

Инструкция по эксплуатации цифрового USB прибора для измерения вольт-амперных характеристик.

Д.А. Коновалов, н.с. лаб. ФПС КФТИ ФИЦ КазНЦ РАН

Прибор для измерения вольт-амперных характеристик относится к классу виртуальных цифровых приборов. Он состоит из физического устройства – программно-управляемого источника-измерителя и прикладного программного обеспечения, реализующего логику работы прибора и интерфейс оператора.

В данном документе содержатся краткие сведения о конструкции и работе прибора. В последнем разделе (5.3) приведен порядок работы. Подробные описания схемно-технической, программной и конструктивной реализации прибора приведены в следующих документах:

- **«Цифровой USB прибор для измерения вольт-амперных характеристик.pdf»;**
- **«СПО-Цифровой USB прибор для измерения ВАХ.pdf»** - Специальное программное обеспечение цифрового USB прибора для измерения вольт-амперных характеристик;
- **«ППО-Цифровой USB прибор для измерения ВАХ.pdf»** - Прикладное программное обеспечение цифрового USB прибора для измерения вольт-амперных характеристик

Оглавление

| | | |
|-------|---|---|
| 1 | Особенности конструкции | 2 |
| 2 | Технические параметры | 2 |
| 3 | Логическая структура ППО | 2 |
| 4 | Организация информационного обмена с USB прибором | 3 |
| 5 | Алгоритм исполнения программы ППО | 3 |
| 5.1 | Алгоритм калибровки: | 3 |
| 5.2 | Алгоритм работы программного блока VAC | 3 |
| 5.2.1 | Формат файла с результатами измерений | 4 |
| 5.3 | Порядок работы | 5 |
| 5.3.1 | Включение прибора | 5 |
| 5.3.2 | Подключение объекта измерения | 5 |
| 5.3.3 | Проведение измерений | 5 |
| 5.3.4 | Выключение прибора | 6 |
| 6 | Иллюстрации | 7 |

1 Особенности конструкции

- Возможность проведения ВАХ измерений с постоянным шагом по току или по напряжению;
- Управляющий контроллер Iskra Nano Pro (Arduino Nano)
- Измерения осуществляются с помощью аналого-цифрового преобразователя (АЦП) ADS1220.
- Измерительное напряжение задается с помощью цифро-аналогового преобразователя (ЦАП) MAX5815;
- Ток через объект исследования задается с помощью источника тока, управляемого напряжением (ИТУН);

2 Технические параметры

- Диапазон установки тока: -40 мА ... +40 мА;
- Дискретность установки тока: 0.1 мкА;
- Диапазон рабочего напряжения: -20 В ... + 20 В;
- Дискретность установки напряжения: 50 мкВ;
- Точность измерения тока и напряжения: 1%;
- Разрешение измерения тока: 0.5 мкА;
- Разрешение измерения напряжения: 40 мкВ (скорость преобразования 20 SPS);
- Время измерения одной точки (установка тока + измерение напряжения и тока): 50 мс (скорость преобразования 175 SPS и более);
- Питание: постоянное напряжение 5 В, 500 мА;
- Габариты источника-измерителя: 122x102x25 мм.

В состав цифрового USB прибора для измерения вольт-амперных характеристик (далее USB прибор) входит прикладное программное обеспечение (ППО). ППО запускается на рабочей станции под управлением операционной системы Windows. ППО предназначено для реализации функций:

- управления и контроля состояния USB прибора;
- сбора, окончательной обработки, визуализации и сохранения результатов измерения USB прибором.

ППО реализуется как программа на графическом языке программирования «G» фирмы National Instruments. Для работы программы необходимо наличие рабочей станции с установленной на ней средой для выполнения кода LabVIEW 2012 SP1 Runtime.

ППО представлено скомпилированным исполняемым .exe файлом.

3 Логическая структура ППО

Структурно ППО состоит из трех крупных блоков, оформленных на виртуальной лицевой панели прибора в виде отдельных вкладок, имеющих интуитивно понятный графический интерфейс:

- **VAC** – измерение ВАХ образца, подключенного к измерительным клеммам;
- **Calibrate** – калибровка USB прибора;
- **Camera** – работа с USB-камерой. В составе расширенной версии ППО – VAC-2_3-Camera.

