







амперка

-  Новые платы и модули:
amperka.ru
-  Методические материалы:
wiki.amperka.ru/kits:circuitry-basics
-  Руководства и инструкции:
wiki.amperka.ru
-  Новости и анонсы:
vk.com/amperkaru

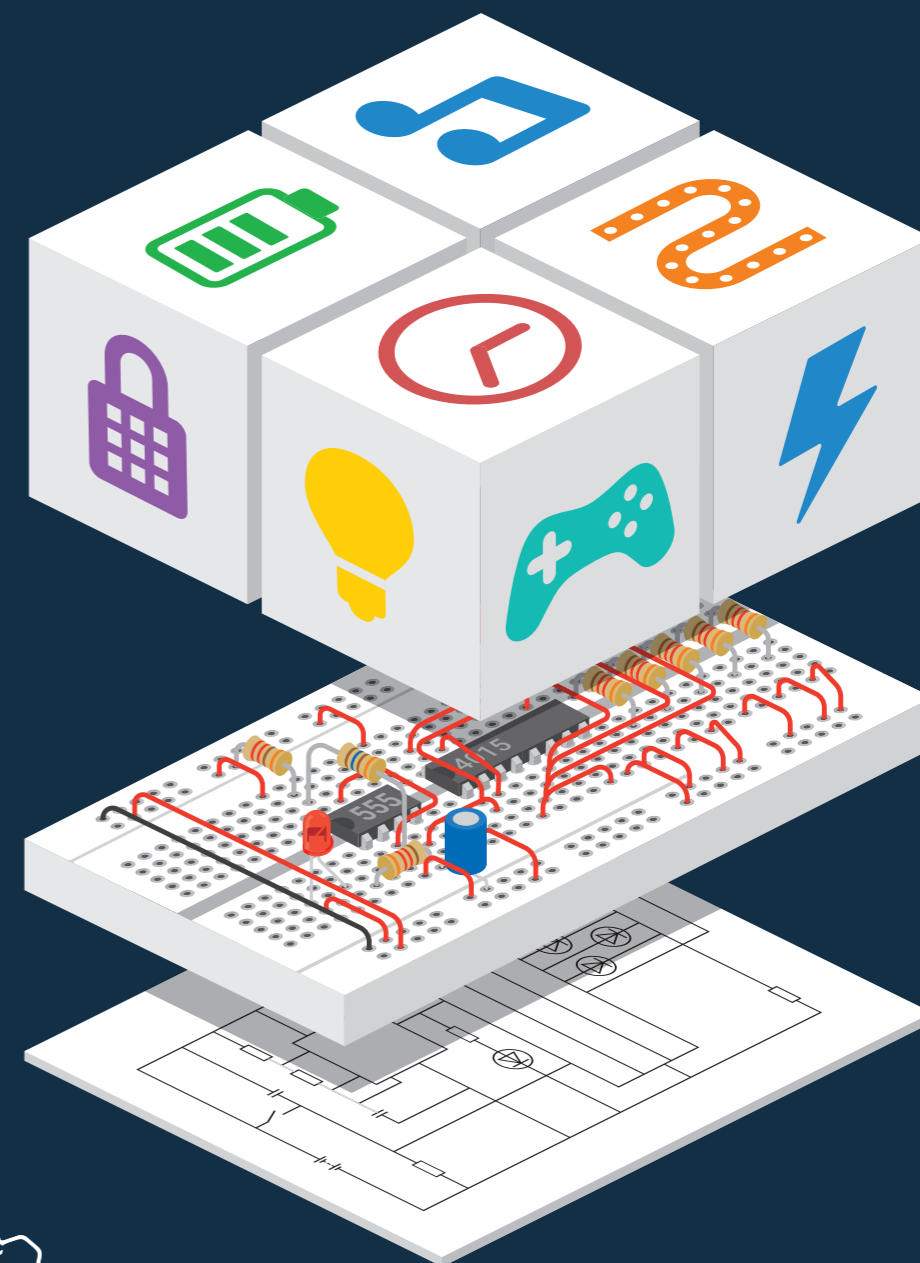
ОСНОВЫ СХЕМОТЕХНИКИ

Методические рекомендации для проведения занятий по основам электроники и схемотехники в технологических кружках

ОСНОВЫ СХЕМОТЕХНИКИ

Литература

- 1 Д. Харрис и С. Харрис. «Цифровая схемотехника и архитектура компьютера». ДМК-Пресс, 2018 г.
- 2 П. Кириченко. «Цифровая электроника для начинающих». 2-е издание. БХВ Петербург, 2022 г.
- 3 Р. Сворень «Электроника шаг за шагом». ДМК-Пресс, 2020 г.
- 4 Р. Токхейм «Основы цифровой электроники». Мир, 1988 г.
- 5 Ч. Платт. «Электроника для начинающих». БХВ Петербург, 2012 г.
- 6 Э. Даль. «Электроника для детей. Собираем простые схемы. Экспериментируем с электричеством». Манн, Иванов и Фербер, 2017 г.
- 7 Ю. Ревич «Азбука электроники». Издательство АСТ, 2017 г.
- 8 Ю. Ревич «Занимательная электроника», 3-е издание. БХВ Петербург, 2016 г.



берлога



Кружковое
движение



амперка

Методические рекомендации
для проведения занятий
в кружках Национальной
киберфизической платформы
по программе
«**ОСНОВЫ
СХЕМОТЕХНИКИ**»

ББК 74 Л87

С74

УДК 37

Л87 Тихонов Р.В. Методические рекомендации для проведения занятий в кружках Национальной киберфизической платформы по программе «Основы схемотехники» — М.: Ассоциация участников технологических кружков, 2023. — 104 с.

ISBN 978-5-6049673-0-0

Программа представляет собой сборник практических примеров электронных схем для освоения курса по основам электроники и схемотехники обучающимися 5-7 классов. Главное, чему должны научиться школьники — читать принципиальные электрические схемы и собирать их на макетной плате без применения пайки. Проекты реализуются с использованием самых простых и доступных электронных компонентов. В процессе сборки школьники узнают, как работает и для чего применяется тот или иной электронный компонент. Программа предназначена для технологических кружков Национальной киберфизической платформы первого года обучения и нацелена на подготовку будущих специалистов по проектированию киберфизических систем.

ББК 74

ISBN 978-5-6049673-0-0



9 785604 967300

© Ассоциация участников технологических кружков
Москва, 2023



СОДЕРЖАНИЕ

МОДУЛЬ 1. АНАЛОГОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА: ОТ БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ ДО 555 ТАЙМЕРА	3
Учебный (тематический) план	4
Содержание учебного (тематического) плана	5
Лекция 1 «Что такое схемотехника»	7
Практическая работа 2 «Самая первая схема на макетной плате»	10
Практическая работа 3 «Как резисторы управляют током и напряжением»	16
Практическая работа 4 «Такие разные светильники»	21
Практическая работа 5 «Транзистор — самое важное изобретение XX века»	25
Практическая работа 6 «Схемы на одном транзисторе»	29
Практическая работа 7 «Симметричный мультивибратор»	33
Практическая работа 8 «Первая микросхема 555»	37
Практическая работа 9 «Электронная музыка и звуки»	41
Практическая работа 10 «Бегущий огонёк»	45
Практическая работа 11 «Полицейская мигалка»	49
Практическая работа 12 «Кодовый замок»	53
МОДУЛЬ 2. ЦИФРОВАЯ СХЕМОТЕХНИКА: ОТ ЛОГИЧЕСКИХ ВЕНТИЛЕЙ ДО СЧЕТЧИКОВ И РЕГИСТРОВ	57
Учебный (тематический) план	58
Содержание учебного (тематического) плана	59
Практическая работа 1 «Железная логика»	61
Практическая работа 2 «Почти калькулятор»	65
Практическая работа 3 «Самая маленькая ячейка памяти»	69
Практическая работа 4 «Кто быстрее»	72
Практическая работа 5 «Дешифратор из двоичного кода»	76
Практическая работа 6 «Цифры по порядку»	80
Практическая работа 7 «Угадай число»	83
Практическая работа 8 «Электронный кубик»	86
Практическая работа 9 «Счетчик людей и предметов»	89
Практическая работа 10 «Туда и обратно»	92
Практическая работа 11 «Нарастающая шкала»	96
Проектная работа «Электронная игра “Поймай огонек”»	99
Список литературы	104

МОДУЛЬ 1

АНАЛОГОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА: ОТ БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ ДО 555 ТАЙМЕРА

УЧЕБНЫЙ (ТЕМАТИЧЕСКИЙ) ПЛАН

№ п/п	Название разделов (модулей)	Количество академических часов			Форма аттестации/ контроля
		Всего	Теория	Практика	
1.	Модуль «Аналоговая электроника: от биполярных транзисторов до 555 таймера»	24	8	16	
1.1.	Что такое схемотехника	1	1	-	Опрос
1.2.	Самая первая схема на макетной плате	2	1	1	Практическая работа
1.3.	Как резисторы управляют током и напряжением	2	1	1	Практическая работа
1.4.	Такие разные светильники	2	1	2	Практическая работа
1.5.	Транзистор — самое важное изобретение XX века	2	1	1	Практическая работа
1.6.	Схемы на одном транзисторе	3	-	3	Практическая работа
1.7.	Симметричный мультивибратор на двух транзисторах	2	1	1	Практическая работа
1.8.	Первая микросхема 555	2	1	1	Практическая работа
1.9.	Электронная музыка и звуки	2	-	2	Практическая работа
1.10.	«Бегущий огонек»	2	1	1	Практическая работа
1.11.	Полицейская мигалка	2	-	2	Практическая работа
1.12.	Кодовый замок	2	-	2	Практическая работа
Всего		48			

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО (ТЕМАТИЧЕСКОГО) ПЛАНА

МОДУЛЬ 1. «АНАЛОГОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА: ОТ БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ ДО 555 ТАЙМЕРА»

Тема 1.1. Что такое схемотехника (1 ч.)

Теория (1 ч.) Задачи схемотехники и предмет ее изучения, основные термины и определения, виды электрических схем, управление сложностью в проектировании электронных схем, понятие уровней абстракции.

Тема 1.2. Самая первая схема на макетной плате (2 ч.)

Теория (1 ч.) Устройство макетной платы. УГО батареи, резистора, светодиода, кнопки. Выводы светодиода и мнемоническое правило для их запоминания. Оптический телеграф.

Практика (1 ч.) Практическая работа по сборке схем индикатора питания и модели оптического телеграфа.

Тема 1.3. Как резисторы управляют током и напряжением (2 ч.)

Теория (1 ч.) Резистор как наиболее распространенный электронный компонент. Цветовая маркировка резисторов. Закон Ома для участка цепи.

Практика (1 ч.) Расчет сопротивления токоограничивающего резистора для светодиода. Практическая работа по сборке модели светофора с ручным управлением кнопками.

Тема 1.4. Такие разные светильники (2 ч.)

Теория (1 ч.) Переменный резистор и способы его включения. Фоторезистор — принцип работы и основные характеристики. Конденсатор как копилка для электрических зарядов.

Практика (1 ч.) Практическая работа по сборке трех моделей светильников: регулируемый ночник, бестолковый светильник и аварийный фонарик.

Тема 1.5. Транзистор — самое важное изобретение XX века (2 ч.)

Теория (1 ч.) Транзисторы, их классификация. Полупроводники, биполярные и полевые транзисторы, коллектор, база, эмиттер, n-p-n и p-n-p типы транзисторов, режимы работы транзистора, коэффициент усиления.

Практика (1 ч.) Расчет значения резистора базы. Практическая работа по сборке схемы для забавного эксперимента «волшебные пальцы».

Тема 1.6. Схемы на одном транзисторе (3 ч.)

Практика (3 ч.) Практическая работа по поочередной сборке схемы охранной сигнализации, устройства задержки включения нагрузки и автоматического ночника.



Тема 1.7. Симметричный мультивибратор на двух транзисторах (2 ч.)

Теория (1 ч.) Понятия электрического импульса, фронта и спада сигнала, автоколебательного режима, меандра, скважности, периода колебаний, частоты. Устройство схемы симметричного мультивибратора.

Практика (1 ч.) Практическая работа по сборке схемы симметричного мультивибратора на двух биполярных транзисторах структуры n-p-n, которая управляет миганием светодиодов.

Тема 1.8. Первая микросхема 555 (2 ч.)

Теория (1 ч.) Зачем нужны микросхемы? Назначение выводов микросхемы-таймера 555, порядок нумерации выводов, принцип работы таймера в режиме мультивибратора.

Практика (1 ч.) Практическая работа по сборке схемы мультивибратора с использованием микросхемы NE555.

Тема 1.9. Электронная музыка и звуки (2 ч.)

Практика (2 ч.) Практическая работа по созданию моделей светового терменвокса и электронного метронома на основе таймера 555.

Тема 1.10. «Бегущий огонек» (2 ч.)

Теория (1 ч.) Функциональная схема устройства имитации «бегущего огонька». Принципы формирования кода Джонсона. Устройства и функциональное назначение микросхемы 4017.

Практика (1 ч.) Практическая работа по сборке схемы, имитирующей «бегущий огонек» на светодиодах путем их поочередного включения.

Тема 1.11. Полицейская мигалка (2 ч.)

Практика (2 ч.) Практическая работа по сборке схемы, имитирующей проблесковые маячки патрульной машины ДПС.

Тема 1.12. Кодовый замок (2 ч.)

Практика (2 ч.) Практическая работа по сборке схемы электронного кодового замка на макетных платах.

ЛЕКЦИЯ 1 ЧТО ТАКОЕ СХЕМОТЕХНИКА

Цели	Ознакомиться с задачами схемотехники и предметом ее изучения, основными терминами и определениями в схемотехнике и смежных дисциплинах, понятием уровней абстракции в проектировании электронных схем.
Ожидаемые результаты	Понимание места схемотехники в ряду других научно-технических дисциплин с точки зрения уровней абстракции при проектировании электронных устройств.
Время	1 ч.
Основные понятия	Схемотехника, электронная схема, дискретные компоненты, микросхема, контактные макетные платы, принципиальные и монтажные электрические схемы, условные графические обозначения (УГО), уровни абстракции в проектировании электронных устройств, datasheet.

Этапы реализации и содержание учебной деятельности

Этап работы	Описание
Вводная часть	Определение, задачи и предмет изучения схемотехники.
Изучение нового материала	Термины, применяемые в схемотехнике и электронике, виды электрических схем, управление сложностью в проектировании электронных схем, понятие уровней абстракции.



Необходимые электронные компоненты

безопасная макетная плата (breadboard)

Литература

- Электронная схема: ru.wikipedia.org/wiki/Электронная_схема
- Электрическая схема: ru.wikipedia.org/wiki/Электрическая_схема
- Принципиальная электрическая схема: ru.wikipedia.org/wiki/Принципиальная_схема
- Условные графические обозначения в схемах. Журнал «Радио», №3, 2003, с. 39-42.
- Что такое datasheet и зачем он нужен: vsbot.ru/obzory/chto-takoe-datasheet-i-zachem-on-nuzhen.html
- Макетная плата: en.wikipedia.org/wiki/Breadboard
- Дэвид М. Харрис и Сара Л. Харрис. Цифровая схемотехника и архитектура компьютера. ДМК-Пресс, 2018 г. Стр. 33. Рис. 1.1 Уровни абстракции электронной вычислительной системы



Теория и методические рекомендации

Энциклопедическое определение схемотехники описывает ее как научно-техническую дисциплину, изучающую вопросы проектирования и создания схем электронных устройств. Основная задача схемотехники — разработка электронных схем, обеспечивающих выполнение заданных функций, и расчет параметров входящих в них элементов.

Предметом изучения схемотехники являются электронные схемы — соединенные между собой отдельные (дискретные) электронные компоненты, такие как резисторы, конденсаторы, диоды, транзисторы и др., а также интегральные микросхемы. Соединения между электронными компонентами в составе электронной схемы осуществляются посредством проводников — как правило, проводов, печатных плат и припоя.

На этапах разработки и тестирования (прототипирования) электронных схем широко применяются контактные безопасные макетные платы (breadboard), позволяющие быстро вносить изменения в электронную схему. Именно с такими макетными платами вы и будете работать в дальнейшем в процессе изучения основ схемотехники.

Термин «схемотехника» появился в 60-х гг. прошлого века в связи с разработкой унифицированных электронных схем, пригодных одновременно для многих применений. В дальнейшем вы сможете самостоятельно убедиться на практике, что электронные устройства, выполняющие совершенно разные функции, часто используют одни и те же схемотехнические решения.

Термин «схема» также относится к чертежам, которые показывают соединения между электронными компонентами в виде буквенно-цифровых и условных графических обозначений (УГО). В зависимости от назначения используются различные виды электрических схем — структурная, функциональная, принципиальная, монтажная и другие. В данном пособии будут использоваться принципиальные и монтажные схемы.

Принципиальные электрические схемы — это чертежи, показывающие полные электрические связи, а также параметры электронных компонентов, составляющих электронное устройство. Предназначены для наиболее полного понимания принципов работы электронного устройства (изделия) и расчета параметров компонентов.

Монтажные схемы показывают реальное взаимное расположение компонентов электронного устройства. Предназначены для того, чтобы можно было изготовить электронное устройство или, как в нашем случае — собрать электронную схему на макетной плате.

Схемотехника находится на более высоком уровне абстракции, чем электроника. Абстракция подразумевает исключение из рассмотрения тех элементов, которые в данном конкретном случае несущественны для понимания работы. Любой предмет можно рассматривать с различных уровней абстракции.

На самом низком уровне абстракции при описании любых электронных устройств находится физика, изучающая движение электронов. Выше уровнем находятся отдельные электронные компоненты — такие как резисторы, транзисторы и другие.

В рамках электроники как дисциплины изучаются и разрабатываются отдельные электронные компоненты, а в рамках схемотехники эти компоненты используются для создания схем. При этом для схемотехники совершенно не важно, какие физические принципы положены в основу работы этих компонентов. Любой элемент схемы может быть представлен абстрактной математической моделью, описывающей изменения во времени тока и напряжения на его выводах. Данный подход означает, что при рассмотрении схемы на этом уровне абстракции можно не учитывать поведение электронов внутри отдельных электронных компонентов. Ведь современные электронные схемы построены из миллиардов транзисторов. Человеческий мозг не в состоянии описать поведение подобных схем путем составления уравнений о движении каждого электрона в каждом транзисторе и последующего решения этой системы уравнений. Для того, чтобы разработать электронную схему и не утонуть при этом в море избыточной информации, необходимо научиться управлять сложностью разрабатываемой схемы. Критически важный принцип управления сложностью проектирования — абстракция. Именно принцип абстрагирования от маловажных деталей позволяет большинству людей пользоваться сложными электронными устройствами, не задумываясь о движении электронов или о технологии КМОП (комплементарный металл-оксид-полупроводник) внутри процессора их любимого смартфона.

Таким образом, мы выяснили, что схемотехника рассматривает электронные компоненты как «черные ящики», но хорошо задокументированные, где в технической спецификации на электронный компонент (англ. datasheet) подробно описаны его характеристики: основные функции, минимальные и максимальные значения напряжения питания, потребляемая мощность, выходные токи, диаграммы работы, назначение выводов и т. п. По этой причине для изучения схемотехники не требуются глубокие познания в физике, достаточно общих знаний школьного курса.

