

**БЕСПАЛОВ Н. Н., ИЛЬИН М. В., КАПИТОНОВ С. С., СМОЛИН А. Н.**  
**ОБЗОР УСТРОЙСТВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЗНАЧЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ И**  
**ХАРАКТЕРИСТИК СИЛОВЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ В**  
**СОСТОЯНИИ НИЗКОЙ ПРОВОДИМОСТИ**

**Аннотация.** В данной статье рассмотрены существующие устройства для измерения значений параметров и характеристик силовых полупроводниковых приборов (СПП) в состоянии низкой проводимости. Показана актуальность создания современного многофункционального и универсального оборудования для диагностики СПП.

**Ключевые слова:** силовые полупроводниковые приборы, диод, тиристор, параметры, измерение, диагностика, проверка.

**BESPALOV N. N., ILYIN M. V., KAPITONOV S. S., SMOLIN A. N.**  
**A REVIEW OF DEVICES FOR PARAMETER MEASUREMENT OF POWER**  
**SEMICONDUCTORS IN A LOW CONDUCTIVITY**

**Abstract.** This article considers the current devices to measure power semiconductors in a low conductivity state. The authors demonstrate an acute need to design an up-to-date general-purpose device to test power semiconductors.

**Keywords:** power semiconductor devices, diode, thyristor, parameters, measurement, diagnostics, test.

При производстве силовых полупроводниковых приборов (СПП), преобразователей электрической энергии, а также эксплуатации устройств на основе СПП имеется задача определения значений параметров и характеристик приборов [1, 2]. На основе результатов измерения осуществляется отбраковка потенциально ненадежных СПП и их подбор для группового соединения [3; 4; 5].

Основными параметрами СПП в состоянии низкой проводимости (СНП) являются параметры его вольтамперной характеристики (ВАХ), такие как повторяющееся импульсное напряжение  $U_{D(R)RM}$  и повторяющийся импульсный ток  $I_{D(R)RM}$  [6; 7]. Представляет интерес рассмотрение существующих комплексов автоматизированной диагностической аппаратуры для измерения значений данных параметров и характеристик СПП в СНП.

В настоящее время рынок аппаратуры для диагностики СПП достаточно ограничен. Рассмотрим основные предприятия и выпускаемые ими устройства для определения значений параметров и характеристик приборов в СНП.

Научно-производственный комплекс «Крона» выпускает стенды для проверки СПП «Крона-902.01» и «Крона-902.02». Данные стенды используются для проверки тиристоров

(симметричных, асимметричных, лавинных, запираемых, быстродействующих), оптотиристоров, неуправляемых вентилях, а также силовых модулей (диодных и тиристорных) и других СПП в соответствии с ГОСТ 24461-80.

Стенды «Крона-902.01» и «Крона-902.02» позволяют измерять значения основных электрических параметров СПП при нормальной температуре, а «Крона-902.01» совместно со стендом «Крона-904» и в нагретом состоянии. На рисунке 1 представлен внешний вид комплекса «Крона-902.01».

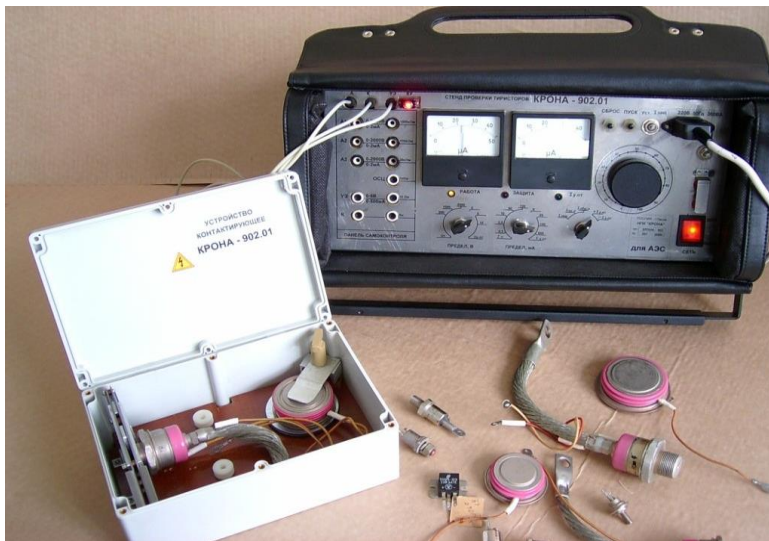


Рис. 1 Внешний вид «Крона–902.01».

