

## ГЕНЕЗИС СТРУКТУР И ПРЕДПОСЫЛКИ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТРАНСФОРМАТОРОВ И РЕАКТОРОВ ПРЕОБРАЗОВАНИЕМ КОНТУРОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ СИСТЕМ (СИСТЕМЫ С ШИХТОВАННЫМИ И ВИТЫМИ МАГНИТОПРОВОДАМИ)

*Показано можливість удосконалення трансформаторів і реакторів на основі просторових структур аксиальних та радіальних електромагнітних систем, а також шести і восьмигранних твірних контурів котушок обмоток та перерізів стержнів шихтованих і витих магнітопроводів.*

*Показаны возможности усовершенствования трансформаторов и реакторов на основе пространственных структур аксиальных и радиальных электромагнитных систем, а также шести и восьмигранных образующих контуров катушек обмоток и сечений стержней шихтованных и витых магнітопроводов.*

### ВВЕДЕНИЕ

Трансформаторы и реакторы, как главные элементы систем распределения энергетических потоков, подлежат непрерывному усовершенствованию и развитию. Согласно [1] потери электроэнергии в распределительных сетях Украины составляют до 20 % мощности отпущенной генерирующими станциями. Значительную долю этой части составляют потери в трансформаторах I-II габаритов классов напряжения 6-35 кВ. Актуальность решения проблемы эффективной эволюции названных индукционных статических устройств (ИСУ) обусловлена современными требованиями энергоресурсосбережения при непрерывном процессе расширения объемов производства, распределения и потребления электроэнергии. Одним из ключевых направлений решения этой проблемы является опережающее развитие ИСУ на основе имеющегося научно-технического задела и оптимизации структур их электромагнитных систем (ЭМС) [2]. Целью структурной оптимизации ЭМС является обеспечение конкурентоспособности вновь разрабатываемых ИСУ повышением количественных относительных показателей технического уровня по сравнению со всеми известными аналогами [3].

В [4, 5] рассмотрены особенности и развитие традиционных технических решений активной части ИСУ. Показаны необходимость преобразования структур статических ЭМС и предпосылки повышения электродинамической устойчивости обмоток, а также снижения металлоемкости комбинированных стыковых магнітопроводов на основе многоплоскостных образующих поверхностей (ОП) стержней и обмоточных окон [4].

Целью настоящей работы – продолжении [5] является анализ технических решений усовершенствования ИСУ использованием нетрадиционных структур ЭМС с шихтованными и витыми магнітопроводами.

### ПРЕОБРАЗОВАНИЕ СТРУКТУР ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ СИСТЕМ

В [5] представлены аксиальные пространственные ЭМС с комбинированными (ленточно-пластинчатыми) стыковыми магнітопроводами отличающимися шести-, а также девятигранными образующими контурами (ОК) катушек обмоток и сечений стержней.

Шестигранные конфигурации ОК позволяют усовершенствовать и другие известные ЭМС и создать их новые структуры, варианты которых представлены на рис. 1.

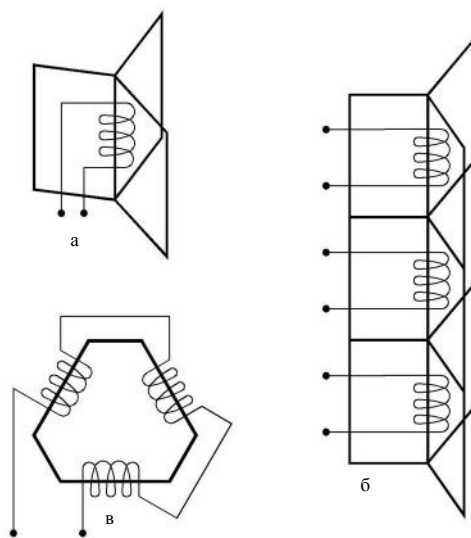


Рис. 1. Нетрадиционные структурные схемы пространственных однофазных (а, в) и трехфазной (б) электромагнитных систем

Вариантами изменения известных структур с целью усовершенствования ИСУ также является преобразование круговых контуров периферии магнітопровода и обмоточных окон симметричной радиальной ЭМС [5, 6] до конфигураций образованных равносторонними шестигранниками и ромбами (рис. 2).

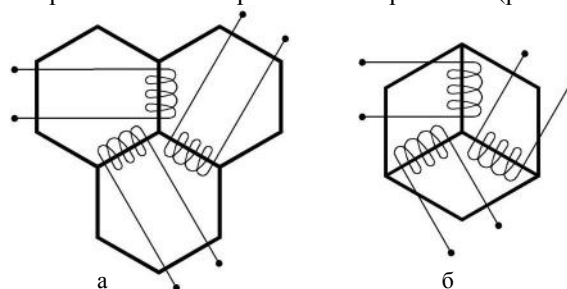


Рис. 2. Варианты радиальной структурной схемы трехфазной пространственной электромагнитной системы с обмоточными окнами в виде равностороннего шестигранника (а) и ромба (б)

### НЕТРАДИЦИОННЫЕ СТРУКТУРЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ СИСТЕМ С ШИХТОВАННЫМИ МАГНИТОПРОВОДАМИ

Преимуществами использования в ЭМС ИСУ пластинчатых (листовых) элементарных слоев электротехнической стали (ЭТС) является возможность их

шихтовки "впереплет", что согласно [6-8], повышает монолитность и снижает потери в разъёмах магнитопроводов, а также снижает ток холостого хода трансформаторов.

