



УДК 539.2

## АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ РЕГИСТРАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБЪЁМНЫХ И ПЛЁНОЧНЫХ ОБРАЗЦОВ ПОЛУПРОВОДНИКОВ И ДИЭЛЕКТРИКОВ

А.Ю. Алейников, В.С. Захвалинский, И.В. Каменев

Белгородский государственный университет,  
ул. Победы, 85, Белгород, 308007, Россия e-mail: aleinikov@bsu.edu.ru

**Аннотация.** Разработан аппаратно-программный комплекс для автоматизированной регистрации электрических характеристик объемных и пленочных образцов полупроводников и диэлектриков. АПК создан на основе микроконтроллера atmega16 и аналогово-цифрового преобразователя AD7194. Его использование позволяет производить измерения температурной зависимости электрической проводимости и коэффициента Холла [1] полупроводников и диэлектриков. Измерения на компьютер передаются через USB порт.

**Ключевые слова:** коэффициент Холла, аналогово-цифровой преобразователь, схема электрическая принципиальная, микроконтроллер.

**1. Введение.** В настоящее время ведутся активные поиски новых материалов электроники и для создания устройств возобновляемой энергетики, в том числе создания ячеек солнечных элементов. Для отработки технологии синтеза, а также в процессе реализации приборных структур производятся экспериментальные исследования электрических характеристик и свойств полупроводниковых материалов, а также их зависимости от внешних факторов.

Одним из методов исследований температурных зависимостей электропроводности и коэффициента Холла является использование четырех-зондовой схемы и её расширенного варианта – шести-зондовой схемы. Через образец пропускается и поддерживается постоянный ток и регистрируются падения напряжений между двумя парами продольных и двумя парами поперечных зондов. Использование постоянного магнита 1Тл. позволяет, на основе этих данных определить, подвижность и концентрацию носителей заряда. Проведение измерений при изменении температуры в интервале 7.8 К и 300 К, с учётом напряженности магнитного поля и величины тока позволяет оценить механизмы электропроводности [1].

**2. Структура аппаратно-программного комплекса.** Структурная схема аппаратно-программного комплекса регистрации приведена на рис. 1.

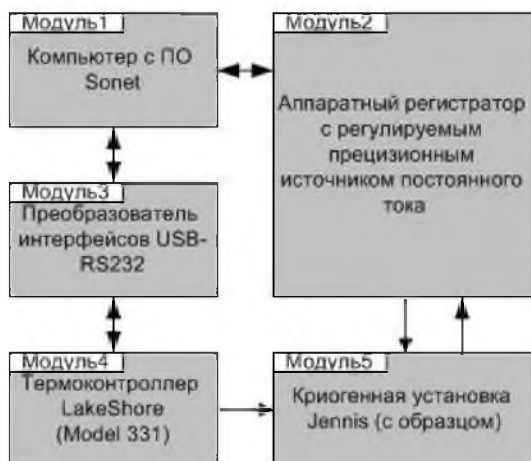


Рис. 1. Структурная схема аппаратно-программного комплекса

В состав аппаратно-программного комплекса входят 5 модулей. Основой является аппаратный регистратор (Модуль 2), который позволяет задавать ток через образец, и регистрировать напряжения в четырех точках (максимальное количество точек(каналов) у регистратора- 8) образца в разных комбинациях. Регистратором управляет программа, установленная на компьютере и работающая под управлением OS Windows XP, к которому он подключается посредством USB интерфейса. Программа принимает и обрабатывает полученные данные от регистратора. Также в функции программного обеспечения входит управление термоконтроллером (Модуль 4), подсоединенным к компьютеру посредством преобразователя интерфейсов. (Модуль 3). Термоконтроллер управляет температурой образца, помещенного в криогенную установку Jennis (Модуль 5).

**3. Реализация аппаратной части комплекса (регистратора).** Структурная схема аппаратной части комплекса приведена на рис. 2.

Основой схемы является 8-и битный микроконтроллер фирмы Atmel [3] (Модуль 1). Он работает под управлением зашитой в его flash памяти программы. Для обмена данными с компьютером посредством интерфейса UART контроллер соединяется с преобразователем интерфейса UART-USB (Модуль 3). Для задач отладки программного обеспечения контроллера предусмотрена клавиатура (Модуль 2) и жидкокристаллический дисплей (Модуль 5). Питание логической части схемы (мод.1,2,3,4,5) осуществляется напряжением 5В по интерфейсу USB. Питание остальной части схемы осуществляется от батареи типа «крона», преобразованном посредством модуля 9 в напряжение 5 В. Через модуль гальванической развязки (Модуль 4) посредством интерфейса SPI микроконтроллер соединяется с АЦП [4] (модуль 6). Для задач АЦП в схему введен источник опорного напряжения 2.048В.[5] (Модуль 7). Регулируемый источник стабильного тока представлен в схеме модулем 8.