Вопросы для самопроверки

1. В чем отличие электронных схем от электрических?
2. Какие виды электрических схем вы знаете? Опишите их с точки зрения уровней абстракции.
3. Что означает аббревиатура УГО?
4. Для чего используют datasheet на электронные компоненты сотрудники ремонтных мастерских, какие данные их чаще всего интересуют?
5. Как называется документ, в котором перечислены функции, которые должна обеспечить создаваемая электронная схема с точки зрения заказчика?



ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА 2 САМАЯ ПЕРВАЯ СХЕМА НА МАКЕТНОЙ ПЛАТЕ

Цели	Познакомиться с устройством макетной платы и принципом сборки электронных схем на ней.
Ожидаемые результаты	На макетной плате собрана работающая схема из светодиода и токоограничивающего резистора. Светодиод горит при подаче питания на макетную плату. Дополнительно собрана модель оптического телеграфа.
Время	2 ч.
Основные понятия	Макетная плата, шины питания, резистор, кнопка, светодиод и его выводы — анод и катод.

Этапы реализации и содержание учебной деятельности

Этап работы	Описание
Вводная часть	Макетная плата как конструктор.
Изучение нового материала	Устройство макетной платы. УГО батареи, резистора, светодиода, кнопки. Выводы светодиода и мнемоническое правило для их запоминания. Оптический телеграф.
Самостоятельная сборка схемы	Самая первая схема — индикатор питания. Модель оптического телеграфа.

Необходимые электронные компоненты

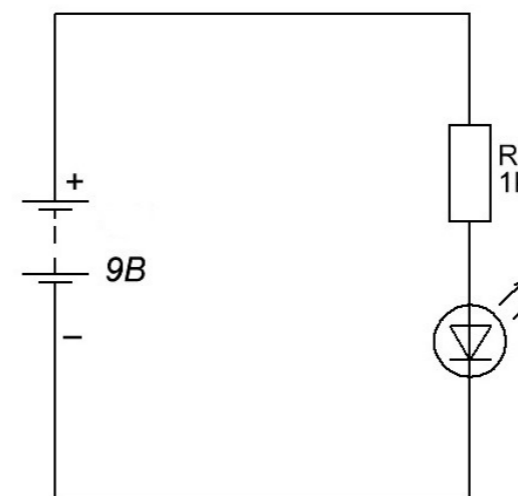
- # резистор 1 кОм (маркировка: коричневый-черный — красный-золотой)
- # светодиод красный
- # тактовая кнопка
- # перемычки
- # безопасная макетная плата (breadboard)
- # батарея питания 9В типа Крона (6F22, 6LR61)
- # контактная колодка для батареи Крона с проводами

Литература

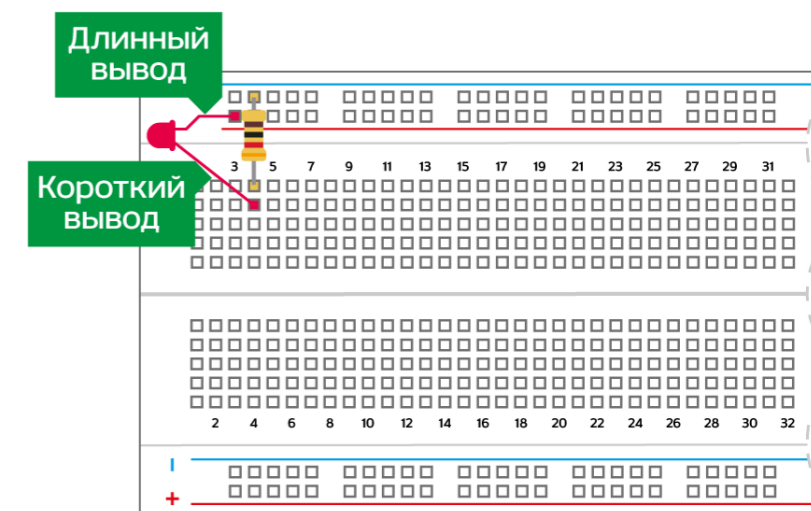
- Ю. Ревич Азбука электроники. Издательство АСТ, Москва, 2017 г. Стр. 23. Эксперимент 1. Светодиоды и их свойства
- Быстрая сборка схем: wiki.amperka.ru/Конспект-arduino:быстрая-сборка-схем
- Светодиод: wiki.amperka.ru/конспект-arduino:светодиод



Принципиальная схема



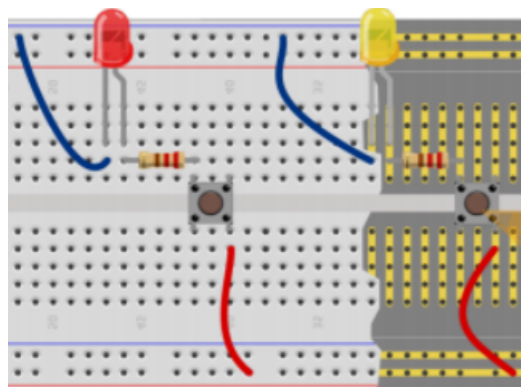
Монтажная схема (фрагмент)



Теория и методические рекомендации

Безопасная макетная плата позволяет собирать электронные схемы без пайки, а потом быстро их разбирать — как конструктор. Устроена она следующим образом:





Расположение контактов
внутри макетной платы

На лицевой стороне из пластика расположено множество отверстий на расстоянии 2,54 мм друг от друга. С таким же шагом обычно располагаются выводы у микросхем. Отверстия нужны для того, чтобы вставлять в них соединительные провода и выводы электронных компонентов. Отверстия макетной платы (кроме шин питания) пронумерованы. Для горизонтальной нумерации используются буквы латинского алфавита, а для вертикальной — числа.

Каждое отверстие ведет к металлическому контакту. В свою очередь, эти контакты соединены между собой определенным образом: по вертикали рядами по пять, а по горизонтали они между собой не соединены. Также не соединены между собой верхняя и нижняя половины макетной платы, они разделены желобом (центральной канавкой).

Сверху и снизу макетной платы тянутся отмеченные цветом длинные ряды — шины питания. Они, соответственно, предназначены для подключения к ним питания («плюс» — красный ряд, «минус» — синий).

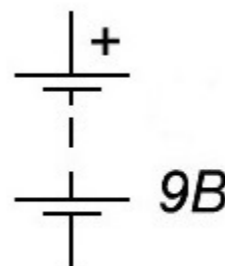
Если схема собрана правильно, то светодиод горит при подаче питания на плату. Не разбирайте схему, а оставьте на макетной плате — она полезна, чтобы всегда понимать, есть ли питание на ней. Говоря другими словами, этот светодиод будет исполнять роль индикатора питания. При работе со всеми остальными схемами при подаче питания первым делом контролируйте: светится ли наш индикатор? Если светодиод не горит, немедленно отключите питание и проверьте: соблюдена ли полярность подключения батареи, нет ли короткого замыкания, не разряжена ли батарея?

Если схема не заработала, проверьте:

1. Правильно ли подключена батарейка? Убедитесь, что соблюдаете полярность подключения — красный провод от батареи («плюс») соединяется с положительной шиной питания на макетной плате, которая отмечена красной линией и знаком «+», а черный провод («минус») — с шиной питания, которая отмечена синей линией и знаком «-».
2. Нет ли в схеме короткого замыкания? Не происходит ли так, что «плюс» соединяется с «минусом» напрямую через провода (перемычки)?
3. Соблюдена ли полярность подключения светодиода? Короткий вывод светодиода (катод) подключайте к «минусу» питания, иначе он не будет светиться.
4. Установлен ли резистор? Светодиод обязательно должен быть подключен через токоограничивающий резистор, иначе он «сгорит» — выйдет из строя.
5. Правильно ли выбран номинал резистора? При выборе резистора слишком большого сопротивления светодиод не будет светить. Если у вас возникают трудности с расшифровкой цветовой маркировки резисторов, то можно проверить их сопротивление с помощью специального прибора — мультиметра.
6. Не разряжена ли батарея питания? В случае сомнений замените ее на новую.

Изучите подробно принципиальную схему, условное графическое обозначение (УГО) каждого компонента и прочтите его краткое описание:

УГО

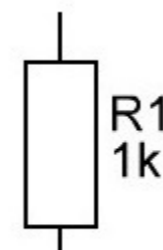


Описание компонента

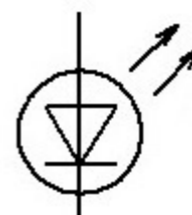
Батарея элементов питания

У одиночных элементов питания и состоящих из них батарей на схеме длинной черточкой обозначается «плюс», а короткой — «минус». В нашем случае в прямоугольном корпусе батареи Крона содержится несколько элементов питания, поэтому мы изображаем два элемента питания, а между ними — прерывистую линию.

Резистор



Создает сопротивление электрическому току. Резистор на схемах в России и Европе обозначается прямоугольником, как на рисунке. Иногда внутри этого прямоугольника рисуют наклонные горизонтальные или вертикальные палочки, которые обозначают мощность рассеивания. В других книгах и интернете вы можете встретить обозначение резисторов в виде зигзагообразной линии, которое используют в США.



Светодиод или светоизлучающий диод

Излучает свет при пропускании через него электрического тока. В отличие от резистора он имеет полярность, то есть один его вывод нужно подключать к «плюсу» питания (этот вывод называется анод), а другой (катод) — к «минусу». Если мы не будем соблюдать полярность, светиться он не будет. Короткий вывод у светодиода — это катод, а длинный — это анод. На принципиальной схеме у светодиода катод там, где короткая черточка.

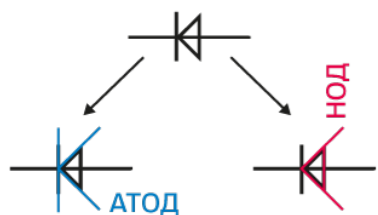
Светодиод подключают не напрямую к питанию, а последовательно с токоограничивающим резистором (в этой схеме — это резистор сопротивлением 1 кОм). В дальнейшем вы познакомитесь с методикой расчета сопротивления токоограничивающего резистора для светодиода.

Можно ли подключать резистор не между плюсом питания и анодом светодиода, а между минусом и катодом? Да, можно, и схема будет работать по-прежнему. Обратите внимание, что на принципиальной и монтажной схемах резистор и светодиод подключены по-разному. Это ошибка художника, но на работу схемы она не влияет.

Совет: как запомнить связь длины выводов светодиода с их названиями? Можно запомнить с помощью мнемотехники — по первой букве «К» в словах «катод» — «короткий».

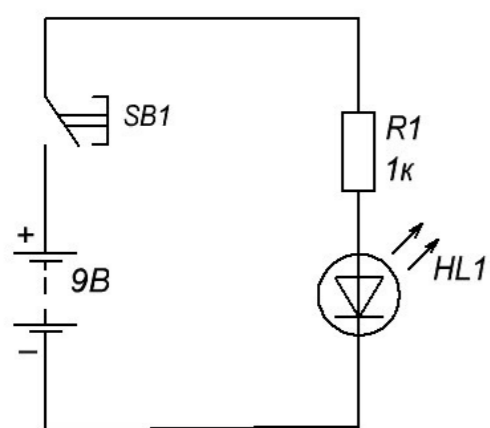


А для принципиальной электрической схемы есть другой способ, см. рисунок:

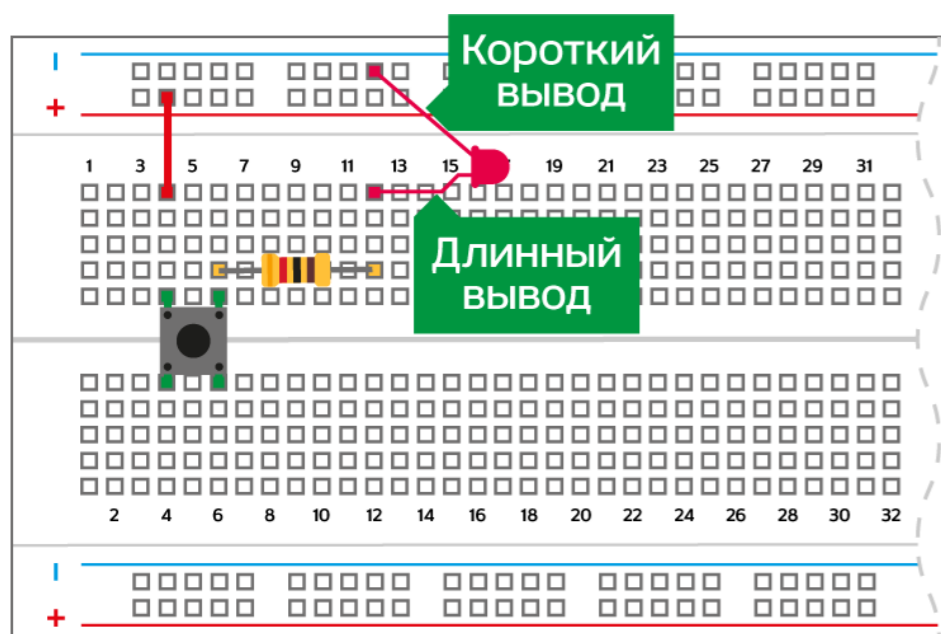


Продолжим эксперименты со светодиодом и соберем новую схему с кнопкой, чтобы можно было включать и выключать светодиод.

Принципиальная схема



Монтажная схема (фрагмент)



С помощью кнопки мы можем включать (кнопка нажата) и выключать (кнопка отпущена) светодиод.

Теперь вы можете передавать сообщения при помощи световых сигналов. Эта схема — модель оптического телеграфа. Такой телеграф, еще называемый гелиограф, использовался вплоть до середины XIX века. Только использовались там, конечно, не светодиоды, а фонари и зеркала.

А на флоте передача сообщений с помощью световых сигналов до сих пор остается одним из самых простых аварийных видов связи между судами.

Как это работает? Кнопка прерывает электрическую цепь. При нажатии на кнопку цепь восстанавливается.



Вот как устроены выводы кнопки. Два левых контакта соединены между собой. То же верно и для правой половины кнопки. Когда на кнопку нажимают, то левая половина (два левых контакта) соединяются с правой половиной (двумя правыми контактами). Получается, что нет никакой разницы, сверху или снизу мы подключаемся к кнопке: верхние и нижние контакты работают абсолютно одинаково.



Обратите внимание на правильное расположение кнопки на макетной плате. Если поставить кнопку неправильно, светодиод будет светиться все время, не реагируя на нажатия кнопки.

Вопросы для самопроверки

1. Как соединены шины питания внутри макетной платы? Что такое «разрыв» шины питания?
2. Что произойдет, если не соблюдать полярность при подключении светодиодов?
3. Светодиоду какого цвета требуется наименьшее напряжение питания, чтобы он начал светиться?



ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА 3 КАК РЕЗИСТОРЫ УПРАВЛЯЮТ ТОКОМ И НАПРЯЖЕНИЕМ

Цели	Познакомиться с постоянными резисторами и их цветовой маркировкой, законом Ома для участка цепи, научиться рассчитывать сопротивление токоограничивающих резисторов светодиодов.
Ожидаемые результаты	Создание модели светофора с ручным управлением кнопками.
Время	2 ч.
Основные понятия	Резистор, сопротивление, цветовая маркировка резисторов, закон Ома.

Этапы реализации и содержание учебной деятельности

Этап работы	Описание
Вводная часть	Резистор как наиболее распространенный электронный компонент.
Изучение нового материала	Цветовая маркировка резисторов. Закон Ома для участка цепи. Расчет сопротивления токоограничивающего резистора для светодиода.
Самостоятельная сборка схемы	Модель светофора с ручным управлением кнопками.

Необходимые электронные компоненты

- # светодиоды: красный, желтый, зеленый
- # резистор 1 кОм (коричневый-черный-красный-золотой): 3 шт.
- # кнопка тактовая: 3 шт.
- # переключки
- # безопасная макетная плата (breadboard)
- # батарея питания 9В типа Крона (6F22, 6LR61)
- # контактная колодка для батареи Крона с проводами

Литература и источники информации

- Резистор: ru.wikipedia.org/wiki/Резистор
- Что необходимо знать о резисторах? habr.com/ru/articles/397607/
- Ряды номиналов радиодеталей: ru.wikipedia.org/wiki/Ряды_номиналов_радиодеталей
- Мнемоническая диаграмма для закона Ома: vk.cc/cqukcX



Теория и методические рекомендации

Резистор — это электронный компонент, который оказывает сопротивление электрическому току. Чем больше сопротивление резистора, тем меньше протекающая через него сила тока.

Сопротивление резистора измеряется в Омах, единица измерения названа в честь немецкого физика Георга Симона Ома. Обозначается греческой буквой «омега»: Ω .

Десятичные кратные единицы образуют с помощью стандартных приставок Международной системы единиц (СИ): 1000 Ом = 1 килоОм, 1000 килоОм = 1 мегаОм.

Резисторы бывают постоянные и переменные — регулировочные и подстроечные.

Постоянные резисторы имеют два вывода и постоянное значение электрического сопротивления, обозначенное на корпусе, как правило, путем цветовой маркировки (номинальное сопротивление).

В переменных резисторах сопротивление может меняться практически от нуля до определенного значения (номинала) обычно путем вращения регулировочного вала и механического перемещения ползунка.

Узнать номинал постоянного резистора можно по цветовой маркировке. На большинстве резисторов нарисованы четыре полосы. Крайняя — обычно золотая или серебряная, часто отделена от остальных небольшим промежутком. Чтобы узнать сопротивление резистора, надо «прочитать» его цветовую маркировку. Расположите резистор так, чтобы золотая или серебряная полоса оказалась справа. Теперь смотрим слева направо, на три полосы по порядку, и переводим их в цифры при помощи таблицы. Первые две цифры означают число, третья — количество нулей, которые после этого числа нужно написать (иначе говоря, десятичный множитель, на который нужно число умножить).



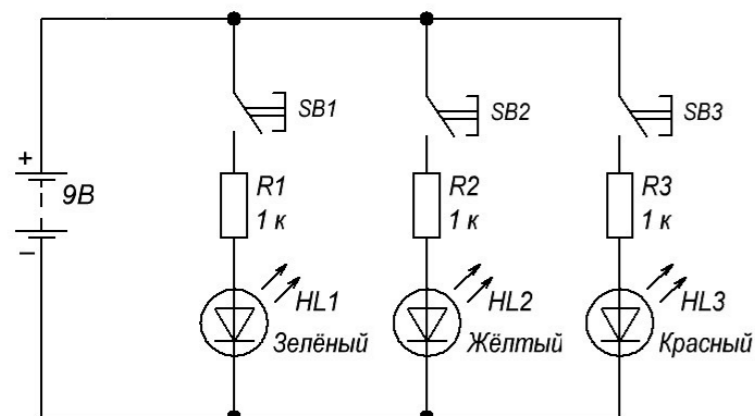
Примечание: если на резисторе нарисованы пять полос, то три первые обозначают цифры, а четвертая — множитель.

