

Школа схемотехнического проектирования устройств обработки сигналов

Занятие 16. Особенности разработки конструкторской документации РЭА в соответствии с ЕСКД

Пятый закон ненадежности: ошибаться человеку свойственно, но окончательно все запутать может только компьютер.

А. Блох. Закон Мерфи

**Владимир Стешенко,
к. т. н.**

steshenk@sm.bmstu.ru

Как известно, разработка любого сколько-нибудь серьезного изделия начинается и заканчивается выпуском конструкторской документации (КД). Я, конечно, не имею в виду «радиогубительскую» практику, сложившуюся в некоторых коллективах, когда вопрос о наличии необходимой проектной и эксплуатационной документации вызывает реакцию искреннего удивления и вместо нее предлагают посмотреть на несколько листиков мятой бумаги. При проектировании изделия решаются задачи не только грамотного оформления КД, но и, собственно говоря, разработки конструкции изделия, выполнения определенных расчетов — механических, тепловых, электромагнитной совместимости и т. п.

Опытный конструктор может смело пропустить этот выпуск «Школы», поскольку представленная в нем информация общеизвестна и определена действующими стандартами. Однако поскольку 70 % читателей цикла, наверное, составят студенты вузов, то, дабы избавить их от проблем при выполнении курсового и дипломного проектирования, связанных с поиском необходимой нормативной документации (ГОСТов, справочников и т. д.), автор считает необходимым посвятить очередное занятие общим правилам выполнения оформления конструкторской документации (КД), тем более что в последние пять-семь лет учебная литература по данной тематике массовыми тиражами практически не издавалась.

В этом занятии даются сведения по использованию действующих стандартов при разработке РЭА. Как известно, основой грамотного оформления конструкторской документации в России и СНГ является ЕСКД — единая система конструкторской документации, основные положения которой (действующая в настоящее время редакция) определены ГОСТ 2.001-93, введенным с 1 января 1995 года. Этот стандарт устанавливает назначение, область распространения, классификацию и правила обозначения межгосударственных стандартов, входящих в комплекс стандартов Единой системы конструкторской документации (ЕСКД), а также порядок их внедрения.

ЕСКД определяется как комплекс стандартов, устанавливающих взаимосвязанные нормы и правила по разработке, оформлению и обращению конструкторской документации, разрабатываемой и применяемой на всех стадиях жизненного цикла изделия. Следует заметить, что конструкторская документация является товаром, и на нее распространяются все нормативно-правовые акты, как на товарную продукцию. Основное назначение стандартов ЕСКД состоит в установлении единых оптимальных правил выполнения, оформления и обращения конструкторской документации.

Установленные в стандартах ЕСКД нормы и правила распространяются на документацию, разработанную предприятиями и предпринимателями стран СНГ, в том числе научно-техническими, инженерными обществами и другими общественными объединениями.

Виды конструкторских документов определяются ГОСТ 2.102-68. К конструкторским документам относят графические и текстовые документы, которые в отдельности или в совокупности определяют состав и устройство изделия и содержат необходимые данные для его разработки или изготовления, контроля, приемки, эксплуатации и ремонта. Документы в зависимости от стадии разработки подразделяются на проектные (техническое предложение, эскизный проект и технический проект) и рабочие (рабочая документация). Документы, предназначенные для разового использования в производстве, например, документы макетов, стендов для лабораторных испытаний и им подобные, допускается выполнять в виде эскизных конструкторских документов.

Основной конструкторский документ изделия в отдельности или в совокупности с другими записанными в нем конструкторскими документами полностью и однозначно определяет данное изделие и его состав. За основные конструкторские документы принимают для деталей — чертеж детали, а для сборочных единиц, комплексов и комплектов — спецификацию.

Полный комплект конструкторских документов изделия составляют в общем случае из основного

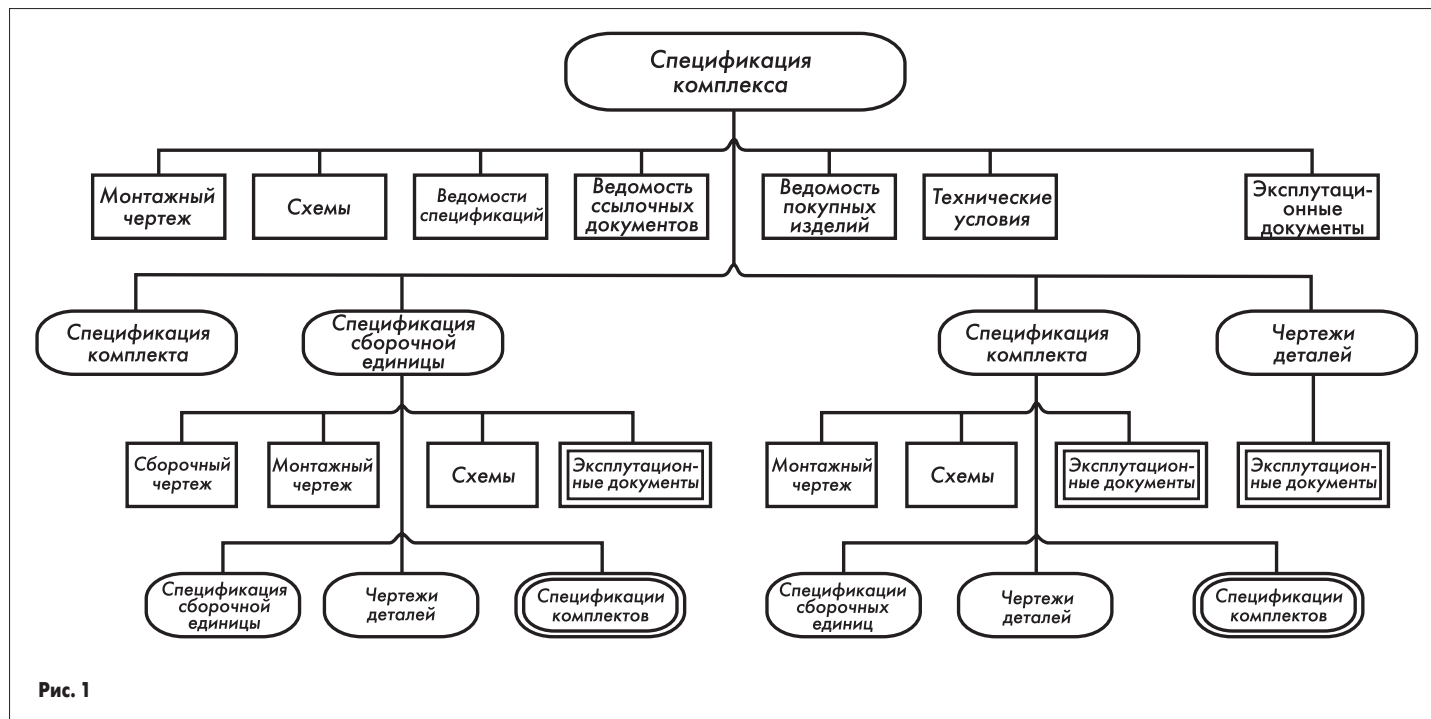


Рис. 1

комплекта конструкторских документов на данное изделие и основных комплектов конструкторских документов на все составные части данного изделия, примененные по своим основным конструкторским документам.

