

# Формирование комплекта конструкторской документации по ЕСКД в тандеме САПР Altium Designer – AutoCAD



Одним из важнейших требований, которые предъявляются к программным средствам САПР в отечественных проектных организациях, является возможность выполнения документов проекта в соответствии с требованиями стандартов ЕСКД. В настоящее время проектирование выполняется преимущественно средствами САПР, операции ручной обработки вытесняются обработкой на программно управляемых станках, фотошаблоны выполняются на программно управляемых фотоплоттерах. Это позволяет организовать, в принципе, полностью бездокументное производство печатных плат либо разработать систему стандартов, регламентирующих правила выполнения конструкторских документов и отражающих или даже опережающих достигнутый уровень автоматизации проектирования и производства.

Тем не менее, до сих пор на производстве для изготовления и контроля любых изделий, для определения ответственности в случае брака и для разрешения спорных ситуаций требуются конструкторские документы по ЕСКД.

Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 22 июня 2006 г. № 119-ст в качестве национальных стандартов Российской Федерации с 1 сентября 2006 г. введены в действие новые нормативные документы в составе ЕСКД, закрепляющие достижения информационных технологий в процессах проектирования и производства:

- ГОСТ 2.051-2006 Единая система конструкторской документации. Электронные документы. Общие положения;
- ГОСТ 2.052-2006 Единая система

конструкторской документации. Электронная модель изделия. Общие положения;

- ГОСТ 2.053-2006 Единая система конструкторской документации. Электронная структура изделия. Общие положения.

Главное в этих нововведениях — юридическое закрепление следующих основных положений:

- наличие двух форм КД — традиционной (бумажной) и электронной (безбумажной) с возможностью их параллельного существования;
- равноправный статус этих двух форм документации и возможность их преобразования друг в друга;
- ввод в ЕСКД новых сущностей и видов конструкторских документов и их определения на основе понятия электронной структуры изделия:
  - электронная структура изделия (дерево состава изделия), электронная модель как обобщенное понятие (математическая, геометрическая, топологическая модель и т.п.),
  - электронная модель детали и электронная модель сборочной единицы в качестве конструкторских документов;
- правила отображения этих новых документов в существующие виды традиционных КД;
- признание факта существования электронных документов, не отображаемых в традиционных видах КД (3D-модели, аудиодокументы, видеоролики и т.п.).

Концепция электронной модели изделия предполагает использование программно-технических комплексов САПР, позволяющих строить цельную иерархическую модель сложного продукта, из кото-

рой должны извлекаться и в которую, наоборот, могут включаться модели составных частей. Каждая такая часть может быть продуктом специализированной САПР.

Поскольку, за редкими исключениями, в отечественных организациях используются программные средства САПР иностранного происхождения, требуется их адаптация к требованиям отечественных нормативных документов, либо, если это невозможно (что в большинстве случаев именно так), нужна такая организация процессов проектирования, при которой создаваемые конструкторские документы в максимально возможной степени соответствовали бы этим требованиям. Эти требования сформулированы в ГОСТ 2.701-84 и ГОСТ 2.702-75 в отношении схемных документов, в ГОСТ 2.417-91 — в отношении чертежей печатных плат и в ГОСТ 2.109-73 — в отношении сборочных чертежей функциональных узлов.

## Выполнение электрической принципиальной схемы

Для формирования электрической принципиальной схемы, отвечающей требованиям ГОСТ 2.702-75, в схемном редакторе Altium Designer необходимо выполнить настройку среды проектирования. Для этого следует:

1. Подготовить бланки форматов схемного листа:
  - настроить конфигурацию листа схемного редактора (размеры листа, разметку на зоны, сетки для размещения компонентов и прокладки линий электрической связи);
  - сформировать шаблон-форматку (Template) по ГОСТ 2.301-68 с основной надписью по ГОСТ 2.104-2006 (рис. 1);

Обозначение по ГОСТ 2.201-80					
Наименование				Лист	Масштаб
Тип документа				Лист	Масштаб
Изм.	Лист	На докум.	Лист	Дата	
Разраб.	Разработал				
Прое.	Проверил				
Т.контр.					
Н.контр.	Нормоконтроль				
Утв.	Утвердил				

А3\_ESKD\_Sheet\_1.SchDoc

Рис. 1

АБВГ.46XXXX.001 ЭЗ					
Модуль процессора				Лист	Масштаб
Схема электрическая принципиальная				Лист	Масштаб
Изм.	Лист	На докум.	Лист	Дата	
Разраб.	Младший				
Прое.	Старший				
Т.контр.					
Н.контр.	Остроглаз				
Утв.	Главный				

