

## Создание установки для измерения вольтамперных характеристик полупроводниковых элементов

Д. А. Коновалов, В. И. Нуждин, В. Ф. Валеев, А. Л. Степанов

Группа информационной безопасности, телекоммуникационных и сетевых технологий; отдел радиационных воздействий на материалы, лаборатория радиационной физики; Отдел когерентной и нелинейной оптики, группа нанооптики и наноплазмонки

Разработана и сконструирована компьютеризованная установка для измерения вольтамперных характеристик полупроводниковых материалов на базе промышленного программируемого источника питания APS-7612. Внесение оригинальных изменений в электронную структуру APS-7612, позволило реализовать в рамках поставленной задачи программное переключение полярности напряжения на его выходных клеммах и осуществить измерение токов, протекающих через образец, в расширенном диапазоне. Процесс измерения вольтамперных характеристик полупроводников при помощи компьютера полностью автоматизирован.

Одной из основных характеристик полупроводникового прибора является его вольтамперная характеристика (ВАХ). Поэтому предпочтительно, чтобы в комплексе экспериментального оборудования, используемого для исследования полупроводниковых материалов, присутствовали научные приборы, позволяющие, в частности, измерять ВАХ.

Для решения подобных задач была разработана и создана оригинальная установка на базе промышленного источника питания APS-7612, позволяющая измерять ВАХ различных полупроводниковых устройств. Используемый в установке программируемый источник питания APS-7612 имеет следующие привлекательные технические характеристики, которые могут быть использованы при ВАХ измерениях:

- Выходное напряжение: 0...60 В;
- Выходной ток: 0...2 А;
- Разрешение установки по напряжению: 10 мВ;
- Разрешение измерения по току: 1 мА;
- Компьютерный интерфейс USB, RS-232.



Рис. 1. Внешний вид модернизированного источника питания APS-7612.

Последовательный компьютерный интерфейс в APS-7612 является двунаправленным и используется как для управления прибором, так и для определения действительных значений напряжения и тока на клеммах источника питания. Поэтому данный источник питания можно условно отнести к классу приборов, называемых “источник-измеритель”. Именно эта конструктивная особенность позволяет модернизировать и использовать на практике APS-7612 для измерений ВАХ и обрабатывать полученные результаты с помощью компьютера.

В целом, прибор для получения ВАХ должен обеспечивать подачу напряжения на анализируемый образец, через сформированные контакты, в прямой и обратной полярности, а также измерение тока в зависимости от напряжения в широком диапазоне с требуемой точностью. Для этого в настоящей работе в источник питания APS-7612 оригинальным способом был встроен микроконтроллерный блок коммутаций на базе отладочной платы Iskra Mini (Arduino).

На рис. 1 показан внешний вид прибора, а на рис. 2 показана упрощённая схема модификации источника питания APS-7612. Переключение полярности напряжения на выходных клеммах прибора реализовано с помощью реле с двумя группами переключающих контактов. Расширение диапазона измерения тока реализовано с помощью

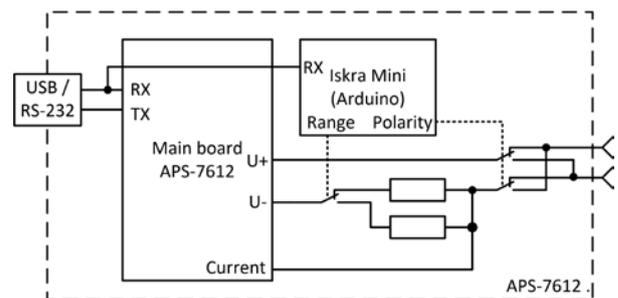


Рис. 2. Схема соединений основных электронных узлов, используемых при модификации источника питания APS-7612.

