



УДК 681.2

ТРАНСЛЯЦИЯ ДАННЫХ МЕЖДУ PADS И CAM350

Е.Б. Романова^а, Т.А. Трифонова^а^а Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация

Адрес для переписки: yehtanya@gmail.com

Информация о статье

Поступила в редакцию 25.12.14, принята к печати 23.03.15

doi:10.17586/2226-1494-2015-15-4-701-707

Язык статьи – русский

Ссылка для цитирования: Романова Е.Б., Трифонова Т.А. Трансляция данных между PADS и CAM350 // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2015. Т. 15. № 4. С. 701–707.

Аннотация

Объектом исследования данной статьи является процесс трансляции данных между системой автоматизированного проектирования электронных устройств PADS VX и системой технологической подготовки производства печатных плат CAM350 10. Предметом исследования является двухсторонняя трансляция данных в указанных системах. В качестве методов исследования выступают эксперименты по многократному воспроизведению прямого и обратного процесса трансляции данных между системами PADS и CAM350. Целью работы является рассмотрение проблем обмена данными между системами и нахождение способов их решения. Основой работы является анализ функциональных возможностей систем PADS и CAM350 при трансляции данных, который был выполнен в ходе эксплуатации этих систем. В работе приводятся достоинства и недостатки методов трансляции, их сравнение. Проанализированы ошибки, возникающие в процессе. Описываются возможные причины возникновения ошибок. Основными результатами работы являются рекомендации по обмену данными между системами PADS и CAM350. Предложенные рекомендации позволяют оптимизировать обмен данными между рассматриваемыми системами. Практическая значимость работы заключается во внедрении результатов работы в ООО «Абео». Рекомендации были использованы при разработке нескольких десятков различных электронных устройств. Использование указанных результатов позволило уменьшить время подготовки к производству, увеличить корректность передачи данных, тем самым улучшить качество производимой продукции и уменьшить ее стоимость.

Ключевые слова

подготовка к производству, печатные платы, PADS, CAM350, сквозное проектирование.

DATA TRANSLATION BETWEEN PADS AND CAM350

Е.Б. Romanova^а, Т.А. Trifonova^а^аITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation

Corresponding author: yehtanya@gmail.com

Article info

Received 25.12.14, accepted 23.03.15

doi:10.17586/2226-1494-2015-15-4-701-707

Article in Russian

For citation: Romanova E.B., Trifonova T. A. Data translation between PADS and CAM350. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2015, vol.15, no. 4, pp. 701–707.

Abstract

The subject matter of the paper is the process of data translation between computer-aided design system for electronic devices PADS VX and system for technological preparation of production of printed circuit boards CAM350 10. The object of this study is two-way translation of data in these systems. Experimental researches are applied as research methods based on repeated playback of forward and reverse data translation process between PADS and CAM350 systems. The aim is to examine the challenges of data exchange between systems and to find out the ways of their solution. The basis of the work is functionality analysis of PADS and CAM350 systems while data translation, which was carried out in the course of operating experience of these systems. The paper presents advantages and disadvantages of translation methods and their comparison. Errors arising in the process are analyzed. Possible reasons of errors origination are described. The main results are recommendations for data exchange between PADS and CAM350 systems. The proposed recommendations give the possibility to optimize the exchange of data between these systems. Practical significance of the work lies in the implementation of results at LLC «Abeo». Recommendations have been used in the development of dozens of different electronic devices. The use of these results made it possible to reduce the production run-up time, to increase data transmission correctness, thereby improving the quality of products and reduction of their cost.

Keywords

production run-up, printed circuit boards, PADS, CAM350, end-to-end design.

Введение

В основу данной работы легли теоретические положения CALS-технологий. Одной из основных целей применения CALS-технологий (Continuous Acquisition and Lifecycle Support, или Информационная поддержка изделий – ИПИ) в проектировании и производстве высокотехнологичной продукции является организация интегрированной информационной среды. Интегрированная информационная среда представляет собой совокупность баз данных, посредством которой осуществляется информационное взаимодействие между различными автоматизированными системами (АС) на каждом этапе жизненного цикла изделия. Информация в такой среде стандартизирована для всех систем и сохраняет свою корректность при процессах обмена. Предметом CALS являются методы и средства взаимодействия разных АС. Существует большое количество методов обмена данными между различными системами, которые нуждаются в проработке и оптимизации. Такая необходимость возникает по причине того, что разработчики АС не ставят основной целью при разработке своих продуктов создание оптимальных инструментов обмена данными с другими АС. При обмене данными информация становится некорректной. Таким образом, одним из первых шагов на пути к организации интегрированной информационной среды является как усовершенствование существующих методов, так и формирование новых на основе анализа имеющихся методов. В первую очередь, необходимо произвести детальный анализ существующих методов взаимодействия между АС на основе опыта их эксплуатации, выделить основные достоинства и недостатки.

