



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ

ОМСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ПРЕЦИЗИОННОГО LCR-МЕТРА AGILENT E4980A

Докладчик:

Матюшенко С. А.

м.н.с. ОНЦ СО РАН лаборатории ФНХИТ, аспирант ОмГТУ

Цель работы

Разработка многофункциональной компьютерной программы с графическим интерфейсом для удалённого управления, сбора и обработки данных с прецизионного LCR-метра Agilent E4980A.

Задачи

- 1) Изучение оригинальной инструкции и освоение функциональных возможностей прибора;
- 2) Создание модуля обработки и анализа данных, сохранённых на внешний USB-накопитель;
- 3) Введение функции удалённого управления через LAN или USB интерфейс с однократным или непрерывным опросом;
- 4) Разработка блока программатора с возможностью ручного создания и сохранения программ последовательностей измерений;
- 5) Реализация модуля 4-х зондовых измерений проводимости.

Agilent E4980A

Некоторые особенности

4-х проводная схема

Низкое значение погрешности (0.05%)

Есть возможность калибровки

Подключение к ПК через LAN или USB

Измерение импеданса (20 Гц – 2 МГц)

Переменное напряжение до 20 В

Измерения на постоянном токе

Переменный ток до 100 мА

Постоянное напряжение от –40 до 40 В

Постоянный ток от –100 до 100 мА

Программируемый источник
напряжения

Автоподстройка уровня сигнала



Рис. 1 Внешний вид прибора

Agilent Data Manager

Требования:

- ОС: Windows, Mac, Linux;
- Разрядность ОС: 64-bit;
- Дисковое пространство: ~ 8 ГБ;
- Оперативная память: от 4 ГБ;

Достоинства:

- Русскоязычный интерфейс;
- Широкий спектр возможностей;
- Наличие подсказок.

Недостатки:

- Требовательность к ресурсам;
- Наличие задержек отклика;
- Сложность освоения.

