

## УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РЕГУЛИРУЕМЫХ СТАТИЧЕСКИХ ИНДУКЦИОННЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ И ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

Oleg Plakhtyr

Mykolayiv State Agrarian University, Ukraine

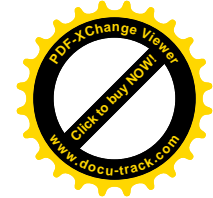
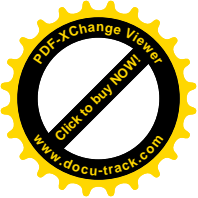
**Аннотация.** В работе выполнен анализ регулирования статических индукционных устройств на основе одно и трехфазных трансформаторов, реакторов и дросселей. Рассмотрены способы улучшения использования ферромагнетиков в процессе регулирования магнитного поля, а также предложены некоторые конструкторско-технологические решения активной части регулируемых трансформаторов.

**Ключевые слова:** статическое индукционное устройство, поперечное подмагничивание, пространственная магнитная система.

Регулируемые одно и трехфазные трансформаторы, реакторы и дроссели с магнитной коммутацией, согласно [В.К. Лебедев, .... 1974, Белый Н.Г., .... 1988], требуют значительно меньшего вложения активных материалов, чем регулируемые статические индукционные устройства (РСИУ) других систем. Важным преимуществом РСИУ также является повышенная надежность – отказы в цепи управления не приводят к аварии в силовой цепи.

При совпадении направления МДС подмагничивания с МДС рабочих обмоток (продольное подмагничивание), в связи с нелинейностью кривой намагничивания электротехнической стали (ЭТС), возникает необходимость в использовании способов и технических решений подавления высших гармоник тока и напряжения, обусловленных указанным свойством ферромагнитных материалов (ФМ). Также необходимо использование технических решений ограничения потерь активной мощности и компенсации электродвижущих сил, наведенных в цепи управления вследствие прямой электромагнитной связи между обмотками. Основными способами подавления высших гармоник являются: расщепление (дробление) магнитной системы РСИУ, увеличение числа и встречное включение, а также специальные схемы соединения обмоток [В.К. Лебедев, .... 1974, Белый Н.Г., .... 1988, Дорожко Л.И., .... 1977]. Однако указанные способы, согласно, например [Дорожко Л.И., .... 1977], приводят к повышенному расходу активных материалов, увеличению габаритов и массы, а также удорожанию РСИУ.

Указанные недостатки устраняются в случае применения для изменения магнитного потока так называемого поперечного подмагничивания. Поперечное подмагничивание достигается сдвигом осей силовых обмоток и обмотки управления на угол  $\pi/2$ , так чтобы в каждой точке ФМ магнитной цепи действовали две ортогональные МДС – основных (рабочих) обмоток (ОО) и обмотки управления (ОУ). В ортогональной системе обмоток, в отличие от продольной системы, возможно гармоническое изменение во времени напряженности одного из полей при гармоническом изменении индукции [Дорожко Л.И.,



.... 1977]. Перпендикулярность осей двух обмоток практически исключает взаимную индуктивность, однако между силовой цепью и цепью управления существует параметрическая связь через изменение состояния ФМ под действием двух МДС. Наличие подобной связи позволяет усиливать слабые сигналы, осуществлять амплитудную и фазную модуляцию рабочего тока. Обеспечивается регулирование, по практически линейному закону, главных индуктивностей и взаимоиндуктивностей ОО. Другим преимуществом поперечного подмагничивания является малая зависимость потерь в ФМ от интенсивности поля управления [Дорожко Л.И., .... 1977].

При применении в РСИУ изотропных ФМ и намагничивании участков магнитной цепи в двух осях (рис. 1, а) проекции  $B_x$  и  $B_y$  вектора результирующей магнитной индукции  $\vec{B}$  связаны с соответствующими проекциями  $H_x$  и  $H_y$  вектора результирующей напряженности поля  $\vec{H}$  соотношениями:

$$B_x = \mu_x H_x; B_y = \mu_y H_y; B_x^2 + B_y^2 = B^2;$$

$$B/H = B_x/H_x = B_y/H_y = \mu = f(B),$$

где  $\mu_x$ ,  $\mu_y$  и  $\mu$  - статические магнитные проницаемости по осям  $x$ ,  $y$  и магнитная проницаемость среды при значениях индукции  $B$  и напряженности поля  $H$ .

