

# СНЯТИЕ ПРЯМОЙ И ОБРАТНОЙ ВОЛЬТАМПЕРНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИОДА ПРИ ПОМОЩИ ИСТОЧНИКА ИЗМЕРИТЕЛЯ KEITHLEY 2400

## MEASUREMENT OF DIODE FORWARD AND REVERSE VOLT-AMPERE CHARACTERISTIC USING KEITHLEY 2400 SOURCEMETER

**П**олупроводники уже давно получили широкое применение в самых различных областях. Практически не один электронный аппарат не обходится без использования полупроводниковых электронных компонентов, будь то диоды, тиристоры, транзисторы и т.п. Поэтому, естественно, что одной из наиболее востребованных измерительных задач является их автоматическое тестирование и измерение характеристик.

Относительно недорогим решением данной измерительной задачи может стать использование источников-измерителей Keithley серий 2400 и 2600A/B в сочетании с графической средой LabTracer. Благодаря графическому интерфейсу LabTracer управление прибором осуществляется с персонального компьютера, а задание параметров тестирования, измерение характеристик компонентов и графическое отображение вольт-амперных характеристик производится без программирования. Подобный подход значительно упрощает возможность тестирования для пользователей и инженеров не владеющих или слабо владеющих техникой программирования.

В качестве измерительной задачи



Рис. 1



Рис. 2

предлагается построение вольт-амперной характеристики (прямой и обратной ветви) диода 1N4148 при помощи источника-измерителя Keithley серии 2400 (рис. 1).

Нам потребуется:

- Источник измеритель Keithley 2400;
- Кабель-переходник USB-GPIB Keithley KUSB-488A;
- Измерительный кабель SC-005;
- Персональный компьютер;
- Программное обеспечение LabTracer 2.0;
- Испытуемый диод 1N4148.

### СНЯТИЕ ПРЯМОЙ ВАХ ДИОДА

Для начала создадим тестовый стенд, установим необходимые режимы измерения, а также рассмотрим различные способы представления результатов измерения, посмотрим, как их можно задокументировать и остановимся на некоторых других аспектах связанных с LabTracer.

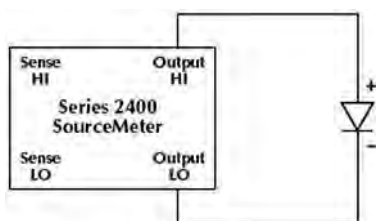


Рис. 3

Проверим подключение кабеля-переходника USB-GPIB Keithley KUSB-488A к разъему IEEE-488A, расположенному на задней панели источника-измерителя Keithley 2400. USB разъем кабеля-переходника должен быть подсоединен к USB порту персонального компьютера.

Проверим подключение измерительного кабеля SC-005 к разъемам на передней панели источника-измерителя Keithley 2400. Красный провод измерительного кабеля подсоединяется к красному гнезду HI INPUT/OUTPUT Keithley 2400. Черный провод — к черному гнезду LO INPUT/OUTPUT Keithley 2400.

Подсоединим тестируемый диод по 2-х проводной измерительной схеме. Зажим «крокодил» черного цвета подключим к минусу тестируемого диода (обозначен серым кольцом на диоде), зажим «крокодил» красного цвета — на



Рис. 4

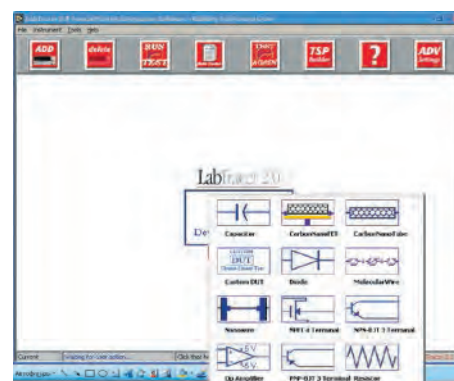


Рис. 5

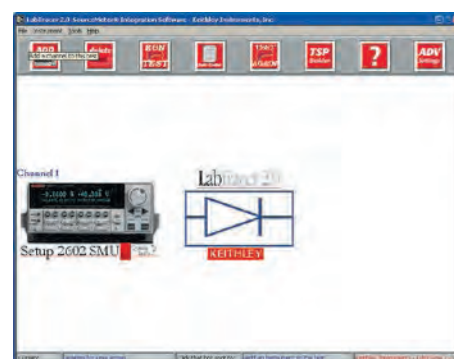


Рис. 6

плюс диода. Измерительная схема показана на рис. 3.