В основной комплект конструкторских документов изделия могут входить также групповые конструкторские документы, если эти документы распространяются и на данное изделие, например, групповые технические условия.

Рассмотрим пример построения полного комплекта конструкторских документов комплекса (рис. 1).

На рисунке основной конструкторский документ изделия показан в овале. Документы основного комплекта показаны в прямоугольниках. Документы, обведенные в двойные рамки, предусматриваются только для изделий, предназначенных для самостоятельной поставки. Число ступеней входимости для комплексов, сборочных единиц и комплектов, а также число входящих комплектов сборочных единиц, комплектов и деталей не ограничиваются.

Правила оформления текстовых документов определяет ГОСТ 2.105-95 «Общие требования к текстовым документам», этот стандарт устанавливает общие требования к выполнению текстовых документов на изделия машиностроения, приборостроения и строительства.

Текстовые документы выполняют на форматах, установленных соответствующими стандартами ЕСКД. Требования, специфические для некоторых видов текстовых документов, приведены в соответствующих стандартах.

При выполнении текстовых документов на ЭВМ (а по-другому сейчас представить сложно) следует помнить о применении печатающих и графических устройств вывода ЭВМ (в соответствии с ГОСТ 2.004) и магнитных носителей данных (в соответствии с ГОСТ 28388).

Копии текстовых документов выполняют одним из следующих способов:

- типографским — в соответствии с требованиями, предъявляемыми к изданиям, изготовляемым типографским способом;
- ксерокопированием — при этом рекомендуется размножать способом двустороннего копирования;
- светокопированием;
- микрофильмированием;
- на магнитных носителях данных.

Теперь совершенно очевидной становится необходимость использования современной техники на производстве — дабы удовлетворить требованиям ГОСТ. Заинтересованный читатель может показать своему руководству ГОСТ, где четко прописано ксерокопирование как способ изготовления копий, и требовать приобретения соответствующей техники.

Некоторые особенности использования средств вычислительной техники и САПР при оформлении КД определяются в ГОСТ 2.004-88 «Общие требования к выполнению конструкторских и технологических документов на печатающих и графических устройствах вывода ЭВМ». Этот стандарт распространяется

на конструкторские документы изделий всех отраслей промышленности, технологические документы изделий машиностроительной и приборостроительной промышленности и устанавливает требования к выполнению конструкторских, технологических и проектных на бумажных носителях, получаемых с использованием устройств вывода ЭВМ. К сожалению, многие положения этого стандарта устарели — но во многом он позволяет облегчить жизнь разработчика при выполнении оформительских работ.

В документе, полученном при помощи устройств вывода ЭВМ, допускается часть информации (текст, таблицы, рисунки, чертежи) выполнять рукописным, машинописным и типографским способами, а также любым сочетанием этих способов.

Форматы документов, получаемых на графических устройствах, должны соответствовать размерам, установленным ГОСТ 2.301. Допускается применять дополнительные форматы, образуемые увеличением сторон основных форматов соответственно на значение, кратное размеру высоты и ширины формата.

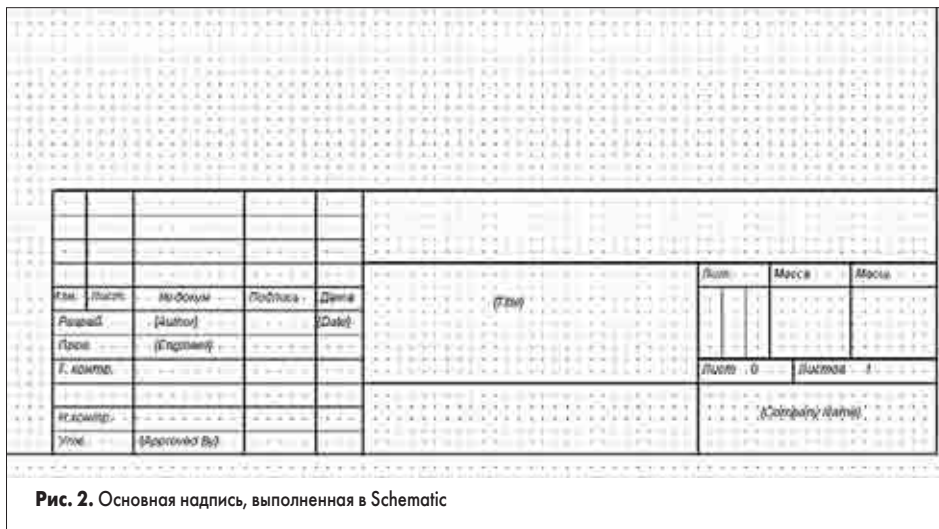


Рис. 2. Основная надпись, выполненная в Schematic

Рассмотрим на примере создание основной надписи и штампа с помощью современных САПР. Поскольку штатные форматы PCAD 2001 (ACCEL EDA) не соответствуют отечественным стандартам, необходимо создать форматку самостоятельно. Сделать это можно путем рисования линий командой Place/Line и текста командой Place/Text, а можно импортировать готовый файл форматки из P-CAD через формат PDF или из AutoCADa через формат DXF. Файл форматки имеет расширение TTL. На рис. 2 представлен фрагмент форматки для листа формата A1.

При выполнении форматки нужно помнить несколько маленьких хитростей. Во-первых, файл с расширением TTL получают путем переименования **бинарного** файла SCH. То есть необходимо сохранить файл форматки как бинарный файл схемы (Binary SCH). Только в этом случае команда Options/Sheet корректно выполнится.

Во-вторых, в PCAD-2001 имеется удобный механизм размещения информационных полей с помощью команды Place/Field. Меню команды Place/Field представлено на рис. 3. Конечно, в российских условиях большинство полей являются лишними, тем не менее, гораздо удобнее заполнить значения поля, начиная работу с новой схемой, чем делать это командой Place/Text. Имеются следующие возможные значения полей.