Один из процессов проектирования изделия – проектирование печатной платы – представляет собой многоэтапный процесс, начинающийся с прорисовки принципиальной схемы и заканчивающийся генерацией управляющих файлов для оборудования, изготавливающего фотошаблоны. Как правило, создание контура и геометрии печатной платы, компоновка и трассировка относятся непосредственно к конструированию печатной платы с использованием EDA-систем. Моделирование, верификация, а также генерация управляющих файлов, называемых Gerber-файлами, относятся к подготовке печатной платы к производству с использованием САМ-систем. Как правило, все системы проектирования печатных плат имеют встроенные средства генерации таких файлов. Но все же целесообразнее проводить операции, относящиеся к подготовке к производству, в специально предназначенных для этого программах. Более того, существует ряд задач, которые решаются исключительно в данных программах.

В настоящее время в российской электронной промышленности проблема интеграции данных стоит довольно остро. Большинство инженеров-конструкторов имеют поверхностное представление о возможностях программных продуктов, зачастую используют лишь один программный продукт. Достаточно простые действия, которые может выполнять один специалист, выполняют несколько. Трансляция данных недостаточно освещена в литературе. Все это в совокупности ведет к увеличению времени проектирования, количества ошибок при проектировании, а соответственно, к понижению качества изделия и увеличению стоимости изделия.

В области автоматизированного проектирования печатных плат проводится достаточное количество исследований, связанных с использованием в процессе проектирования различных пакетов программ на различных этапах проектирования, в частности, в работах [1–3].

В последнее время можно наблюдать появление трудов, в которых описывается использование программ фирмы Mentor Graphics. Так, в [4, 5] рассматриваются оба продукта данной фирмы – Expedition [4] и PADS [5]. Проблема интеграции САПР, используемых для проектирования электронных устройств, описана в [6, 7].

Также в научных трудах (см., например, [8]) рассматривается и система подготовки печатных плат CAM350. Особенности, описание и формирование Gerber-файлов затрагивается в трудах [9–12].

Схожие исследования, в большинстве своем, не проводились для конкретной сферы промышленности или для конкретного этапа в проектировании изделия (см., например, [13–15]). В работах [13, 16, 17] рассматривается проблема трансляции данных между CAD- и САМ-системами, но данные работы носят скорее обзорный характер, без рассмотрения основных проблем. В [18] описывается трансляция данных для конкретного этапа производства печатной платы, но при этом рассматривается достаточно простой пример, так же как и в [14]. Такие примеры редко встречаются на реальном производстве.

В настоящей работе рассматривается трансляция данных на этапе подготовки печатной платы к производству. Рассматриваются возможные методы, выявляются их недостатки и предлагаются способы оптимизации процесса трансляции. Проводится сравнительный анализ методов. Трансляция производилась на нескольких десятках примерах с достаточно сложной топологией и конструкцией, которые также заведомо усложнялись. Такой подход позволил выявить максимальное количество возникающих ошибок. На основе анализа разработан ряд рекомендаций по оптимизации процесса трансляции из EDA PADS в CAM350, что является научной составляющей данной работы.

Стандарты и типы обмена данными об изделии

В настоящее время существуют два основных типа обмена данными между различными АС – прямая трансляция и нейтральная трансляция.

Прямая трансляция. Прямая трансляция данных предполагает наличие во взаимодействующих системах инструментов, позволяющих представлять данные в форматах всех взаимодействующих систем, либо наличие в АС возможности обработки данных различных форматов.

При таком обмене данными количество ошибок сводится к минимуму. Но крайне редко на производстве такой обмен данными находит широкое применение, так как редко один разработчик программного обеспечения занимается разработкой и САД- и САМ-систем одновременно. Особенно такого не наблюдается в области проектирования электронных устройств.