Магнитные проницаемости по осям зависят как от пространственной ориентации осей координат, так и от токов, создающих результирующее поле. Поэтому индукция в направлении одной из осей является функцией напряженности поля не только в той же оси, но и в ортогональной оси:

$$B_x = f_{xy}(H_x, H_y); B_y = f_{yx}(H_y, H_x).$$

При продольном намагничивании петли гистерезиса несимметричны, а при поперечном намагничивании наличие постоянной МДС в одной из осей не нарушает симметрии петель гистерезиса в другой оси (рис. 1, б). Увеличение напряженности  $H_y$  вызывает поворот петли в сторону оси абсцисс при уменьшении площади. При этом происходит линейаризация основных кривых намагничивания в продольной оси и уменьшение потерь от гистерезиса [Дорожко Л.И., .... 1977].

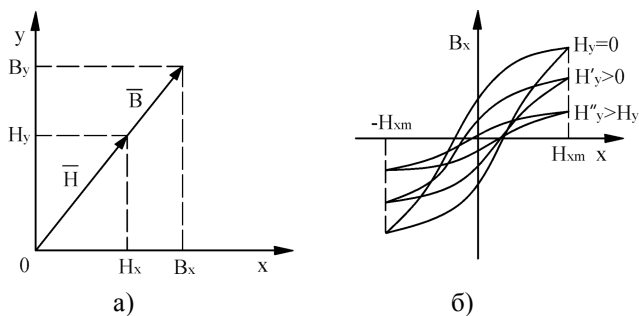
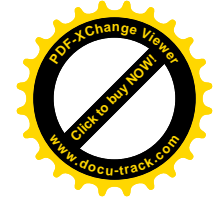
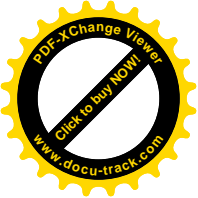


Рис. 1. Векторная диаграмма поля (а) и влияние поперечного подмагничивания (б) на форму петли гистерезиса в продольной оси в изотропной ферромагнитной среде

Fig. 1. Vector diagram of the field (a) and the effect of the transverse bias (b) the shape of the hysteresis loop in the longitudinal axis in an isotropic ferromagnetic medium



Использование поперечного подмагничивания требует нетрадиционных технических решений РСИУ, отличающихся наличием в стержнях осевого отверстия для ОУ. Известные варианты конструкций РСИУ содержат тороидальные ОУ, проходящие по пазам на торцовых (стыковых с ярмом) поверхностях стержней или общую для двух (или нескольких) стержней ОУ со значительной длиной лобовых (выходящих за пределы стержней) участков. Данные варианты отличаются повышенной сложностью магнитопровода или значительной материалоемкостью ОУ.

На основании анализа указанных выше вариантов конструкторско-технологических решений [Дорожко Л.И., .... 1977] предложена универсальная и более простая конструкция РСИУ [Заявка на выдачу патента] с витым магнитопроводом и минимальными материалоемкостью ОУ и габаритными размерами.

Варианты РСИУ [Заявка на выдачу патента] представлены на рис. 2 и рис.3.

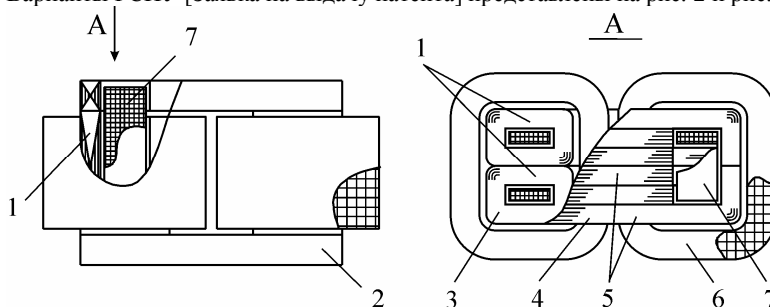


Рис. 2. Схема однофазного регулируемого статического индукционного устройства со стержневым магнитопроводом: 1 – стержень; 2 – ярмо; 3 – элемент стержня; 4 – «длинный» элемент ярма; 5 – «короткий» элемент ярма; 6 – силовая обмотка; 7 – обмотка управления.

