

ющего вектора напряжения нагрузки на результирующий вектор тока. При линейной нагрузке и фиксированной выходной частоте  $\omega$  автономный инвертор как элемент цепи постоянного тока может быть представлен в виде передаточной функции, которая для автономного инвертора тока пропорциональна действительной части операторного сопротивления нагрузки во вращающейся со скоростью  $\omega$  системе координат.

При построении модели в пакете программ MatLAB используются программируемые блоки, значения которых получены при помощи полевого расчета многофазного ЛАД. Настройка контура регулирования тока производится по критерию модульного оптимума [5]. При единичном ступенчатом воздействии перерегулирование составляет 4,3 %. В контуре регулирования скорости используется ПИ-регулятор, параметры которого были определены экспериментально. Переходный процесс носит аperiodический характер. В результате система является устойчивой к различного рода возмущающим воздействиям.

#### Библиографический список

1. Эпштейн, Н. И. Автоматизированный электропривод переменного тока / Н. И. Эпштейн. М. : Энергоатомиздат, 1982.
2. Бражников, В. Ф. Метод анализа асинхронных многофазных двигателей с произвольным расположением обмоток при несинусоидальном напряжении питания / В. Ф. Бражников, В. И. Иванчура, Б. П. Соустин // Автоматизированные электромеханические системы / Новосибир. электротехн. ин-т. Новосибирск, 1980. С. 56–69.
3. Кривицкий, С. О. Динамика частотно-регулируемых электроприводов с автономными инверторами / С. О. Кривицкий, И. И. Эпштейн. М. : Энергия, 1970.
4. Суханов, В. В. Трехмерная модель линейного асинхронного двигателя с поперечным магнитным потоком / В. В. Суханов, Н.А. Никулин // Сб. материалов 5-й Международ. (16-й Всерос.) конф. по автоматизир. электроприводу. СПб., 2007.
5. Шаталов, А. С. Теория автоматического управления / А. С. Шаталов. М. : Высш. шк., 1977.

V. I. Ivanchura, V. V. Suchanov, N. A. Nikulin

### INVESTIGATION DRIVE SYSTEM WITH THE MULTIPHASE TRANSVERSE FLUX LINEAR INDUCTION MOTOR

*The investigation of transients in multiphase inverter electric drive system with the transverse flux linear induction motor is executed. The investigation of stability and synthesis of structure of necessary regulators is conducted.*

*Keywords: linear induction motor, switching function, independent inverter, regulator, multiphase system.*

УДК 621.396.6-049.75:629.78

А. В. Юткин, О. А. Климкин, А. В. Дзювина

### ВНЕДРЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА И ТЕПЛОМ АНАЛИЗЕ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

*Рассмотрены различные системы проектирования на базе радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) космических аппаратов. Проанализированы принципы создания информационной структуры процесса проектирования РЭА. Предложены система хранения данных и схема обмена данными между системами проектирования и системой хранения данных.*

*Ключевые слова: проектирование, радиоэлектронная аппаратура, космический аппарат.*

Процесс проектирования космического аппарата (КА) состоит из различных этапов, для совершенствования которых применяются различные методы и технологии. В данной статье рассматривается процесс внедрения информационных технологий при проектировании радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) космического аппарата.

Проектирование радиоэлектронной аппаратуры космического аппарата состоит из следующих этапов: получения и согласования технического задания на разработку радиоэлектронной аппаратуры; проектирования электрической схемы РЭА; проектирования печатных плат;

проектирования конструкции прибора; теплового анализа печатных плат; механического анализа конструкции РЭА; составления конструкторской документации РЭА.

В настоящее время для проектирования радиоэлектронной аппаратуры используются различные системы автоматизированного проектирования (САПР) РЭА. Эти системы постоянно совершенствуются в связи с появлением новых стандартов и требований к проектированию РЭА, что значительно усложняет работу конструкторов. Для облегчения и ускорения разработки РЭА необходимо создать единую информационную систему для хра-

нения графической и технической информации, которая будет использоваться в процессе проектирования РЭА. Создание такой интегрированной информационной структуры предполагает объединение существующих систем проектирования и включает несколько этапов [1].

На первом этапе проводится анализ всех автоматизированных систем, применяемых для поддержки и совершенствования процессов проектирования радиоэлектронной аппаратуры, и определяется, какие системы проектирования нужно сохранить, а какие заменить на более современные или разработать новые. При выборе систем проектирования предпочтение следует отдавать открытым системам, поскольку в них упрощены функции поддержки и обеспечен обмен данными в стандартном виде.

Вторым этапом является разработка системы хранения таких данных, как электрические схемы, печатные платы, блоки, конструкции приборов, а также всех радиоэлементов, используемых для проектирования радиоэлектронной аппаратуры. Создаваемая система хранения данных должна быть привязана к автоматизированным системам проектирования РЭА и независима от какой-либо из них.

