

УСИЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ ОБМОТКИ И СНИЖЕНИЕ
МАТЕРИАЛОЕМКОСТИ СТАТИЧЕСКИХ ИНДУКЦИОННЫХ УСТРОЙСТВ С
ПЛЕНАРНЫМ МАГНИТОПРОВОДОМ

Rostislav Stavinskiy, Alexandr Tsyganov, Dmitry Koshkin

Mykolayiv State Agrarian University, Ukraine

Krulova street 17 a, Mykolaiv 54040, Ukraine

Аннотация. В работе предлагаются технические решения которые будут препятствовать действию электродинамических сил, приводящих к выходу из строя электрических машин. Получены общие уравнения стойкости обмоток при действии осевых и радиальных сил. Определены критические нагрузки.

Ключевые слова: трехфазный трансформатор, пространственная электромагнитная система, геометрические соотношения.

ВСТУПЛЕНИЕ

В последнее время выросла необходимость создания электромагнитных систем статических индукционных устройств (СИУ) с повышенной надежностью, которые обеспечиваются с учетом влияния разрушительных факторов, таких как радиальные и аксиальные составляющие электромагнитных сил, действующие между проводниками и катушками обмотки. Указанные составляющие создают колебание обмоток, приводящие к износу электрической изоляции обмоток. Связано это с появлением пластических деформаций у значительной части волокон проводников. Наиболее разрушительным является режим короткого замыкания, который возникает вследствие разных эксплуатационных и естественных показателей.

При наличии указанных факторов снижается электродинамическая стойкость. Необходимо определить количественные характеристики процессов и явлений, которые вызывают возникновение механических повреждений обмоток и конструктивно связанных с ними элементов.

Для решения поставленной задачи необходимо исследовать проблемы электродинамической стойкости, разработать физические и математические модели

для определения и расчета параметров, процессов и явлений, которые приводят к повреждениям при коротких замыканиях.

Важной задачей также является возможность снижения материалоемкости и повышение энергетических показателей СИУ.

Известно о конструкциях обмоток однофазных и многофазных статических индукционных устройств, которые содержат по меньшей мере одну катушку, состоящую из витков, вертикальных и горизонтальных опорно-изоляционных элементов, установленных между внутренними витками катушки и стержнем, а также ярами магнитопровода. По форме выполнения катушки указанных обмоток отличаются прямоугольными и круговыми образующими контурами [1]. Главными недостатками обмоток с витками прямоугольной формы являются сниженная электрическая стойкость изоляции проводников в угловых зонах, которые созданы образующими, пересекающимися под углами 90° и недостаточная механическая стойкость при коротком замыкании, а также повышенная средняя длина витков и материалоемкость. Значительным недостатком обмоток с витками круговой формы является снижение механической стойкости к действию осевых и радиальных электродинамических сил, так как деформации сгиба, которые возникают при намагничивании витков обмоток, приводят к значительному снижению жесткости проводников. Другим существенным недостатком обмоток с витками круговой формы есть ступенчатая форма сечения стержней и ярм магнитопровода. Несоответствие формы ступенчатого сечения стержней внутреннему кругу витков катушек повышает материалоемкость и габаритные размеры СИУ, а приближение заданной формы к кругу достигается увеличением количества отдельных элементов и слоев стали стержней и ярм магнитопровода и существенным повышением трудоемкости производства.

Для повышения надежности, увеличением жесткости и стойкости обмотки к действию электродинамических сил на основе устранения деформации сгиба, предлагается конфигурация катушек с прямыми участками витков что отвечает сторонам $n \geq 5$ -гранника и опорно-изоляционные элементы к которым, устанавливаются в зонах скругления витков на осях вершин многогранников. Материалоемкость СИУ снижается, а энергетические показатели повышаются благодаря уменьшению средней длины витков обмотки и повышению заполнения многогранного контура образующих ступенчатого сечения стержня электротехнической сталью при уменьшении числа ферромагнитных шихтованных элементов, которые отличаются шириной. Надежность обмотки также повышается на основе усиления электрической прочности изоляции и механической жесткости участков катушек в зонах округления проводников обмотки вертикальными прокладками с формой поперечного сечения, которая создана радиусами округлений вершин многогранников.

