

ПОВЫШЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНОЙ МОЩНОСТИ И СТРУКТУРНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ СТАТИЧЕСКИХ ИНДУКЦИОННЫХ УСТРОЙСТВ С ПРОСТРАНСТВЕННЫМИ МАГНИТОПРОВОДАМИ

О.О. Плахтырь, кандидат технических наук

Д.Л. Кошкин, кандидат технических наук

Николаевский государственный аграрный университет

Розглянуто особливості математичних моделей структурної оптимізації, показао можливості підвищення компактності і граничної потужності просторових магнітних систем статичних індукційних пристроїв на основі магнітопроводів з паралельними утворюючими поверхнями стрижнів і обмоткових вікон.

Ключові слова: *активна частина, структурна оптимізація, просторовий магнітопровід, математична модель, цільова функція, утворюючі поверхні, гранична потужність.*

Постановка проблемы. В настоящее время основу структур активной части трехфазных трансформаторов (далее «трансформаторов») составляют планарные магнитные системы, которые являются предпочтительными при создании мощных трансформаторов (прямоугольный габаритный объем железнодорожной перевозки). Однако подобные системы по удельной материалоемкости не удовлетворяют современным требованиям. Также прямоугольная конфигурация трансформаторов и других статических индукционных устройств (СИУ) с планарными магнитопроводами не удовлетворяет условиям блочного агрегатирования систем электрооборудования, содержащих вращающиеся преобразователи.

Анализ последних исследований. Выполненные обзор и анализ работ [1, 2, 6], а также материалы, опубликованные авторами ранее [3, 4], показали, что при наличии вариантов и комбинаций конструкторско-технологических решений активной части СИУ за все время их развития, отсутствуют количественный сопоставительный анализ или системная структурная оптимизация вариантов пространственных магнитных систем.

Вариант классификации и анализ конструктивно-технологических особенностей пространственных магнитопроводов СИУ представлены в [3]. В качестве основных признаков типа магнитопровода предлагается направление магнитного потока стержней, а также форма и расположение образующих поверхностей (ОП) стержней и обмоточных окон. В известных и впервые рассмотренных в [3–5] пространственных магнитных системах плоские пересекающиеся, цилиндрические, а также параллельные ОП формируют стержни соответственно прямоугольного сечения, сечения вписываемого в окружность, а также более сложного сечения секторной или ромбической формы.

Цель исследования. В связи с необходимостью сопоставительного анализа вариантов схем и конфигураций активных частей трансформаторов настоящее исследование ставит задачу определения вида целевых функций (ЦФ) и управляемых переменных для системной структурной оптимизации пространственных магнитных систем.

Изложение основного материала. Существующие конструкторско-технологические решения стыковых пространственных магнитопроводов (СПМ), в частности (рис. 1, б) ограничивают предельную (по габариту железнодорожной перевозки) мощность трансформатора с магнитной системой пространственной конфигурации относительно низким диапазоном 6000...6500 кВ•А в связи с невысокой компактностью.

Расчеты, приведенные в [3], показывают, что высокое использование контурного объема пространственными магнитными системами (рис. 1, в, г, д) позволяет повысить мощность трансформаторов (в габаритах перевозки) до 10000 и 12000 кВ•А соответственно в «сухом» и «масляном» исполнениях при использовании СПМ с витыми ярмами и шихтованными из идентичных листов электротехнической стали стержнями (рис. 1, г), а также стержнями из витых элементов (рис. 1, д).

Симметричные пространственные магнитные системы отличаются пониженной материалоемкостью, удобством

встраивания в цилиндрические блоки и позволяют решать задачи разработки электромеханических систем при жестких ограничениях на массогабаритные характеристики узлов и систем транспортных механизмов. Такие магнитные системы представлены пятью видами схем активной части (рис. 2) и различными типами и конструкторско-технологическими решениями магнитопроводов.

