ISSN 2658-5014 (Print) СИИТ ISSN 2686-7044 (Online)
2025. Т. 7, № 2 (21). С. 118–125 http://siit.ugatu.su
СИСТЕМНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
Научная статья

УДК 621.38 DOI 10.54708/2658-5014-SIIT-2025-no2-p118 EDN DWZWGH

Проектирование принципиальной электрической схемы и размещение её элементов на печатной плате с использованием ИАП в среде САПР ЭРЭ

С. М. Ахмедова • С. М. Зейналова • Н. И. Юсифова

Аннотация. На примере гибких производственных систем приведены основные требования к специализированным электронным интерфейсам, которые обычно встречаются на этапах испытания и внедрения проектных решений в лабораторных и производственных условиях. Показано, что такие специализированные электронные интерфейсы требуются для связи системы управления с внешним оборудованием и нестандартными мехатронными устройствами. Обоснована целесообразность проектирования таких нестандартных электронных интерфейсов на местах инструментами автоматизированного проектирования, функционирующими в средах многофункциональных систем автоматизации проектирования электронных устройств. Проведён краткий обзор основных существующих САПР электрорадиоэлементов и электронных устройств. Показано, что основное требование к автоматизированному проектированию электронных устройств заключается в создании условных графических обозначений (УГО) электрорадиоэлементов (ЭРЭ). Отмечено, что в этом направлении выполнены определённые работы, и существующие САПР электронных устройств обеспечены достаточно богатыми библиотеками УГО ЭРЭ. С использованием предложенных инструментов автоматизированного проектирования (ИАП), функционирующего в среде многофункциональных САПР электронных устройств, создана база знаний библиотек УГО ЭРЭ. На примере конкретного электронного интерфейса предложены этапы проектирования принципиальной электрической схемы и размещение её ИАП, функционирующего в среде САПР P-CAD и Spectra.

Ключевые слова: электронные устройства; мехатроника; гибкая производственная система; САПР ЭРЭ; P-CAD; ЭРЭ; УГО; ИАП; PCB.

Введение

Опыт внедрения гибких производственных систем (ГПС) в промышленности и других отраслях показал, что все её компоненты оснащаются соответствующими устройствами управления, обеспечивающими приём и обработку информации от различных источников для достижения поставленной перед ГПС задачи в реальном режиме времени. Как показано в [1], при анализе обобщенной структурной схемы ГПС обычно встречаются три основных типа интерфейсов: стандартные – между мехатронными и другими компонентами, которые проектируются специалистами специализированных конструкторских и проектных организаций и изготавливаются заводами изготовителями; специализированные – между системой управления (СУ) ГПС со стандартными и нестандартными мехатронными устройствами (МУ), которые обеспечивают связь СУ с сенсорами, установленными в различных позициях МУ, и исполнительными механизмами, которые проектируются исходя из требований конкретного объекта при испытании и внедрении специалистами по автоматизации. Специализированные электронные интерфейсы обычно встречаются при испытании и внедрении ГПС на конкретных объектах и проектируются специалистами по автоматизации без участия специалистов специальных конструкторских и проектных организаций.

Опыт этапов испытания и внедрения ГПС показал, что разработка и реализация специализированных электронных интерфейсов с использованием инструмента автоматизированного проектирования (ИАП), функционирующего в среде САПР электронных устройств, являются перспективным подходом при решении таких задач [2].

Этапы разработки принципиальной электрической схемы и размещение конструктивных элементов на печатной плате

В статье на примере конкретного электронного интерфейса рассматриваются этапы разработки принципиальной электрической схемы и размещение конструктивных элементов на печатной плате (ПП).

Этап 1. Краткий обзор известных САПР ЭРЭ электронных устройств

Со второй половины 90-х годов прошлого столетия и в двухтысячные годы в развитых странах мира было разработано множество версий САПР электрорадиоэлементов (ЭРЭ) устройств P-CAD, позволяющих автоматизировать проектирование принципиальных электрических и интегральных схем, печатных плат ЭРЭ, топологии печатных плат, подготовку конструкторских документации и др. [3–6]. Версии P-CAD обеспечивают выполнение всех перечисленных процедур и при необходимости с использованием редактора PC-CARDS позволяют автоматизировать полный цикл печатных плат: ввод информации в виде графических схем; компоновка схем на печатной плате; трассировка электрических линий на печатной плате и оформление технической документации.

