

---

## СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

---

### Вступление.

Проектирование электрических машин (ЭМ) является сложной технологической задачей, и включает в себя выбор и расчет различных частей, характеристик, параметров обмотки, конструирование отдельных сборочных единиц и машины в целом 1, 2. При этом необходимо учитывать требования и нормы, действующие в отношении отдельных узлов и деталей. При выборе готовых частей, таких как подшипники или крепежные элементы, необходимо опираться на имеющуюся номенклатуру доступных изделий. Кроме того, проектирование машины включает в себя электромагнитные, механические, тепловые и конструктивные расчеты, которые на данный момент выполняются с использованием разносортных программ общего назначения 3.

Крупные производители ЭМ, имеют в своем распоряжении достаточно специалистов, чтобы создавать и поддерживать САПР электрических машин самостоятельно. К сожалению, эти программные комплексы используются только внутри компаний их создавших, поскольку это дает конкурентное преимущество. Малым и средним предприятиям, не имеющим достаточного количества персонала и средств, приходится пользоваться комбинацией различных программ, каждая из которых выполняет свои типы и виды расчетов. Некоторые из этих расчетов приходится программировать своими силами. При этом полученные результаты приходится обрабатывать и переносить в другие программы вручную. На каждом этапе проектирования необходимо иметь систему поддержки проекта и автоматического документирования, что при использовании большого количества сторонних программ становится проблематичным. Все эти условия приводят к замедлению процесса проектирования ЭМ 4.

### Постановка задач исследования.

Таким образом, предлагается создать систему автоматизированного сквозного проектирования электрических машин, имеющих стандартную конструкцию, от постановки технического задания до создания готовой конструкторской и прочей документации, необходимой для изготовления ЭМ.

### Материалы исследования.

Анализируя программные средства, используемые для проектирования ЭМ, можно выделить четыре уровня проектирования. На первом этапе используются в основном некоммерческие программы, разрабатываемые, как правило, каждым отдельным предприятием самостоятельно. Задачей этого этапа является расчет основных параметров машины, таких как машинные постоянные, параметры обмоток ротора и статора, выбор рабочих частот, числа полюсов, их тип, и пр.

После выполнения этого предварительного этапа конструктор может приступить ко второму этапу - созданию САД модели ЭМ и отдельных ее частей, с различной детализацией. Этот этап проектирования так же подразумевает разностороннее физическое моделирование различных процессов электрической машины. Сюда входит моделирование электромагнитных полей, расчет распределения тепла, переходных процессов, и т.д., с целью проверки или оптимизации отдельных показателей.

К сожалению, далеко не все элементы ЭМ можно выбрать или рассчитать без привлечения сторонних программных средств. Например, расчет механических показателей валов и осей, выбор подшипников, изоляции и проводов для обмоток практически невозможно выполнить пользуясь только программами общего назначения. Таким образом использование специальных программ и баз данных для выбора и/или расчета дополнительных компонентов можно выделить как третий этап проектирования.

Заключительным этапом проектирования можно назвать т.н. виртуальную эксплуатацию. На этом этапе производится моделирование готового изделия в предполагаемых условиях работы. Таким образом, виртуальная эксплуатация позволяет отладить управляющие программы, системы защиты, согласовать условия обслуживания и т.п. Выявленные конфликты устраняются еще на этапе проектирования, таким образом при изготовлении относительно дорогостоящих прототипов сокращается время на поиск и устранение неполадок, сокращается количество отказов и поломок оборудования, ускоряется процесс поиска программных и конструктивных решений.

В рамках выполнения проекта разработки САПР электрических машин была разработана программа, которая включает в себя алгоритмы первого этапа проектирования. Если раньше разработчик использовал сразу несколько отдельных небольших программ для каждой отдельной части ЭМ, то теперь для расчета различных конструктивных элементов, используется одна программа.

