

ПОДСИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СИНТЕЗА И АНАЛИЗА ТРЕХФАЗНЫХ ОБМОТОК

И. С. Лаврук

*Мореходный колледж технического флота Национального университета
«Одесская морская академия»*

Аннотация. На основе ранее разработанного алгоритма формирования гомологий двухполюсных обмоток предложена подсистема автоматизированного синтеза трехфазных обмоток и выполнения гармонического анализа. Реализована возможность конструирования синтезированной обмотки в интерактивном режиме.

Ключевые слова: обобщенная модель, гомологический ряд, циклические перестановки, дробная обмотка, коэффициент распределения.

В настоящей статье представлены результаты создания программного обеспечения позволяющего на основании разработанных общих принципов формирования гомологических рядов выполнять синтез и анализ новых типов дробных обмоток.

Гомологическим рядом будем называть множество m -фазных обмоток, изменение свойств которых однозначно соответствует закономерному изменению их структуры [1].

Для решения поставленной задачи использовано обобщенное представление многофазных обмоток [2] с применением приемов структурного синтеза нетрадиционных двухполюсных обмоток

Синтез рассмотренных гомологических рядов выполняется преобразованием структур матриц неизменного размера. Перестройка структуры исходной матрицы двухполюсной обмотки-основания осуществляется путем изменения взаимного расположения модулей с возможными заменами каждого или части из них и изменениями числа циклических перестановок.

Алгоритм указанного преобразования разработан в [3,4], но его практическая реализация оказывается достаточно трудоемкой.

Для устранения указанного недостатка в среде Delphi разработана подсистема автоматизированного синтеза трехфазных симметричных обмоток и их гармонического анализа, позволяющая в интерактивном режиме сначала выбрать из набора гомологий первого рода M_{32} , M_{032} , M_{32c} необходимую обобщенную модель, а затем выделить в автоматически синтезированном гомологическом ряду третьего рода нужные варианты многополюсных обмоток. На заключительном этапе подсистема обеспечивает выполнение ин-

терактивного контроля уровня добавочных гармоник, для чего на рабочую панель выводятся соответствующие векторные диаграммы и величины обмоточных коэффициентов. Результаты детального гармонического анализа рассмотренных вариантов обмоток сохраняются в текстовом формате, предназначенном для представления табличных данных.

Рассмотрим детально работу предлагаемого программного продукта.

Исходными данными являются число пазов на полюс и фазу, число пар полюсов и тип блока который будет составлять двухфазную обмотку-основание. Нажатие на кнопки «Заполнить» и «Считать» формируют две матрицы. Первая соответствует двухполюсной обмотке, вторая дробной обмотке. Циклические перестановки либо замена блоков в первой матрице автоматически произойдет и во второй матрице. Векторные диаграммы (ВД), размещенные в нижней части рабочего окна наглядно демонстрируют распределение пазовых ЭДС. Изменение номера гармоники позволит рассмотреть ВД в масштабе заданного номера гармоники.

Для демонстрации работы подсистемы выберем обмотку-основание принадлежащую множеству M_{32c} и выполненную с числом пазов $Z=48$ при условии $n=1$, $c=1$. Сформируем матричные модели базовой и дробных обмоток так, чтобы их векторные диаграммы по рабочим гармоникам были полностью идентичны.

При активизации подсистемы открывается окно программы. В соответствующие поля верхней части рабочей панели (рис. 1) оператор вводит необходимое число пазов на фазную зону $Q=Z/k_{zm}=48/6=8$ и число пар полюсов $p=7$. Заданное ограничение может быть обеспечено с использованием обмоток множества M_{32c} поэтому следует выбрать одноименную вкладку « M_{32c} ».

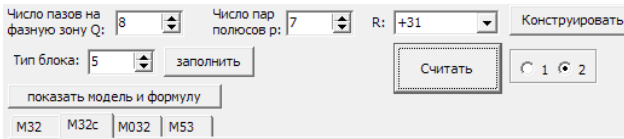


Рис. 1. Ввод исходных данных

В результате активизируется поле для ввода структурных параметров «n» и «с» обобщенной модели M_{32c} .

