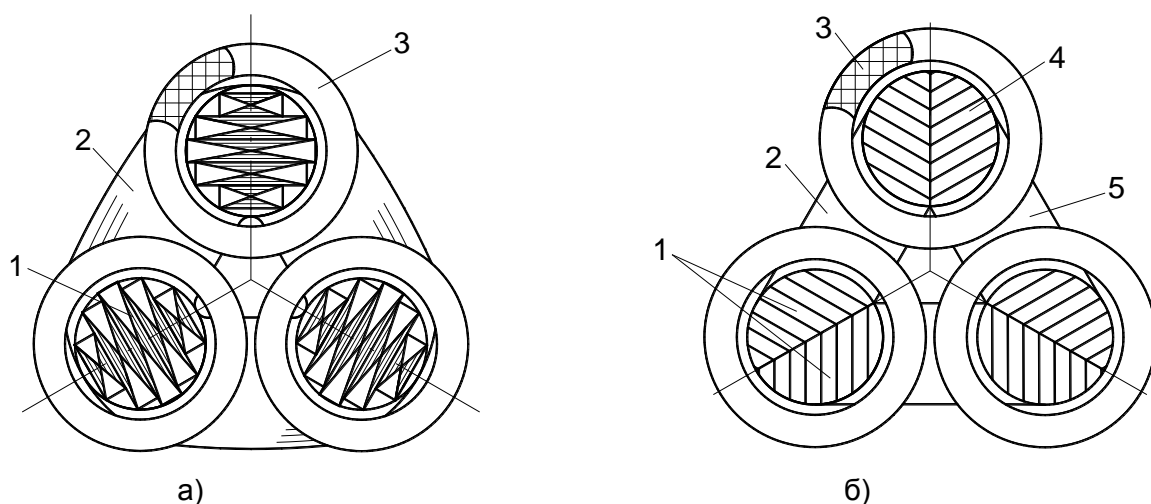


Рис. 2. Конструктивные схемы (в поперечном сечении) трехфазных пространственных электромагнитных систем со стыковым (а) и витым (б) магнитопроводами и цилиндрическими образующими поверхностями стержней и обмоточных окон: 1 – стержень; 2 – ярмо; 3 – катушка обмотки; 4 – стержневой участок фазного элемента магнитопровода; 5 – ярменный участок фазного элемента магнитопровода.

В "традиционных" конструкторско–технологических решениях активной части трансформаторов малой, средней и большой мощности [5,6] структуры планарных и пространственных ЭМС сформированы плоскими параллельными, а также цилиндрическими образующими поверхностями (ОП) стержней и обмоточных окон [8]. 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 (внутренние витки на рис. 1, б) повышает среднюю длину витка и снижает прочность изоляции при малом радиусе прямоугольного изгиба проводника [6]. Криволинейная форма витков катушек с цилиндрическими ОП (рис. 2) уменьшает среднюю длину витка, но значительно усложняет и удорожает технологию производства магнитопроводов. Технология усложняется

необходимостью набора сечений стержней (рис. 2, а) и ярем (в планарных магнитопроводах) из секций ЭТС различной ширины, а также необходимостью навивки фазных элементов (рис. 2, б) из ленты (рулона) ЭТС измеряющейся ширины [6]. Другим недостатком планарных и пространственных ЭМС с цилиндрическими ОП является изменяющаяся (на рис. 2 – в радиальном направлении) площадь и неравномерное заполнение обмоточного окна проводящими и изоляционно–конструкционными материалами обмотки, что повышает металлоемкость и потери в стали магнитопровода. Также наиболее востребованные в традиционном производстве планарные ЭМС однофазных и трёхфазных трансформаторов не удовлетворяют условиям компактного встраивания в цилиндрические и сферические корпуса и характеризуются массогабаритными показателями не соответствующими требованиям объектов специальной техники [1–4].

Нетрадиционным техническим решением повышения компактности трехфазного трансформатора является использование пространственной аксиальной ЭМС [8] с секторными образующими контурами стержней обеспечивающими параллельность стенок обмоточных окон (рис. 3, а). Удельные показатели трансформатора с подобной ЭМС превосходят показатели аналогов (рис. 2). Однако витой стыковый магнитопровод ЭМС (рис. 3, а), как и магнитопровод ЭМС (рис. 2,а), содержит ярма с плоскими параллельными стыковыми и внешними торцевыми поверхностями, что не вполне соответствует сферической форме.