Все эти задачи наилучшим образом решаются, если системы хранения данных изначально разрабатываются с ориентацией на формирование единого информационного ядра (информационной базы). В качестве такого ядра авторами было решено использовать реляционную базу данных (БД), отображающую концептуальную модель рассматриваемой предметной области. Затем были

проанализированы основные системы автоматизированного проектирования РЭА, из которых были выделены САПР PCAD (проектирование печатных плат), ТриАНА (расчет тепловых моделей), AutoCAD (предварительное конструирование приборов), OrCAD (проектирование электронных схем), SolidWorks и CATIA (трехмерное проектирование конструкции приборов).

В результате анализа этапов проектирования РЭА (рис. 1) основой создаваемого информационного ядра и центром взаимосвязей внутри него стали базы данных конструкторской документации (КД), электронных радиоизделий (ЭРИ) и ТриАНА. Для хранения данных была выбрана база данных MySQL, разработанная корпорацией MySQL AB. Основные достоинства этой БД следующие: многопоточность; поддержка нескольких одновременных запросов; оптимизация связей с присоединением многих данных за один проход; записи фиксированной и переменной длины; ODBC-драйвер в комплекте с исходником; гибкая система привилегий и паролей; до 16 ключей в таблице, каждый из которых может иметь до 15 полей; поддержка ключевых полей и специальных полей в операторе Create; поддержка чисел длиной от 1 до 4, строк переменной длины и меток времени; интерфейс с языками C и Perl; основанная на потоках быстрая система памяти; утилита проверки и ремонта таблицы; хранение всех данных в формате ISO8859\_1; использование Insert на любом подмножестве полей; легкость управления таблицей, включая добавление и удаление ключей и