Дальнейшее усовершенствование САПР ЭРЭ сопровождалось созданием программных комплексов с такими расширенными функциональными возможностями, как версии системы профессионального *автотрассировщика* SPECCTRA; графический редактор Or CAD CAPTURE для моделирования аналоговых и цифровых электрических схем; система KOMPAS-Qrafik для проектирования электротехнических устройств; Elektronics Workbench 5.0 C, программный комплекс, обеспечивающий визуальную сборку и компоновку схем, контроль за функционированием в реальном интервале времени.

Библиотека ESK5 работает в среде КОМПАС-График [7]. В состав библиотеки входят несколько тысяч условных графических обозначений (УГО) микросхем, конденсаторов, источников питания, предохранителей, ламп, реле, резисторов, диодов, оптронов, тиристоров, трансформаторов и др. Кроме перечисленных УГО, библиотека ESK5 дает возможность создания новых УГО различных ЭРЭ, автоматической и полуавтоматической простановки позиционных обозначений, автоматического создания перечней элементов, ведения базы данных элементов и постоянного развития библиотеки ESK5.

Electronics Workbench 5.0C – это программа для симуляции электронных цепей и компонентов, основная цель которой заключается в том, чтобы пользователи могли тестировать работоспособность схем до того, как их соберут в реальности.

Программа обеспечивает симуляцию различных видов электронных цепей: аналоговых, цифровых и микроконтроллерных; предоставляет обширную библиотеку различных электронных компонентов; предлагает удобный и интуитивно понятный графический интерфейс; проектирование схем и печатных плат (PCB) – позволяет пользователям создавать электрические принципиальные схемы, которые затем могут быть использованы для проектирования PCB.

В 2003 году компании Electronics Workbench и National Instruments разработали Multisim Library. С помощью библиотеки Multisim пользователи могут легко проектировать, моделировать, измерять и тестировать электронные схемы в интегрированной программно-аппаратной среде.

Multisim можно импортировать в Ultiboard, что предоставляет набор инструментальных средств для полного цикла разработки печатных плат – от рисования схемы, моделирования и настройки устройства до создания полного комплекта конструкторских документов. Ultiboard 3D Viewer позволяет получить реалистичное трёхмерное изображение готовой платы.

Библиотека форм Ultiboard имеет обширную библиотеку форм компонентов (около 4000), которая постоянно обновляется.

С развитием технологий появлялись более современные инструменты с расширенными функциональными возможностями в области проектирования и симуляции электронных

цепей, такие как Proteus (инструмент для симуляции электронных схем, микроконтроллеров, с возможностью программирования на языке С); LTspice, ориентированный на анализ аналоговых схем с высокой точностью; KiCad для проектирования схем и печатных плат и др.

Дальнейшее развитие автоматизированного проектирования ЭРЭ позволило автоматизировать весь цикл проектирования узла многослойной печатной платы с помощью САПР P-CAD и программы SPECCTRA [8].

Система P-CAD представляет собой комплекс пакет-программ для проектирования многослойных печатных плат ЭРЭ и включает следующие программные модули1: графический редактор P-CAD Schematic для разработки электрических принципиальных схем и создания УГО отдельных ЭРЭ; графический редактор P-CAD PCB для проектирования конструктивно-технологических параметров печатной платы; P-CAD Autorouters для автоматической трассировки проводников ПП; редактор символов элементов Symbol Editor для создания УГО символов ЭРЭ; редактор посадочных мест Pattern Editor конструктивных ЭРЭ на ПП.

В P-CAD предусмотрено использование программы SPECCTRA, предназначенной для размещения ЭРЭ на ПП с помощью ручной, интерактивной и автоматической трассировки проводников.

