

УДК62-523.8

Мельников Михаил Алексеевич¹, студент,

e-mail: mikh.melnickow1999@yandex.ru

Бычков Владислав Ярославич¹, аспирант каф. Радиоэлектроники,

e-mail: dragruz@yandex.ru

Базылев Александр Владимирович¹, аспирант каф. Радиоэлектроники,

e-mail: alexanderbazylev.dev@gmail.com

¹Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Россия.

СКВОЗНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ В РАМКАХ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА

Аннотация. В рамках материала рассматривается метод сквозного проектирования радиоэлектронных средств студентами, на примере разработки цифрового характеристографа, с использованием средств автоматизации.

Ключевые слова: вольт-амперные характеристики, полупроводниковые приборы, печатная плата, субтрактивный метод, фрезерная обработка, числовое-программное управление, печатный монтаж.

Для привлечения студентов к научной и научно-практической деятельности во ВГУВТе было создано студенческое научное общество, в рамках которого под руководством тьюторов будущие инженеры получают профессиональные компетенции [1]. Индивидуально и в составе творческих коллективов студенты осваивают все этапы инженерной деятельности - проведение экспериментальных исследований, разработку проектных решений, создание опытных образцов техники и методов их эксплуатации. Разработки студенческих коллективов находят применение в учебном процессе в виде лабораторных стендов, тренажерных комплексов, методик проведения экспериментов и пр. [2].

Одним из примеров научно-исследовательской работы студентов является разработка стенда для автоматизированного получения вольт-амперных характеристик (ВАХ) полупроводниковых приборов при различных условиях эксплуатации – характеристографа.

Немаловажное свойство разрабатываемого устройства – необходимость получения данных в цифровом виде – для получения математической модели ВАХ полупроводникового прибора, и последующего использования её в исследованиях.

Устройство должно обеспечивать получение ВАХ в широком диапазоне токов и напряжений, что позволяет исследовать работу приборов в нелинейном режиме (применяемым в модуляторах и демодуляторах, смесителях, преобразователях частоты) и квазилинейном режиме (например в усилительной технике).

Другим применением разрабатываемого устройства станет выполнение лабораторных работ по исследованию ВАХ полупроводниковых приборов и влиянию на них различных факторов: конструкции прибора и внешнего температурного воздействия.

Цель данной научно-исследовательской деятельности разработать устройство для автоматических измерений вольт-амперных характеристик двух и трехвыводных полупроводниковых приборов с выводом результатов измерений в цифровом виде и в широких пределах питающих напряжений (от милливольт до десятков вольт) и протекающих токов (от микроампер до единиц ампер).

Структурная схема устройства приведена на рисунке 1.

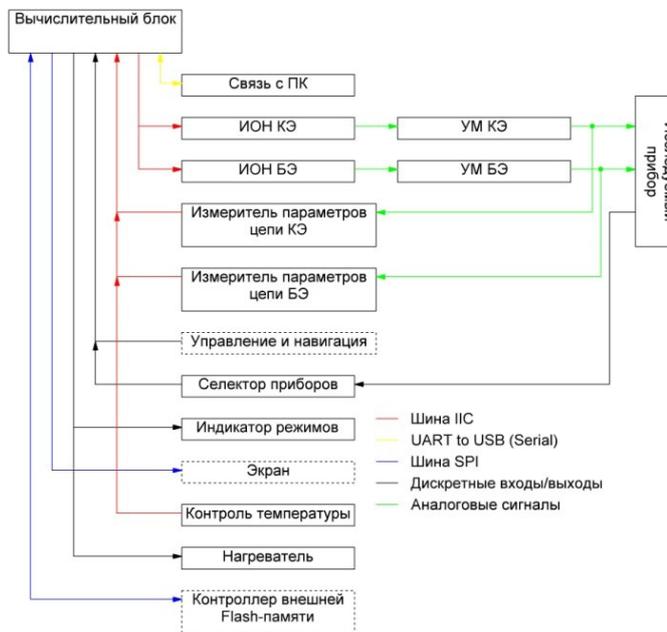


Рисунок 1 – Структурная схема характериографа

Следующим этапом разработки является выбор схемотехнических решений узлов и подбор аппаратных средств их реализации.