Схема электрическая принципиальная логической части схемы приведена на рис. 3.

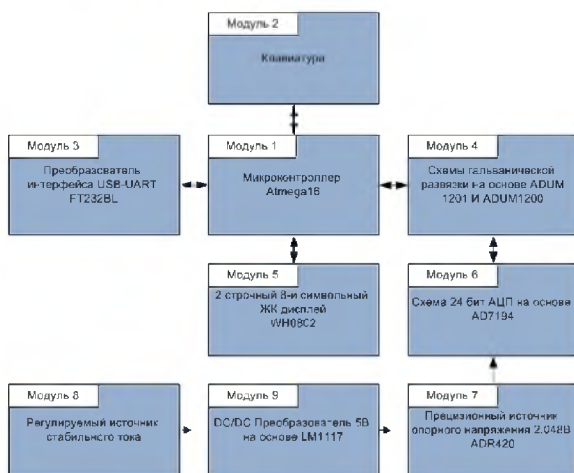


Рис. 2. Структурная схема аппаратно-программного комплекса

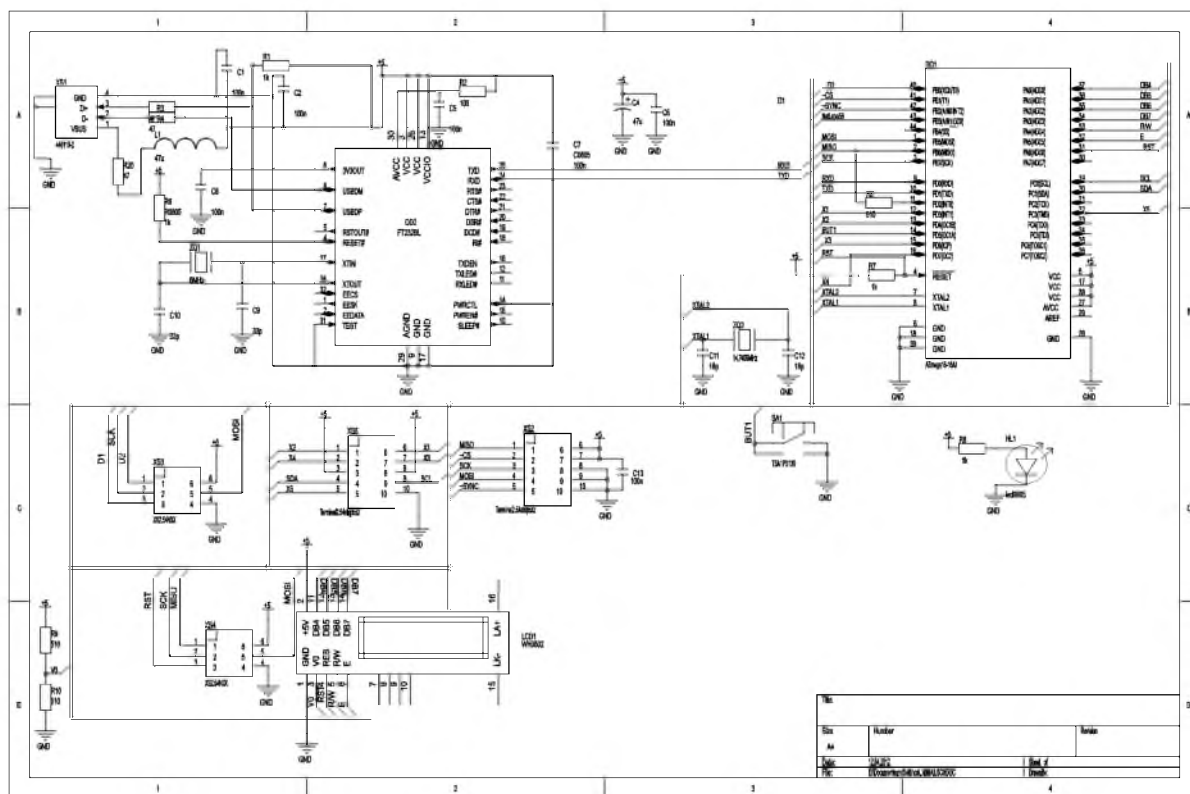


Рис. 3. Схема электрическая логической части схемы

Микроконтроллер работает на частоте 14,7456 МГц, стабилизированной кварцевым резонатором ZQ2. Программирование контроллера осуществляется посредством интерфейса ICSP через разъем XS4 посредством программатора AVRISP2. Соединение с пре-