Предложенные технические решения иллюстрируются чертежами с разрезами и элементами, которые объясняют сущность конструкции.

Рис. 1 объясняет схему активной части (вид спереди), а рис. 2, 3 (вид сверху) объясняют особенности конструкции обмотки и стержня СИУ (трехфазного трансформатора).

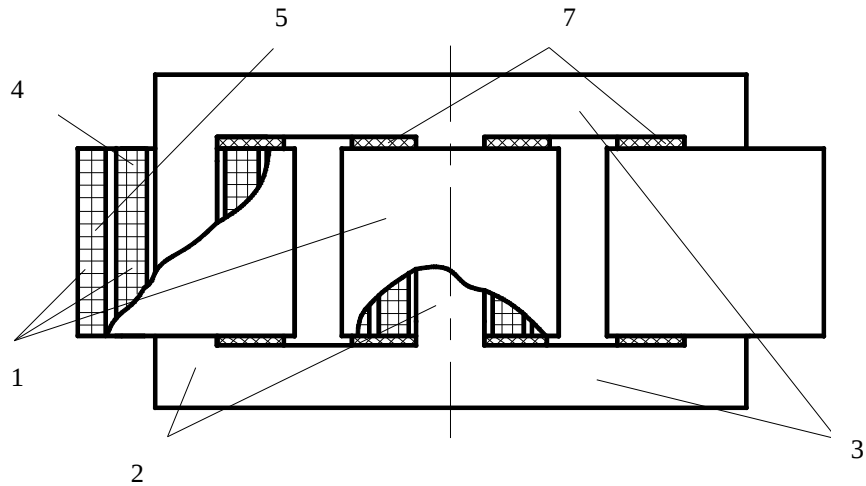


Рис.1. Активная часть индукционного устройства

Fig.1. Active part of induction device

Активная часть индукционного устройства (рис. 1) состоит из обмотки 1, стержней 2 и ярем 3. Обмотка 1 содержит катушки 4 низкого напряжения и катушки 5 высокого напряжения, которые состоят из витковых элементов, содержащих элементарные проводники, или отдельных витков 6 (рис.3), а также опорно-изоляционных горизонтальных элементов 7 и дистанционных вертикальных элементов 8 (рис.2). Контур каждой витковой элемента, или витка 6, например краеугольный контур катушки 5 (рис.2), созданный сторонами аб, бв, вг, гд, ге, еж, жз, за симметричного восьмигранника а-б-в-г-д-е-ж-з, которые пересекаются под тупыми углами граней α_2 и скруглений радиусами r_B и r_3 (рис. 3) на осях оа, об, ов, ог, од, ое, ож, оз вершин многогранника, а дистанционные вертикальные элементы 8 установлены в зонах скруглений витков 6 на указанных осях. Между витковыми элементами или витками 6 катушек 4,5 установленные вертикальные прокладки (прошивные рельсы) 9, которые имеют форму поперечного сечения, созданную внутренним и внешним радиусами r_B и r_3 скруглений вершин восьмигранников а-б-в-г-д-е-ж-з и а'б'в'г'д'е'ж'з'. Стержень 2 (рис.1) статического индукционного устройства состоит из ферромагнитных элементов 10, установленных в изоляционном каркасе 11. Сопредельные элементы 10 отличаются шириной, листов электротехнической стали, из которых они шихтованы.