В процессе разработки была выбрана концепция аппаратно-программного комплекса, состоящего из аппаратной части (измерительный блок), подключаемой к персональному компьютеру, и программной части: программы управления (позволяющей осуществлять управление аппаратным модулем и получение результатов измерений для последующей их обработки).

В качестве ядра измерительного блока выбрана платформа ArduinoNano v.3, позволяющая осуществлять связь со всеми периферийными модулями, а так же ПК (рисунок 2). К преимуществам платформы можно отнести: низкую стоимость, ремонтпригодность (путем замены– аппаратная реализация платформы устанавливается в устройство через разъемное соединение), простота разработки управляющей программы (УП) (используя библиотеки для работы с периферийными устройствами) и загрузки УП в контроллер (встроенный загрузчик).

Arduino NANO 3.2

mit ATMEL (MICROCHIP) CPU ATMEGA 328P

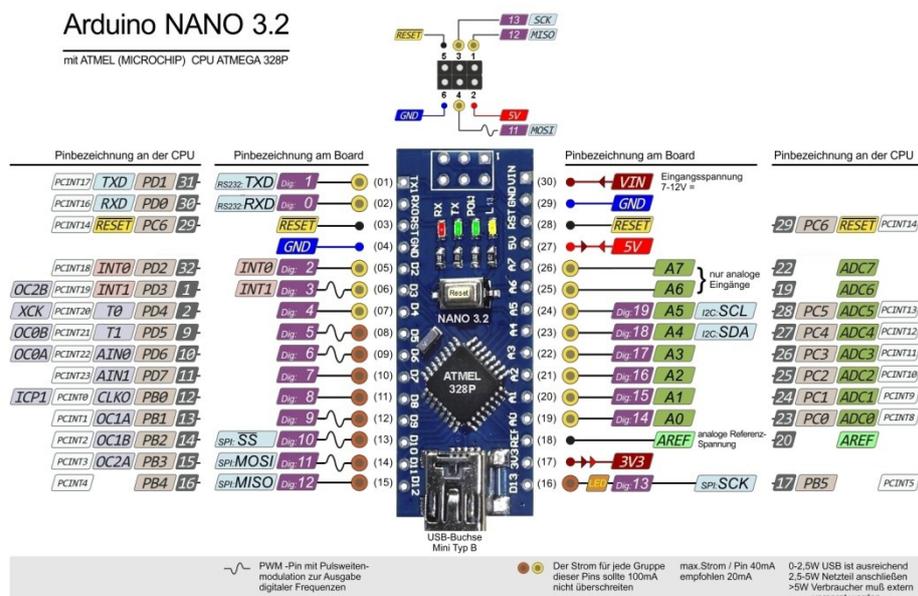


Рисунок 2—Регламентированные возможности периферийного подключения контроллера

Для получения ВАХ полупроводникового прибора (ПП) необходим программно управляемый источник напряжения и цифровой измерительный узел, позволяющий получить значения приложенного к исследуемому прибору напряжения и протекающего через прибор тока.

В качестве программно управляемого источника напряжения выбран 12-ти разрядный цифроаналоговый преобразователь (ЦАП) на базе микросхемы MCP4725. В виду недостаточного выходного тока ЦАП (20 мА), для работы устройства необходим усилитель мощности, который будет повторять уровень напряжения, задаваемый ЦАП, и при этом позволит подавать на исследуемый прибор больший ток. В качестве такого усилителя выбрана микросхема TDA2050, представляющая собой операционный усилитель с умощненным выходом, включенным по схеме неинвертирующего усилителя. Выбранная микросхема усилителя позволяет подавать на исследуемый прибор напряжение величиной до 50 В, с током до 5 А (в условиях применения, ограничим величину подаваемого напряжения до 25 В (питающее 30 В), тока – до 2 А). Для измерения величины протекающего тока и приложенного напряжения разработаны два варианта: использование специализированной микросхемы INA218/INA228 – цифровой вольт-ампер-ваттметр (предельные величины: напряжения до 85В, ток – задается величиной сопротивления внешнего токоизмерительного сопротивления), либо использование схемы с токоизмерительным шунтирующим резистором и подключенного к нему вольт-амперметра на базе двухканального дифференциального аналого-цифрового преобразователя ADS1115 (рисунок 3).