образователем интерфейса DD2 осуществляется через цепи RXD и TXD. Частота работы DD2 стабилизируется кварцевым резонатором ZQ1 и составляет 6 МГц. Номиналы буферных емкостей C9, C10, C11, C12 выбираются исходя из рекомендаций, представленных в технических описаниях на соответствующие микросхемы. Посредством цепочки R9, R10 задается контрастность дисплея. Посредством разъема XS2 к устройству присоединяется АЦП.

Схема электрическая принципиальная модуля АЦП с сопутствующими модулями приведена на рис. 4.

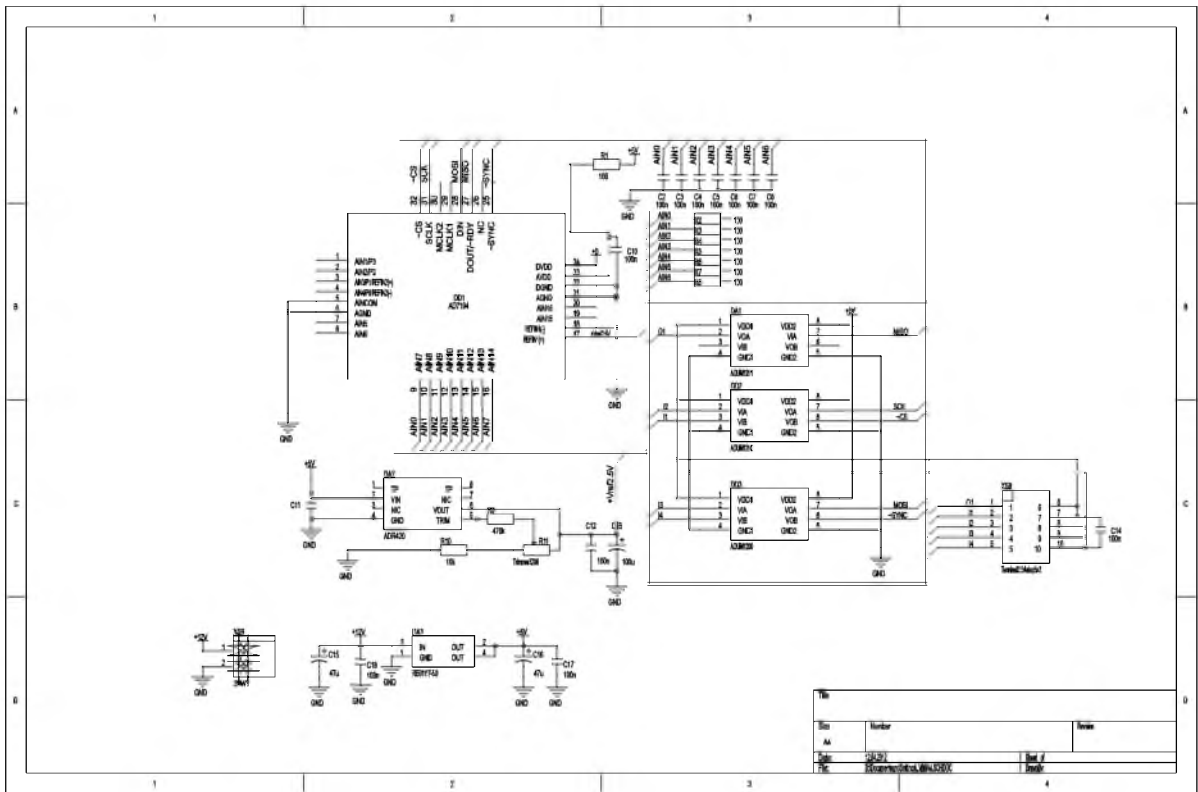


Рис. 4. Схема электрическая принципиальная модуля АЦП с сопутствующими узлами

В качестве АЦП использована микросхема AD7194 с разрядностью 24 бита и возможностью проведения преобразований напряжения в любой комбинации входов посредством встроенного аналогового мультиплексора. АЦП работает на частоте встроенного генератора 4.92 МГц. Питание аналоговой части АЦП осуществляется через фильтр низких частот R1, C10. Аналоговые сигналы, подлежащие измерению подаются также через RC фильтры низких частот, собранные на элементах C2-C8, R2-R8. Посредством резистора R11 осуществляется юстировка источника опорного напряжения DA2. Питание схемы стабилизируется посредством элемента DA3.