Анализ основных известных САПР ЭРЭ показал, что их электронные библиотеки частично или полностью обеспечены условными графическими обозначениями (часто встречающимися на практике) ЭРЭ. При неполных либо при отсутствии вообще УГО такого элемента в библиотеке с использованием соответствующих редакторов создаётся новое УГО, и библиотека пополняется.

Этап 2. Создание базы знаний библиотек УГО ЭРЭ

Как было отмечено при анализе известных САПР ЭРЭ, в составе каждой системы предусмотрены базы УГО ЭРЭ для использования при решении задач в различных отраслях. Следовательно, с использованием инструмента автоматизированного проектирования, функционирующего во взаимодействии со средой САПР ЭРЭ, создаётся база знаний УГО ЭРЭ для проектирования принципиальной электрической схемы конкретного объекта и размещения её компонентов на печатной плате (рис. 1).

Пользовательским интерфейсом инструмента автоматизированного проектирования (ИАП), функционирующего в среде САПР электронных устройств, создаётся база знаний библиотек УГО ЭРЭ.

В состав библиотеки каждого УГО ЭРЭ входят: (.lib) символа; (/lib) посадочных мест (ПМ) на печатной плате (ПП); (.lib) библиотечных элементов (получается из совокупностей символа, ПМ и упаковочной информации (УИ)).

Этап 3. Проектирование принципиальной электрической схемы электронного интерфейса и размещение её компоненты на печатной плате

Опыт внедрения ГПС в реальных действующих производствах показал, что в большинстве ситуаций требуется прием информации от датчиков с различными выходными напряжениями (обычно в пределах от 8 до 48 В) и управление сигналами с выхода системы управления (СУ) исполнительными механизмами, функционирующими с большими постоянными и переменными напряжениями. Следовательно, требуется обеспечение работы СУ отдельными компонентами ГПС и внешним оборудованием во взаимодействии с программными либо аппаратными путями.