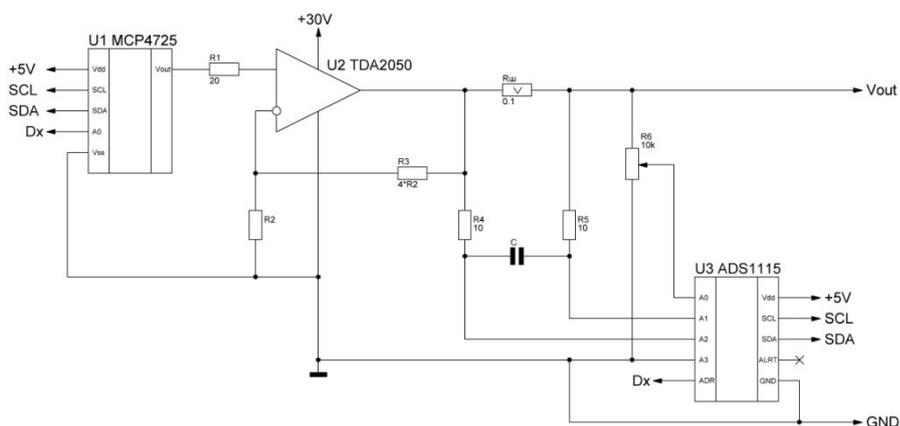


Рисунок 3—Принципиальная схема измерительного канала характериографа

При разработке характериографа большое внимание было уделено селекции исследуемых приборов, установленных на специальных платах-кондукторах, обеспечивающей защиту исследуемых приборов при неверном включении и индикацию неверного включения прибора.

Исследования влияния температуры на ВАХ ПП осуществляется присоединением, через специальный разъем внешней приставки, в состав которой входит нагревательный блок и цифровой термометр (например, на базе микросхемы LM75).

В качестве модулей расширений прибор может быть дооборудован: экраном, для отображения режима работы, прогресса и результатов измерения, настройки параметров измерения, и прочее; органами управления и меню навигации; контроллером flash-памяти, предназначенной для хранения результатов измерений, настроек параметров измерений и другой информации.

Исходя из выбранных схемотехнических и аппаратных решений разрабатывается электрическая принципиальная схема устройства (рисунок 4).

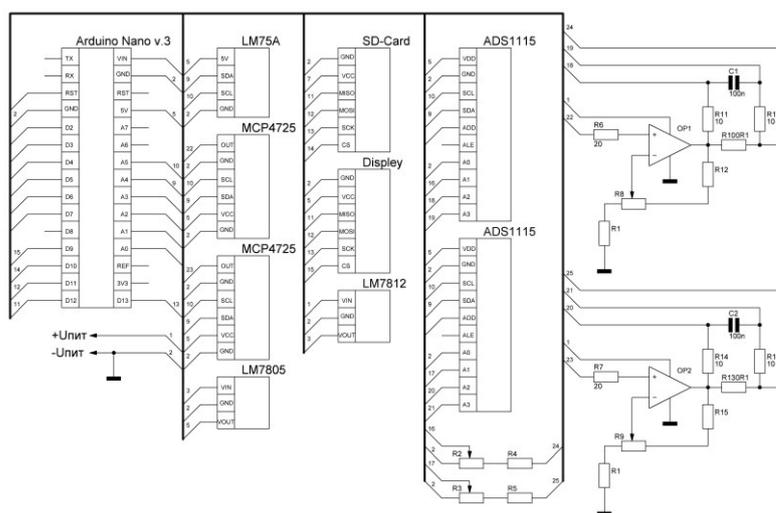


Рисунок 4—Принципиальная схема характериографа

В состав устройства входит большое количество компонентов. Для их надежного электрического соединения, обеспечения механической прочности, необходимым

становится применение печатного монтажа, обеспечивающего большую простоту монтажа, повторяемость, технологичность, снижение трудозатрат и меньший уровень возникающих взаимных помех, чем объемный монтаж.