Цвет	1 полоса	2 полоса	Множитель
Черный	0	0	1Ω
Коричневый	1	1	10Ω
Красный	2	2	100Ω
Оранжевый	3	3	1КΩ
Желтый	4	4	10КΩ
Зеленый	5	5	100КΩ
Синий	6	6	1МΩ
Фиолетовый	7	7	10МΩ
Серый	8	8	
Белый	9	9	

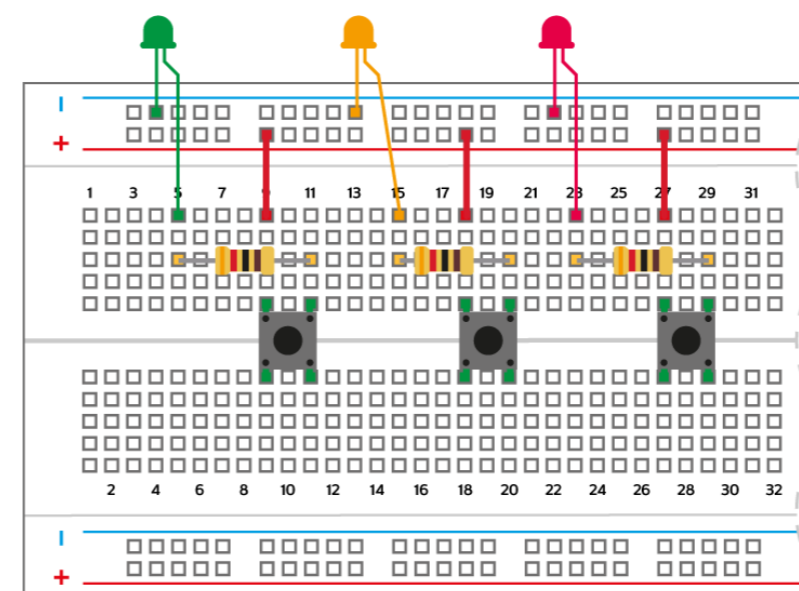
Однако настоящее реальное сопротивление резистора может немного отличаться от номинала, обозначенного цветовой маркировкой. Дело в том, что изготовить резистор с точно заданным значением достаточно трудно, поэтому изготовители резисторов указывают допустимое отклонение, на которое реальное значение сопротивления может отличаться от обозначенного маркировкой (часто это допустимое отклонение называют просто допуск).

Четвертая (или пятая) цветная полоса как раз и означает точность резистора: серебряная полоса — допустимое отклонение не более 10%, золотая — не более 5% от заявленного номинала. К примеру, если резистор рассчитан на сопротивление 100 Ом и его допуск составляет 5%, то это значит, что его реальное сопротивление может находиться в диапазоне от 95 до 105 Ом.

Принципиальная схема



Монтажная схема (фрагмент)



Для получения практических навыков расчета токоограничивающего резистора для светодиода соберите модель светофора с ручным управлением. Управляйте светофором, поочередно нажимая и отпуская кнопки. Можно заметить, что светодиоды светятся неравномерно — некоторые из них ярче других.

Яркость светодиода можно регулировать, изменяя сопротивление резистора, последовательно включенного со светодиодом. Заменяем резистор на другой, с большим сопротивлением — уменьшится сила тока, и светодиод станет светить тусклее (полезно, если яркий свет режет глаз). Ставим резистор с меньшим сопротивлением — и через него идет больше тока, светодиод светит ярче. Тут главное не увлечься и не поставить резистор слишком маленького сопротивления (в нашем случае — менее 360 Ом), иначе светодиод перегорит.

Таким образом, мы пришли к пониманию, что резисторы можно использовать для изменения силы тока в цепи. Можно более точно рассчитать необходимое сопротивление резистора для светодиода, используя закон Ома. Закон назван в честь того же немецкого физика Георга Ома, именем которого названа и величина измерения электрического сопротивления. Георг Ом установил линейную зависимость между силой тока на участке цепи и электрическим напряжением в 1826 году.

Закон Ома является ключом к управлению током и напряжением на участке электрической цепи, он выражается формулой:

$$I = \frac{U}{R}$$

U — напряжение в Вольтах (V или В)

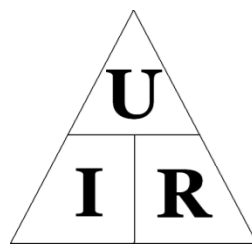
I — сила тока в Амперах (A)

R — сопротивление в Омах (Ω или Ом)

Вербальная формулировка закона Ома гласит, что сила тока на участке цепи прямо пропорциональна напряжению и обратно пропорциональна электрическому сопротивлению данного участка цепи.



Из закона Ома можно вывести формулы, по которым можно рассчитать напряжение и сопротивление на участке цепи. Также для начинающих может оказаться полезной мнемоническая диаграмма в виде треугольника, помогающая запомнить закон Ома. Нужно закрыть искомую величину, и два других символа дадут формулу для ее вычисления.



Итак, чтобы рассчитать более точно необходимое сопротивление токоограничивающего резистора для светодиода, используя закон Ома, необходимо из напряжения источника питания вычесть падение напряжения на светодиоде, а затем эту разницу разделить на рабочий ток светодиода, смотрите формулу:

$$R = \frac{U_{\text{BAT}} - U_{\text{LED}}}{I_{\text{LED}}}$$

U_{BAT} — напряжение источника питания (в нашей схеме 9 Вольт)

U_{LED} — падение напряжения на светодиоде при прямом включении (указывается в характеристиках для конкретного светодиода, например, для красных светодиодов составляет около 2 Вольт, а для фиолетовых может достигать 4 Вольт)

I_{LED} — рабочий ток светодиода (для маломощных светодиодов, которые мы используем, обычно составляет 0,01—0,02 Ампера)

Вопросы для самопроверки

1. Какие характеристики и параметры постоянных резисторов, кроме номинального сопротивления, нужно учитывать начинающему схемотехнику при проектировании?
2. Какое существует мнемоническое правило для запоминания цветовой маркировки резисторов?
3. Как обозначается на схеме постоянный резистор номинальной мощностью рассеивания 0,5 Вт?
4. Почему в схеме светофора не рекомендуется использовать резисторы сопротивлением менее 360 Ом?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА 4 ТАКИЕ РАЗНЫЕ СВЕТИЛЬНИКИ

Цели	Изучить принципы работы и основные характеристики переменного резистора, фоторезистора и конденсатора в ходе практических работ.
Ожидаемые результаты	Создание моделей светильников с использованием разных компонентов, выполняющих различные функции.
Время	2 ч.
Основные понятия	Переменный резистор, реостат, потенциометр, последовательное соединение, фоторезистор, конденсатор, емкость.

Этапы реализации и содержание учебной деятельности

Этап работы	Описание
Вводная часть	Такие разные светильники.
Изучение нового материала	Переменный резистор и способы его включения. Фоторезистор — принцип работы и основные характеристики. Конденсатор как копилка для электрических зарядов.
Самостоятельная сборка схемы	Регулируемый ночник, бестолковый светильник и аварийный фонарик.



Необходимые электронные компоненты

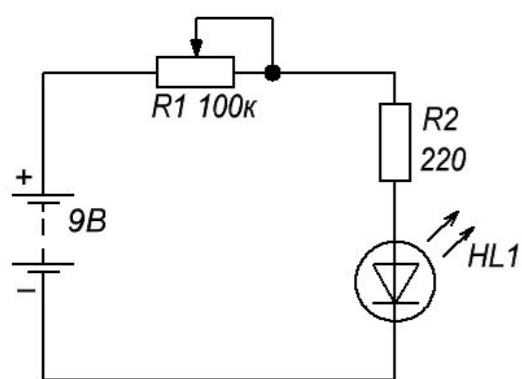
- # светодиод
- # резистор переменный 100 кОм
- # резистор 220 Ом (красный-красный-коричневый-золотой)
- # резистор 10 кОм (коричневый-черный-оранжевый-золотой)
- # кнопка
- # конденсатор 1000 мкФ
- # фоторезистор
- # перемычки
- # безопасная макетная плата (breadboard)
- # батарея питания 9В типа Крона (6F22, 6LR61)
- # контактная колодка для батареи Крона с проводами

Литература

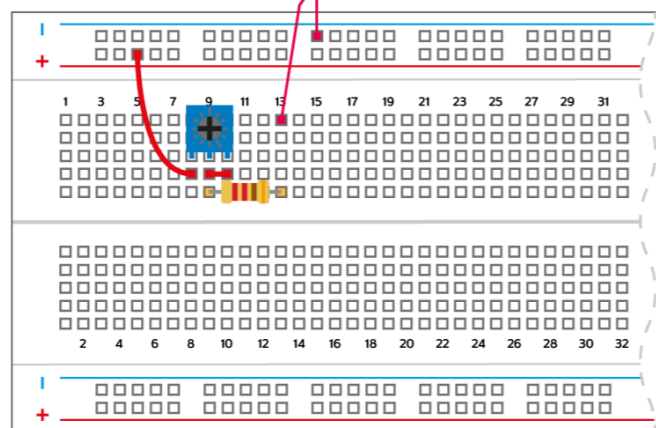
- Ю. Ревич Азбука электроники. Издательство АСТ, Москва, 2017 г. Стр. 33. Эксперимент 2. Регулировка яркости светодиода с помощью переменного резистора
- Сопротивление в движении: что нужно знать о переменных резисторах: habr.com/ru/articles/397953/
- Фоторезистор. Принцип работы, характеристики: joyta.ru/7603-fotorezistor-osnovnaya-informaciya/
- Ю. Ревич Занимательная электроника, 3-е издание. БХВ-Петербург, 2016 г. Стр. 82. Конденсаторы



Принципиальная схема регулируемого ночника



Монтажная схема (фрагмент)



Теория и методические рекомендации

В ходе данной практической работы вы познакомитесь с новыми электронными компонентами и на их основе соберете несколько моделей светильников: регулируемый ночник, бестолковый светильник и аварийный фонарик.

В ходе прошлой практической работы уже упоминался переменный резистор, электрическое сопротивление которого можно изменять, например, механическим способом. У переменного резистора три вывода. Средний вывод является подвижным контактом. На электрических схемах переменный резистор обозначается прямоугольником, как и постоянный, а подвижный контакт схематически представлен в виде стрелки, упирающейся в середину прямоугольника.

Подвижный контакт может двигаться от одного крайнего положения до другого. При этом изменяется сопротивление между ним и крайними контактами резистивного элемента от нуля до номинального сопротивления переменного резистора.

Переменный резистор можно включать в цепь как реостат или как потенциометр. В данной работе резистор используется именно в роли реостата.

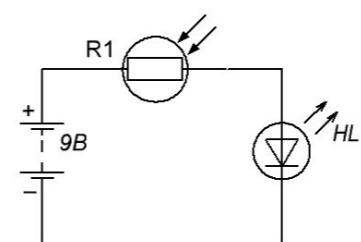
Реостат изменяет силу тока в цепи, для этого обычно используется подвижный контакт и один из крайних выводов (при этом подвижный контакт может быть присоединен к другому крайнему выводу, как на схеме регулируемого ночника). Реостат подключается последовательно в цепь с нагрузкой.

Потенциометр изменяет напряжение, при подключении задействуют все три контакта, и таким образом получается делитель напряжения. Регулируемое (изменяемое) напряжение получают на среднем выводе переменного резистора.

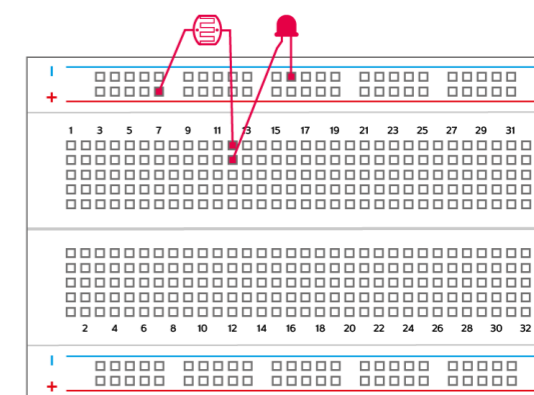
С помощью отвертки аккуратно вращайте переменный резистор, регулируя яркость светодиода. Светодиод будет светиться ярче или тусклее. Мы собрали действующую модель регулируемого ночника с диммером (от англ. dim — затемнять).

Вы можете заметить, что здесь используется сразу два резистора: переменный и постоянный, они включены один за другим. Такое соединение называется последовательным. В этом случае общее сопротивление резисторов равно сумме сопротивлений каждого резистора.

Принципиальная схема бестолкового светильника



Монтажная схема (фрагмент)

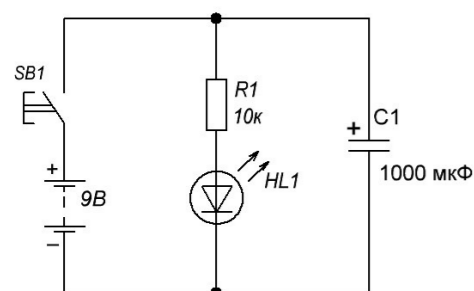


Фоторезистор — электронный компонент, который изменяет величину своего сопротивления при облучении светом. Сопротивление фоторезистора очень велико, если он находится в темноте. Когда на фоторезистор падает свет, то его сопротивление уменьшается. Как и все резисторы он не имеет полярности.

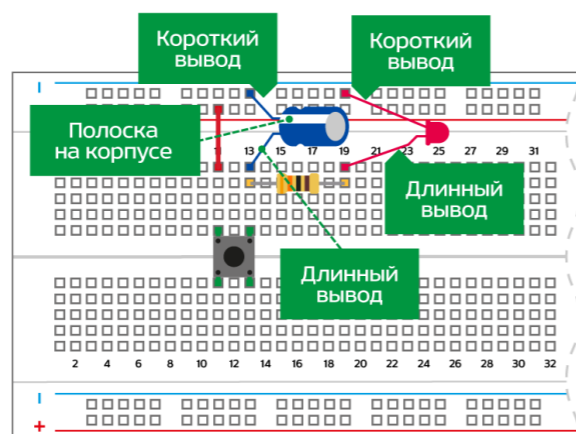
Чтобы зажечь светодиод на полную яркость, посветите на него фонариком, например, своего мобильного телефона. Поэкспериментируйте с разными светодиодами. Светодиод какого цвета светит ярче в этой схеме? Объясните — почему же этот светильник бестолковый?



Принципиальная схема аварийного светильника



Монтажная схема (фрагмент)



Нажмите на кнопку, удерживайте ее несколько секунд, а затем отпустите. Светодиод будет еще некоторое время светиться даже после того, как отпустили кнопку и светодиод перестал получать питание от батареи. Электрический ток в цепи в этом случае возник в процессе разряда конденсатора.

В этой схеме появляется новый компонент — конденсатор. Главное свойство конденсатора — его способность накапливать электрический заряд. Внутри конденсатора есть две проводящие пластины, между которыми находится очень тонкий слой диэлектрика. Когда к конденсатору приложено напряжение, электроны скапливаются на одной из пластин. Они «хотят» перейти на противоположную пластину (их притягивает туда противоположный заряд), но им не дает это сделать слой диэлектрика. Заряженный конденсатор (когда он накопил некоторый заряд) может отдавать накопленные заряды, поддерживая в цепи электрический ток, при этом сам он будет разряжаться. В нашем примере заряженный конденсатор начинает разряжаться через резистор и светодиод, когда кнопка отпущена.

Конденсатор в чем-то подобен аккумулятору: его можно заряжать, а потом использовать накопленную в нем энергию для питания каких-либо устройств. Но аккумулятор способен запастись гораздо больше энергии, чем конденсатор. Аккумулятор может без подзарядки питать светодиод несколько суток, а конденсатор — не больше нескольких секунд.

У любого конденсатора есть предел заряда или емкость. Она измеряется в фарадах (Ф), в честь ученого Майкла Фарадея. Фарад — это очень большая величина, значения емкости конденсаторов в этой схеме измеряются в микрофарадах (мкФ) — миллионных долях фарады.

При сборке обращайте внимание на маркировку конденсатора. В этом эксперименте используется электролитический конденсатор. Электролитические конденсаторы имеют полярность («минус» там, где светлая полоса на корпусе и короткий вывод).

Проведите эксперименты с конденсаторами разной емкости (от 10 до 1000 мкФ). Как связаны емкость конденсатора и время свечения?

Вопросы для самопроверки

1. Зачем нужен в схеме регулируемого ночника постоянный резистор 220 Ом?
2. Зачем замыкать один из крайних выводов переменного резистора с подвижным контактом при включении резистора в качестве реостата?
3. Как проявляется инертность фоторезистора?
4. Почему в схеме с конденсатором используется резистор 10 кОм для светодиода? Если поставить резистор меньшего сопротивления, как в прошлых экспериментах, как изменится время свечения и почему?

МОДУЛЬ 1
АНАЛОГОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА: ОТ БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ ДО 555 ТАЙМЕРА

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА 5 ТРАНЗИСТОР — САМОЕ ВАЖНОЕ ИЗОБРЕТЕНИЕ XX ВЕКА

Цели	Познакомиться с классификацией транзисторов, изучить работу биполярного транзистора в разных режимах.
Ожидаемые результаты	Создание схемы для демонстрации усилительных свойств транзистора.
Время	2 ч.
Основные понятия	Полупроводники, биполярные и полевые транзисторы, коллектор, база, эмиттер, n-p-n и p-n-p типы транзисторов, режимы работы транзистора, коэффициент усиления.

Этапы реализации и содержание учебной деятельности

Этап работы	Описание
Вводная часть	Транзистор — одно из самых выдающихся изобретений XX века.
Изучение нового материала	Транзисторы, их классификация. Биполярные транзисторы разной структуры, их выводы, управление ими. Назначение выводов. Ключевой режим работы транзистора, расчет значения резистора базы.
Самостоятельная сборка схемы	Схема для забавного эксперимента «волшебные пальцы».



Необходимые электронные компоненты

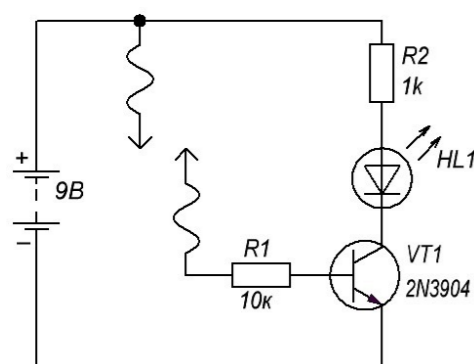
- # светодиод
- # транзистор 2N3904 (N-P-N)
- # резистор 10 кОм (коричневый-черный-оранжевый-золотой)
- # резистор 1 кОм (коричневый-черный-красный-золотой)
- # резистор 470 кОм (желтый-фиолетовый-желтый-золотой)
- # зуммер
- # кнопка
- # конденсатор 1000 мкФ
- # перемычки
- # беспаячная макетная плата (breadboard)
- # батарея питания 9В типа Крона (6F22, 6LR61)
- # контактная колодка для батареи Крона с проводами

Литература

- Чарльз Платт. Электроника для начинающих (Make: Electronics). Издательство: БХВ Петербург, 2012 г. Стр. 97, эксперимент 10. Транзисторное переключение
- Ревич Ю. Занимательная электроника, 3-е издание. БХВ-Петербург, 2016 г. Стр. 97. Транзисторы
- Биполярный транзистор: habr.com/ru/articles/583142/
- Сворень Р. А. Электроника шаг за шагом. ДМК Пресс, Москва, 2020 г. Стр. 196. Глава 9. Создание мощной копии
- Транзистор: ru.wikipedia.org/wiki/Транзистор
- Биполярный транзистор: ru.wikipedia.org/wiki/Биполярный_транзистор



Принципиальная схема



Монтажная схема (фрагмент)



Результат: сожмите пальцами разных рук оголенные концы свободных проводов, и светодиод загорится! Чем сильнее вы сжимаете провода, тем ярче он светится. Небольшой ток, проходящий через кожу, усиливается транзистором, что позволяет светодиоду гореть. Можно образовать цепочку из нескольких людей — светодиод все равно будет гореть.