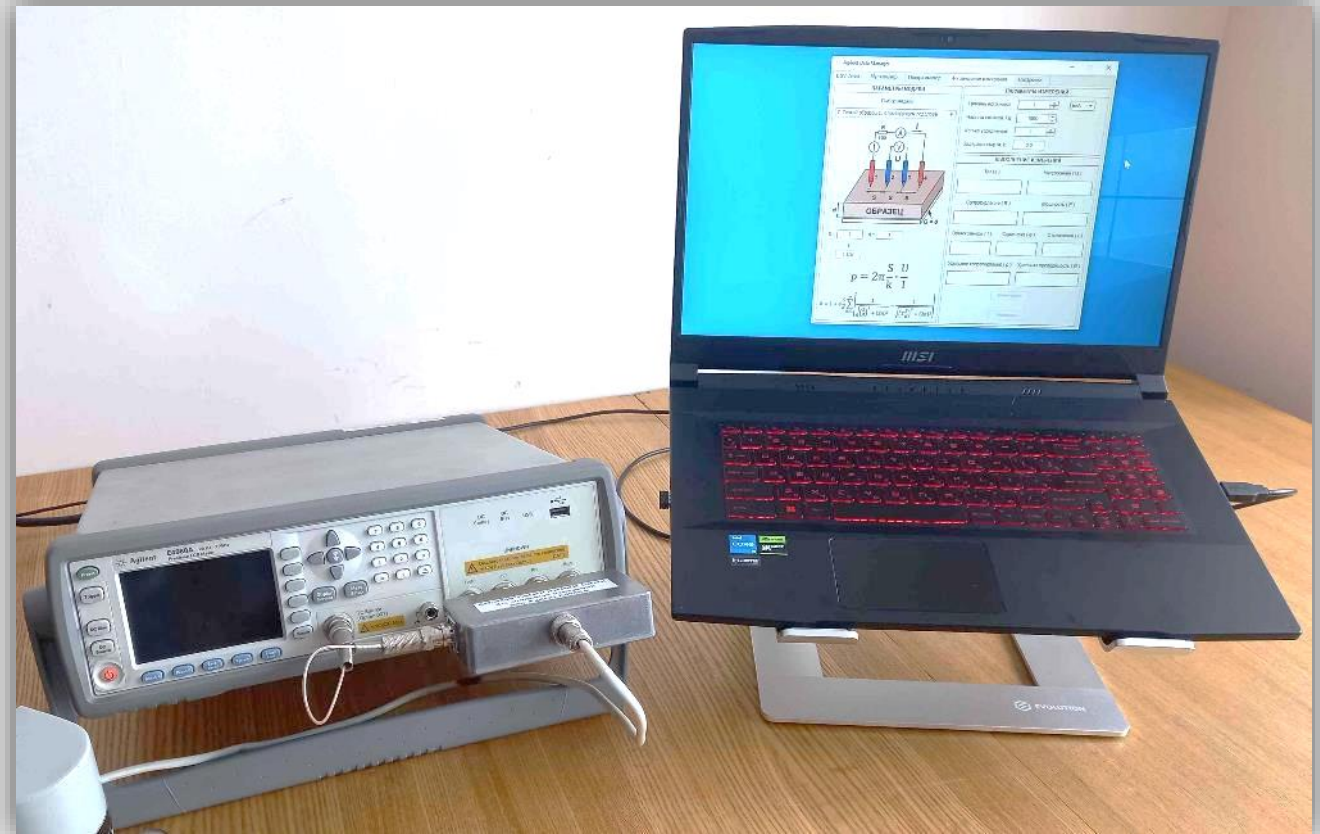
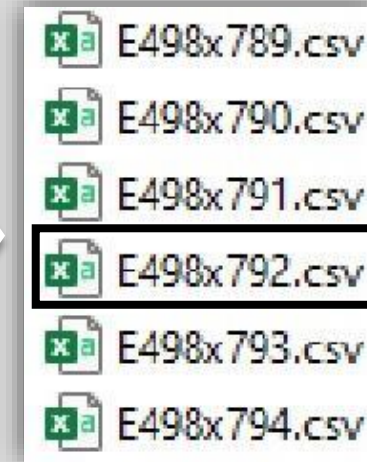
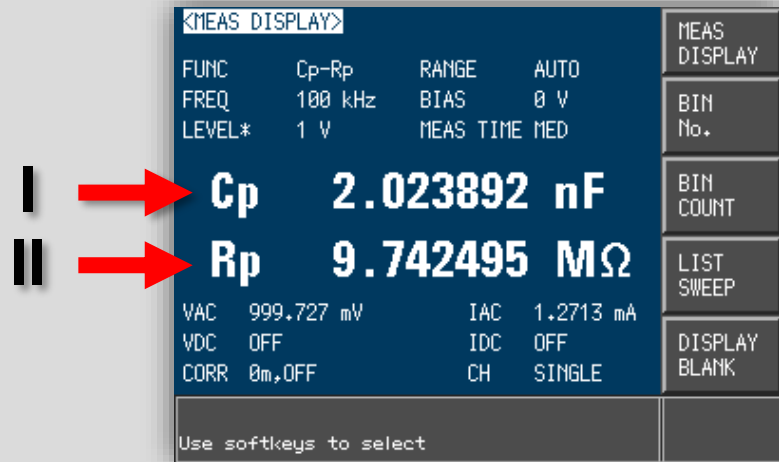


