



УДК 519.714:004.942

doi: 10.55287/22275398_2026_60_223

КОМПЬЮТЕРНАЯ МОДЕЛЬ ЦИФРОВОГО УСТРОЙСТВА

А. В. Алёшинцев

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), г. Москва

Аннотация

Использование компьютерных и цифровых технологий необходим в наше время компонент образования, когда начинающим специалистам требуются знания как с учётом специфики программ и направлением подготовки, так и навыки создания, редактирования и исследования моделей цифровых устройств. Тем самым стимулируется интерес к изучению процессов моделирования с применением компьютерных технологий у будущих специалистов, способствуя росту их квалификации, и вовлечённости в развитие цифровой экономики.

Для этой цели разработано программное компьютерное средство, позволяющее создавать, редактировать и исследовать модели (схемы) цифровых устройств, применимых при автоматизации электронных элементов техники.

Рассмотренные в работе устройства разрабатываются изначально при помощи булевых функций, в базисе логических элементов, где совокупность выходных сигналов на временном срезе определяется их входными характеристиками. На примере цифрового таймера наглядно представлена возможность представления компьютерной модели. В результате устройства легко технологически исполняемы, а отсутствие преобразователей форм сигналов уменьшает расходы на их производство.

Ключевые слова

Автоматизация проектирования, синтез комбинационных схем, компьютерная модель, комбинационные цифровые устройства, булевы функции, булева алгебра, цифровая экономика.

Дата поступления в редакцию

28.09.2026

Дата принятия к печати

08.10.2026

Введение

Развитие и усовершенствование цифровых устройств (ЦУ), уменьшение сроков отводимых на их проектирование, заставляет разрабатывать эффективные методы моделирования, анализа и оптимизации их характеристик [1 – 4]. Комбинационные цифровые устройства (КЦУ) входят в конструкцию аналого-цифровых преобразователей (АЦП), которые необходимы для обработки сигналов на выходе датчиков, в свою очередь подключаемых к контроллерам (через измерительные каналы) [5], как пример, моделирование канала можно проводить в системе MATLAB [6], или в российском симуляторе SimInTech моделируя процессы в различных технических объектах [7].

Моделирование КЦУ

Моделирование производят, создавая цифровые/логические устройства, используемые в компьютерной технике и цифровых схемах обработки сигналов, для тестирования и отладки его на начальных стадиях разработки (сокращая время и стоимость). В работе [8] рассматривается пример синтеза и моделирования КЦУ. В целом, цифровое устройство является базисом при разработке автоматизированных систем управления производственными/технологическими/интеллектуальными процессами, они применимы при цифровой автоматизации в любой промышленной отрасли [9].

Подготовка студентов к применению компьютерных/цифровых технологий в предстоящей деятельности по изучаемому ими образовательному профилю необходимая и при этом неотъемлемая часть современного обучения. Преимущества применения компьютерных и цифровых технологий проявляются в том, что обучающиеся накапливают знания/умения/навыки, необходимые для приспособления этих технологий к их промышленному сектору, самообразовываются, а сам процесс обучения при этом становится более затягивающим и интересным. К тому же решать необходимые производственные или образовательные задачи, а также оперативно восполнять не достающие знания, возможно самостоятельно, не прибегая к помощи педагога [10].