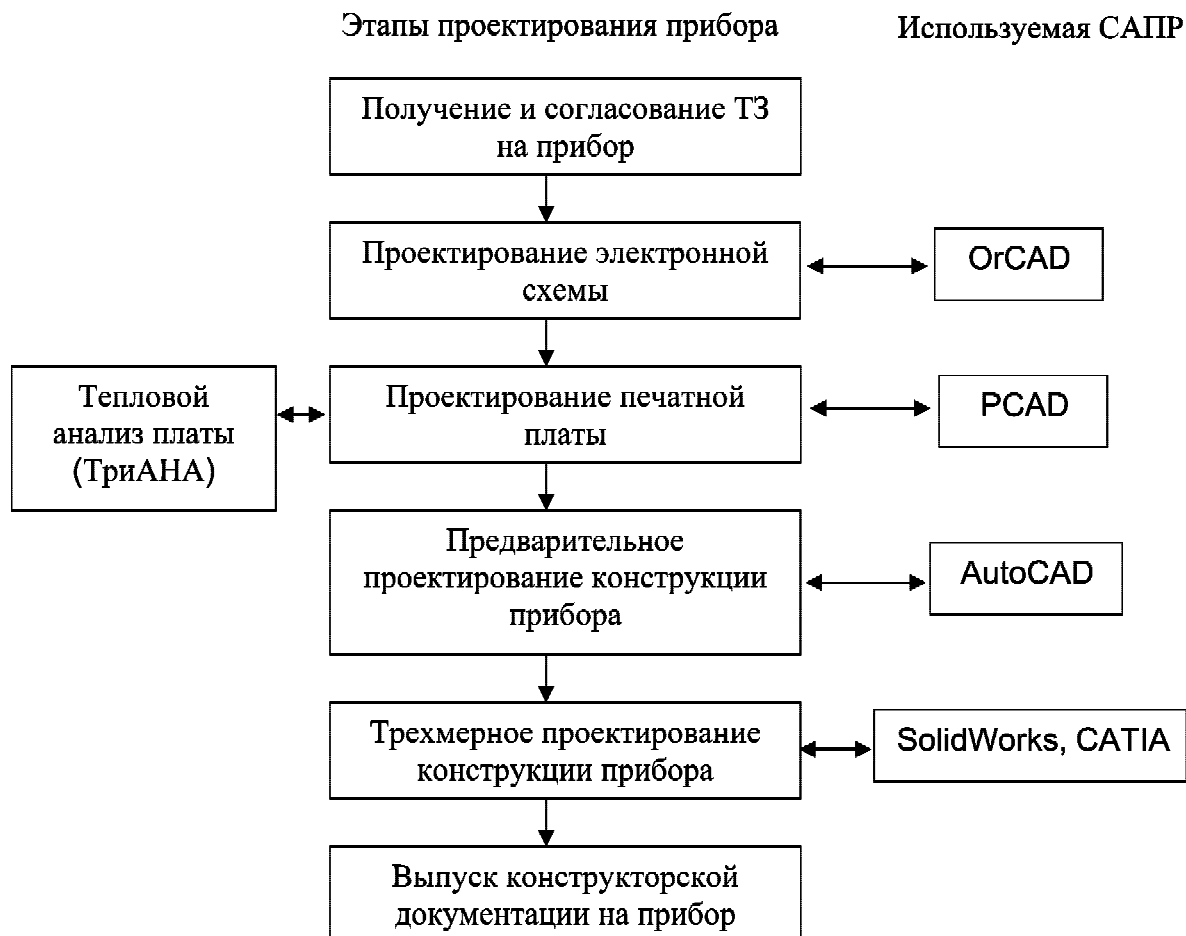


Рис. 1. Этапы проектирования РЭА и используемые для них САПР

полей; выполнение команд SQL непосредственно из командной строки системы Unix или из интерактивного режима MySQL. Кроме того, СУБД MySQL имеет библиотеку C API, которую можно использовать для запросов в базе данных, вставки данных, создания таблиц и т. п. [2].

Таким образом, решение задачи внутренней интеграции прикладных подсистем в единой информационной базе подготовило интеграцию «внешних» по отношению к ней САПР PCAD и ТриАНА (рис. 2). При помощи разработанного программного обеспечения в базу данных ЭРИ из САПР PCAD были конвертированы характеристики электронных элементов и графическая информация о них. При помощи этого же программного обеспечения в базу ТриАНА из САПР ТриАНА были внесены данные теплового расчета. База КД была сформирована на основе данных обеих САПР.

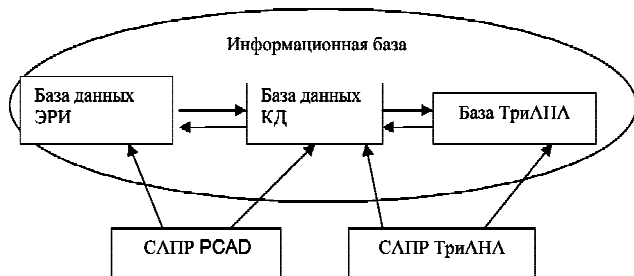


Рис. 2. Информационная система проектирования РЭА КА

В ходе проектирования баз ЭРИ и КД после изучения данных, находящихся в системах автоматизированного проектирования ТриАНА и PCAD, было решено разбить все радиоэлементы по следующим типам: конденсаторы, микросхемы, полупроводники и др.

На основе ЭРИ, используемых в САПР ТриАНА и PCAD для проектирования РЭА, была разработана база данных ЭРИ (табл. 1). Описания элементов ЭРИ были взяты из технических условий на эти элементы.

Радиоэлементы и их тепловые характеристики были помещены в базу ЭРИ по типам, соответствующим каждой таблице. После проведения анализа элементов была составлена структурная схема хранения данных в таблицах ЭРИ (табл. 2).

Передача данных из САПР PCAD в базу данных КД происходит при помощи программного обеспечения, разработанного в рамках решения задач автоматизации проектирования печатной платы и формирования КД на спроектированную плату. Программное обеспечение создано на основе языка программирования Visual Basic и осуществляет обмен данными при помощи DBX-интерфейса, используемого в САПР PCAD для обмена данными с другими САПР. Для передачи необходимой информации требуется ввести следующие параметры: наименование изделия, номер прибора, название прибора,

Таблица 1

Структура база данных ЭРИ

Название таблицы	Описание	Кол-во элементов
<b>blok</b>	Блоки	10
<b>detal</b>	Спецдетали	10
<b>detali</b>	Детали	3
<b>eri imp bort</b>	Импортные ЭРИ	8
<b>kondensator</b>	Конденсаторы	270
<b>matrica</b>	Матрицы	36
<b>micro</b>	Микросхемы	401
<b>pattern</b>	Графическая информация	431
<b>poluprovodnik</b>	Полупроводники	117
<b>prochee</b>	Прочее	29
<b>radiator</b>	Радиаторы	13
<b>razem</b>	Разъемы	130
<b>rele</b>	Реле	33
<b>rezistor</b>	Резисторы	70
<b>rezonator</b>	Резонаторы	12
<b>transformator</b>	Трансформаторы	106
<b>tranzistor</b>	Транзисторы	79
Итого		1 758

Таблица 2

Структура таблиц ЭРИ и описание полей

Название поля	Описание поля
<b>Naimenovanie</b>	Полное наименование элемента
<b>TU</b>	Техусловие
<b>Ustanovka</b>	Тип установки
<b>Detal</b>	Доп. деталь
<b>Massa</b>	Масса элемента
<b>Kreplenie</b>	Тип крепления к плате
<b>ComponentHeightTop</b>	Высота элемента над платой
<b>ComponentHeightBottom</b>	Высота элемента под платой
<b>Paika</b>	Тип пайки
<b>Montag</b>	Тип монтажа
<b>SmpPCAD</b>	Связь с САПР PCAD
<b>sdetal</b>	Спецдеталь

номер блока, название блока, стадию разработки блока, тип платы (рис. 3).