Для последующих этапов разработки необходимо выбрать метод реализации печатного монтажа – тип печатной платы и метод её изготовления. Наиболее простым в изготовлении и подходящим для реализации опытных образцов типом печатной платы является односторонняя печатная плата, выполненная из композитного материала – фольгированного стеклотекстолита.

Наиболее распространенным, доступным методом изготовления печатной платы является субтрактивный метод (получение печатных проводников путем удаления с проводящего слоя заготовки материала), обеспечивающееся либо химическим травлением заготовки, либо механической обработкой заготовки (фрезерование).

Так как одним из этапов изготовления печатной платы, любым способом (травление или фрезеровка), является сверловка отверстий для установки выводных элементов, выполнение которой возможно с применением фрезерного станка с числовым программным управлением, логичным является, в рамках учебного процесса, применение фрезерной обработки.

Первым этапом создания печатного узла РЭС является разработка печатной платы. Для этого используется программный пакет Sprint Layout и библиотека элементов, доступная в сети Интернет. Процесс разработки схемы проиллюстрирован на рисунке 5.

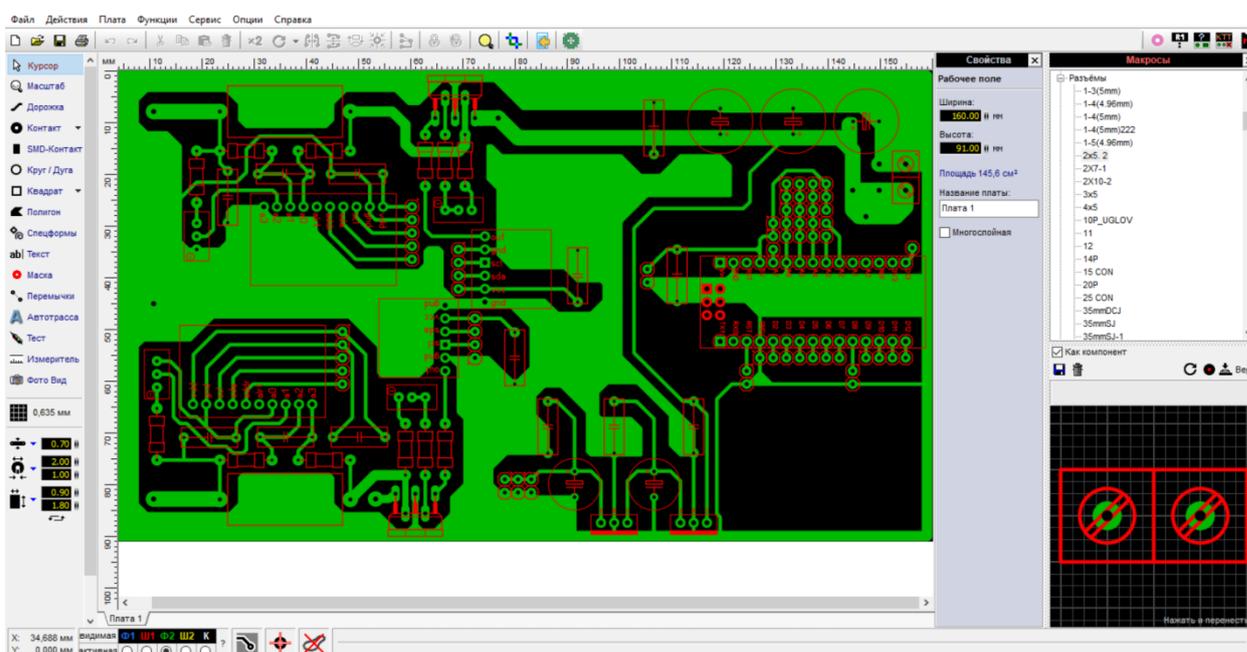


Рисунок 5–Разработка печатной платы в программном пакете Sprint Layout

Далее, разработанная печатная плата экспортируется в виде набора файлов (рисунок 6): управляющей программы фрезеровки печатных проводников, УП сверловки (сверловка может производиться: одним диаметром для всех отверстий, используя несколько диаметров, со сменой режущего инструмента, а так же путем фрезерования отверстий концевыми фрезами различного диаметра), УП контурной обрезки готовой печатной платы. При изготовлении двухсторонней печатной платы создается дополнительный файл, содержащий УП для сверловки направляющих отверстий.