Структурам (рис. 1,а и б) соответствуют пространственные ЭМС (рис. 3,а) отличающиеся трехконтурными ярами пространственных магнитопроводов [9] и многоплоскостными ОП которые пересекаются под углами  $120^\circ$  и создают шестигранные ОК стержней и катушек обмотки.

Многоплоскостные ОП в магнитопроводе ЭМС (рис. 3,а) обеспечивают максимальный коэффициент заполнения шестигранного ОК сечением стержня  $K_{КШ} \approx 1$  идентичными пластинами (листами) ЭТС, а также повышение электродинамической устойчивости ИСУ [5]. Особенностью сборки магнитопровода ЭМС (рис. 3,а) является смещение соседних слоев ЭТС на величину  $\Delta_{СМ}$  (рис. 4,а) по ширине секции (пакета)  $a_c$  при традиционных схемах шихтовки "впереплет" (рис. 3,б-д) каждой из трех составляющих секций ромбического сечения. Симметричное положение в трех плоскостях по окружности контуров яра, а также взаимное смещение соседних слоёв ЭТС, существенно увеличивают площадь поверхностей охлаждения магнитопровода ЭМС (рис. 3,а).

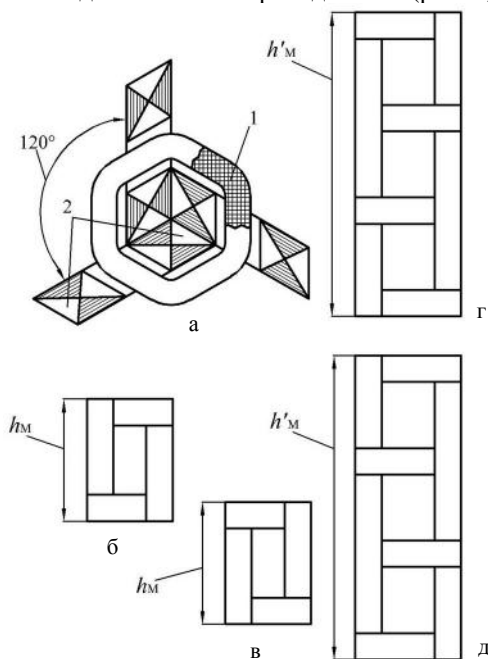


Рис. 3. Конструктивная схема (в поперечном сечении) аксиальной электромагнитной системы с трехконтурным яром (а), а также однофазный (б, в) и трехфазный (г, д) варианты шихтовки секций её магнитопровода: 1 – катушка обмотки; 2 – секция магнитопровода

Величина смещения  $\Delta_{СМ}$  и коэффициент увеличения площади  $K_{ПС}$  периферийных поверхностей ярем по высоте  $h_M$  (рис. 3,б и в) или  $h'_M$  (рис. 3,г и д) магнитопроводов структур (рис. 1,а и б) за счет смещения слоёв ЭТС составляют:

$$\Delta_{СМ} = \delta_{ЭТС} \operatorname{tg} 30^\circ = 0,5774 \delta_{ЭТС}, \quad (1)$$

$$K_{ПС} = \frac{P_{ПЯР}}{P_{ПЯ}} = \frac{n_{СС} \delta_{ЭТС} + n_{СС} \Delta_{СМ}}{n_{СС} \delta_{ЭТС}} = 1,5774,$$

где  $\delta_{ЭТС}$  и  $n_{СС}$  – толщина элементарного слоя и число слоёв в пакете (секции);  $P_{ПЯР}$  и  $P_{ПЯ}$  – площади пери-

ферийных поверхностей элементов ярем соответственно ромбического (рис. 4,а) и прямоугольного (рис. 4,б) сечений.

В случае сборки секций пространственного броневго магнитопровода со смещением на величину  $\Delta'_{СМ}$  элементарных пакетов из нескольких элементарных слоёв общей шириной  $\Delta_{П}$ , в стержнях образуются аксиальные каналы охлаждения (рис. 4,в).

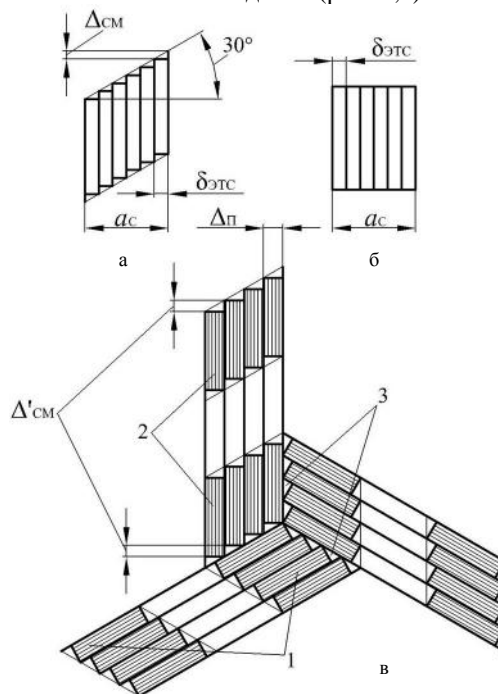


Рис. 4. Конфигурация сечения (а) участков ярем с шестиплоскостными образующими поверхностями и традиционная конфигурация сечения ярма (б) магнитопровода с параллельными образующими плоскостями, а также конструктивная схема пространственного аксиального броневго магнитопровода с каналами охлаждения: 1 – секция; 2 – секционный пакет; 3 – канал охлаждения

Конфигурации схем (рис. 1,в) и (рис. 2,а и б) обеспечивают формообразование ЭМС (рис. 5,а, рис. 5,б и рис. 6) с безотходными и шихтованными "впереплет" магнитопроводами.