Рис. 3 Работа на приборе с использованием программы Agilent Data Manager

Сложность обработки записанных данных



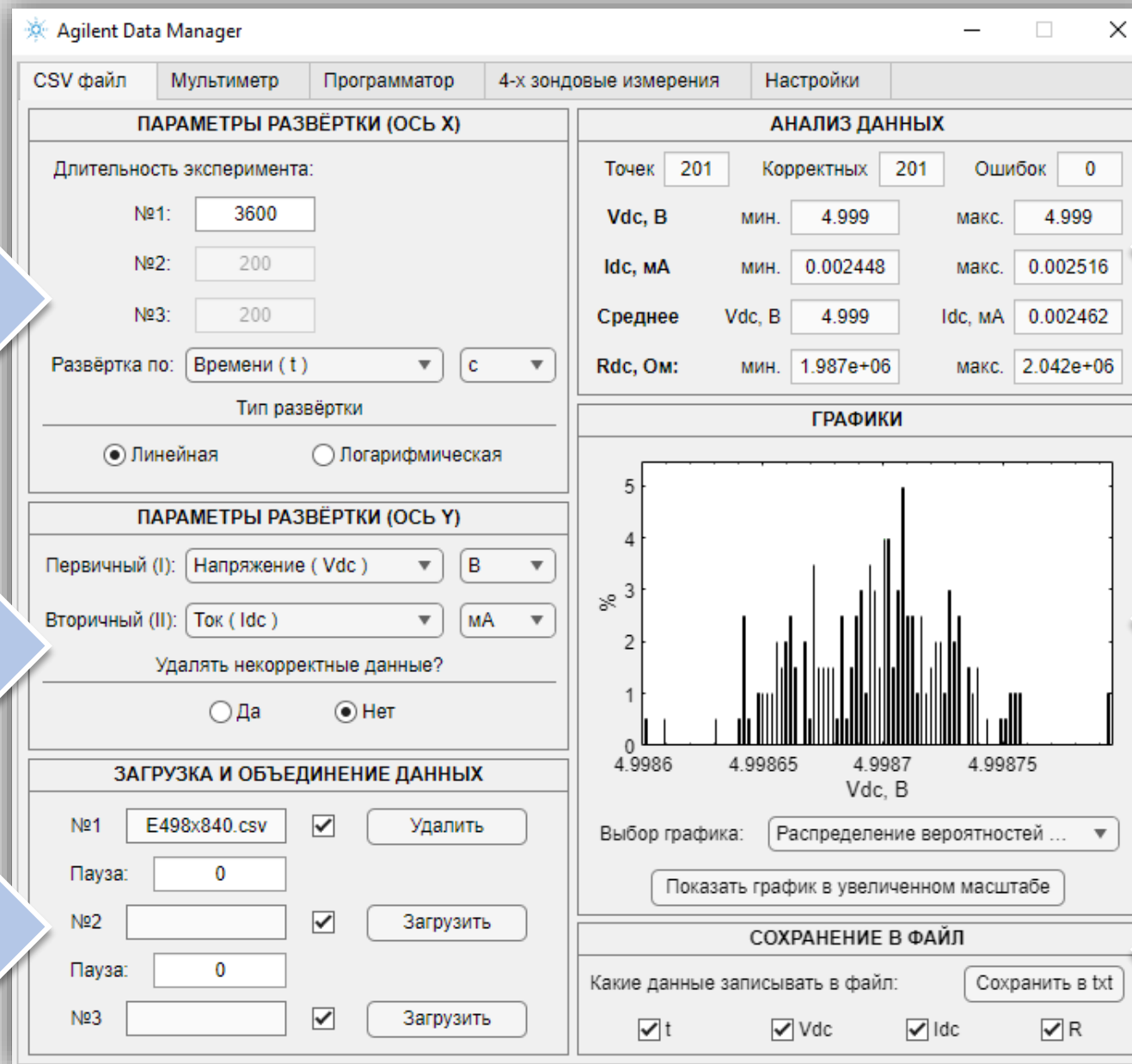
Пояснения:

- I** – первичный параметр
- II** – вторичный параметр
- III** – статус измерения
- IV** – результат сравнения

I **II** **III** **IV**

```
+9.997354981E-01,+1.179179264E-07,+0,+0  
+9.998484266E-01,+1.190040069E-07,+0,+0  
+9.997197964E-01,+1.181170346E-07,+0,+0  
+9.998606477E-01,+1.188176587E-07,+0,+0  
+9.998271559E-01,+1.178110124E-07,+0,+0  
+9.997625700E-01,+1.174115765E-07,+0,+0
```

Недостаточно данных для построения графиков!