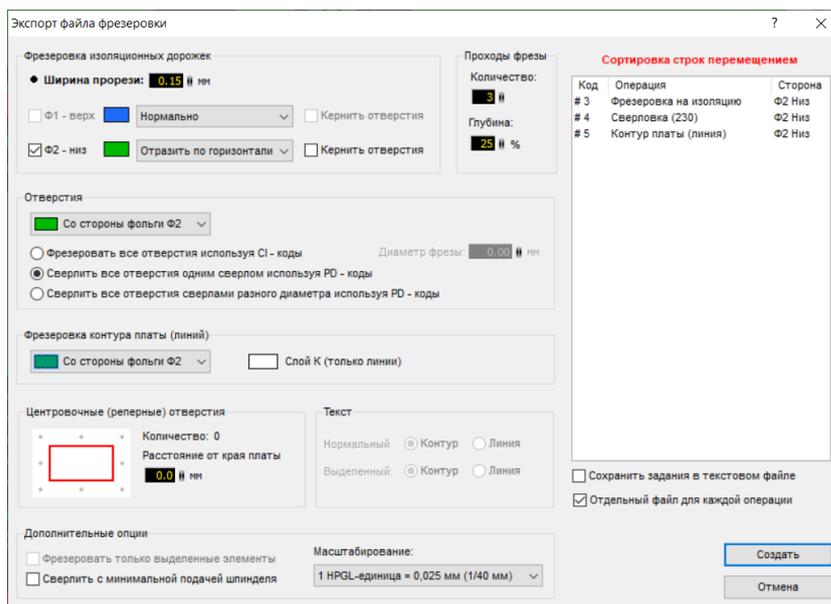


Рисунок 6–Окно параметров экспорта управляющих программ с внесенными параметрами

Полученные УП, при помощи программного пакета StepCAM, дополняющего их информацией о режиме резания: скорости, оборотах шпинделя, величине заглубления, уровне высоты рабочего перехода в пределах заготовки и безопасного перемещения над заготовкой, образуют УП для фрезерного станка с ЧПУ (рисунок 7).

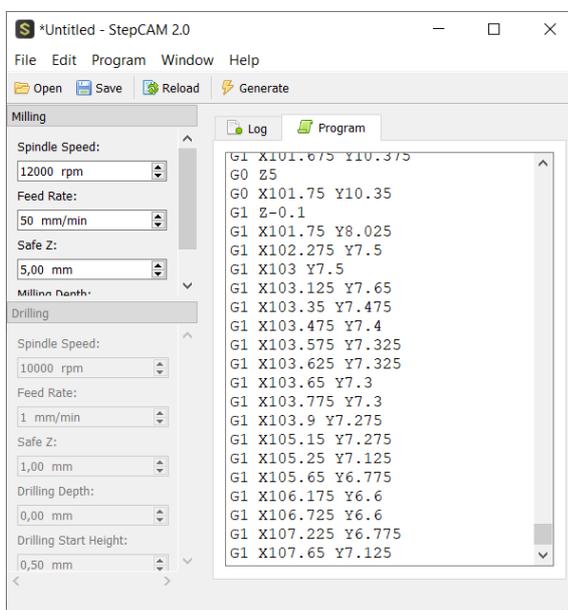


Рисунок 7–Рабочее окно программы StepCAM

Для резания используются одно- и многозаходные конические фрезы с диаметром вершины режущей части 0.1мм, что позволяет изготавливать печатные проводники шириной (экспериментально реализованной) до 0.3мм с расстоянием между проводниками ~0.15мм. В виду их низкой механической прочности, требуется компенсация отклонений, высоты заготовки, возникающих на этапах производства (на

заводе) и подготовки (при хранении, предварительной обработке, за счет неровностей «жертвенного» покрытия рабочей поверхности станка). Для этого используется процедура снятия карты высот и внесения в УП соответствующих корректировок, выполняемая в программном пакете G-CodeRipper, при помощи электронного пробного щупа оси Z (рисунок 8).

