

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ВОЛЬТ-АМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ

**Студент Д.С. Прокопенко,
канд. техн. наук, доцент Р.В. Зайцев,
канд. техн. наук, научный сотрудник М.В. Кириченко**
Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт», г. Харьков

Рассмотрены основные принципы создания измерительного комплекса на основе микроконтроллера Atmel ATmega32. Был создан исследовательский образец комплекса для измерения вольт-амперных характеристик полупроводниковых приборов и проведена его апробация.

Ключевые слова: вольт-амперная характеристика; микроконтроллер; измерительный комплекс

AUTOMATED MEASUREMENT SYSTEM OF SEMICONDUCTORS CURRENT-VOLTAGE CHARACTERISTICS

**Student D.S. Prokopenko,
Ph.D. in Technical Science, Associate Professor R.V. Zaitsev,
Ph.D. in Technical Science, Associate Professor M.V. Kirichenko**
National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkov

The article describes the basic principles of measuring complex based on microcontroller Atmel ATmega32. Was established research sample for measurement of current-voltage characteristics of semiconductor devices and held his approbation.

Keywords: current-voltage characteristics; microcontroller; measuring complex.

В связи с постоянным ростом объемов производства фотоэлектрических преобразователей (ФЭП) солнечной энергии задача проведения экспрессной, экономичной и достоверной аттестации таких приборов как на этапе разработки и совершенствования, так и на этапе производства приобретает особую важность. Основной и наиболее применяемой методикой аттестации ФЭП остаются измерение и аналитическая обработка световых вольт-амперных характеристик (ВАХ) для получения выходных параметров и КПД приборов. В настоящее время за рубежом разработан целый ряд компьютеризированных комплексов, позволяющих производить автоматизированное

измерение и аналитическую обработку ВАХ с высокой точностью. Однако данные комплексы отличаются крайне высокой ценой и высокой сложностью, что исключает их использование отечественными разработчиками.

Современные успехи в развитии микроэлектроники, в частности создание достаточно мощных и дешевых микроконтроллеров и компьютеров с ARM и AVR [1–5] архитектурой, позволяют определить целью данной работы создание измерительного автоматизированного комплекса на основе микроконтроллера для экспрессной аттестации ФЭП по их ВАХ с достаточно высокой точностью при сохранении низкой стоимости комплекса.

Предлагаемый комплекс выполнен в виде приставки к персональному компьютеру (ПК) и схемотехнически состоит из двух блоков: управляющего и измерительного. Управляющий блок обеспечивает преобразование поступающего от ПК управляющего цифрового сигнала в аналоговую форму и его дальнейшую подачу на исполнительные элементы для создания требуемых физических условий проведения эксперимента. В измерительном блоке на аппаратном уровне реализованы принципы измерения физических параметров исследуемого образца, например тока и напряжения, и их последующее преобразование в цифровую форму для дальнейшей передачи на ПК. Обмен цифровой информацией с установленной на ПК программой управления и обработки данных производится по стандартному интерфейсу USB.

Конструктивно управляющий блок основан на серийном микроконтроллере ATmega32 [6], с прошивкой прозрачного программного обеспечения, аналогичного программам типа «framework» [7], для обеспечения полного контроля над процессами со стороны программы управления и обработки данных на ПК. Электрическая принципиальная схема микроконтроллерной части блока управления измерительного комплекса приведена на рис. 1.

К микроконтроллеру последовательно подключены 10 разрядный цифро-аналоговый преобразователь Analog Devices AD7533 [8] (аналог КР572ПА1) и необходимые операционные усилители, например Texas Instruments LM358 [9] (аналог 154УД3). Указанная последовательность включения позволяет на выходе блока задавать напряжение в диапазоне ± 12 В при токе до 1 А с минимальным шагом

около 5 мВ, чего вполне достаточно для проведения исследований ВАХ широкого ассортимента ФЭП различной конструкции. Электрическая принципиальная схема блока управления в целом приведена на рис. 2.

