

ПРОБЛЕМАТИКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ
ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

В.Л. Бурковский, А.В. Романов, Ю.М. Фролов

В статье анализируются проблемы разработки систем автоматизированного проектирования электроприводов. На основе функциональной схемы электропривода предлагаются основные этапы проектирования и средства формализации, а также рассматривается альтернативный вариант подобной САПР.

Автоматизация процессов технического проектирования в настоящее время уделяется много внимания и в этой области достигнуты значительные успехи. В качестве примеров можно привести автоматизацию чертежных работ, проектирование программных средств, радиотехнических изделий и др.

Как известно, под термином САПР понимается *система проектирования, в которой органично объединены творческие усилия проектировщиков, возможности математических методов и ЭВМ на всей совокупности взаимосвязанных этапов проектирования с применением развитых средств программного и информационного обеспечения для коренного улучшения качества проектных работ и сокращения их сроков*. Современные САПР – это мощнейший инструмент, позволяющий повысить производительность труда, сократить затраты на процесс синтеза и анализа технической системы, провести полномасштабные исследования.

Если говорить об автоматизации проектирования сложных технических систем, к которым относится и электропривод (ЭП), то очень малая степень автоматизации труда проектировщика относится к начальному – расчетному – этапу проектирования. Практически единственным средством автоматизации здесь являются инструментальные средства предпроектного анализа, такие как, например, MathCAD. Причина в том, что проектно-расчетные задачи на этом этапе плохо поддаются формализации, имеют в своем составе как проблемно-ориентированные, так и объектно-ориентированные расчетные процедуры, проектирование осуществляется, как правило, в несколько итераций, опираясь во многом на эмпирически полученные зависимости. Процесс проектирования электроприводов осложняется

многообразием механизмов, управляемых с помощью ЭП, наличием для однотипных механизмов различных методик расчета, отсутствием однозначных критериев для выбора подходящей методики. Кроме этого, необходимо большое количество разнородной информации для проектирования различных элементов ЭП.

Нет определенности и в самих этапах проектирования электропривода. Например, в курсе "Основы электропривода" Н.Ф. Ильинского [1], профессора МЭИ, выделены следующие этапы – *формулировка задачи, анализ задачи, поиск возможных решений, выбор решения, детальная разработка выбранного технического решения*. В зарубежной научно-технической литературе процесс проектирования электропривода ограничен синтезом механической части и заканчивается выбором электродвигателя [2], оставляя в стороне такие важные вопросы, как синтез системы управления, оптимизацию динамических характеристик, расчет энергетических показателей.

Электродвигательная установка как объект проектирования является *электромеханической системой или совокупностью механических и электромеханических устройств, объединенных общими силовыми электрическими цепями и (или) цепями управления, предназначенной для осуществления механического движения объекта* [3]. В электроприводе в единое целое объединяются три части: механическая часть, электрический двигатель и система управления (рис. 1).

Механическая часть включает все движущиеся элементы механизма – ротор электродвигателя РД, передаточное устройство – редуктор Р, исполнительный механизм ИМ. В *электродвигательное устройство* входят: электромеханический преобразователь энергии ЭМП, преобразующий электрическую мощность в механическую, и ротор двигателя РД, на который воздействует электромагнитный момент $M_{эд}$ двигателя при частоте вращения (угловой скорости) $\omega_{эд}$. *Система управления (СУ)* включает в себя энергетическую часть ЭСУ и информационную часть ИСУ. На ИСУ

Бурковский Виктор Леонидович – ВГТУ, зав. кафедрой, д-р техн. наук, проф.

Романов Андрей Владимирович – ВГТУ, доцент, канд. техн. наук.

Фролов Юрий Михайлович – ВГТУ, профессор, канд. техн. наук, проф.

актуальность задачи модернизации учебной САПР электроприводов.

Современная учебно-исследовательская САПР должна:

1) сохранить имеющиеся положительные элементы (методики расчетов, требуемые входные и желаемые выходные данные и т.д.);

2) в большей степени воспроизводить методико-информационную компоненту процесса проектирования;

3) наглядно демонстрировать современный уровень технологии проектирования – модульность построения ПО, различные сервисные возможности, работу в рамках современного (интуитивно понятного) интерфейса, ориентированного на Windows (для учебной САПР, в первую очередь, это диалоговые элементы интерфейса), развитые средства автоматизации создания отчетной проектной документации;

4) иметь открытую структуру для облегчения наращивания и модернизации элементов САПР, причем открытость структуры имеет приоритетное значение при разработке и модификации прикладных программ, входящих в состав САПР;

5) быть инвариантной к объекту проектирования и к альтернативным техническим решениям, принимаемым в ходе проектирования;

6) обеспечивать развитые средства сравнительного анализа различных технических решений.

Согласно вышесказанному, сформируем структуру программного обеспечения САПР электроприводов (на уровне основных прикладных программ) и сформулируем требования к ним.

Прежде всего, в качестве единой интегрированной среды проектирования программных средств определим продукт фирмы Borland – Delphi. Это облегчит сопровождение САПР, модификацию, поиск и устранение ошибок. Открытость структуры обеспечивается организацией хранения данных в формате INI-файла. Обмен данными между расчетными программами целесообразно осуществлять с помощью единого файла проекта (в формате INI-файла) или через Clipboard – стандартное средство Windows. В качестве модели жизненного цикла разрабатываемых программ принята спиральная (итерационная) модель, что позволяет последовательно наращивать возможности ПО без особых потерь в функциональности.

Ядро центральной информационной части САПР – базы данных (БД) технических параметров элементов ЭП реализуется на BDE с

использованием локального языка SQL-запросов.