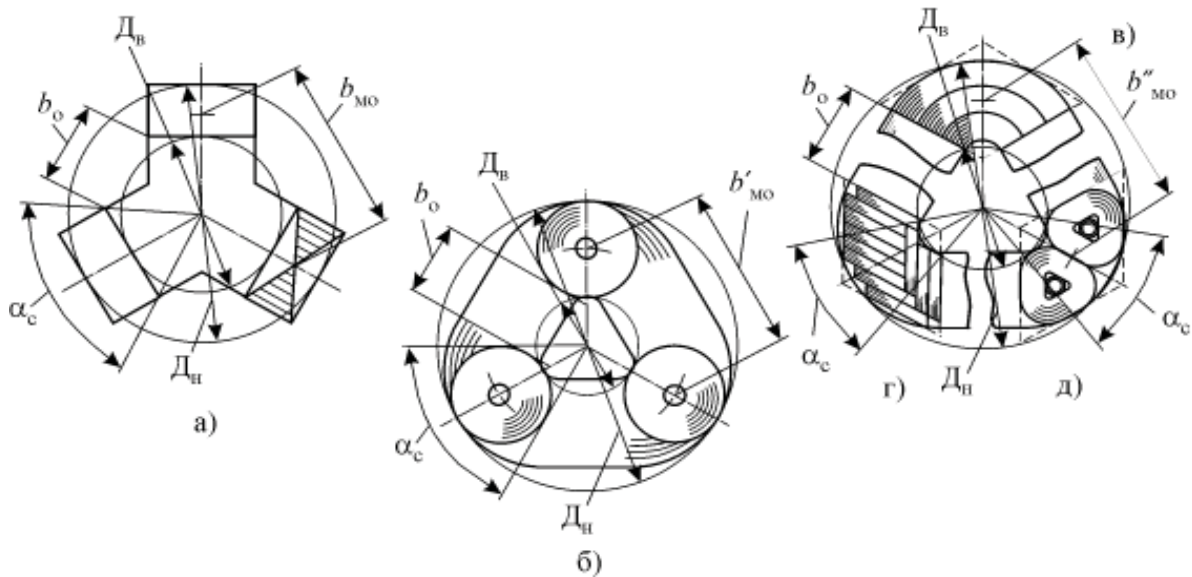


Рис. 1. Варианты планиметрии и конструкций стыковых пространственных магнитопроводов с плоскими пересекающимися (а), цилиндрическими (б) и параллельными (в, г, д) образующими поверхностями

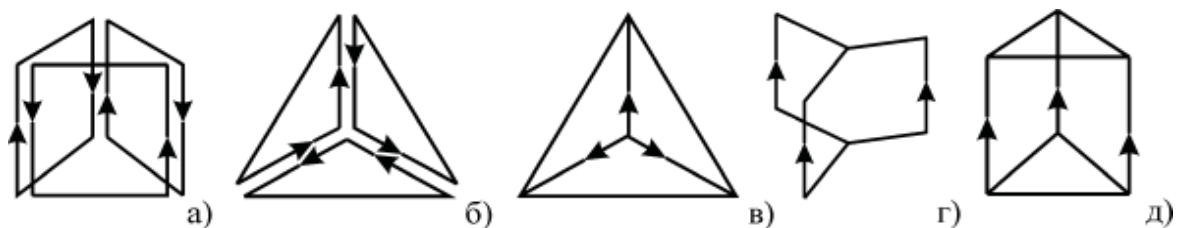


Рис. 2. Аксиальная разомкнутая (а), радиальная разомкнутая (б), радиальная замкнутая «треугольником» (в), аксиальная замкнутая «звездой» (г) и аксиальная замкнутая «треугольником» (д) схемы симметричных пространственных магнитных систем

Из источников научной и патентной информации следует, что наибольшее конструктивно-технологическое развитие получили магнитные системы аксиального типа (рис. 2, г и д) с замкнутыми СПМ и тремя признаками ОП (рис. 1).