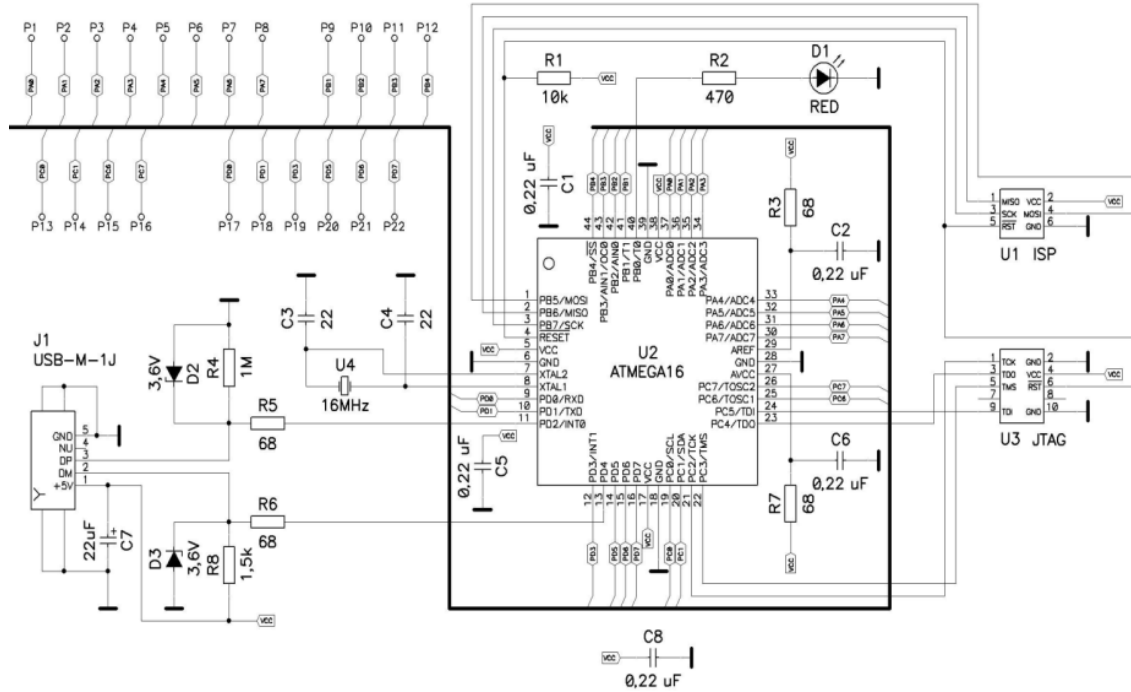


Рис. 1. Электрическая принципиальная схема микроконтроллерной части блока управления измерительного комплекса

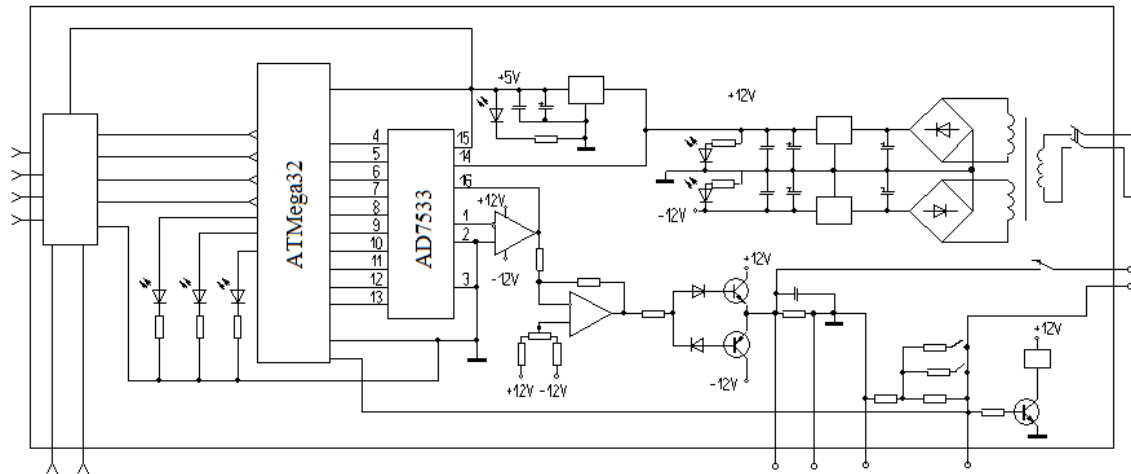


Рис. 2. Электрическая принципиальная схема блока управления в целом

Измерительный блок, во избежание внесения дополнительной погрешности, было решено выполнить на основе калиброванных измерительных приборов, изготавливаемых промышленно, например

типа Mastech MS8040, которые имеют цифровой выход по интерфейсу RS232C [10]. При измерении ВАХ ФЭП данные приборы способны выполнять функции измерителей напряжения и тока, а подключенный к ним микроконтроллер обеспечивает преобразование сигналов в цифровую форму и его дальнейшую передачу на ПК по интерфейсу USB.

