

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПРИБОРОСТРОЕНИИ НА ПРИМЕРЕ РАЗРАБОТКИ ГЕНЕРАТОРА ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ИМПУЛЬСОВ

В статье приводится анализ возможностей применения компьютерных технологий при проектировании электронных устройств. Рассмотрены основные этапы разработки устройства на конкретном примере регулируемого генератора прямоугольных импульсов. Приведено описание принципа его работы, принципиальной схемы, особенностей изготовления печатной платы и корпуса. Знакомство с основными этапами проектирования на примере простого устройства может помочь студентам и молодым ученым самостоятельно начать проектировать устройства для проведения научных исследований.

Ключевые слова: генератор прямоугольных импульсов, электронные устройства, Arduino, жидкокристаллический экран, программные средства, моделирование, компьютерные технологии.

Введение. В настоящее время при разработке электронных устройств активно применяются компьютерные технологии. Это позволяет значительно снизить стоимость и трудозатраты на разработку устройств, а также повысить качество их изготовления. Некоторые технологии настолько упростили отдельные этапы проектирования, что даже неподготовленный человек в состоянии разобраться с их выполнением. Это дает возможность студентам и молодым ученым самостоятельно проектировать устройства для проведения научных изысканий.

Большую роль в обеспечении доступности современных технологий играют Центры молодежного инновационного творчества, создаваемые в большинстве крупных городов по программе Министерства экономического развития РФ. Их основная цель — развитие системы поддержки молодежного творчества, популяризации инженерного образования. Эти центры предоставляют возможность воспользоваться 3D-принтерами, 3D-сканерами, фрезерными, лазерными станками, а специалисты могут помочь с изготовлением печатных плат, проектированием и программированием устройств, продвижением инновационных проектов [1, 2].

Постановка задачи. Рассмотрим основные возможности применения компьютерных технологий на примере разработки некоторого электронного устройства.

Началом разработки любого устройства является постановка задачи, поиск возможных решений, определение технических требований к проектируемому устройству. Например, на кафедре «Теоретическая электротехника» Омского государственного университета путей сообщения для проведения лабораторных работ возникла необходимость разработки регулируемого генератора прямоугольных импульсов.

Технические требования к проектируемому генератору сформулированы исходя из планируемой области его применения. Это слаботочные цепи (ток нагрузки не превышает 10 мА) с входным напряжением до 10 В. Формируемые импульсы должны быть прямоугольными, однополярными с регулируемой амплитудой, частотой и скважностью. Частота сигналов должна меняться в диапазоне от одного до десяти килогерц [3].

Решение задачи. Начинать разработку устройства необходимо с поиска возможных путей решения возникшей проблемы. Во-первых, в рассматриваемом случае можно использовать существующие генераторы прямоугольных импульсов. Однако полнофункциональные генераторы имеют высокую стоимость, а относительно недорогие генераторы не обладают требуемой функциональностью. Во-вторых, можно использовать готовые микросхемы генераторов сигналов. Дешевые микросхемы также не позволяют достичь гибкости в проектируемом генераторе (по способу управления параметрами импульсов), но и более дорогие аналоги не дают готового решения, а требуют проектирования устройств ввода-вывода информации.

Использование микросхем типа таймера LM555CN позволяет создать требуемый генератор прямоугольных импульсов [4], но для отображения параметров сигнала нужна его цифровая обработка. В этом случае необходимо использовать микроконтроллер, который сам может формировать нужный сигнал в еще более удобной форме. В итоге идея устройства получилась следующая.

Аппаратная часть. Амплитуду, частоту и скважность формируемого сигнала предлагается отображать на жидкокристаллическом экране. Регулировать параметры предложено с помощью цифрового энкодера. Для управления параметрами сигнала, формирования самих сигналов и вывода данных