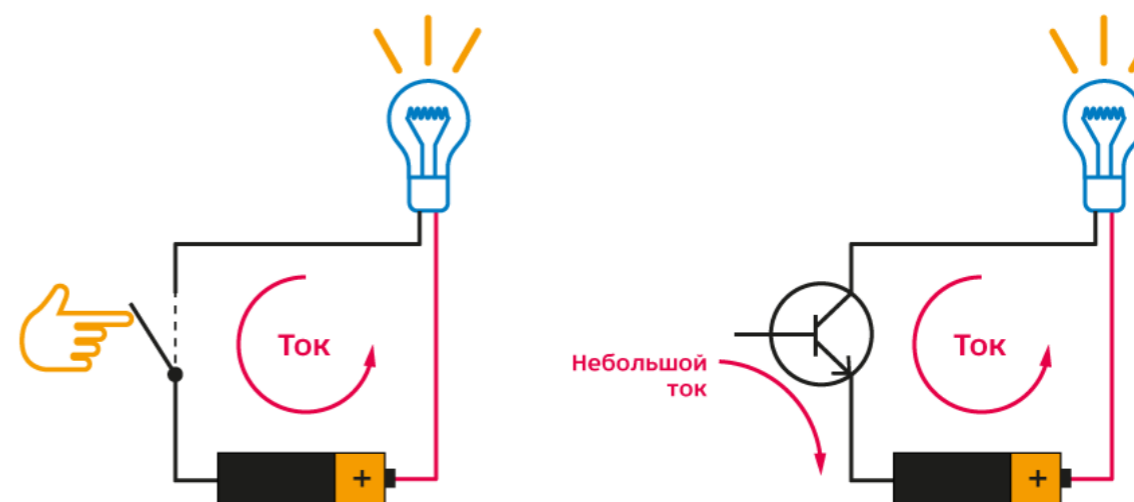
Советы по сборке: обратите внимание — здесь используются два разных резистора. Они различаются только цветом третьей полоски: у одного она красная, а у другого оранжевая. Не перепутайте! Транзистор нужно установить на плату правильно: лицевой стороной к себе. Лицевая сторона — плоская, на ней есть маркировка (буквы и цифры — 2N3904).

Теория и методические рекомендации

Транзистор — электронный полупроводниковый компонент, предназначенный для усиления электрических сигналов. В настоящее время транзистор является основой схемотехники подавляющего большинства электронных устройств и интегральных микросхем.

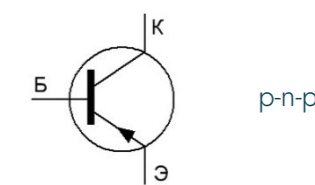
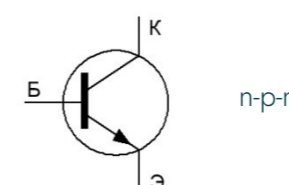
Транзисторы по структуре, принципу действия и параметрам делятся на два класса — биполярные и полевые (униполярные). Биполярные транзисторы управляются изменением тока через переход база-эмиттер, а у полевых транзисторов управление осуществляется изменением напряжения (а не током) между затвором и истоком. В настоящее время в аналоговой технике доминируют биполярные транзисторы. В цифровой технике, в том числе в составе микросхем, напротив, биполярные транзисторы почти полностью вытеснены полевыми. В дальнейшем в наших экспериментах будут использоваться только биполярные транзисторы как дискретные компоненты.

Можно представить, что биполярный транзистор — это электронная кнопка. На кнопку нажимают пальцем, а на биполярный транзистор — небольшим входным током. Однако этот слабый сигнал может управлять значительным током в выходной цепи, что и позволяет использовать транзистор для усиления.



Необходимо запомнить, что все биполярные транзисторы имеют три вывода: коллектор, базу и эмиттер, которые обозначаются соответствующими буквами: К, Б, Э (или английскими — C, B, E).

По структуре биполярные транзисторы делятся на две большие группы: n-p-n и p-n-p.



На рисунках УГО биполярных транзисторов стрелка показывает направление перемещения потока положительных зарядов.

Управляются транзисторы разных типов тоже по-разному:

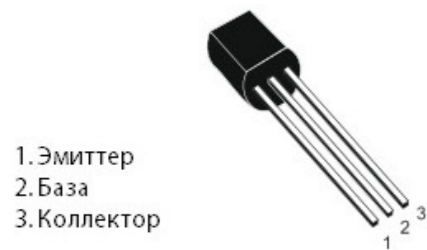
- ➔ транзисторы n-p-n-типа управляются положительным напряжением, которое прикладывается к базе транзистора относительно эмиттера;
- ➔ транзисторы p-n-p-типа управляются отрицательным напряжением, которое создается на базе относительно эмиттера.

Никогда не следует прикладывать питающее напряжение напрямую к транзистору. Вы можете сжечь его током слишком большой величины. Транзистор следует защищать резистором точно так же, как мы защищаем от протекания слишком большого тока светодиод.

Вернемся к нашей схеме и разберемся, как она работает? Два неизолированных провода нужно взять в руки. Электрический ток пройдет через кожу на базу транзистора. Этот ток будет очень мал: сухая кожа человека слабо проводит ток. Но его хватит, чтобы открыть транзистор и задействовать путь тока через коллектор и эмиттер, а значит, и через светодиод. Сила тока в цепи коллектор-эмиттер значительно больше, чем сила управляющего тока в цепи база-эмиттер: в несколько десятков и даже сотен раз. Отношение коллекторного тока к току базы называется коэффициентом усиления по току транзистора.

Нашу схему можно использовать не только для развлечения, но и, к примеру, как датчик уровня воды — если опустить провода в резервуар. При достижении водой уровня этих проводов сопротивление между ними уменьшится, и транзистор откроется, включив светодиод.

Перейдем к нашему конкретному транзистору 2N3904. Как узнать назначение каждого из его выводов (цоколевку)? У всех транзисторов существует документация, ее без труда можно найти в интернете. В этой документации (по-английски *datasheet*) всегда есть подобные рисунки, на которых обозначены выводы транзистора. Обратите внимание, что в таком же корпусе могут выпускаться и другие транзисторы, у них назначение выводов может быть иным, поэтому всегда сверяйтесь с технической документацией.



Из чего делают транзисторы? Эти вещества называются полупроводники. По проводимости электрического тока они занимают промежуточное место между проводниками и диэлектриками, имеют мало свободных электронов и поэтому хуже проводят ток, чем проводники. К полупроводникам относятся кремний, германий, селен, а также многие минералы и металлические сплавы. Кстати, уже встречавшиеся нам светодиоды и фоторезисторы тоже имеют в своем составе полупроводники.

Вопросы для самопроверки

1. Что нужно изменить в схеме, если использовать в ней транзистор структуры p-n-p? Попробуйте самостоятельно собрать такую схему.
2. На какую величину должен отличаться потенциал базы от потенциала эмиттера, чтобы через кремниевый транзистор n-p-n-типа начал проходить ток?
3. От чего зависит максимальная рассеиваемая мощность транзистора?
4. Что такое ключевой режим работы биполярного транзистора? Как рассчитать необходимую величину резистора в базе транзистора в этом режиме?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА 6 СХЕМЫ НА ОДНОМ ТРАНЗИСТОРЕ

Цели	Понять принципы работы схем на транзисторе структуры p-n-p.
Ожидаемые результаты	На макетной плате поочередно собраны схемы охранной сигнализации, устройства задержки включения и автоматического ночника.
Время	3 ч.
Основные понятия	Шлейф охранной сигнализации, активный зуммер, делитель напряжения.

Этапы реализации и содержание учебной деятельности

Этап работы	Описание
Самостоятельная сборка схемы	Сборка схем охранной сигнализации, устройства задержки включения и автоматического ночника.
Дополнительно	Изменить схемы для использования в них транзистора структуры p-n-p.



Необходимые электронные компоненты

- # фоторезистор
- # зуммер
- # транзистор 2N3904
- # резистор 10 кОм (коричневый-черный-оранжевый-золотой)
- # резистор 16 кОм (коричневый-синий-оранжевый-золотой)
- # резистор 1 кОм (коричневый-черный-красный-золотой)
- # резистор 470 кОм (желтый-фиолетовый-желтый-золотой)
- # резистор переменный 100 кОм
- # светодиод
- # кнопка
- # конденсатор 1000 мкФ
- # переключатель
- # беспаячная макетная плата (breadboard)
- # батарея питания 9В типа Крона (6F22, 6LR61)
- # контактная колодка для батареи Крона с проводами

Литература

- Даль Э. Электроника для детей. Собираем простые схемы. Экспериментируем с электричеством. Манн, Иванов и Фербер, 2017 г. Стр. 150. Делитель напряжения

В этой схеме используется активный зуммер — излучатель звука со встроенным генератором. Он начинает «пищать» сразу при подаче на него питания. Будьте внимательны при его установке — он имеет полярность: «плюс» нарисован на корпусе зуммера и должен соединяться с «плюсом» питания. Есть еще пассивные зуммеры — они издают звуки при подаче на них тока определенной частоты, такие зуммеры не подходят для этого проекта.

Схема работает так: пока наш охранный провод (на принципиальной схеме изображен изогнутым в виде волны) не поврежден, на базе транзистора присутствует отрицательный потенциал (охранный провод напрямую соединяет базу транзистора с «минусом» батареи), как и на эмиттере, поэтому транзистор не пропускает через себя ток или, как говорят в этом случае, закрыт. Но стоит выдернуть охранный провод как через резистор R1 на базу транзистора поступит положительный потенциал и транзистор откроется, то есть начнет пропускать ток — загорится светодиод и «запищит» зуммер.

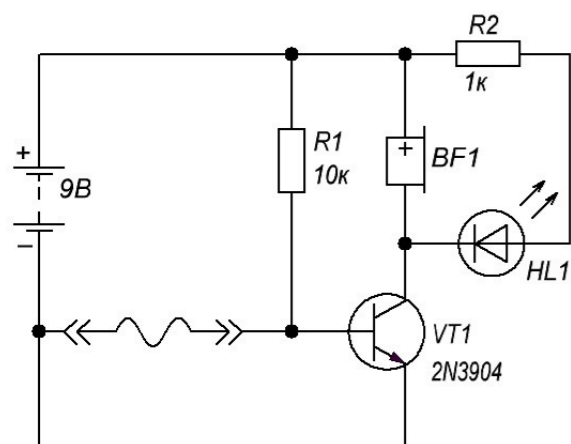
Пока сигнализация не сработала, она находится в так называемом «дежурном» режиме и потребляет минимум энергии. Практически весь ток в «дежурном» режиме при закрытом транзисторе протекает через резистор R1 сопротивлением 10 кОм и охранный шлейф, сопротивление которого слишком мало, им можно пренебречь. Мы можем рассчитать, какова будет сила этого тока по закону Ома: если разделить напряжение (9 Вольт) на сопротивление резистора (10 кОм = 10000 Ом), то получим силу тока 0,0009 Ампер или 0,9 миллиампер (сокращенно — мА). Это сравнительно небольшой ток. Зная емкость батареи, к которой подключена эта схема, можно примерно рассчитать, на какой срок хватит батареи в «дежурном» режиме.

Пока сигнализация не сработала, она находится в так называемом «дежурном» режиме и потребляет минимум энергии. Практически весь ток в «дежурном» режиме при закрытом транзисторе протекает через резистор R1 сопротивлением 10 кОм и охранный шлейф, сопротивление которого слишком мало, им можно пренебречь. Мы можем рассчитать, какова будет сила этого тока по закону Ома: если разделить напряжение (9 Вольт) на сопротивление резистора (10 кОм = 10000 Ом), то получим силу тока 0,0009 Ампер или 0,9 миллиампер (сокращенно — мА). Это сравнительно небольшой ток. Зная емкость батареи, к которой подключена эта схема, можно примерно рассчитать, на какой срок хватит батареи в «дежурном» режиме.

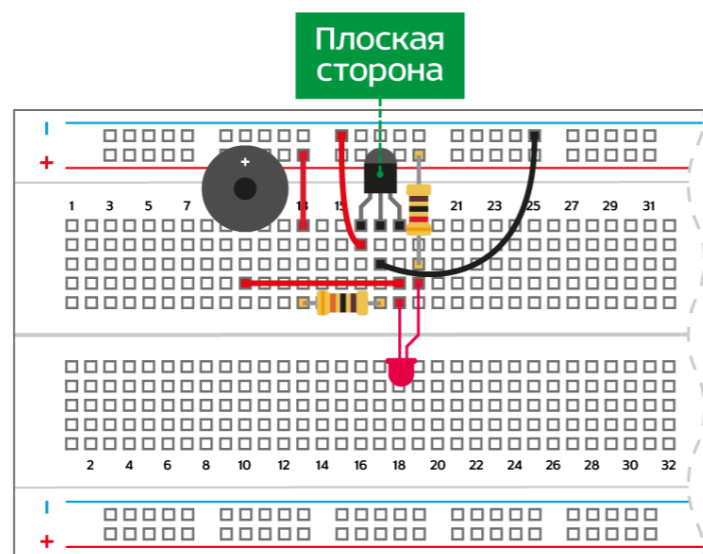
Теория и методические рекомендации

Вашему вниманию предлагаются три простые схемы для закрепления теоретического материала о работе транзистора.

Принципиальная схема охранной сигнализации



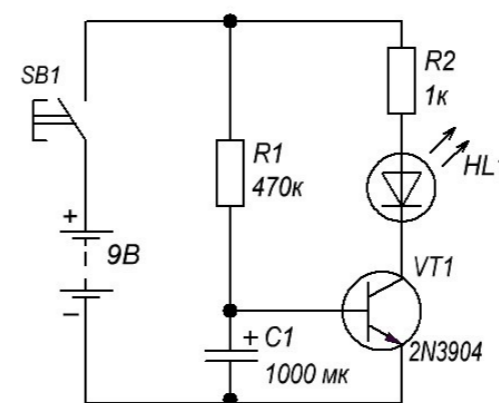
Монтажная схема (фрагмент)



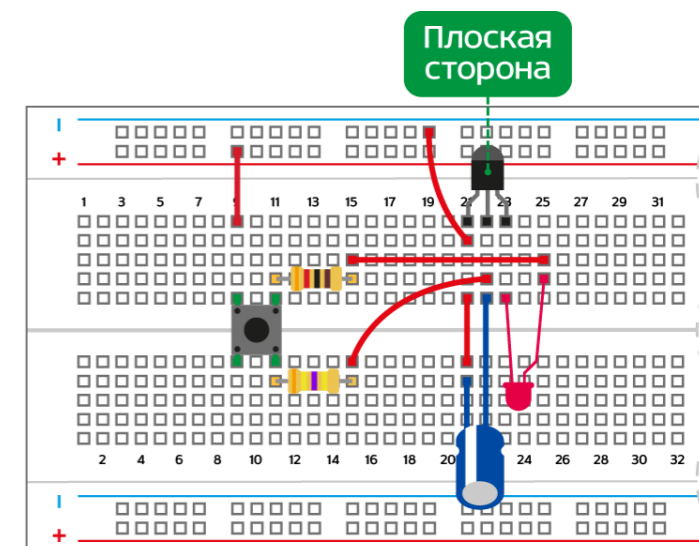
Если в этой схеме выдернуть из макетки черный провод, соединяющий базу транзистора (центральный вывод) с «минусом» батареи питания, — зуммер зазвучит, а светодиод засветится. Это простейшая охранная сигнализация. Такой провод из тонкой проволоки (он называется шлейф охранной сигнализации) можно натянуть при входе в комнату или заменить его датчиком открытия дверей на основе геркона от промышленной сигнализации. Когда нарушитель охраняемого объекта разорвет проволоку или откроет дверь, если мы используем датчик — сигнализация сработает и будет работать до тех пор, пока не будет восстановлена целостность провода либо закрыта дверь или не закончится заряд батареи питания.

На монтажной схеме провод выделен черным просто для удобства. Разумеется, при сборке схемы на макетной плате вы можете использовать провод любого цвета.

Принципиальная схема устройства задержки включения светодиода



Монтажная схема (фрагмент)



Нажмите и удерживайте кнопку. Светодиод загорается не сразу после нажатия на кнопку, а спустя некоторое время. Это простая схема задержки включения светодиода.

При удержании кнопки конденсатор заряжается. Вместе с его зарядом растет и напряжение в этой цепи, как только оно станет достаточным для открытия транзистора — светодиод загорится. Время срабатывания нашего устройства зависит от емкости конденсатора и сопротивления резистора

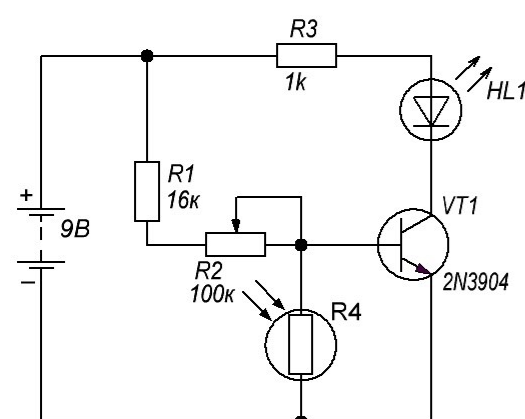


R1. Чем больше сопротивление резистора и емкость конденсатора, тем дольше конденсатор заряжается и тем больше время задержки до включения, и наоборот.