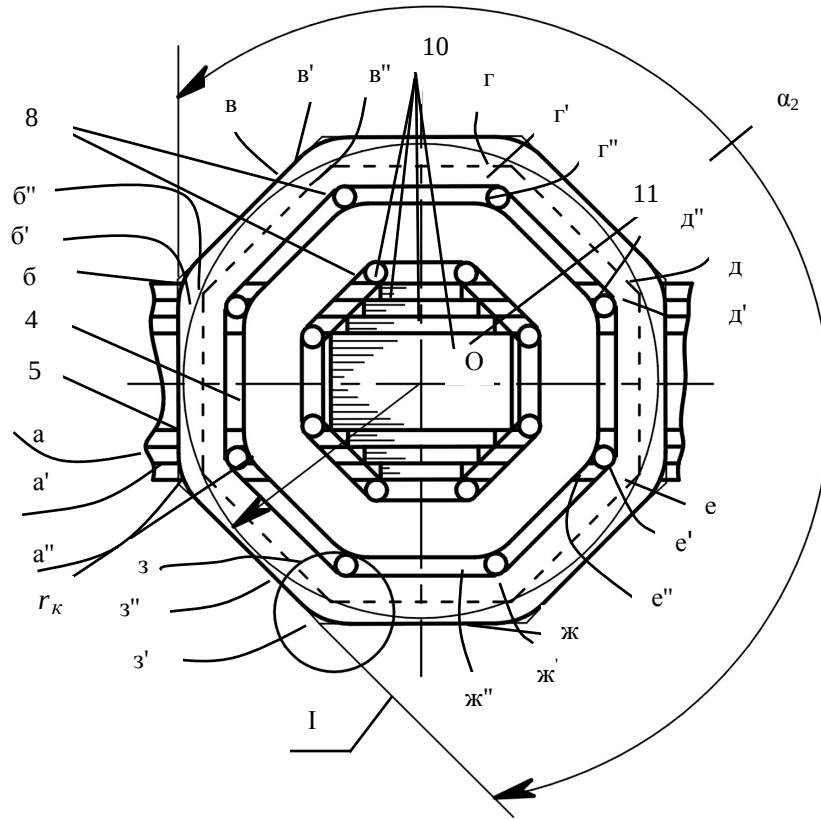


Рис.2. Конфигурация обмоточных катушек статического индукционного устройства

Fig.2. Configuration of puttees spools of static induction device

При работе статического индукционного устройства (рис. 1) магнитный поток, который создан магнитодвижущими силами катушек 4, 5, замыкается по стержням 2 со ступенчатыми поперечными сечениями, которые созданы элементами 10 (рис.2), и ярмах 3 (рис. 1). На основе того, что контуры катушек 4, 5 (рис.1) и их витковых элементов, или витков 6 (рис.3), созданные сторонами многогранников, средняя длина витков, например катушки 5, определяемая контуром симметричного восьмигранника $a''b''v''г''д''e''ж''з''$, является меньшей, чем средняя длина витка эквивалентной цилиндрической катушки, которая определяется кругом радиуса r_K , в который вписан указанный восьмигранник. Кроме того, по причине наличия прямых контурных линий каркаса 11 и прямых образующих линий контура стержня 2 в виде симметричного восьмигранника, заполнение контура стержня 2 с коэффициентом составной электротехнической стали $K_K = 0,9...0...0,93$ достигается при наличии 3...5 ступеней и соответственно размеров пластин 11 шихтованных элементов 10 (рис.2), вместо 15...20 ступеней и размеров пластин (листов) эквивалентного ступенчатого стержня, который вписан в контурный круг. Поэтому технические решения (рис. 2,3) дополнительно снижают трудоемкость производства магнитопровода.

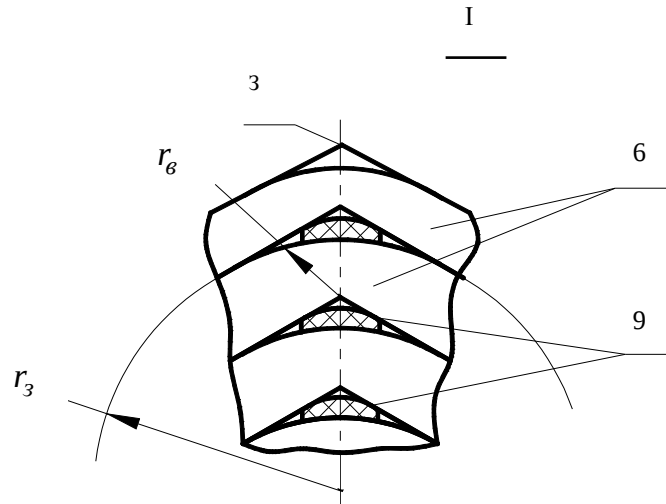


Рис.3. Элементы обмоточных катушек

Fig.3. Elements of puttees spools

Особенности конфигураций и конструкции катушек 4, 5 обмотки 1 предоставляют возможность производства статических индукционных устройств с повышенной электродинамической стойкостью и улучшенными технико-экономическими показателями.