- **Service** – графический стенд, показывающий упрощенную принципиальную схему прибора, и позволяющий управлять его отдельными модулями. Используется для отладки и для обучения работе с устройствами сбора данных на базе ЦАП и АЦП.

4 Организация информационного обмена с USB прибором

ППО взаимодействует с USB прибором по последовательному интерфейсу по протоколу RS-232. Скорость передачи данных 115200 бит/с без контроля четности, 8 бит данных, 1 стоп-бит.

5 Алгоритм исполнения программы ППО

При запуске исполняемого файла *VAC-2_1.exe* происходит инициализация графического интерфейса и последовательного порта для связи с прибором. После этого происходит переключение на вкладку **Calibrate** и управление передается программному блоку калибровки (Рис. 2). Калибровка запускается автоматически и длится несколько секунд. По окончании калибровки управление передается на вкладку программного блока **VAC** (Рис. 1). Вкладка **Service** при эксплуатации прибора не используется. Вкладка **Camera** (Рис. 3) для позиционирования зондов активируется кликом. Также на неё передается управления после окончания цикла измерений с вкладки **VAC** для сохранения архивного снимка. При нажатии на экранную кнопку **EXIT** работа активного программного блока прерывается, выход ИТУН отключается от измерительных клемм, все каналы ЦАП обнуляются, АЦП конфигурируется в состояние по умолчанию, последовательный порт освобождается и программа завершает свою работу.

5.1 Алгоритм калибровки:

- выход ИТУН отключается от измерительных клемм;
- калибровка каналов измерения напряжения и тока:
 - производятся измерения с накоплением для каждого значения коэффициента усиления;
 - формируются массивы поправок.
- определение значения измерительного сопротивления:
 - встроенный программируемый источник тока микросхемы АЦП программируется на ток 1 мА и подключаются к измерительному сопротивлению;
 - производится измерение с накоплением и с учетом калибровки. Полученное значение имеет размерность mV/mA , т.е. Ом;

5.2 Алгоритм работы программного блока VAC

На вкладке **VAC** (Рис. 2) расположены восемь элементов управления и три элемента индикации. Элементы управления:

- поле **Режим** – выпадающий список: Гальваностат, Потенциостат;
- поле **I max, mA** ;
- поле **Step I, mA** - отображается только в режиме Гальваностат;
- поле **U max, V** - отображается только в режиме Потенциостат;
- поле **Step U, V** - отображается только в режиме Потенциостат;
- экранная кнопка **START**;
- два поля блока Диапазоны (U, I) – задают коэффициенты усиления масштабного усилителя микросхемы АЦП для каналов измерения напряжения и тока.

Нажатие кнопки **START** запускает процесс измерения:

- В режиме Гальваностат:
 - выход ИТУН подключается к измерительным клеммам;
 - задается ток ($+ I_{max}$);
 - в цикле:
 - производится измерение значений тока, протекающего через образец, и напряжения, падающего на образце;
 - заданный ток уменьшается на величину (*Step I*).
 - условие завершения цикла:
 - заданный ток достиг значения ($- I_{max}$), или
 - напряжение, падающее на образце, меньше или равно ($- 20 \text{ В}$), или
 - нажата кнопка **EXIT**.
 - по завершению цикла выход ИТУН отключается от измерительных клемм, все каналы ЦАП обнуляются, АЦП конфигурируется в состояние по умолчанию, оператору предлагается сохранить результат измерений.
 - если результаты были сохранены, происходит переключение на вкладку **Camera** (только для расширенной версии ППО – VAC-2_3-Camera).

- В режиме Потенциостат:
 - производится проверка условий $+ I (+U_{max}) \leq + I_{max}$, $- I (- U_{max}) \geq - I_{max}$;
 - при необходимости значения $+U_{max}$ и $- U_{max}$ корректируются;
 - выход модуля ЦАП подключается к измерительным клеммам;
 - задается напряжение ($+ U_{max}$);
 - в цикле:
 - производится измерение значений тока, протекающего через образец, и напряжения, падающего на образце;
 - заданное напряжение уменьшается на величину (*Step U*).
 - условие завершения цикла:
 - заданное напряжение достигло значения ($- U_{max}$), или
 - нажата кнопка **EXIT**.
 - по завершению цикла выход модуля ЦАП отключается от измерительных клемм, все каналы ЦАП обнуляются, АЦП конфигурируется в состояние по умолчанию, оператору предлагается сохранить результат измерений.
 - если результаты были сохранены, происходит переключение на вкладку **Camera** (только для расширенной версии ППО – VAC-2_3-Camera).