Выбор
развёртки по X

Выбор
развёртки по Y

Загрузка CSV
файлов

Статистический
анализ

Отображение
графиков

Запись в новом
формате

Рис. 4 Интерфейс вкладки «CSV файл»

Подключение прибора к компьютеру



Keysight Connection Expert 2023

Instruments PXI/AXIe Chassis

My Instruments + Add

- LAN (TCP/IP0)
- COM (ASRL4)
- COM (ASRL6)
- USB (USB0)
 - ✓ E4980A, Agilent Technologies
USB0::0x0957::0x0909::MY46101869::...
USBInstrument1

Details for Agilent Technologies E4980A

Check Status Edit Remove Interactive IO Monitor Command Expert BenchVue Web UI Soft Front Panel

Manufacturer: Agilent Technologies
Model: E4980A
Serial Number: MY46101869
Firmware Version: A.02.12
Web Information: [Product Page](#)

Connection Strings

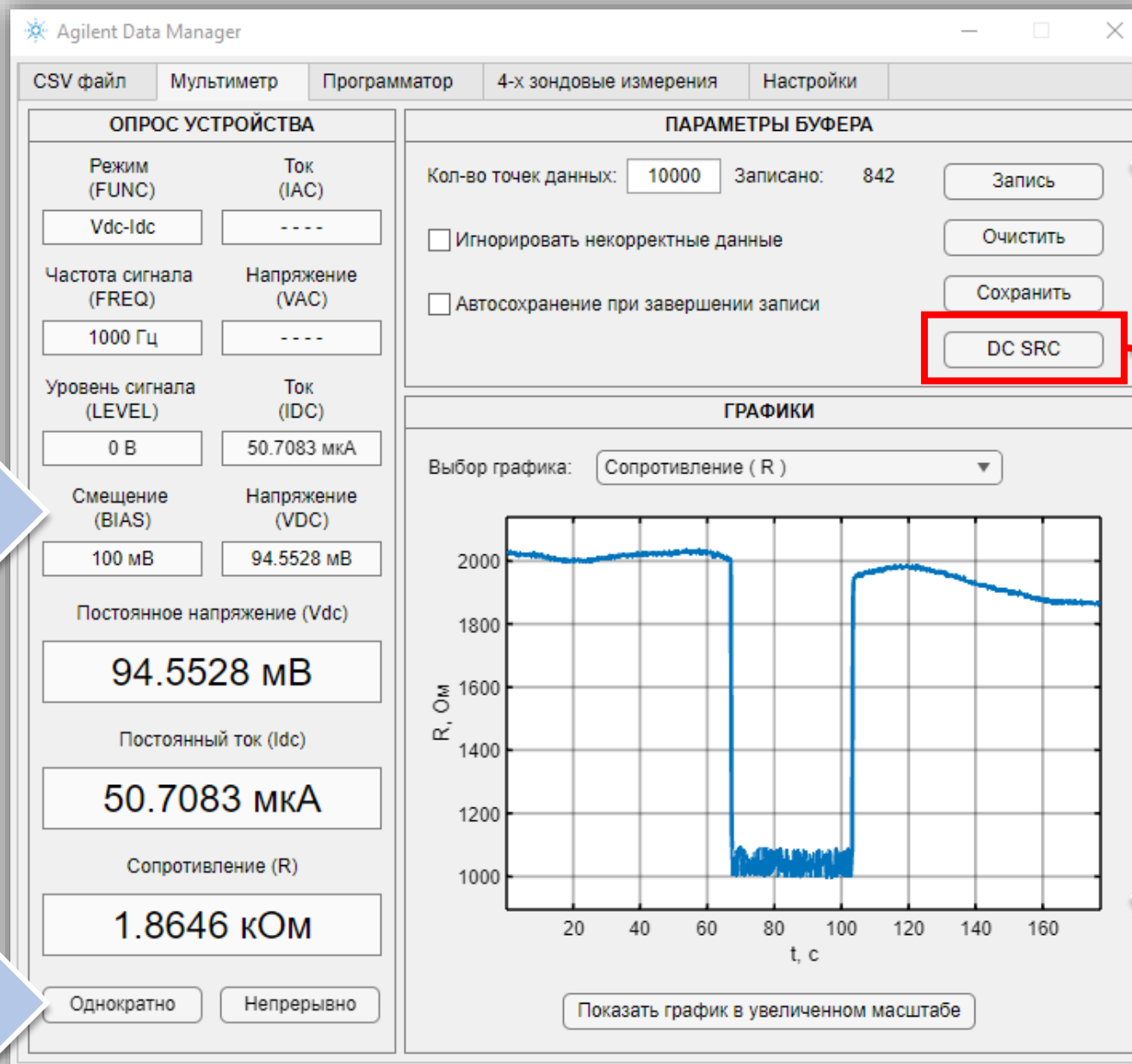
| VISA Address | Aliases | SICL Address |
|--|----------------|---------------------------------|
| ✓ USB0::0x0957::0x0909::MY46101869::0::INSTR | USBInstrument1 | usb0[2391::2313::MY46101869::0] |

