

ИСПЫТАТЕЛЬНАЯ АППАРАТУРА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И ТЕПЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ И ХАРАКТЕРИСТИК СИЛОВЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ

Беспалов Николай Николаевич, Ильин Михаил Владимирович,
Капитонов Сергей Сергеевич

ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева»
Российская Федерация, г. Саранск,

E-mail: ka-mgu@mail.ru, imikev@mail.ru, kapss88@mail.ru, тел. +7(834-2) 24-37-05,
430005, г. Саранск, ул. Богдана Хмельницкого, д. 39, каб. 526

Аннотация. В статье проведён краткий обзор испытательной аппаратуры для определения значений тепловых параметров и характеристик силовых полупроводниковых приборов. Представлен аппаратно-программный испытательно-измерительный комплекс для автоматической диагностики приборов по тепловым параметрам и параметрам вольтамперной характеристики в состоянии высокой проводимости, разработанный на кафедре автоматики Мордовского государственного университета им. Н. П. Огарёва.

Ключевые слова: силовые полупроводниковые приборы; состояние высокой проводимости; тепловые параметры; тепловое сопротивление, вольтамперная характеристика, диагностика, аппаратно-программный комплекс.

I. ВВЕДЕНИЕ

Силовые диоды и тиристоры, являющиеся одними из основных силовых коммутирующих приборов современных мощных преобразователей, из-за определенной нестабильности технологического процесса изготовления в рамках одного типа обладают различием в величинах своих параметров. Несовершенство методов диагностики состояния выпускаемых приборов в производстве преобразователей приводит к появлению силовых полупроводниковых приборов (СПП) со скрытыми дефектами. Эти приборы относятся к классу потенциально ненадёжных СПП. Обычно все их дефекты в полной мере проявляются на начальном этапе эксплуатации преобразователя. В связи с этим, становится актуальным создание на этапе изготовления преобразователя систем технической диагностики состояния СПП.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В ходе эксплуатации СПП в составе преобразователя в результате сложного электротеплового воздействия изменяют величины своих параметров и характеристик, что при определенных условиях может служить причиной отказа СПП и преобразователя в целом. В связи с этим для поддержания работоспособности преобразователя требуется периодическое диагностирование состояния СПП по определенному комплексу параметров и характеристик. Существует много различных устройств, позволяющих определять значения электрических параметров и характеристик СПП, но для уменьшения числа отказов приборов в преобразователях энергии нужно вести контроль и диагностику теплового режима СПП. В статье проведён аналитический обзор испытательной аппаратуры для определения значений тепловых параметров и характеристик силовых полупроводниковых приборов.

III. ТЕОРИЯ

В соответствии со стандартом [1] определение R_{thjc} производят двумя способами. В первом способе определены следующие этапы. В процессе испытания используется два токовых режима. Первый – режим нагрева ИП постоянным греющим током до состояния теплового равновесия, второй – режим измерения термочувствительного параметра, при протекании через ИП измерительного тока, не влияющего на тепловое равновесие. В качестве термочувствительного параметра рекомендуется использовать прямое напряжение u_F для

диодов или напряжение в открытом состоянии u_T для тиристоров и симметричных тиристоров. Температура T_j определяется по градуировочной характеристике прибора. Градуируется ИП в термостате при протекании измерительного тока, не влияющего на тепловое равновесие.

Процесс испытания начинается с разогрева ИП в первом токовом режиме. Нагрев должен быть таким, чтобы разница температур ПС T_j и корпуса ИП T_c обеспечивала достаточную точность измерений. После установления теплового равновесия измеряется величина греющего тока I_F (I_T), падение напряжения от протекания этого тока U_F (U_T) и температура корпуса T_c . Затем испытуемый прибор переводится во второй токовой режим, и измеряется величина $u_{F(T)}$ от протекания измерительного тока, и определяется T_j по градуировочной характеристике. Значение R_{thjc} определяется по формуле:

$$R_{thjc} = \frac{T_j - T_c}{I_F U_F}. \quad (1)$$

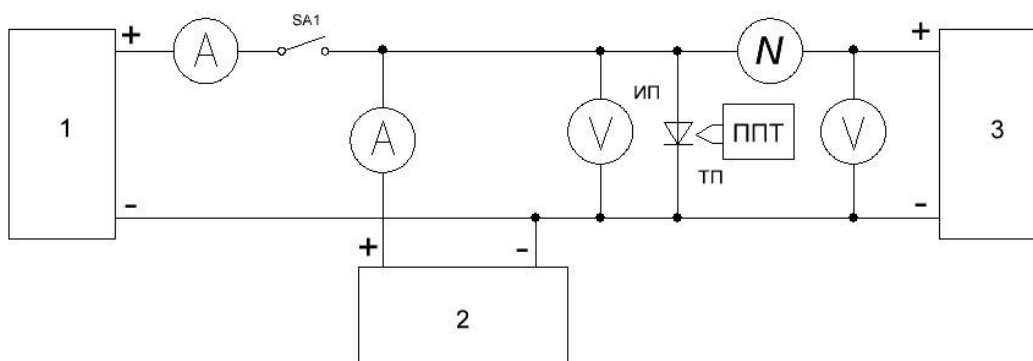
Основными недостатками данного метода является большие временные и энергетические затраты на процесс градуировки и испытания СПП. Данные обстоятельства определяют низкую производительность метода, поэтому этот метод практически не применим для определения R_{thjc} при подборе СПП для группового соединения.

Сокращение времени определения R_{thjc} достигается путём допущения того предположения, что зависимости $u_{F(T)}(T_j)$ одинаковы для партии однотипных приборов. Для этого осуществляется градуировка нескольких приборов, по которым определяется усреднённая характеристика, которая и применяется при определении R_{thjc} для всех приборов. Однако из-за технологических отклонений в процессе производства СПП реальные зависимости $u_{F(T)}(T_j)$ каждого прибора отличаются друг от друга, поэтому по данному методу, с учётом введённого допущения, R_{thjc} определяется с существенной погрешностью.

Второй способ в [1] исключает непосредственное определение T_j . Для этого первый способ дополняется ещё одним режимом нагрева, при котором через ИП протекает ток, вдвое меньший, чем в первом режиме нагрева, но при этом осуществляется дополнительный нагрев ИП в термостате. Нагрев продолжается до тех пор, пока напряжение на ИП не будет равно напряжению в установившемся тепловом режиме при нагреве на первой стадии. На основе данных о полученных величинах протекающего тока и напряжения на ИП в двух режимах нагрева определяется величина R_{thjc} .

Недостатками данного способа также являются большие временные и энергетические затраты и использование дополнительного внешнего нагревательного устройства. Дополнительно увеличение времени испытания происходит за счёт введения второй стадии испытания. При этом испытание прибора происходит совместно с его охладителем, что определяет большое значение тепловой постоянной времени всей системы, и, следовательно, для прогрева всей системы, изменение температуры в термостате необходимо осуществлять с очень малой скоростью.

Структуры, реализующие данные методы определения R_{thjc} , представлены на рис. 1.



a)