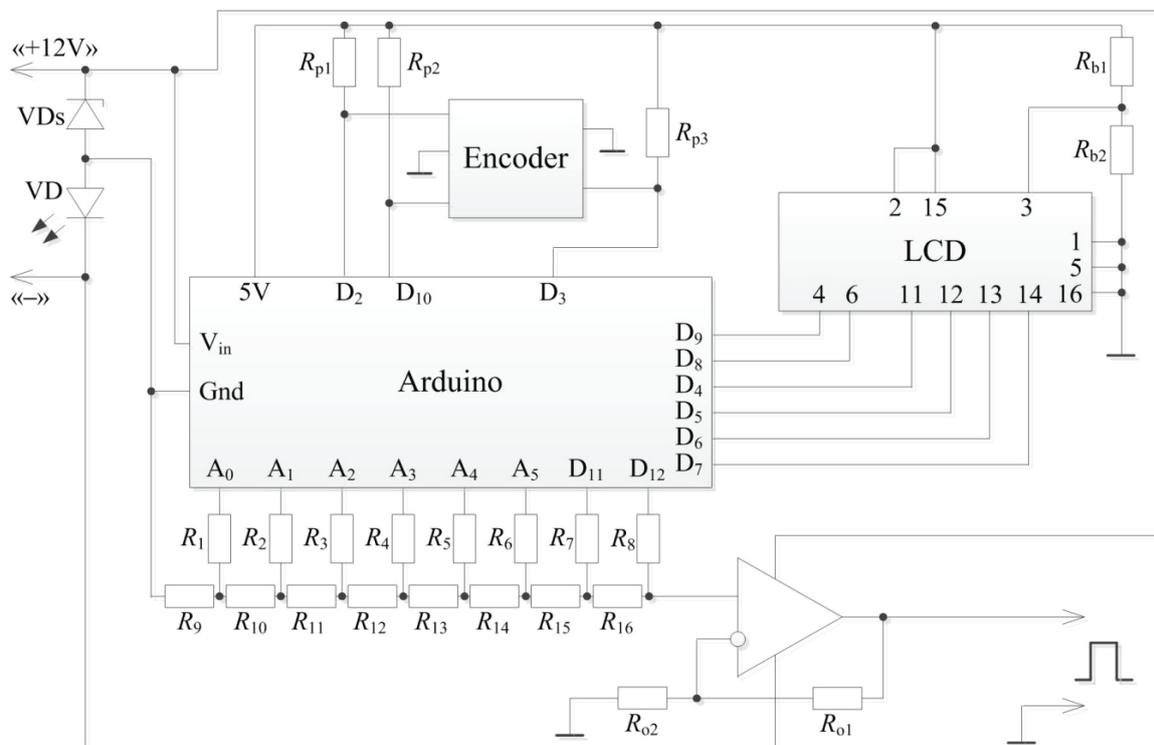


Рис. 1. Принципиальная схема генератора

на экран решено использовать микроконтроллер ATmega 328P, входящий в плату Arduino.

Arduino — это целое семейство плат, различающихся техническими характеристиками и позволяющих решать широкий круг задач. Их удобно подключать к ПК с помощью USB-кабеля, а программировать под силу даже новичку [5]. Для данного устройства предложено использовать плату Arduino Nano, так как ее характеристик вполне достаточно для решаемой задачи, а размеры платы минимальны.

Изначально планировалось выставлять частоту и скважность сигнала цифровым энкодером, который позволяет передавать микроконтроллеру информацию о направлении и угле поворота рукоятки в цифровом виде. Амплитуду сигнала планировалось менять с помощью делителя напряжения. Соответственно, чтобы отображать ее значение на экране устройства, необходимо было измерять амплитуду выходного сигнала с помощью АЦП, входящего в состав платы Arduino [6].

Однако удобнее оказалась регулировка как временных параметров сигнала, так и его амплитуды с помощью одного энкодера. Для этой цели было решено собрать схему ЦАП на основе матрицы R-2R [7], так как готовый ЦАП в плату Arduino не входит.

В итоге сформировали принципиальную схему устройства (рис. 1).

Цифровой энкодер Encoder PEC16 подключается к плате с использованием трех подтягивающих резисторов R_{p1} , R_{p2} и R_{p3} номиналом 5 кОм каждый. Один из контактов энкодера, замыкающийся при повороте его рукоятки, подключен к пину D2. Контакт энкодера, замыкающийся при нажатии на его рукоятку, подключен к пину D3. В данном случае важно использовать именно эти пины, так как на них могут быть привязаны обработчики прерываний для мгновенной обработки изменения положения энкодера.

