

УДК 681.322

**И.Н. Носов, В.Н. Зеров**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, г. Пермь

## **СИМУЛЯЦИЯ РАБОТЫ ЗАРЯДНОГО УСТРОЙСТВА НА БАЗЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА В PROTEUS VSM**

В данной статье рассмотрен процесс симуляции работы схемы силовой и управляющей частей автоматизированного зарядного устройства для свинцово-кислотных аккумуляторов в среде Proteus VSM. А также проанализированы основные показания с датчиков тока и осциллограммы, снимаемые с пинов микроконтроллера в процессе симуляции. Указаны основные недочеты схемы на момент проектирования, которые удалось выявить с помощью симуляции в Proteus VSM.

**Ключевые слова:** PROTEUS, симуляция, микроконтроллер, синусоида, аппаратные прерывания.

**I.N. Nosov, V.N. Zerov**

Perm national research polytechnic university, Perm

## **SIMULATING THE OPERATION OF A MICROCONTROLLER-BASED CHARGER IN PROTEUS**

This article discusses the process of simulating the operation of the power and control circuit of the automated charging device for lead-acid accumulators in Proteus VSM. The main readings from current sensors and oscillograms taken from the pins of the microcontroller during simulation are also analyzed. The main defects of the circuit at the time of design, which were identified using simulation in Proteus VSM, are indicated.

**Keywords:** PROTEUS, simulation, microcontroller, sinusoid, hardware interrupts.

При проектировании сложных принципиальных схем различных электронных устройств, в частности схем, содержащих микроконтроллеры, часто возникает потребность в проверке или же отладке их работы еще до сборки тестового образца устройства. Поэтому, когда перед нами была поставлена задача: разработать автоматизированное энергоэффективное зарядное устройство для свинцово-кислотных аккумуляторов, мы также столкнулись с необходимостью проведения испытаний отдельных блоков устройства.

Для разработки принципиальной схемы устройства и поэтапного запуска симуляции работы была выбрана система автоматизированного проектирования электронных схем (САПР), именуемая Proteus, разработанная компанией Labcenter Electronics (Великобритания).

Пакет представляет собой систему схемотехнического моделирования, базирующуюся на основе моделей электронных компонентов, принятых в PSpice.

Отличительной чертой пакета PROTEUS VSM является возможность моделирования работы программируемых устройств: микроконтроллеров, микропроцессоров, DSP. Пакет Proteus состоит из двух частей, двух подпрограмм: ISIS — программа синтеза и моделирования непосредственно электронных схем, которую мы и будем использовать, и ARES — программа разработки печатных плат [1].

Примечательной особенностью является то, что в ARES можно увидеть 3D-модель печатной платы, что позволяет разработчику оценить своё устройство ещё на стадии разработки, чем в дальнейшем мы и воспользуемся. А на данный момент времени устройство собирается на макетной плате, где важнее будет отрисовать все соединения на схеме так, чтобы они легко воспринимались с визуальной точки зрения с целью исключения ошибок при монтаже деталей.

Основными этапами стали написание и проверка алгоритмов управления силовой частью, а также корректировка считываемых значений с датчиков тока, поэтому в данной статье будет продемонстрировано, как это реализуется с применением программного обеспечения Proteus. Принципиальная электрическая схема зарядного устройства для проверки алгоритмов управления одним симистором без питающего блока микроконтроллера представлена на рисунке 1.