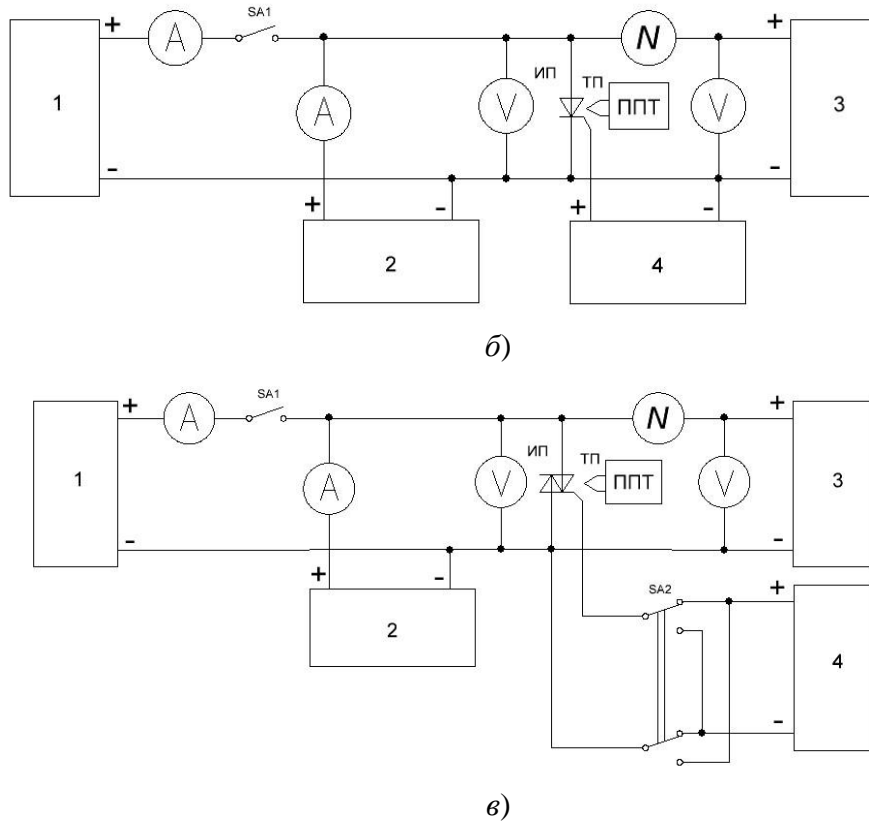


Рис. 1. Структуры устройств для определения R_{thjc} : а) диодов; б) тиристоров; в) симметричных тиристоров.

Представленные структуры содержат следующие источники:

- 1 – источник греющего постоянного тока;
- 2 – источник измерительного тока;
- 3 – источник напряжения, компенсирующий падение напряжения на ИП;
- 4 – источник управляющих импульсов.

На основе стандарта [1] разработана установка для измерения установившихся и переходных тепловых сопротивлений [2]. На рис. 2 представлена структурная схема разработанной установки.

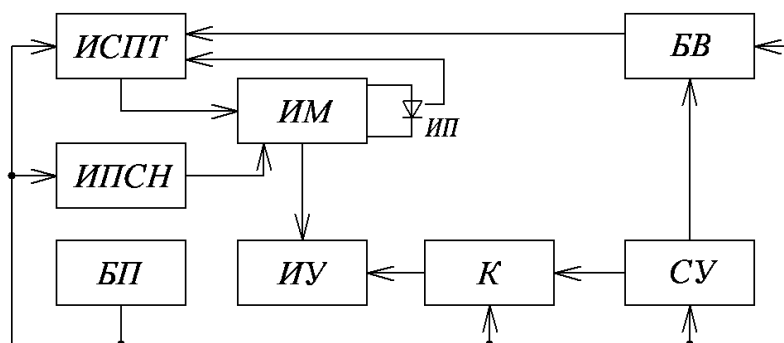


Рис. 2 Структурная схема установка для измерения установившихся и переходных тепловых сопротивлений.

На структурной схеме (рис. 2): БВ – блок выключения; БП – блок питания; ИМ – измерительный мост; ИП – испытуемый прибор; ИМСН – источник постоянного стабилизированного напряжения; ИСПТ – источник силового постоянного тока; ИУ – измерительное устройство; К – коммутатор; СУ – схема управления.

Принцип работы данной установки заключается в следующем. Главным элементом схемы является *ИМ*, в одно из плеч которого включен *ИП*. *ИПСН* предназначен для питания *ИМ*. *ИСПТ* нагревает *ИП* силовым током. Для измерения разбаланса, вызванного нагревом *ИП*, служит *ИУ*. *К* позволяет подключать *ИУ* к *ИМ* в нужные моменты времени. *СУ* используется для согласования момента подключения *ИУ* к *ИМ* с моментом выключения силового тока. *БВ* осуществляет прекращение силового тока через *ИП*.

Данное устройство осуществляет определение R_{thjc} , но не способно осуществлять диагностирование СПП.

Американская компания LORLIN Test Systems [3] представляет ряд устройств, предназначенных для определения электрических и тепловых параметров СПП. Для определения R_{thjc} компания Lorlin Test Systems предлагает устройство Delta VBE. Внешний вид устройства представлен на рис. 3.