Жидкокристаллический экран LCD 1602 подключен к цифровым выводам Arduino, конфигурация которых может быть изменена программно. Контакт 3 экрана, отвечающий за яркость подсветки, подключен через делитель напряжения на резисторах $R_{b1} = 2,45$ кОм и $R_{b2} = 0,58$ кОм (значения подобраны экспериментально).

Питание платы осуществляется от источника постоянного напряжения 12 В, через стабилитрон VDs на 10 В и светодиод VD. Такая схема позволила от одного источника 12 В получить два напряжения:

- от точки «+12V» до Gnd напряжение +10 В для питания платы Arduino (а через нее и LCD) и формирования выходного сигнала;

- от точки «-» до Gnd напряжение -2 В для организации питания двупольного операционного усилителя.

В итоге на операционный усилитель NE5532P подается питающее напряжение «+10 В / -2 В». Сигнал формируется на выходе ЦАП, реализованного на резисторах $R_1 \dots R_9$ по 2 кОм и $R_{10} \dots R_{16}$ по 1 кОм. Обратная связь на операционном усилителе реализована сопротивлениями $R_{o1} = R_{o2} = 2$ кОм, что дало требуемый коэффициент усиления $k_y = 1 + \frac{R_{o1}}{R_{o2}} = 2$. Выход операционного усилителя позволяет выдавать ток до 0,5 А, что заметно превышает требуемые значения.

Программная часть. Программирование микроконтроллера Arduino достаточно легко выполняется в среде разработки Arduino IDE на языке высокого уровня C++ [8, 9]. Однако для тех, кто никогда не сталкивался с программированием, существует возможность использования языка Scratch, позволяющего составлять программы путем графического соединения соответствующих блоков. Такой подход позволяет легко начать писать простые программы, но для более серьезных разработок без изучения соответствующего языка программирования не обойтись. В данном проекте программа