Module\_Processor.SchDoc

Рис. 2

Preferences

Schematic – General

Options

- ☒ Drag Orthogonal
- ☒ Optimize Wires & Buses
- ☒ Components Cut Wires
- ☒ Enable In-Place Editing
- ☒ CTRL+Double Click Opens Sheet
- ☒ Convert Cross-Junctions
- ☒ Display Cross-Over
- ☒ Pin Direction
- ☒ Sheet Entry Direction
- ☒ Port Direction
- ☒ Unconnected Left to Right

Preferences

Schematic – Gra

Options

- ☐ Clipboard Reference
- ☐ Add Template to Clipboard
- ☒ Convert Special Strings
- ☐ Center of Object
- ☒ Object's Electrical Hot Spot
- ☐ Auto Zoom
- ☐ Single 'I' Negation
- ☐ Double Click Runs Inspector
- ☐ Confirm Selection Memory Clear
- ☒ Mark Manual Parameters
- ☒ Click Clears Selection
- ☐ Shift Click To Select
- ☐ Always Drag
- ☒ Display Strings As Rotated
- ☐ Place Sheet Entries automatically

Рис. 3

а

б

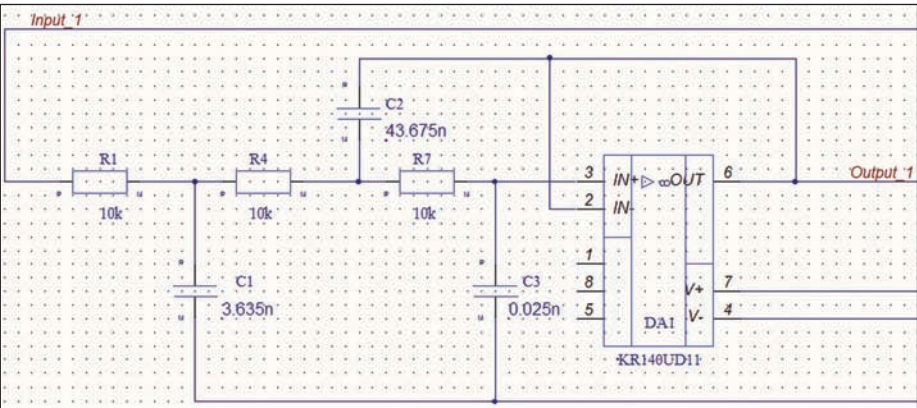


Рис. 4

- сформировать набор параметров документа для размещения их в качестве реквизитов в графы основной надписи (рис. 2).
- 2. Сформировать библиотеки схемных компонентов \*.SchLib, условно-графические обозначения которых (УГО) соответствуют требованиям стандартов ЕСКД ГОСТ 2.721-74...ГОСТ 2.759-82.

- в ветви диалога Preferences → Schematic → General (рис. 3а) отключить активность (снять флажки) опций:
  - Optimize Wires & Buses – в противном случае программа не позволит выполнять соединение проводников в точке их пересечения;

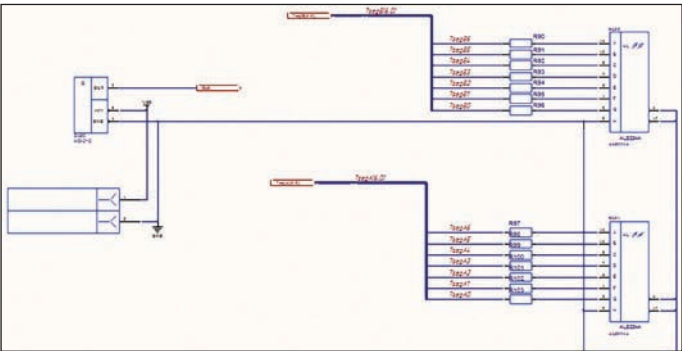


Рис. 5

3. Выполнить глобальные настройки (Preferences) графического редактора схемы:

- Convert Cross-Junctions – в противном случае при попытке выполнения соединения проводников в точке их пересечения программа разносит точки соединения, осуществляя при этом излом подходящих проводников;
- Display Cross-Over – в противном случае программа строит пересечение несоединяемых проводников с огибанием одного другим (прием, отмененный с вступлением в силу ЕСКД в 1968 г.);
- Pin Direction – при этом на выводах УГО компонентов не отображаются знаки, указывающие направление поступления сигналов.
- В ветви диалога Preferences → Schematic → Graphical Editing (рис. 3б) установить активность опций:
  - Display Strings As Rotated – это позволяет поворачивать текстовые строки на углы, кратные 90°;
  - Convert Special Strings – это позволяет при выполнении команды Place → Text String конвертировать параметры схемного документа в реквизиты документа в полях основной надписи.

В результате проведенной подготовки схемный документ проекта (рис. 4) может быть построен в принципиальном соответствии с требованиями стандартов ЕСКД.

### Схемные документы иерархического проекта

Altium Designer позволяет формировать многолистовые схемные документы. При этом возможна одноуровневая (Flat) или многоуровневая иерархическая организация схемных документов сложного проекта. Формат журнальной статьи не позволяет нам рассмотреть все аспекты формирования многолистовых схем<sup>1</sup>. Ограничимся лишь структурой схемных документов проекта функционального узла на ПЛИС.