Включим источник-измеритель Keithley 2400 нажатием кнопки включения Power и запустим графическую среду LabTracer 2.0. Создадим новый проект для измерения прямой ВАХ диода. Для этого зайдём в меню «File» и выберем элемент «New Test» или нажмем комбинацию клавиш Cntr+N (рис. 4).

Наведем курсор мыши на кнопку

«CUSTOM Device Under Test». и нажмем левую клавишу мыши. В появившемся графическом меню (рис. 5) выберем картинку с изображением тестируемого устройства (в нашем случае диода).

Для выбора измерительного прибора для нашей задачи нажмем кнопку «ADD». По умолчанию в LabTracer установлен источник-измеритель Keithley 2602 (рис. 6).

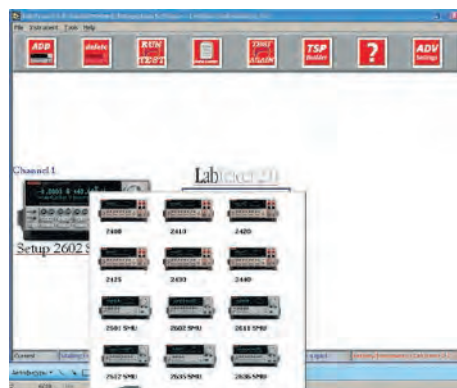


Рис. 7

Нажмем левую клавишу мыши на изображении источника-измерителя. В появившемся графическом меню выберем источник-измеритель 2400 (рис. 7).

LabTracer сконфигурирован под нашу задачу: снятие ВАХ диода. Нам необходимо задать параметры измерения. Для этого подведем курсор мыши на надпись «Setup 2400», которая является элементом графического меню и отвечает за установку параметров измерения, и нажмем левую клавишу мыши.

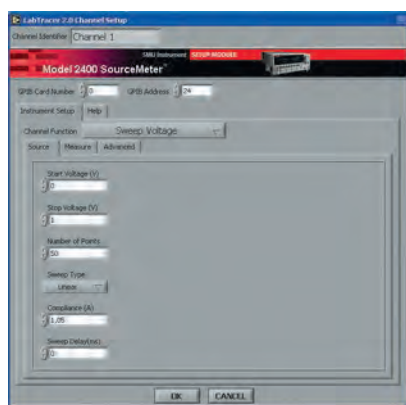


Рис. 8

В закладке «Source» (рис. 8) зададим следующие параметры источника Keithley 2400 для тестирования диода:

- Channel Function — Sweep Voltage (Выполняемая функция — генерация напряжения);
- Start Voltage (V) = 0 (Начальное напряжение (B) = 0);
- Stop Voltage (V) = 1 (Конечное напряжение (B) = 1);
- Number of Points = 50 (Количество точек = 50);

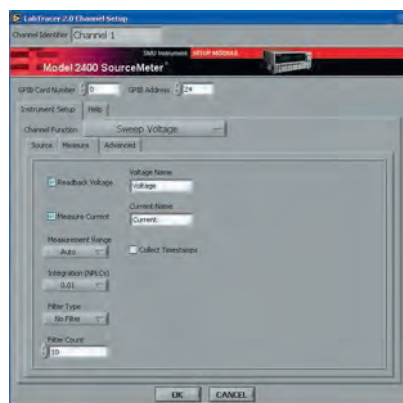


Рис. 9

- Sweep Type = Linear (Тип генерации = линейный);
- Compliance (A) = 1,05 (Ограничение по току (A) = 1,05);
- Sweep Delay (ms) = 0 (Задержка генерации (мс)=0).

В закладке «Measure» (рис. 9), в принципе, ничего менять не надо, т.к. при установке выполняемой функции — генерация напряжения — параметры в данном окне формируются автоматически.