Что касается цифровой экономики — проявляющего себя в виде драйвера экономического роста, который требует постоянно обновляющихся знаний в области компьютерных технологий, с необходимостью внедрения адекватных стратегий обучения. Преподавателям рекомендуется в связи с этим, вводить в образовательные курсы различные методы — стимулируя интерес студентов к изучению современных технологий (для успешного функционирования цифровой экономики), поскольку эффективные стратегии обучения способствуют подготовке квалифицированных специалистов, играющих важную роль в развитии цифровой экономики [11]. Для успешного освоения непосредственно электротехнических курсов лабораторные занятия желательно проводить на реальном оборудовании, учитывая специфику программ и направления подготовки [12]. Получить навыки исследования, создания и последующего редактирования моделей цифровой экономики позволяет компьютерное моделирование. В данной работе процесс моделирования цифровых компонент представлен в виде программного средства моделирования цифровых устройств, обладающей рядом преимуществ. Одно из них то, что с помощью данной программной среды предоставляется возможность облегчить наглядное представление и результаты исследования. С учётом того, что отпадает необходимость применения (для проведения экспериментов) дорогостоящих стендов и измерительной аппаратуры, появляется ещё одно преимущество. Также важна экономия времени, которое затрачивается на настройку и калибровку реального оборудования, а в компьютерной среде эта необходимость отпадает. Следующее преимущество — это возможность избежать при синтезе модели устройства вполне вероятные потери контакта, например в местах физического проключения элементов устройств и оборудования, или при замене элементов на новые (в случае замыкания/перегорания или другой причины выхода их из строя). Исходя из всего перечисленного, прослеживается явный перевес в применении именно компьютерного моделирования на начальных этапах разработки/производства цифровых устройств.

Компьютерное моделирование цифровых устройств с многодокументным интерфейсом, позволяет открыть одновременно несколько схем ЦУ в отдельном окне — графическом редакторе с возможностью добавления/удаления/перемещения и изменения параметров цифровых устройств, т. е. удобно (в координатной сетке) проводить (при необходимости) коррекцию схемы.

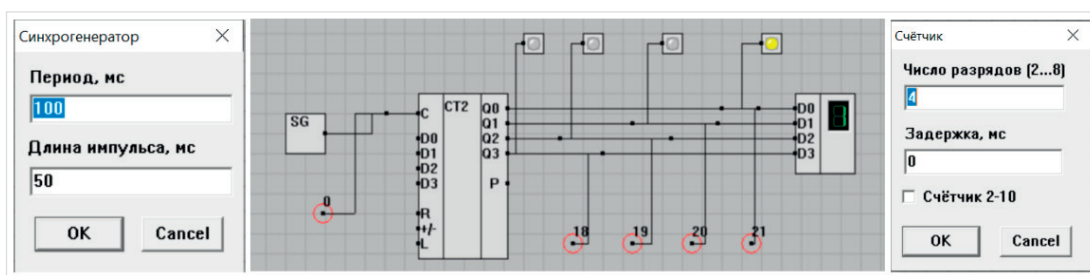


Рис. 1. Элементарная схема с выпадающими окнами

На **рисунке 1** приведена схема с выпадающими окнами, тактовым генератором, счетчиком, индикатором, светодиодами и входами многоканального осциллографа. Под окном схемы расположено окно виртуального многоканального осциллографа, позволяющее наблюдать за процессами в схеме на любом из необходимых этапов, как в статическом, так и в динамическом режиме работы, окно представлено на **рисунке 2**.

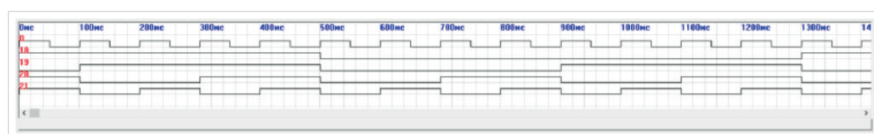


Рис. 2. Окно осциллограммы

Составленная схема с инверторами аргументов, где счётчик заменён двоичными переключателями (на входе КЦУ) показана на **рисунке 3**.

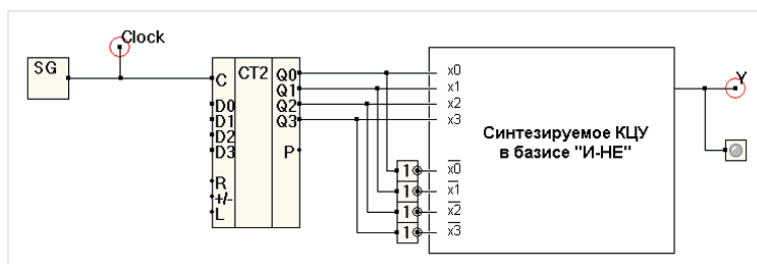


Рис. 3. Обобщённая схема значений аргументов

Данную схему допустимо и возможно реализовать различными способами, т. е. синтезировать в удобном доступном базисе, исходя из имеющихся, к примеру, в наличии цифровых элементов.