Title	Название схемы
Author	Фамилия разработчика
Date	Дата
Time	Текущее время
Revision	Номер редакции (версии) схемы,
Drawing Number	Номер чертежа (можно использовать под десятичный номер)
Approved By	«Утвердил»
Checked By	«Проверил»
Company Name	Название организации
Drawn By	Чертежник (можно использовать как поле «копировал»)
Engineer	Инженер (можно использовать как поле Н.контр или Т.контр)

Заполнение полей форматки выполняется по команде File/Design Info/Fields. Помимо возможности заполнения полей форматки, PCAD 2001 имеет замечательное встроенное средство создания различных таблиц, примечаний и т. п. — набор утилит Document Toolbox.

Практически в каждой схеме приходится давать пояснения по подключению питания микросхем, полярности сигналов и т. п. (рис. 3). Конечно, можно поместить эту информацию, используя команду размещения текста Place/Text, однако несравненно удобнее воспользоваться средствами Document Toolbox.

Команды меню Doc Tool могут быть вызваны как из меню, так и нажатием соответствующих пиктограмм.

Вести примечания к проекту можно с помощью команды Doc Tool/Notes. В поле Field Set задается имя набора полей, используемого в проекте. В полях Note Text вводится текст примечания.

Текст примечания может быть импортирован из файла или экспортирован в текстовый файл путем нажатия кнопок Import и Export.

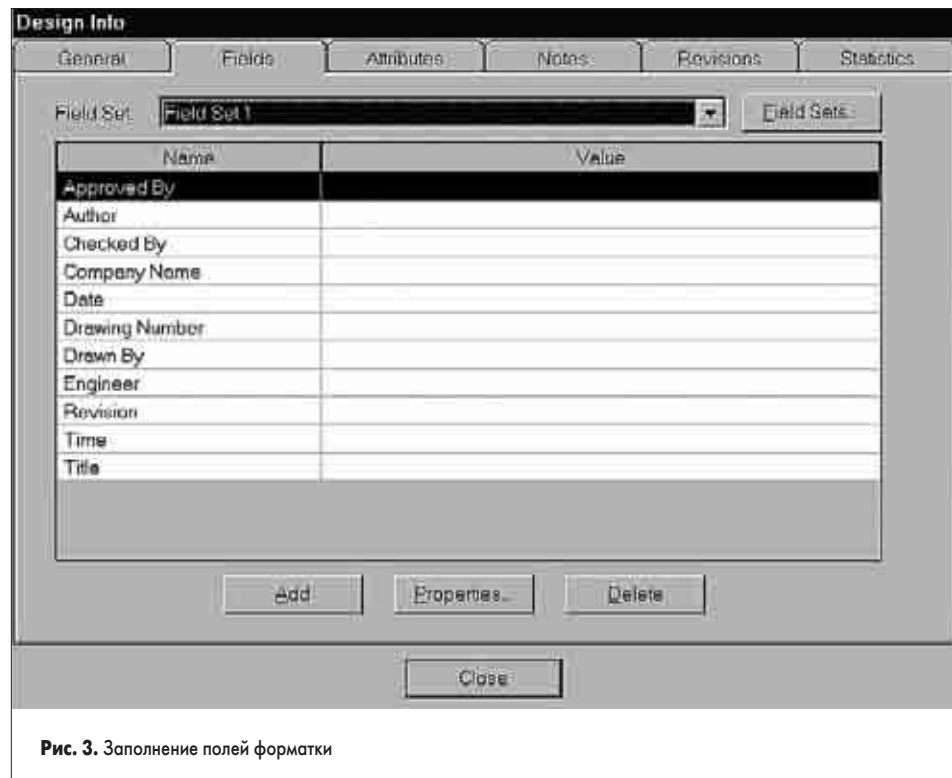


Рис. 3. Заполнение полей форматки

В графе Annotation задают стиль выделения примечаний (различные виды рамки вокруг номера).

Редактировать примечания можно и запустив команду File/Design Info/Notes, попадая в то же самое меню, что и по команде Doc Tool/Notes. Этот пример еще раз иллюстрирует, что в PCAD-2001 многие операции можно выполнять с одинаковым результатом различными способами, поэтому не следует воспринимать рекомендации автора как истину в последней инстанции.

Размеры информационного поля документа определяются типом печатающего устройства с максимальным использованием поля формата. При этом края информационного поля по высоте должны отстоять от линии насечки на бумажной ленте на расстоянии не менее одного межстрочного интервала, а по ширине — не менее 20 мм от левого края формата. В документах, получаемых на графических устройствах, следует применять линии в соответствии с ГОСТ 2.303 с учетом требования толщины сплошных тонкой и волнистой, штриховой и штрих-пунктирной линий — от S/3 до S/2.

Текстовые документы следует выполнять на одной стороне бумажного носителя через два или один интервал. Допускается выполнять перенос слов без соблюдения грамматических правил.

При использовании ЭВМ допускается при выполнении чертежей и схем технические требования, таблицы и другую текстовую информацию помещать на отдельных листах формата A3 и A4, которые нумеруются как первые и последующие листы чертежа или схемы. Масштабы изображений на чертежах, выполняемых на графических устройствах, следует выбирать из ряда по ГОСТ 2.302. Допускается применять масштабы уменьшения $1:n$ и увеличения $n:1$, где n — рациональное число.

Рассмотрим особенности выполнения схем. Схемы в зависимости от основного назначе-

ния подразделяют на структурные, функциональные, принципиальные (полные), соединений (монтажные), подключения, общие, расположения, объединенные.

Схема структурная — схема, определяющая основные функциональные части изделия, их назначение и взаимосвязи. Схемы структурные разрабатывают при проектировании изделий на стадиях, предшествующих разработке схем других типов, и используются ими для общего ознакомления с изделием.

Схема функциональная — схема, разъясняющая определенные процессы, протекающие в отдельных функциональных цепях изделия или в изделии в целом. Схематическими функциональными пользуются для изучения принципов работы изделий, а также при их наладке, контроле и ремонте.

Схема принципиальная (полная) — схема, определяющая полный состав элементов и связей между ними и, как правило, дающая детальное представление о принципах работы изделия. Схематическими принципиальными пользуются для изучения принципов работы изделий, а также при их наладке, контроле и ремонте. Они служат основанием для разработки других конструкторских документов, например схем соединений (монтажных) и чертежей.

Схема соединений (монтажная) — схема, показывающая соединения составных частей изделия (установки) и определяющая провода, жгуты, кабели или трубопроводы, которыми осуществляются эти соединения, а также места их присоединений и ввода (разъемы, платы, зажимы и т. п.). Схематическими соединений (монтажными) пользуются при разработке других конструкторских документов, в первую очередь, чертежей, определяющих прокладку и способы крепления проводов, жгутов, кабелей или трубопроводов в изделии, а также для осуществления присоединений и при контроле, эксплуатации и ремонте изделий.

Схема подключения — схема, показывающая внешние подключения изделия. Схематическими подключениями пользуются при разработке других конструкторских документов, а также для осуществления подключений изделий и при их эксплуатации.