Синтез механической части электропривода построен по принципу редактора плоских схем, где основные элементы (объекты) ЭП – электродвигатель (ЭД), различные типы редукторов (например, для поступательного движения, цепной и ременной передач), исполнительный механизм. В зависимости от типа объекты имеют определенный набор параметров. Соединяются объекты бинарными линиями связи, эквивалентными механической связи (соответственно, для каждой линии связи определяется по крайней мере упругость или жесткость механической связи). Для исполнительного механизма определяется (исходя из требований технологии) нагрузочная диаграмма и тахограмма механизма, которая по передаточным числам промежуточных редукторов автоматически пересчитывается к валу электродвигателя, позволяя осуществить выбор последнего. Кроме этого, в требования к данному ПО необходимо включить расчет параметров для построения модели механической части как для многомассовой, так и для одномассовой электромеханической системы. Эти данные важны для последующего синтеза системы управления. Типовые механизмы рассчитываются с использованием отдельных библиотек (dll-файлов), подключаемых к основной программе.

Вслед за выбором двигателя необходимо определиться с набором его параметров, так как в справочных данных далеко не всегда приводится полный набор параметров ЭД, необходимых для полноценного проектирования. Использование единой БД со временем сгладит сложности этого этапа (будет происходить накопление информации), к тому же некоторые параметры можно рассчитать с той или иной степенью достоверности. Эти функции возложены на ПО построения механических и электромеханических характеристик ЭД. В этой же программе рассчитываются статические характеристики работы электродвигателя в тормозных режимах.

Синтез силовой части электропривода заключается в определении принципиальной электрической схемы с аппаратурой управления, информационными датчиками, элементами защиты. Здесь также следует использовать принцип редактора плоских схем с параметризацией объектов. Особое внимание следует уделить генерации конечной документации, т.к. при начертании принципиальных электрических схем должны быть соблюдены правила ГОСТ. Кроме этого, в учебных целях следует

проводить выбор схемы преобразователя электрической энергии и расчет основных силовых элементов.

Задача синтеза системы управления и оптимизация динамики, пожалуй, наиболее сложная в процессе проектирования. В настоящий момент она решается в основном с помощью средств пакета MatLab. Автоматизация здесь возможна на уровне рекомендаций по выбору принципов построения СУ и расчета параметров элементов системы управления. Далее предполагается автоматизированное создание mdl-файла (он имеет текстовый формат) и запуск MatLab на основе сформированной модели. Результаты моделирования в числовом виде сохраняются во внешнем файле на жестком диске для дальнейшего использования и анализа.

Сформированные конечные переходные процессы для тока, момента и скорости электродвигателя позволят оценить реальные энергетические характеристики спроектированного электропривода. Решение этой же задачи желательно не только на завершающем этапе проектирования, но и после расчета механической части, основываясь на желаемой нагрузочной диаграмме и тахограмме. Это необходимо для определенности с выбором типа преобразовательного устройства и режимами торможения электродвигателя, что, в свою очередь, потребует конкретной схемной реализации.

Важной компонентой учебно-исследовательской САПР должны быть средства анализа принятых технических решений (основываясь на данных файла проекта), которые проверяли бы корректность выбранных коэффициентов и методов, реализуемость решения и т.д.

Все программное обеспечение должно быть укомплектовано файлами помощи в виде hlp- или chm-файлов. При изложении теорети-

ческих положений, описании методики проектирования допустимо использовать файлы в форматах pdf или djvu.

Данная структура САПР, по мнению авторов, позволит полностью автоматизировать процесс проектирования электроприводов и привить пользователям (студентам) навыки автоматизированного проектирования. САПР будет полезна и специалистам для проектирования различных типов электроприводов благодаря универсальности, инвариантности к объекту проектирования, средствам анализа принятых технических решений, объемному методико-информационному обеспечению. Все это в дальнейшем позволит снизить затраты на проектирование и повысить качество конечного продукта.

Литература

1. <http://www.aep.mpei.ac.ru>.
2. Практика приводной техники. Проектирование приводов. Издание 11/2001. 160 с. <http://www.sew-eurodrive.com>.
3. ГОСТ 50369-92. ЭЛЕКТРОПРИВОДЫ. Термины и определения.
4. Романов А.В. Программное средство "Автоматизированный расчет электропривода главного движения продольно-строгольного станка" (PSS) / А.В. Воронин, А.В. Лесовой, А.В. Романов. – ГОСФАП РФ, регистрационный № 50990000134, М. 1999.
5. Зоря А.И. Программа автоматизированного расчета элементов силовой части системы "Тиристорный преобразователь - двигатель" (Sila). / А.И. Зоря, А.В. Романов, Ю.М. Фролов – ГОСФАП РФ, регистрационный № 50200401485 от 20.12.2004. М. 2004.
6. Романов А.В. Программное средство "Оптимизация динамики упругих электромеханических систем" / Д.В. Бушнев, Р.В. Пилюгин, А.В. Романов, Ю.М. Фролов – ГОСФАП РФ, регистрационный № 50980000004, М. 1998.
7. Ковалев Р.В. Программа автоматизированного расчета энергетики асинхронных электроприводов ("Energo") / Р.В. Ковалев, А.В. Романов, Ю.М. Фролов – ГОСФАП РФ, регистрационный № 50200200563, М. 2002.

Воронежский государственный технический университет
Поступила в редакцию 28.03.2006

PROBLEMATICS OF A COMPUTER-AIDED DESIGN OF ELECTRICAL DRIVES

V.L. Burkovsky, A.V. Romanov, Y.M. Frolov

In paper the problems of system development of a computer-aided design of electrical drives are parsed. On the basis of a functional diagram of the electrical drives the main design stages and resources of formalising are offered, and also the alternate variant of a similar CAD is considered.