Нейтральная трансляция. При нейтральной трансляции данных используется нейтральный файл определенного формата, закрепленного отраслевым стандартом. Данный способ предполагает в каждой взаимодействующей системе наличие инструментов обработки и генерации файла данного формата. Наиболее распространенными нейтральными форматами данных являются DXF, IGES и STEP. В последнее время на смену стандартам STEP и IGES приходит макропараметрическая методология (МПМ). В данной методологии макрофайл является одним из видов текстового файла, который включает в себя записи пользовательских операций в АС при создании проекта изделия. В качестве макрофайлов в МПМ используются текстовые форматы, например, ASCII и XML. Данная методология позволяет осуществлять обмен между системами различного целевого назначения, в том числе между САД/САЕ/САМ системами. МПМ на данный момент не определена никакими стандартами и является предметом многих академических исследований.

Анализ методов трансляции

В настоящей работе рассматривается обмен данными между EDA-системой PADS VX компании Mentor Graphics и САМ-системой CAM350 компании Downstream Technologies.

Реализация сквозного проектирования изделия возможна при условии организации двустороннего обмена данными между системами САД/САЕ/САМ. В связи с этим анализ ориентирован на возможность двусторонней трансляции данных. Возможности обмена данными ограничиваются функционалом обеих рассматриваемых систем.

Описание методов трансляции. Система PADS VX имеет в своем составе транслятор, способный производить не только предварительную обработку, но и постобработку. Функционал транслятора определяет четыре метода обмена данными. Запуск транслятора производится командой File/Export из редактора топологии PADS Layout.

Метод трансляции с параметром CAM Documents (include Nets and Parts) и метод с параметром CAD Layers -> CAM Layers (As-Is) относятся к нейтральной трансляции с ASCII макро-файлом. Последовательность этапов методов одинакова и проиллюстрирована на рис. 1. В данном случае предварительная обработка, генерация нейтрального файла и постобработка производятся в трансляторе PADS. Исходя из этого, при запуске транслятора необходимо выбрать формат CAM350 Files (*.cam) как формат выходного файла.

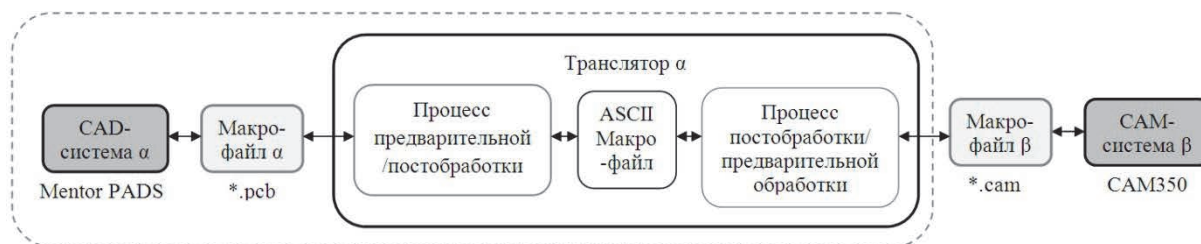


Рис. 1. Последовательность этапов нейтральной трансляции данных с ASCII макро-файлом. (Обозначения «α» и «β» используются для условного обозначения взаимодействующих систем, аналогично обозначениям «система 1» и «система 2»)

При экспорте с параметром CAM Documents (include Nets and Parts) в выходной файл транслируются все необходимые графические данные слоев. Основными слоями в САМ350 являются в большинстве своем слои, на основе которых делаются фотошаблоны. Пустые слои, имеющиеся в проекте платы, или любые другие слои, содержащие какие-либо данные, но не являющиеся основными слоями, в файл формата САМ350 не транслируются.

Трансляция с параметром CAD Layers -> CAM Layers (As-Is) представляет собой более точный экспорт проекта печатной платы. Он позволяет произвести экспорт проекта печатной платы в том виде, в каком он был в PADS. В выходном файле присутствуют все слои, используемые в проекте, даже те, которые не содержат информации. Всем слоям автоматически присваивается соответствующий тип. Также транслируется информация о цепях и компонентах.

Метод трансляции с параметром CAM Documents (Graphics only, Orientations applied) относится к прямой трансляции. Последовательность этапов в данном тестировании проиллюстрирована на рис. 2. В

данном случае также процессы обработки производятся в трансляторе PADS. При выборе CAM Documents (Graphics only, Orientations applied) транслируются только графические данные.

