

УДК 621.472:629.78

**Р.В. Зайцев, канд. техн. наук, доцент**  
**М.В. Кириченко, канд. техн. наук, науч. сотр.**  
**Г.С. Хрипунов, докт. техн. наук, профессор**  
**О.В. Полежаева**  
**Д.С. Прокопенко**

Національний технічний університет «ХПІ», [zaitsev.poman@gmail.com](mailto:zaitsev.poman@gmail.com)

## **АППАРАТНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ КОМПЛЕКСА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ИЗМЕРЕНИЯ ВОЛЬТ-АМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ**

Основной и наиболее применяемой методикой аттестации полупроводниковых приборов остается измерение и аналитическая обработка темновых и световых вольт-амперных характеристик (ВАХ) позволяющие определить выходные, диодные параметры и КПД таких приборов. Поэтому автоматизация измерения ВАХ позволит проводить исследования с более высокой точностью и с меньшей погрешностью, характерной для проведения измерений в ручном режиме [1].

В работе предложен комплекс, который позволяет проводить автоматизированные измерения и аналитическую обработку ВАХ, выполнен в виде приставки к персональному компьютеру (ПК) и схемотехнически состоит из трех блоков: измерительного, управляющего и осветительного. Управляющий блок обеспечивает преобразование цифрового сигнала, поступающего от ПК и его дальнейшую подачу на исполнительные элементы для создания необходимых физических условий проведения эксперимента. В измерительном блоке на аппаратном уровне реализованы принципы измерения физических параметров исследуемого образца, например, тока и напряжения, и их последующее преобразование в цифровую форму для дальнейшей передачи на ПК [2]. Осветительный блок представляет собой отдельный светодиодный прибор для имитации различных энергетических и спектральных режимов освещенности образца [3]. Обмен цифровой информацией с установленной на ПК программой управления и обработки данных, производится по стандартному интерфейсу USB.

Управляющий блок выполнен на основе серийного микроконтроллера ATmega32, с прошивкой прозрачного программного обеспечения, аналогичного программам типа «framework», для обеспечения полного контроля над процессами со стороны программы управления и обработки данных на ПК. К микроконтроллеру последовательно подключены 10 разрядный цифро-аналоговый преобразователь Analog Devices AD7533 (аналог КР572ПА1), операционные усилители Texas Instruments LM358 (аналог 154УД3) и выходные ключи типа КТ816. Указанное схемотехническое решение позволяет на выходе блока задавать напряжение в диапазоне  $\pm 12\text{В}$  при токе до 1А с минимальным шагом около 5 мВ, что является достаточным для проведения исследований ВАХ широкого ассортимента полупроводниковых приборов различной конструкции, включая солнечные элементы большой площади.

Измерительный блок, для обеспечения требуемой точности измерений, выполнен на основе калиброванных мультиметров, промышленного производства типа Mastech MS8040. Данные приборы способны выполнять функции измерителей как напряжения так и тока имеют режим автоматического выбора диапазона измерений с погрешностью измерения постоянного напряжения  $\pm 0,05\%$  и постоянного тока  $\pm 0,15\%$ . Наличие цифрового выхода по интерфейсу RS232C обеспечивает их подключение к блоку управления для преобразование сигналов в цифровую форму и дальнейшей передачи на ПК по интерфейсу USB.

Осветительный блок является отдельным устройством, излучающий элемент которого состоит из пяти белых и десяти инфракрасных сверхъярких светодиодов суммарной мощностью 85 Вт. Энергетические и спектральные характеристики излучения осветителя изменяются в широком диапазоне, что обеспечивает их приближение к стандартным солнечным спектрам. Для отвода избыточного тепла, выделяющегося при работе светодиодов, последние смонтированы на радиаторах, а для дополнительного охлаждения используется обдув вентилятором, скорость вращения которого регулируется в автоматическом режиме при помощи широтно-импульсной модуляции в зависимости от температуры светодиодов. Связь между ключевыми узлами осветителя и внешними устройствами осуществляется посредством коммутационной платы и платы управления. Основным элементом платы коммутации являются драйвера типа Meanwell LDD-700L, обеспечивающие питание светодиодов стабилизированным током. Плата управления обеспечивает изменение мощности излучения светодиодов с помощью тактовых кнопок и индигирование текущих значений мощности на светодиодных индикаторах и символьном жидкокристаллическом индикаторе, установленных на панели управления. Автоматизированная работа осветителя реализована с применением микроконтроллера STM32F4, для которого разработано соответствующее программное обеспечение, с использованием языка программирования C# в среде Visual Studio 2012.

По предложенным конструктивным и схемотехническим решениям был изготовлен образец измерительного комплекса для автоматизированного измерения ВАХ полупроводниковых приборов и разработано необходимое программное обеспечение для управления процессом обработки и хранения полученных результатов. Общий вид комплекса и главного окна управляющей программы приведен на рисунке. Апробация комплекса путем измерения ВАХ реальных элементов электронной техники, таких как резисторы, диоды и солнечные элементы показала, что обеспечивается приближение погрешности измерения ВАХ к приборной и, по сравнению с неавтоматизированными измерениями, достигается существенно уменьшение разброса экспериментальных точек на экспериментальной ВАХ.



Рис. 1 – Общий вид комплекса и вид главного окна управляющей программы

### Список ссылок

1. Проць Я.І. Автоматизація неперервних технологічних процесів. / Я.І. Проць, О.А. Данилюк, Т.Б. Лобур. // Навчальний посібник для технічних спеціальностей вищих навчальних закладів – Тернопіль. – 2008. – 239 с.
2. Prokopenko D. Development and approbation the avtomatization complex current-voltage characteristics measurement / D. Prokopenko, R. Zaitsev, M. Kirichenko // XIV Kharkiv Young Scientists Conference on Radiophysics, Electronics, Photonics and Biophysics 14-17 October 2014, Abstracts. – Kharkiv: IRE NASU, 2014. – P. OPH-9.
3. Кіріченко М.В., Зайцев Р.В., Копач В.Р. и др. Патент на корисну модель №94622 «Світлодіодно-галогеновий освітлювач» // Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі 25.11.2014 року