

Оценка погрешностей прототипа вольтметра на базе микроконтроллера ATmega8 и виртуальной модели вольтметра в среде Proteus

Кирилл Валерьевич Епифанцев^{1✉}, Николай Юрьевич Ефремов², Мария Максимовна Шишкова³

^{1, 2, 3} Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург, Россия

¹epifancew@gmail.com ✉, <https://orcid.org/0000-0002-5705-0282>

²nikolajefremov@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6265-7302>

³kolmarden99@gmail.com

Аннотация. Рассмотрены особенности разработки прототипов и виртуальных моделей средств измерений. Исследованы погрешности двух вольтметров постоянного тока – прототипа на макетной плате и его виртуальной модели. Прототип вольтметра реализован на микроконтроллере ATmega8 с четырёхразрядным индикатором, виртуальная модель разработана в среде Proteus и полностью повторяет принципиальную схему прототипа. В качестве эталонных средств калибровки вольтметров использованы источник питания GW Instek GPC и лабораторный мультиметр VOLTcraft MXD. Оценены абсолютная и относительная погрешности прототипа и виртуальной модели вольтметра в диапазоне 0–6 В. Установлено, что в диапазоне 0–1 В высокая относительная погрешность измерения напряжения прототипом вольтметра обусловлена влиянием погрешности установки напряжения источника питания, а также отклонениями от номиналов действительных значений параметров элементов схемы. Минимальная относительная погрешность измерения напряжения прототипом вольтметра составила менее 1 % в диапазоне 5–6 В. Проведён сравнительный анализ результатов оценки погрешностей прототипа и виртуальной модели вольтметра и сделан вывод о сравнимой точности виртуальной модели и реального прототипа при равных параметрах качества электроэнергии. Полученные результаты будут полезны при исследованиях качества напряжения на этапах разработки прототипов и виртуальных моделей средств измерений других типов.

Ключевые слова: погрешность измерений, вольтметр, макетная плата, микроконтроллер, прототип, виртуальная модель, Proteus, мультиметр

Для цитирования: Епифанцев К. В., Ефремов Н. Ю., Шишкова М. М. Оценка погрешностей прототипа вольтметра на базе микроконтроллера ATmega8 и виртуальной модели вольтметра в среде Proteus // Измерительная техника. 2022. № 8. С. 58–61. <https://doi.org/10.32446/0368-1025it.2022-8-58-61>

Error estimation of voltmeter on ATmega8 Microcontroller and virtual device in Proteus

Kirill V. Epifantsev^{1✉}, Nikolay Yu. Efremov², Maria M. Shishkova³

^{1, 2, 3} St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, St. Petersburg, Russia

¹epifancew@gmail.com ✉, <https://orcid.org/0000-0002-5705-0282>

²nikolajefremov@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6265-7302>

³kolmarden99@gmail.com

Abstract. The problem of evaluation of metrological characteristics of prototypes and virtual measuring instruments is considered. In the article are presented results of a study of the measurement error of two DC voltmeters – a device on a prototyping board and a virtual voltmeter. The prototype is implemented on an ATmega8 microcontroller with a 4-bit indicator, the virtual device is developed in the Proteus environment and completely repeats the schematic diagram of the prototype. The GW Instek GPC power supply and the VOLTcraft MXD laboratory multimeter were used as reference tools. Estimates of the absolute and relative error of the prototype and the virtual device in the range of 0–6 V. A high level of error in the range up to 1 V was determined for the prototype. A comparative analysis of the results of error estimation of the two studied devices was carried out. The results obtained will be useful in planning and conducting similar studies of other types of measuring instruments in scientific and educational organizations.

Keywords: measurement error, voltmeter, prototyping board, microcontroller, prototypes, virtual measuring device, Proteus, multimeter

Введение. В настоящее время активно развивается область разработки и прикладного применения измерительных систем. Важнейшими элементами подобных систем

являются программно-аппаратные средства, обеспечивающие преобразование, обработку и отображение измерительной информации.

При создании прототипов средств измерений часто используют два инструмента – макетные платы и программные среды разработки виртуальных измерительных приборов [1, 2]. Их применяют на следующем за разработкой принципиальной схемы прибора этапе. Первый инструмент позволяет быстро и экономично реализовывать выбранную электрическую схему устройства, второй – выполнять предварительную проверку правильности и последующую отладку разработанной схемы. При этом разработанный виртуальный прибор можно использовать отдельно от прототипа.

Цифровые вольтметры – важнейшие среди электроизмерительных приборов. Для создания прототипов цифровых вольтметров используют различные микроконтроллеры, также моделирование вольтметров можно реализовать в нескольких программных средах, к которым относится Proteus [3].