Элементы индикации:

- окно **XY Graph** динамически строит вольт-амперную характеристику в процессе измерительного цикла.
- два цифровых индикатора **U, mV** и **I, mA**, расположенные поверх окна **XY Graph** - отображают значения тока и напряжения, измеренные в текущем шаге измерительного цикла.

5.2.1 Формат файла с результатами измерений

Результаты сохраняются в текстовый файл в виде таблицы из двух столбцов, разделенных символом табуляции:

| | |
|-------------|----------|
| U, mV | I, mA |
| 5229.966927 | 0.978287 |
| 5226.267585 | 0.968482 |
| ... | |

5.3 Порядок работы

5.3.1 Включение прибора

1. Подключить кабель питания с разъемом mini-USB к гнезду прибора, обозначенному на Рис. 4 цифрой **1**.
2. Подключить интерфейсный кабель с разъемом micro-USB к гнезду прибора, обозначенному на Рис. 4 цифрой **2**.

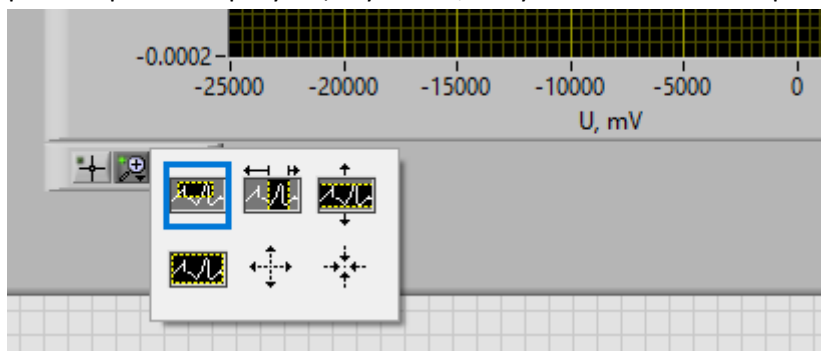
5.3.2 Подключение объекта измерения

Для подключения объекта измерения используется разъем типа WF-4 (DS1070-4F), обозначенный на Рис. 4 цифрой **3**. Подключение осуществляется с помощью ответного разъема типа HU-4 (DS1070-4F). В комплекте прибора имеются два переходника: а) на клеммную колодку и б) на разъем Jack 3.5 mm. Полярность подключения указана на Рис. 5.

5.3.3 Проведение измерений

1. Запустить исполняемый файл VAC-2_3.exe или VAC-2_3-Camera.exe.
2. Переключиться на вкладку **Camera** (только для расширенной версии ППО – VAC-2_3-Camera) и, ориентируясь на изображение, осуществить позиционирование измерительных зондов на поверхности образца;
3. Переключиться на вкладку **Calibrate**;
4. Дождаться окончания процесса калибровки и, в появившемся диалоговом окне, нажать экранную кнопку **OK**. Активируется вкладка VAC (Рис.).
5. Из выпадающего списка в поле **Режим** выбрать нужный режим измерений;
6. В поле **I max, mA** задать максимальное значение тока через объект измерения;
7. В режиме Гальваностат:
 - а. В поле **Step I, mA** задать значение шага по току;
8. В режиме Потенциостат:
 - а. В поле **U max, V** задать максимальное значение напряжения;
 - б. В поле **Step U, V** задать значение шага напряжения;
9. Нажать экранную кнопку **START**.
10. Дождаться окончания процесса измерения.
11. В появившемся диалоговом окне, в ответ на предложение сохранить результат измерения, выбрать вариант **SAVE** или **Cancel**.
12. После сохранения результатов происходит переключение на вкладку **Camera** (только для расширенной версии ППО – VAC-2_3-Camera). Поля **Path** и **File** заполняются автоматически после сохранения результатов измерений, выполненных на вкладке **VAC**. Сохранение графического файла с расширением .png произойдет после нажатия на экранную кнопку **Снимок**.