Синтез КЦУ

Синтез включает в себя следующие основные этапы:

На первом этапе, составляется таблица истинности, как показано на примере **таблицы №1**.

Таблица 1

Таблица истинности функции 2-х аргументов

Показатель x1	Показатель x2	f(x1, x2)
0	0	1
0	1	0
1	0	1
1	1	0

Источник: составлено автором

Из таблицы находится логическая функция:

$f = \bar{x}_1 \cdot \bar{x}_2 \vee x_1 \cdot \bar{x}_2.$ (1)

На втором этапе, получив выражение для функции в минимальной форме, например функция из четырёх аргументов имеет вид:

$f = x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot x_4 \vee \bar{x}_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot x_4 \vee x_1 \cdot \bar{x}_2 \cdot x_3 \cdot x_4 \vee x_1 \cdot \bar{x}_2 \cdot x_3 \cdot \bar{x}_4 \vee \bar{x}_1 \cdot \bar{x}_2 \cdot x_3 \cdot x_4.$ (2)

Минимизировав эту функцию с помощью карты Карно, как показано на рисунке 4.

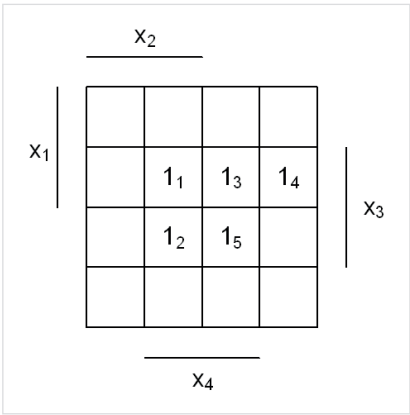


Рис. 4. Карта Карно с индексом номера слагаемого

Минимизация также возможна методом Квайна. Полученное минимизированное уравнение для (2) состоит уже из двух слагаемых

$f = x_3 \cdot x_4 \vee x_1 \cdot \bar{x}_2 \cdot x_3.$ (3)

На третьем этапе, преобразовав логические выражения к требуемому базису, например: И, ИЛИ, НЕ, либо к базису И-НЕ.

Далее четвёртым этапом составляется структурная схема комбинационного устройства.

На рисунке 5 показан пример преобразования к базису И, ИЛИ, НЕ.

Осуществляется синтез схемы в базе И-НЕ.

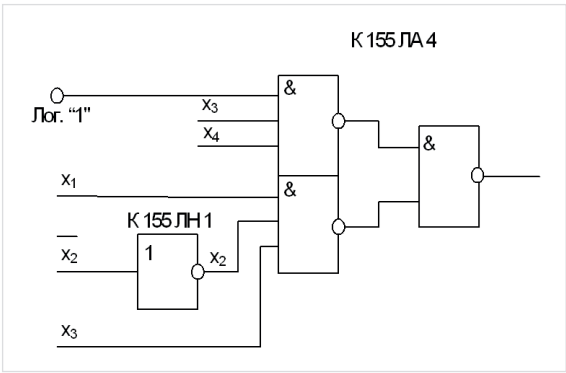


Рис. 7. Функциональная схема на элементах И-НЕ

Помимо представленных схем существует возможность синтезировать и другие конструкции компьютерных моделей ЦУ, с применением, например булевой алгебры посредством элементарных логических функций. На **рисунке 8** представлена одна из такого рода схем — временной таймер, с возможностью изменять режимы отсчёта времени в реверсивном порядке, задавать скорость отсчёта, увеличивать или уменьшать разрядность чисел, менять 0/1 на входе.

Цифровой временной таймер является широко применимым устройством, которое, к примеру, позволяет включать/выключать какую либо нагрузку (свет, двигатель, печь, орг. технику и прочее) с заданным временным интервалом.