Однофазная (рис. 5,а) и трехфазная (рис. 5,б) ЭМС предполагают сборку соответственно трехстержневого однофазного и симметричного пространственного трехфазного магнитопроводов по схемам (рис. 5,в и г) и (рис. 5,д и е) из идентичных слоев (пластин) ЭТС шевронной конфигурации, что упрощает и снижает трудоемкость производства ИСУ.

Конструкция активной части однофазного ИСУ (рис. 5,а) является альтернативой известной тороидальной ЭМС отличающейся недостатком неплотной укладки и увеличения длин участков витков над торцевыми поверхностями кольцевого магнитопровода. Указанный недостаток обусловлен различием диаметров наружного и внутреннего контуров укладки витков, учитывается увеличенным на 8-15 % коэффициентом укладки [6] и повышает среднюю длину витка при снижении надежности непрерывной тороидальной обмотки. ЭМС (рис. 5,а) лишена отмеченных недостатков и содержит обмотку с укладкой витков соответствующей обмотке планарной ЭМС сформированной с трапециевидно-треугольной формой сечения катушек.

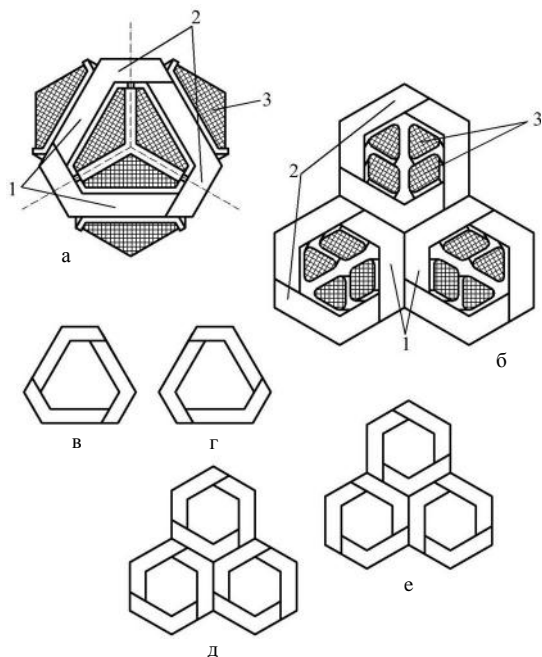


Рис. 5. Конструктивные схемы (в поперечном сечении) однофазной (а) и трехфазной (б) радиальных электромагнитных систем с магнитопроводами из шевронных элементов, а также однофазный (в, г) и трехфазный (д, е) варианты шихтовки шевронных элементов: 1 – стержень; 2 – ярмо; 3 – катушка обмотки

Одним из показателей технического уровня ИСУ [3] является коэффициент использования геометрического (контурного объема) который, в зависимости от назначения ИСУ, может быть сферическим (рис. 6), цилиндрическим или прямоугольным,

$$K_{ГС(Ц)} = V_A / V_{С(Ц)}, \quad (2)$$

где  $V_A$  – объем активной части ИСУ в пространстве;  $V_{С(Ц)}$  – объем сферы (цилиндра) в которую вписана ЭМС ИСУ.

Структурные схемы представленные на рис. 1, в и рис. 2, б позволяют создать компактные однофазную (рис. 5, а) и трехфазную (рис. 6) ЭМС. Такие ЭМС максимально приспособлены для встраивания в сферические или трубчатые цилиндрические оболочки ограниченного диаметра системных блоков специального оборудования, в частности авиационно-космического, подводного или погружного насосно-бурового [11-13].

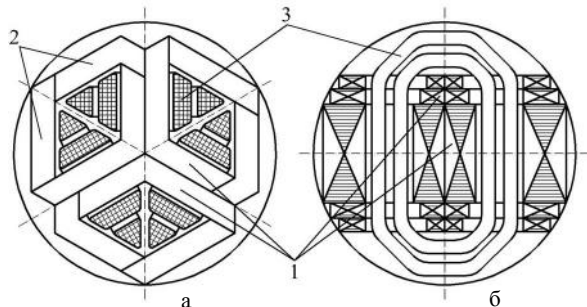


Рис. 6. Конструктивная схема в поперечном сечении (а) и продольном сечении (б) трехфазной радиальной электромагнитной системы с шевронными и параллелограмными элементами магнитопровода: 1 – стержень; 2 – ярмо; 3 – катушка обмотки

Компактность и максимальное соответствие контурной окружности трехфазной пространственной ЭМС (рис. 6) достигается конструктивной разунифи-

кацией элементарных слоев магнитопровода использованием двух элементов шевронной и одного элемента параллелограмной конфигурации (рис. 6, а).