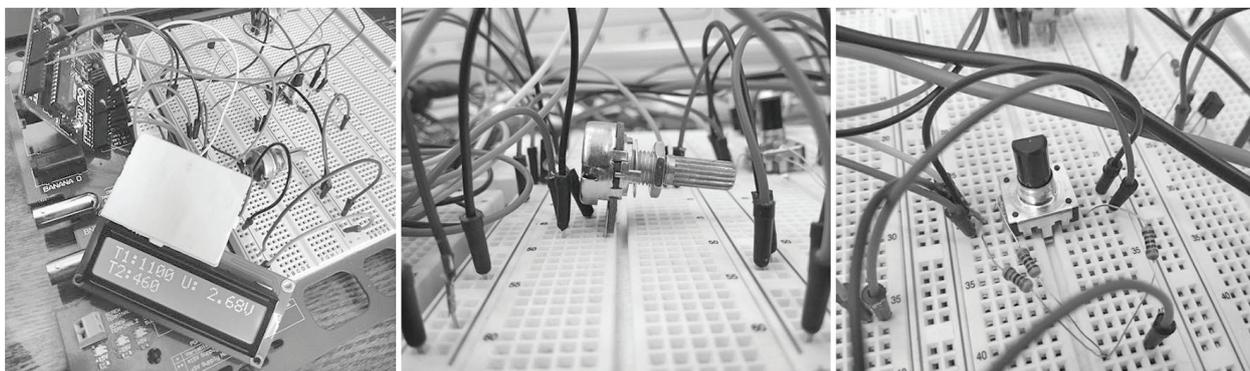


Рис. 2. Сборка схемы на макетной плате National Instruments

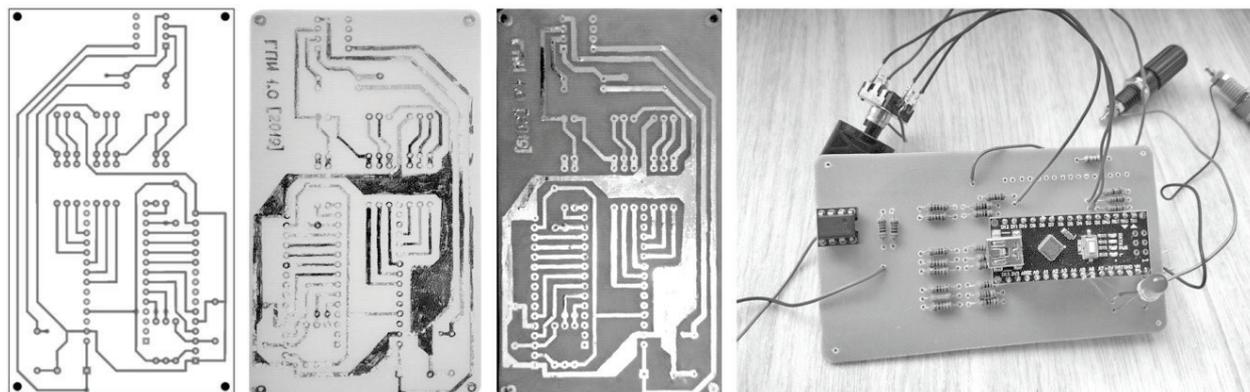


Рис. 3. Поэтапное изготовление печатной платы

написана на языке C++. В ее основе обработка прерываний нажатия на рукоятку энкодера (выбор регулируемого параметра сигнала) и прерываний поворота энкодера (изменение соответствующего параметра). В отсутствие прерываний программа выдает сигнал высокого уровня длительностью T_1 , после чего выходной сигнал равен нулю в течение времени T_2 . На экран устройства выводится амплитуда импульса, длительность импульса T_1 и период сигнала $T = T_1 + T_2$.

Работу полученной принципиальной схемы можно проверить с помощью компьютерного моделирования или на макетной плате. Для моделирования могут применяться такие программы, как Electronics WorkBench, NI Multisim или пакет программ Proteus. Они позволяют собрать нужную схему на компьютере и провести ее испытания. Пакет Proteus позволяет не только собирать аналоговые схемы, но и программировать используемые в схеме микроконтроллеры. С 2017 года компания Autodesk реформировала свой проект по работе с электрическими схемами, создав Web-ресурс TinkerCAD с максимально упрощенным интерфейсом, позволяющий моделировать работу аналоговых и цифровых устройств и, в том числе, плат Arduino, на которые можно загружать свои программы. Такое моделирование отлично подходит для простых схем и людей, не имеющих опыта работы с более серьезными программными продуктами.

В настоящей работе использовались установки от National Instruments, на макетной плате которых были осуществлены сборка и тестирование схемы (рис. 2).

Механическая часть. После необходимых корректировок изготавливается печатная плата и кор-

пус устройства. Для создания печатных плат могут использоваться легкие в работе и простые в изучении бесплатные программы, такие как DesignSpark, ExpressPCB или Fritzing.

Спроектированную печатную плату можно изготовить различными способами: химическим, механическим, аддитивным, лазерной гравировкой. В домашних условиях наиболее доступным способом является химический способ в сочетании с лазерно-утюжной технологией (рис. 3).

Корпус для устройства можно приобрести в готовом виде или изготовить самостоятельно. В последнее время большинство корпусов устройств реализуется либо путем фрезеровки по дереву, либо путем 3D-печати.

Для создания трехмерной модели корпуса [10] можно воспользоваться как профессиональными программными средами, такими как 3DS-Max или AutoCAD, КОМПАС-3D, так и более простыми и доступными средствами типа Blender или того же TinkerCAD, который также позволяет создавать 3d-модели в онлайн режиме. В данной работе корпус был создан в программе 3DS-Max, после чего напечатан в центре молодежного инновационного творчества г. Омска «Разум» (рис. 4).

Тестирование разработанного генератора проводилось на стендах ТЭЦ НР в лаборатории кафедры «Теоретическая электротехника». Питание генератора осуществляется от нерегулируемого источника постоянного напряжения +12В, расположенного на стенде (рис. 5). В результате получены графики входного напряжения и тока в исследуемых цепях.