Схема общая — схема, определяющая составные части комплекса и соединения их между собой на месте эксплуатации. Схематическими общими пользуются при ознакомлении с комплексами, а также при их контроле и эксплуатации. Схему общую на сборочную единицу допускается разрабатывать при необходимости.

Схема расположения — схема, определяющая относительное расположение составных частей изделия, а при необходимости, также жгутов, проводов, кабелей и т. п. Схематическими расположениями пользуются при разработке других конструкторских документов, а также при эксплуатации и ремонте изделий.

Схема объединенная — схема, когда на одном конструкторском документе выполняют схемы двух или нескольких типов, выпущенных на одно изделие.

Номера действующих ГОСТов, определяющих правила выполнения схем, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Номер ГОСТа	Название
ГОСТ 2.701	Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению
ГОСТ 2.702	Правила выполнения электрических схем
ГОСТ 2.705	Правила выполнения электрических схем обмоток и изделий с обмотками
ГОСТ 2.708	Правила выполнения электрических схем цифровой вычислительной техники.
ГОСТ 2.709	Система обозначения цепей в электрических схемах
ГОСТ 2.710	Обозначения буквенно-цифровые в электрических схемах

Для изделия, в состав которого входят элементы разных видов, разрабатывают несколько схем соответствующих видов одного типа, например, схема электрическая принципиальная и схема гидравлическая принципиальная или одну комбинированную схему, содержащую элементы и связи разных видов. На схеме одного вида допускается изображать элементы схем другого вида, непосредственно влияющие на работу схемы этого вида, а также элементы и устройства, не входящие в изделие, на которое составляют схему, но необходимые для разъяснения принципов работы изделия. Графические обозначения таких элементов и устройств отделяют на схеме штрих-пунктирными линиями, равными по толщине линиям связи, и помещают надписи, указывая в них местонахождение этих элементов, а также необходимые данные.

Схему деления изделия на составные части (схему деления) выпускают для определения состава изделия (а также ответственности разработчиков этих составных частей).

Наименование и код схем определяют их видом и типом. Код схемы должен состоять из буквенной части, определяющей вид схемы, и цифровой части, определяющей тип схемы. Виды схем обозначают буквами, а ти-

пы схем — цифрами. Например, схема электрическая принципиальная ЭЗ; схема деления структурная — Е1; схема электрогидравлическая принципиальная — СЗ; схема электрическая соединений и подключения ЭО.

К схемам или взамен схем выпускают в виде самостоятельных документов таблицы, содержащие сведения о соединениях, местах подключения и другую информацию. Таким документам присваивают код, состоящий из буквы Т и кода соответствующей схемы. Например, код таблицы соединений к электрической схеме соединений — ТЭ4.

Номенклатура схем на изделие определяется в зависимости от его особенностей. Количество типов схем на изделие должно быть минимальным, но в совокупности они должны содержать сведения в объеме, достаточном для проектирования, изготовления, эксплуатации и ремонта изделия. Между схемами одного комплекта конструкторских документов на изделие должна быть установлена однозначная связь, которая обеспечила бы возможность быстрого отыскания одних и тех же элементов, связей или соединений на всех схемах данного комплекта.

Электрические схемы (обозначаются Э) подразделяются на схемы электрические принципиальные (ЭЗ), схемы электрические структурные (Э1), схемы электрические функциональные (Э2), схемы электрические соединений (Э4), схемы электрические подключения (Э5) и схемы электрические общие (Э6). Кроме того, в редких случаях используют схемы электрические объединенные (Э0), на которых совмещаются различные типы схем одного вида, например схемы электрические подключений и соединений. Общие правила выполнения схем устанавливают ГОСТ 2.701-84 и ГОСТ 2.702-75.

Схемы выполняют без соблюдения масштаба, действительное расположение составных частей (например, компонентов на плате) не учитывается или учитывается лишь приближенно. Электрические элементы и устройства на схеме изображают в состоянии, соответствующем обесточенному (например, нормально замкнутые или нормально разомкнутые контакты реле). Элементы, которые приводятся в действие путем механических перемещений (выключатели, кнопки и т. п.), изображаются на схемах в нулевом или отключенном положении. В противном случае требуется поместить текстовое примечание в поле схемы.

Форматы листов выбирают в соответствии с ГОСТ 2.301-68 и ГОСТ 2.004-79. При выборе форматов схемы следует учитывать объем и сложность схемы, условия ее хранения и обращения, возможность внесения изменений, особенности периферийного оборудования для вывода схем на бумажный носитель. По мнению автора, наиболее удобно (но и, к сожалению, дорого) использовать струйные плоттеры фирмы Hewlett Packard, однако в ряде случаев хорошим выходом из положения является струйный принтер формата А3 той же фирмы Hewlett Packard или Epson. В этом случае можно либо пойти по пути склеивания схемы большого формата (А2 и А1) из не-

скольких листов, либо, что во многих случаях предпочтительнее, выполнять многолистовую схему. Выбранный формат должен обеспечивать компактное выполнение схемы, при этом не уменьшая наглядности представления и удобства пользования.

При выполнении многолистовой схемы рекомендуется на каждом из листов выполнять вполне законченную функциональную цепь (например схему аналогового тракта, схему узла цифровой обработки, узла питания), а не произвольно разбивать схему на листы без какой либо функциональной связи.

Линии на схемах всех типов выполняются в соответствии с ГОСТ 2.303-68. Толщина линии выбирается в пределах от 0,2 до 1 мм и выдерживается постоянной во всем комплекте схем на изделие. Как условные графические обозначения, так и линии соединений выполняются линиями одинаковой толщины. Как правило, утолщенными линиями изображают общие шины (жгуты). Тип линии зависит от изображаемого объекта. Так, электрические связи, условные графические обозначения элементов и т. п. изображаются сплошными линиями. Электрические и магнитные экраны, механические связи (например, якорь и контакты реле) изображаются штриховыми линиями. Условные границы устройств, функциональных групп обозначаются штрих-пунктирной линией. Допускается выделять утолщенной линией отдельные электрические цепи, например силовые.

На электрической схеме любого типа изображают элементы и устройства (либо в виде условных графических обозначений, либо в виде прямоугольников), линии взаимосвязи, буквенно-цифровые обозначения, таблицы, текстовую информацию (например о питании интегральных микросхем) и помещают основную надпись.

Условные графические обозначения (УГО) элементов выполняются в соответствии с ЕСКД. Номера соответствующих ГОСТов приведены в табл. 2.