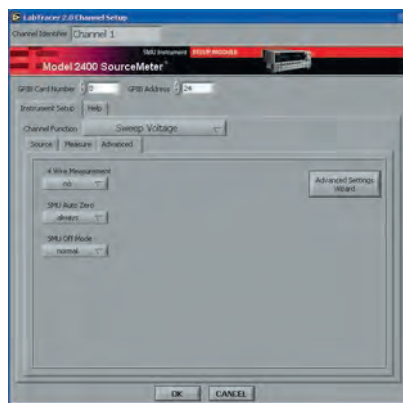


Рис. 10

Убеждаемся, что стоит режим управления напряжением (Readback Voltage) и измерения тока (Measure Current).

Перейдем к закладке «Advanced» (рис. 10). В данной закладке задаются общие функции и для источника, и для измерителя Keithley 2400.

Установим режим 2-проводной схемы измерения (4 Wire Measurement =

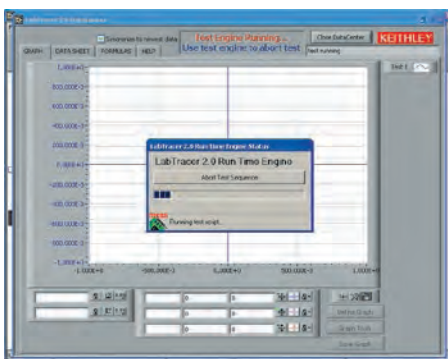


Рис. 11

по) и автоматический сброс на нулевое значение перед проведением измерения (SMU Auto Zero = always).

Все необходимые параметры и функции для источника-измерителя Keithley 2400 заданы. Осталось нажать кнопку OK. Теперь прибор готов к снятию прямой ВАХ диода.

Нажимаем в графическом меню кнопку «RUN TEST» (запуск теста). Раздается звуковой сигнал, на индикаторе Keithley 2400 появляются меняющиеся параметры, а на экране компьютера появится сообщение о том, что идет процесс измерения (рис. 11).

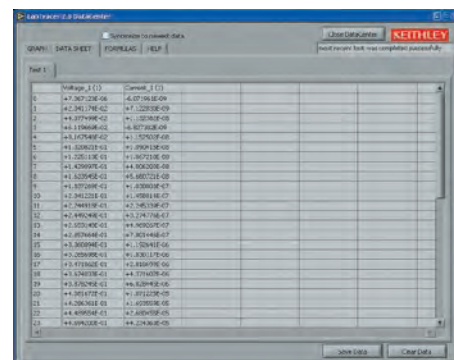


Рис. 12

Через непродолжительное время процесс измерения закончится и появится возможность просмотра нового рабочего окна с результатами измерения — Data Center.

Результаты измерения могут быть представлены как в табличной форме (закладка «DATA SHEET»), так и в графическом представлении (закладка «GRAPH»).

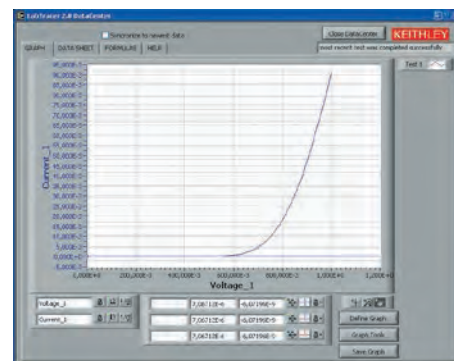


Рис. 13

Сперва рассмотрим представление в табличной форме (закладка «DATA SHEET»). Результат представления в табличной форме показан на рис. 12.

При необходимости данные могут быть сохранены в текстовом файле. Для этого необходимо выбрать экранную кнопку «Save Data».

Теперь рассмотрим представление в графическом виде (рис. 13).

В этом окне можно выбирать по какому осям будет отображаться тот или иной параметр («Define Graph»), какие графические инструменты присутствуют в окне («Graph Tools»), цветовое



представление графиков, необходимую точность и числовые значения осей, также есть возможность сохранения данных в графическом виде («Save Graph») и многое другое.

Благодаря элементам графического меню, имеющимся в данном окне, можно выполнять различные операции над фрагментами и сдвиг осциллограммы, а также изменить вид графического представления на другой.

Для выхода из окна «Data Center» нажмите графическую кнопку «Close DataCenter», для повторного входа в этот режим — «Data Center».