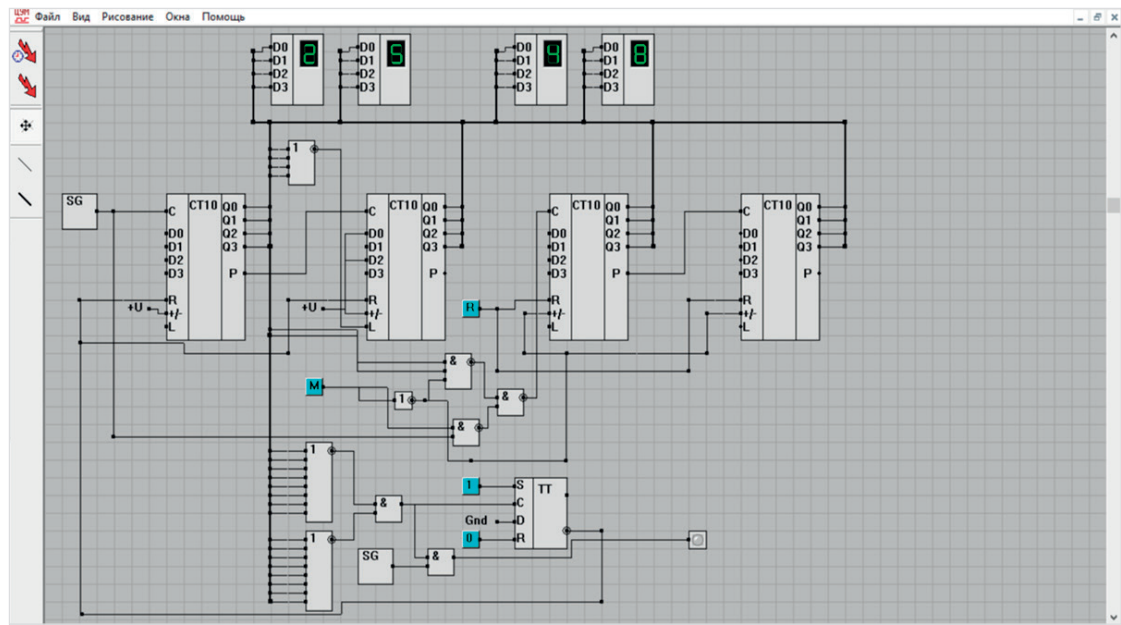


Рис. 8. Функциональная схема таймера

Заключение

Практическая значимость состоит в том, что разработанное для учебных целей программное средство позволяет строить различные компьютерные модели устройств, при этом отпадает необходимость

в дорогих лабораторных стендах. Редакция и перенос схем в рабочие проекты не затрачивает аппаратных и программных ресурсов компьютера, перенос электронных материалов и работа с ними возможна сразу на любом электронном носителе, к примеру, на флеш-накопителе (с запуском программы с него). Нет необходимости установки программы на ПК и приобретать (в учебных целях) дорогие лицензионные программы и приложения. Помимо того, что программа позволяет открыть одновременно несколько схем цифровых устройств, она также снабжена виртуальным многоканальным осциллографом отражающим процессы, происходящие в любой интересной к анализу точке схемы в динамическом режиме. Следующим этапом планируется добавление в программу синтезированных модулей интегральных микросхем типа — дешифратор/шифратор, сумматор, мультиплексор... т. е. расширение её функционала с целью применения в схемах автоматизации электронных элементов техники.

Выводы

В результате, программным образом предоставляется возможность построить компьютерную модель цифрового устройства, одновременно наглядно наблюдая на экране встроенного эмулятора осциллографа происходящие преобразования (в зависимости от подключения того или иного цифрового элемента). При этом созданная компьютерная модель цифрового устройства заменяет лабораторный стенд и стимулирует интерес к изучению компьютерных технологий в части моделирования сложных схем систем автоматики и каналов связи, проведению исследований цифровых элементов в технических системах.