Таблица 2

ГОСТ 2.711	Схема деления изделия на составные части
ГОСТ 2.721	Обозначения общего применения
ГОСТ 2.722	Машины электрические
ГОСТ 2.723	Катушки индуктивности, дроссели, трансформаторы, автотрансформаторы и магнитные усилители.
ГОСТ 2.725	Устройства коммутирующие
ГОСТ 2.726	Токосъемники
ГОСТ 2.727	Разрядники, предохранители
ГОСТ 2.728	Резисторы, конденсаторы
ГОСТ 2.729	Приборы измерительные
ГОСТ 2.730	Приборы полупроводниковые
ГОСТ 2.731	Приборы электровакуумные
ГОСТ 2.732	Источники света
ГОСТ 2.733	Обозначения условные детекторов ионизирующих излучений в схемах
ГОСТ 2.734	Линии сверхвысокой частоты и их элементы
ГОСТ 2.735	Антенны
ГОСТ 2.736	Элементы пьезоэлектрические и магнитострикционные. Линии задержки.

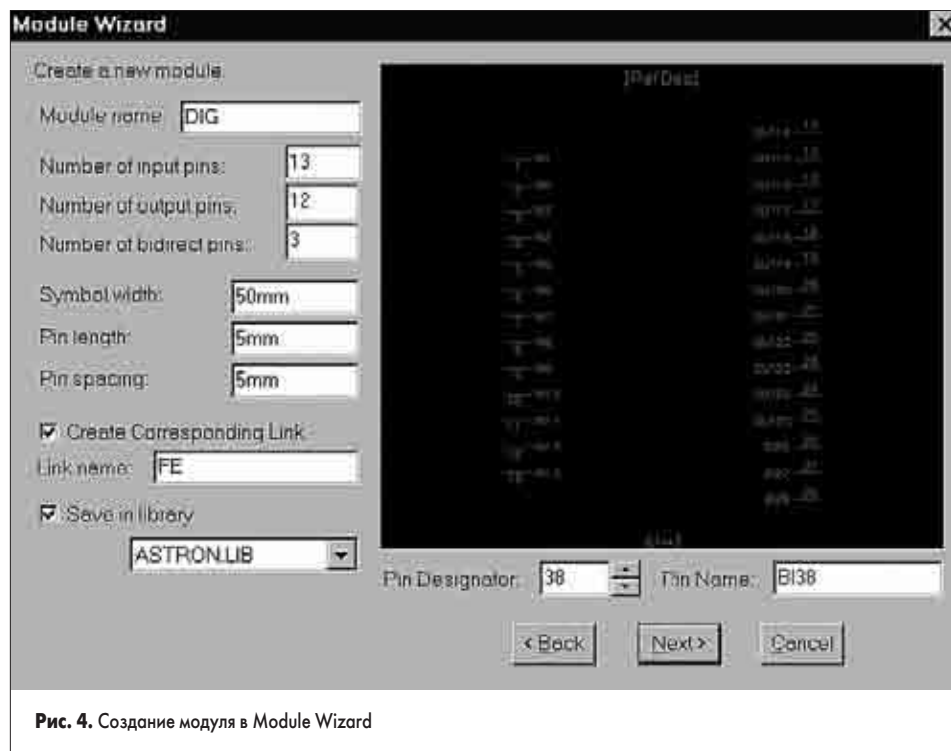


Рис. 4. Создание модуля в Module Wizard

При выполнении схемы устанавливается просвет между соседними линиями УГО не менее 1 мм, между отдельными УГО не менее 2 мм, между соседними линиями связи (цепями) не менее 3 мм. Очевидно, что линии соединений должны состоять из горизонтальных и вертикальных отрезков, в виде исключения для некоторых схем (мультивибраторы, триггеры и т. д.) допускается выполнение линий связи под углом 45°. Линии должны иметь минимальное количество изломов и взаимных пересечений.

Для уменьшения количества линий и повышения читаемости и наглядности схемы рекомендуется использовать слияние линий в групповые линии связи (шины, жгуты). При этом каждая линия в месте слияния должна быть помечена порядковым номером. Очень часто вместо порядкового номера используют обозначения, например D0, D1, RESET, CS и т. д. В большинстве случаев нормоконтроль воспринимает подобное обозначение. Линии групповой связи выполняются утолщенными. Подходящие линии могут быть изображены либо под прямым углом, либо с изломом под углом 45 к групповой линии. В частности последний вариант используется в PCAD 2001.

При разработке современной аппаратуры часто приходится сталкиваться с ситуацией, когда схема электрическая принципиальная не может быть размещена на одном листе даже большого формата (A1). В этом случае приходится прибегать к построению многостраничной схемы.

В САПР PCAD 2001 при размещении схемы на нескольких листах используются порты. Дополнительный лист в схему вводится с помощью команды конфигурации **Options/Sheets**. Вновь введенному листу по умолчанию присваивается имя **SheetX**, где X = 1, 2, ... Все листы схемы в этом случае находятся в одном файле, следовательно, формируется общий список цепей. Это гораздо удобнее, чем линкование нескольких списков цепей в PCAD 4.5. При пере-

носе цепи на другой лист необходимо на каждом из листов, где размещена цепь, ввести порты с ее именем.

Современные САПР позволяют в этом случае применять так называемых иерархических структур. Это необходимо, если в схеме встречаются несколько одинаковых электронных узлов (модулей). Тогда представляется разумным выполнять схему с использованием иерархических модулей. В этом случае удается сэкономить на количестве листов и, соответственно, объеме файла. Кроме того, модульная организация позволяет уменьшить количество ошибок за счет меньшего числа связей и большей наглядности схемы. При выполнении принципиальной схемы на нескольких листах следует при присвоении элементам позиционных обозначений соблюдать сквозную нумерацию в пределах изделия, выпускать общий перечень элементов.

Рассмотрим пример создания иерархического модуля в САПР PCAD 2001. Процесс начинается с выполнения команды **Utils/Module Wizard**. При этом запускается мастер создания иерархического модуля, окно которого приведено на рис. 4.

В поле **Module name** указывается имя модуля. Число входных контактов задается в поле **Number of input pins**, а выходных — в **Number of output pins**. Количество двунаправленных контактов определяется в поле **Number of bidirect Pins**. Входные контакты располагаются с левой стороны символа модуля, выходные и двунаправленные — с правой стороны. В поле **Symbol width** задается ширина символа. В поле **Pin length** вводится длина вывода, а в **Pin Spacing** — расстояние между соседними выводами. Отметка флажка **Create Corresponding Link** приводит к созданию связи символа модуля с соответствующей ему схемой. Имя схемы вводится в поле **Link Name**. Отметив флажок **Save in Library** и выбрав в графе **Library** соответствующую библиотеку, модуль можно

сохранить в библиотеке. В поле **Pin Designator** отображается позиционное обозначение (номер) вывода, а в поле **Pin Name** можно изменить имя текущего вывода.