Fig. 2. The scheme of single-phase static controlled induction device with a core magnetic circuit: 1 – bar; 2 – yoke; 3 - element of the rod; 4 - "long" element of the yoke; 5 - "short" element of the yoke; 6 - power winding; 7 - winding control

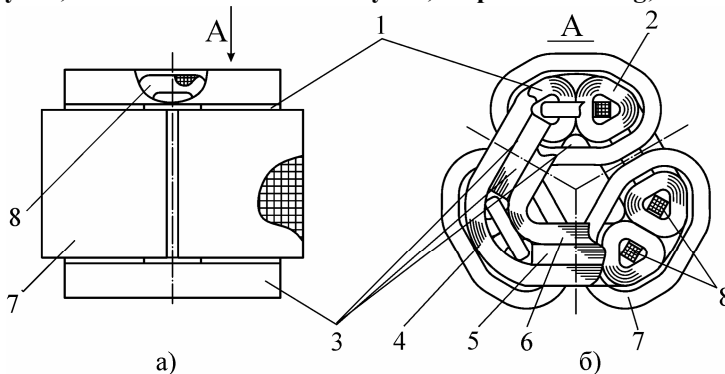
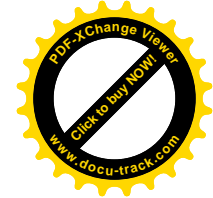
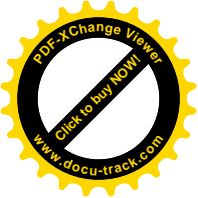


Рис. 3. Схема трехфазного регулируемого статического индукционного устройства пространственной системы: 1 – стержень; 2 – элемент стержня; 3 – ярмо; 4 – внешний замкнутый элемент ярма; 5 – средний элемент ярма; 6 – внутренний элемент ярма; 7 – силовая обмотка; 8 – обмотка управления.

Fig. 3. Scheme of three-phase static controlled induction device spatial system: 1 – bar; 2 - element of the rod; 3 – yoke; 4 - outside a closed element of the yoke; 5 - middle part of the yoke; 6 - the inner element of the yoke; 7 - the power winding; 8 - control winding

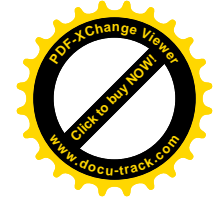
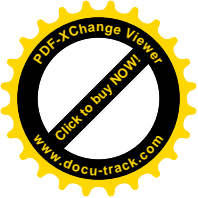


Конструкции однофазного РСИУ, например управляемого дросселя (рис. 2) и трехфазного РСИУ, например регулируемого трансформатора с пространственным магнитопроводом (рис. 3), отличаются тем, что каждый стержень выполнен составным из четного количества, по меньшей мере двух идентичных сопряженных элементов с центральными отверстиями, ярма выполнены из витых разрезных, а также витых кольцевых элементов различной длины, образующих промежутки над центральной частью сопряженных элементов и отверстиями стержня, а стороны обмоток регулирования расположены в центральных отверстиях элементов и в промежутках ярем.