Installed IVI Drivers Update

IVI driver for Keysight Technologies E4980A LCR Meter, 1.2.1.0, 32/64-bit, IVI-C/IVI-COM

Remote IO Server Off 32-Bit Keysight VISA is Primary Version: 18.3.29517.2

Рис. 5 Программа Keysight Connection Expert



Отображение результатов

Настройки записи



Управление нагрузкой

Отображение графиков

Запуск измерений

Рис. 6 Интерфейс вкладки «Мультиметр»

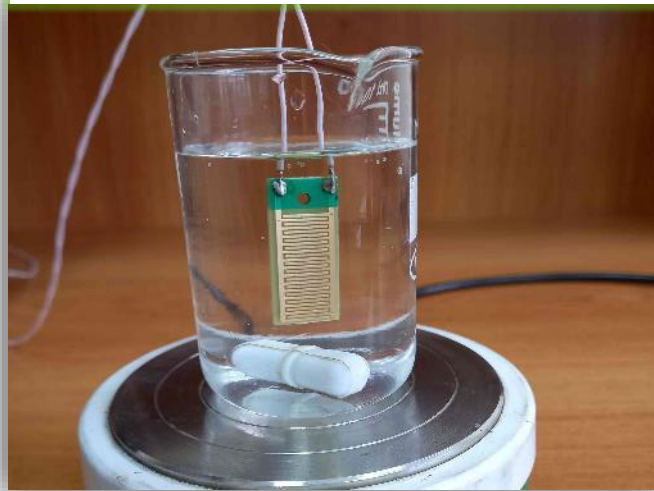
Автоматизация измерений

Газовая
чувствительность



1. ВАХ (1-10 В)
2. Стабилизация (5 В)
3. Включение насоса
4. Запись отклика
5. ВАХ (1-10 В)