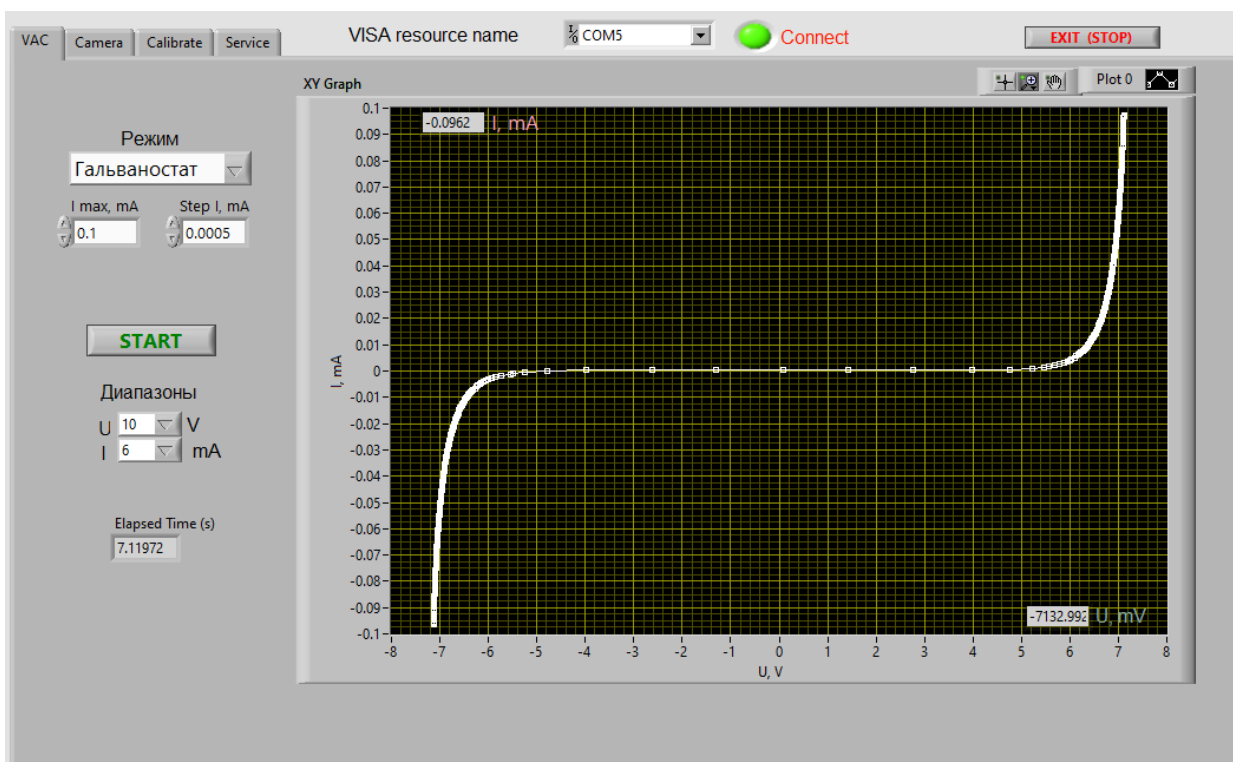
13. После этого можно детально, с помощью инструмента Graph palette, на вкладке **VAC** рассмотреть интересующие участки, полученной вольт-амперной характеристики:



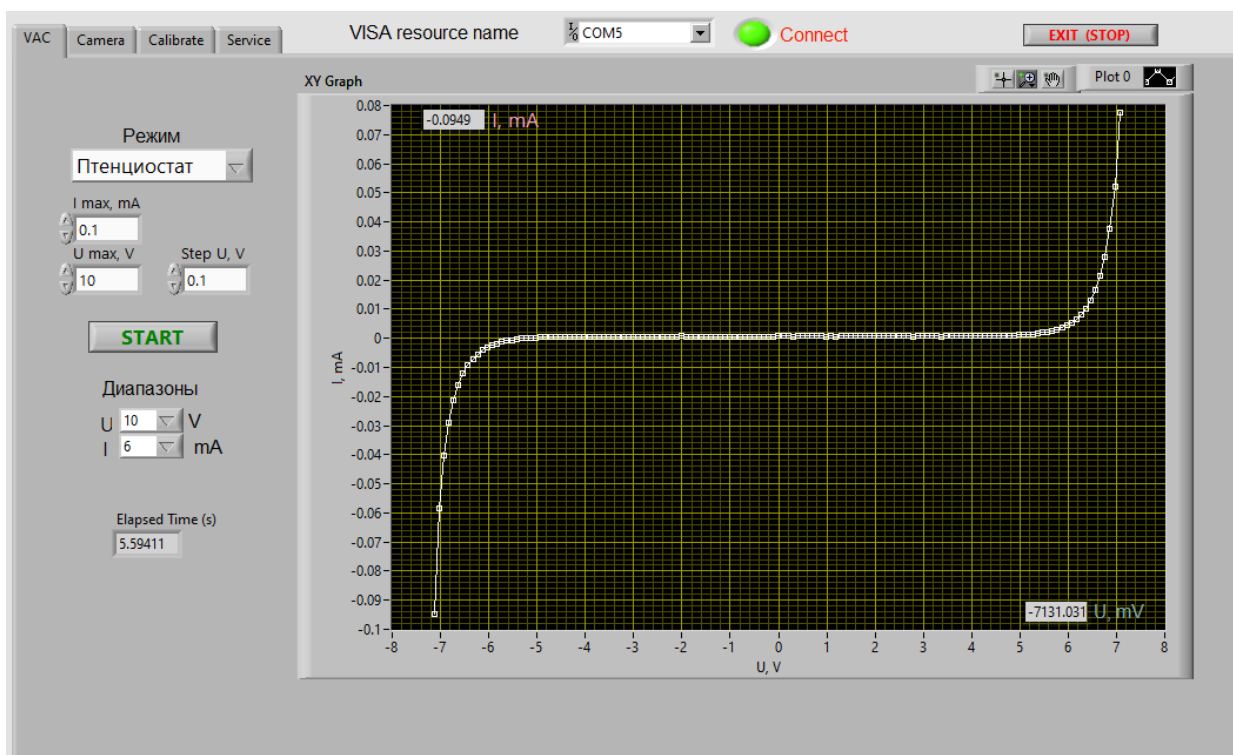
5.3.4 Выключение прибора

1. Нажать экранную кнопку **EXIT**.
2. Закрыть окно исполняемого файла VAC-2_1.exe.
3. Отключить интерфейсный кабель.
4. Отключить кабель питания.

6 Иллюстрации



а)



б)

Рис. 1. Вкладка программного блока VAC. (а) – режим Гальваностат, (б) – режим Потенциостат