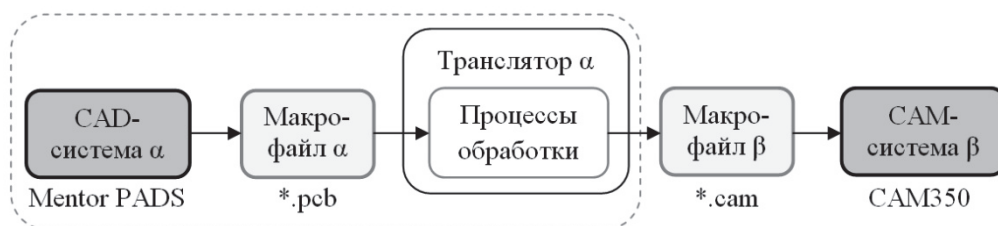


Рис. 2. Последовательность этапов прямой трансляции

Четвертый метод предполагает использование как транслятора PADS, так и транслятора CAM350. Последовательность этапов данного метода проиллюстрирована на рис. 3. В данном случае при запуске транслятора необходимо выбрать формат DXF (*.dxf) как формат выходного файла. После процесса предварительной обработки генерируется нейтральный DXF макрофайл. Процесс постобработки производится уже в трансляторе CAM350.

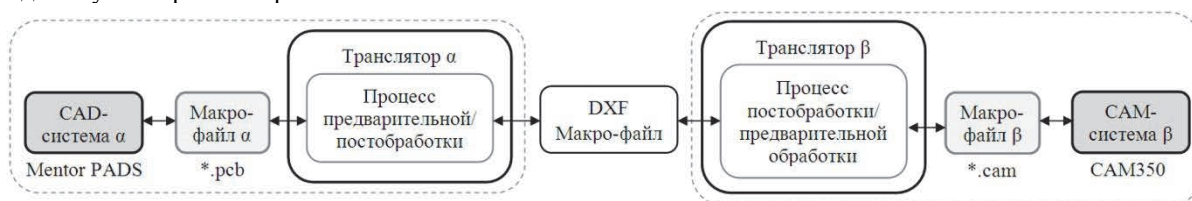


Рис. 3. Последовательность этапов нейтральной трансляции с DXF макро-файлом

Для каждого из методов производится двусторонний обмен данными как из PADS в CAM350, так и из CAM350 в PADS. Последовательность этапов обратной трансляции приведена на рис. 4.

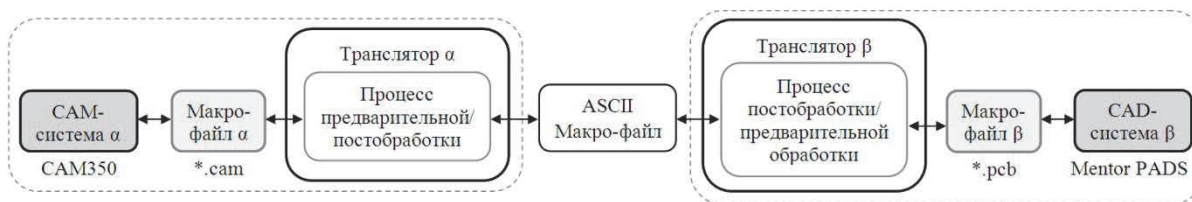


Рис. 4. Последовательность этапов обратной нейтральной трансляции

Также в работе рассматривается метод формирования Gerber-слоев. Формирование Gerber-файлов из PADS и CAM350 подробно описывается в [19] и [20] соответственно. Последовательность этапов прямой трансляции в данном методе аналогична последовательности на рис. 3, а обратной – последовательности на рис. 4. Вместо DXF и ASCII макрофайлов фигурируют файлы слоев в формате RS-274X.

Анализ ошибок трансляции. При трансляции печатной платы с параметром CAM Documents (include Nets and Parts) основной ошибкой является отсутствие границы платы. При этом формируется журнал ошибок *.err, содержащий следующее сообщение: Warning: Oversize option for PADS CAM documents is not supported. Данная ошибка связана с тем, что в PADS Layout граница платы по умолчанию задается замкнутым контуром, называемым Board Outline и принадлежащим всем слоям. Задание границы таким контуром, а не в отдельном слое, CAM350 не поддерживает. Решается данная проблема созданием в PADS Layout отдельного слоя, который будет содержать графические данные о границе платы. После экспорта, при необходимости, данному слою присваивается тип Border уже в CAM350. Как видно из табл. 1, в результате применения этого способа успешно транслируются как параметрические, так и графические данные. Под параметрическими данными здесь понимаются данные о цепях, компонентах, полигонах и отверстиях.