Сопротивление
растворов

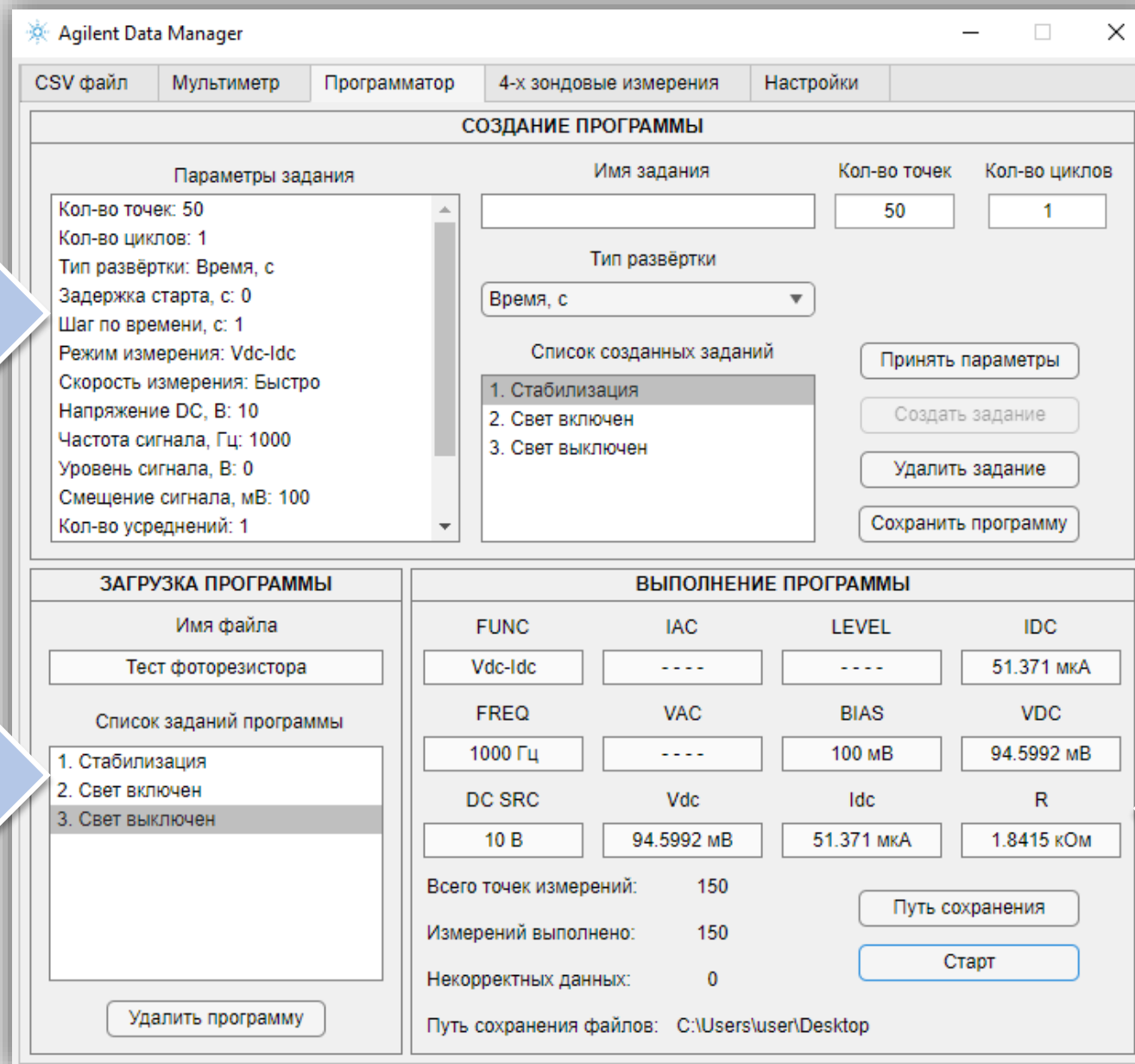


1. Стабилизация (1 ч)
2. Подача реагента
3. Измерение при 10 кГц
4. Участок остывания
5. Повторное измерение

Импеданс
суперконденсаторов



1. Импеданс (20 Гц-500 кГц)
2. Зарядка до 2.7 В
3. Импеданс (20 Гц-500 кГц)
4. Нагрев корпуса (1 ч)
5. Импеданс (20 Гц-500 кГц)