Выводы. В итоге можно сказать, что компьютерные технологии позволили значительно снизить порог входа в среду разработчиков электронных

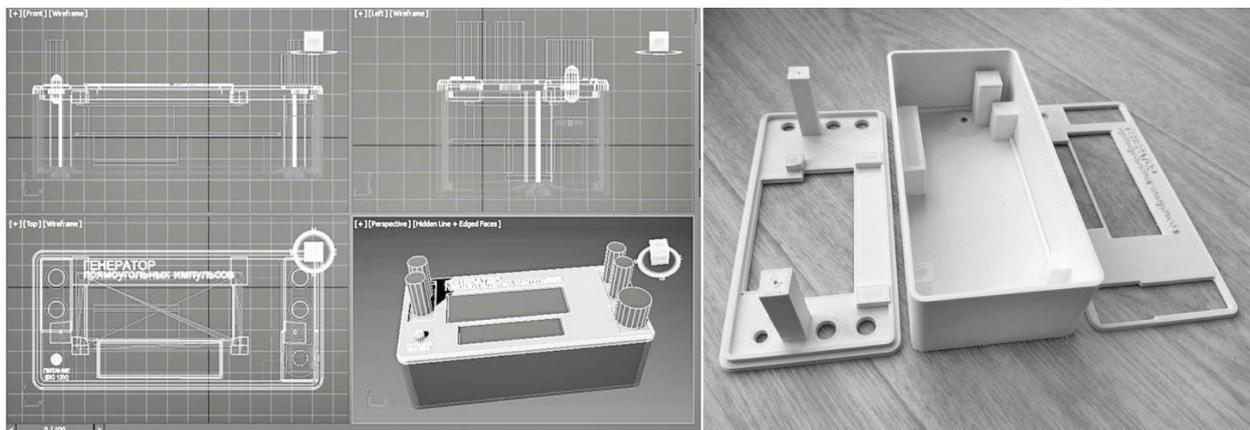


Рис. 4. Трехмерная модель в 3D-Max и распечатанный корпус

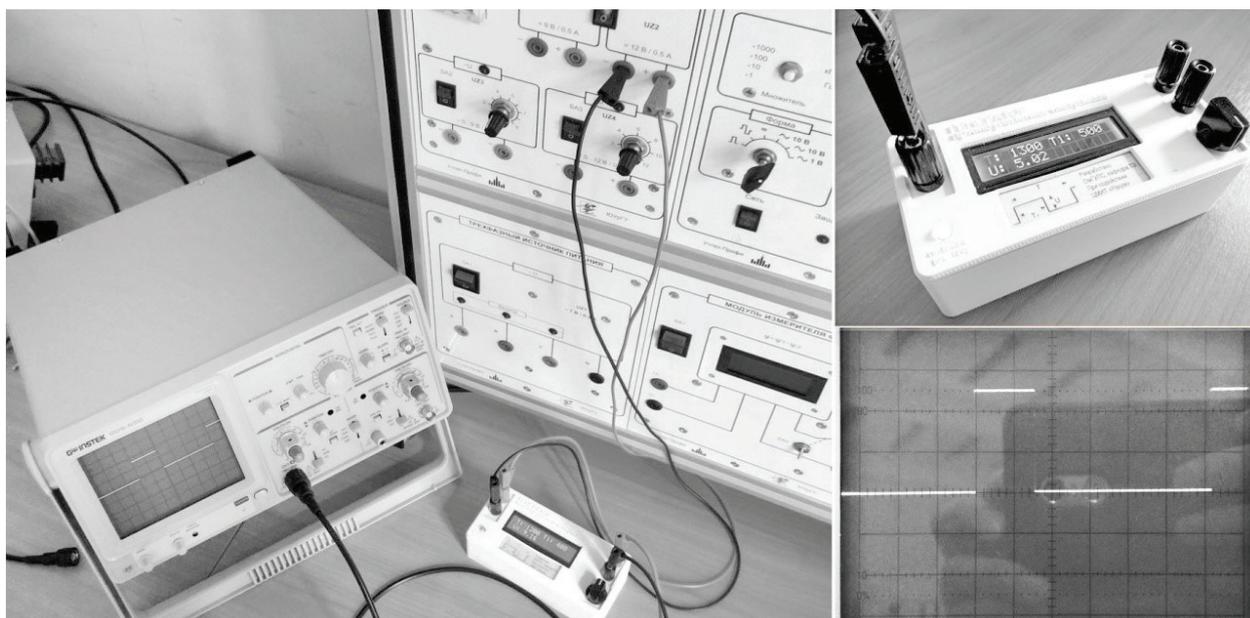


Рис. 5. Тестирование работы генератора

устройств. Эксперименты с физическими моделями часто заменяются компьютерным моделированием. Программирование микроконтроллеров можно выполнять на высокоуровневом языке или даже графическими блоками, разводку печатной платы выполнять автоматически по принципиальной схеме, работа которой проверена с помощью компьютерной модели.