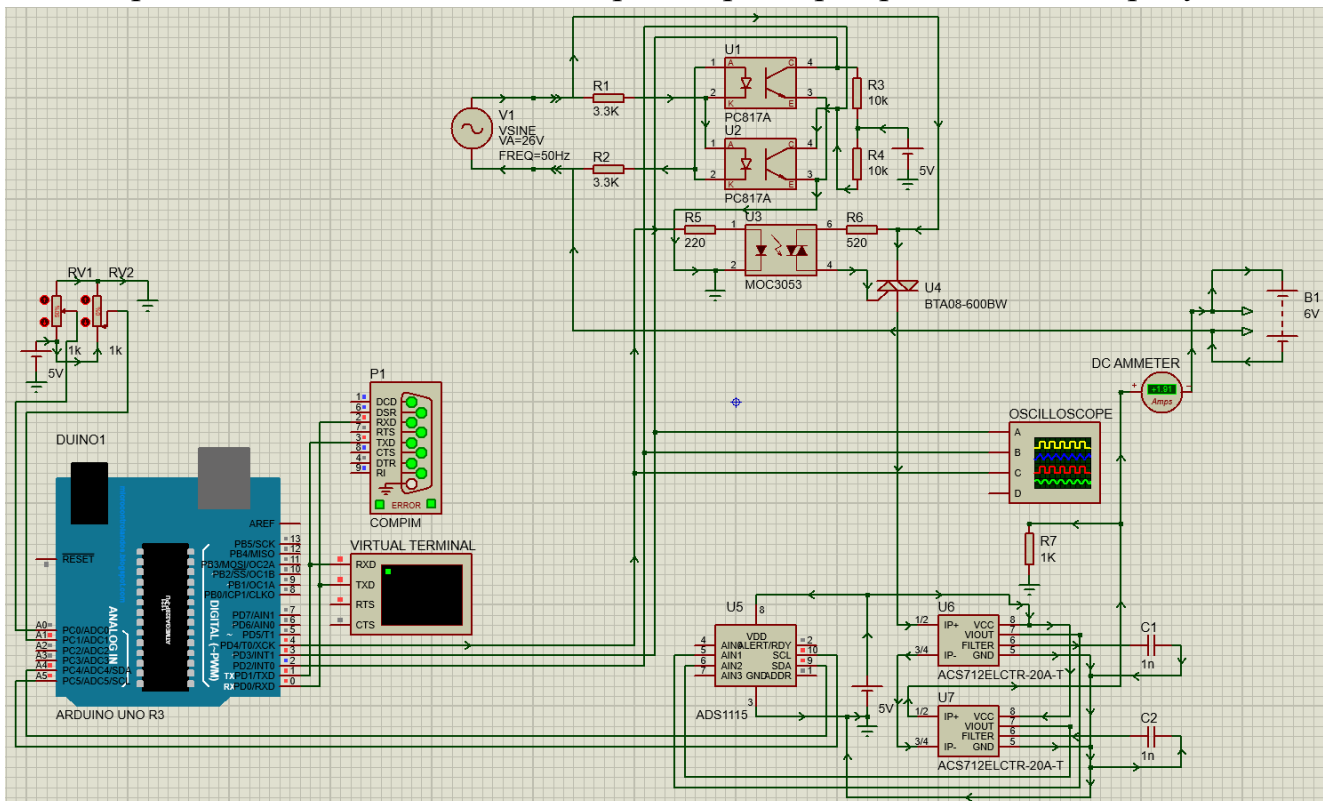


Рисунок 1 – Принципиальная электрическая схема зарядного устройства

В данной схеме применяется источник синусоидального переменного напряжения с позиционным обозначением  $V1$ , амплитудное значение напряжения которого составляет 26 В, а частота – 50 Гц. Для обеспечения гальванической развязки низковольтной (управляющей) и высоковольтной (управляемой) части

используются оптопары с позиционным обозначением *U1*, *U2* и *U3*, соответственно. Причем две оптопары *PC817A* необходимы для корректной детекции перехода синусоиды через ноль, а оптопара *MOC3053* предназначена для передачи управляющих импульсов на открытие и закрытие симистора с платы Arduino UNO, позиционное обозначение которой *DUINO1*. В качестве силового элемента установлен бесснабберный симистор с позиционным обозначением *U4*, а также последовательно с ним подключены два датчика тока с поз. обозначением *U6*, *U7*, которые, в свою очередь, соединяются с модулем аналого-цифрового преобразователя с поз. обозначением *U5*. В качестве элементов, задающих время импульса управляющего сигнала на открытие симистора, в схеме применены два переменных резистора с поз. обозначением *RV1* и *RV2*, каждый из которых корректирует нижнюю и верхнюю полуволны синусоиды отдельно друг от друга. Для обеспечения тестовой нагрузки к выводам схемы подключена аккумуляторная батарея с поз. обозначением *B1*, напряжение и внутреннее сопротивление которой настраивается в любых пределах. А для проведения отладочных работ к выводам контроллера подсоединены: виртуальный терминал, осциллограф и виртуальный COM-порт из библиотеки COMPIM.

Прошивка для микроконтроллера была написана в специальной среде Arduino IDE на языке программирования Wiring, основанном на C/C++. После успешной компиляции HEX-файл прошивки экспортируется в среду Proteus для последующего запуска симуляции работы схемы. Запустив симуляцию работы алгоритма, можно снимать показания с осциллографа и видеть изменения в виртуальном терминале практически в режиме реального времени. Осциллограмма в момент симуляции представлена на рисунке 2 ниже.

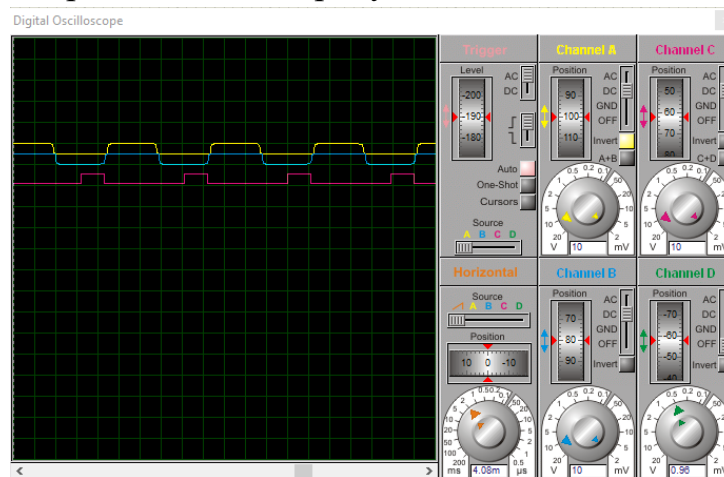


Рисунок 2 – Окно виртуального осциллографа с осциллограммой, демонстрирующей подачу импульсов на открытие симистора в моменты перехода синусоиды в отрицательную область