Библиографический список

1. Таран В. Н., Чумак И. В. Моделирование характеристик электронного устройства // Инженерный вестник Дона. 2019. № 5(56). С. 14–22.
2. Khayer Mohammad, Lake Roger. Modeling and Performance Analysis of III-V Nanowire Field-Effect Transistors // IntechOpen Limited, 2010. DOI:10.5772/39484.
3. Grupen M., High GaN Electron Mobility Transistor Simulations with Full Wave and Hot Electron Effects // IEEE Transactions on Electron Devices. 2016. Vol. 63. no. 8. pp. 3096–3102. DOI:10.1109/TED.2016.2581591.
4. Гордеев-Бургвиц М. А., Гордеев-Бургвиц Д. М. Автоматизация и управление системами водоснабжения и водоотведения: учебник. Москва: ИНФРА-М. 2025. 437 с. DOI: 10.12737/1958352.
5. Алешинцев А.В. Автоматизация процессов жизнеобеспечения системы «Интеллектуальное здание» // Инженерный вестник Дона. 2023. № 2 (98). С. 440–457.
6. Санников В. Г., Алешинцев А. В. Математическое моделирование многочастотного модема с повышенной помехоустойчивостью // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2016. Т. 10. № 7. С. 52–58.
7. Гордеев-Бургвиц М. А., Гордеев-Бургвиц Д. М. Python: исследование САР компрессорной фреоновой холодильной машины в среде Simintech (Часть 1) // Научно-технический вестник Поволжья. 2025. Т. 4. С. 237–240.
8. Кривоногов П. В., Стефанова И. А. Моделирование комбинационного цифрового устройства // Актуальные проблемы физической и функциональной электроники: 26 ВМНК. Ульяновск: УГТУ. 2023. С. 57–59. DOI 10.61527/APPFE-2023.57-59.

9. Ахремчик О. Л., Хабаров А. Р. Использование программного обеспечения при проектировании цифровых устройств в ходе гибридного обучения // Цифровая трансформация. 2024. Т. 30. № 2. С. 16 – 23. DOI 10.35596/1729-7648-2024-30-2-16-23.
10. Карева Г. В. Применение цифровых компьютерных технологий в будущей профессиональной деятельности студентов // Вестник Российского нового университета. Сер.: Человек в современном мире. 2024. № 1. С. 3 – 14. DOI 10.18137/RNU.V925X.24.01.P.003.
11. Макарова И. Г., Денильханова Р. Х., Янова О. Ю. Эффективные стратегии обучения компьютерным информационным технологиям и их влияние на цифровую экономику // Экономика и управление: проблемы, решения. 2025. Т. 3. № 6 (159). С. 205 – 210. DOI 10.36871/ek.ur.p.r.2025.06.03.023.
12. Ушакова Н. Ю., Быковская Л. В. Проектирование виртуального лабораторного практикума по электротехнике в программах схмотехнического моделирования // Primo Aspectu. 2023. № 1(53). С. 85 – 92. DOI 10.35211/2500-2635-2023-1-53-85-92.

COMPUTER MODEL OF A DIGITAL DEVICE

A. V. Alyoshintsev

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU), Moscow

Abstract

The use of computer and digital technologies is an essential component of modern education, as aspiring specialists require both program- and discipline-specific knowledge and the skills to create, edit, and analyze models of digital devices. This fosters an interest in computer-based modeling processes among future professionals, thereby enhancing their qualifications and engagement in the development of the digital economy.

To this end, a software tool has been developed to create, edit, and analyze models (schematics) of digital devices suitable for the automation of electronic components.

The devices discussed in this study are initially designed using Boolean functions based on logic gates, where the set of output signals at any given moment is determined by input characteristics. A digital timer serves as a practical example to demonstrate how such a computer model can be represented. Consequently, these devices are easy to manufacture, and the absence of signal-waveform converters reduces production costs.

The Keywords

Computer-aided design, combinational circuit synthesis, computer model, combinational digital devices, Boolean functions, Boolean algebra, digital economy.

Date of receipt in edition

28.09.2026

Date of acceptance for printing

08.10.2026

Ссылка для цитирования:

А. В. Алёшинцев. Компьютерная модель цифрового устройства. — Системные технологии. — 2026. — № 3 (60). — С. 223 – 230.