Стенд позволяет определять класс прибора, обеспечивая подачу на проверяемый СПП повторяющееся прямое или обратное импульсное напряжение и постоянный ток управления. При этом осуществляется контроль повторяющегося импульсного тока в закрытом состоянии, обратного тока и постоянного напряжения управления [8].

Стенд «Крона-902.01» позволяет определять значения параметров СПП, рассчитанных на напряжения в СНП в диапазоне 0..2500 В, что соответствует 25-му классу проверяемого прибора. Также осуществляется контроль тока, протекающего через прибор, в пределах 0..125 мА.

Новая версия «Крона-902.02» имеет повышенный диапазон подаваемого напряжения: 0..4000 В, что позволяет определять параметры силовых полупроводниковых приборов вплоть до 40-го класса. При этом осуществляется контроль тока, протекающего через прибор, в пределах 0..75 мА.

Габариты устройств 480x240x340 мм, масса не превышает 18 кг. В стенде предусмотрена защита от перегрузки по току и напряжению.

Из недостатков приборов «Крона» следует отметить большие энергозатраты при тестировании СПП. Кроме того, стенд не имеет связи с персональным компьютером (ПК), что позволило бы обрабатывать информацию о параметрах СПП и решать некоторые вопросы диагностики программно.

Научно-производственное предприятие «Электронная техника – МГУ», организованное при Мордовском государственном университете им. Н. П. Огарёва, производит испытательное оборудование серии «АДИП» (рисунок 2).

Комплекс измерительной аппаратуры «АДИП» позволяет измерять значения основных параметров СПП (силовых тиристоров – СТ, симисторов – СС) и силовых диодов (СД) в закрытом (обратном) и в открытом (прямом) состояниях, динамических параметров при включении и параметров цепи управления СТ и СС, рассчитанных на токи до 5 кА и напряжения до 9 кВ.



Рис. 2 Внешний вид комплекса «АДИП»

Комплекс «АДИП» состоит из четырех установок. Все установки серии «АДИП» соответствуют требованиям ГОСТ 24461 – 80. Имеется цифровая индикация результатов измерения. Габариты устройств не превышают 750x600x600 мм, масса не превышает 35 кг.

«АДИП-1» предназначен для измерения значений повторяющихся импульсных токов в закрытом (обратном) состояниях  $I_{DRM}$  ( $I_{RRM}$ ) СПП в пределах от 10 мкА до 200 мА при заданном классе по напряжению в пределах от 300 В до 9000 В.

«АДИП-2» применяется для измерения импульсных напряжений в открытом (прямом) состоянии  $U_{TM(FM)}$  всех современных типов СПП. Устройство позволяет формировать через СПП испытательные однократные импульсы тока с амплитудой  $I_{TM(FM)}$  в пределах от 10 А до

15 кА и измерять  $U_{TM(FM)}$  в пределах от 0,5 В до 10 В.

«АДИП-3» служит для измерения времени задержки  $t_{gd}$  и времени включения  $t_{gt}$  всех известных типов СТ и СС в пределах от 0,5 мкс до 30 мкс.

«АДИП-4» необходим для измерения параметров цепи управления СТ и СС отпирающего тока  $I_{GT}$  в пределах от 10 мА до 1 А и отпирающего напряжения  $U_{GT}$  в пределах от 0,5 В до 10 В.

В установках используется защита испытуемого СПП от разрушения во время испытаний [9].

Основным недостатком оборудования серии «АДИП» является отсутствие возможности взаимодействия с ПК, что снижает функциональность и универсальность.

Фирма «LEMSYS» (Швейцария) является ведущим поставщиком контрольно-измерительного оборудования для СПП в мире. «LEMSYS» имеет сертификат ISO 9001 и поставляет оборудование в соответствии с IECSE стандартом.

«LEMSYS» производит переносной тестер «TR0620» (рисунок 3), предназначенный для контроля значений основных параметров СПП (биполярных транзисторов с изолированным затвором (БТИЗ), мощных полевых транзисторов (МПТ), диодов, тиристоров).

«TR0620» позволяет измерять значения следующих параметров: напряжение пробоя (диапазон измерения напряжения 50..2000 В), ток утечки (диапазон измерения тока 0..10 мА), прямое падение напряжения (диапазон измерения напряжения 0..10 В, диапазон тока 1..600 А) [10].



Рис. 3 Внешний вид ТРО620

Тестер содержит генератор тока, генератор высокого напряжения, цепи защиты, измерительные цепи, ЖК-дисплей на 5 языках.