В пространственных магнитных системах с пересекающимися ОП стержни соединяются по схеме «звезда» (рис. 1, а) и по схеме «треугольник», а в системах с цилиндрическими ОП (рис. 1, б) и параллельными (рис. 1, в–д) стержни соединяются «треугольником». Очевидно, что форма и расположение ОП в пространстве оказывают существенное влияние на технико-экономические показатели СИУ. При этом зависимости материалоемкости и суммарных потерь от вида ОП являются предметом аналитического исследования, а влияние ОП на габаритные размеры СИУ очевидно. Параллельные ОП обеспечивают снижение межосевого расстояния $b_{\text{мо}}$ и $b'_{\text{мо}}$ геометрических центров сечений стержней (рис. 1, а и б) до минимальной величины $b''_{\text{мо}}$ (рис. 1, в–д) и повышают компактность пространственной магнитной системы.

Основными количественными показателями технического уровня силовых трансформаторов являются минимум суммарных затрат $Z_{\text{т}}$ на производство и эксплуатацию и стоимость $C_{\text{т}}$. Вероятные различия в $Z_{\text{т}}$ и $C_{\text{т}}$ вариантов пространственных магнитных систем с идентичными мощностями и параметрами электроэнергии определяются двумя группами особенностей.

Первая группа представляет геометрические особенности элементов активной части, обуславливающие отличия масс электротехнической стали и меди обмоток, а также потерь холостого хода, короткого замыкания и реактивной мощности. Вторая группа также оказывает непосредственное влияние на материалоемкость и эксплуатационные характеристики СИУ. К ней относятся общие особенности конструкции и назначения трансформатора («сухой», «масляный», повышенной частоты...), а также особенности конструкции и технологии изготовления (с принудительной вентиляцией, витой СПМ...).

Особенности второй группы характеризуются тем, что их определение на стадии оптимизации пространственной магнитной системы не представляется возможным в связи с противоречием основному требованию универсальности методики. Поэтому выполнение системной структурной оптимизации упомянутых магнитных систем представляет

ся возможным на основе ЦФ и частных критериев оптимизации по минимумам массы или стоимости активной части и основных потерь при наличии математических моделей с идентичными для различных конструкций активной части (рис. 1) управляемыми переменными. При этом наличие в ЦФ исходных данных, технических требований (номинальной мощности, значений $U_{1(2)}$ и номинального изменения ΔU напряжения...) и электромагнитных нагрузок (ЭМН) не удовлетворяет требованию универсальности математических моделей и затрудняет решение задачи структурной оптимизации пространственных магнитных систем.

В известных математических моделях оптимизации трансформаторов основными управляемыми переменными являются ЭМН или связанные с ЭМН числа витков обмоток, а также диаметр круговой образующей сечения стержня или соотношение размеров сторон стержня прямоугольного сечения, что усложняет унификацию математических моделей пространственных магнитных систем различной конфигурации. Рациональные диапазоны изменения ЭМН – индукции стержня B_c и плотностей токов $J_{o1(2)}$ первичной (вторичной) обмоток известны из практики. Однако указанные диапазоны зависят от ряда факторов (номинальной мощности S_n , частоты сети f , типа системы охлаждения...). Отмеченные обстоятельства указывают на необходимость исключения применения ЭМН в качестве управляемых переменных обобщенных математических моделей системной структурной оптимизации. Поэтому в методике оптимизации основное внимание должно быть уделено структуре активной части, то есть стерео- и планиметрическим особенностям магнитной системы, а в математической модели должны использоваться геометрические управляемые переменные, универсальные для всех конструктивных схем (рис. 2).

Указанным условиям удовлетворяют модели с тремя геометрическими управляемыми переменными: отношением a_n наружного D_n и внутреннего D_v диаметров контурных окружностей, центральным углом α_c стержней магнитопроводов (рис. 1), а также отношением λ_o высоты h_o и ширины b_o обмо-

точного окна [4, 5]. В указанных математических моделях ЦФ представляются в виде произведения двух частей $F_{ид}$ и $k_{цфi}$

$$F_{цф} = F_{ид}(S_n, U_1, U_2, B_c, f, J_{o1}, J_{o2}, k_{зо}) k_{цфi}(\lambda_o, a_m, \alpha_c), \quad (1)$$

где $k_{зо}$ – коэффициент заполнения обмоточного окна медью.