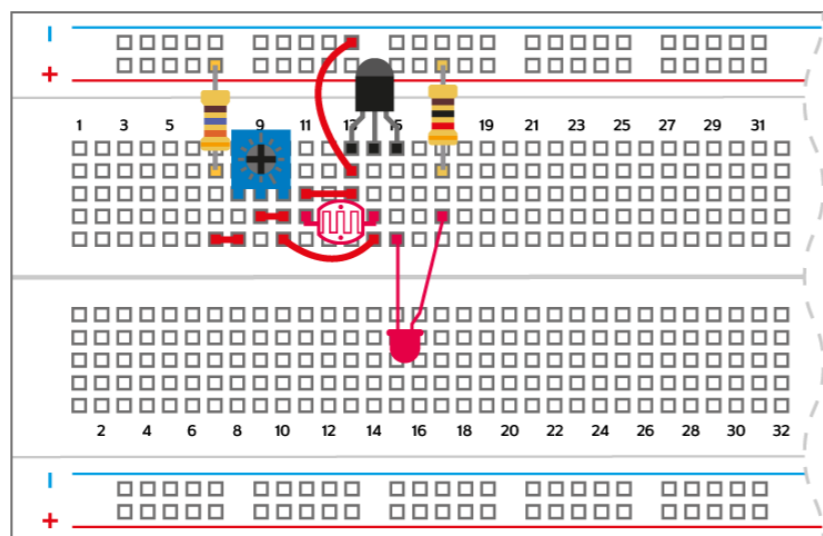
Эта схема отсрочки включения нагрузки, несмотря на свою простоту, может пригодиться на тот случай, если срабатывание устройства должно происходить не сразу при подаче питания, а спустя какое-то время.

Попробуйте поставить в эту схему резисторы с разным номиналом и конденсаторы разной емкости. Замерьте секундомером время задержки до включения светодиода.

Принципиальная схема автоматического ночника



Монтажная схема (фрагмент)



Это автоматический ночник: в темноте светодиод горит, а на свету гаснет. Проверьте его работу, закрывая фоторезистор рукой — светодиод должен загореться. Отверткой регулируйте переменный резистор так, чтобы настроить порог срабатывания схемы в зависимости от уровня окружающего освещения.

Схема очень похожа на схему охранной сигнализации, только вместо охранного провода здесь фоторезистор. Если светло, то сопротивление фоторезистора мало, напряжение на базе транзистора тоже мало, транзистор закрыт. Когда становится темно, то сопротивление фоторезистора значительно возрастает, увеличивается и напряжение на базе транзистора, транзистор открывается и загорается светодиод.

Вопросы для самопроверки:

1. Попробуйте самостоятельно изменить схемы для использования в них транзистора структуры p-n-p (с маркировкой 2N3906).
2. Можно ли увеличить сопротивление резистора R1 в схеме охранной сигнализации для уменьшения потребления тока в дежурном режиме?
3. Для чего нужен резистор R1 в схеме автоматического ночника?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА 7 СИММЕТРИЧНЫЙ МУЛЬТИВИБРАТОР

Цели	Изучить устройство и принцип работы симметричного мультивибратора на транзисторах, характеристики импульсных сигналов.
Ожидаемые результаты	На макетной плате собрана схема симметричного мультивибратора на двух транзисторах, управляющая миганием светодиодов.
Время	2 ч.
Основные понятия	Электрический импульс, фронт сигнала, генератор импульсов прямоугольной формы, автоколебательный режим, симметричный мультивибратор, меандр, скважность.

Этапы реализации и содержание учебной деятельности

Этап работы	Описание
Вводная часть	Для чего применяются электронные устройства, непрерывно вырабатывающие электрические импульсы.
Изучение нового материала	Понятия электрического импульса, фронта и спада сигнала, автоколебательного режима, меандра, скважности, периода колебаний, частоты. Устройство симметричного мультивибратора.
Самостоятельная сборка схемы	Сборка схемы симметричного мультивибратора на двух биполярных транзисторах структуры p-n-p, управляющей миганием светодиодов.
Дополнительно	Изучить принцип работы симметричного мультивибратора. Переделать схему с использованием транзисторов p-n-p структуры. Переделать схему, превратив ее в генератор звуковых колебаний.



Необходимые электронные компоненты

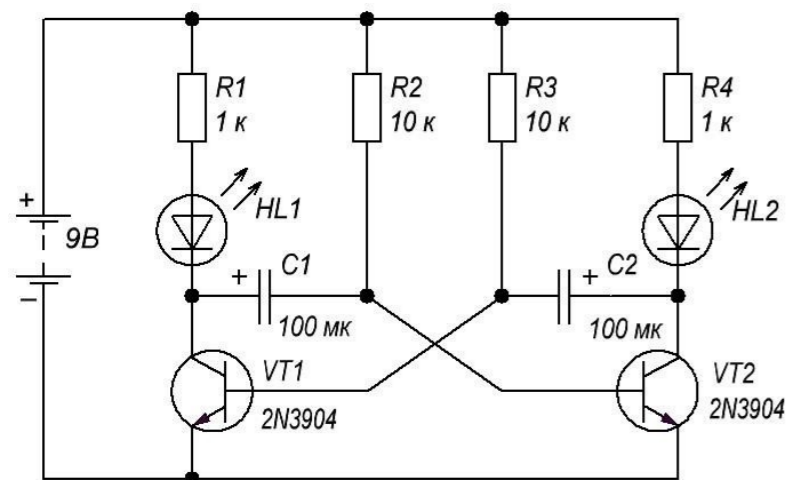
- # светодиод: 2 шт.
- # транзистор 2N3904: 2 шт.
- # конденсатор 100 мкФ: 2 шт.
- # резистор 10 кОм (коричневый-черный-оранжевый-золотой): 2 шт.
- # резистор 1 кОм (коричневый-черный-красный-золотой): 2 шт.
- # перемычки
- # беспаячная макетная плата (breadboard)
- # батарея питания 9В типа Крона (6F22, 6LR61)
- # контактная колодка для батареи Крона с проводами

Литература и источники информации

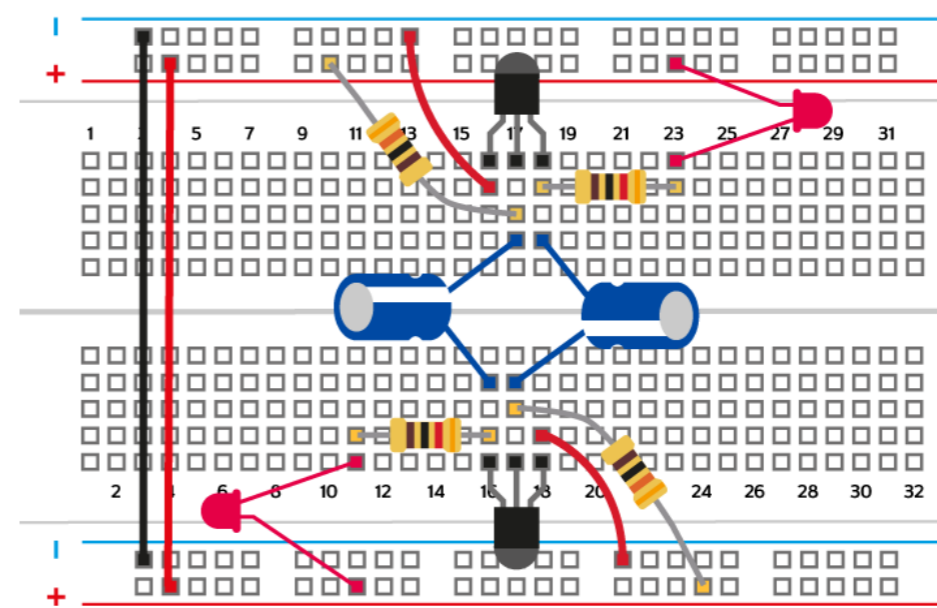
- Сворень Р. А. Электроника шаг за шагом. ДМК Пресс, Москва, 2020 г. Стр. 275. Глава 11. Превращение в генератор
- Понимаем мультивибратор: www.radiokot.ru/start/analog/practice/04/
- Фронт сигнала: ru.wikipedia.org/wiki/Фронт_сигнала
- Скважность: ru.wikipedia.org/wiki/Скважность
- В. Борисов. Мультивибраторы в радиоигрушках. Журнал «Радио», 1974, №2, с. 38-40. archive.radio.ru/web/1974/02/041/



Принципиальная схема



Монтажная схема (фрагмент)



Теория и методические рекомендации

Рассмотрим схему самого, пожалуй, простого мультивибратора, как его еще называют — «классического» мультивибратора на двух транзисторах. Ее мы соберем на макетной плате и изучим на этом примере генератор электрических сигналов прямоугольной формы, а также познакомимся с некоторыми свойствами импульсных сигналов.

Генератор электрических сигналов — устройство, позволяющее производить (генерировать) электрический сигнал, имеющий заданные характеристики. Генераторы электрических колебаний различаются по форме выходного сигнала (прямоугольные, треугольные или синусоидальные), по частотному диапазону (низкочастотные, высокочастотные), по назначению (например, генератор тактовых импульсов) и т. д.

Под электрическим импульсом здесь и далее будет подразумеваться кратковременный всплеск электрического напряжения.

Одной из часто применяющихся в электронике схем является схема генератора тактовых импульсов (генератора тактовой частоты), предназначенная для синхронизации протекающих процессов в цифровых устройствах, таких как компьютеры, электронные часы и таймеры, измерительные приборы. Тактовый генератор вырабатывает периодические электрические импульсы прямоугольной формы и заданной частоты. Частота тактовых импульсов является одним из факторов, определяющих скорость вычислений процессора компьютера. Эта частота может использоваться как эталонная: считая количество импульсов, можно, например, измерять временные интервалы, частоту колебаний других схем, емкость конденсаторов — как время его заряда-разряда через резистор известного сопротивления, и др.

Симметричный мультивибратор на транзисторах представляет собой генератор электрических колебаний, по форме приближающийся к прямоугольной. Он работает в автоколебательном режиме (поэтому иногда его называют автогенератором), то есть производит на выходе незатухающие колебания, поддерживаемые за счет внешней энергии — электрической батареи. Начинает работать сразу после включения питания, не требуя никакого дополнительного внешнего импульса. Частота колебаний определяется параметрами электронных компонентов самого мультивибратора.

Мультивибратор называют симметричным, если он генерирует так называемый меандр, то есть периодический сигнал прямоугольной формы, где длительность импульса и длительность паузы одинаковы (имеющий скважность 2, или коэффициент заполнения 0,5). Это результат



схемотехники данного устройства — в симметричном мультивибраторе номиналы элементов каждого из двух «плеч» абсолютно одинаковы: $R1=R4$, $R2=R3$, $C1=C2$.

Устройство и принцип работы «классического» симметричного мультивибратора на биполярных транзисторах одного типа проводимости по-прежнему разбирается в учебниках по схемотехнике как устройство, имеющее учебную ценность для понимания протекающих внутри электрических схем процессов. Но на практике во «взрослой» схемотехнике, этот мультивибратор сейчас почти не применяется, так как имеет плохие частотные свойства и недостаточно крутые фронты, что ограничивает частоту его генерации.

Фронтом сигнала в электронике называют его нарастание — то есть переход из состояния низкого уровня напряжения в состояние высокого. Обратный переход из состояния высокого напряжения к низкому называют спадом сигнала. Иногда фронт сигнала называют «передним фронтом», а спад сигнала — «задним фронтом». В электронике длительности фронта и спада имеют значение: слишком длительный фронт (недостаточно крутой) или спад может привести к неправильной работе схемы. Идеализированный фронт сигнала производит переход из одного состояния в другое без задержек во времени, и так его часто изображают на рисунках, но в реальном физическом мире это занимает конечное время. Забегая вперед, в раздел, посвященный цифровой электронике, можно отметить, что фронт сигнала — одно из ключевых понятий в теории триггеров в электронике. Триггеры (и построенные на их основе счетчики, регистры) изменяют свое состояние в зависимости от их схемотехнической реализации — по фронту или спаду входных сигналов.

Благодаря исключительной простоте и невысокой стоимости симметричный мультивибратор нашел широкое применение в детских играх и игрушках. С его помощью можно не только мигать светодиодами и лампочками, но и издавать различные звуки, например, имитирующие животных и птиц — мяуканье котенка, кряканье утки или пение птиц.

Результат сборки схемы: два светодиода будут мигать по очереди. На частоту мигания влияет емкость конденсаторов $C1$ и $C2$ (попробуйте заменить их на конденсаторы емкостью 10 мкФ) и резисторов $R2$ и $R3$ $C2$ (попробуйте заменить их на резисторы сопротивлением от 27 кОм до 100 кОм).

Советы по сборке: обратите внимание, что это схема, которая занимает верхнюю и нижнюю половинки макетной платы. При этом используются линии питания как вниз, так и вверх. Чтобы подать питание на нижние линии, поставьте две длинные перемычки сбоку макетной платы. Верхнюю красную линию (шину) питания соедините с нижней красной, а верхнюю синюю — с нижней синей. То есть, соединяем «плюс» с «плюсом», а «минус» — с «минусом». Не перепутайте, иначе транзисторы могут выйти из строя. Также не забывайте о полярности электролитических конденсаторов и светодиодов.

Как это работает

Два транзистора мультивибратора поочередно открываются и закрываются. Когда транзистор открыт, светодиод в его коллекторной цепи горит. Частота вспышек светодиодов зависит от емкости конденсаторов и сопротивлений резисторов $R2$ и $R3$ (чем больше емкость и сопротивление, тем ниже частота и реже переключаются транзисторы).

Вопросы для самопроверки

1. Перечислите характеристики импульсного сигнала, с которыми вы познакомились.
2. Почему номиналы резисторов, установленных в коллекторной цепи транзисторов, выбираются намного меньше тех, которые подключены к базе транзисторов?
3. Какой светодиод в этой схеме загорится первым при подаче питания и почему?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА 8 ПЕРВАЯ МИКРОСХЕМА 555

Цели	Познакомиться с самой популярной микросхемой в мире — таймером 555, режимом ее работы в качестве мультивибратора.
Ожидаемые результаты	Создание модели генератора импульсов с помощью микросхемы NE555.
Время	2 ч.
Основные понятия	Порядок нумерации выводов, назначение или цоколевка выводов, выходы и входы микросхемы, напряжение питания, максимальный выходной ток.

Этапы реализации и содержание учебной деятельности

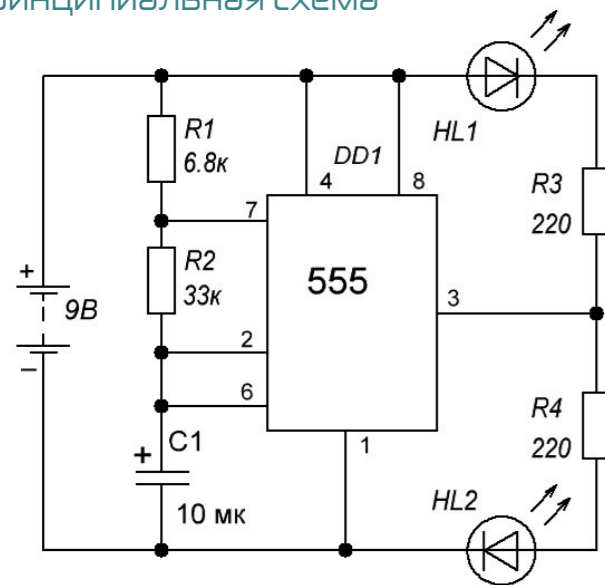
Этап работы	Описание
Вводная часть	Зачем нужны микросхемы? История создания микросхемы 555.
Изучение нового материала	Назначение выводов микросхемы-таймера 555, принцип работы таймера в режиме мультивибратора.
Самостоятельная сборка схемы	Сборка схемы мультивибратора с использованием микросхемы NE555.
Дополнительно	Сборка схемы ШИМ-регулятора на таймере 555.



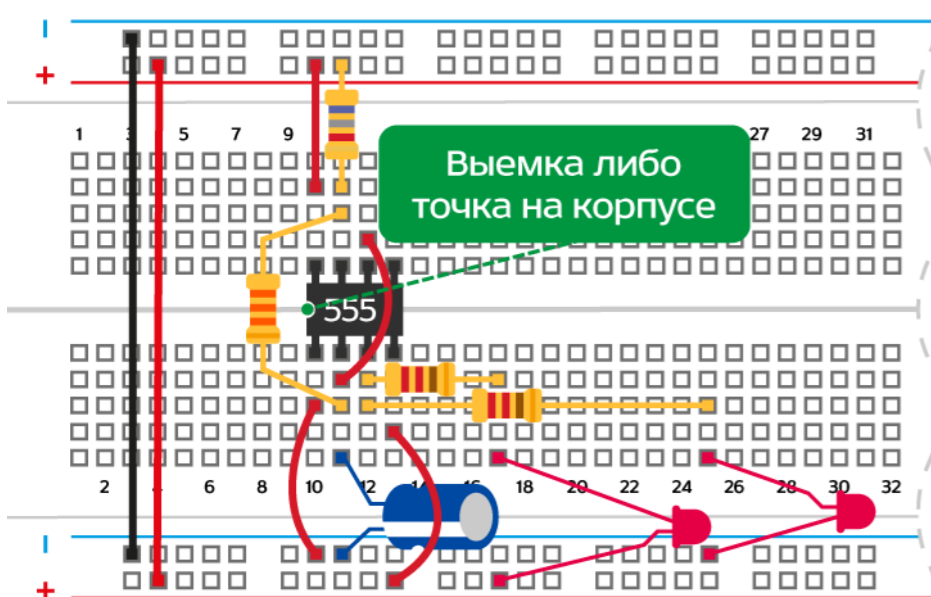
Необходимые электронные компоненты

- # светодиоды: 2 шт.
- # микросхема NE555
- # конденсатор 10 мкФ
- # резистор 6,8 кОм (синий-серый-красный-золотой)
- # резистор 33 кОм (оранж.-оранж.-оранж.-золотой)
- # резистор 220 Ом (красный-красный-коричневый-золотой): 2 шт.
- # перемычки
- # беспаячная макетная плата (breadboard)
- # батарея питания 9В типа Крона (6F22, 6LR61)
- # контактная колодка для батареи Крона с проводами

Принципиальная схема



Монтажная схема (фрагмент)



Литература и источники информации

Ю. Ревич Азбука электроники. Издательство АСТ, Москва, 2017 г. Стр. 55. Эксперимент 5. Таймер на микросхеме 555.

NE555: ru.wikipedia.org/wiki/NE555



Результат сборки схемы: два светодиода будут мигать по очереди, как и в эксперименте с симметричным мультивибратором на транзисторах.

Советы по сборке: сборку схемы надо начать с правильной установки микросхемы на макетную плату. Расположите ее над желобом (центральной канавкой) макетной платы. В этом эксперименте, как и в последующих, микросхема установлена так, что полукруглая выемка (или точка) на корпусе расположена слева, как на рисунке монтажной схемы. У новых микросхем расстояние между рядами выводов может быть чуть больше, чем требуется для установки на макетку, и их потребуется чуть-чуть подогнуть, делайте это очень аккуратно.

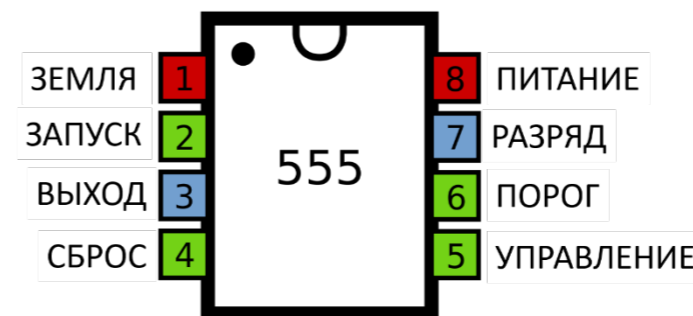
На рисунке ниже указана нумерация выводов микросхемы, она начинается с левого верхнего угла и идет против часовой стрелки. Последний вывод — это правый верхний. Определить, где у микросхемы верх, можно по так называемому ключу — полукруглому вырезу (выемке) в торце, либо через нарисованную (или вдавленную) точку.