По предложенным принципиальным схемам был изготовлен измерительный комплекс «Ампер» и разработано необходимое программное обеспечение для управления процессом и обработки, и хранения полученных результатов. Общий вид фронтальной панели измерительного комплекса приведен на рис. 3, вид главного окна управляющей программы приведен на рис. 4. А на рис. 5 приведен вид измерительного комплекса в целом для проведения исследований вольт-амперных характеристик.



Рис. 3. Общий вид фронтальной панели измерительного комплекса «Ампер»

После завершения создания комплекса была проведена его апробация на вольт-амперных характеристиках ключевых элементов электронной техники, таких как резисторы, диоды, фотоэлектрические преобразователи. По результатам проведенной апробации были получены ВАХ исследуемых элементов, измеренных с помощью разработанного комплекса, а также с помощью классических приборов: характериографа, осциллографа, мостов постоянного тока и др. По результатам исследования ВАХ резисторов были получены значения сопротивлений и соответствующие рассчитанные погрешности измерения, приведенные в табл. 1.

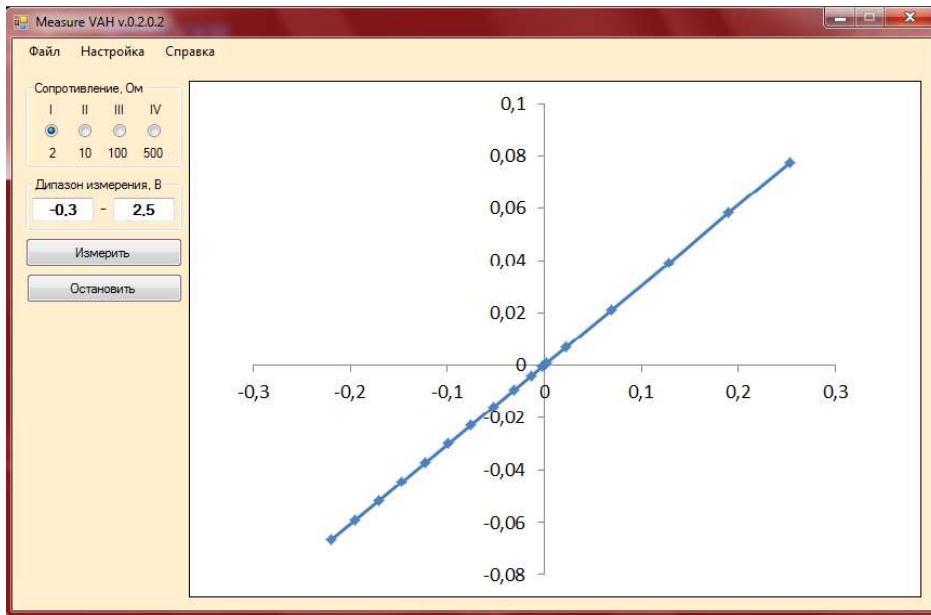


Рис. 4. Вид главного окна программы управления измерительным комплексом



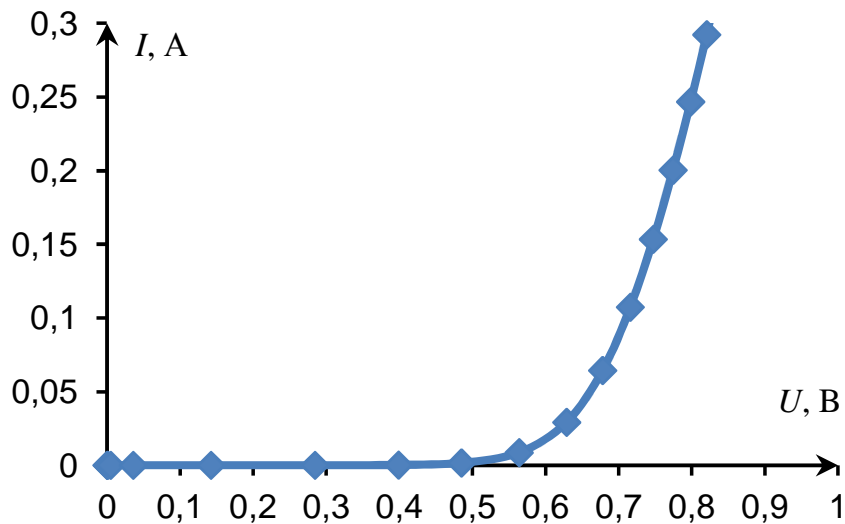