Процесс снятия прямой ВАХ диода завершен. При необходимости данный проект тестирования можно сохранить, выбрав в меню «File» пункт «Save Test As...». В дальнейшем данный тест можно будет воспроизвести с сохраненными параметрами.

### СНЯТИЕ ОБРАТНОЙ ВАХ ДИОДА

Целью данной задачи, является снятие обратной вольтамперной характеристики диода, а также демонстрация возможности работы по четырехпроводной измерительной схеме.

Для снятия обратной вольтамперной характеристики подсоединим тестируемый диод по четырехпроводной измерительной схеме. Первый красный провод измерительного кабеля подсоединим к красному гнезду HI INPUT/OUTPUT Keithley 2400, второй — к гнезду HI 4-WIRE SENSE. Черный провод подсоединим к черному гнезду LO INPUT/OUTPUT Keithley 2400, а белый — к черному гнезду LO 4-WIRE SENSE. «Крокодил» черного цвета подключим к минусу тестируемого диода (обозначен серым кольцом на диоде), а «крокодил» красного цвета — на плюс диода. Измерительная схема показана на рис. 14.

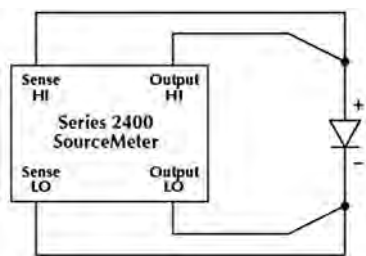


Рис. 14

Включим источник-измеритель Keithley 2400 нажатием кнопки включения Power и запустим графическую среду LabTracer 2.0. Создадим новый проект для измерения обратной ВАХ диода. Повторим процедуры настройки LabTracer, описанные в предыдущей задаче.

LabTracer сконфигурирован под нашу задачу: снятие ВАХ диода. Нам необходимо задать параметры измерения. Для этого подведем курсор мыши на надпись «Setup 2400», которая является

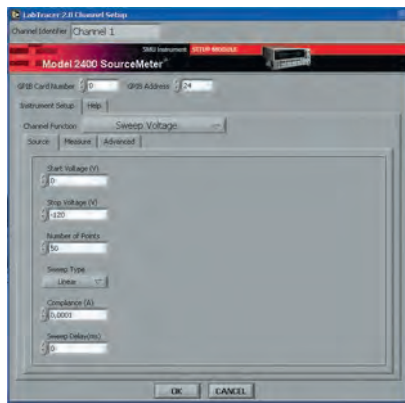


Рис. 15

элементом графического меню и отвечает за установку параметров, и нажмем левую клавишу мыши.

В закладке «Source» (рис. 15) зададим следующие параметры источника Keithley 2400 для тестирования диода:

- Channel Function — Sweep Voltage (Выполняемая функция — генерация напряжения);
- Start Voltage (V) = 0 (Начальное напряжение (B) = 0);
- Stop Voltage (V) = -120 (Конечное напряжение (B) = -120);

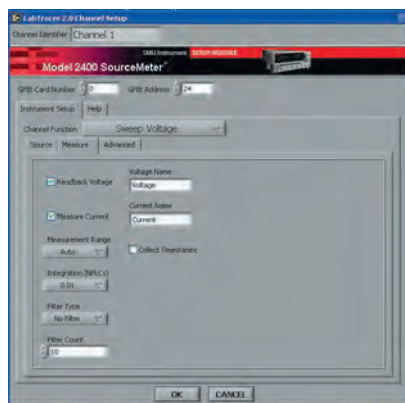


Рис. 16

- Number of Points = 50 (Количество точек = 50);
- Sweep Type = Linear (Тип генерации = линейный);
- Compliance (A) = 0,0001 (Ограничение по току (A) = 0,0001);
- Sweep Delay (ms) = 0 (Задержка генерации (мс)=0).

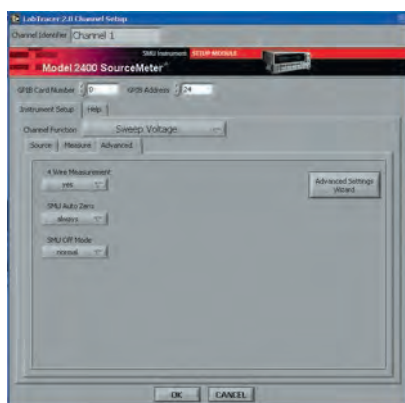


Рис. 17

В закладке «Measure» зададим параметры измерителя Keithley 2400. В данном окне ничего менять не надо, т.к. при установке выполняемой функции — генерация напряжения — данное окно формируется автоматически (рис. 16).