Теория и методические рекомендации

Этот небольшой проект познакомит вас с самой популярной микросхемой в мире — таймером 555. Генератор импульсов, который вы изучали ранее в эксперименте с симметричным мультивибратором, можно собрать не только на отдельных транзисторах. Иногда быстрее и проще это сделать с помощью микросхемы NE555, которая уже содержит в своем составе более двух десятков транзисторов, резисторы и диоды. Интегральная микросхема — это полноценная работающая электронная схема, помещенная в небольшой неразборный корпус. Все взаимодействие с микросхемой происходит через выводы. Выводы по-английски — pins («булавки»), в разговорной речи часто называются «пины».

История этой микросхемы началась в далеком 1971 году, когда впервые была изготовлена микросхема 555 под названием «Интегральный таймер» (The IC Time Machine). Сразу после выхода в свет микросхема завоевала огромную популярность. Широко применялась в электронной аппаратуре, а о самом таймере было написано множество статей и книг. До сих пор является самой популярной микросхемой среди начинающих любителей электроники.

Для каждой микросхемы, как и в случае с транзисторами, производитель указывает назначение ее выводов — см. рисунок ниже. На нем для лучшей визуализации выводы питания окрашены в красный цвет, входы — в зеленый, а выходы — в синий.



Назначение выводов микросхемы таймера 555

Рассмотрим подробнее, какие выводы есть у таймера 555:

1. Земля (GND) — вывод, который подключается к «минусу» питания.
2. Запуск (Trigger) — при подаче на этот вход импульса низкого уровня таймер запускается, и на выходе устанавливается напряжение высокого уровня.



3. Выход (Output) — здесь появляется напряжение высокого уровня — импульс. Отсюда можно снять сигнал и отправить его на светодиод, зуммер, транзистор, другую микросхему — да куда угодно!
4. Сброс (Reset) — когда на нем низкий уровень, происходит сброс выхода в состояние низкого уровня. В нашей схеме сейчас этот вывод не используется, поэтому подключаем его на «плюс» питания, чтобы не было случайных сбросов.
5. Управление (Control voltage) — подачей напряжения на этот вывод можно регулировать частоту таймера. Мы не будем его использовать. Часто рекомендуют подключить этот вывод к «минусу» питания через конденсатор 0,01 мкФ для уменьшения уровня помех.
6. Порог (Threshold) — когда на нем высокий уровень, таймер останавливается, и выход (Output) сбрасывается в состояние низкого уровня.
7. Разряд (Discharge) — этот вывод используют для разрядки внешнего конденсатора, когда на выходе (Output) микросхемы низкий уровень.
8. Плюс питания (VCC) — понятно и без расшифровки, это вывод, который подключается к «плюсу» питания.

Микросхема 555 может работать в нескольких режимах. В данном эксперименте изучается режим работы таймера в качестве мультивибратора (генератора импульсов с выходным сигналом прямоугольной формы). Этот режим работы задается тремя внешними электронными компонентами: двумя резисторами и одним конденсатором. Резисторы нужны, чтобы отрегулировать время заряда и разряда конденсатора.

При подаче питания на схему конденсатор начинает заряжаться. Пока он не зарядился, на входе 2 «Запуск» уровень напряжения низкий, а на выходе 3 — высокий уровень. Конденсатор постепенно заряжается через включенные последовательно резисторы R1 и R2. Когда напряжение на конденсаторе (и соответственно, на входе 6 микросхемы) достигает 2/3 напряжения питания, таймер переключается, и на выходе 3 (и одновременно на выходе 7 «Разряд») устанавливается низкий уровень напряжения. Конденсатор начинает разряжаться через резистор R2 на выход 7 («Разряд»).

Когда он разрядится до 1/3 напряжения питания, на входе 2 «Запуск» снова установится низкий уровень напряжения, таймер переключится, и на выходах 3 и 7 установится высокий уровень напряжения. И все опять начинается снова — конденсатор опять начинает заряжаться, пока напряжение на нем не достигнет 2/3 напряжения питания, и так далее.

Изменяя номиналы резисторов R1 и R2, а также емкость самого конденсатора, мы можем изменять продолжительность его заряда и разряда в единицу времени, а значит, и частоту колебаний на выходе таймера, и другие параметры.

Вопросы для самопроверки

1. В каких пределах находится номинальное напряжение питания микросхемы? В чем особенности питания КМОП-версии таймера?
2. Каков допустимый максимальный выходной ток микросхемы?
3. Какие изменения надо внести в схему подключения резисторов к микросхеме 555, чтобы получился регулятор широтно-импульсной модуляции (ШИМ)?
4. Как приблизительно рассчитать значение частоты генератора импульсов, собранного на микросхеме 555?
5. Какой светодиод загорится первым при включении схемы и почему?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА 9 ЭЛЕКТРОННАЯ МУЗЫКА И ЗВУКИ

Цели	Познакомиться с электромузыкальным инструментом (ЭМИ) терменвокс, принципом его работы, создать упрощенные модели терменвокса и электронного метронома.
Ожидаемые результаты	Создание моделей светового терменвокса и электронного метронома на основе таймера 555.
Время	2 ч.
Основные понятия	Таймер 555, терменвокс, метроном, активный зуммер, скважность.

Этапы реализации и содержание учебной деятельности

Этап работы	Описание
Вводная часть	Первый электромузыкальный инструмент — терменвокс.
Самостоятельная сборка схемы	Световой терменвокс, электронный метроном.



Необходимые электронные компоненты

- # микросхема NE555
- # зуммер
- # фоторезистор
- # переменный резистор 100 кОм
- # резистор 1 кОм (коричневый-черный-красный-золотой)
- # резистор 100 кОм (коричневый-черный-желтый-золотой)
- # резистор 6,8 кОм (синий-серый-красный-золотой)
- # конденсатор 10 мкФ
- # перемычки
- # беспаячная макетная плата (breadboard)
- # батарея питания 9В типа Крона (6F22, 6LR61)
- # контактная колодка для батареи Крона с проводами

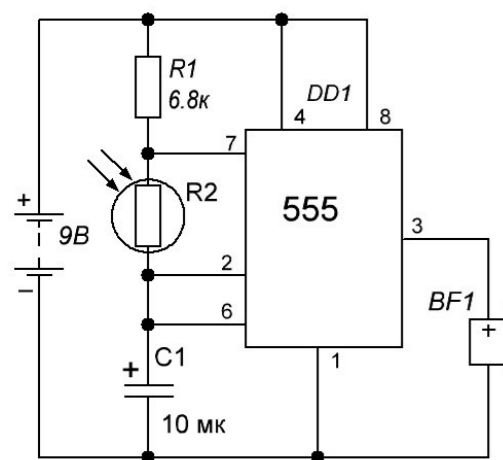
Литература

Даль Э. Электроника для детей. Собираем простые схемы. Экспериментируем с электричеством. Манн, Иванов и Фербер, 2017 г. Стр. 175. Проект № 17. Электромusыкальный инструмент

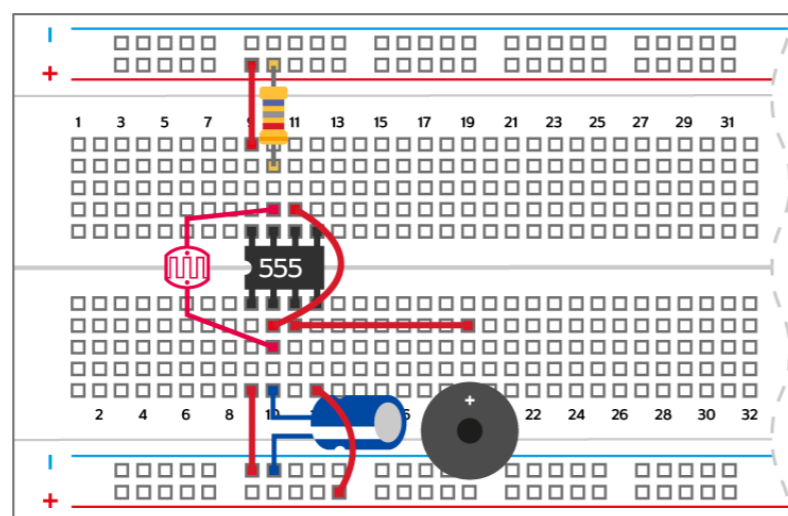
Терменвокс: как устроен единственный в мире бесконтактный музыкальный инструмент и как на нем играют: techinsider.ru/design/748323-kak-ustroen-termenvoks-edinstvennyy-v-mire-beskontaktnyy-muzykalnyy-instrument/



Принципиальная схема светового терменвокса



Монтажная схема (фрагмент)



При подаче питания из зуммера раздастся звук. Если поднести руку к фоторезистору, уменьшая его освещенность, звук изменится. Приближая и удаляя руку от фоторезистора, можно создавать различные забавные комбинации звуков. Этот проект называется «световой терменвокс» в честь электромusыкального инструмента — терменвокса, созданного 100 лет назад инженером Львом Терменом. Мы соберем очень упрощенную модель этого инструмента. Чтобы играть на нашей игрушке, нужно двигать руками в воздухе без физического контакта с инструментом, это напоминает технику игры на настоящем терменвоксе.

Схема очень похожа на предыдущую. В ней есть только два отличия: к выходу микросхемы подключен зуммер, а не светодиоды. Он в токоограничивающем резисторе не нуждается, так что схема становится еще проще. Вместо постоянного резистора R2 в схеме стоит фоторезистор, который изменяет свое сопротивление в зависимости от освещенности.

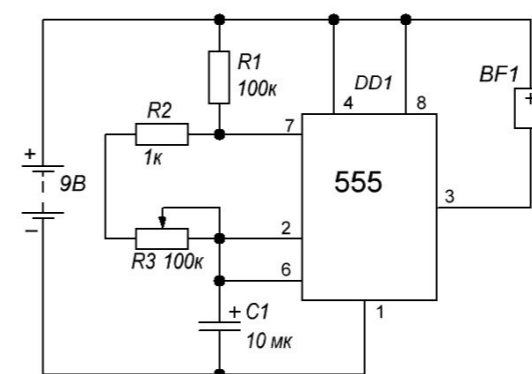
Совет: можно значительно улучшить звучание этого электронного музыкального инструмента, если вместо активного зуммера использовать динамическую головку (динамик).

Для этого потребуется внести несколько изменений в схему:

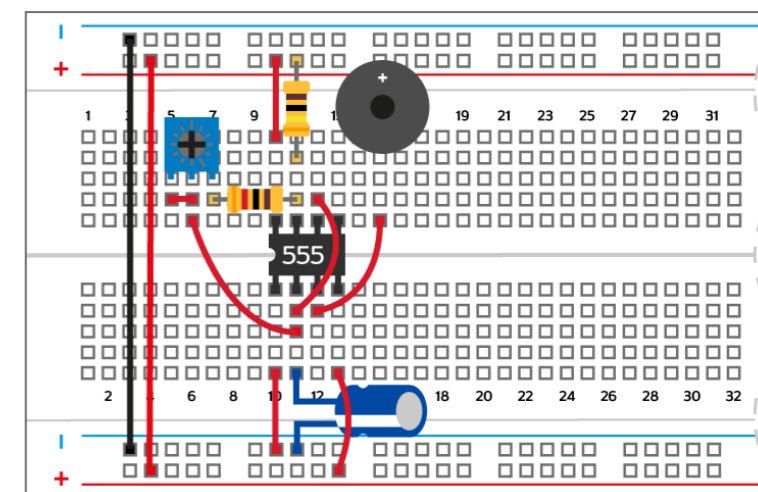
- ➔ заменить конденсатор C1 на неполярный емкостью 0,1 мкФ;
- ➔ удалить зуммер из схемы;
- ➔ к выходу 3 микросхемы 555 подключить полярный конденсатор емкостью 10 мкФ («плюс» — к микросхеме 555);
- ➔ динамик 8 Ом подключить к вышеуказанному конденсатору емкостью 10 мкФ и «минусу» питания.

Также можно заменить фоторезистор на переменный резистор сопротивлением от 100 кОм до 1 МОм и изменять частоту звука вращением ручки потенциометра.

Принципиальная схема метронома



Монтажная схема (фрагмент)



Метроном — это прибор, издающий звуки через равномерные интервалы времени. Его используют музыканты, чтобы научиться играть в заданном темпе. Привычный для каждого музыканта метроном представляет собой механический маятник с грузиком: чем выше грузик — тем реже удары. Но также существуют и электронные метрономы.

Схема издает звуки через равномерные интервалы времени. Можно замедлять или ускорять ритм вращением переменного резистора, то есть это модель электронного метронома.

Обратите внимание, что по сравнению с предыдущей схемой изменилось подключение зуммера. Выход таймера подключен к «минусу» зуммера. А «плюс» зуммера теперь напрямую подключен к «плюсу» питания. Ниже будут подробные объяснения, зачем это нужно.



Важный момент: в этой схеме генератора импульсов скважность (скважность — это отношение длины периода к длине импульса) не может быть больше 2, то есть длина импульса в секундах не может быть короче промежутков между импульсами. Причина этого в том, что конденсатор в схеме заряжается через два последовательно соединенных резистора, а разряжается только через один из них. То есть по времени заряжается он всегда дольше, чем разряжается. Получается, что на выходе таймера длина импульса будет всегда как минимум равна длине паузы либо будет превосходить ее. И мы получим длинные сигналы, между ними — короткие паузы.

Но это не подходит, ведь у метронома должны быть короткие отрывистые сигналы и длинные паузы между ними. Выход есть: можно подобрать резисторы так, чтобы скважность была, к примеру, равна 1,33 (то есть 25% времени занимала бы тишина и 75% — звук). С этой целью мы используем резистор на 100 кОм — увеличивается длина импульса, уменьшается скважность. Затем мы просто меняем подключение зуммера по сравнению с предыдущей схемой: «плюс» подключаем к «плюсу» питания, а «минус» — к выходу таймера. Тогда все диаметрально поменяется: 25% времени будет занимать звук, и 75% времени — тишина. То, что нужно!

Вопросы для самопроверки:

1. Как устроен активный зуммер?
2. Как меняется частота генератора 555 терменвокса при затемнении фоторезистора и почему?
3. Можно ли в схеме метронома заменить зуммер динамической головкой?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА 10 БЕГУЩИЙ ОГОНЕК

Цели	Познакомиться с микросхемой — счетчиком 4017, выяснить ее функциональное назначение.
Ожидаемые результаты	Создание схемы, имитирующей «бегущий огонек» на светодиодах путем их поочередного включения.
Время	2 ч.
Основные понятия	Счетчик Джонсона.

Этапы реализации и содержание учебной деятельности

Этап работы	Описание
Вводная часть	Функциональная схема устройства имитации «бегущего огонька».
Изучение нового материала	Принципы формирования кода Джонсона. Устройство и функциональное назначение микросхемы 4017.
Самостоятельная сборка схемы	Схема «бегущего огонька» на светодиодах под управлением микросхемы CD4017.



Необходимые электронные компоненты

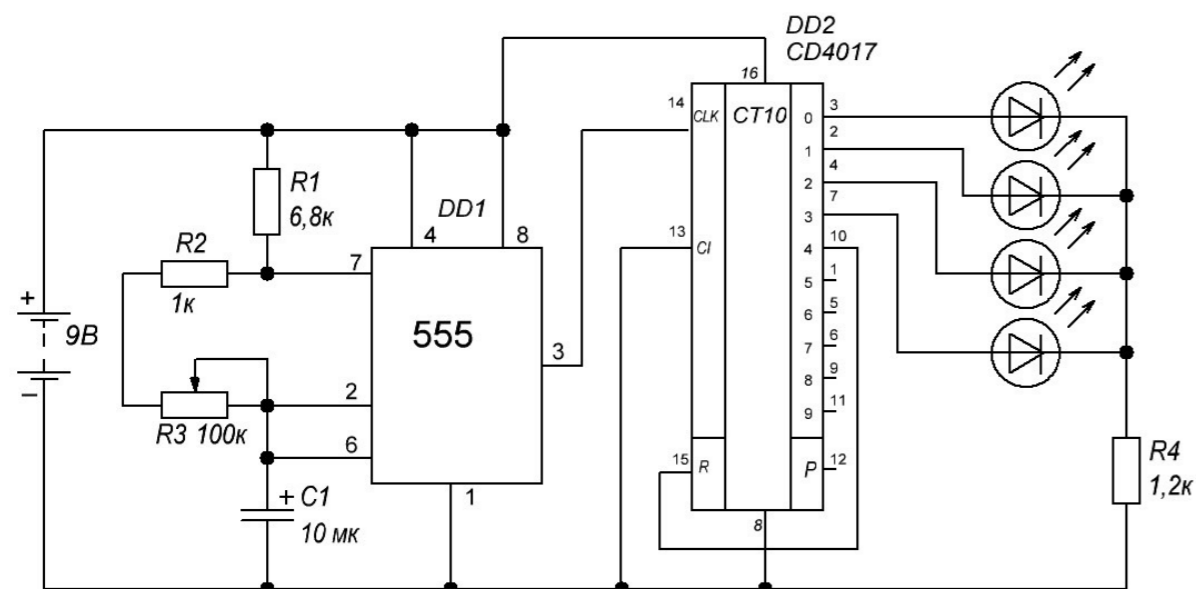
- # микросхема NE555
- # микросхема CD4017
- # светодиоды: 4 шт.
- # конденсатор 10 мкФ
- # переменный резистор 100 кОм
- # резистор 1 кОм (коричневый-черный-красный-золотой)
- # резистор 1,2 кОм (коричневый-красный-красный-золотой)
- # резистор 6,8 кОм (синий-серый-красный-золотой)
- # перемычки
- # беспаячная макетная плата (breadboard)
- # батарея питания 9В типа Крона (6F22, 6LR61)
- # контактная колодка для батареи Крона с проводами

Литература

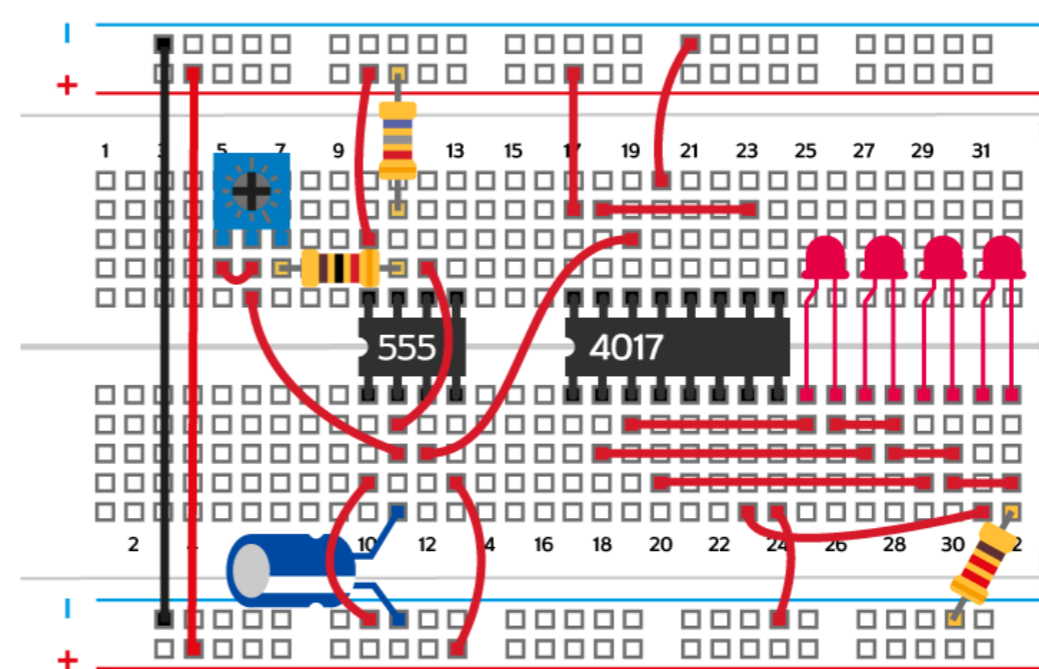
- # Десятичный счетчик-дешифратор K561ИЕ8 (CD4017): habr.com/ru/companies/ruvds/articles/723200/
- # Datasheet CD4017B: static.chipdip.ru/lib/204/DOC000204555.pdf
- # Код Джонсона: wikipedia.org/wiki/Код_Джонсона



Принципиальная схема



Монтажная схема (фрагмент)



Теория и методические рекомендации

При подаче питания на схему светодиоды будут загораться по очереди. Эта очередность включения светодиодов создает эффект «бегущего» в одну сторону огонька. Скорость переключения светодиодов можно регулировать с помощью переменного резистора.