Представленные рис. 2 и рис. 3 принципы конструкции могут быть также использованы при разработке однофазных и трехфазных РСИУ соответственно с броневым и планарным магнитопроводом как витого, так и шихтованного исполнений. Однако наиболее рациональными, исходя из требований компактности, минимума массы и расхода активных материалов, являются схемы стержневого однофазного РСИУ (рис. 2) и симметричного пространственного трехфазного РСИУ (рис. 3) с витыми магнитопроводами.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Сравнение некоторых глубоко регулируемых источников переменного тока/ В.К. Лебедев, В.А. Троицкий и др.// Электротехника. – 1974. - №7. – с. 56-58.
- Трехфазные симметричные трансформаторы с магнитной коммутацией на магнитопроводе витой конструкции/ Н.Г. Белый, Д.Н. Паршин, Н.Е. Кияткин и др.// Электротехника, 1988. - №1. – с. 38-41.
- Дорожко Л.И., Либкинд М.С. Реакторы с поперечным подмагничиванием. – М.: Энергия, 1977. – 176 с.
- Заявка на выдачу патента Украины № 20031213110 от 30.12.2003 г на изобретение «Электромгнитная система с регулированием подмагничиванием».
- Бальян Р.Х. Трансформаторы для радиоэлектроники.– М.: Сов. радио, 1971. – 720 с.
- Ставинский А.А., Ставинский Р.А., Плахтырь О.О. Результаты исследования и технические решения улучшения распределения магнитного поля в пространственных стыковых магнитопроводах трехфазных статических индукционных устройств // Електромашинобудування та електрообладнання: Міжвід. наук.-техн. зб. – 2004. – Вип. 62. – С. 117–121.
- Новые конструкции трехфазных трансформаторов с ленточными магнитопроводами / И.В. Пентегов, С.В. Римар, А.В. Лавренюк и др. // Вісник НТУ «ХПІ». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2002. – № 14. – С. 86–97.
- Трехфазные трансформаторы с пространственным сердечником и разрезными обмотками / М.И. Козлов, В.Л. Гершенкрой, Н.И. Гордиенко и др. // Электротехника. – 1988. – № 1. – С. 54–55.
- Магнітопровід трифазного трансформатора: Деклараційний патент 29884А. Україна, МКВ Н01F27/25 / А.А. Ставинський, В.І. Пікало, Р.А. Ставинський, О.В. Пікало (Україна). – № 97104852; Заявл. 02.10.97; Опубл. 29.12.99, Бюл. № 8. – 3 с.
- Спосіб виготовлення магнітопровода: Деклараційний патент 39251А. Україна, МКВ Н01G41/02, Н01K15/02 / А.А. Ставинський, Р.А. Ставинський (Україна). – № 98020904; Заявл. 20.02.98; Опубл. 15.06.01, Бюл. № 5. – 4 с.
- Ставинский Р.А. Варианты способов изготовления витых пространственных магнитопроводов с параллельными стенками обмоточных окон для трехфазных трансформаторов и дросселей // Збірник наукових праць УДМТУ. – Миколаїв: УДМТУ. – 2003. – № 1 (387). – С. 92–96.

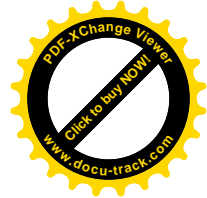
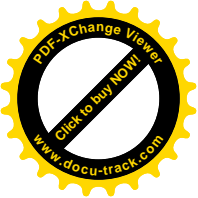