<sup>1</sup>Более подробная информация приведена в HELP-статье AR0123 Connectivity and Multi-Sheet Design.pdf.



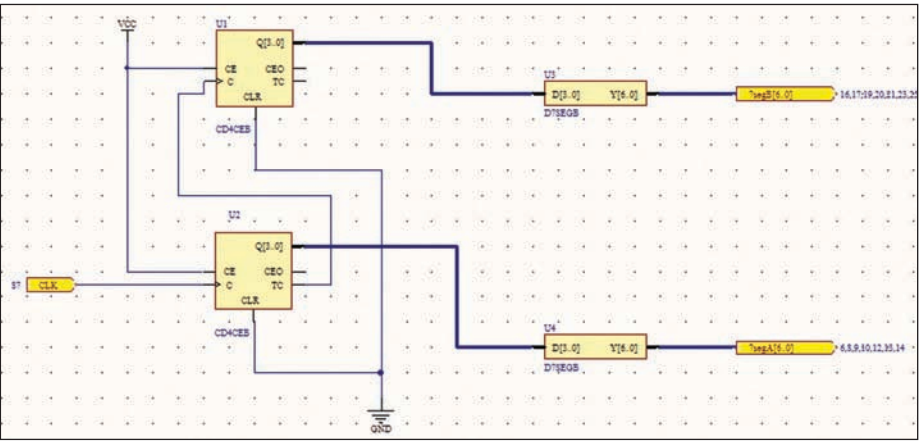


Рис. 6

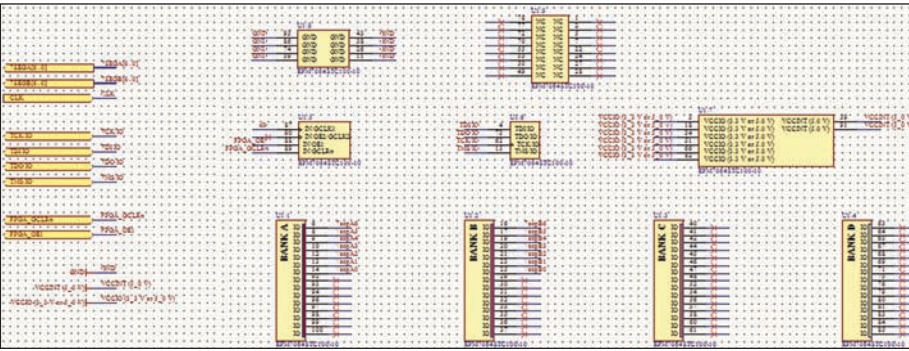


Рис. 7

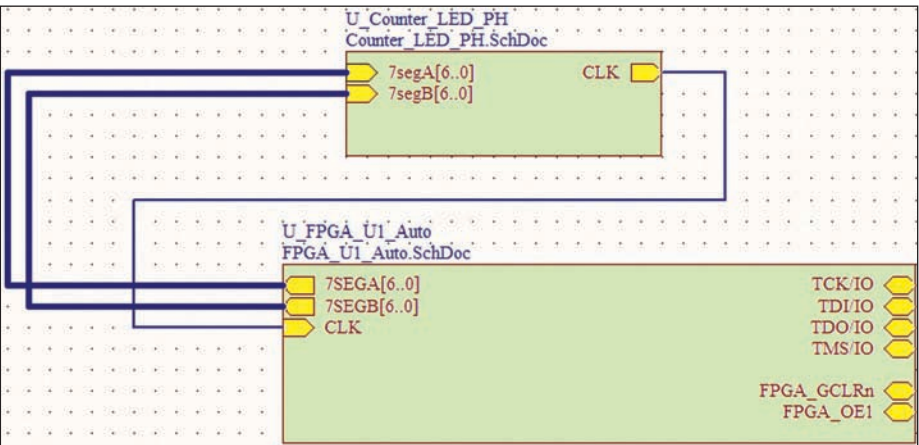


Рис. 8

Grouped Columns	Show	Description	Designator	Footprint	LibPart	Quantity
S8M-21		S8M-21	B01, B02, B03, B04, S8M-21, S8M-21, S8M-21			4
CAPC-3216		Capacitor_Ceramics	C1, C2, C3, C4, C5, S8M-216, CAPC-32, CAPC-3216			4
CAPC-1808		Capacitor_Ceramics	C3, C13, C14, C15, S8M-1808, CAPC-11, CAPC-1808			4
CAP-TH-3216		CAP-TH-3216	C8, S8M-3216, CAP-TH, CAP-TH-3216			1
CAPC-2012		Capacitor_Ceramics	C16, S8M-2012, CAPC-3, CAPC-2012			1
HO-21C		HO-21C	DA1, HO-21C, HO-21CP, HO-21C			1
156A4F3		156A4F3	DD1, 602, 16-18, 156A4F3, 156A4F3			1
UC21-4/8		UC21-4/8	H01, UC21-4/8, UC21-4, UC21-4/8			1
HC1608		Surface-mount chip	R1, R2, R3, R4, R5, S8M-1608, HC1608, HC1608			21
POS-2		POS-2	SA1, POS-2, POS-2, POS-2			1
SW-PB		SW-PB	S81, SP512, SW-PB			1
TR-14150L-HM3		TR-14150L-HM3	TV1, TR-14150L-HM3, TR-14150L-HM3			1
EPW75645TC1001		max 70005 5V In-5	U1, TQFP100, EPW75645TC1001			1
KD512		KD512	VD1, VD2, VD5, KD512, KD512P, KD512			3
KD629AC		KD629AC	VD3, VD4, KD629AC, KD629A, KD629AC			2
K13117		K13117	V11, V12, K13117, K13117, K13117			1
IC1018F		IC1018F	X51, IC1018F, IC1018F1, IC1018F			1

Рис. 9

- 2) *схема логического ядра ПЛИС*, состоящая из логических прототипов библиотеки FPGA Generic.IntLib или других библиотек функциональных прототипов (рис. 6);
- 3) *схемный символ запрограммированной ПЛИС* (рис. 7), автоматически генерируемый при объединении FPGA- и PCVB-проектов Мастером FPGA to PCB Projects Wizard;
- 4) *схемный документ верхнего уровня PCVB-проекта*, объединяющий иерархические символы ПЛИС и "обвязки", также формируемый при объединении FPGA- и PCVB-проектов (рис. 8).

Первый из перечисленных документов легко выполняется в соответствии с требованиями ЕСКД как обычная схема PCVB-проекта.