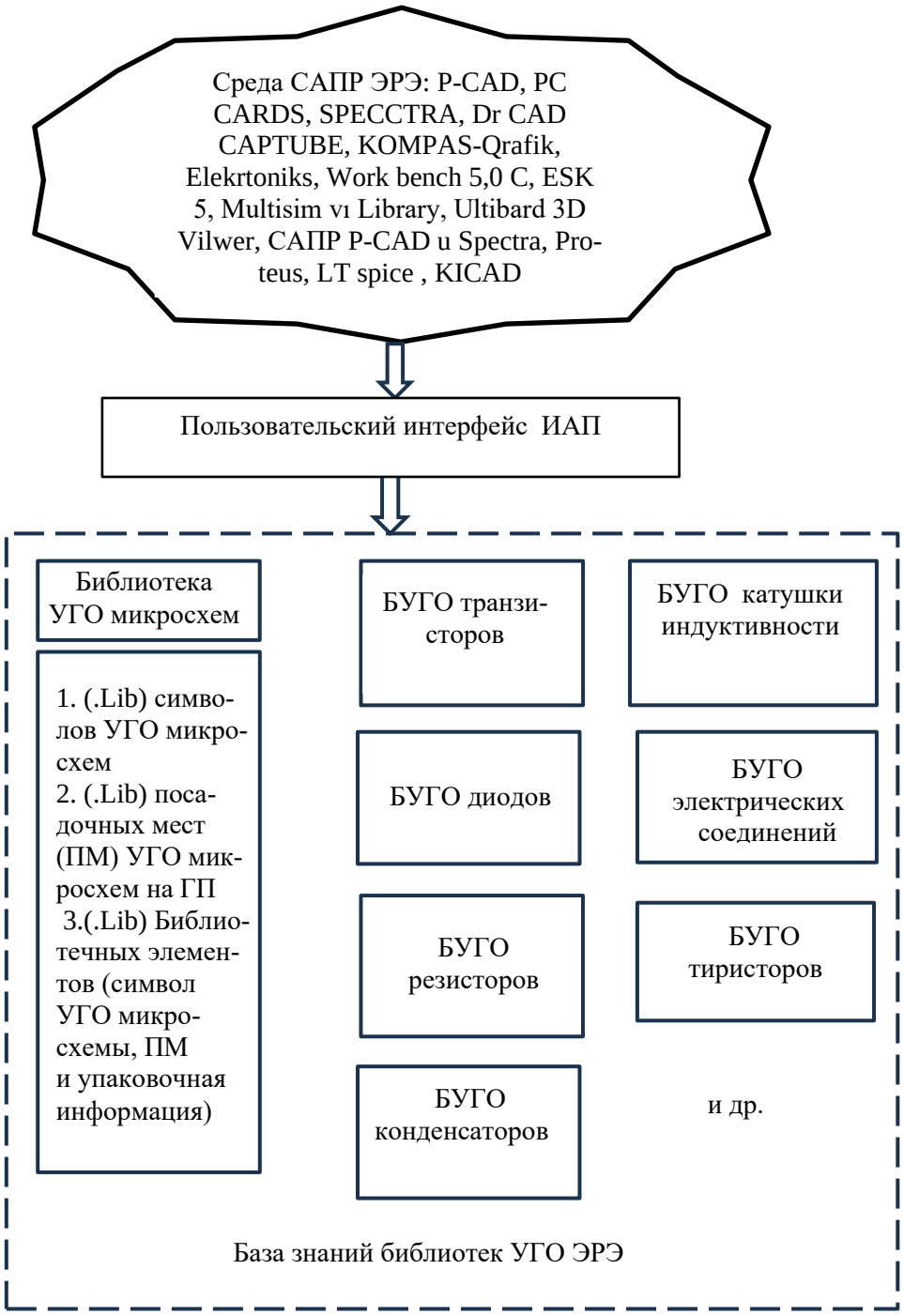

Рис. 1 Создание базы знаний библиотек УГО ЭРЭ

Постановка задачи и решение

Рассмотрим вопрос проектирования электронного интерфейса между СУ ГПС и внешним оборудованием с использованием ИАП, функционирующего в среде САПР P-CAD и Spectra.

Предлагаемый электронный интерфейс обеспечивает преобразование сигналов, поступающих из сенсора (+24 V) на вход СУ (+5 V). Первичная принципиальная электрическая схема электронного интерфейса представлена на рис. 2 и реализована на оптико-гальваническом элементе DST-1RBP-N, резисторной плате 9A110J и буферном регистре СУ 74FST823T.

Требуются разработка электрической принципиальной схемы электронного интерфейса с использованием УГО ЭРЭ и размещение конструктивных элементов на печатной плате.

При проектировании электронного интерфейса в качестве базовой системы принята система P-CAD, которая представляет собой интегрированный пакет программ, предназначенный для проектирования многослойных печатных плат ЭРЭ [2, 8].

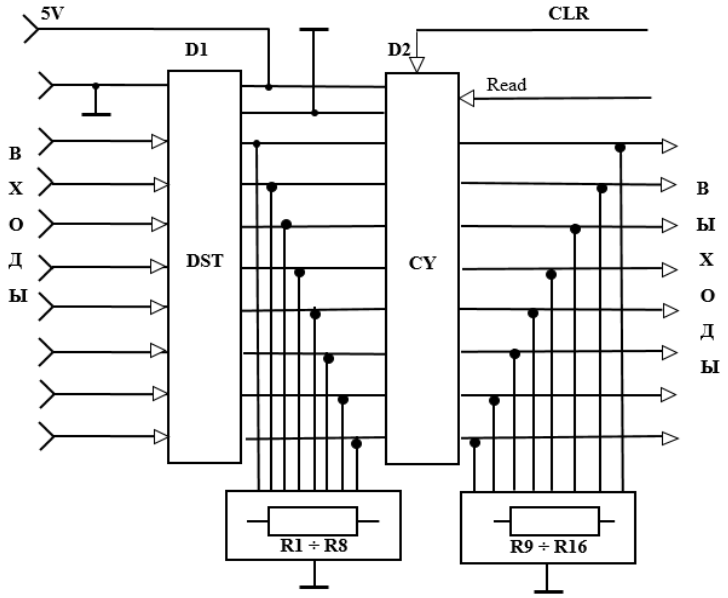

Рис. 2 Первичная принципиальная электрическая схема электронного интерфейса

В данной статье в соответствии с постановкой задачи используются программные модули P-CAD и Schematic и P-CAD PCB (рис. 3).