Первая часть ЦФ в виде $F_{ид}$ отображает исходные данные и ЭМН и является неизменной для сравниваемых магнитных систем, а также для относительных коэффициентов $k_{цфi}$ изменения соответственно массы, стоимости или основных потерь активной части. Вторая часть в виде $k_{цфi}$ обеспечивает структурную оптимизацию на основе экстремумов частных ЦФ.

Функции вида (1) также могут использоваться для поэтапной параметрической оптимизации трансформаторов. На первом этапе посредством $k_{цфi}$ определяются оптимальные геометрические соотношения активной части пространственной магнитной системы, а на втором и возможных последующих этапах осуществляется параметрическая оптимизация трансформаторов при заданных проектных ограничениях (напряжение короткого замыкания, превышение температуры...).

Пример функциональной зависимости $k_{цфi}$ в виде относительного коэффициента k_m изменения массы активной части реального трансформатора (рис. 3, а) со СПМ (рис. 1, в) при фиксированном значении $\alpha_c = 20^\circ$ представлен на рис. 3, б.

Выводы. 1. В результате исследования в качестве управляемых переменных были выбраны центральный угол стержня α_c , отношение параметров обмоточного окна λ_o и отношение внутреннего и внешнего диаметров магнитопровода a_m . 2. Полученные функциональные зависимости коэффициента изменения массы активной части k_m от a_m показывают, что минимальная масса магнитопровода может быть получена при $a_m = 1,8$ при различных значениях λ_o . 3. Сравнительный анализ ЦФ (1) различных конструктивных схем активных частей (рис. 2) и значений экстремумов $k_{цфi}$ показывают преимущества компактных магнитных систем с параллельными ОП (рис. 1, в, г, д).

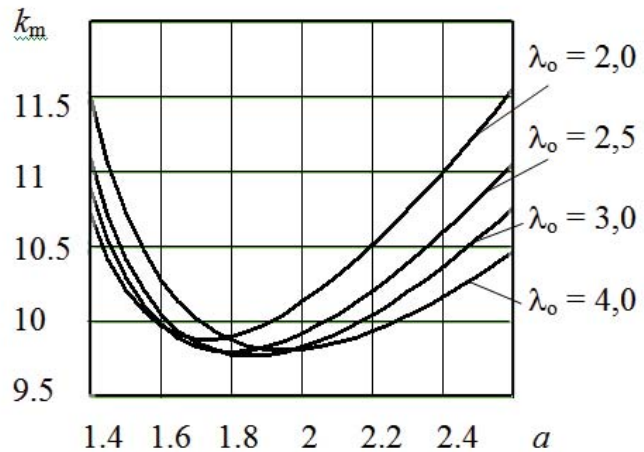


Рис. 3. Общий вид (а) и зависимости коэффициента изменения массы активной части (б) от геометрических управляемых переменных трехфазного трансформатора схемы (рис. 2, в) мощностью 6,3 кВ·А

Литература:

1. Бальян Р.Х. Трансформаторы для радиоэлектроники / Бальян Р.Х. — М. : Сов. радио, 1971. — 720 с.
2. Лейтес Л.В. Электромагнитные расчеты трансформаторов и реакторов / Лейтес Л.В. — М. : Энергия, 1981. — 392 с.
3. Ставинский А.А. Конструктивно-технологические особенности пространственных магнитопроводов трехфазных статических индукционных устройств мощностью до 10000 кВ·А / Ставинский А.А., Плахтырь О.О. // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету : наукові праці КДПУ. — Кременчук : КДПУ, 2004. — Вип. 3 (26). — С. 100–103.
4. Ставинский А.А. Показатели качества и структурной оптимизации пространственных электромагнитных систем трехфазных трансформаторов, реакторов и дросселей / Ставинский А.А., Плахтырь О.О., Ставинский Р.А. // Електротехніка і електромеханіка. — 2003. — № 4. — С. 79–82.
5. Ставинский А.А. Зависимости массо-стоимостных показателей трехфазных пространственных трансформаторов с ромбическими катушками обмоток от геометрических соотношений активной части / Ставинский А.А., Плахтырь О.О., Ставинский Р.А. // Електромашинобудування та електрообладнання : міжвід. наук.-техн. зб. — 2002. — Вип. 58. — С. 85–91.
6. Тихомиров П.М. Расчет трансформаторов : учеб. пособие для вузов / Тихомиров П.М. — 5-е изд., перераб. и доп. — М. : Энергоатомиздат, 1986. — 528 с.

О.В. Мельник, О.О. Дрозд. ЗМІНА ФІЗИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ЯБЛУК З ПІСЛЯЗБИРАЛЬНОЮ ОБРОБКОЮ ІНГІБІТОРОМ ЕТИЛЕНУ.....	187
Н.М. Осокіна, Л.Л. Новак. ВПЛИВ УМОВ І СТРОКІВ ЗБЕРІГАННЯ ПЛОДІВ ЯБЛУНИ НА ВМІСТ КОМПОНЕНТІВ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ТА ВИХІД ЯБЛУЧНОГО СОКУ.	195
В.Д. Солодкий, Р.І. Беспалько, І.І. Казімір. РОЛЬ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ У ПРОСТОРОВОМУ АНАЛІЗІ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННИХ ПРОЦЕСІВ КАРПАТСЬКОГО РЕГІОНУ	201
Н.В. Нікончук, А.В. Дробітько. УРОЖАЙНІСТЬ ТЕХНІЧНИХ СОРТІВ ВИНОГРАДУ ЗАЛЕЖНО ВІД РЕГУЛЯТОРУ РОСТУ В УМОВАХ ПІВДЕННОГО СТЕПУ УКРАЇНИ.....	209
Н.А. Гапріндашвілі. ЗМІНА ВМІСТУ АСКОРБІНОВОЇ КИСЛОТИ В ПЛОДАХ ГРУШІ ПРИ ТРИВАЛОМУ ЗБЕРІГАННІ З ВИКОРИСТАННЯМ АНТИОКСИДАНТІВ.	213
С.В. Сухар. ПРОДУКТИВНІСТЬ НАГІДОК ЛІКАРСЬКИХ В ЛІСОСТЕПУ ЗАХІДНОМУ УКРАЇНИ.	217

ТЕХНІЧНІ НАУКИ

В.С. Шебанін, Л.П. Шебаніна, В.Г. Богза. МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ ОБОЛОНКОВИХ КОНСТРУКЦІЙ (МЕМБРАН) СИЛОСІВ.	223
О.О. Плахтырь, Д.А. Кошкин. ПОВЫШЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНОЙ МОЩНОСТИ И СТРУКТУРНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ СТАТИЧЕСКИХ ИНДУКЦИОННЫХ УСТРОЙСТВ С ПРОСТРАНСТВЕННЫМИ МАГНИТОПРОВОДАМИ.....	228
О.Г. Руденко, Ю.Г. Золотий, І.Ю. Жук, Д.В. Довгань. ДОСЛІДЖЕННЯ ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ЛОПАТОК МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОЇ СПЕКА-ФОТОГРАФІЇ.....	235
О.С. Шкатов, Т.Б. Гур'єва. КАВІТАЦІЯ В СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСАХ ТВАРИННИЦТВА.....	241
Д.Ю. Шарейко, І.Ю. Гріднев. ВПЛИВ ЗАКОНУ РЕГУЛЮВАННЯ НА ДІАПАЗОН КЕРУВАННЯ.	245
АННОТАЦІИ	254
ABSTRACTS	260