Вопрос о включении второго и третьего документов, а также их статус в комплексе КД должен быть определен по согласованию с компетентным подразделением фирмы (ОНС, БНС, БНИОС и т.п.).

Четвертый документ также можно представить в качестве принципиальной схемы, составленной из иерархических компонентов, присвоив им позиционные обозначения как устройствам (в случае приведенного примера – А1 и А2). К этой схеме следует присовокупить соответствующий перечень элементов.

Найти свое место в комплекте КД должны также такие документы, как HDL-файлы, файлы или карты прошивки ПЛИС, файлы-протоколы отдельных этапов программирования ПЛИС, возможно, как дополнительные документы (код документа – Д). Упомянутые выше обновления стандартов ЕСКД этому не препятствуют.

Текстовые документы

Формированию текстовых документов проекта – перечня элементов по ГОСТ 2.702-75, спецификации узла по ГОСТ 2.106-96 – должна предшествовать работа по составлению списков параметров компонентов, которые позволяют составить записи в эти документы.

Эта работа выполняется либо непосредственно в схемном документе проекта, либо при формировании баз данных по компонентам<sup>2</sup>.

Файл *Bill of Materials* (BOM) содержит все эти параметры (рис. 9), но требует доработки с целью доведения его до соответствия требованиям ЕСКД.

Известны попытки автоматизации извлечения записей с параметрами компонентов из файла BOM и составления из них перечня элементов, спецификаций, ведомостей покупок изделий средствами Microsoft Excel (работы И. Брагина на

В данном случае формируется иерархия проектов как минимум двух уровней: PCVB-проект и подчиненный ему FPGA-проект. Комплект схемных документов состоит при этом как минимум из четырех схем:

- 1) *схема "обвязки" ПЛИС*: микросхемы низкой или средней степени интеграции, дискретные компоненты, переключатели и т.п. (рис. 5);

<sup>2</sup>Более подробная информация приведена в HELP-статье AP0133 Using Components Directly from Your Company Database.pdf.