Графический редактор предназначен для разработки электрических принципиальных схем с использованием УГО элементов. При этом УГО ЭРЭ текущей схемы извлекается из БЗ библиотек УГО ЭРЭ и создается рабочая БЗ конкретной схемы. Для вычерчивания электрической принципиальной схемы из рабочей БЗ текущей схемы извлекаются библиотеки символов УГО всех элементов конкретной схемы, и графическим редактором P-CAD Schemantik созданная схема в виде результата вычерчивается на экране монитора [9, 10].

На базе обобщенной структурно-функциональной структуры ИАП электронного интерфейса также предусмотрено размещение конструктивных элементов на печатной плате с использованием графического редактора P-CAD PCB. P-CAD PCB предназначен для разработки и конструирования узлов печатных плат [11]. Для работы графического редактора, как видно из обобщенной структурно-функциональной схемы, требуется извлекать из рабочей БЗ УГО ЭРЭ текущей схемы, (.lib) символов, (.lib) посадочных мест и (.lib) библиотечных элементов УГО всех элементов текущей схемы.

Заключение

1. В результате анализа проблемы испытания и внедрения ГПС в действующих производствах обоснована целесообразность разработки специализированных электронных интерфейсов с использованием ИАП, функционирующего в среде САПР ЭРЭ.

2. Краткий анализ основных известных САПР ЭРЭ показал, что их электронные библиотеки частично или полностью обеспечены условными графическими обозначениями, которые являются основными компонентами при автоматизации проектирования ЭРЭ электронных устройств.

3. Создана база знаний библиотек УГО ЭРЭ с использованием ИАП.

4. Разработана обобщенная структурно-функциональная схема ИАП, электронного интерфейса, функционирующего в среде САПР P-CAД и Spectra.

5. С использованием программных модулей P-CAD и Schematic u P-CAD PCB, CAMP P-CAD u Spectra представлены фрагменты автоматизированного проектирования электрической принципиальной схемы электронного интерфейса и схема размещения ЭРЭ на печатной плате.