Создание и редактирование

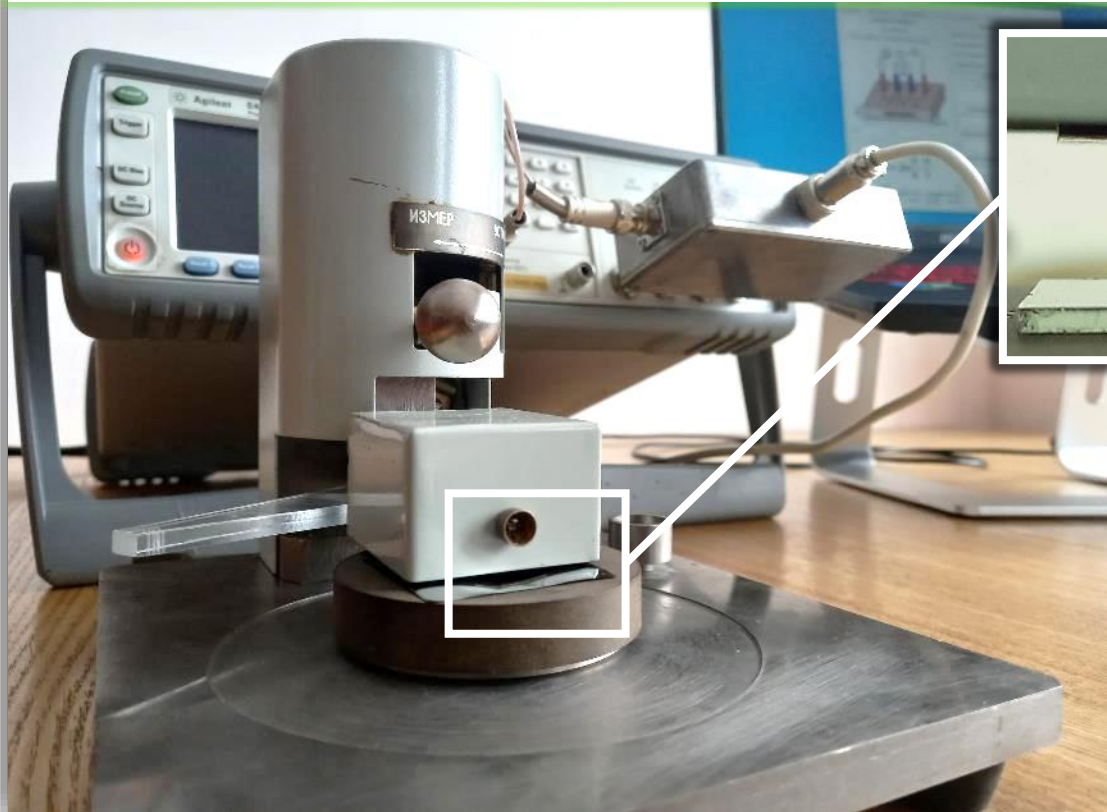
Загрузка созданных программ

Мониторинг выполнения

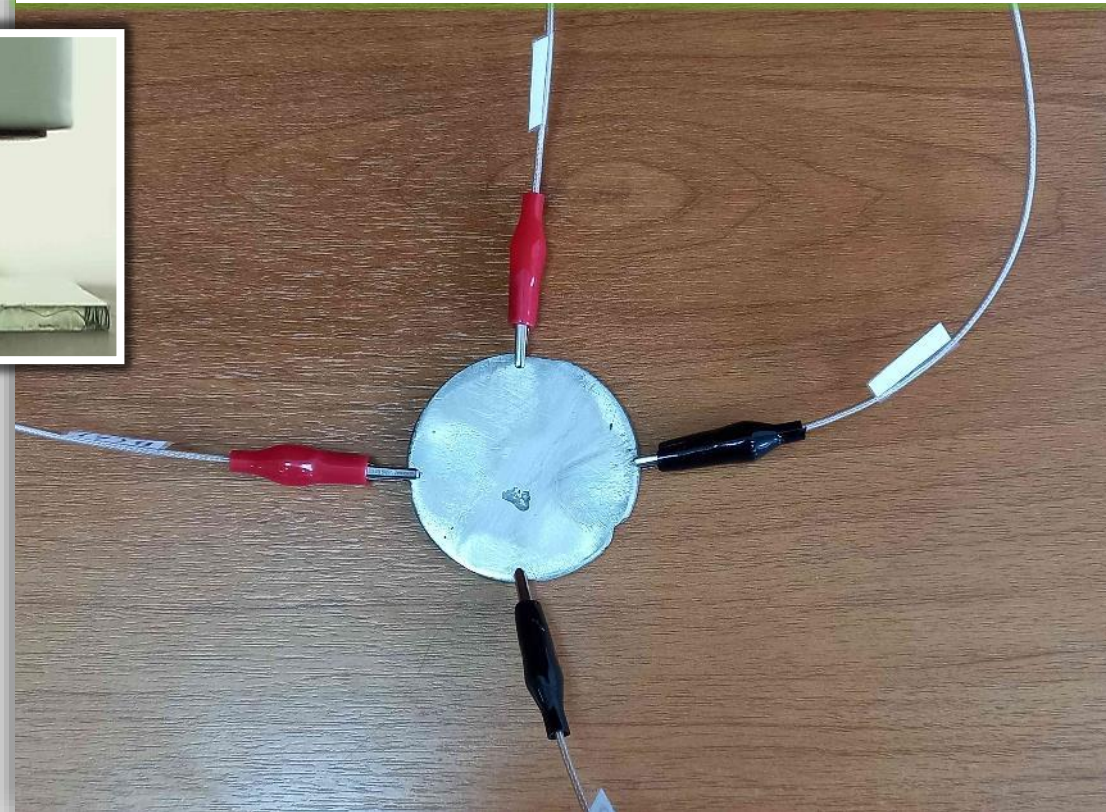
Рис. 7 Интерфейс вкладки «Программатор»

4-х зондовые измерения

Метод Кельвина



Метод Ван дер Пау



Agilent Data Manager

CSV файл | Мультиметр | Программатор | 4-х зондовые измерения | Настройки

ПАРАМЕТРЫ МОДЕЛИ

Выбор модели

7. Тонкий образец с непроводящим подслоем

ОБРАЗЕЦ

$s = 1$ $d = 1.8$

$k = 1.124$

$$\rho = 2\pi \frac{s}{k} \cdot \frac{U}{I}$$

$$k = 1 + 4 \frac{s}{d} \sum_{n=1}^{\infty} \left[\frac{1}{\sqrt{\left(\frac{s}{d}\right)^2 + (2n)^2}} - \frac{1}{\sqrt{\left(2\frac{s}{d}\right)^2 + (2n)^2}} \right]$$

ПАРАМЕТРЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Уровень источника: 500 мВ

Частота сигнала, Гц: 1000

Кол-во усреднений: 30

Задержка старта, с: 0.0

ВЫПОЛНЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ

| | | |
|----------------------------|---------------------------|----------------|