Рис. 3. Передача данных из САПР PCAD в базу данных КД

Выбрав в базе КД название прибора, конструктор может просмотреть сформированную системой конструкторскую документацию на этот прибор со следующими характеристиками: используемые в нем радиоэлементы, требуемые для его изготовления материалы, общая масса радиоэлементов и т. д. (рис. 4).

При проведении теплового анализа печатных плат разработанное программное обеспечение выполняет выгрузку данных из базы КД и формирует файл с данными о выбранном приборе для теплового расчета в системе ТриАНА. Используя это программное обеспечение, конструктор также может передавать данные из системы PCAD в систему ТриАНА (рис. 5), не перечерчивая печатные платы, что сокращает время проектирования и теплового расчета всего прибора, а также критичные ошибки на стадии проектирования его печатных плат.

В результате теплового расчета будут определены значения температур конструктивных элементов, конструктивных узлов и ЭРИ радиоэлектронных средств (РЭС), значения температур воздушных потоков, охлаждающих РЭС. Эти значения могут быть получены как для стационарного, так и для нестационарного теплового режима [3].

Взаимодействие проектировщика с разработанной информационной структурой осуществляется через обращение к веб-интерфейсу спроектированного авторами сайта. Форма представления информации при помо-

## База данных КД

Вы зарегистрированы : admin

[Регистрация](#)

<p style="margin: 0;"><a href="#">На главную</a></p> <p style="margin: 0;"><a href="#">База Эри</a></p> <p style="margin: 0;"><a href="#">База КД</a></p> <p style="margin: 0;"><a href="#">База НТД</a></p> <p style="margin: 0;"><a href="#">База БКС</a></p> <p style="margin: 0;"><a href="#">Пользователи</a></p>	<p style="text-align: center; margin: 0;">Назад</p> <p style="text-align: center; margin: 10px 0 0 0;"><b>Прибор: БУ БКУ 14Ф143.2212-8400</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Полная масса ЭРИ равна 719.57</li> <li>2. Количество условных корпусов 141.42 на другой стороне 123.08</li> <li>3. Количество разновидностей деталей 6                      Деталь "154.4010-211-51" :1                      Деталь "154.4010-05 Стойка \2 [A3]" :4                      Деталь "14Ф141.1512-4511 \1[A4]" :8                      Деталь "154.4010-05 Стойка \2[A3]" :2                      Деталь "14Ф141.1512-4511 1[A4]" :2                      Деталь "154.4010-05 Стойка 2[A3]" :4</li> <li>4. Количество разновидностей станд. деталей 3                      Станд. деталь "Винт М3-6ех8.66.016 ОСТ92-0725-72 2" :2                      Станд. деталь "Шайба С.3.04.019 ГОСТ10450-78 2" :2                      Станд. деталь "Гайка М3-7Н.66.016 ОСТ92-0742-72 2" :2</li> <li>5. Количество разновидностей установок 12                      Установка "34":                      "1467UD1T"                      "1554AP6TBM"                      "1554ID7TBM"                      "1554IE19TBM"                      "1554LA4TBM"                      "1554LE1TBM"                      "1554LN1TBM"                      "249KP4AT"                      "5514BC1T2-9A5"                      "OSM249KP1S"</li> </ol>
--	--

Рис. 4. Формирование отчета о приборе БУ БКУ на основе данных базы КД



**Библиографический список**

1. Юткин, А. В. Внедрение информационных технологий при проектировании радиоэлектронной аппаратуры и тепловом анализе печатных плат / А. В. Юткин, О. А. Клишкин // Решетневские чтения : материалы XII Междунар. науч. конф. / Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск. 2008. С. 368–369.
2. MySQL: введение [Электронный ресурс]. Электрон. дан. Режим доступа : <http://www.mysql.ru/docs/ilyin>. Загл. с экрана.
3. Описание применения ПК ТриАНА [Электронный ресурс] / А. В. Сарафанов, В. Г. Журавский, В. В. Гольдин и др. Электрон. дан. 2007. Режим доступа: <http://www.triana.ire.krgtu.ru/download/new/2.pdf>. Загл. с экрана.

A. V. Yutkin, O. A. Klimkin, A. V. Dzyuvina

**ELECTRONIC EQUIPMENT OF SPACECRAFT  
AND THERMOANALYSIS OF PRINTED-CIRCUIT-BOARDS**

*Different designing systems on the basis of radio electronic equipment are considered. The creation principles are considered in information structure, process of designing radio electronic equipment, the development of the system engineering of data storage, data exchange schemes among designing systems and a data storage system are analyzed.*

*Keywords: designing, radio electronic equipment, spacecraft.*