ЭМС (рис. 5, а и б) и (рис. 6) отличаются тем, что обмоточные окна их магнитопроводов предполагают формирование катушек с известными, в частности из [6], формами поперечного сечения отличными от прямоугольника. Подобные сечения способствуют "вписыванию" катушек обмоток в шестиугольную или ромбическую формы обмоточных окон магнитопроводов и повышают компактность ЭМС.

Шевронные и параллелограмные элементы (пластины) формовки элементарных слоев магнитопроводов ЭМС (рис. 5, а и б) и (рис. 6) образуются безотходным раскроем полосы (рулона) ЭТС в соответствии со схемой (рис. 7, а и б).

Повышение электроизоляционной надежности и электродинамической устойчивости обмоток ЭМС (рис. 5, а и б), (рис. 6) достигается восьмигранными ОК и ступенчатой конфигурацией каждого стержня (рис. 6, б), (рис. 7, в и г) [10]. Такое сечение формируется шевронными и параллелограмными элементами одинаковой длины  $l_{Ш(П)}$  и различной ширины  $b_{Ш1}$ ,  $b_{Ш2}$ ,  $b_{Ш3}$  или  $b_{П1}$ ,  $b_{П2}$ ,  $b_{П3}$ , которые выполняются при изменении шага разделки одной и той же полосы ЭТС (рис. 7, а и б). Это упрощает технологический процесс производства магнитопроводов со "ступенчатым" сечением стержней.

Возможны варианты ОК сечения стержня в виде симметричного во взаимно-перпендикулярных осях (рис. 6, б) или равностороннего восьмигранника. Относительно незначительное повышение трудоемкости производства магнитопроводов обеспечивается размещением в ОК пакетов собранных не более чем из двух или трех типоразмеров пластин (листов) ЭТС [7, 8]. Эти пакеты занимают ОК сечением стержня с коэффициентами заполнения соответственно  $K_{В2}$  и  $K_{В3}$ . Симметричный восьмигранник с соотношением смежных сторон  $a_{В1}/a_{В2}=4/3$  создает  $K_{В2}=0,93$  при использовании 6 пакетов всего 2 шевронных элементов отличающихся шириной  $b_{Ш1}$  и  $b_{Ш2}$  (рис. 7, в). Равносторонний восьмигранный ОК со стороной  $a_{В}$  создается пакетами трех шевронных элементов с соотношениями ширины  $b_{Ш1}/b_{Ш2}/b_{Ш3} \approx 7/5/3$  (рис. 7, г) которые обеспечивают  $K_{В3} \approx 0,9$ .

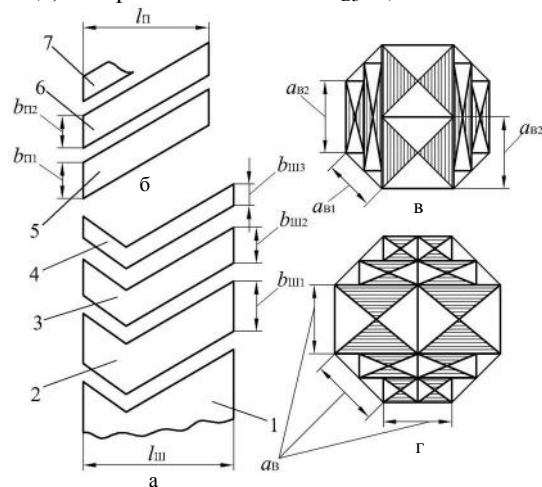


Рис. 7. Варианты разделки (а и б) проката электротехнической стали 1 на шевронные элементы 2, 3, 4 и параллелограмные элементы 5, 6, 7 и поперечные сечения стержней однофазного трехстержневого (в) и трехфазного радиального (г) магнитопроводов

Аналогичные приведенным выше коэффициенты заполнения кругового ОК традиционными "ступенчатыми" сечениями с  $K_{КО} = 0,93$  и  $K_{КО} = 0,9$  достигаются в магнитопроводах с цилиндрическими ОП использованием, в зависимости от диаметра контура стержня, соответственно 14-16 и 7-9 размеров пластин (листов) ЭТС [8], что соответственно усложняет и удорожает производство ИСУ.

### НЕТРАДИЦИОННЫЕ СТРУКТУРЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ СИСТЕМ С ВИТЫМИ МАГНИТОПОВОДАМИ

Витые ленточные (рулонные) магнитопроводы отличаются технологическими преимуществами относительной простоты комплексной автоматизации и снижения трудоемкости производства, а также обеспечения использования элементарных слоев ЭТС минимальной толщины [6], в том числе текстурованной, микроструктурной и аморфной ЭТС [2].

Весьма компактные компоновки со значительным заполнением (2) сферы или цилиндра - контурные окружности однофазной (рис. 8,а) и трехфазной (рис. 8,б) ЭМС для ИСУ специального назначения [11-13] или ИСУ предназначенных для высоких частот электроэнергии [6], можно получить использованием пространственных витых разрезных стыковых магнитопроводов структур, соответствующих рис. 5,а и рис. 6,а, но отличающихся шестигранным сечением стержней [4].