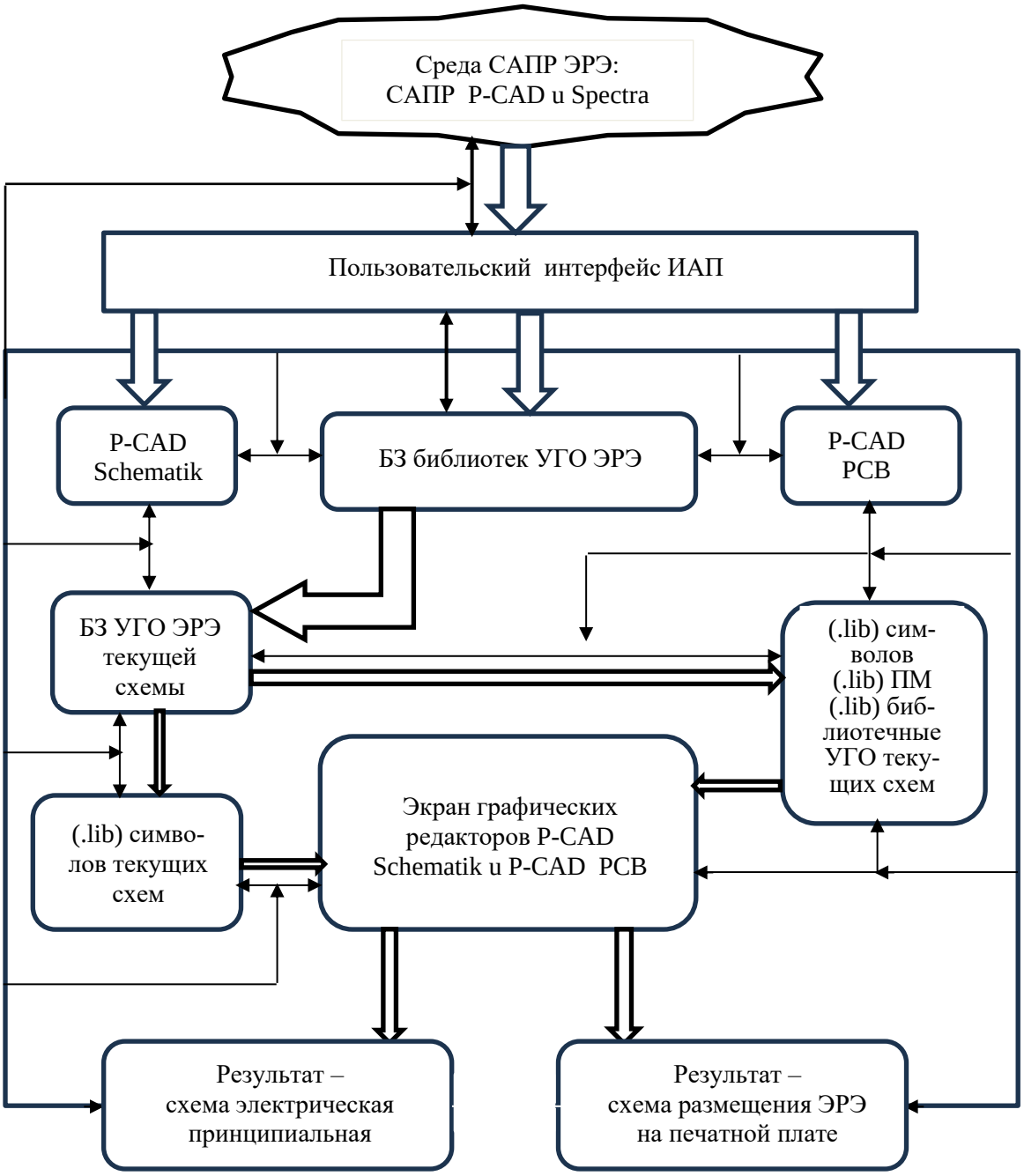

Рис. 3 Обобщенная структурно-функциональная схема ИАП электронного интерфейса

Отметим, что с использованием программных модулей САПР P-CAD, инструментарий автоматизированного проектирования, в ручном формате и на основе автоматической трассировки можно разрабатывать проводники ПП, размещать схему ЭРЭ и осуществлять трассировку линии проводников на базе программной среды SPECTRA.

В контексте данного исследования авторы считают полезным упомянуть также работы [12–14] из смежных областей автоматизированного проектирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

[1] Магоммедли Х. М., Зейналова С. М. Разработка инструмента автоматизированного проектирования специализированных электронных устройств гибкой производственной системы // Тр. науч.-практ. конф. «Инженерные системы – 2019», Москва, 3–5 апреля 2019 года. М.: РУДН, 2019. С. 504–513. EDN ETUYLX. [[Magomedli H. M., Zeynalova S. M. “Development of a tool for automated design of specialized electronic devices of a flexible manufacturing system” // Proceedings of the scientific and practical conference "Engineering Systems - 2019", Moscow, April 3-5, 2019. Moscow: RUDN, 2019. Pp. 504-513. EDN ETUYLX. (In Russian).]]

[2] Алиев Р. А., Ахмедов М. А., Мамедов Д. Ф., Гусейнов А. Г. Создание инструмента автоматизированного проектирования нестандартных элементов гибкой производственной системы // Автоматизация и современные технологии. 2010. № 1. С. 28–32. EDN KYVNKV. [[Aliyev R. A., Akhmedov M. A., Mamedov D. F., Guseinov A. G. “Creation of a tool for automated design of non-standard elements of a flexible manufacturing system” // Automation and Modern Technologies. 2010. No. 1, pp. 28-32. EDN KYVNKV. (In Russian).]]