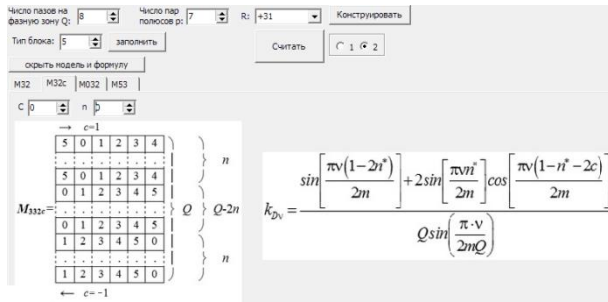


Рис. 2. Параметры обобщенной модели M_{32c}

При необходимости просмотра модели M_{32c} нажимается кнопка «показать модель и формулу». Это действие открывает окно, позволяющее выделить из спектра гомологий необходимый ГР с параметрами $c=1$ и $n=1$, которые вводятся в поле с указанной маркировкой (рис. 2).

После нажатия кнопки «считать» в верхней части рабочей панели (рис. 3) открывается окно с цифровыми (ЦМ) и матричными моделями (ММ) двухполюсной обмотки-основания и искомой обмотки с $p=7$. В цифровых моделях цифры левого столбца соответствуют типу модуля, а цифры правого столбца – числу циклических перестановок.



Рис. 3. Синтез обмотки

Одновременно ниже формируются два окна, обеспечивающие интерактивный контроль гармонического спектра как обмотки-основания (в левой части панели), так и исследуемой обмотки. Контроль выполняется путем просмотра векторных диаграмм и значений коэффициентов распределения в масштабе любых гармоник (рис. 4) вводом номеров гармоник в соответствующих окнах.

После нажатия кнопки «гармонический анализ» открывается панель, позволяющая

просмотреть результаты гармонического анализа, как

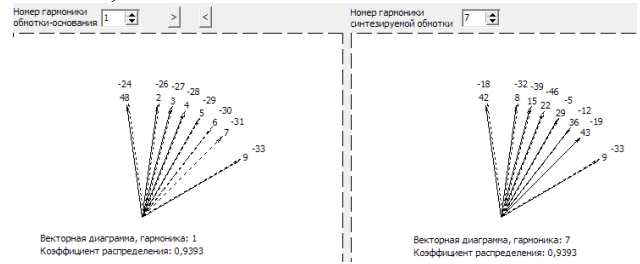


Рис. 4. Векторные диаграммы

обмотки основания, так и многополюсной обмотки (рис. 5). Эти результаты включают в себя значения обмоточных коэффициентов k_{Wv} , коэффициентов распределения k_{Dv} и укорочения k_{Yv} , а также относительных амплитуд гармоник H_v в диапазоне порядков v , который задается в левом верхнем окне панели. Кроме того, при необходимости вводится значение шага исследуемой обмотки по пазам и в диапазоне $1 < v < 6Z$ рассчитывается коэффициент дифференциального рассеяния τ_d .

Гармоник: 24		Шаг обмотки: 3		Сохранить		Модель: 1я		
Кoeffициент дифференциального рассеяния		Повторение: 1				<input type="checkbox"/> учитывать 3-и гармо		
$Td=0,020133$				$Td=0,103926$				
v	Kdir	Ky	Kw	Hv	Kdir	Ky	Kw	Hv
1	0,9393	0,1951	0,1832	1	0,0307	0,1951	0,006	0,04557
2	0	0,3827	0	0	0	0,3827	0	0
3	0,5432	0,5556	0,3018	0,54896	0,3629	0,5556	0,2016	0,51073
4	0	0,7071	0	0	0	0,7071	0	0
5	0,1141	0,8315	0,0949	0,10353	0,1048	0,8315	0,0872	0,13247
6	0	0,9239	0	0	0	0,9239	0	0
7	0,0307	0,9808	0,0301	0,0235	0,9393	0,9808	0,9212	1
8	0	1	0	0	0	1	0	0
9	0,0528	0,9808	0,0518	0,0314	0,2654	0,9808	0,2603	0,21977
10	0	0,9239	0	0	0	0,9239	0	0
11	0,07	0,8315	0,0582	0,02889	0,1707	0,8315	0,142	0,09806
12	0	0,7071	0	0	0	0,7071	0	0
13	0,1048	0,5556	0,0582	0,02445	0,1141	0,5556	0,0634	0,03705
14	0	0,3827	0	0	0	0,3827	0	0
15	0,2654	0,1951	0,0518	0,01884	0,0528	0,1951	0,0103	0,00522
16	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0,1545	0,1951	0,0301	0,00968	0,1868	0,1951	0,0364	0,01629