Зависимость между цифровым кодом с АЦП и напряжением при использовании источника опорного напряжения 2.048 В представлена формулой 1[4].

$$\text{КОД} = 2^{23} \left( U_{\text{вх}} \frac{K_{\text{ус}}}{2.048} + 1 \right), \quad (1)$$

где:

КОД – цифровой код с АЦП;

$U_{\text{вх}}$  – входное напряжение на соответствующем канале;

$K_{\text{ус}}$  – коэффициент усиления.

Схема электрическая принципиальная источника стабильного тока приведена на рис. 5 [2,6].

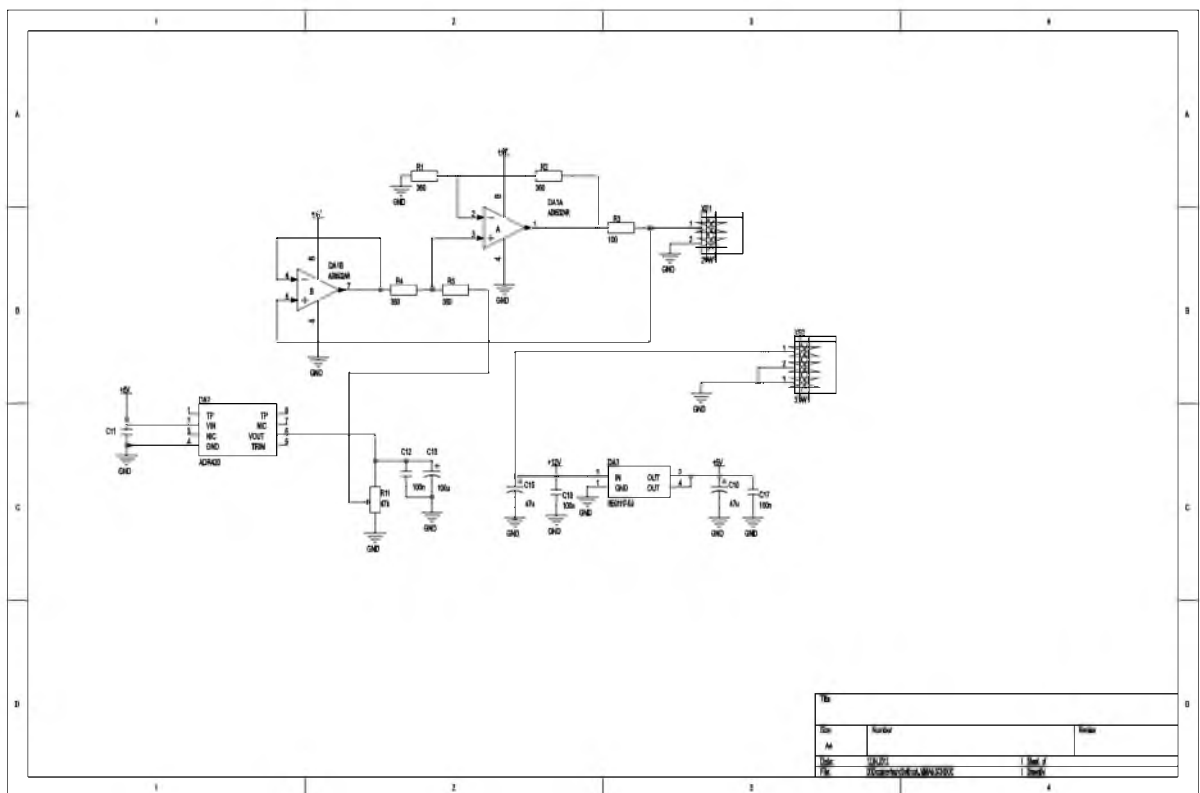


Рис. 5. Схема электрическая принципиальная источника стабильного тока

Источник стабильного тока собран на основе двойного операционного усилителя DA1. Регулировка тока осуществляется посредством резистора R11. Питание схемы осуществляется через стабилизатор DA3. Ток на выходе схемы будет прямо пропорционален напряжению с источника опорного напряжения DA2 умноженному на коэффициент деления, создаваемый потенциометром R11 и обратно пропорционален сопротивлению резистора R3.