Корпус готового устройства может быть отсканирован и напечатан на 3D-принтере. В итоге неподготовленному человеку значительно проще включиться в процесс разработки электронных устройств.

Однако такое облегчение таит в себе и отрицательные моменты. Например, программируя микроконтроллер на языке высокого уровня при отсутствии соответствующего опыта, разработчик может крайне неэффективно использовать ресурсы микроконтроллера, а то и вовсе получить неработоспособное решение. Поэтому владение программными средствами не освобождает разработчиков от необходимости освоения методов проектирования, освоения электротехнических дисциплин в высших учебных заведениях, но дает им возможность более качественной предварительной само-

подготовки и значительно увеличивает возможности самостоятельной работы во время обучения. Все это приводит к повышению эффективности обучения и, как следствие, получению специалистов высокого уровня, владеющих современными технологиями разработки электронных приборов.

Библиографический список

- Капустин М. В., Давыдова М. В., Михалев А. М. Центр молодежного инновационного творчества // Зауральский научный вестник. 2013. № 1 (3). С. 130–136.
- Воробьева А. Н. Центры молодежного инновационного творчества (ЦМИТ) как инновационная составляющая образования // Интерактивное образование. 2017. № 2. С. 42–44.
- Тэттэр А. Ю., Черемисин В. Т., Ковалева Т. В. [и др.]. Периодические режимы линейных электрических цепей. Омск: Изд-во ОмГУПС, 2019. 125 с.
- Скuryятин А. В., Богачев В. Н., Мельчаков В. Н. Модуль генератора прямоугольных импульсов // Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения. 2010. Т. 10, № 1-1. С. 265–267.
- Хуанг Б., Ранберг Д. Arduino для изобретателей. Обучение электронике на 10 занимательных проектах / пер. с англ. СПб.: БХВ-Петербург, 2019. 259 с. ISBN 978-5-9775-3972-2.

6. Маркова Т. Ю., Шампаров Д. А., Пономарев А. В. Разработка регулируемого генератора прямоугольных импульсов на основе платы arduino // Приборы и методы измерений, контроля качества и диагностики в промышленности и на транспорте: материалы III Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. уч., 18–19 окт., 2018 г. / ОмГУПС. Омск, 2018. С. 360–364. ISBN 978-5-949-41213-8.

7. Каштанов А. Л., Комяков А. А., Кузнецов А. А. [и др.]. Метрология и электрические измерения. Ч. 1–2. Омск: Изд-во ОмГУПС, 2014. 153 с.

8. Блум Д. Изучаем Arduino. Инструменты и методы технического волшебства / пер. с англ. В. Петина. СПб.: БХВ-Петербург, 2015. 336 с. ISBN 978-5-9775-3585-4.

9. Керниган Б., Ритчи Д. Язык программирования C / пер. с англ. 2-е изд. М.: Вильямс, 2009. 304 с. ISBN 978-5-8459-0891-9; 0-13-110362-8.

10. Павлов Н. Г. Основы создания примитивов посредством 3D-моделирования и 3D-печати // Техническое творчество молодёжи. 2019. № 3 (115). С. 28–34.

ПОНОМАРЕВ Антон Витальевич, кандидат технических наук, доцент (Россия), доцент кафедры «Теоретическая электротехника».

SPIN-код: 8927-5050

AuthorID (РИНЦ): 514132

AuthorID (SCOPUS): 57206470876

Адрес для переписки: antonyswork@gmail.com

Для цитирования

Пономарев А. В. Применение компьютерных технологий в приборостроении на примере разработки генератора прямоугольных импульсов // Омский научный вестник. 2020. № 2 (170). С. 71–75. DOI: 10.25206/1813-8225-2020-170-71-75.

Статья поступила в редакцию 14.02.2020 г.

© А. В. Пономарев