Убедимся, что стоит режим управления напряжением (Readback Voltage) и измерения тока (Measure Current).

Перейдем к закладке «Advanced» (рис. 17). В данной закладке и установим четырехпроводную схему измерения (4 Wire Measurement = yes) и автоматический сброс на нулевое значение перед проведением измерения (SMU Auto Zero = always).

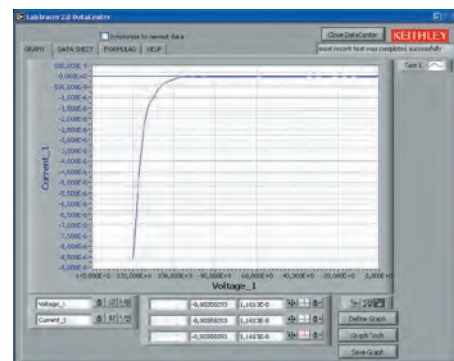


Рис. 18

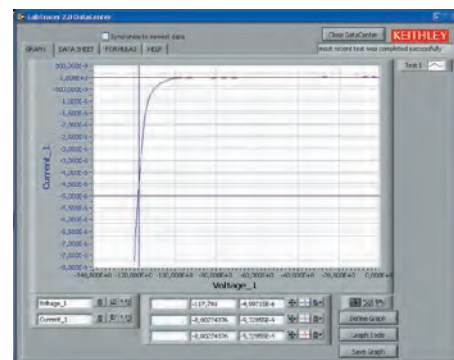


Рис. 19

Все необходимые параметры и функции для источника-измерителя Keithley 2400 заданы. Прибор готов к снятию обратной ВАХ диода. Подводим курсор мыши на клавишу «OK» и нажимаем левую клавишу мыши. Рабочее окно переходит в положение, готовое для продолжения измерения.

Маркером мыши выбираем в графическом меню элемент меню «RUN TEST» (запуск теста) и нажимаем левую клавишу мыши.

Раздастся звуковой сигнал, на индикаторе Keithley 2400 появятся меняющиеся параметры, а на экране компьютера появится сообщение о том, что идет процедура измерения. По окончании процедуры измерения появляется возможность просмотра нового рабочего окна с результатами тестирования — «DataCenter».

Результаты тестирования могут быть представлены как в табличной

форме (закладка «DATA SHEET»), так и в графическом представлении (закладка «GRAPH»).

Убедимся в представлении данных в табличной форме, аналогично предыдущей задаче, и перейдем к представлению в графической форме.

Внешний вид обратной ВАХ диода представлен на рисунке 18.

Отметим, что в графической среде LabTracer можно выполнять и курсорные измерения.

Включим курсорные измерения. Зайдем в инструментарий курсорных измерений, расположенный под надписью «Voltage\_1».

Курсором мыши нажмем на первую кнопку. Загорится зеленый индикатор — первый курсор активен.

Курсором мыши нажмем на вторую кнопку и в открывшемся меню выберем элемент «Bring to center» (установить первый курсор в центр).

Курсором мыши нажмем на третью кнопку. В открывшемся меню выберем порядок передвижения курсора при измерениях: «Free» — свободное передвижение, «Snap to point» — передвижение курсора по точкам графика. Для примера выберем «Free».

Зайдем в графическое меню, расположенное справа от инструментария курсорных измерений. Нажмем первую кнопку. Загорится зеленый индикатор — режим курсорных измерений активный.

Удерживая левую клавишу мыши, передвинем курсор по графику (рис. 19). Измеренные значения параметров в точке, определяемой курсором, отобразятся в инструментарии курсорных измерений. На графике, приведенном рис. 19, значение напряжения  $-117,791$  В, а ток  $-4,99715$  мкА.