После выполнения назначения имени модуля следует нажать кнопку **Next** и приступить к созданию связей модуля.

Как уже отмечалось выше, в принципе, при создании модуля можно связать уже имеющуюся графику символа модуля. В этом случае в списке **Library** выбирается библиотека, в которой находится символ модуля, а в поле **Module** отображается список модулей, входящих в библиотеку.

Далее возможен либо выбор существующей схемы модуля, либо создание новой. Последующие действия аналогичны созданию нового модуля. На рис. 5 приведен фрагмент схемы многоканального цифрового фильтра с использованием иерархических модулей.

Принципиальная схема модуля располагается на отдельном листе схемы. Переход от общей схемы проекта к схеме отдельного модуля осуществляется по команде **View /Descend** при выделенном символе модуля. Обратный переход выполняется по команде **View/Ascend**.

Следует отметить, что модули можно создавать и редактировать, не только используя мастер создания модулей графического редактора **Schematic**, но и с помощью менеджера библиотек **Library Executive**. Кроме того, графику символа модуля можно редактировать в графическом редакторе символов компонентов **Symbol Editor**. Полностью информация о модуле хранится в двух компонентах — в одном находится графика модуля и описание выводов, он имеет тип **Module**, другой компонент имеет тип **Link** и представляет собой многосекционный неоднородный компонент, обеспечивающий связи модуля с его схемой. После создания символа модуля и его размещения на принципиальной схеме необходимо выполнить команду **Utils/Resolve Hierarchy** для того, чтобы обеспечить сквозную нумерацию позиционных обозначений всего проекта. Следует помнить об этой команде до того, как создан список цепей, во избежание появления ошибок при упаковке на плату.

При выполнении схем применяют условные графические обозначения, установленные в стандартах ЕСКД, а также построенные на их основе, прямоугольники, упрощенные внешние очертания, в том числе аксонометрические. При необходимости применяют нестандартизованные условные графические обозначения. При применении нестандартизованных условных графических обозначений и упрощенных внешних очертаний на схеме приводят соответствующие пояснения. Разумное использование таких приемов позволяет во многом повысить наглядность схемы.

Условные графические обозначения, для которых установлено несколько допустимых альтернативных вариантов выполнения, различающихся геометрической формой или степенью детализации, следует применять, исходя из вида и типа разрабатываемой схемы в зависимости от информации, которую

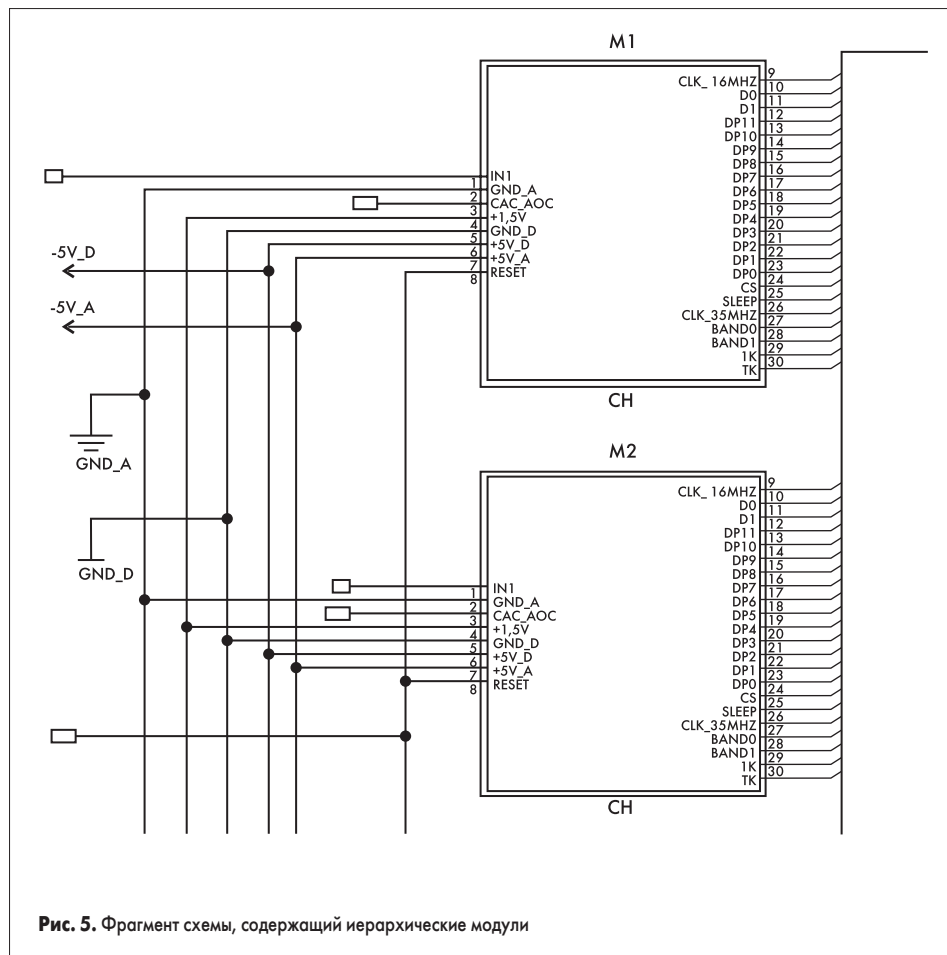


Рис. 5. Фрагмент схемы, содержащий иерархические модули

необходимо передать на схеме графическими средствами. При этом на всех схемах одного типа, входящих в комплект документации, должен быть применен один выбранный вариант обозначения. Особенно часто ошибаются в изображении УГО транзисторов и диодов на принципиальных электрических схемах. Это тот самый случай, когда «лучше меньше, да лучше».

Графические обозначения на схемах следует выполнять линиями той же толщины, что и линии связи. Условные графические обозначения элементов изображают на схеме в положении, в котором они приведены в соответствующих стандартах, или повернутыми на угол, кратный 90°, если в соответствующих стандартах отсутствуют специальные указания. Допускается условные графические обозначения поворачивать на угол, кратный 45°, или изображать зеркально повернутыми. Делать это следует только в необходимых случаях — например, изображение дифференциального каскада, мостового выпрямителя и т.п. Если при повороте или зеркальном изображении условных графических обозначений может нарушиться смысл или удобочитаемость обозначения, то такие обозначения должны быть изображены в положении, в котором они приведены в соответствующих стандартах. Условные графические обозначения, содержащие цифровые или буквенно-цифровые обозначения, допускается поворачивать против часовой стрелки только на угол 90 или 45°.