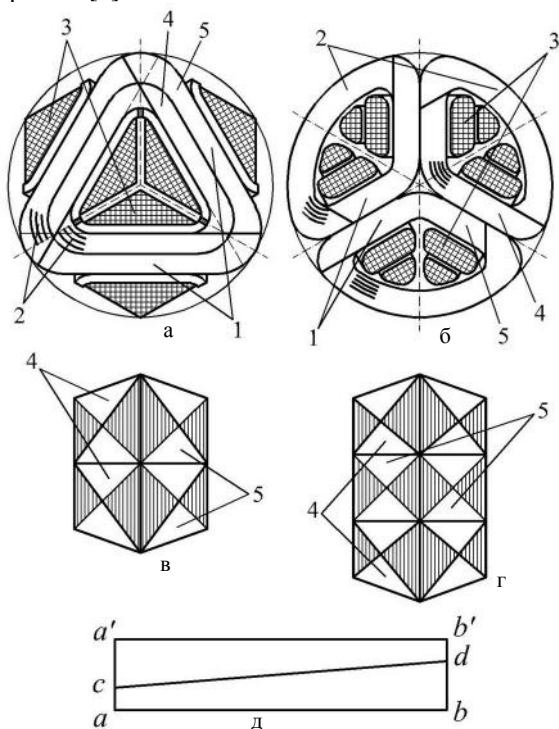


Рис. 8. Конструктивные схемы (в поперечном сечении) радиальных однофазной трехстержневой (а) и трехфазной (б) электромагнитных систем, а также варианты поперечного сечения стержня (в, г) и развертка электротехнической стали секции витых магнитопроводов (д): 1 – стержень; 2 – ярмо; 3 – катушка обмотки; 4, 5 – витой элемент

Варианты сечения стержней (рис. 8,в и г) могут быть сформированы на основе секционирования магнитопроводов. В соответствии с указанными вариантами, магнитопровод в целом (рис. 8,а), или торцевые

части магнитопровода (рис. 8,б), могут быть образованы совмещением секций с поперечным сечением в виде прямоугольной трапеции. Такое сечение каждой из секций (рис. 8,в и г) создается их навивкой из полос (лент) ЭТС полученных безотходным разделением по прямой  $cd$  прямоугольной полосы (развертки)  $abb'a'$  (рис. 8,д). Секционирование магнитопровода также позволяет снизить намагничивающий ток ИСУ поворотом (смещением) плоскостей разъемов смежных секций однофазной ЭМС (пунктирные линии на рис. 8,а) и сборки витых секций трехфазной ЭМС (рис. 8,б) по схеме (рис. 5,д и е).

Компактные трёхфазные ЭМС для встраивания в сферические и цилиндрические оболочки ограниченного диаметра также можно получить использованием вариантов аксиальных ЭМС с витыми разрезными стыковыми магнитопроводами.

Магнитопровод симметричной пространственной ЭМС [4] с двухконтурными фазными элементами и шестигранным сечением стержней (рис. 9,а) формируется навивкой с осевым смещением на  $\Delta_{СМ}$  (1) каждого последующего витка фазных элементов (рис. 9,б) из полос (разверток ленты) ЭТС  $acde$  содержащих прямоугольный  $abde$  и треугольный  $bcd$  участки (рис. 9,в).

Из [8] известно, что витые магнитопроводы аксиальных ЭМС с цилиндрическими ОП и двухконтурными фазными элементами формируются из участков непрерывной ленты изменяющейся ширины которые при намотке образуют части контура сечения стержня вписанного в окружность. Поэтому магнитопроводы ЭМС (рис. 8,а и б) и (рис. 9,а), как и витые магнитопроводы ЭМС с цилиндрическими ОП, характеризующиеся значительно более сложным раскроем исходного проката ЭТС, могут быть изготовлены с использованием существующего технологического оборудования. Такое оборудование, согласно [7, 8], позволяет навивать фазные элементы при безотходном раскрое ЭТС.

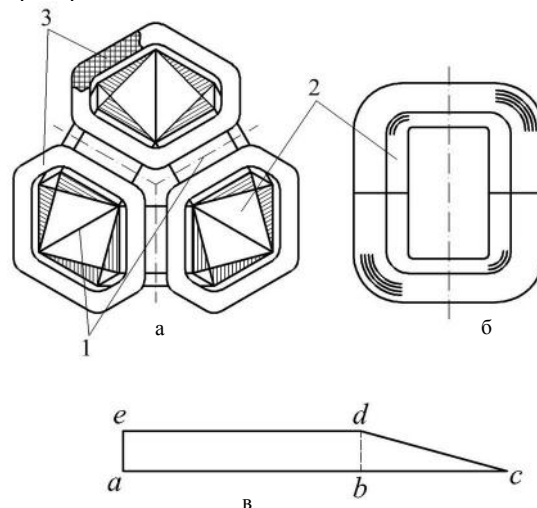


Рис. 9. Конструктивная схема (в поперечном сечении) трехфазной аксиальной электромагнитной системы (а), фазный элемент (б) и заготовка полосы электротехнической стали (в) для навивки фазного элемента: 1 – магнитопровод; 2 – секция (фазный элемент) магнитопровода; 3 – катушка обмотки

Высокое, использование геометрического объема с  $K_{ГЦ} \approx 0,8..0,85$  при встраивании в цилиндрические оболочки обеспечивает трехфазная пространственная

симметричная ЭМС с плоскими торцевыми поверхностями витого разрезного стыкового магнитопровода [14]. Коэффициент (2) повышается использованием ярем с внутренними контурами по форме близкими к треугольным и выполнением стержней магнитопровода с секторной формой сечения создающей попарную параллельность плоскостей прямоугольных обмоточных окон (рис. 10,а). Указанные стержни собираются из элементов являющихся частями кольцевых коаксиальных заготовок которые разрезаются в плоскостях отстоящих на  $120^\circ$  (рис. 10,б).