В данном случае с помощью переменного резистора с поз. обозначением *RV1* было установлено время импульса на открытие симистора в пределах 5 мс, причем именно в те моменты времени, когда синусоида находится в отрицательной области, о чем свидетельствует график подачи импульсов розового цвета. Таким

образом симистор откроется не в начале отрицательной полуволны, а через определенный промежуток времени, в следствие чего ток и напряжение на выходе симистора уменьшится.

Можно пронаблюдать, что оптопары с позиционным обозначением  $U1$  и  $U2$  корректно детектируют переход синусоиды через ноль (графики желтого и синего цвета). Оптопара  $U1$  фиксирует переходы в положительную область (график желтого цвета), а оптопара  $U2$  – в отрицательную (график синего цвета).

Также в прошивке микроконтроллера был задействован монитор порта, с помощью которого в виртуальный терминал Proteus выводились суммарные показания с датчиков тока и усредненное значение. Переменная «Current» – это текущее суммарное значение тока с двух датчиков, а «Average» – усредненный показатель, который рассчитывается с помощью нескольких алгоритмов фильтрации. Окно виртуального терминала показано на рисунке 3.



```
Virtual Terminal
0.89 0.40
Average, Current
0.88 0.02
Average, Current
0.87 1.53
Average, Current
0.88 1.54
Average, Current
0.90 0.64
Average, Current
0.89 0.01
Average, Current
0.89 1.25
Average, Current
0.89 1.68
```

Рисунок 3 – Окно виртуального терминала

Видно, что мгновенные показания с датчиков тока снимаются даже в те моменты времени, когда симистор закрыт, о чем свидетельствуют нулевые значения тока в терминале, в то время как усреднённые показания практически всегда стабильны и не равны нулю. В дальнейшем, для более точной настройки алгоритмов фильтрации и подстройки калибровочных коэффициентов датчиков, будет использоваться амперметр из библиотеки Proteus, который обозначен на схеме как *DC AMMETER*. Но этот материал будет удостоен отдельной статьи.

Может показаться, что все работает идеально и запуск симуляции был излишним, но это не так. Изначально планировалось использовать всего лишь одну оптопару *PC817A* для детекции перехода синусоиды через ноль, как в схеме классического диммера. После того, как схема была смоделирована, стало понятно, что одна оптопара не позволит управлять открытием симистора на разных полуволнах синусоиды, хотя исходный код прошивки был оптимизирован под работу именно с одной оптопарой для детекции нуля. Как оказалось, при работе схемы управляющие импульсы на открытие симистора могли подаваться даже в те моменты времени, когда синусоида переходила в отрицательную область значений, хотя уставка была на открытие симистора в положительной полуволне. Для зарядного устройства такие моменты недопустимы. А также, если переходить к

реализации аппаратной части тестового образца, проблема корректной детекции перехода синусоиды через ноль может усугубиться еще и тем, что пины прерывания на плате Arduino могут собирать различные наводки. Для диммера это не критично, так как симистор в этом случае пропускает как нижнюю, так и верхнюю полуволны синусоиды. Применение в схеме одной оптопары и считывание сигнала с одного пина скажутся на работе устройства таким образом, что при попытках управления нижней или верхней полуволнами, наводки на пин прерывания сделают невозможным вывод напряжения нужной полярности [2].

### Список литературы

1. Labcenter Electronics [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.labcenter.com/index.cfm> (дата обращения: 25.11.2020).
2. Носов И.Н, Зеров В.Н. Разработка энергоэффективного зарядного устройства для свинцово-кислотных аккумуляторов на микроконтроллере // Сборник / ООО НИЦ Вестник науки. Уфа, 2019. – 137 – 150 с.

### Сведения об авторах

**Носов Илья Николаевич** – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, email: [ilyanosov@mail.ru](mailto:ilyanosov@mail.ru)

**Зеров Владимир Николаевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Микропроцессорные средства автоматизации», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, email: [zvn@msa.pstu.ru](mailto:zvn@msa.pstu.ru)

### About the authors

**Nosov Ilya Nikolaevich** – Master Student Perm National Research Polytechnic University, Perm, email: [ilyanosov@mail.ru](mailto:ilyanosov@mail.ru)

**Zerov Vladimir Nikolaevich** – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Microprocessor Automation Means, Perm National Research Polytechnic University, Perm, email: [zvn@msa.pstu.ru](mailto:zvn@msa.pstu.ru)