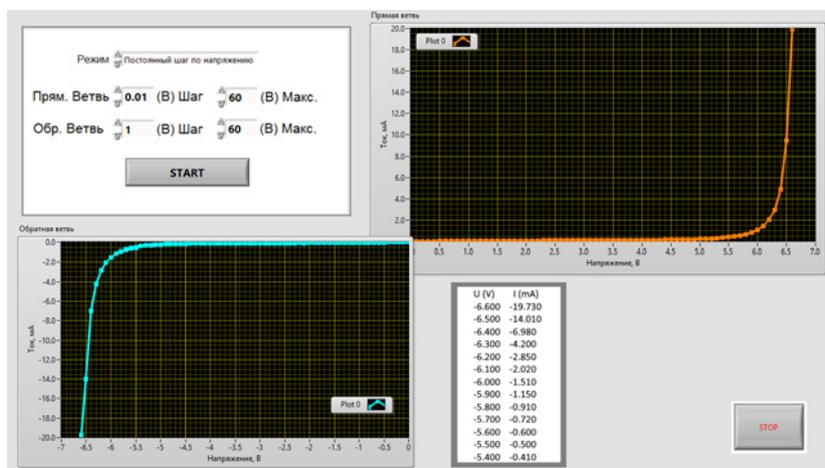


Рис. 3. Окно программы измерения ВАХ.

переключаемых измерительных шунтов, добавленных в схему источника питания при модификации. Управление реле переключения полярности и измерительных шунтов осуществляется микроконтроллером отладочной платы Iskra Mini, получающим специальные команды от компьютера по физическому последовательному интерфейсу источника питания APS-7612.

Характеристики прибора после модификации источника питания:

- Выходное напряжение: 0...±60 В
- Выходной ток: 0...±200 мА
- Разрешение по напряжению: 10 мВ
- Разрешение по току: 1 мкА, 10 мкА, 100 мкА
- Компьютерный интерфейс USB, RS-232

Для работы с прибором создана компьютерная программа, работающая под управлением операционной системы Windows. В ходе измерения ВАХ управляющая программа посылает ВАХ прибору команду на установку изменяемого параметра (напряжение или ток), производит

опрос значений напряжения и тока, а результат измерений заносит в таблицу в памяти компьютера. В ходе измерения в окне программы строится график ВАХ. По окончании измерения, полученные данные можно сохранить в виде файла и вывести на внешнее печатающее устройство. На рис. 3 представлено окно программы измерения ВАХ промышленного полупроводникового устройства – симметричного стабилизатора КС162А.

Микроконтроллер блока коммутаций работает под управлением программы, созданной в среде Arduino. Он анализирует символьные последовательности, поступающие по последовательному интерфейсу, и при обнаружении команды, адресованной блоку коммутаций, включает или выключает соответствующие реле. В таблице 1 для справки приведён список команд последовательного интерфейса установки, используемых в процессе измерения ВАХ. В первой части таблицы приведены команды, распознаваемые штатным блоком управления APS-7612, во второй части – команды, обрабатываемые микроконтроллером блока коммутаций.

Таким образом, разработанная и созданная установка может быть использована на практике в научных исследованиях совместно с автоматизированным комплексом для определения фотоэлектрических характеристик солнечных элементов [1] для получения темновых ВАХ, а также в составе лабораторного стенда при обучении студентов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 17-12-01176).

Таблица 1. Список команд модернизированного источника питания APS-7612, используемых в процессе измерений ВАХ.

Команда	Описание
Команды, обрабатываемы контроллером APS-7612	
VSET1:12.34	Set the maximum output voltage.
VOUT1?	Request the actual voltage output.
ISET1:1.234	Set the maximum output current.
IOUT1?	Request the actual output current.
OUT1	Enable the power output.
OUT0	Disable the power output.
Команды, обрабатываемы контроллером Iskra Mini	
VACP0	Установить нормальную полярность на выходе
VACP1	Установить обратную полярность на выходе
VACR1	Установить диапазон измерения тока – 200.0 мА
VACR2	Установить диапазон измерения тока – 20.00 мА
VACR3	Установить диапазон измерения тока – 2.000 мА

### Литература

1. Нудин В.И., Коновалов Д.А., Валеев В.Ф., Степанов А.Л.: Разработка и изготовление автоматизированного комплекса для определения фотоэлектрических характеристик солнечных элементов. Казанский физико-технический институт им. Е. К. Завойского 2017. Ежегодник. Казань: КФТИ КазНЦ РАН 2018. с. 105–107.