- Просторова магнітна система: Деклараційний патент 51437А. Україна, МКВ Н01F27/24 / А.А. Ставинський, В.І. Крайнюк, Р.А. Ставинський, О.О. Плахтир (Україна). – № 2002042583; Заявл. 02.04.02; Опубл. 15.11.02, Бюл. № 11. – 3 с.
- Григораш О.В., Кабанков Ю.А. К вопросу применения трансформаторов с вращающимся магнитным полем в составе преобразователей электроэнергии // Электротехника. – 2002. – № 3. – С. 22–26.
- Ставинский Р.А. Особенности распределения магнитного поля в пространственном магнитопроводе трехфазного трансформатора малой мощности // Електромашинобудування та електрообладнання: Міжвід. наук.-техн. зб. – 2000. – Вип. 54. – С. 63–67.
- Ставинский Р.А. Расчет магнитной цепи и потерь в стали трехфазного трансформатора малой мощности с витым пространственным магнитопроводом // Електромашинобудування та електрообладнання. Міжвідомчий науково-техн. збірник. – 2000. – Вип. 55. – С. 53–57.
- Просторова електромагнітна система: Деклараційний патент № 70864 А. Україна, МКВ Н01F29/14 / А.А. Ставинський, Г.В. Пуйло, О.О. Плахтир та ін. (Україна). – № 20031213108; Заявл. 30.12.03; Опубл. 15.10.04, Бюл. № 10. – 4 с.
- Особенности тепловых процессов в трехфазных пространственных трансформаторах с параллельными стенками обмоточных окон / Ставинский А.А., Чекунов В.К., Ставинский Р.А., Плахтырь О.О. – Электротехника і електромеханіка. – 2002. – № 2. – С. 65–67.
- Просторова магнітна система: Деклараційний патент 51438 А. Україна, МКВ Н01F27/24 / А.А. Ставинський, О.О. Плахтир, Р.А. Ставинський (Україна). – № 2002042584; Заявл. 02.04.02; Опубл. 15.11.02, Бюл. № 11. – 3 с.
- Просторова електромагнітна система: Деклараційний патент 52271 А. Україна, МКВ Н01F 27/24, Н01F27/24 / А.А. Ставинський, О.О. Плахтир, Р.А. Ставинський (Україна). – № 2002042582; Заявл. 02.04.02; Опубл. 16.12.02, Бюл. № 12. – 3 с.
- Електромагнітна система з регулюванням підмагнічуванням: Деклараційний патент № 70866 А. Україна, МКВ Н01F29/14 / А.А. Ставинський, О.П. Коновалов, О.О. Плахтир та ін. (Україна). – № 20031213110; Заявл. 30.12.03; Опубл. 15.10.04, Бюл. № 10. – 3 с.
- Регулировочный трехфазный трансформатор с магнитной коммутацией: А.с. 792303 СССР, МКИ Н01F31/06 / Ю.И. Борю, Н.Е. Кияткин, Д.Н. Паршин и др. (СССР). – № 2634955/24-07; Заявлено 30.06.78; Опубл. 30.12.80. Бюл. № 48. – 4 с.

## IMPROVEMENT OF STATIC INDUCTION CONTROLLED DEVICES FOR ELECTRONIC SYSTEMS AND CONVERSION EQUIPMENT

**Summary:** The analysis of regulating the static induction devices based on single and three phase transformers, reactors and inductors was made in the article. The ways of improving the use of ferromagnetic materials in the regulation of the magnetic field are considered, also some design and technological solutions of the active part of regulated transformers are proposed.

**Key words:** static induction device, transverse magnetization, spatial electromagnetic system.



<i>MOTROL, 2011, 13A</i>	199
МОДИФИЦИРОВАННЫМИ ЗУБЬЯМИ	
CONTACT STRENGTH OF GEAR COUPLINGS WITH LONGITUDINAL TEETH MODIFICATION .....	167
<b>Oleg Plakhtyr</b> УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РЕГУЛИРУЕМЫХ СТАТИЧЕСКИХ ИНДУКЦИОННЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ И ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ	
IMPROVEMENT OF STATIC INDUCTION CONTROLLED DEVICES FOR ELECTRONIC SYSTEMS AND CONVERSION EQUIPMENT .....	177
<b>Valery Pazdeev, Vasiliy Gruban, Olexander Rakul</b> ТЕОРЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ КОНСТРУКТИВНИХ І КІНЕМАТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРИСТРОЮ КАЧАНООЧИСНОГО АПАРАТУ КУКУРУДЗОЗБИРАЛЬНОГО КОМБАЙНУ	
THEORETICAL ANALYSIS STRUCTURAL AND KINEMATICS PARAMETERS DEVICE FOR CLEANING HEADS TO DEVICE COMBINE FOR COLLECTION OF CORN.....	182
<b>Dmytro Koshkin</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МИКРОКЛИМАТОМ ТЕПЛИЦЫ	
THE DYNAMIC MODEL OF THE GREENHOUSE ENVIRONMENT CONTROL SYSTEM.....	189