Цель настоящего исследования – оценка погрешностей измерений напряжения прототипом вольтметра постоянного тока на базе микроконтроллера ATmega8 и с помощью виртуальной модели вольтметра, реализованной в среде Proteus.

Схема и принцип работы прототипа цифрового вольтметра. Структурная схема разработанного прототипа вольтметра постоянного тока приведена на рис. 1. Измеряемое напряжение $U_x = 0...20$ В поступает на делитель напряжения ДН, который уменьшает напряжение в 8 раз, чтобы избежать перегрузки на входе аналого-цифрового преобразователя (АЦП). АЦП преобразует поступающий аналоговый сигнал в 10-битный цифровой, который далее программно обрабатывается в микроконтроллере. Полученный после обработки цифровой код поступает в четырёхразрядный семисегментный индикатор И, на дисплее которого отображаются результаты измерения в числовом виде.

Согласно принципиальной схеме вольтметра (рис. 2) резисторы R_1 , R_2 , R_{13} и потенциометр R_3 формируют делитель напряжения. На базе микросхемы MC78L05A реализована цепь питания. Микроконтроллер ATmega8 содержит АЦП и программу обработки данных [4–6]. В качестве семисегментного индикатора выбран дисплей KW4-36AGB. Конденсаторы на схеме обозначены в номиналах напряжения, при этом их ёмкость варьируется в пределах 30–40 мкФ.

Программное обеспечение прототипа вольтметра реализовано на языке C в среде Atmel Studio. Алгоритм программы настраивает АЦП микроконтроллера для корректной работы, подключает необходимые библиотеки и реализует необходимое количество выборок для точных измерений. Прототип создан на макетной плате MB-2102. Для загрузки файла прошивки в микроконтроллер использованы программатор USBasp и утилита Avrdude.

Описание виртуальной модели вольтметра. Виртуальная модель исследуемого вольтметра реализована в среде Proteus 8 Professional [7, 8]. Для добавления в схему элементов необходимо найти их модели в библиотеке компонентов. Все элементы схемы устройства (микроконтроллер, резисторы,

конденсаторы, батарея питания, индикатор) добавлены на схему моделируемого вольтметра. Таким образом, виртуальный вольтметр полностью аналогичен прототипу на макетной плате (см. рис. 2).

После создания виртуальной модели и загрузки прошивки в микроконтроллер прототипа вольтметра запускается симуляция в среде Proteus 8 Professional. При подаче напряжения номиналом 17 В светодиодный индикатор показывает значение измеряемого напряжения 17,04 В, однако на встроенном вольтметре отображается значение 17 В.

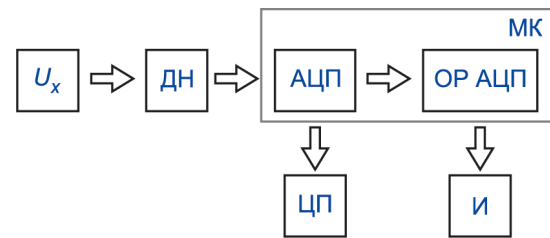


Рис. 1. Структурная схема вольтметра:
 U_x – измеряемое напряжение; ДН – делитель напряжения; МК – микроконтроллер; АЦП – аналого-цифровой преобразователь; ОР АЦП – блок обработки результата на выходе АЦП; ЦП – цепь питания; И – индикатор

Fig. 1. Block diagram of a voltmeter:
 U_x – measured voltage; VD – voltage divider; MC – microcontroller; ADC – analog-to-digital converter; PR ADC – processing of the result at the output of the ADC; PSC – power supply circuit; I – indicator