Рис. 5. Результаты гармонического анализа

После нажатия кнопки «сохранить» результаты расчетов сохраняются в отдельном файле.

При использовании модели M_{32c} допускается возможность произвольной замены любого из модулей матрицы обмотки-основания и изменения числа циклических перестановок. Для этого в цифровой модели обмотки основания достаточно выделить нужную ячейку курсором и ввести необходимые значения типа модуля j или числа c циклических перестановок в соответствующих окнах ЦМ. Соответствующие изменения в ММ обмотки-основания и построения ЦМ и ММ исследуемой обмотки с заданным

числом полюсов $2p$ происходят автоматически. Выполнение детального гармонического анализа, просмотр и запись полученных результатов реализуется так же, как и в предыдущих случаях.

Завершающим этапом работы в данной подсистеме является конструирование синтезированной обмотки. На основе исследуемой матричной модели получаем графическое представление распределения фазных зон по пазам. На схеме нанесена нумерация пазов. Фазы окрашены в стандартные цвета. Пользователь может изменить цветовое решение зоны конструирования либо переключиться в черно-белый режим, что удобно для контрастной печати или последующего импорта изображения в AutoCad.

Для автоматизации процесса построения обмотки необходимо задать количество повторений катушек и шаг их смещения.

При наведении курсора на любой из пазов и по щелчку клавишей мыши, возникнет контур катушки, одна сторона которой будет перемещаться в пределах области построения за манипулятором. Повторным щелчком мыши подвижная сторона катушки фиксируется в выбранном пазу.

В случае необходимости корректировки схемы достаточно активировать команду «Удалить» и переместить курсор на любую из сторон катушки. Щелчок мыши удалит выбранное построение. Для продолжения конструирования нужно переключиться на требуемую фазу.

Выбор опции «Соединения» откроет добавочную панель с элементами, позволяющими манипулировать соединениями катушечных групп.

Так же предусмотрена возможность сохранять результаты работы в формат хранения растровых изображений.

Выводы

1. Однозначное соответствие алгоритмов преобразования структур обмоток, составляющих ГР, с характером изменения физических свойств этих обмоток, отображаемое аналитически позволяет резко упростить процессы направленного синтеза обмоток и выполнения их гармонического анализа.

2. Разработанная подсистема автоматизированного синтеза и анализа трехфазных обмоток может быть эффективно использована при выполнении проектирования электрических машин и при подготовке специалистов - электромехаников.

Список использованной литературы

1. Дегтев, В. Г., Лаврук, И. С. Система симметричных трехфазных обмоток электрических машин [Текст] Электричество, 2015, № 3. – С. 41–48.

2. Дегтев, В. Г. Обобщенная структурная модель многофазных обмоток [Текст] Электричество, 1990, № 11.– С. 40–45.

3. Дегтев, В. Г., Смирнов, С. Б., Бабушанов, А. В. Гомологические ряды симметричных двухфазных обмоток [Текст] Электромашинобудування та електрообладнання, Київ, Техніка, 2006, № 67. – С. 98–104.

4. Дегтев, В. Г., Бабушанов, А. В., Лаврук, И. С., Самойлов, Г. А. Синтез гомологических рядов трехфазных обмоток [Текст] Електротехніка і електромеханіка, Національний Технічний університет ХПІ, 2007, № 1. – С. 17–21.