В этой схеме вы познакомитесь с микросхемой 4017 — десятичным счетчиком с дешифратором.



Назначение выводов микросхемы 4017

Счетчик считает поступающие на 14-й вывод («тактовый сигнал») импульсы, которые поступают к нему от генератора импульсов на микросхеме 555. В процессе счета поочередно появляется высокий уровень напряжения на выходах от 0 до 9. Высокий уровень напряжения на 15-м выводе («сброс») обнуляет счетчик. Высокий уровень напряжения на 13-м выводе («запрет тактирования») запрещает счет, поэтому этот вывод соединен с «минусом» питания.

На 12-м выводе («перенос») появляется высокий уровень напряжения, когда счетчик досчитал до последней цифры. Используется для последовательного соединения нескольких счетчиков.



Обратите внимание, что номера выводов микросхемы и номера выходов счетчика — это разная нумерация. Не запутайтесь — выводов у микросхемы 16, а выходов счетчика всего 10. Выводы микросхемы могут быть как входами, так и выходами, а также нужны для подачи питания.

Счетчик в этой схеме считает от 0 до 3. Четвертый импульс сбрасывает счетчик в ноль, так как мы соединили выход 4 с входом «сброс».

Вопросы для самопроверки

1. Какие изменения надо внести в схему, чтобы эффект «бегущего огонька» создавался 10 светодиодами (а не 4 как в данной схеме)?
2. Почему для всех светодиодов используется только один токоограничивающий резистор?
3. В чем особенности счетчика в коде Джонсона?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА 11 ПОЛИЦЕЙСКАЯ МИГАЛКА

Цели	Изучить вопрос устранения взаимного влияния источников разных сигналов друг на друга на выходе микросхемы.
Ожидаемые результаты	Сборка схемы, имитирующей проблесковые маячки патрульной машины полиции.
Время	2 ч.

Этапы реализации и содержание учебной деятельности

Этап работы	Описание
Самостоятельная сборка схемы	Сборка схемы, имитирующей проблесковые маячки патрульной машины полиции; состоит из генератора импульсов на таймере 555 и счетчика Джонсона на микросхеме 4017.



Необходимые электронные компоненты

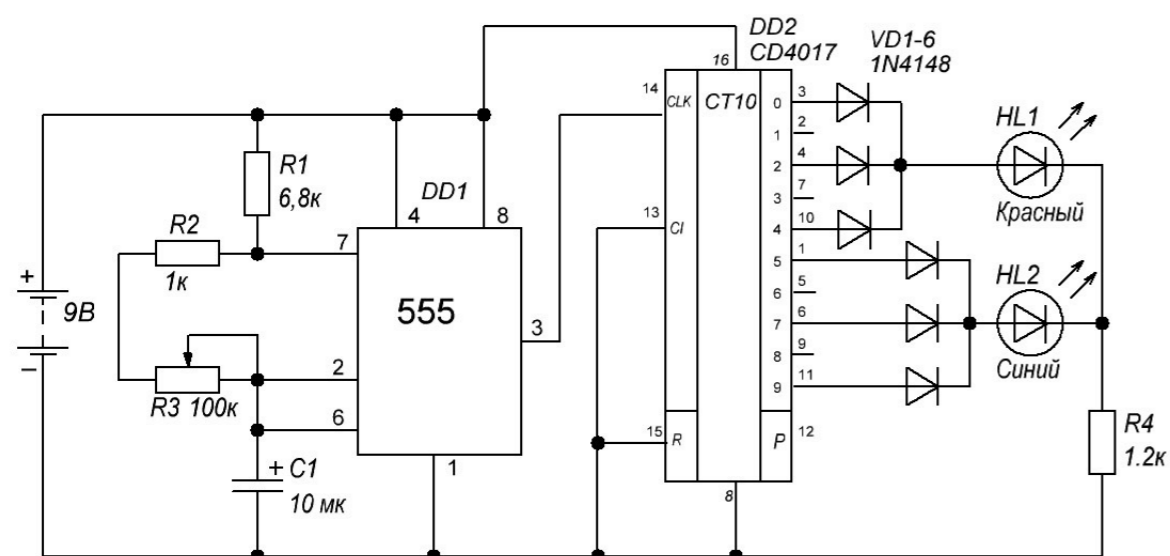
- # микросхема NE555
- # микросхема CD4017
- # светодиоды: красный и синий
- # диоды: 6 шт.
- # переменный резистор 100 кОм
- # конденсатор 10 мкФ
- # резистор 1 кОм (коричневый-черный-красный-золотой)
- # резистор 1,2 кОм (коричневый-красный-красный-золотой)
- # резистор 6,8 кОм (синий-серый-красный-золотой)
- # перемычки
- # беспаячная макетная плата (breadboard)
- # батарея питания 9В типа Крона (6F22, 6LR61)
- # контактная колодка для батареи Крона с проводами

Литература

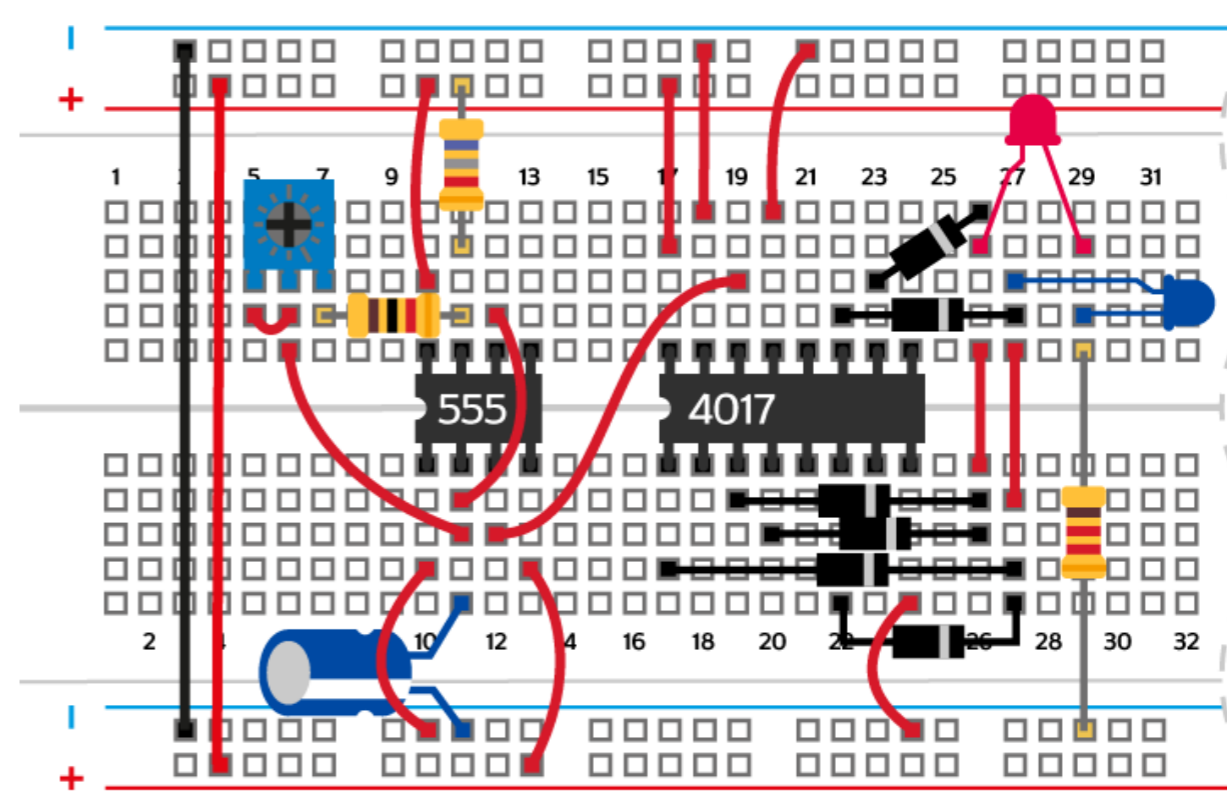
Диод. Светодиод. Стабилитрон:
habr.com/ru/articles/418155/



Принципиальная схема



Монтажная схема (фрагмент)



Результат: красный и синий светодиоды поочередно вспыхивают по три раза каждый подобно проблесковым маячкам патрульной машины полиции. С помощью переменного резистора можно изменять частоту вспышек, добиваясь правдоподобного эффекта.

Советы по сборке: важно правильно установить диоды — метка в виде черного кольца нанесена со стороны катода.

Теория и методические рекомендации

В целом схема не сильно отличается от предыдущей и является ее модификацией. Особенность схемы — соединение нескольких выходов счетчика между собой.

Давайте разбираться, как она работает? К примеру, мы хотим, чтобы красный светодиод вспыхнул три раза. Что, если просто объединить между собой выходы 0, 2 и 4 микросхемы 4017, чтобы всякий раз появление сигнала на одном из этих выходов (не важно, на каком) включало светодиод? А выходы 1 и 3 оставим неподключенными. В момент, когда на этих выходах будет присутствовать высокий уровень сигнала, светодиод не будет гореть. Аналогично поступим с синим светодиодом. Тогда получится так: высокий уровень сигнала на выходах 0, 2, 4 зажигает один светодиод, на выходах 5, 7, 9 — другой.

Но мы не можем соединить напрямую выходы микросхемы просто перемычками со светодиодом, иначе на выходе счетчика возникнет хаос. Напрямую соединенные выходы микросхемы с высокими и низкими уровнями напряжения начнут влиять друг на друга и даже могут повредить микросхему. Электрический ток пойдет в ненужном нам направлении — от выхода с высоким уровнем напряжения к выходу с низким уровнем напряжения вместо того, чтобы включать светодиод.



Нужно разделить выходы таким образом, чтобы ток всегда шел только в одном направлении — от микросхемы к светодиоиду, а не к другому выводу микросхемы. Для этого мы и будем использовать диоды. Диод — это электронный компонент, пропускающий ток только в одном направлении — от анода к катоду. Диоды в этой схеме еще называют «развязывающими» так как они устраняют взаимное влияние источников разных сигналов друг на друга (как бы «развязывают», разъединяют их).

Вопросы для самопроверки:

1. Какова величина падения напряжения на кремниевом диоде при протекании через него тока?
2. Что такое ток утечки диода?
3. Что такое обратное напряжение диода?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА 12 КОДОВЫЙ ЗАМОК

Цели	Собрать модель кодового замка, найти недостатки в этом варианте модели, подумать, как их можно исправить схемотехнически.
Ожидаемые результаты	Сборка модели кодового замка.
Время	2 ч.

Этапы реализации и содержание учебной деятельности

Этап работы	Описание
Самостоятельная сборка схемы	Сборка модели кодового замка.
Рефлексия	Как данная схема может быть в дальнейшем доработана с учетом имеющихся недостатков конструкции?



Необходимые электронные компоненты

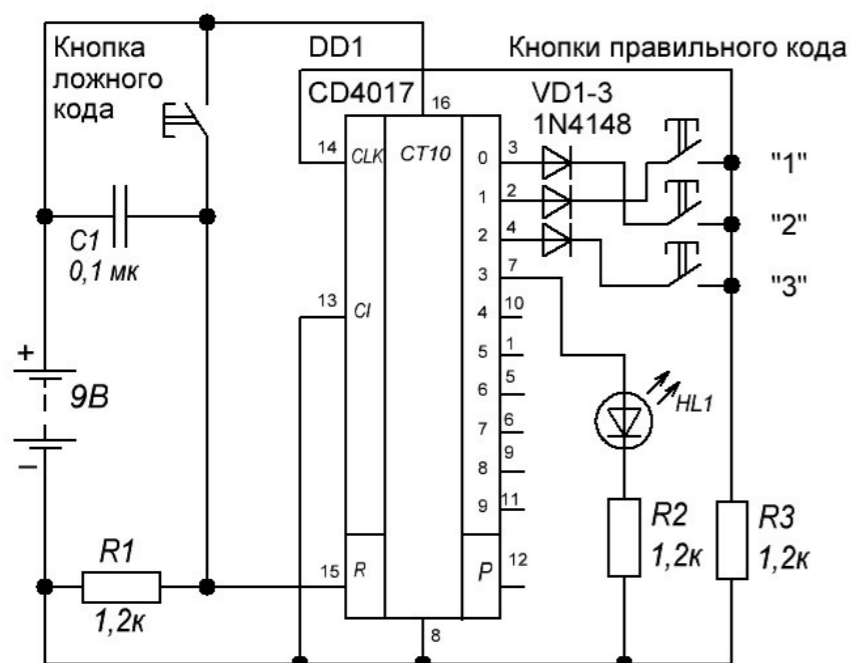
- # микросхема CD4017
- # светодиод
- # тактовая кнопка: 4 шт.
- # диоды: 3 шт.
- # конденсатор 0,1 мкФ
- # резистор 1,2 кОм (коричневый-красный-красный-золотой): 3 шт.
- # перемычки
- # беспаячная макетная плата (breadboard)
- # батарея питания 9В типа Крона (6F22, 6LR61)
- # контактная колодка для батареи Крона с проводами

Литература

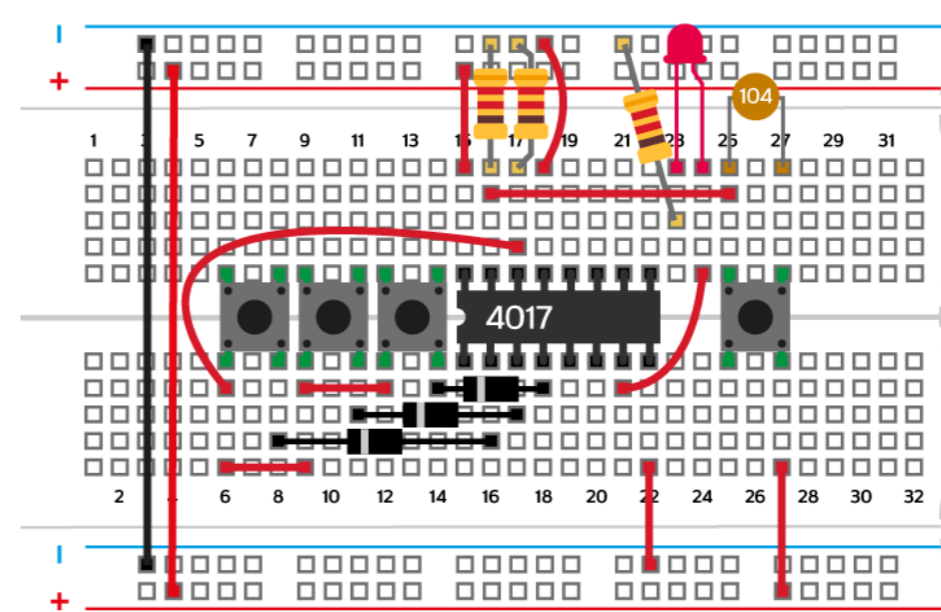
- Секретная плата с китайской олимпиады по электронике: habr.com/ru/companies/ruvds/articles/753126/



Принципиальная схема



Монтажная схема (фрагмент)



Теория и методические рекомендации

Это простая, но при этом полнофункциональная модель кодового замка. Здесь три рабочих кнопки для ввода правильного кода (слева) и одна «ложная» кнопка для сброса (справа). В предлагаемой схеме правильный код 213. Код нужно набрать в определенном порядке, и светодиод загорится, имитируя срабатывание исполнительного устройства (например, электрозамка). Если в процессе набора кода была нажата «ложная» кнопка, не являющаяся частью кода, то замок сбросится в исходное состояние. Таких «ложных» кнопок может быть бесконечно много, но все они должны быть соединены параллельно друг другу.

Разберем работу схемы подробнее. При подаче питания на схему счетчик сбрасывается в состояние «ноль» благодаря наличию конденсатора C1 в цепи сброса счетчика (вход Reset) на 15 выводе микросхемы. В процессе заряда этого конденсатора в момент подачи питания в этой цепи на непродолжительное время возникает электрический ток, который сбрасывает счетчик в состояние «ноль». По окончании заряда конденсатора на этом входе формируется низкий уровень напряжения благодаря резистору R1, который соединяет его с «минусом» питания.

После сброса счетчика в состояние «ноль» на третьем выводе микросхемы появляется высокий уровень напряжения. При нажатии на кнопку «2» на четырнадцатом выводе микросхемы (вход Clock) по фронту импульса счетчик прибавляет единицу. После этого высокий уровень напряжения появляется уже на втором выводе микросхемы. При нажатии на кнопку «1» счетчик снова прибавляет единицу. Теперь высокий уровень напряжения появляется уже на четвертом выводе микросхемы. Если потом нажать кнопку «3», то счетчик опять прибавит единицу, и загорится светодиод как индикатор верно набранного кода. В случае ошибки при нажатии кнопки ложного кода, счетчик сбрасывается в исходное состояние, и снова на третьем выводе микросхемы появляется высокий уровень напряжения.

При желании можно сделать больше рабочих кнопок в кодовом замке по тому же принципу.

Вопросы для самопроверки

1. Сколько всего рабочих кнопок для набора правильного кода можно подключить в этой схеме?
2. Можно ли сделать так, чтобы в коде были повторяющиеся цифры, например, «555»?
3. Со временем рабочие кнопки истираются и начинают отличаться от остальных. Злоумышленник может этим воспользоваться, пытаясь подобрать код, нажимая только на изношенные кнопки. Какую защиту можно предложить в этом случае?