Рис. 3. Внешний вид устройства для определения R_{thjc} компании Lorlin Test Systems.

Определение величины R_{thjc} осуществляется в неустановившемся тепловом состоянии СПП и охладителя, что позволяет сократить время испытания. Для всех испытуемых диодов любых типов принимается допущение, что температурный коэффициент напряжения (ТКН) постоянен для всех приборов и равен $-2 \text{ мВ}/^\circ\text{С}$. Однако по результатам исследований, приведенным, например, в работах [4, 5], видно, что величина ТКН существенно зависит от величины измерительного тока, который пропускается через прибор при испытании, а также, при прочих равных условиях испытания, варьируется от прибора к прибору одного типа в широких пределах. В связи с этим можно утверждать, что применение такого метода без определения величины ТКН приводит к существенной погрешности определения величины R_{thjc} . При испытании тиристоров ТКН предлагается определять другим дополнительным оборудованием, что также говорит о несовершенстве и неэффективности метода.

Определение мощности потерь осуществляется при постоянном токе до 200 А со стабильностью $\pm 1\%$. При этом не учитывается, что в процессе нагрева испытуемого прибора происходит снижение падения напряжения на нём в состоянии высокой проводимости, и, следовательно, снижается величина греющей мощности, что приводит к дополнительной ошибке определения R_{thjc} . Прибор осуществляет определение только R_{thjc} , но не предназначен для автоматического диагностирования СПП.

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

На кафедре автоматики Мордовского государственного университета им. Н. П. Огарёва разработан и изготовлен аппаратно-программный испытательно-измерительный комплекс для автоматической диагностики и контроля СПП в состоянии высокой

проводимости, внешний вид которого представлен на рис. 4.

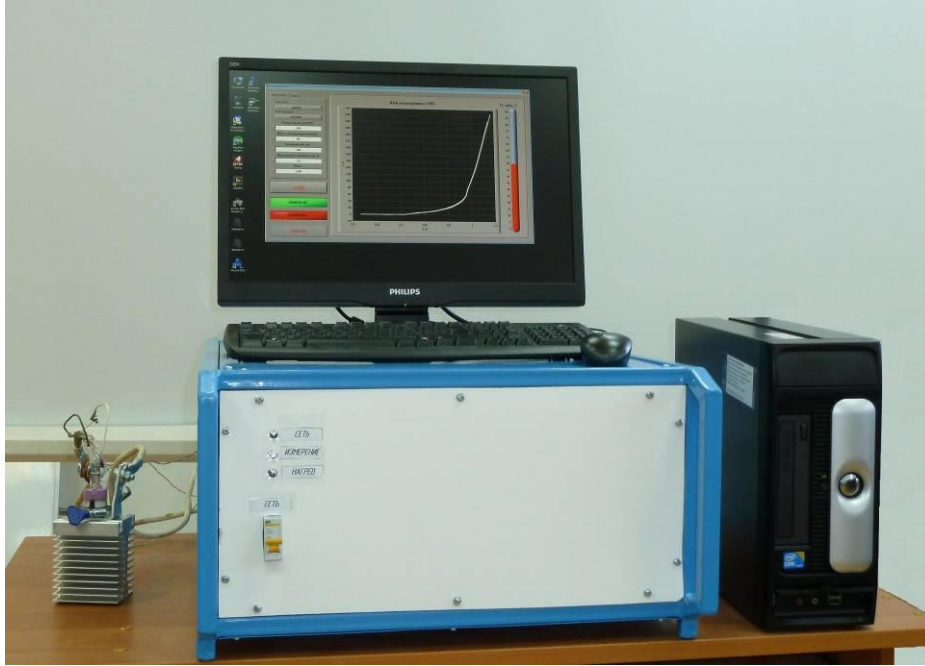


Рис. 4. Внешний вид аппаратно-программного комплекса.

Работа комплекса основана на разработанном нами способе определения тепловых параметров и характеристик, описанном в [6, 7].