Габариты устройства 198x357x178 мм, масса 5,5 кг.

Главным недостатком комплекса ТР0620 является то, что он не позволяет тестировать СПП, рассчитанные на высокие значения напряжения.

Фирма «Lorlin test system» (США) производит оборудование для испытания СПП «Lorlin XP-8500 Test System». Комплекс измерительной аппаратуры предназначен для тестирования слаботочных и силовых полупроводниковых компонентов, позволяет измерять значения их основных параметров, затем анализировать, классифицировать и отображать информацию на ПК.

«Lorlin XP-8500 Test System» позволяет измерять значения основных параметров СПП на токи до 200 А и напряжения до 2 кВ. Имеется программное обеспечение совместимое с ПК на базе операционной системы Windows XP.

Модели данного комплекса отличаются высокой точностью измерения [11].

К недостаткам данного комплекса измерительной аппаратуры можно отнести: малый диапазон напряжения, что не позволяет тестировать СПП высоких классов, а также высокая стоимость устройства.

Таким образом, недостатками существующих устройств для диагностики СПП в СНП являются:

1. Низкие значения испытательного напряжения, поскольку в настоящее время выпускаются приборы, рассчитанные на 10 кВ обратного напряжения;
2. Высокое энергопотребление, что свидетельствует о низкой энергоэффективности данного оборудования;
3. Слабо развитая и совсем отсутствующая возможность обработки и представления результатов диагностики с помощью ПК;
4. Ни один из существующих приборов не позволяет осуществлять на основе результатов измерения отбраковку потенциально ненадёжных приборов и их подбор для группового соединения;

Таким образом, разработка современного, многофункционального и универсального оборудования для диагностики СПП в СНП является актуальной задачей силовой электроники.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Беспалов Н. Н., Капитонов С. С. Выравнивание напряжений на последовательно распределенных силовых полупроводниковых приборах в состоянии низкой проводимости // Нелинейный мир. – 2011. – № 8. – С. 500–506.
2. Беспалов Н. Н., Ильин М. В., Капитонов С. С., Лебедев С. В. Определение минимальных величин емкостей снабберных цепей для ограничения

- коммутационных перенапряжений на силовых полупроводниковых приборах при их выключении // Естественные и технические науки. – 2011. – № 6. – С. 396–404.
3. Беспалов Н. Н., Ильин М. В., Капитонов С. С., Лебедев С. В. Разработка и исследование электротепловых моделей силовых полупроводниковых приборов основных типовых конструкций // Естественные и технические науки. – 2011. – № 6. – С. 405–412.
  4. Беспалов Н. Н., Ильин М. В., Капитонов С. С., Лебедев С. В. Моделирование процессов в силовых полупроводниковых приборах при их групповом последовательном включении в среде Multisim // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2012. – № 4. – С. 30–35.
  5. Беспалов Н. Н., Ильин М. В., Капитонов С. С. Испытательная аппаратура для определения электрических и тепловых параметров и характеристик силовых полупроводниковых приборов // Электроника и информационные технологии. – 2012. – № 1. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://fetmag.mrsu.ru/2012-1/pdf/Bespalov%20Ilin%20Kapitonov.pdf>.
  6. Беспалов Н. Н., Ильин М. В., Капитонов С. С., Капитонова А. В. Методика подбора силовых полупроводниковых приборов для групповых последовательных цепей устройств силовой электроники // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. – № 1. – С. 65–68.
  7. Беспалов Н. Н., Капитонов С. С., Катяев Ю. А. Моделирование характеристик силовых полупроводниковых приборов в состоянии высокой проводимости // Электроника и информационные технологии. – 2011. – №1. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://fetmag.mrsu.ru/2011-1/pdf/Characteristics\\_Power\\_Semiconductor\\_Devices.pdf](http://fetmag.mrsu.ru/2011-1/pdf/Characteristics_Power_Semiconductor_Devices.pdf) – 04201100067/0005.
  8. Стенд проверки тиристоров «Крона 902-01». – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://nprk-krona.ru/products/krona-902/>.
  9. Беспалов Н. Н., Мускатиныйев А. В., Ильин М. В. Диагностика и контроль параметров силовых полупроводниковых приборов // Электроника и информационные технологии. – 2007. – № 1/2. – С. 35–39.
  10. TP0620. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.lemys.com/index.php/products/10-products/tp0620/27-tp0620>.
  11. Lorlin test systems. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.lorlin.com>.