| Ток (I) | Напряжение (U) | |
| 4.8314 мА | 972.7791 нВ | |
| Сопrotивление (R) | Мощность (P) | |
| 201.3454 мкОм | 4.6999 нВт | |
| Время замера (t) | Сдвиг фаз (φ) | Отклонение (ε) |
| 9.642 с | 27.5° | 9.63 % |
| Удельное сопротивление (ρ) | Удельная проводимость (G) | |
| 1.1255 мкОм·м | 888.4572 кСм/м | |

Мониторинг

Измерить

Выбор модели измерения

Мнемосхема модели

Поле параметров и формул модели

Настройки измерения

Поля результатов



Рис. 8 Интерфейс вкладки «4-х зондовые измерения»

Таблица 1. Заявленные и измеренные методом Кельвина на переменном токе значения удельных сопротивлений различных образцов кремниевых пластинок

| № | Заявленное значение, Ом·см | Измеренное значение, Ом·см |
|----------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| 1 | 0.0010 | 0.0011±0.19% |
| 2 | 0.0080 | 0.0070±0.44% |
| 3 | 1.0000 | 1.0051±4.87% |
| 4 | 7.5000 | 6.2866±7.28% |
| 5 | 160.0000 | 85.0328±10.44% |

Спасибо за внимание!