Разработанный комплекс позволяет определять значения следующих основных паспортных параметров СПП:

- тепловое сопротивление переход-корпус в установившемся тепловом режиме R_{thjc} ;
- предельный средний ток $I_{F(T)(AV)}$ до 1250 А;
- неповторяющийся ударный ток $I_{F(T)SM}$ длительностью 10 мс;
- пороговое напряжение $U_{(TO)}$, при T_j от -40°C до $+190^{\circ}\text{C}$;
- дифференциальное сопротивление r_T , при T_j от -40°C до $+190^{\circ}\text{C}$;
- импульсное напряжение $U_{F(T)M}$.

На рис. 5 представлена структурная схема разработанного аппаратно-программного испытательно-измерительного комплекса для диагностики и контроля СПП в состоянии высокой проводимости.

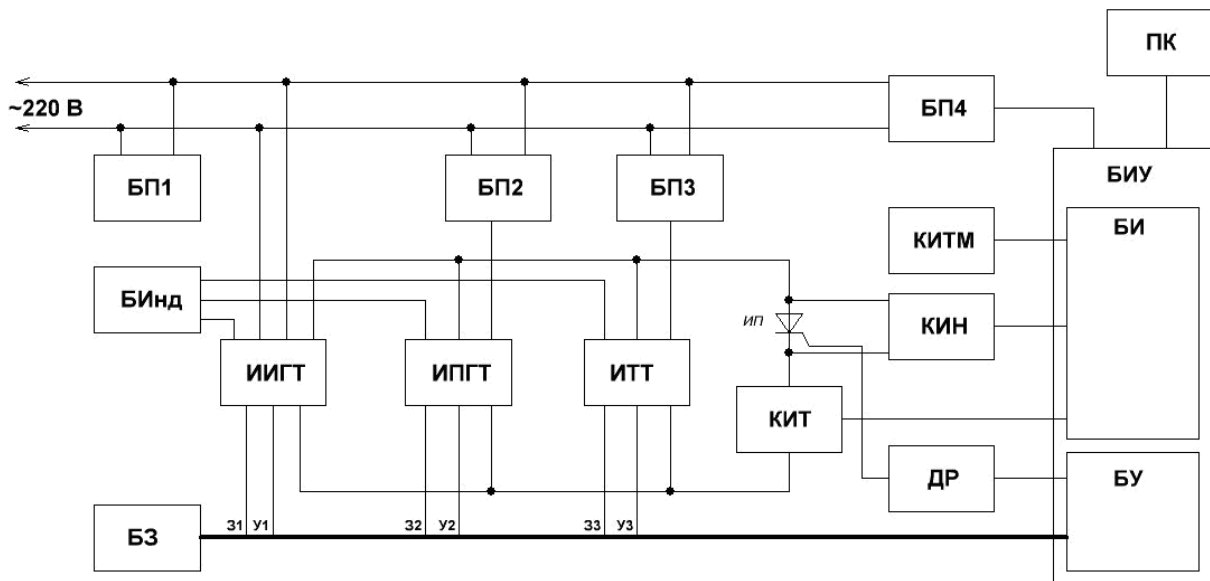


Рис. 5. Структурная схема аппаратно-программного комплекса.

На структуре рис. 5 представлены следующие блоки:

- 1) БП1 – БП4 – блоки питания;
- 2) БИнд – блок индикации;
- 3) БЗ – блок защиты;
- 4) ИИГТ – источник импульсного греющего тока;
- 5) ИПГТ – источник постоянного греющего тока;
- 6) ИТТ – источник тестового тока;
- 7) КИТ – канал измерения тока;
- 8) КИТМ – канал измерения температуры;
- 9) КИН – канал измерения напряжения;
- 10) ДР – драйвер управления тиристором;
- 11) ПК – персональный компьютер;
- 12) БИУ – блок измерения и управления;
- 13) БИ – блок измерения;
- 14) БУ – блок управления.

Блоки питания БП1 – БП5 имеют следующие назначение. Блок БП1 является маломощным источником питания и предназначен для обеспечения стандартного напряжения +5, +15 и –15 В всех блоков, которым требуется то или иное питание. Связи БП1 с остальными блоками на рис. 5 не показаны. Блоки питания БП2 и БП3 являются источниками напряжения для ИПГТ и ИТТ, соответственно. Данные блоки питания должны быть выполнены как независимые друг от друга с целью повышения помехозащищённости схемы. Особенно это важно для контура протекания тестового тока. Развязка мощного источника питания БП2 и относительно маломощного БП3 позволяет снизить влияние контура протекания постоянного греющего тока на контур тестового тока.