5. Фаронов, В. В. Delphi 6. Учебный курс [Текст] М.: «Нолидж», 2002.

6. Осипов, Д. Л. Delphi. Профессиональное программирование [Текст] Символ-Плюс, 2006.

References

1. Degtev, V. G., Lavruk, I. S. (2015) "The system of symmetrical three-phase windings of electrical machines" [Sistema simmetichnih trehfaznih obmotok elektriceskih mashin], Electricity, no.3, pp. 41–48.

2. Degtev, V. G. (1990) "The generalized structural model of multiphase windings" [Obobschennaya strukturnaya model' mnogofaznih obmotok], Electricity, no.11, pp. 40–45.

3. Degtev, V. G., Smirnov, S. B., Babushanov A.V. (2006) "Homologous series of symmetrical two-phase windings" [Gomologicheskie ryadi simmetrichnih dvufaznih obmotok], Electrical machinery and electrical equipment, Kyiv, Technics, no.67, pp. 98–104.

4. Degtev, V. G., Babushanov, A. V., Lavruk I. S., (2007) "Synthesis of homologous series three-phase windings" [Sintez gomologicheskikh ryadov trehfaznih obmotok], Electrical engineering & electromechanics, no.1, pp. 17–21.

5. Pharonov, V. V. (2002) "Delphi 6. Training course" [Delphi 6. Uchebniy kurs] Moscow «Nolidj».

6. Osipov, D. L. (2006) Delphi. Professional programming [Delphi. Professionalnoe programirovanie], Simvol-Plus, 2006.

SUBSYSTEM OF AUTOMATED SYNTHESIS AND ANALYSIS OF THREE-PHASE WINDING

I. S. Lavruk

Maritime college of technical fleet National university "Odessa maritime academy".

Abstract. *The features of arbitrary symmetrical three-phase windings with similar harmonic spectra are studied, and a methodology for the formation of their homologous series is developed.*

The use of the homological representation of windings makes it possible to substantially reduce the volume of studies of their properties, limiting it to studying the properties of their bipolar modifications covered by homologies of the first kind.

An algorithm for the formation of homologies of bipolar windings is developed. It is proved that the change in the electromagnetic properties of the windings forming the homologous series uniquely corresponds to the law of transformation of the winding structure of a given series.

Based on this correspondence, a subsystem of automated synthesis of three-phase windings and harmonic analysis has been developed. It is also possible to design the synthesized winding in an interactive mode.

The subsystem can be effectively used in the design of electrical machines and in the training of specialists in electromechanics.

Examples of the application of the methodology are given.

The proposed approach can serve as a basis for performing scientifically based systematization of multi-phase windings.

Key words: *the generalized structural model, homology series, cyclic transposition, fractional winding, the distribution factor.*

ПІДСИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО СИНТЕЗУ І АНАЛІЗУ ТРИФАЗНИХ ОБМОТОК

I. С. Лаврук

*Морехідний коледж технічного флоту Національного університету
"Одеська морська академія"*

Анотація. *На основі раніше розробленого алгоритму формування гомологій дво полюсних обмоток запропонована підсистема автоматизованого синтезу трифазних обмоток і виконання гармонічного аналізу. Реалізована можливість конструювання синтезованої обмотки в інтерактивному режимі.*

Ключові слова: *Узагальнена модель, гомологічний ряд, циклічні перестановки, дрібна обмотка, коефіцієнт розподілу.*

Получено 24.04.20017



Лаврук Игорь Семенович, преподаватель специальности «Эксплуатация электрооборудования и автоматика судов» мореходного колледжа технического флота Национального университета «Одесская морская академия». Успенская 28/30 Одесса, Украина, E-mail: groot@mail.ru, тел. +38-048-734-21-30

Ihor Lavruk, teacher of Ships' Electrical Equipment and Automation Faculty, Maritime college of technical fleet National university "Odessa maritime academy". Uspenskaya st. 28/30, Odessa, Ukraine.

ORCID ID: 0000-0002-6483-1626