Была введена система поддержки проекта, учета версий каждого отдельного изделия, и создана база данных, уже разработанных ЭМ. Это позволяет при выполнении заказов на разработку ЭМ легко находить похожие

проекты, что важно при повторном проектировании. Можно осуществлять разносторонний поиск, как по техническим показателям, так и по параметрам проекта, например, по дате, или имени конструктора. В дальнейшем база данных будет содержать данные не только по разработке, но и по продвижению изделия на рынок.

Поскольку самостоятельная разработка программ второго уровня (физическое моделирование) технически слишком сложна, был сделан выбор в сторону интеграции со сторонними программами. Так для моделирования электромагнитных полей используется MAXWELL - продукт компании ANSYS, inc. Использование сторонних программ позволяет значительно расширить функциональность разрабатываемого ПО, и при этом сохранить единый стиль ведения проекта, поддержку базы данных, и создание стандартизированной документации, выполненной с применением стилей разработчика ЭМ.

Разнообразие программ для расчета отдельных компонентов ЭМ представляет собой значительную проблему. На данном этапе было принято решение реализовать необходимые алгоритмы расчетов, интегрировав их в общую программу проектирования ЭМ. В частности в программу интегрированы алгоритмы по расчету валов и осей. При этом можно проводить расчеты валов и осей практически произвольной геометрии, с учетом приложения изгибающих и крутящих моментов, а также осевых и радиальных сил. В программе рассчитываются нагрузки на подшипники, вычисляются критические частоты, проводится статический и динамический расчет на надежность, с учетом действующих норм. Кроме того, есть возможность учитывать различные концентраторы напряжений, и выбирать материал, характеристики поверхности.

В дальнейшем программа проектирования ЭМ будет развиваться в сторону добавления алгоритмов, необходимых для полноценного проектирования всех компонентов. Планируется расширить программу за счет использования баз данных по готовым компонентам и материалам, причем предоставляя конструктору не только информацию о имеющихся в наличии типоразмерах, а и сведения о предположительной цене, возможных поставщиках, доступности на складе и тп. Одним из перспективных направлений развития является добавление возможностей виртуальной эксплуатации, расширение возможностей визуального проектирования ЭМ. Отдельной задачей является улучшение качества генерируемой документации, за счет внедрения профилей, позволяющих произвольно настраивать характер и объем содержимого документации, поскольку очевидно, что конструктору и менеджеру по продажам требуются разные сведения об одном и том же проекте.

#### **Выводы.**

Создание единой системы проектирования электрических машин позволяет значительно сократить время разработки, создать систему поддержки разрабатываемой номенклатуры машин, проводить автоматизированное создание документации, ускорить переход к автоматизированному производству, обеспечить гибкость выполнения заказов.

Использование большого количества разносортных программных средств поднимает вопрос о стандартизации форматов обмена между программами, которые бы поддерживали данные на уровне моделей отдельных узлов и систем, а не на уровне деталей и примитивов. Эти стандарты позволят разработчикам отдельных программ объединиться, создав платформу для сквозного проектирования ЭМ.

Объединение усилий конструкторов и производителей компонентов на базе единой САПР ЭМ дает возможность значительно ускорить выбор комплектующих за счет внедрения каталогов и баз данных по поставщикам и производителям, стандартизировать и унифицировать процесс проектирования, тестирования и производства ЭМ.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Гольдберг О. Д., Свириденко И. С., Инженерное проектирование и САПР электрических машин. Академия, 2008 г. 560 с.
2. Копылов И. П., Б. К. Клоков, В. П. Морозкин, Б. Ф. Токарев, Проектирование электрических машин, Высшая школа, 2005 г. 678 с.
3. P. Radhakrishnan, S. Subramanyam. CAD/CAM/CIM, New Age Publications (Academic) (June 30, 2009), 692 p.
4. S. Vajna, C Weber, H. Bley, K. Zeman, P. Hehenberger, CAx für Ingenieure: Eine praxisbezogene Einführung (German Edition), Springer; 2. Aufl. edition (December 23, 2008), 550 s.