Блок питания БП4 является также маломощным источником питания и предназначен для питания БИУ, который выполнен на основе модуля NI cDAQ (компания National Instruments), и фактически является источником питания, поставляемым вместе с шасси.

Блоки БИнд и БЗ имеют связи со всеми источниками тока. Блок БИнд индицирует текущее состояние источников тока. Данный блок показывает, какие блоки включены или выключены в текущий момент времени. Блок БЗ контролирует работоспособность источников тока и отключает их в случае возникновения аварийной ситуации. Сигнальные связи БЗ и источников тока обозначены как З1 – З3. Эти же связи подключены к БУ, который передаёт информацию о состоянии источников тока в ПК.

Блок БИУ имеет связи с измерительными каналами КИТ, КИТМ и КИН, по которым поступают сигналы об информационных параметрах процесса испытания, к которым относятся ток, протекающий через ИП, температура корпуса и напряжение ИП в состоянии высокой проводимости. Также блок БИУ имеет связи со всеми источниками тока, которые обозначены на структуре как У1 – У3. По данным связям передаются сигналы о величине требуемого тока для того или иного источника тока.

В случае испытания тиристора или симметричного тиристора предусмотрен блок ДР, который является драйвером управления тиристорами и предназначен для включения тиристора в начале процесса испытания. Блок ДР имеет связь с БУ, от которого и получает сигнал на открытие тиристора.

Персональный компьютер ПК имеет непосредственную связь с БИУ по USB интерфейсу и полностью управляет процессом испытания в соответствии с настройками в управляющем программном обеспечении. В ПК также осуществляется обработка измерительной информации. Информация об измеренных и определённых параметрах и характеристиках сохраняются в памяти и выводятся на экран монитора ПК. Программное обеспечение разработано в среде LabView.

V. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

На основании проведенного краткого обзора существующих основных систем для испытания и диагностики СПП возможно отметить, что в мировой практике существует множество систем испытаний и тестирования СПП различных типов, однако, с нашей точки зрения, все эти системы являются во многом автоматизированными испытательно-измерительными устройствами различной степени сложности, обладающими различными функциональными и техническими возможностями, но не являются системами полностью автоматического диагностирования состояния СПП. При диагностической работе на данных установках основные решения о состоянии СПП обычно принимается человеком по не всегда обоснованным критериям.

VI. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанный на кафедре автоматики Мордовского государственного университета им. Н. П. Огарёва аппаратно-программный испытательно-измерительный комплекс для диагностики и контроля СПП в состоянии высокой проводимости является системой полностью автоматического определения состояния СПП. Данный аппаратно-программный комплекс позволяет определять значения основных паспортных параметров СПП в автоматическом режиме без непосредственного участия человека, а также определять по заданным критериям потенциально ненадёжные приборы.

Список литературы

1. ГОСТ 24461–80 (СТ. СЭВ 1656–79). Приборы полупроводниковые силовые. Методы измерений и испытаний. – М. : Издательство стандартов, 1981. – 56 с.
2. Чебовский О. Г. Испытания силовых полупроводниковых приборов / О. Г. Чебовский, Л. Г. Моисеев. – М. : Энергоиздат, 1981. – 200 с.
3. <http://www.lorlin.com>.
4. Рабинерсон А. А. Режимы нагрузки силовых полупроводниковых приборов / А. А. Рабинерсон, Г. А. Ашкинази – М. : Энергия, 1976. – 296 с.
5. Беспалов, Н. Н. Исследование термочувствительного параметра полупроводниковых диодов / Н. Н. Беспалов, М. В. Ильин // Технические и естественные науки: проблемы, теория, эксперимент (Межвузовский сборник научных трудов). – Саранск, 2005. – Вып. V.– С. 29 – 30.
6. Беспалов, Н. Н. Метод определения тепловых характеристик силовых полупроводниковых приборов // Н. Н. Беспалов, Ю. М. Голембиовский, М. В. Ильин // Вестник СГТУ, 2007. – № 2 (24) Выпуск 1. – С. 88 – 94.
7. ПАТЕНТ 2300115 РФ, МПК7 G 01 R 31/26. Способ определения теплового сопротивления переход-корпус силовых полупроводниковых приборов в корпусном исполнении / Н. Н. Беспалов (RU), М. В. Ильин (RU). – № 200610336; заявлено 02.02.2006; опубл. 27.05.2007, Бюл. № 15. – 642 с. Метод определения тепловых характеристик силовых полупроводниковых приборов.