Рис. 5. Вид измерительного комплекса «Ампер» в целом для проведения исследований вольт-амперных характеристик

Таблица 1

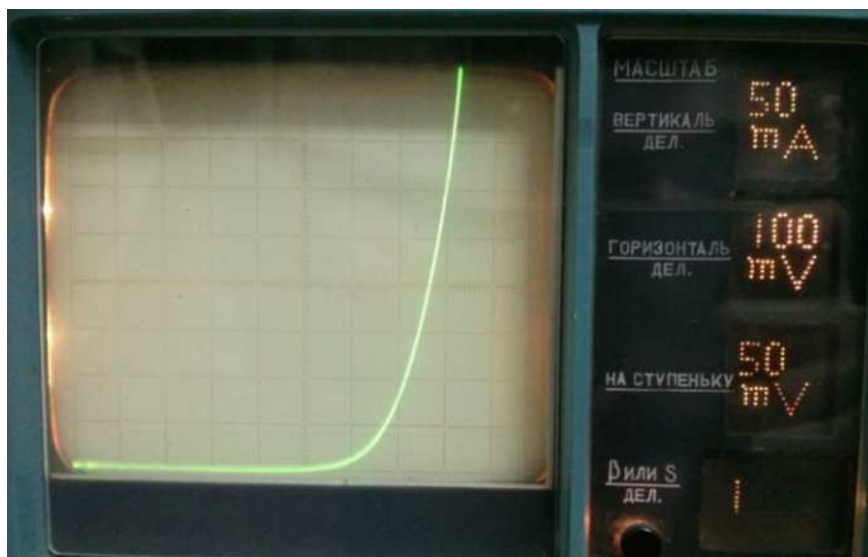
Значения сопротивлений резисторов, определенные при помощи моста постоянного тока P4833 R_p и при помощи комплекса «Ампер» R_A , а также рассчитанные значения погрешности измерения комплекса δ

R_p , Ом	R_A , Ом	δ , %
1991	2045	1,01
10,13	10,15	0,18
3,33	3,28	1,01

Наряду с резисторами апробация проводилась путем сравнения ВАХ полупроводниковых диодов, например КД208. Полученные ВАХ диода с помощью комплекса «Ампер» и характериографа Л2-56 приведены на рис. 6, *а* и *б*, соответственно.



а



б

Рис. 6. Полученные ВАХ полупроводникового диода КД208:
а – с помощью комплекса «Ампер»; *б* – с помощью характериографа Л2-56

По полученным ВАХ, приведенным на рис. 6, был проведен расчет погрешности измерения, усреднен по всем точками ВАХ. Усредненная погрешность измерения ВАХ диода не превышает 1 % при максимальном отклонении 1,3 %.

Также апробация проводилась при исследовании световых вольт-амперных характеристик поликристаллических кремниевых фотоэлектрических преобразователей производства Yingli Solar [10]. На рис. 7 приведены ВАХ типового образца фотоэлектрического преобразователя, полученные с помощью комплекса «Ампер» и с помощью классического метода против-ЭДС, измеренного в ручном режиме.