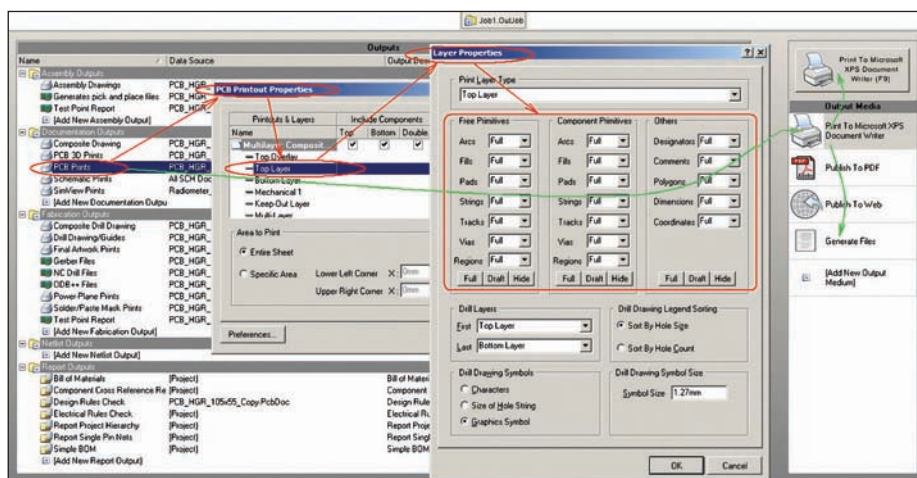


Рис. 10

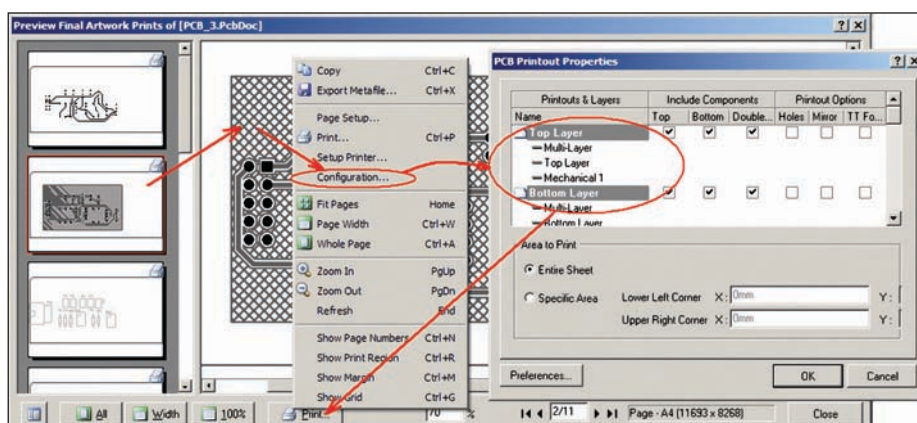


Рис. 11

сайте [www.verzak.ru](http://www.verzak.ru), статья С. Никифорова в журнале "EDA Express" № 19 и ряд других попыток).

### Графические конструкторские документы на печатную плату и сборку узла

Altium Designer предоставляет эффективные средства для получения твердых копий документов проекта.

■ Команда главного меню *File* → *New* → *Output Job File* открывает оболочку *Job1.OutJob*, в которой отображаются все данные проекта, подлежащие выводу на бумагу в качестве твердых копий и преобразованию в управляющую информацию для технологического оборудования, а также указаны способы и средства для получения выходных данных (рис. 10).

Нас в данном контексте будут интересовать возможности и средства получения графических конструкторских документов. Выбрав в поле *Documentation Outputs* строку *Schematic Prints* или *PCB Prints*,

двойным щелчком левой клавиши мыши открываем диалог настройки распечатки схемы или послойной распечатки печатной платы. Отконфигурированная распечатка направляется на одно из средств вывода документов.

■ Команда *File* → *Fabrication Outputs* → *Final* из среды активного PCB-документа открывает диалог предварительного просмотра и настройки послойных распечаток печатной платы (рис. 11).

Команда *Configuration* контекстного меню открывает диалог настройки послойных распечаток *PCB Printout*, после чего распечатки направляются на устройство вывода.

■ Команда *File* → *Assembly Outputs* → *Assembly Drawings* открывает окно предварительного просмотра распечатки видов сборки функционального узла *Preview Assembly Drawings*. Как и в предыдущем случае, распечатка видов сборки конфигурируется и направляется на устройство вывода.

Рассмотренные средства в принципе позволяют непосредственно из среды Altium Designer получить графические документы, соответствующие правилам машиностроительного черчения. Однако значительно более эффективным представляется другой путь: решение данной задачи в тандеме Altium Designer с одной из "машиностроительных" конструкторских САПР AutoCAD, Autodesk Inventor, SolidWorks, отечественных nanoCAD или КОМПАС.

### Решение задачи: экспорт PCB-документа в машиностроительные САПР

Программные средства компании Autodesk — AutoCAD, Autodesk Inventor — предоставляют удобную среду для построения КД на печатную плату и функциональный узел по правилам машиностроительного черчения.

Экспорт PCB-документа в AutoCAD производится командой *File* → *Save as*. В диалоге сохранения файла следует указать формат выходных данных: *Export AutoCAD Files (\*.dwg; \*.dxf)*.

Щелчок на кнопке *Сохранить* открывает диалог настройки формата экспорта (рис. 12).