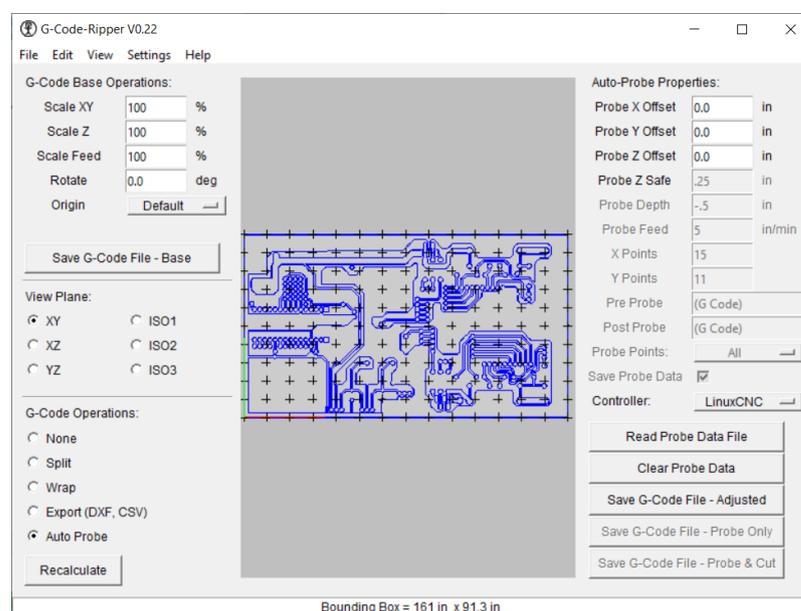


Рисунок 8 – Рабочее окно программы G-CodeRipper с импортированной УП фрезеровки и картой высот

На готовую печатную плату устанавливаются радиокомпоненты, образуя печатный узел. Печатный узел, установленный в корпус, образует готовое устройство.

Результатом работы стала разработка и реализация лабораторного программно-аппаратного комплекса, позволяющего получать математическую модель вольт-амперных характеристик реальных двух- и трехвыводных полупроводниковых приборов, представляемую в аналитическом или графическом представлении. Данная математическая модель будет использоваться при исследовании элементов канала связи и характеристик реальных полупроводниковых приборов при выполнении лабораторных работ в рамках учебного процесса.

Список литературы:

1. Плющаев В.И., Тренажерный комплекс «Система мониторинга речных судов на базе АИС» // Труды 18 Международного научно-промышленного форума «Великие реки-2016». Том 1. – Н. Новгород: Изд-во ФГБОУ ВО «ВГАВТ», вып. 5, 2016.
2. Плющаев В.И., Гордяскина Т.В., Перевезенцев С.В. Формирование научно-исследовательского потенциала студента в техническом ВУЗе // V международная научно-практическая конференция «Научный потенциал молодежных исследований», Петрозаводск, МЦНП «Новая наука», 11 ноября 2021 г., стр. 115-119
3. Мельников М.А., Гордяскина Т.В., Исследование нелинейных аналоговых радиотехнических цепей (амплитудных модуляторов) в программном пакете mathcad.//Великие реки 2020: Материалы международной научно-методической конференции. ФГБОУ ВО «ВГУВТ». – 2020. – URL: http://вф-река-море.рф/2020/PDF/9_9.pdf (дата обращения 19.04.2021).

4. Мельников М.А. Гордяскина Т.В., Конкретизация моделей блоков аппаратуры ГМССБ (нелинейных аналоговых цепей) в программном пакете MATHCAD //Транспорт: проблемы, цели, перспективы (Transport2021) материалы II научно-технической конференции с международным участием, 2021г.

END-TO-END DESIGN RADIOELECTRONIC FACILITIES AS PART OF THE EDUCATIONAL PROCESS

Mikhail A. Melnikov, Vladislav Ya. Buchkov, Aleksandr V. Bazulev

Abstract. The article discusses the method of end-to-end design of radio-electronic means, by students, on the example of the development of a digital characteriograph, using automation tools.

Keywords: nonlinear analog circuits, semiconductor devices, printed circuit board, subtractive method, milling processing, computer numerical control, printed wiring.