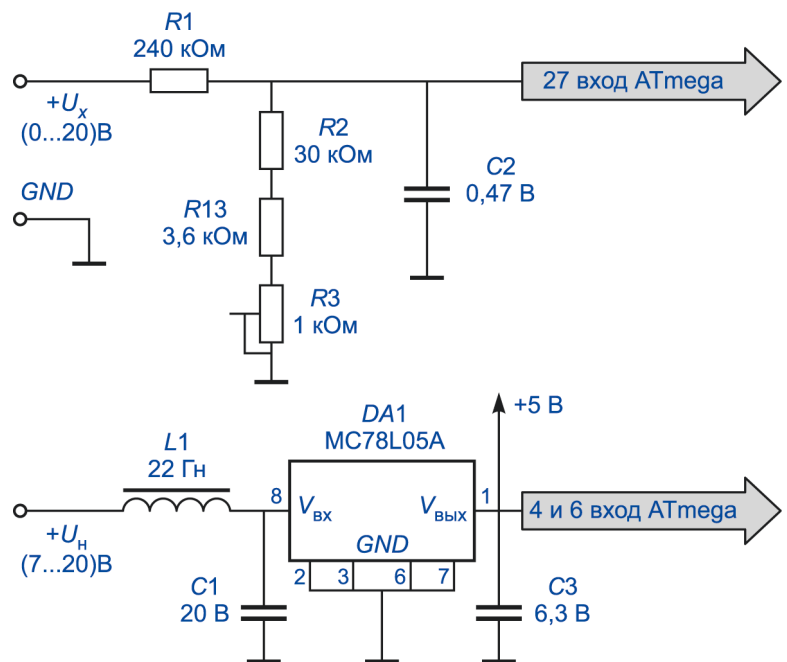


Рис. 2. Принципиальная схема вольтметра; стрелками указаны точки подключения к входам микроконтроллера; GND – заземление; DA1 – линейный стабилизатор напряжения

Fig. 2. Schematic diagram of the voltmeter. The arrows indicate the connection points to the microcontroller inputs; GND – Ground; DA1 – linear voltage stabilizer

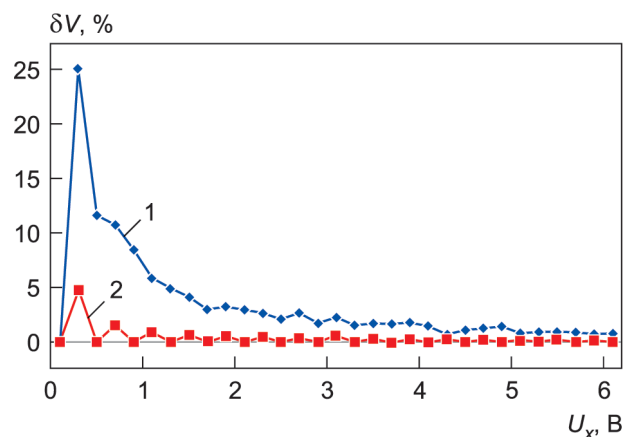


Рис. 3. Относительные погрешности измерения напряжения прототипом (1) и виртуальным вольтметром (2)

Fig. 3. Relative errors of voltage measurement by the prototype (1) and the virtual voltmeter (2)

Таблица 1

Результаты измерений напряжения прототипом и виртуальной моделью вольтметра

n_i	$U_x, \text{В}$	Прототип		Модель	
		$V_2, \text{В}$	$V_1, \text{В}$	$V_2, \text{В}$	$V_1, \text{В}$
1	0	0	0	0	0
2	0,20	0,24	0,18	0,21	0,20
3	0,4	0,43	0,38	0,42	0,42
4	0,6	0,65	0,58	0,63	0,62
5	0,8	0,83	0,76	0,84	0,84
6	1,00	1,02	0,96	1,05	1,04
7	1,20	1,22	1,16	1,26	1,26
8	1,40	1,45	1,39	1,47	1,46
9	1,60	1,67	1,62	1,68	1,68
10	1,80	1,85	1,79	1,89	1,88
11	2,00	2,03	1,97	2,10	2,10
12	2,20	2,23	2,17	2,31	2,30
13	2,40	2,41	2,36	2,52	2,52
14	2,60	2,63	2,56	2,73	2,72
15	2,80	2,82	2,77	2,94	2,94
16	3,00	3,07	3,00	3,15	3,13
17	3,20	3,23	3,18	3,36	3,36
18	3,40	3,45	3,39	3,57	3,56
19	3,60	3,65	3,59	3,78	3,78
20	3,80	3,87	3,8	3,99	3,98
21	4,00	4,06	4,00	4,20	4,20
22	4,20	4,21	4,18	4,41	4,40
23	4,40	4,41	4,36	4,62	4,62
24	4,60	4,66	4,60	4,83	4,82
25	4,80	4,87	4,80	5,04	5,04
26	5,00	5,00	4,96	5,25	5,24
27	5,20	5,27	5,22	5,46	5,46
28	5,40	5,43	5,38	5,67	5,66
29	5,60	5,63	5,58	5,88	5,88
30	5,80	5,81	5,77	6,09	6,08
31	6,00	6,06	6,01	6,30	6,30

Это значит, что существует погрешность, для уменьшения которой используют переменный резистор RV2 [9].