■ В поле *Options* выбирается:

- *AutoCAD Version* — версия программы AutoCAD с 2.5 по R14 (самая старшая версия R14 вышла в 1999 году, однако это не мешает чтению и обработке данных в более поздних версиях);
- *Format* — здесь возможен выбор чертежного dwg- или dxf-формата обмена данными (Data eXchange Format);

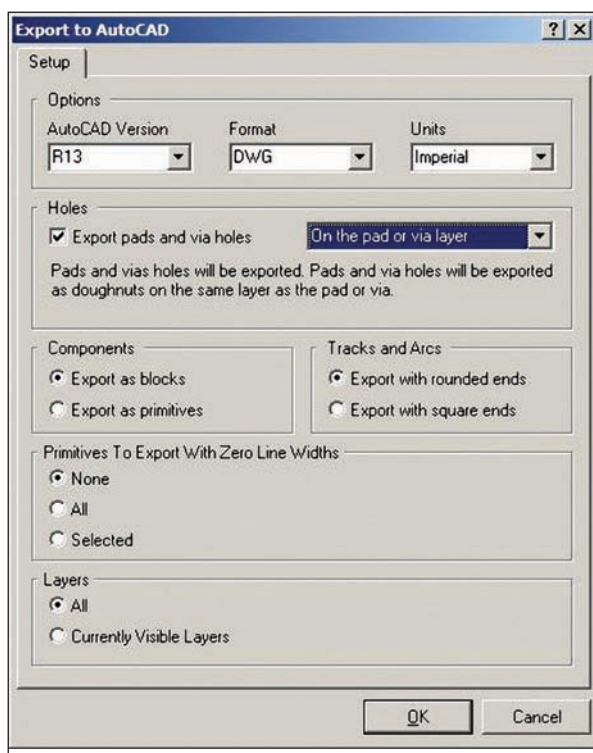


Рис. 12



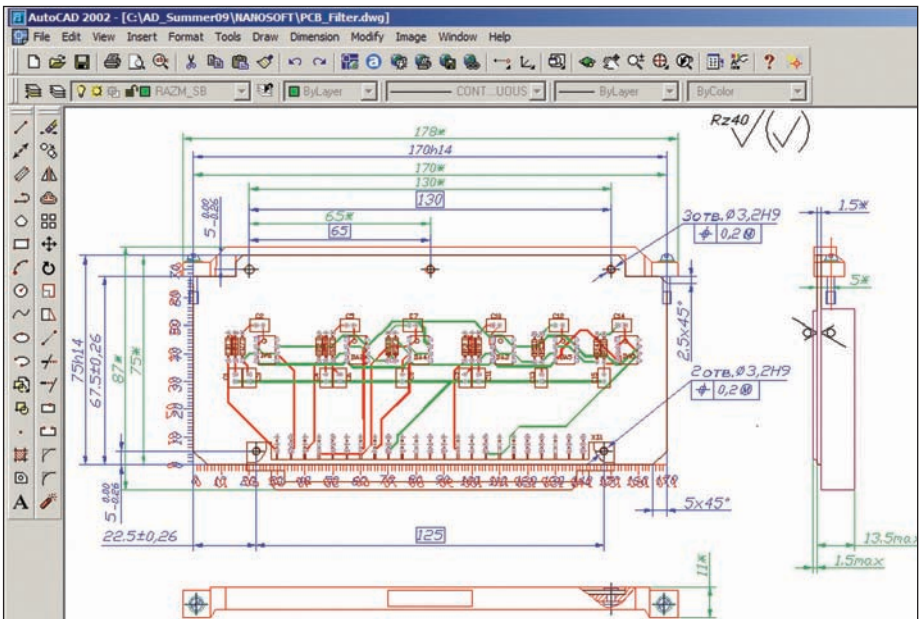


Рис. 13

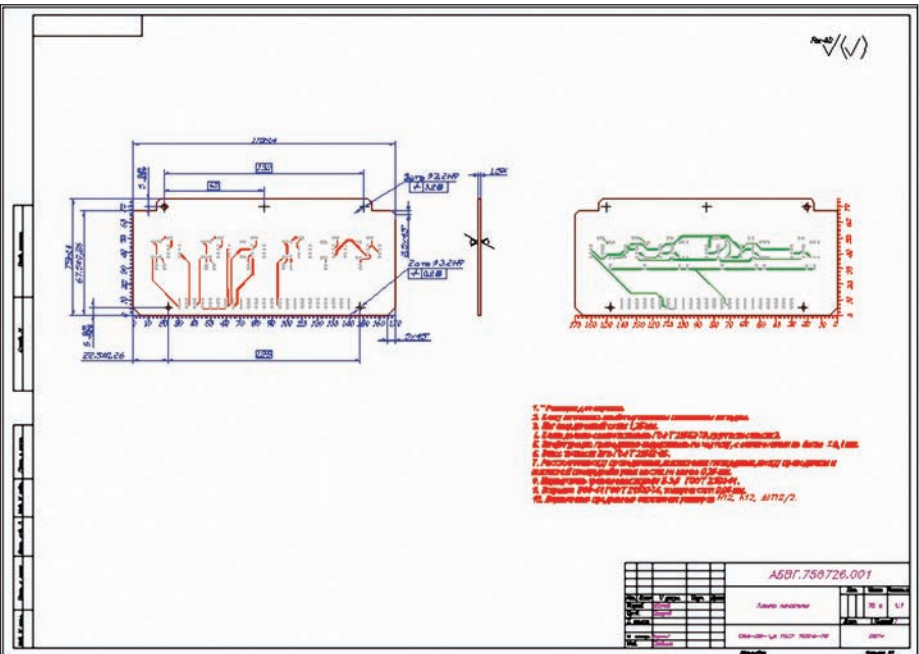


Рис. 14

- *Units* — система единиц измерения: дюймовая (*Imperial*) или метрическая (*Metric*).
- В поле *Holes* (*Отверстия*) активируется функция и выбирается способ отображения монтажных отверстий контактных площадок, а также межслойных переходных отверстий:
  - *On the pad or via layer* — отображение отверстий на тех же слоях, что и металлизация контактных площадок;
  - *On dedicated hole layers* — отображение отверстий на специально предназначенных для этого слоях, формируемых при экспорте.

Импорт PCB-документа в AutoCAD

- Экспортированный из Altium Designer документ печатной платы открывается в AutoCAD в стандартном диалоге *File → Open*.
- Документ переносит в AutoCAD структуру слоев, сформированную в Altium Designer.
- Импортированный документ нуждается в доработке в пространстве модели AutoCAD, включающей следующие операции:
  - настройку системы единиц измерения;
  - настройку стиля написания текстов;
  - настройку стиля нанесения размеров;

- образование новых слоев, необходимых для составления текстов, нанесения размеров и др.;
- составление текстовых технических требований для чертежа печатной платы и сборочного чертежа узла;
- нанесение размеров и предельных отклонений.

Подключение шаблона БНК

- Если функциональный узел выполняется на основе базовой несущей конструкции (БНК), может быть разработан и открыт в AutoCAD шаблон БНК с вычерченными элементами конструкции модуля, нанесенными размерами, координатными линиями, обозначением знаков чистоты обработки.
- Средствами копирования-вставки шаблон БНК переносится на импортированный чертеж платы и сливается с образом платы (рис. 13).
- Подобным же образом к чертежу подключаются заранее подготовленные тексты технических требований для будущего чертежа печатной платы и сборочного чертежа узла.

Переход в пространство листа

Формирование двух рабочих чертежей выполняется в пространстве листа AutoCAD.

- Диалог настройки пространства листа заключается в:
  - выборе плоттера для распечатки документа;
  - назначении стиля черчения (*Pen Assignments*) — цветного или монохромного изображения;