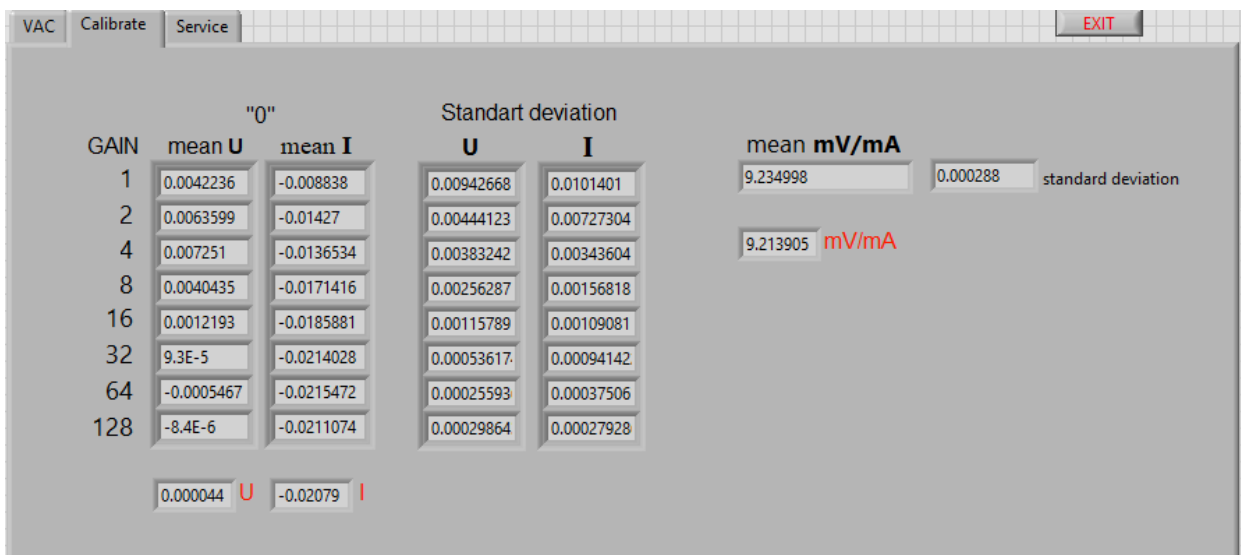


Рис. 2. Вкладка программного блока Calibrate.

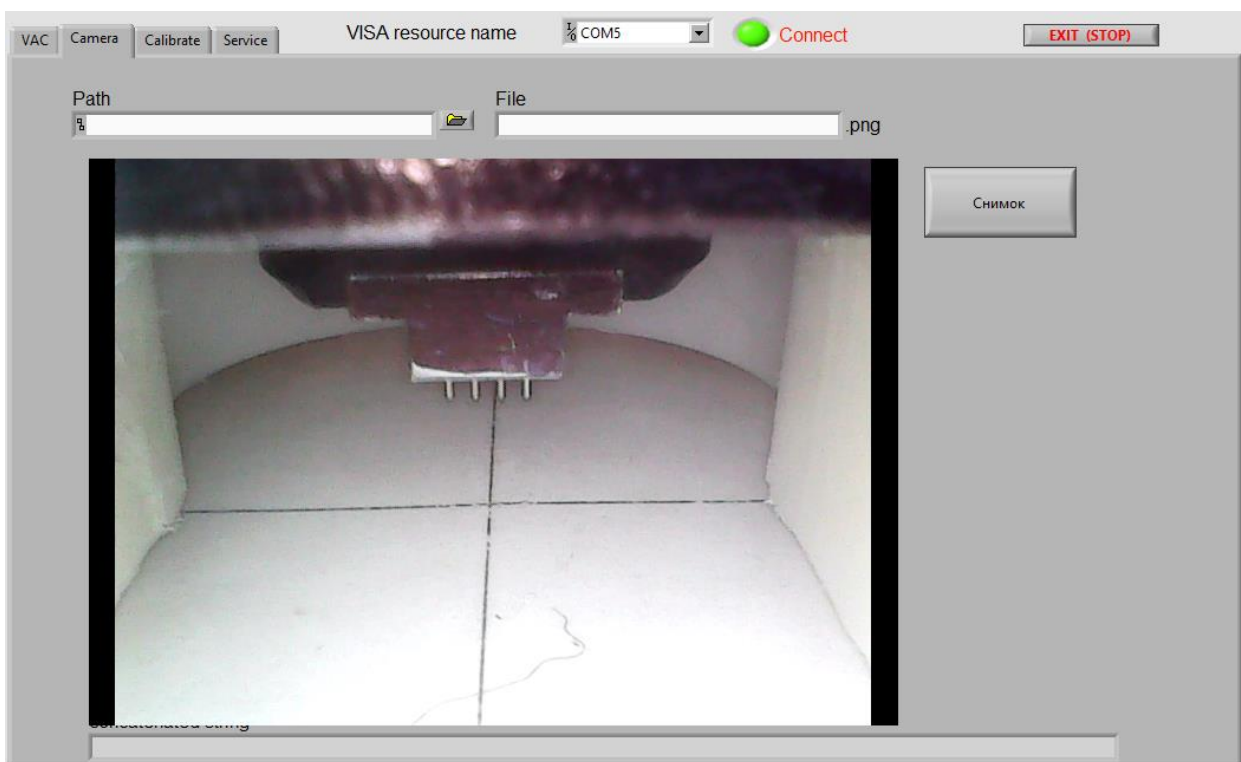


Рис. 3. Вкладка программного блока Camera.