Для выхода из рабочего окна «DataCenter» нажмем графическую

Программное обеспечение Keithley LabTracer предназначено для синхронизации процессов измерения до 4-х источников-измерителей SourceMeter (SMU) и позволяет получать измеренные данные о напряжении и/или токе для каждого из этих устройств с корреляцией во временной области. Результаты экспортируются в электронную таблицу для регистрации данных, расчета и последующего анализа. Технология, задействованная в работе программного обеспечения, приводит к значительному упрощению рабочего процесса.

LabTracer используется с приборами семейства Keithley SourceMeter и имеет ряд преимуществ перед традиционными методами. Функции приборов SourceMeter позволяют работать в широком ряде лабораторных исследований, имеется возможность выбора устройства с нужным диапазоном измерений. Используя платформу Windows, для сбора и хранения данных, программное обеспечение LabTracer позволяет управлять и обрабатывать данные без дополнительного носителя.

кнопку «Close DataCenter», для повторного входа в этот режим нажмем графическую кнопку «DataCenter».

Процесс снятия обратной ВАХ диода завершен. При необходимости, данный проект тестирования можно сохранить, выбрав в меню «File» элемент «Save Test As...». В дальнейшем данный тест можно будет воспроизвести с сохраненными параметрами.

В приведенной измерительной задаче видно, что использование источников-измерителей Keithley серии 2400 в сочетании с графической средой LabTracer является простым и недорогим решением, позволяющим автоматизировать процесс тестирования полупроводниковых компонентов. 

### Источники-измерители Keithley серии 2400

Каждый источник-измеритель Keithley серии 2400 может быть сконфигурирован как: прецизионный генератор напряжения и тока, импульсный генератор напряжения и тока, прецизионный источник питания, цифровой мультиметр, электронную нагрузку и электронный триггер.

Среди основных возможностей источников-измерителей Keithley серии 2400 можно выделить:

- Четырехквadrантная рабочая область (генерация тока/напряжения или работа в режиме нагрузки);
- Количество каналов: 1;
- Широкий диапазон генерации и измерений;
- Прецизионная точность измерения/установки, базовая погрешность 0,012% при 5 S-разрядном разрешении;
- Генерация мощного токового импульса;
- Возможности развертки генерации/измерения (линейные и логарифмические ступенчатые развертки, пользовательская развертка по списку);
- Возможность сохранения в памяти пользовательского списка для тестирования (до 100 точек);
- Сохранение показаний и установок. Память на 5000 значений при 5 S-разрядов (2 буфера по 2500 точек) и семь настроек (пять пользовательских настроек, заводская настройка по умолчанию, \*RST (установка по умолчанию на 0);
- шестипроводное измерение сопротивления с помощью программируемого источника тока или источника напряжения с V или I зажимом. Высокая скорость проведения операций: при 4 S-разрядах до 2030 измерений во внутреннюю память и 1754 измерения в GPIB;
- Встроенный компаратор для быстрого проведения тестирования «годен/негоден» (до 12 стадий предельных испытаний);
- Цифровой порт ввода/вывода для обеспечения операций сортировки по контейнерам или состыковки с манипулятором электронных компонентов;
- Одновременные измерения с использованием дистанционного интерфейса;
- Функция проверки контактов (опционально, только для моделей с индексом «С»);
- Математические выражения. Пять встроенных, до пяти определяемых пользователем (только шина);
- 3 скорости измерения: высокая, средняя, нормальная;
- Калибровка при закрытом кожухе. Прибор может быть прокалиброван либо с лицевой панели, либо посредством дистанционного интерфейса;
- Состыковка по схеме запуска с коммутационной аппаратурой Keithley серии 7000;
- Программное обеспечение LabTracer 2.0 с графическим интерфейсом позволяет подключать и конфигурировать 8 источников-измерителей серий 2600 и 2400.

Источники-измерители Keithley серии 2400 зарегистрированы в Госреестре средств измерений за номером 25789-08. Срок действия свидетельства до 28 ноября 2018 года.

*Semiconductors have been widely used in different areas since long ago. Almost all electronic devices contain semiconductor electronic components such as diodes, thyristors and transistors etc. Therefore one of the important measurement tasks in demand is their automatic test and characteristics measurement. This measurement task can be easily and reasonably solved by Keithley 2400 and 2600 A/B series sourcemeters together with graphical environment Lab Tracer. Read about advantages of such system in the present article.*