  - назначении системы единиц измерения для распечатки;
  - выборе формата листа отображения и распечатки документов.
- В пространстве листа открывается плавающее видовое окно (*Viewport*) с видом всех объектов, скомпонованных в пространстве модели.
- Для построения вида печатной платы со стороны монтажа должно быть открыто новое видовое окно:
  - команда *View → Viewports → New Viewports* открывает диалог настройки вида в новом видовом окне;
  - в диалоговом окне *Viewports* на вкладке *New Viewports* указывается:
    - единственное окно (*Single*);
    - настройка вида на трехмерное изображение (*Setup 3D*);
    - вид снизу (*Change View to Bottom*).
- Курсором мыши обозначаются границы нового видового окна на экране. В новом окне выводится зеркальное отображение объектов пространства модели.

## Управление видимостью объектов

- Селектируйте исходное видовое окно, щелчком правой клавиши мыши активируйте диалог управления свойствами и установите масштаб изображения (в нашем случае — 1:1).
- С помощью "ручек", расположенных по углам, измените границы видового окна так, чтобы видимыми остались главный вид платы и вид сбоку.
- Аналогичным образом настройте масштаб и границы изображения для видового окна с зеркальным отображением.
- С помощью команды *Modify* → *Move* переместите второе окно по полю чертежа, чтобы в обоих окнах установилась проекционная связь изображений.
- Двойным щелчком левой клавиши мыши приведите первое видовое окно в активное состояние.
- Активируйте диалог управления свойствами слоев в активном видовом окне и в колонке *Current VP Freeze* "заморозьте" (подавите видимость) слои, объекты в которых не имеют отношения к виду печатной платы со стороны установки компонентов.
- Прodelайте то же самое для видового окна с видом платы со стороны монтажа (снизу).

## Оформление чертежа печатной платы по ГОСТ 2.417-91

- Подключите к чертежу бланк-форматку. Для этого:
  - откройте отдельным документом файл-шаблон *A2\_ESKD.dwt*;
  - селектируйте в открывшемся документе блок-рамку форматки и операциями копирования-вставки (*Copy/Paste*) перенесите чертеж форматки в документ с видами печатной платы.
- Образуйте еще два видовых окна, разместите в них текст технических требований и знак, обозначающий чистоту обработки поверхностей платы.
- Двойным щелчком левой клавиши мыши на рамке форматки активируйте диалог редактирования атрибутов и составьте список реквизитов документа.
- При проектировании многослойной печатной платы образуйте в пространстве листа необходимое число листов и разместите в них послынные виды платы.