Линии связи выполняют толщиной от 0,2 до 1,0 мм в зависимости от форматов схемы и размеров графических обозначений. Реко-

мендуемая толщина линий — от 0,3 до 0,4 мм. Линии связи должны состоять из горизонтальных и вертикальных отрезков и иметь наименьшее количество изломов и взаимных пересечений. Этим очень часто грешат начинающие пользователи САПР, следует стараться разумно использовать линии групповой связи. В отдельных случаях допускается применять наклонные отрезки линии связи, длину которых следует по возможности ограничивать. Линии связи, переходящие с одного листа или одного документа на другой, следует обрывать за пределами изображения схемы без стрелок. Рядом с обрывом линии связи должно быть указано обозначение или наименование, присвоенное этой линии, или обозначение документа, при выполнении схем самостоятельными документами, на который переходит линия связи. Линии связи должны быть показаны, как правило, полностью. Линии связи в пределах одного листа, если они затрудняют чтение схемы, допускается обрывать. Обрывы линий связи заканчивают стрелками. Около стрелок указывают места обозначений прерванных линий, например, подключения, и необходимые характеристики цепей, например, полярность, потенциал и т. п. Элементы, входящие в изделие и изображенные на схеме, должны иметь обозначения в соответствии со стандартами на правила выполнения конкретных видов схем. Обозначения могут быть буквенные, буквенно-цифровые и цифровые. Обозначения элементов, специфических для определенных отраслей техники, должны выполняться в соответствии с отраслевыми стандартами.

При вводе электрических цепей в схему с использованием САПР наиболее часто делают две ошибки. Во-первых, очень часто пытаются ввести электрическую связь с помощью команды **Place/Line** (или **Draw Line**). Казалось бы, что так сделать невозможно, однако автору неоднократно доводилось наблюдать схемы, в которых проводники вводились таким образом. Ясно, что извлечь из такой схемы список цепей невозможно. Во-вторых, очень часто пытаются уйти от разумного использования жгутов и впадают в две крайности — либо вся схема представляет собой один очень сложный жгут, либо наоборот, паутину отдельных проводников. Необходимо соблюдать золотую середину.

Каждой схеме соответствует перечень элементов, который помещают на первом листе схемы или выполняют в виде самостоятельного документа. Перечень элементов удобно создавать средствами редактора типа Microsoft Word и сохранять в виде соответствующего шаблона. Безусловно, имеет смысл написание утилит, позволяющих перевести данные из САПР типа P-CAD, OrCAD и т. п. в соответствующий ГОСТ формат.

При выполнении перечня элементов на первом листе схемы его располагают, как правило, над основной надписью. Расстояние между перечнем элементов и основной надписью должно быть не менее 12 мм. Продолжение перечня элементов помещают слева от основной надписи, повторяя головку таблицы. При выпуске перечня элементов в виде самостоятельного документа его код должен состоять из буквы «П» и кода схемы, к которой выпускают перечень, например, код перечня элементов к электрической принципиальной схеме — ПЭ3. Перечень элементов записывают в спецификацию после схемы, к которой он выпущен. Перечень элементов в виде самостоятельного документа выполняют на формате А4. Основную надпись и дополнительные графы к ней выполняют по ГОСТ 2.104-68

На схемах допускается помещать различные технические данные, характер которых определяется назначением схемы. Такие сведения указывают либо около графических обозначений, по возможности справа или сверху, либо на свободном поле схемы. Обычно показывают диаграммы последовательности временных процессов, циклограммы, таблицы замыкания контактов коммутирующих устройств, указания о специфических требованиях к монтажу и т. п. Текстовые данные приводят на схеме в тех случаях, когда содержащиеся в них сведения нецелесообразно или невозможно выразить графически или условными обозначениями. Содержание текста должно быть кратким и точным. В надписях на схемах не должны применяться сокращения слов, за исключением общепринятых или установленных в стандартах.

Текстовые данные в зависимости от их содержания и назначения могут быть расположены рядом с графическими обозначениями; внутри графических обозначений, над линиями связи, в разрыве линий связи; рядом с концами линий связи; на свободном поле схемы.

Таблица 3

Код документа	Наименование документа	Основное содержание документа	Указания по выполнению документа	
			ОПП и ДПП	МПП
–	Чертеж детали (заготовки)	Изображение ПП, материалы, габаритные размеры отверстий и т. д.	Выполняется на каждый типоразмер согласно ГОСТ 2.106	Может оформляться по правилам ГОСТ 2.109 для деталей, на которые не выпущены чертежи
			При оформлении чертежа детали базовым способом чертеж заготовки не выполняется	
–	Чертеж детали (прокладки)	Изображение прокладки, материал, габаритные размеры	Не выполняется	Может оформляться по правилам ГОСТ 2.106, ГОСТ 2.109 для деталей, на которые не выпущены чертежи
–	Базовый чертеж детали	Постоянные данные для всех исполнений типоразмера	Выполняется на каждый типоразмер для ОПП и ДПП	Выполняется на печатную плату как составную часть МПП
–	Чертеж исполнения детали	Переменные данные, относящиеся к конкретному исполнению	Для ДПП выполняется на каждое исполнение проводящего слоя	Выполняется на каждое исполнение проводящего слоя печатной платы
СБ	Базовый сборочный чертеж	Постоянные данные, общие для всех исполнений типоразмера	Не выполняется	Выполняется на каждый типоразмер
СБ	Сборочный чертеж исполнения	Переменные данные, относящиеся к конкретному исполнению	То же	Выполняется на каждое исполнение
–	Базовая спецификация	По ГОСТ 2.113, ГОСТ 2.108, ГОСТ 2.417	Не выполняется	Выполняется на каждое исполнение
–	Спецификация исполнения	По ГОСТ 2.113, ГОСТ 2.108, ГОСТ 2.417	То же	То же
Д...	Технические требования	Одинаковые технические требования для МПП	Выполняется согласно ГОСТ 2.417	
ТБ	Таблица проверки монтажа	Данные для контроля электрических соединений	Выполняется на каждое исполнение. При автоматизированном контроле печатных плат допускается таблицы не выполнять	
ТБ	Таблица координат отверстий	Принятые условные обозначения отверстий, соответствующее количество отверстий, координаты расположения отверстий всех слоев ПП		
Т1М	Данные фотшаблона	Информация о рисунке слоя ПП	Выполняется на каждый слой	
Т2М	Данные сверления	Информация о координатах расположения диаметра и количества отверстий ПП	Выполняется на каждое исполнение с учетом конструктивно-технологических вариантов	
Т3М	Данные для обработки контура	Информация о контуре ПП	Выполняется на каждый типоразмер	
Т4М	Данные контроля	Информация о координатах контактов или контактных площадок, электрически соединенных между собой, слоя ПП	Выполняется на каждое исполнение или слой	
ВН	Ведомость документов на носителях данных	По ГОСТ 28388	Выполняется на каждое исполнение. Допускается выполнять в соответствии с отраслевыми нормативно-техническими документами	
По действующей НТД	Данные о результатах проектирования печатных плат		Выполняется на магнитном носителе данных в соответствии с ГОСТ 28388. Допускается выполнять в соответствии с отраслевыми нормативно-техническими документами	

Текстовые данные, относящиеся к линиям, ориентируют параллельно горизонтальным участкам соответствующих линий. При большой плотности схемы допускается вертикальная ориентация данных.