Повышенным заполнением описанной окружности и сферического объема при встраивании отличается исходное техническое решение трехфазного трансформатора [9] с внешним кольцевым ярмом и прямоугольным сечением стержней шихтованного стыкового магнитопровода (рис. 3, б). Первый трехфазный трансформатор схемы (рис. 3, б) не нашел дальнейшего практического применения в связи со значительными отходами ЭТС при изготовлении магнитопровода и последующей разработкой трехфазного планарного магнитопровода шихтованного "впереплет" из прямоугольных листов ЭТС [9].

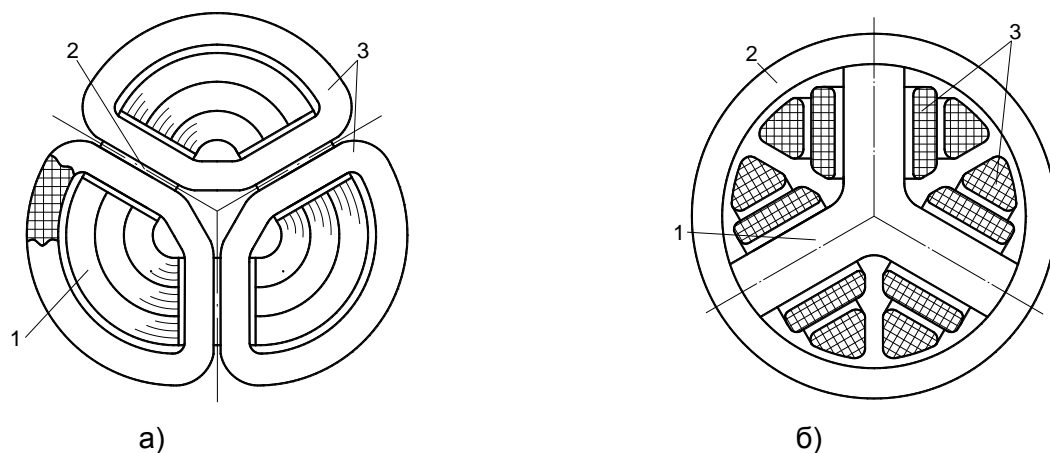


Рис 3. Конструктивные схемы (в поперечном сечении) трехфазных пространственных аксиальной (а) и радиальной (б) электромагнитных систем повышенной компактности:

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

**Выводы.** 1. Существующие технические решения электромагнитных систем однофазных и трехфазных трансформаторов не удовлетворяют в достаточной степени требованиям компактности и надежности. 2. Необходимы постановка и решение задач разработки встраиваемых в сферические и цилиндрические объемы трансформаторов для объектов специальной техники.

**Литература:** 1. Милн П. Подводные инженерные исследования / П.Милн–Л.: Судостроение, 1984.–340с. 2. Куландин А.А. Энергетические системы космических аппаратов / А.А. Куландин, С.В. Тимашов, В.П. Иванов – М.: Машиностроение,1972.–427с. 3. Блинцов В.С. Проблемы и пути развития электрооборудования и автоматики подводных аппаратов/В.С. Блинцов//Проблеми автоматики та електрообладнання транспортних засобів : Матеріали Всеукраїнської наук.-техн. конф. з міжн. участю. – Миколаїв: НУК, 2007.–с.257–269. 4. Ставинский А.А. О комплектации электроэнергетических систем объектов подводной и авиационно–космической техники специальными трансформаторами / А.А. Ставинский, В.К. Чекунов // Проблеми автоматики та електрообладнання транспортних засобів: Матеріали Всеукраїнської наук.–техн. конф. з міжн. участю. – Миколаїв: НУК, 2010.–с. 51–52. 5. Белопольский И.И. Расчет трансформаторов и реакторов малой мощности. / И.И. Белопольский, Е.И. Каретникова, Л.Г.Пикалова – М.: Энергия,1973.–399с. 6. Тихомиров П.М. Расчет трансформаторов: учебное пособие для вузов.–5–е изд. Перераб. и доп. / П.М. Тихомиров. – М.: Энергоатомиздат, 1986.–528с. 7. Техническое описание и инструкция по эксплуатации ОБТ.170.240.–М.:Информэлектро, зак. 1265. 8. Ставинский А.А. Классификации структур и элементов электромагнитных систем электромеханических и индукционных статических преобразователей / А.А. Ставинский, Р.А. Ставинский // Електротехніка і електромеханіка.–2008.–№2.с.53–58. 9. Веселовский О.Н. У истоков электромеханики. Столетие трансформатора/О.Н. Веселовский, И.П. Копылов // Електротехніка.–1976.–№4.–с.1–7.