[3] Разевиг В. Д. Проектирование печатных плат в BP-CAD 2001. М.: Солон–Р, 2004. 560 с. [[Razevig V. D. Design of Printed Circuit Boards in VR-CAD 2001. Moscow: Solon-R, 2004. (In Russian).]]

[4] Стешенко В. Б. P-CAD. Технология проектирования печатных плат. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 720 с. [[Steshenko V. B. R-CAD. Printed Circuit Board Design Technology. SPb.: BHV-Petersburg, 2005. (In Russian).]]

[5] Саврушев Э. Ц. P-CAD 2006. Руководство схемотехника, администратора библиотек, конструктора. М.: Бином пресс, 2007. 768 с. [[Savrushev E. Ts. P-CAD 2006. Guide for Circuit Designer, Library Administrator, Designer. Moscow: Binom Press, 2007. (In Russian).]]

[6] Магомедли Х. М., Расулов Р. З. Сравнительный анализ систем автоматизированного проектирования электронных устройств и определение перспективы их развития // Научные известия. СГУ. 2016. Т. 16. № 3. С. 59–64. [[Magomedli H. M., Rasulov R. Z. “Comparative analysis of automated design systems of electronic devices and determination of their development prospects” // Scientific News. Sumgait State University. 2016. Vol. 16, no. 3, pp. 59-64. (In Russian).]]

[7] Кальянов С. Проектирование электрических схем в среде КОМПАС: библиотека ESK 5 // САПР и графика. 2002. № 5. [[Kalyanov S. “Design of electrical circuits in the KOMPAS environment: ESK 5 library” // CAD and Graphics. 2002. No. 5. (In Russian).]]

[8] Мактас М. Я. Уроки по САПР P-CAD и SPECCTRA. М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2016. 224 с. [[(In Russian).]]

[9] Оруджева Г. Э. Моделирование выбора и проектирования мобильного промышленного робота для ГПС // СИИТ. 2024. Т. 6. № 4(19). С. 91–97. EDN POUZVF. [[Orudzheva G. E. “Modeling the selection and design of a mobile industrial robot for GPS” // SIIT. 2024. Vol. 6, no. 4(19), pp. 91-97. EDN POUZVF. (In Russian).]]

[10] Рагимов Ш. Р. о., Д. Мамедов Ф. о. Экспериментальное исследование процесса управления активных элементов гибких производственных систем в условиях неопределенности // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова. 2022. Т. 20. № 2. С. 148–160. DOI 10.18503/1995-2732-2022-20-2-148-160. EDN PJIHRW. [[Ragimov Sh. R. o., D. Mamedov F. o. “Experimental study of the control process of active elements of flexible manufacturing systems under uncertainty” // Bulletin of Magnitogorsk State Technical University named after G. I. Nosov. 2022. Vol. 20, no. 2, pp. 148-160. DOI 10.18503/1995-2732-2022-20-2-148-160. EDN PJIHRW. (In Russian).]]

[11] Мамедов Д. Ф. о., Гусейнова Г. Г., Сафарова Т. А., Джафарова Ш. М. Анализ и моделирование технических средств автоматизированных систем контроля за качеством продукции в машиностроительных производствах // Автоматизация процессов управления. 2023. № 4(74). С. 107–117. DOI 10.35752/1991-2927_2023_4_74_107. EDN JCZUUU. [[Mamedov D. F. o., Guseynova G. G., Safarova T. A., Dzhafarova Sh. M. “Analysis and modeling of technical means of automated quality control systems for products in mechanical engineering industries” // Automation of Control Processes. 2023. No. 4 (74), pp. 107-117. DOI 10.35752/1991-2927_2023_4_74_107. EDN JCZUUU. (In Russian).]]

[12] Гусаренко А. С., Миронов В. В. Совместная программная обработка разнородных конструкторских документов в учебном ИТ-проектировании // СИИТ. 2024. Т. 6. № 3(18). С. 102–118. EDN QATAMS. [[Gusarenko A. S., Mironov V. V. “Joint software processing of heterogeneous design documents in educational IT design” // SIIT. 2024. Vol. 6, no. 3(18), pp. 102-118. EDN QATAMS. (In Russian).]]