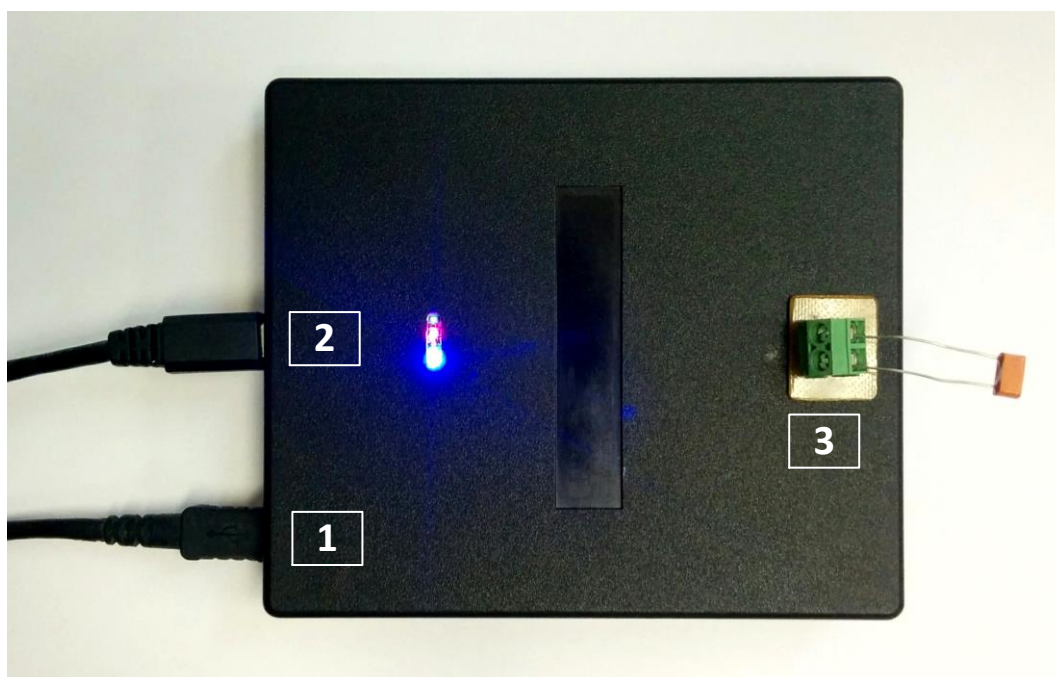
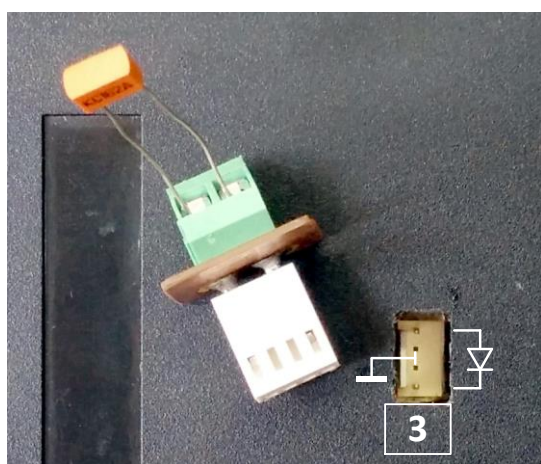
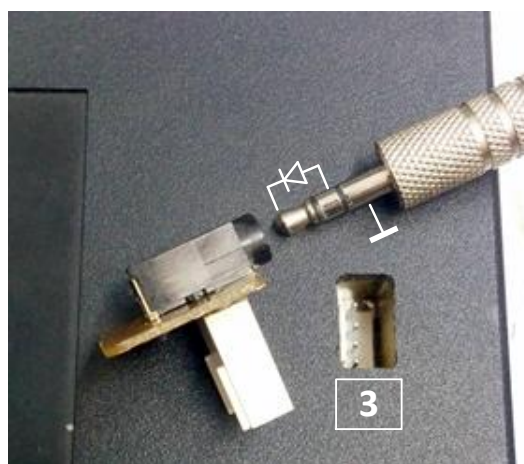


Рис. 4



a)



б)

Рис. 5