При трансляции печатной платы с параметром CAM Documents (Graphics only, Orientations applied) производится экспорт только графических данных. Данные о цепях и компонентах не экспортируются. Также как и в предыдущем методе, основной ошибкой при трансляции является потеря границы платы. Решается эта проблема аналогично. Как видно из табл. 1, трансляция параметрических данных не происходит, тем самым становится невозможным дальнейшее редактирование проекта и двусторонняя трансляция данных.

Экспорт с параметром CAD Layers -> CAM Layers (As-Is) позволяет произвести экспорт проекта печатной платы в том виде, в каком он был в PADS. В выходном файле присутствуют все слои, используемые в проекте, даже те, которые не содержат информации или элементов. Также транслируется информация о цепях и компонентах. Граница в данном случае транслируется как отдельный слой. Согласно

табл. 1, данный метод позволяет корректно транслировать как графические, так и параметрические данные, а также обеспечивает двустороннюю трансляцию.

Параметры	CAM Documents (include Nets and Parts)	CAM Documents (Graphics only, Orientations applied)	CAD Layers -> CAM Layers (As-Is)	Экспорт в DXF	Экспорт в Gerber
Предварительная обработка	PADS	PADS	PADS	PADS	PADS
Постобработка	PADS	PADS	PADS	CAM350	CAM350
Тип трансляции	Нейтр.	Прямая	Нейтр.	Нейтр.	Нейтр.
Формат нейтрального макро-файла	ASCII	–	ASCII	DXF	RS-274X
Тип обратной трансляции	Нейтр.	Нейтр.	Нейтр.	Нейтр.	Нейтр.
Формат нейтрального макро-файла при обратной трансляции	ASCII	ASCII	ASCII	DXF	RS-274X
Трансляция графических данных	□	□	○	○	○
Трансляция параметрических данных	○	×	○	×	×
Возможность двусторонней трансляции данных	□	×	○	×	×

○: успешно, данные корректны

□: успешно, при предварительном редактировании

×: данные не транслированы, либо транслированы не корректно

Таблица 1. Параметры трансляции

При экспорте платы в DXF транслятор PADS генерирует файл DXF, включающий в себя графические данные. Параметрические данные не транслируются. Все данные о компонентах в выходном файле представляют собой текст и в CAM-файле располагаются в отдельных графических слоях. При этом невозможно редактирование проекта печатной платы и двусторонняя трансляция данных соответственно.

Запуск трансляции файла формата CAM в формат PADS производится с помощью команды File/Export/CAD Data... . В открывшемся окне CAD Formats необходимо выбрать пункт PADS. Следующим шагом трансляции проекта печатной платы является импорт файла формата ASCII редактором PADS Layout. Импорт производится командой File/Import.

Разберем типичные проблемы, которые могут возникнуть при трансляции из CAM350 в PADS. Рассмотрим ситуацию, когда проект печатной платы был транслирован из PADS с параметром CAM Documents (include Nets and Parts), изменен в CAM350 и затем транслирован с изменениями обратно в PADS. При трансляции файла в PADS граница была транслирована в отдельный слой с именем Border, содержащий в себе замкнутый контур границы, и как стандартная для PADS граница Board Outline. Если в исходном PADS-файле была включена опция Teardrops (автоматическое создание так называемых «капелек»; такие «капельки» позволяют избежать появления острых углов между медью, в которых могут скапливаться травитель и протравитель проводников на платах высокого класса точности), то они экспортируются в CAM350 как полигоны, и обратно они транслируются как полигоны соответственно. Исправить данную проблему можно лишь ручным удалением сформированных полигонов и дальнейшим добавлением «капелек» вручную. Контуров компонентов транслируются отдельно как 2D-линии на слоях шелкографии. При перемещении компонентов в таком случае перемещаются только контактные площадки, контур компонента же остается на месте.

Основной и самой главной проблемой в данном случае является импортирование полигонов. В PADS транслируется контур уже залитого полигона. Это влечет за собой неправильную трансляцию контура, замену скругленных участков большим количеством линий, обрывы в контуре. Если первоначально в проекте платы имелись вырезы в полигоне, то в формат CAM они не транслируются, а транслируется уже залитый полигон с незалитыми областями. Все это не позволяет получить в редакторе PADS Layout приемлемого полигона, поэтому создание полигона в полученном файле необходимо проводить заново.