[13] Гвоздев В. Е., Давлиева А. С. Оценка функциональной безопасности аппаратно-программных комплексов на основе математико-статистических методов // СИИТ. 2023. Т. 5. № 2(11). С. 33–40. EDN VLLUZS. [[Gvozdev V. E., Davlieva A. S. “Assessment of the functional safety of hardware and software complexes based on mathematical and statistical methods” // SIIT. 2023. Vol. 5, no. 2(11), pp. 33-40. EDN VLLUZS. (In Russian).]]

[14] Маслов С. Г., Бельтюков А. П. Проблемы разработки физико-антропно-технических систем // СИИТ. 2021. Т. 3. № 2(6). С. 44–49. EDN OIBZDG. [[Maslov S. G., Beltyukov A. P. “Problems of development of physical-anthropotechnical systems” // SIIT. 2021. Vol. 3, no. 2(6), pp. 44-49. EDN OIBZDG. (In Russian).]]

Поступила в редакцию 3 февраля 2025 г.

МЕТАДАННЫЕ / METADATA

Title: Designing a circuit diagram and placing its elements on a printed circuit board using IAP in the CAD environment of ERE.

Abstract. The article presents the basic requirements for specialized electronic interfaces that are usually encountered at the stages of testing and implementing design solutions in laboratory and production conditions using flexible manufacturing systems as an example. It is shown that such specialized electronic interfaces are required to communicate the control system with external equipment and non-standard mechatronic devices. The paper substantiates the feasibility of designing such non-standard electronic interfaces on-site using automated design tools operating in the environments of multifunctional systems for automated design of electronic devices. A brief overview of the main existing CAD systems for electronic components and electronic devices is provided.

It is shown that the main requirement for automated design of electronic devices is to create conventional graphic symbols (CGS) of electronic components (ERE). It is noted that certain work has been completed in this direction and the existing CAD systems for electronic devices are provided with sufficiently rich CGS libraries. A knowledge base of CGS libraries has been created using the proposed automated design tool (IDT) operating in the environment of multifunctional CAD systems for electronic devices. Using a specific electronic interface as an example, the stages of designing a basic electrical circuit and placing its IAP, functioning in the P-CAD and Specctra CAD environments, are proposed.

Key words: Electronic devices, mechatronics, flexible manufacturing system, CAD ERE, R-CAD, ERE, UGO, IAP, RSV.

Язык статьи / Language: Русский / Russian.

Поддержка/Support: Государственное задание для высших учебных заведений № FEUE-2023-0007.

Об авторах / About the authors:

АХМЕДОВА Светлана Магеррам
Сумгаитский государственный университет, Азербайджан.
Доцент кафедры информационных технологий.
E-mail: axmedova60@mail.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3454-3404

ЗЕЙНАЛОВА Солмаз Магеррам
Сумгаитский государственный университет, Азербайджан.
Преподаватель кафедры информационных технологий.
E-mail: solmaz.zeynalova.2017@mail.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4284-9454

ЮСИФОВА Нигяр Илхам
Сумгаитский государственный университет, Азербайджан.
Лаборант кафедры информационных технологий.
E-mail: yusifova.nigar@sdu.edu.az
ORCID: https://orcid.org/0009-0006-1197-8727

AKHMEDOVA Svetlana Magerram
Sumgait State University, Azerbaijan.
Assoc. Prof. of the Department of Information Technology.
E-mail: axmedova60@mail.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3454-3404

ZEYNALOVA Solmaz Magerram
Sumgait State University, Azerbaijan.
Lecturer at the Department of Information Technology.
E-mail: solmaz.zeynalova.2017@mail.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4284-9454

YUSIFOVA Nigar Ilham
Sumgait State University, Azerbaijan.
Lab assistant at the Department of Information Technology.
E-mail: yusifova.nigar@sdu.edu.az
ORCID: ORCID: https://orcid.org/0009-0006-1197-8727