Основные результаты экспериментального исследования прототипа и виртуального вольтметра. Эксперимент основан на принципе одновременного измерения напряжения питания от источника GW Instek GPC-6030D с помощью подключённых параллельно нагрузке исследуемого вольтметра напряжением V_1 и лабораторного мультиметра Voltcraft MXD-4660A напряжением V_2 . Поставленная задача – в процессе измерений исключить метрологический отказ, свойственный оборудованию подобного типа.

Входное напряжение источника изменялось в диапазоне 0–6 В с шагом 0,2 В. На первом этапе эксперимента напряжение источника измеряли двумя вольтметрами: V_1 – измеряемое напряжение; V_2 – показания эталонного вольтметра. На втором этапе исследовали виртуальную модель вольтметра. Напряжение питания встроенного генератора (источника) изменялось в том же диапазоне и с тем же шагом, в качестве эталонного устройства применялся

Таблица 2

Погрешности измерений напряжения прототипом и виртуальной моделью вольтметра

n_i	$U_x, \text{В}$	Прототип		Модель	
		$\Delta V, \text{В}$	$\delta V, \%$	$\Delta V, \text{В}$	$\delta V, \%$
1	0	0	0	0	0
2	0,2	0,06	25,00	0,01	4,76
3	0,4	0,05	11,63	0	0
4	0,6	0,07	10,77	0,01	1,59
5	0,8	0,07	8,43	0	0
6	1,0	0,06	5,88	0,01	0,95
7	1,2	0,06	4,92	0	0
8	1,4	0,06	4,14	0,01	0,68
9	1,6	0,05	2,99	0	0
10	1,8	0,06	3,24	0,01	0,53
11	2,0	0,06	2,96	0	0
12	2,2	0,06	2,69	0,01	0,43
13	2,4	0,05	2,07	0	0
14	2,6	0,07	2,66	0,01	0,37
15	2,8	0,05	1,77	0	0
16	3,0	0,07	2,28	0,02	0,63
17	3,2	0,05	1,55	0	0
18	3,4	0,06	1,74	0,01	0,28
19	3,6	0,06	1,64	0	0
20	3,8	0,07	1,81	0,01	0,25
21	4,0	0,06	1,48	0	0
22	4,2	0,03	0,71	0,01	0,23
23	4,4	0,05	1,13	0	0
24	4,6	0,06	1,29	0,01	0,21
25	4,8	0,07	1,44	0	0
26	5,0	0,04	0,80	0,01	0,19
27	5,2	0,05	0,95	0	0
28	5,4	0,05	0,92	0,01	0,18
29	5,6	0,05	0,89	0	0
30	5,8	0,04	0,69	0,01	0,16
31	6,0	0,05	0,83	0	0

аппаратный вольтметр. Результаты измерений представлены в табл. 1, где n_i – номер измерения.

При обработке результатов измерений получены оценки абсолютной $\Delta V = |V_1 - V_2|$ и относительной $\delta V = \Delta V / V_2 \cdot 100$ погрешностей измерений. Результаты расчетов сведены в табл. 2.

Анализ результатов. Для сравнения уровней точности прототипа вольтметра и его виртуальной модели построены графики распределения значений относительной погрешности измерений напряжения от его значений (рис. 3). Для исследуемых параметров относительные погрешности изменяются идентичным образом. Согласно данным табл. 2 в начале измерений относительная погрешность прототипа достаточно велика ($\delta V = 25,0; 11,6\%$ при $n_i = 2$; 3 соответственно), однако с увеличением напряжения она уменьшается и достигает $\delta V = 0,83\%$ при $n_i = 31$. Это связано с влиянием погрешности установки напряжения источника питания, а также с отклонениями от номиналов действительных значений параметров элементов схемы прототипа (резисторов и конденсаторов). Сборка на макетной плате не может обеспечить хорошее соединение между элементами. Из-за этого возникает переходное сопротивление, влияющее на погрешность измерений. Также прототип подвержен негативному влиянию различного электромагнитного излучения, радиоволн и прочих помех.

Эксперимент с виртуальным вольтметром лишён перечисленных выше влияющих факторов. Современные вычислительные алгоритмы моделирования в программе Proteus 8 Professional позволяют измерить напряжение с более высокой точностью, чем реальным прибором. Однако определённая погрешность присуща и виртуальной модели. Она обусловлена недостаточно точной настройкой калибровочного резистора RV2 [1]. Средняя относительная погрешность измерения напряжения виртуальной моделью прибора меньше погрешности прототипа в 9,5 раза: 0,37 и 3,53 % соответственно.