На поле схемы над основной надписью допускается помещать необходимые технические указания, например, требования о недопустимости совместной прокладки некоторых проводов, жгутов, кабелей, величины минимально допустимых расстояний между проводами, жгутами, жгутами и кабелями, данные о специфичности прокладки и защиты проводов, жгутов, кабелей.

Одним из животрепещущих вопросов при разработке изделия является правильность оформления документации на печатные платы, особенно с учетом современного уровня технологии проектирования и изготовления. Довольно новый ГОСТ 2.123-93 «Комплектность конструкторских документов на печатные платы при автоматизированном проектировании» введен в действие с 1 января 1995 года взамен ГОСТ 2.123-83. Этот стандарт устанавливает комплектность конструкторских документов (КД) на односторонние (ОПП), двусторонние (ДПП) и многослойные (МПП) печатные платы, а также требования по их выполнению при автоматизированном проектировании и изготовлении.

Документы на носителях, включаемые в комплект конструкторских документов на ПП, предназначены для получения конструкторских документов в традиционной форме, механической обработки, контроля ПП и изготовителя фотошаблона, а также передачи информации о результатах проектирования в систему автоматизированного изготовления ПП. В каждом конкретном случае состав конструкторских документов, передаваемых для изготовления ПП, определяется разработчиком совместно с изготовителем в соответствии с комплектностью, установленной ГОСТ 2.123. По согласованию с предприятием-изготовителем допускается изготовление ПП производить по аттестованным документам на носителях данных. Номенклатура конструкторских документов на ПП, выполненных базовым способом, приведена в табл. 3.

Установленная ГОСТ 2.123 номенклатура конструкторских документов может дополняться в зависимости от характера, назначения и конструктивно-технологического варианта изготовления, а также от технического оснащения автоматизированных систем проектирования и изготовления ПП. В состав комплекта конструкторских документов на ПП допускается (!!!) включать программные документы, полученные в результате автоматизированного проектирования и необходимые для производства ПП. В настоящее время все более по-

пулярным форматом **Gerber**. По согласованию с изготовителем и заказчиком допускается вместо таблиц, указанных в номенклатуре, включать в комплект КД на ПП программы автоматизированного контроля ПП.

Программы на носителях данных записывают в «Ведомость документов на носителях данных» (ВН). При выполнении трех и менее документов на носителях данных ВН допускается не выпускать. При этом ВН записывают в спецификацию ПП в раздел «Документация» после документов, предусмотренных ГОСТ 2.102, в таком же порядке записывают в спецификацию ПП программы на носителях данных в случае, когда ВН выпускается. Программные документы и программы, выполненные на носителях данных, записывают в конце раздела «Комплекты» спецификации.

В состав постоянных данных, помещаемых на базовом чертеже, включают изображение ПП, размеры и прочие указания для механической обработки, указания о материале, разметку для установки электрического соединителя, крепежные отверстия для установки ПП в сборочной единице, контрольные элементы, технические требования, проводящий рисунок, маркировку позиционных обозначений электроразъемов и конструкторский адрес, место обозначения ПП, место обозначения сборочной единицы, место порядкового номера изменения, номера позиции для МПП и т. д.

В состав переменных данных, помещаемых на чертеже исполнения, обычно включают упрощенное изображение ПП, проводящий рисунок ПП, маркировку позиционных обозначений электрорадиоизделий и (или) конструктивный адрес, обозначение ПП, обозначение сборочной единицы, порядковый номер изменения, таблицу переходных и монтажных отверстий, технические требования, номера позиций для МПП и т. д.

При выполнении чертежа исполнения ПП автоматизированным способом на двух или более листах технические требования помещают на первом листе, проводящий рисунок может быть выполнен на последующих листах. Следует заметить, что это положение стандарта очень часто нарушают начинающие конструкторы

В соответствии с ГОСТ 2.123 базовый чертеж ПП (деталь) записывают в спецификацию аналогично составной части изделия в начале раздела «Детали» той отборочной единицы, в которой применяется конкретное исполнение, при этом графу «Поз.» прочеркивают, а в графе «Кол.» записывают 1. Если документация сборочной единицы выполнена базовым способом, то базовый чертеж детали и чертеж исполнения детали вносят в спецификацию сборочной единицы. Допускается вместо нескольких базовых документов выпускать один базовый документ групповым способом. Построение комплекта конструкторских документов для МПП приведено на рис. 6.

В последние годы довольно распространенным явлением стала разработка изделий для зарубежного заказчика. Особенности оформления КД в этом случае определены в ГОСТ Р.901-99 «Документация, отправляемая за границу. Общие требования». Этот стандарт распространяется на конструкторскую документацию изделий всех отраслей промышленности, отправляемых за границу РФ, и устанавливает общие требования к оформлению. Необходимо помнить, что выполнение КД для зарубежного заказчика — песня длинная и веселая. Во многих случаях работа выполняется полностью по зарубежным стандартам.

Завершающий этап разработки КД — нормоконтроль. Увы, последнее время его функ-



ции слегка нивелировались «де-факто», но «де-юре» они совершенно четко определяются ГОСТ 2.111-68, который однозначно устанавливает порядок контроля в конструкторской документации норм и требований, установленных стандартами и другими нормативно-техническими документами.

Нормоконтролю подлежит конструкторская документация на изделия основного и вспомогательного производства независимо от подчиненности и служебных функций подразделений, выпустивших указанную документацию.

Комплект всех перечней замечаний и предложений нормоконтролера по проекту служит исходным материалом для оценки качества выполнения проекта.

На этом экскурс в правила выполнения конструкторской документации закончим, заинтересованному читателю рекомендуется обратиться к работам [1–4] для получения более полной информации. Вообще же совет здесь

только один — не забывайте о ГОСТах и следите за новыми изменениями в них.

Литература

1. Справочник по конструированию радиоэлектронной аппаратуры (печатные узлы). Київ: Техніка, 1985.
2. Александров К. К., Кузьмина Е. Г. Электротехнические чертежи и схемы. М.: Энергоатомиздат, 1990.
3. Разработка и оформление конструкторской документации РЭА / Под. ред. Э. Т. Романьчевой. М.: Радио и связь, 1989.
4. Стешенко В. Б. ACCEL EDA: технология проектирования печатных плат. М.: Нолидж, 2000.