В результате мы получим чертеж двусторонней печатной платы (рис. 14).

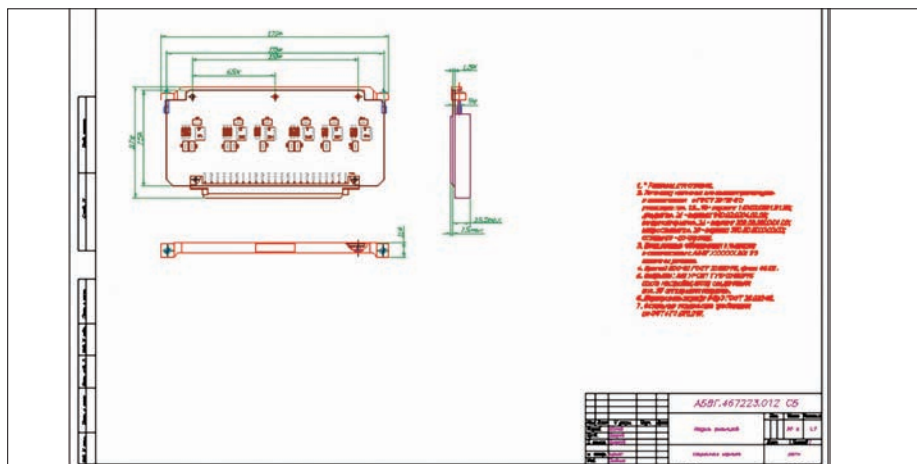


Рис. 15

## Оформление сборочного чертежа

Сборочный чертеж функционального узла формируется рассмотренным способом на новом листе пространства листа (*Layout2*).

- Двойным щелчком левой клавиши мыши активируйте плавающее видовое окно и, управляя видимостью слоев, оставьте видимыми:
  - контур платы;
  - вид сборочной единицы сбоку;
  - в случае необходимости — другие виды, разрезы, сечения сборочной единицы по ГОСТ 2.305-68;
  - лицевую планку и/или другие элементы конструкции;
  - объекты слоя размеров — ансамбль габаритных, установочных и присоединительных размеров сборочной единицы;
  - текстовые технические требования на поле чертежа.
- Аналогично чертежу печатной платы подключите бланк форматки.
- Активируйте диалог редактирования атрибутов и составьте список реквизитов документа.
- Сохраните документ AutoCAD в памяти компьютера.

Результат формирования сборочного чертежа показан на рис. 15. Все документы, сформированные на листах пространства листа, сохраняются в едином файле AutoCAD.

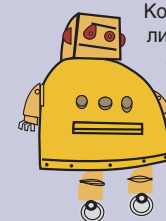
## Заключение

Использование для формирования конструкторских документов вообще и по ЕСКД в частности тандема "электронных" (ECAD) и "машиностроительных" конструкторских САПР (MCAD) позволяет решить задачу стандартными средствами этих систем проектирования.

**Владислав Суходольский**  
**CSoft-Бюро ESG,**  
**специалист по Altium Designer и P-CAD,**  
**доцент кафедры микрорадиоэлектроники**  
**и технологии радиоаппаратуры**  
**СПбГЭТУ "ЛЭТИ"**

## НОВОСТЬ

**Компания Autodesk приобретает Instructables.com**



Компания Autodesk, мировой лидер в области решений для 3D-дизайна, проектирования и создания виртуальной реальности, объявила о приобретении популярного онлайн-сообщества пользователей Instructables, штаб-квартира которого расположена в Сан-Франциско (США). Участие в этом сообществе позволяет энтузиастам, живо интересующимся самостоятельной разработкой проектов, обмениваться проектными идеями и давать друг другу практические советы. Условия сделки не разглашаются.

Instructables.com — это место сбора увлеченных своим делом творческих людей, которые стремятся рассказать другим об инновационных проектах и идеях. Приобретение данного сообщества Autodesk позволит его пользователям получить доступ к таким службам, как SketchBook, 123D и Homestylar.

Миллионы пользователей продуктов Autodesk по всему миру трепетно относятся к инновациям — как на работе, так и дома. Сообщество Instructables поможет пользователям Autodesk общаться с единомышленниками, учиться у них, делиться своими знаниями, увлечениями и личными хобби. Участники Instructables, в свою очередь, выиграют от использования мощных инструментов проектирования Autodesk. Это поможет сообществу развиваться, расти и расширять целевую аудиторию.

Участники сообщества Instructables являются активными членами движения Maker Movement. Они успешно занимаются проектированием, созданием предметов искусства и изобретательством. Компания Autodesk намерена сохранить бренд Instructables, поддерживая домен *Instructables.com* и все те элементы, которые делают ресурс легко узнаваемым, успешным и самобытным. Подробную информацию можно узнать в блоге Instructables.