При проектировании аппаратной части было использовано следующее программное обеспечение:



- САПР Altium Designer (проектирование схем электрических принципиальных и печатных плат);
- Компилятор WinAVR и IDE AVRStudio (проектирование программного обеспечения для микроконтроллера);

**4. Технические характеристики регистратора** Разработанный регистратор имеет следующие технические, эксплуатационные и экономические характеристики (табл. 1)

Таблица 1

Характеристики регистратора

№	Характеристика (параметр)	Значение
1	Количество аппаратно реализованных каналов	8
2	Максимальное входное биполярное напряжение	2.048 В
3	Тип входных пар каналов	Дифференциальный
4	Разрядность АЦП	24 бит
5	Возможность внутреннего усиления входного сигнала	x1,x8,x16,x32,x64,x128
6	Диапазон рабочих температур	-40+105 градусов Цельсия
7	Тип аппаратного фильтра	RC
8	Напряжение питания	5 В от USB интерфейса (логическая часть +9 В от внешней батареи питания (измерительная часть)
9	Наличие гальванической развязки между логической и измерительной частью	Присутствует
10	Интерфейс для обмена данными с компьютером	USB
11	Максимальный ток на выходе источника тока (при данных номиналах элементов)	25 мА
12	Способ задания тока через образец	Ручная регулировка
13	Максимальное напряжение с источника тока через образец	2.048В
14	Потребляемый ток части схемы, отвечающей за задание тока через образец и аналогово-цифровое преобразование	Не более 30 мА
15	Максимальный входной аналоговый ток на каждом канале	2нА

**5. Выводы.** Таким образом технические характеристики созданного комплекса регистратора на базе 8-и битного микроконтроллера фирмы Atmel и микросхемы AD7194 используемой в качестве АЦП позволяют решить несколько задач связанных с измере-



ниями температурных зависимостей удельного сопротивления и коэффициента Холла в полупроводниках. Решается задача коммутации шестизондовой схемы образца, с одновременным аналогово-цифровым преобразованием шести каналов, отображением и регистрации результатов измерений в компьютере. Кроме того с регистрацией и управлением текущей температуры и тока образца.

Фактически комплекс заменяет 4 измерителя высокого класса и устройство сопряжения с компьютером. При этом полученные входные характеристики сопоставимы с аналогичными современных измерительных приборов высокого класса.

Настоящая работа была поддержана Государственным Контрактом 2.3309.2011.

### Литература

1. Шалимова К.В. Физика полупроводников / М.: Энергоатомиздат, 1985. – 392 с.
2. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники. тт. 1-2 / М.: Мир, 1998. – 700 с.
3. 8-bit Microcontroller with 16K Bytes In-System Programmable Flash. Datasheet on Atmega16 chip by Atmel INC, 316 p.
4. 8-Channel, 4.8 kHz, Ultralow Noise, 24-Bit Sigma-Delta ADC with PGA. Datasheet on AD7194 chip by Analog Devices INC, 56 p.
5. Ultraprecision Low Noise, 2.048 V/2.500 V/3.00 V/5.00 V XFET® Voltage References. Datasheet on ADR420/ADR421/ADR423/ADR425 chips by Analog Devices INC, 17 p.
6. Zero-Drift, Single-Supply, Rail-to-Rail Input/Output Operational Amplifiers. Datasheet on AD8571/AD8572/AD8574 chips by Analog Devices INC, 20 p.

### HARDWARE-SOFTWARE SYSTEM FOR AUTOMATED REGISTRATION OF THE ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF BULK SAMPLES AND THIN-FILM SEMICONDUCTORS AND DIELECTRICS

A.U. Aleynikov, V.S. Zakhvalinskii, I.V. Kamenev

Belgorod State University,  
Belgorod State University, Pobeda 85, Belgorod, 308015, Russia e-mail: aleinikov@bsu.edu.ru

**Abstract.** Hardware-software system for automated registration of the electrical characteristics of bulk samples and thin-film semiconductors and dielectrics was designed. Hardware-software system constructed on the basis of atmega16 microcontroller and AD7194 analog to digital convertor. Using of the complex allows to carry out measurement of the temperature dependence of electrical conductivity and Hall's coefficient in semiconductors and insulators. The measurement results are transferred via the USB port on computer.

**Key words:** Hall's coefficient, analog to digital convertor, schematic diagram, microcontroller.