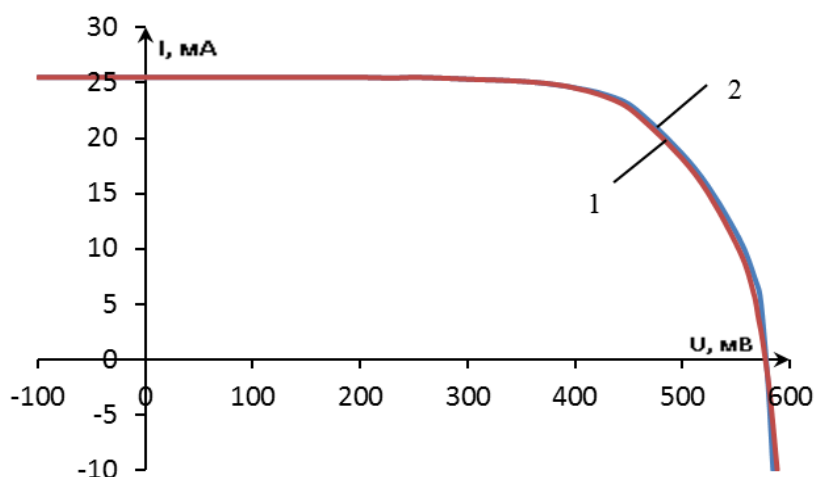


Рис. 7. ВАХ типового образца поликристаллического кремниевое фотоэлектрического преобразователя: 1 – измеренная с помощью комплекса «Ампер»; 2 – измеренная в ручном режиме

Полученные ВАХ фотоэлектрического преобразователя были обработаны с помощью авторского специализированного программного обеспечения с целью получения выходных и диодных параметров, значения которых приведены в табл. 2.

Таблица 2

Значения выходных и диодных параметров фотоэлектрического преобразователя, определенные с помощью метода против-ЭДС в ручном режиме и с помощью комплекса «Ампер»

Параметр	Ручной режим	Комплекс «Ампер»
КПД, %	10,18	10,25
U_{xx} , мВ	581	585
$I_{кз}$, мА	256	256
FF, отн. ед	0,69	0,69
$P_{нм}$, мВт	102	102
$R_{п}$, Ом	0,114	0,115
$R_{ш}$, кОм	15,6	15,3
A, отн. ед	2,29	2,31
I_0 , А	$1,34 \cdot 10^{-6}$	$1,37 \cdot 10^{-6}$

Ключевым параметром оценки качества фотоэлектрических преобразователей является их КПД, поэтому оценку погрешности измерения проводили именно по этой величине. Расчет погрешности по КПД позволил установить, что погрешность измерения не превышает 0,7 %.

Таким образом, можно сделать вывод, что предложенный измерительный комплекс способен обеспечить проведение экспрессной и экономической аттестации широкого ассортимента приборов электронной техники, в частности фотоэлектрических преобразователей, с достаточно высокой точностью при средней погрешности измерения не больше 1 % путем измерения и последующей аналитической обработки темновых и световых вольт-амперных характеристик исследуемых приборов.

Библиографический список

1. Mostafa G. Development of an 8-bit RISC microcontroller learning kit using Atmel ATmega32 architecture // Advances in Electrical Engineering (ICAEE). International Conference on 19–21 Dec. 2013. – P. 154–159.

2. Wei Zhang, Lin Yi. The design of ATmega32 MCU SPI and MAX191 serial A/D communication // Business Management and Electronic Information (BMEI). International Conference on 13–15 May 2011. – Vol. 2. – P. 526–528.

3. Zhu Zhengwei, Zhao Huihui, Shen Lin. Design of Multi-machine Communication System Based on TWI // Electrical and Control Engineering (ICECE). International Conference on 25–27 June 2010. – P. 3590–3593.

4. Joseph Yiu The Definitive Guide to ARM® Cortex®-M3 and Cortex®-M4 Processors, Third Edition. – Burlington: Elsevier, 2007.

5. Jonathan W. Valvano Embedded Systems: Real-Time Interfacing to the Arm Cortex-M Microcontrollers. – CreateSpace Independent Publishing Platform, 2011.

6. Datasheet ATMega32. – URL: <http://www.atmel.com/devices/ATMEGA32.aspx>

7. Кухтецкий С. AVR-USB-MEGA16: быстрая разработка USB приложений на C# при помощи класса-обертки ATMega16. – URL: <http://microsin.ru/content/view/812/44/>.

8. Datasheet Analog Devices AD7533. – URL: http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD7533.pdf.

9. Datasheet Texas Instruments LM358. – URL: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm358.pdf>

10. Yingli Solar // official site. – URL: <http://www.yinglisolar.com/>