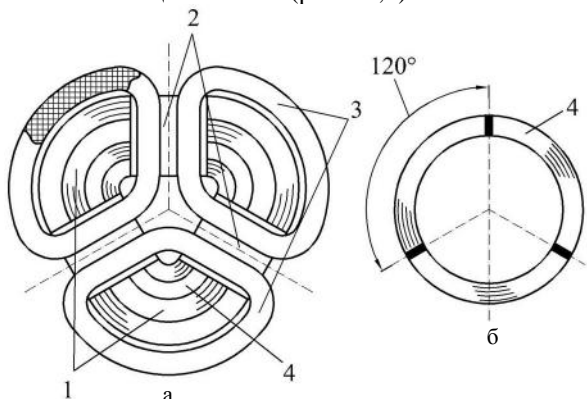


Рис. 10. Конструктивная схема (в поперечном сечении) трехфазной аксиальной электромагнитной системы (а) и заготовка элементов стержней магнитопровода (б): 1 – стержень; 2 – ярмо; 3 – катушка обмотки; 4 – витой разрезной элемент стержня

Аксиальная ЭМС (рис. 10, а) отличается высокой степенью электромагнитной симметрии и может обеспечить требование электромагнитной совместимости ИСУ, заключающееся в практическом отсутствии внешнего магнитного поля [15].

Формированием структуры (рис. 11,а и б) в виде отдельных витков секций ромбического сечения и их соединения с образованием одного стержня шестигранного поперечного сечения формируется стыковый витой магнитопровод однофазной пространственной ЭМС (рис. 11,в) [9].

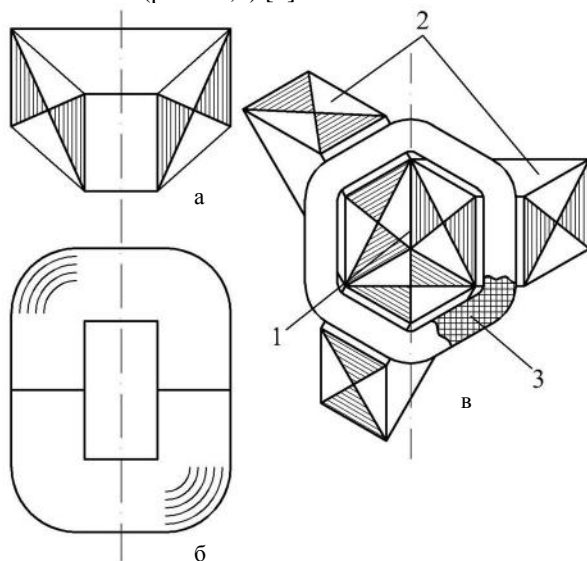


Рис. 11. Секция (а, б) и конструктивная схема (в поперечном сечении) однофазной аксиальной электромагнитной системы (в) с витым разрезным трехсекционным магнитопроводом: 1 – стержень; 2 – ярмо; 3 – катушка обмотки

Ромбические сечения в каждой секции (рис. 11,а и б) магнитопровода ЭМС (рис. 11,в), аналогично секции (рис. 9,б), формируются при навивке ленты ЭТС с осевым смещением каждого последующего витка на  $\Delta_{\text{см}}$  (1). При этом, для изготовления составляющих магнитопровод ЭМС (рис. 11,в) секций, используется лента (рулон) ЭТС постоянной ширины.

Для оценки результативности различных вариантов структурных преобразований ЭМС, представленных в [5] и на рис. 3-11, необходимо решение комплекса задач структурной оптимизации ИСУ. Такую оптимизацию целесообразно выполнять на основе разработки математических моделей анализа массо-стоимостных показателей и основных потерь активной части ИСУ исходя из универсальных, то есть приемлемых и идентичных для любой из существующих и возможных нетрадиционных вариантов ЭМС [4], а также относительных геометрических управляемых переменных [3, 16].

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В [5] и настоящей работе представлена концепция развития ИСУ преобразованием структур ЭМС, позволяющая сформулировать следующие выводы.

1. Традиционные структурно-технологические решения ЭМС однофазных и трехфазных ИСУ не удовлетворяют в достаточной степени современным требованиям минимальной материалоемкости, высокой надежности и компактности.

2. Имеется потенциальная возможность повышения электродинамической устойчивости и надежности ИСУ на основе многогранных ОК обмоток и магнитопроводов.

3. Шестигранные, восьмигранные и девятигранные, а также треугольные, ромбические и секторные ОК катушек обмоток, обмоточных окон, а также сечений стержней и магнитопроводов в целом, позволяют обеспечить компактность и создают предпосылки комплексного повышения технико-экономических показателей ИСУ как с аксиальными, так и с радиальными структурами ЭМС.