Заключение. Проведённое исследование показало перспективность рассмотренного подхода к разработке и применению прототипов средств измерений на базе микроконтроллеров в условиях учебных лабораторий. Использование средств моделирования приборов позволяет проверить работоспособность схемы устройства до его сборки на макетной плате. Уровень точности разработанного макета следует признать удовлетворительным для эксперимента с первым образцом прототипа вольтметра.

Дальнейшие исследования будут направлены на повышение метрологических характеристик рассмотренного прототипа вольтметра, а также на разработку и изучение подобных электроизмерительных приборов.

Список источников

1. Хюммель Кристи, Ширман Сэм. Виртуальные приборы и проектирование DSP-систем // Компоненты и Технологии. 2008. № 3(80). С. 38–42.
2. Кудрявцев Н. Г., Курусканова А. А., Попов Ю. В. Об усовершенствовании макетных плат, используемых при прототипировании

на базе платформы ARDUINO // Информация и образование: границы коммуникаций INFO. 2018. № 10(18). С. 106–110.

3. Гёлль П. Как превратить персональный компьютер в измерительный комплекс: Пер. с франц. 2-е изд., испр. М.: ДМК Пресс, 2007. 144 с.
4. Королев Н. AVR-контроллеры: развитие семейства. Часть 1 // Компоненты и Технологии. 2010. № 5(106). С. 82–86.
5. Королев Н. Atmel: новые возможности пакета avr Studio // Компоненты и Технологии. 2011. № 10(123). С. 113–116.
6. Королев Н., Королев Д. AVR-микроконтроллеры: программные средства // Компоненты и Технологии. 2000. № 5. С. 24–26.
7. Филатов М. Разработка схемы электрической принципиальной в программной среде PROTEUS 8.1 // Компоненты и технологии. 2015. № 6(167). С. 128–135.
8. Васков А. С., Смирнов Б. И. Использование пакета Proteus для проектирования виртуальных моделей микропроцессорных устройств // Известия вузов России. Радиоэлектроника. 2013. № 2. С. 38–43.
9. Епифанцев К. В., Шишкова М. М. Аспекты разработки виртуального вольтметра на базе микроконтроллера Atmega8 // Сборник статей XXV Международной научной конференции «Волновая электроника и инфокоммуникационные системы» в 3-х частях. Санкт-Петербург, 30 мая – 3 июня 2022. С. 171–178.

References

1. Khyummel' Kristi, Shirman Sem, Virtual'nye pribory i proektirovanie DSP-sistem, *Komponenty i Tekhnologii*, 2008, no. 3(80), pp. 38–42. (In Russ.)
2. Kudryavtsev N. G., Kuruskanova A. A., Popov Yu. V., Ob usovershenstvovanii maketnykh plat, ispol'zuemykh pri protipirovanii na baze platformy ARDUINO, *Informaciya i obrazovanie: granicy kommunikacij INFO*, 2018, no. 10(18), pp. 106–110. (In Russ.)
3. Patrick Guelle, *Instrumentation Virtuelle pour PC*, DUNOD, 1998.
4. Korolev N., AVR-kontrollery: razvitie semeistva. Chast' 1, *Komponenty i Tekhnologii*, 2010, no. 5(106), pp. 82–86. (In Russ.)
5. Korolev N., Atmel: novye vozmozhnosti paketa avr Studio, *Komponenty i Tekhnologii*, 2011, no. 123, pp. 113–116. (In Russ.)
6. Korolev N., Korolev D., AVR-mikrokontrollery: programmnye sredstva, *Komponenty i Tekhnologii*, 2000, no. 5, pp. 24–26. (In Russ.)
7. Filatov M., Razrabotka skhemy elektricheskoi printsipial'noi v programmnoi srede PROTEUS 8.1, *Komponenty i tekhnologii*, 2015, no. 6(167), pp. 128–135.
8. Vas'kov A. S., Smirnov B. I., Ispol'zovanie paketa Proteus dlya proektirovaniya virtual'nykh modelej mikroprocessornykh ustroystv, *Izvestiya vuzov Rossii. Radioelektronika*, 2013, no. 2, pp. 38–43. (In Russ.)
9. Epifantsev K. V., Shishkova M. M., Aspects of the development of a virtual voltmeter based on the Atmega8 microcontroller, *Collection of articles of the XXV International Scientific Conference "Wave electronics and infocommunication systems"* in 3 parts, St. Petersburg, May 30 – June 3 2022, pp. 171–178.

Статья поступила в редакцию 06.06.2022; одобрена после рецензирования 21.06.2022; принята к публикации 23.06.2022.
The article was submitted 06.06.2022; approved after reviewing 21.06.2022; accepted for publication 23.06.2022.