Теперь рассмотрим ситуацию, когда проект печатной платы был транслирован из PADS с параметром CAD Layers -> CAM Layers (As-Is), изменен в CAM350 и затем транслирован с изменениями обратно

в PADS. В отличие от первого случая, в данном случае не возникает никаких ошибок. Контуры полигонов транслируются корректно, контуры компонентов, расположенные в слое шелкографии, привязаны к компонентам, «капельки» транслируются обратно не в виде полигонов.

В ходе анализа были сформированы рекомендации по оптимизации процесса трансляции между PADS и CAM350. Рекомендации по предварительному редактированию проекта печатной платы в редакторе PADS Layout приведены в табл. 2. Рекомендации по применению методов трансляции приведены в табл. 3.

Методы трансляции	Проблема трансляции	Способ предварительного редактирования
CAM Documents (include Nets and Parts) и CAM Documents (Graphics only, Orientations applied)	Отсутствие границы платы при трансляции из PADS в CAM350	Создание в PADS Layout отдельного слоя, который будет содержать графические данные о границе платы
CAM Documents (include Nets and Parts)	Экспорт «капелек» как полигонов	Удаление полигонов и добавление «капелек» вручную
CAM Documents (include Nets and Parts) и CAM Documents (Graphics only, Orientations applied)	Разрыв контура полигона	Упрощение контура полигона
CAM Documents (include Nets and Parts) и CAM Documents (Graphics only, Orientations applied)	Отсутствие вырезов в полигоне	Перенос только контуров полигона и выреза, без заливки самого полигона

Таблица 2. Способы предварительного редактирования

Рекомендации по оптимизации процесса трансляции

Метод	Рекомендации по применению
CAM Documents (include Nets and Parts)	Рекомендуется для двусторонней трансляции между PADS и CAM350 для несложных проектов при необходимости транслирования минимального объема данных
CAM Documents (Graphics only, Orientations applied)	Рекомендуется для односторонней трансляции из PADS в CAM350 для многокомпонентных проектов (многослойных, крупных габаритов, с количеством электронных компонентов более 200), так как достаточно точен для этого, и, в связи с минимальным объемом транслируемых данных, может ускорить процесс передачи файлов в производство
CAD Layers -> CAM Layers (As-Is)	Рекомендуется для двусторонней трансляции между PADS и CAM350, так как он является наиболее точным из всех существующих на сегодняшний день
Экспорт в DXF	Не рекомендуется для передачи в САМ-системы, так как имеет место неточная передача данных и невозможна двунаправленная трансляция. Может быть рекомендован для передачи данных в MCAD
Экспорт в Gerber	Рекомендуется для односторонней трансляции данных из PADS в CAM350 для многокомпонентных проектов (многослойных, крупных габаритов, с количеством электронных компонентов более 200) при минимальных объемах транслируемых данных

Таблица 3. Применение методов трансляции

Заключение

В результате проделанной работы проанализированы функциональные возможности систем PADS и CAM350, рассмотрены возможные методы трансляции данных, определяемые функционалом систем, выявлены их недостатки и проанализированы возникающие в процессе трансляции ошибки, такие как потеря границы платы, некорректная трансляция параметрических данных или отсутствие этих данных, разрыв контура полигонов, отсутствие вырезов в полигоне и прочие ошибки, которые отражены в табл. 1, 2. Рассмотрены причины ошибок. На основе полученных результатов были предложены действия по оптимизации данных методов, приведенные в табл. 2, для корректной трансляции данных, которые могут быть использованы на производстве при проектировании печатных плат.

При применении предложенных рекомендаций по предварительному редактированию, приведенных в табл. 2, и использованию оптимального метода трансляции данных из табл. 3 уменьшается время подготовки платы к производству и обеспечивается более корректный обмен данными. На основе предложенных рекомендаций можно усовершенствовать имеющиеся инструменты трансляции данных.

Дальнейшие исследования в данной области могут быть направлены на создание нового универсального формата данных для двустороннего обмена данными между EDA и САМ-системами, позволяющего точно и быстро передавать информацию без доработки исходных файлов.