4. Преобразование ЭМС на основе треугольных, ромбических и многогранных ОК является в целом универсальным способом усовершенствования ИСУ однофазного и трехфазного тока как распределительного, так и специального назначений.

5. Технические решения активной части ИСУ с многогранными ОК элементов ЭМС базируются на существующих технологиях шихтованных и витых магнитопроводов и при организации технологического процесса изготовления не требуют перестройки или существенной модернизации действующего производства. Также нет необходимости в создании нового специального технологического оборудования.

6. Целесообразны постановка и решение комплекса задач структурной оптимизации ЭМС, определения областей наиболее эффективного применения лучших вариантов, а также разработки ИСУ различных мощностей и назначений с решением технологических вопросов производства катушек обмоток и магнитопроводов с многогранными ОК.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шидловский А.К., Федоренко Г.М. Макроекономічні та електротехнічні тренди в електроенергетиці України 1900-2000р // Техн. електродинаміка. – 2002. – № 5. – С. 3-12.
2. Пуйло Г.В., Кузьменко И.С., Тонгалюк В.В. Современные тенденции совершенствования распределительных трансформаторов // Электротехника і електромеханіка. – 2008. – № 2. – С. 48-52.
3. Ставинский А.А., Плахтырь О.О., Ставинский Р.А. Показатели качества и структурной оптимизации пространственных электромагнитных систем трехфазных трансформаторов, реакторов и дросселей // Электротехника і електромеханіка. – 2003. – № 4. – С. 79-82.
4. Ставинский А.А., Ставинский Р.А. Классификации структур и элементов электромагнитных систем электромеханических и индукционных статических преобразователей // Электротехника і електромеханіка. – 2008. – № 2. – С. 53-58.
5. Ставинский А.А. Генезис структур и предпосылки усовершенствования трансформаторов и реакторов преобразованием контуров электромагнитных систем (электродинамическая устойчивость и системы со стыковыми магнитопроводами) // Электротехника і електромеханіка. – 2011. – № 5. – С. 43-47.
6. Бальян Р.Х. Трансформаторы малой мощности. – Л. Судпромгиз, 1961. – 368 с.
7. Магнитопроводы силовых трансформаторов (технология и оборудование) / А.И. Майорец, Г.И. Пшеничный, Я.З. Чечелюк и др. – М.: Энергия, 1973. – 272 с.
8. Тихомиров П.М. Расчет трансформаторов: Учебное пособие для вузов. – 5-е изд. Перераб. и доп. – М. Энергоатомиздат, 1986. – 528 с.
9. Патент на винахід 91756 Україна, МПК(2009) H01F 3/00, H01F 27/24. Магнітопровід індукційного статичного пристрою // А.А. Ставинський, Р.А. Ставинський. – а200813524; Заявл. 24.11.2008; Опубл. 25.08.2009, Бюл. №16. – 4 с.
10. Патент на корисну модель 38596 Україна, МПК(2009) H01F 27/28, H01F 27/30, H01F 27/32. Обмотка статичного індукційного пристрою. // А.А. Ставинський, Р.А. Ставинський, О.М. Циганов. – u200809425; Заявл. 18.07.2008; Опубл. 10.03.2009, Бюл. №5. – 3 с.
11. Шереметьевский Н.Н. Электромеханика и мирный космос // Электротехника. – 1987. – № 6. – С. 10-16.
12. Ставинский А.А., Забора И.Г. Усовершенствование оборудования водолазных комплексов на основе специальных исполнений электромеханических устройств // Проблемы автоматизации та електрообладнання транспортних засобів: Матеріали Всеукраїнської наук. техн. конф. с міжнар. участю. – Миколаїв: НУК, 2006. – С. 194-202.
13. Месенжник Я.З., Осягин А.А. Силовые кабельные линии для погружных электросистем. – М.: Энергоиздат, 1987. – 240 с.
14. Патент на винахід 51437 Україна, МПК H01F 27/24, H01F 29/14, H01F 27/26. Просторова магнітна система // А.А. Ставинський, В.І. Крайнюк, Р.А. Ставинський і др. – 2002042583; Заявл. 02.04.2002; Опубл. 17.01.2005, Бюл. №1. – 2 с.
15. Ставинский А.А., Ставинский Р.А., Плахтырь О.О. Способы обеспечения специальных требований к силовому электрооборудованию на основе трансформаторов и трансформаторных преобразователей с пространственной структурой активной части // Электротехника і електромеханіка. – 2005. – № 4. – С. 30-36.
16. Ставинский Р.А. Нетрадиционные технические решения, постановка задачи и метод структурной оптимизации индукционных статических устройств // Вісник КДУ. Кременчук: КДУ, 2010. – Вип. 4/2010(63) Ч.2. – С. 91-94.