Для выявления опасных факторов, которые возникают, в процессе эксплуатации СИУ рассмотрим основные силы которые воздействуют на электродинамическую стойкость, и характеризуются конструктивными особенностями изготовления элементов конструкции, а также электромагнитными силами. Осевые колебания обмоток можно выразить в таком виде [2]:

$$u_{из} = (A_{из} \sin \omega_{из} x_{из} + B_{из} \cos \omega_{из} x_{из}) \psi(t),$$

где:

$$\omega_{из} = \frac{v}{\alpha_{из}}; \alpha_{из}^2 = \frac{E_{из}}{\rho_{из}}; i3 = 1, 2, \dots, N; \psi(t) = \sin(vt + \bar{\varphi}),$$

$A_{из}, B_{из}$ – конструктивные постоянные;

$v, \bar{\varphi}$ – круговая (циклическая) частота и начальная фаза;

$E_{из}, \rho_{из}, x_{из}$ – модуль упругости, плотность и продольная координата стержня;

$из$ – номер стержня обмоток;

N – общее количество стержней (обмоток с общими кольцами для передвижения).

Необходимо разработать методику расчета электродинамической стойкости обмоток при коротких замыканиях. Обмотки должны удовлетворять условиям прочности при действии радиальных электродинамических сил [3]:

$$K1 = \frac{\sigma_{0,2t}}{\sigma_{mean} M_{ax}} \geq K1_{msn};$$

где: $K1, K1_{msn}$ - расчетный и минимальный допустимый коэффициенты запаса прочности обмотки при действии радиальных электромагнитных сил;

$\sigma_{0,2t}$ - условная граница текучести короткого замыкания.

Также обмотки должны удовлетворять условиям жесткости при действии радиальных электромагнитных сил.

$$K2 = \frac{U_{ps}}{U_{pis}} \geq K2_{msn};$$

где: $K2, K2_{msn}$ - расчетный и минимальный допустимый коэффициенты запаса жесткости обмотки при действии радиальных электромагнитных сил;

U_{ps} - допустимое остаточное радиальное перемещение проводников;

U_{pis} - более всего (за абсолютной величиной) остаточное радиальное перемещение проводников.

Расчет предназначен для проверки электродинамической стойкости обмоток при коротких замыканиях.

ВЫВОДЫ

Рассмотренные выше технические решения дают возможность повышения электродинамической стойкости обмотки при коротком замыкании.

Указанное повышение обеспечивается за счет определения основных опасных зон по приведенным выражениям. Жесткость и стойкость обмотки к действию электродинамических сил на основе устранения деформации сгиба на прямых, участках витков повышается и установлением опорно-изоляционных элементов в зонах округлений витков на осях вершин многогранников. Материалоемкость СИУ снижается, а энергетические показатели повышаются благодаря уменьшению средней длины витков обмотки.

ЛИТЕРАТУРА

Тихомиров П. М. Расчет трансформаторов: Учебн. пособие для вузов. 5--е изд. перераб. и доп. - Г.: Энергоатомиздат, 1986. - с. 62-63.

Пиркитель Е., Спаланцани Г. Последние достижения в области исследования усилий, возникающих в катушках трансформатора при коротких замыканиях // Докл. На «СИГРЕЭ», 1962.

Лазарев В.І. Електродинамічна стійкість силових трансформаторів. – 2005 (основи теорії, методи розрахунку, засоби забезпечення). Автореферат, дисертації докт. техн. наук: 05.09.01. Інст. електродинаміки НАН України. – К.: 2006. – С. 280.

STRENGTHENING OF ELECTRODYNAMIC FIRMNESS PUTTEES AND DECLINE OF MATERIAL OERKOSTI STATIC INDUCTION DEVICES WITH PLENARY MAGNETO-PROVODOM

Summary: The technical solutions for resisting the different forces which can result in the wreck of electric machines have been suggested. The common equalizations of winding resistance under the action of axial and radial forces have been considered. The critical loads have been determined.

Keywords: three-phase transformer, spatial electromagnetic system, geometrical correlations.

Reviewer: Andrey Stavinskiy, Prof. Sc. D. Eng.