Литература

1. Dilip Save Y., Rakhi R., Shambhulingayya N.D., Srivastava A., Das M.R., Choudhary S., Moudgalya K.M. OScad: An open source EDA tool for circuit design, simulation, analysis and PCB design // Proc. IEEE International Conference on Electronics, Circuits, and Systems. Abu Dhabi, United Arab Emirates, 2013. Art. 6815548. P. 851–854. doi: 10.1109/ICECS.2013.6815548
2. Electronic Design Automation / Eds. Laung-Terng Wang, Yao-Wen Chang, Kwang-Ting (Tim) Cheng. Morgan Kaufman, 2009. 934 p.
3. Sauerwald M., Pattavina J.S. Printed circuit board (PCB) design issues / In: Analog Devices. 1998. 97 p.
4. Колесникова Т. Маршрут проектирования Mentor Graphics Expedition Enterprise // Технологии в электронной промышленности. 2014. № 5. С. 15–21.
5. Колесникова Т. Проектирование принципиальных схем и печатных плат с помощью САПР Mentor Graphics PADS 9.5 // Современная электроника. 2014. №1. С. 66–71.
6. Son S., Na S., Kim K., Lee S. Collaborative design environment between ECAD and MCAD engineers in high-tech products development // International Journal of Production Research. 2014. V. 52. N 20. P. 6161–6174. doi: 10.1080/00207543.2014.918289
7. Dankovic D., Vracar L., Prijic A., Prijic Z. An electromechanical approach to a printed circuit board design course // IEEE Transactions on Education. 2013. V. 56. N 4. P. 470–477. doi: 10.1109/TE.2013.2257784
8. Соколов В. Секреты работы в САМ350 // EDA Expert. 2010. № 2. С. 53–57.
9. Moreno-Baez A., Miramontes-de Leon G., Garcia-Domingues E., Sfuentes-Gallardo C. Processing Gerber files for manufacturing printed circuit boards // Procedia Engineering. 2012. V. 35. P. 240–244. doi: 10.1016/j.proeng.2012.04.186
10. Oh H.-W., Jung J.-H., Park T.-H. Gerber-character recognition system of autoteaching program for PCB assembly machines // Proc. SICE Annual Conference. 2004. Art. FAI-15-4. P. 1773–1778.
11. Bhavya M., Roy U.M. Design and implementation of position controller for electro hydraulic drives in turbine control system // Proc. IEEE International Conference on Signal Processing, Computing and Control, ISPPCC 2013. Shimla, India, 2013. Art. 6663463. doi: 10.1109/ISPPCC.2013.6663463
12. Ramesh Kumar K.R. Computer-aided design of MIC layout with postprocessor for photoplotter // Defence Science Journal. 1994. V. 44. N 4. P. 317–321.
13. Randelovic S., Zivanovic S. CAD-CAM data transfer as a part of product life cycle // Facta Universitatis. Series: Mechanical Engineering. 2007. V. 5. N 1. P. 87–96.
14. Li J., Han S., Shin S., Lee S., Kang Y., Cho H., Kim H., Song I., Kim I., Singh Rathore P. CAD data exchange using the macro-parametrics approach: an error report // International Journal of CAD/CAM. 2010. V. 10. N 2. P. 53–58.
15. Choi G.-H., Mun D., Han S. Exchange of CAD part models based on the macro-parametric approach // International Journal of CAD/CAM. 2002. V. 2. N 1. P. 13–21.
16. Hoimyr N.-J. CAD/CAM and exchange of product data // Proc. 19th CERN School of Computing. Egmond aan Zee, The Netherlands, 1996. V. 8. P. 147–152.
17. Janowski D. Transferring CAD/CAM files. 1999. Режим доступа: <http://www.mmsonline.com/articles/transferring-cadcam-files>, свободный (дата обращения 23.03.2015).
18. Song I., Han S. Implementation of the direct integration from CAM to CAE for the PCB simulation // Computers in Industry. 2013. V. 64. N 8. P. 1014–1021. doi: 10.1016/j.compind.2013.06.014
19. PADS ES Suite Evaluation Guide. Mentor Graphics Corporation, 2011. 223 p.

Романова Ева Борисовна

– кандидат технических наук, доцент, доцент, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация, eva_rom@mail.ru

Трифопова Татьяна Александровна

– аспирант, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация, yeahtanya@gmail.com

Eva B. Romanova

– PhD, Associate professor, Associate professor, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation, eva_rom@mail.ru

Tatiana A. Trifonova

– postgraduate, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation, yeahtanya@gmail.com