**Bibliography (transliterated):** 1. Shidlovskij A.K., Fedorenko G.M. Makroekonomichni ta elektrotehnichni trenди v elektroenergetici Ukraїni 1900-2000r // Tehn. elektrodinamika. - 2002. - № 5. - S. 3-12. 2. Pujlo G.V., Kuz'menko I.S., Tongalyuk V.V. Sovremennyye tendencii sovershenstvovaniya raspredelitel'nyh transformatorov // Elektrotehnika i elektromehanika. - 2008. - № 2. - S. 48-52. 3. Stavinskij A.A., Plahtyr' O.O., Stavinskij R.A. Pokazateli kachestva i strukturnoj optimizacii prostranstvennyh `elektromagnitnyh sistem trehfaznyh transformatorov, reaktorov i drossелей // Elektrotehnika i elektromehanika. - 2003. - № 4. - S. 79-82. 4. Stavinskij A.A., Stavinskij R.A. Klassifikacii struktur i `elementov `elektromagnitnyh sistem `elektromehaničeskikh i indukcionnyh statičeskikh preobrazovatelej // Elektrotehnika i elektromehanika. - 2008. - № 2. - S. 53-58. 5. Stavinskij A.A. Genезis struktur i predposylki usovershenstvovaniya transformatorov i reaktorov preobrazovanіem konturov preobrazovanіem konturov `elektromagnitnyh sistem (`elektrodinamicheskaya ustojčivost' i sistemy so stykovymi magnitoprovodami) // Elektrotehnika i elektromehanika. - 2011. - № 5. - S. 43-47. 6. Bal'yan R.H. Transformatory maloj moschnosti. - L. Sudpromgiz, 1961. - 368 s. 7. Magnitoprovody silovyh transformatorov (tehnologiya i oborudovanie) / A.I. Majorec, G.I. Pshenichnyj, Ya.Z. Chechelyuk i dr. - M.: `Energiya, 1973. - 272 s. 8. Tihomirov P.M. Raschet transformatorov: Uchebnoe posobie dlya vuzov. - 5-e izd. Pererab. i dop. - M. `Energoatomizdat, 1986. - 528 s. 9. Patent na vinahid 91756 Ukraїna, MPK(2009) H01F 3/00, H01F 27/24. Magnitoprovod indukcionnogo statičnogo pristroyu // A.A. Stavinskij, R.A. Stavinskij. - a200813524; Zayavl. 24.11.2008; Opubl. 25.08.2009, Byul. №16. - 4 s. 10. Patent na korisnu model' 38596 Ukraїna, MPK(2009) H01F 27/28, H01F 27/30, H01F 27/32. Obmotka statičnogo indukcionnogo pristroyu. // A.A. Stavinskij, R.A. Stavinskij, O.M. Ciganov. - u200809425; Zayavl. 18.07.2008; Opubl. 10.03.2009, Byul. №5. - 3 s. 11. Shere-met'evskij N.N. `Elektromehanika i mirnyj kosmos // `Elektrotehnika. - 1987. - № 6. - S. 10-16. 12. Stavinskij A.A., Zabora I.G. Us-overshenstvovanie oborudovaniya vodolaznyh kompleksov na osnove special'nyh ispolnenij `elektromehaničeskikh ustrojstv // Problemi avtomatiki ta elektroobladnannya transportnih zasobiv: Materiali Vseukraїns'koї nauk. tehn. konf. s mizhnar. uchastju. - Mikoлаїv: NUK, 2006. - S. 194-202. 13. Mesenzhnik Ya.Z., Osyagin A.A. Silovye kabel'nye linii dlya pogruzhnyh `elektrosistem. - M.: `Energoizdat, 1987. - 240 s. 14. Patent na vinahid 51437 Ukraїna, MPK H01F 27/24, H01F 29/14, H01F 27/26. Prostorova magnitna sistema // A.A. Stavinskij, V.I. Krajnuk, R.A. Stavinskij i dr. - 2002042583; Zayavl. 02.04.2002; Opubl. 17.01.2005, Byul. №1. - 2 s. 15. Stavinskij A.A., Stavinskij R.A., Plahtyr' O.O. Sposoby obespecheniya special'nyh trebovanij k silovomu `elektrooborudovanіyu na osnove transformatorov i transformatornyh preobrazovatelej s prostranstvennoj strukturoj aktivnoj chasti // Elektrotehnika i elektromehanika. - 2005. - № 4. - S. 30-36. 16. Stavinskij R.A. Netradicionnye tehničeskie resheniya, postanovka zadachi i metod strukturnoj optimizacii indukcionnyh statičeskikh ustrojstv // Visnik KDU. Kremenčuk: KDU, 2010. - Vip. 4/2010(63) Ch.2. - S. 91-94.

Поступила 17.06.2011

Ставинский Андрей Андреевич, д.т.н., проф.  
Национальный университет кораблестроения  
им. Адмирала Макарова  
кафедра "Судовые электроэнергетические системы"  
54025, Николаев, пр. Героев Сталинграда, 9  
тел. (0512) 39-94-53, e-mail: andreystavynskiy@nuos.edu.ua

Stavinskij A.A.

**Evolution of structures and preconditions for transformers and reactors improvement via electromagnetic system circuit transformation (systems with laminated and twisted magnetic circuits).**

Feasibility of transformers and reactors improvement on the basis of spatial structures of axial and radial electromagnetic systems, as well as hexagonal and octahedral generatrix contours of winding coils and cross-sections of laminated and twisted magnetic circuits bars is shown.

**Key words** – compact axial and radial electromagnetic systems, laminated and twisted magnetic circuits, transformers and reactors improvement.