

области. Это дает возможность рационально распределить лимит в 200 узлов для получения наиболее точного решения для исследуемой области.

С помощью пакета Quick Field были проведены исследования зубцовых гармоник поля в зазоре при различных соотношениях геометрии зубцовых зон якоря индуктора, а также при различной степени насыщения стали сердечника. При исследовании зубцовых составляющих поля использовалась табуляция значений радиальной составляющей индукции вдоль воздушного зазора для получения кривой распределения индукции в зазоре, которая впоследствии подвергалась гармоническому анализу. Возможности вычисления интегральных значений (магнитного потока и МДС) использовались для проверки соответствия полученных решений заданным граничным условиям.

С помощью указанного пакета были рассчитаны коэффициенты насыщения коронок зубцов и коэффициенты усиления зубцовых составляющих при двухсторонней зубчатости магнитной системы, которые используются для расчета высших гармоник магнитного поля в воздушном зазоре электрических машин.

Пакет Quick Field используется при курсовом проектировании в специальном курсе электрических машин, в дипломном проектировании при разработке новых конструкций электрических машин и совмещенных электромеханических преобразователей, а также в научных исследованиях.

**В.И. Денисенко, А.Т. Пластун, В.Н. Кичигин,  
А.Н. Мойсейченков, П.В. Бондаренко**

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ СОВМЕЩЕННЫХ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАКЕТОВ MATHCAD 7 И DELPHI 3 В СПЕЦИАЛЬНОМ КУРСЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН**

В специальном курсе электрических машин рассматривается теория нетрадиционно совмещенных возбудительных устройств, к числу которых принадлежит совмещенный многофункциональный бесщеточный возбудитель (СМБВ) [1].

СМБВ эквивалентирован двумя последовательно включенными синхронными возбудителями с  $2^*p_{NS}$  полюсами комбинированного и  $2^*(p-p_{NS})$  полюсами электромагнитного возбуждения, магнитные цепи которых имеют общие

участки, и представлен в модели внешней характеристикой 4-фазного мостового преобразователя. Определение ЭДС и параметров якоря СМБВ выполнено на основе аналитического решения линеаризованной системы нелинейных алгебраических уравнений магнитной цепи в осях  $d$  и  $q$  по заданным мгновенным значениям МДС прямоугольной формы с последующим уточнением результатов расчета. Учтены взаимное влияние потоков комбинированного и электромагнитного возбуждения в насыщенной магнитной системе, наличие постоянных магнитов и насыщающихся шунтов, влияние поперечной реакции якоря.

Математическая модель позволяет дать оценку различных подходов к расчету квазиустановившегося режима совместной работы возбудителя и вращающегося преобразователя, связанных с выбором формы кривой ЭДС и величины коммутационного индуктивного сопротивления.

Нетрадиционно совмещенные асинхронный (АПВ) и индукторный (ИПВ) подвозбудители реализованы внешней характеристикой статического 4-фазного мостового преобразователя, питаемого от совмещенной якорной обмотки подвозбудителей, размещенной в полусах СМБВ, асинхронной и индукторной составляющими ЭДС, частоты которых отличаются в два раза [1]. Выпрямленное напряжение определяется ЭДС АПВ или ИПВ и находится по соответствующим внешним характеристикам с учетом взаимного влияния асинхронной и индукторной составляющих ЭДС. Расчет внешних характеристик ИПВ и АПВ выполнен с учетом амплитудной несимметрии фазных значений индукторной составляющей ЭДС (ИПВ) и асинхронной составляющей ЭДС (АПВ). Появление амплитудной несимметрии связано с размещением катушек на разных краях полюсов и обусловлено компаундирующим эффектом поперечной реакции якоря возбудителя и взаимным влиянием парных гармоник, создающих ЭДС рабочих частот подвозбудителей.

В математической модели ИПВ при расчете индукторной составляющей магнитного поля и ЭДС учитывается насыщение зубцов, реакция якоря и зубчатость индуктора. В математической модели АПВ учтены ЭДС вращения и трансформаторная ЭДС от высших гармоник поля реакции якоря, с учетом усиления амплитуды высших гармоник поля реакции якоря под влиянием зубчатости якоря и взаимного влияния парных гармоник.

Для создания, отладки и дальнейшего развития математических моделей совмещенных электромеханических преобразователей применяется пакет MathCAD 7. Пакет не требует от пользователя владения навыками программирования и позволяет наглядно представить методику расчета. Работа с пакетом

MathCAD7 дает студентам возможность детально изучать математические модели совмещенных электромеханических преобразователей.

Реализация отлаженной математической модели в среде визуальной разработки приложений Delphi 3 позволяет увеличить скорость расчетов, снизить требования к системе и оборудованию.

Математическая модель используется для расчета статических и динамических характеристик возбудительных устройств на стадии курсового и дипломного проектирования.

### *Литература*

1. Development and application of multi-functional brushless exciting devices with non-traditional combination methods /Y. Kazantsev, Y. Radchenko, A. Plastun, V. Denisenko // University of Gent. Ural Universities. Gent, 1997. С.44—51.

**В.И. Денисенко, А.Т. Пластун, О.П. Митрофанов,  
А.Н. Мойсейченков, С.Ю. Макаров, П.В. Бондаренко**

## **ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ НЕТРАДИЦИОННО СОВМЕЩЕННЫХ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ПРИ КУРСОВОМ И ДИПЛОМНОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ**

В связи с развитием нетрадиционного совмещения электромеханических устройств возникают трудности с применением традиционных методик математического моделирования. Для проектирования и исследования этих устройств разрабатываются новые математические модели и программное обеспечение, учитывающие особенности нетрадиционного электромагнитного совмещения.

Нетрадиционное совмещение возбудительных устройств (ВУ) характеризуется применением в качестве полей возбуждения высших гармоник поля возбуждаемой синхронной машины (СМ) [1]. При расчете таких ВУ требуется решение полевой задачи с учетом двухсторонней зубчатости в насыщенной и несимметричной многополосной СМ с возможностью определения не только первой, но и высших гармонических составляющих. Использование метода удельных магнитных сопротивлений (МУМС) для выполнения этой задачи