TEST EQUIPMENT FOR DETERMINING OF ELECTRICAL AND THERMAL PARAMETERS AND PERFORMANCE OF POWER SEMICONDUCTOR DEVICES

Bespalov Nikolay Nikolaevich, Ilyin Mickhail Vladimirovich, Kapitonov Sergey Sergeevich
Mordovian N. P. Ogarev state university,
Russian Federation, Saransk city

E-mail: ka-mgu@mail.ru, imikev@mail.ru, kapss88@mail.ru, tel.: +7(834-2) 24-37-05,
39, Bohdan Khmelnytsky street, room 526, 433005, Saransk, Mordovia, Russia

Annotation. The article provides an overview of test apparatus for determining the values of thermal parameters and characteristics of power semiconductor devices. Submitted by hardware and software test and measurement system for automatic diagnosis devices for thermal parameters and the parameters of current-voltage characteristics in high conductivity state, this system is developed at the Department of Automation of Mordovian N. P. Ogarev State University.

Key words: power semiconductor devices; high conductivity state; thermal parameters; thermal resistance; current-voltage characteristic; diagnosis; hardware and software system.



Беспалов Николай Николаевич
Россия, РМ, г. Саранск
Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва
E-mail: ka-mgu@mail.ru
Тел. +7(834-2) 24-37-05

Окончил радиотехнический факультет Новосибирского электротехнического института (1974). Кандидат технических наук (2000). Заведующий кафедрой автоматики (с 2003 г. по настоящее время).

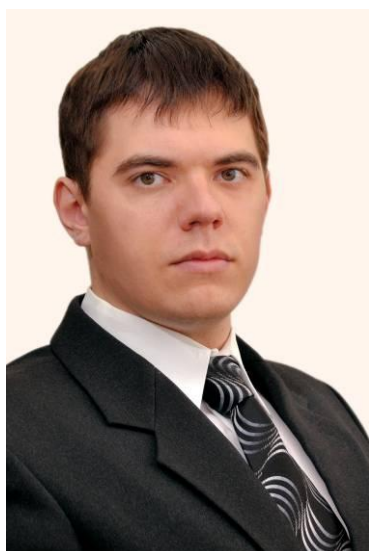
Область научных интересов: разработка методов и аппаратуры для испытания силовых полупроводниковых приборов и определения их параметров и характеристик; разработка методов и аппаратуры для ионизации воздушной среды.



Михаил Владимирович Ильин
Россия, РМ, г. Саранск
Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва
E-mail: imikev@mail.ru.
Тел. +7(834-2) 24-37-05

Окончил факультет электронной техники Мордовского государственного университета имени Н. П. Огарёва (2004). Кандидат технических наук (2008). Доцент кафедры автоматики факультета электронной техники Мордовского государственного университета имени Н. П. Огарёва.

Область научных интересов: разработка методов и аппаратуры для испытания силовых полупроводниковых приборов и определения их параметров и характеристик.



Капитонов Сергей Сергеевич
Россия, РМ, г. Саранск
Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва
E-mail: kapss88@mail.ru.
Тел. +7(834-2) 24-37-05

Окончил факультет электронной техники Мордовского государственного университета имени Н. П. Огарёва (2010). Аспирант кафедры автоматики факультета электронной техники Мордовского государственного университета имени Н. П. Огарёва.

Область научных интересов: разработка методов и аппаратуры для испытания силовых полупроводниковых приборов и определения их параметров и характеристик; разработка методов и аппаратуры для ионизации воздушной среды.