МОДУЛЬ 2

ЦИФРОВАЯ СХЕМОТЕХНИКА: ОТ ЛОГИЧЕСКИХ ВЕНТИЛЕЙ ДО СЧЕТЧИКОВ И РЕГИСТРОВ

УЧЕБНЫЙ (ТЕМАТИЧЕСКИЙ) ПЛАН

№ п/п	Название разделов (модулей)	Количество академических часов			Форма аттестации/ контроля
		Всего	Теория	Практика	
2.	Модуль «Цифровая схемотехника: от логических вентилях до счетчиков и регистров»	24	8	16	Защита проекта
2.1.	Железная логика	2	1	1	Практическая работа
2.2.	Почти калькулятор	2	1	1	Практическая работа
2.3.	Самая маленькая ячейка памяти	2	1	1	Практическая работа
2.4.	Кто быстрее	2	-	2	Практическая работа
2.5.	Дешифратор из двоичного кода	2	1	1	Практическая работа
2.6.	Цифры по порядку	2	1	1	Практическая работа
2.7.	Угадай число	2	1	1	Практическая работа
2.8.	Электронный кубик	1	-	1	Практическая работа
2.9.	Счетчик людей и предметов	1	-	1	Практическая работа
2.10.	Туда и обратно	2	1	1	Практическая работа
2.11.	Нарастающая шкала	2	1	1	Практическая работа
2.12.	Работа над проектом «Электронная игра»	4		4	Защита проекта
Всего		48			

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО (ТЕМАТИЧЕСКОГО) ПЛАНА

МОДУЛЬ 2. «ЦИФРОВАЯ СХЕМОТЕХНИКА: ОТ ЛОГИЧЕСКИХ ВЕНТИЛЕЙ ДО СЧЕТЧИКОВ И РЕГИСТРОВ»

Тема 2.1. Железная логика (2 ч.)

Теория (1 ч.) Логические основы цифровой электроники. Отличия аналоговой и цифровой электроники. 4000 серия микросхем. Основные логические элементы — И, ИЛИ, НЕ. Таблицы истинности. Чувствительность к статике электронных компонентов. «Плавающий» вход и подтягивающие резисторы.

Практика (1 ч.) Практическая работа по сборке схем, демонстрирующих логику работы наиболее распространенных вентилях И-НЕ, ИЛИ-НЕ. Составление таблиц истинности для собранных схем.

Тема 2.2. Почти калькулятор (2 ч.)

Теория (1 ч.) Математическая электроника: полусумматор, полный сумматор, бит переноса, наименее значащий бит или младший бит, Исключающее ИЛИ, многоразрядный сумматор, переполнение, представление отрицательных двоичных чисел в дополнительном коде, дополнение до двух, вычитание чисел в дополнительном коде, АЛУ (арифметико-логическое устройство).

Практика (1 ч.) Практическая работа по сборке полусумматора, одноразрядного сумматора. Составление таблиц истинности.

Тема 2.3. Самая маленькая ячейка памяти (2 ч.)

Теория (1 ч.) Комбинационные и последовательностные схемы, RS-триггер, вход установки, вход сброса, прямой и инверсный выходы, режим хранения, запрещенный режим, временные диаграммы, обратная связь.

Практика (1 ч.) Практическая работа по сборке модели асинхронного RS-триггера из вентилях ИЛИ-НЕ. Составление таблиц истинности и временных диаграмм.

Тема 2.4. Кто быстрее (2 ч.)

Практика (2 ч.) Практическая работа по сборке модели электронной игры «Кто быстрее» для двух игроков с использованием триггеров.

Тема 2.5. Дешифратор из двоичного кода (2 ч.)

Теория (1 ч.) Системы счисления и двоичный код, семисегментный индикатор, дешифратор, драйвер, токоограничивающий резистор, общий катод.

Практика (1 ч.) Практическая работа по сборке дешифратора из двоичного кода с выводом информации на семисегментный индикатор.



Тема 2.6. Цифры по порядку (2 ч.)

Теория (1 ч.) Считаем электрические импульсы: двоичный счетчик, его временные диаграммы, «дребезг контактов», реверсивный счетчик, двоично-десятичный счетчик, счетчик-делитель, предустановка счетчика.

Практика (1 ч.) Практическая работа по сборке схемы, считающей нажатия на кнопку и отображающей число нажатий на дисплее.

Тема 2.7. Угадай число (2 ч.)

Теория (1 ч.) Актуальность и проблемы генерации истинно случайных чисел, основные типы генераторов случайных чисел, генератор импульсов, инерция зрения (персистенция), критическая частота слияния световых мельканий (critical flicker frequency, CFF).

Практика (1 ч.) Практическая работа по сборке схемы, которая объединяет генератор импульсов, двоичный счетчик, дешифратор и семисегментный индикатор в одну схему.

Тема 2.8. Электронный кубик (1 ч.)

Практика (1 ч.) Практическая работа по сборке модели имитатора электронного кубика для настольных игр.

Тема 2.9. Счетчик людей и предметов (1 ч.)

Практика (1 ч.) Практическая работа по сборке модели счетчика людей и предметов с фотодатчиком.

Тема 2.10. Туда и обратно (2 ч.)

Теория (1 ч.) Принципы функционирования мультиплексора и демultipлексора, их схемотехника.

Практика (1 ч.) Практическая работа по сборке схемы «бегущий огонек» с реверсом на основе демultipлексора.

Тема 2.11. Нарастающая шкала (2 ч.)

Теория (1 ч.) Регистры в цифровой технике. Сдвиговые (последовательные или сдвигающие) регистры. Схемотехническая реализация четырехразрядного сдвигового регистра.

Практика (1 ч.) Практическая работа по сборке схемы модели светодиодных динамических указателей поворотов автомобиля (накапливающегося включения светодиодов в виде нарастающей шкалы).

Тема 2.12. Работа над проектом «Электронная игра "Поймай огонек"» (4 ч.)

Практика (4 ч.) Практическая работа по проектированию схемы электронной игры и последующей ее сборки на макетных платах. Защита проекта.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА 1 ЖЕЛЕЗНАЯ ЛОГИКА

Цели	Изучить работу цифровых логических элементов, выполняющих элементарные логические операции с цифровыми сигналами. Познакомиться с микросхемами цифровой логики.
Ожидаемые результаты	На макетной плате собраны схемы, демонстрирующие логику работы наиболее распространенных вентилей И-НЕ, ИЛИ-НЕ, Исключающее ИЛИ. Заполнены таблицы истинности для каждого из протестированных логических элементов.
Время	2 ч.
Основные понятия	Аналоговая vs цифровая электроника, основные логические элементы — И, ИЛИ, НЕ, таблицы истинности, «плавающий» вход и подтягивающие резисторы.

Этапы реализации и содержание учебной деятельности

Этап работы	Описание
Вводная часть	Схемотехника аналоговая и цифровая. Цифровые микросхемы и их виды.
Изучение нового материала	Цифровые логические элементы: НЕ, И, ИЛИ. Таблицы истинности для них.
Самостоятельная сборка схемы	Сборка схемы для демонстрации логики работы наиболее распространенных вентилей И-НЕ, ИЛИ-НЕ, Исключающее ИЛИ.



Необходимые электронные компоненты

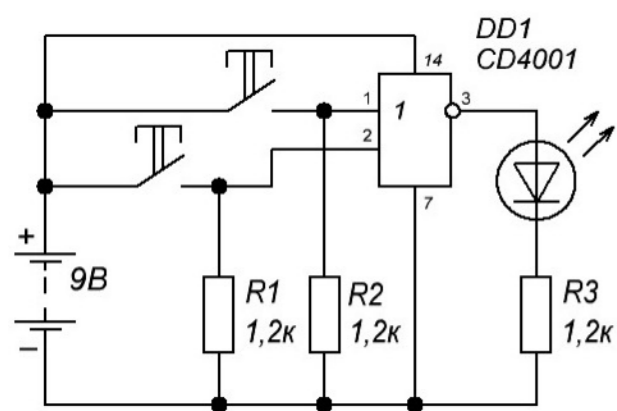
- # микросхема CD4001BE (ИЛИ-НЕ)
- # микросхема CD4011BE (И-НЕ)
- # микросхема CD4070BE (Исключающее ИЛИ)
- # светодиод
- # тактовая кнопка: 2 шт. и/или dip-переключатель (2 pin)
- # резистор 1,2 кОм (маркировка: коричневый-красный-красный-золотой): 3 шт.
- # перемычки
- # беспаячная макетная плата (breadboard)
- # батарея питания 9В типа Крона (6F22, 6LR61)
- # контактная колодка для батареи Крона с проводами

Литература и источники информации

- Токхейм Р. Основы цифровой электроники. Мир, 1988 г. Стр. 13. Глава 1. Цифровая электроника
- Ревич Ю. Занимательная электроника, 3-е издание. БХВ-Петербург, 2015 г. Стр. 283. На пороге цифрового века
- Кириченко П. Цифровая электроника для начинающих. 2-е издание. БХВ-Петербург, 2022 г. Стр. 70. Микросхемы цифровой логики
- Микушин А. Цифровые устройства — digteh.ru/digital



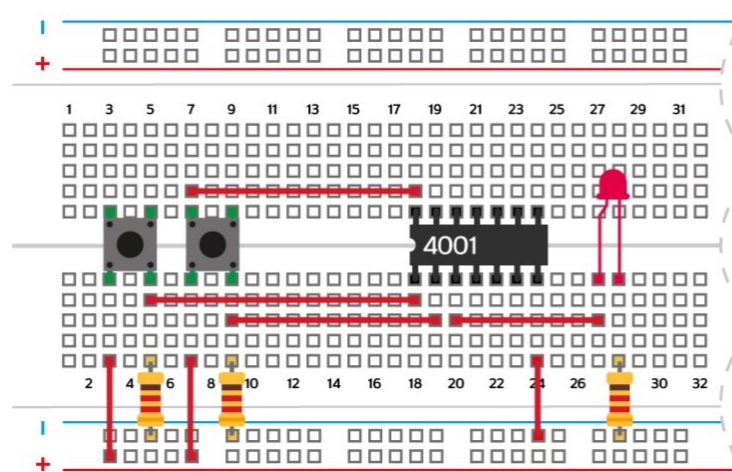
Принципиальная схема



Как это работает

Нажимайте кнопки по очереди или обе вместе и наблюдайте за тем, в какой момент включается светодиод.

Монтажная схема (фрагмент)



Теория и методические рекомендации

В этой схеме демонстрируется работа логических элементов (по-другому их еще называют вентили), выполняющих элементарные логические операции с цифровыми сигналами. Нажимайте на кнопки поочередно или одновременно и следите за свечением светодиода.

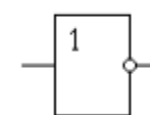
Горящий светодиод соответствует логической «1» на выходе логического элемента. Нажатая кнопка соответствует подаче логической «1» на вход микросхемы. Обратите внимание на так называемые подтягивающие резисторы, которые соединяют входы вентиля с «минусом» питания.

Они обеспечивают низкий логический уровень на входах микросхемы в те моменты, когда кнопки не нажаты.

Важная рекомендация: неиспользуемые входы микросхем не должны быть оставлены неподключенными. «Плавающий» вход может дрейфовать между логическими «0» и «1», создавая непредсказуемое поведение выхода микросхемы. Все неиспользуемые входы должны быть подключены к шине питания или другому используемому входу.

Базовые логические операции — это И, ИЛИ и НЕ. Результаты их работы удобно представить в виде так называемой таблицы истинности, в которой будут перечислены состояния на выходе при любой комбинации входных сигналов.

Простейшим логическим элементом является элемент НЕ или инвертор, который изменяет входной сигнал на прямо противоположное значение:

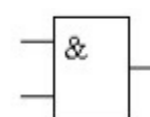


Условно-графическое обозначение логического инвертора, принятое в российском стандарте.

Вход	Выход
0	1
1	0

Таблица истинности для инвертора содержит всего две строки.

Логический элемент И выполняет операцию «конъюнкция» или логическое умножение:

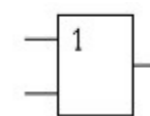


Условно-графическое обозначение логического элемента И, принятое в российском стандарте. Вентиль И может иметь два (тогда он обозначается 2И) и более входов.

Вход 1	Вход 2	Выход
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Таблица истинности: для элемента И с любым числом входов справедливо правило: сигнал на выходе элемента И равен «1», если на всех входах сигналы тоже равны «1».

Следующим логическим элементом является ИЛИ, реализующий операцию логического сложения или «дизъюнкция»:



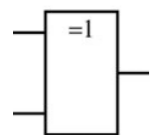
Условно-графическое обозначение логического элемента ИЛИ, принятое в российском стандарте. Логический элемент ИЛИ может иметь два (тогда он обозначается 2ИЛИ) и более входов.

Вход 1	Вход 2	Выход
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Таблица истинности: для элемента ИЛИ с любым числом входов справедливо правило: сигнал на выходе элемента ИЛИ равен «0», если на всех входах сигналы тоже равны «0».



Логический элемент Исключающее ИЛИ реализует операцию сложения по модулю 2, или логическая неравнозначность.



Условно-графическое обозначение логического элемента Исключающее ИЛИ.

Вход 1	Вход 2	Выход
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Почему «неравнозначность»? Логическая «1» будет на выходе лишь тогда, когда сигналы на входе не равны (на одном «1», на другом «0» или на одном «0», а на другом «1»). Даже если на входе будут одновременно обе «1», на выходе все равно будет «0» — в этом отличие от элемента ИЛИ.

Вы можете самостоятельно проверить работу нескольких, наиболее часто используемых логических вентилях.

Сначала установите на плату микросхему CD4001, которая включает в себя логические вентили ИЛИ-НЕ. Операция ИЛИ-НЕ — это инвертированный результат операции ИЛИ, то есть результат операции НЕ, примененный к результату операции ИЛИ. Для элемента ИЛИ-НЕ на выходе будет логическая «1» только тогда, когда на всех входах присутствует «0». Иначе на выходе будет «0». Таким образом, изначально, при включении схемы, светодиод должен светиться. При нажатии на любую из кнопок или на обе кнопки вместе, светодиод погаснет. Составьте самостоятельно таблицу истинности для операции ИЛИ-НЕ.

Аккуратно извлеките микросхему и замените ее на другую, например, CD4011 (содержит логические элементы И-НЕ) или CD4070 (Исключающее ИЛИ). Назначение выводов этих микросхем полностью совпадает, меняется только логика работы. Попробуйте по аналогии самостоятельно разобраться, что является результатом логических операций над входными сигналами этих вентилях, составьте таблицы истинности для каждого из протестированных логических элементов.

Вопросы для самопроверки

1. В чем различие между аналоговыми и цифровыми сигналами?
2. Какой вентиль выдает на выходе «1», когда на оба входа подаются логические «0»?
3. Нарисуйте схемы преобразования вентиля И-НЕ в И.
4. На один вход ИЛИ-НЕ подается логический «0», на другой — логическая «1». Каким будет состояние выхода?
5. Для чего нужны подтягивающие резисторы?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА 2 ПОЧТИ КАЛЬКУЛЯТОР

Цели	Изучить принцип действия двоичного сумматора.
Ожидаемые результаты	Создание модели суммирующего устройства компьютера.
Время	2 ч.
Основные понятия	Полусумматор, полный сумматор, бит переноса, наименее значащий бит или младший бит, Исключающее ИЛИ, многоразрядный сумматор, переполнение, представление отрицательных двоичных чисел в дополнительном коде, дополнение до двух, вычитание чисел в дополнительном коде, АЛУ.

Этапы реализации и содержание учебной деятельности

Этап работы	Описание
Вводная часть	Обоснование актуальности знаний о работе сумматора в контексте изучения архитектуры компьютера. АЛУ как составная часть процессора.
Изучение нового материала	Схемотехника сумматора. Таблица истинности для полусумматора при сложении двух однобитных чисел. Вычитание с преобразованием числа в формате дополнительного кода до двух.
Самостоятельная сборка схемы	Сборка схемы полусумматора. Сборка полного сумматора на макетной плате с помощью микросхем CD4070BE и CD4011BE. Групповая работа по сборке многоразрядного сумматора.
Дополнительная работа	Для тех, кто хочет знать больше — сборка универсального сумматора-вычитателя, использующего дополнительный код.



Необходимые электронные компоненты

- # микросхема CD4011BE (И-НЕ)
- # микросхема CD4070BE (Исключающее ИЛИ)
- # светодиод: 2 шт. (красный и желтый)
- # тактовая кнопка: 2 шт. и/или dip-переключатель (2 или 3 pin)
- # резистор 1,2 кОм (коричневый-красный-красный-золотой): 4 шт.
- # перемычки
- # беспаячная макетная плата (breadboard)
- # батарея питания 9В типа Крона
- # контактная колодка для батареи Крона с проводами
- # беспаячная макетная плата (breadboard)
- # батарея питания 9В типа Крона (6F22, 6LR61)
- # контактная колодка для батареи Крона с проводами

Литература

- # Цифровая схемотехника и архитектура компьютера. Дэвид М. Харрис и Сара Л. Харрис. Издательство: ДМК-Пресс, 2018 г. Стр. 46. 1.4.5 Сложение двоичных чисел
- # Цифровая электроника для начинающих. 2-е издание. Павел Кириченко. Издательство: БХВ-Петербург, 2022 г. Стр. 88. Как процессор выполняет вычисления: конструируем сумматор.

Как это работает?

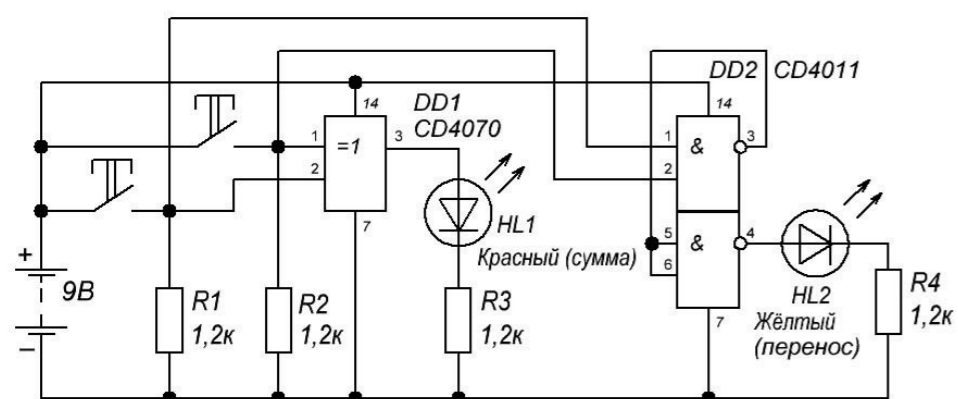
Эта схема — самая простая модель суммирующего устройства в компьютере. Полусумматор может складывать два двоичных числа и показывать результат на двух светодиодах «Сумма» и «Перенос».

Если не нажата ни одна кнопка, то оба разряда (светодиода) должны показывать 0 (в двоичной записи 00), то есть не светиться.

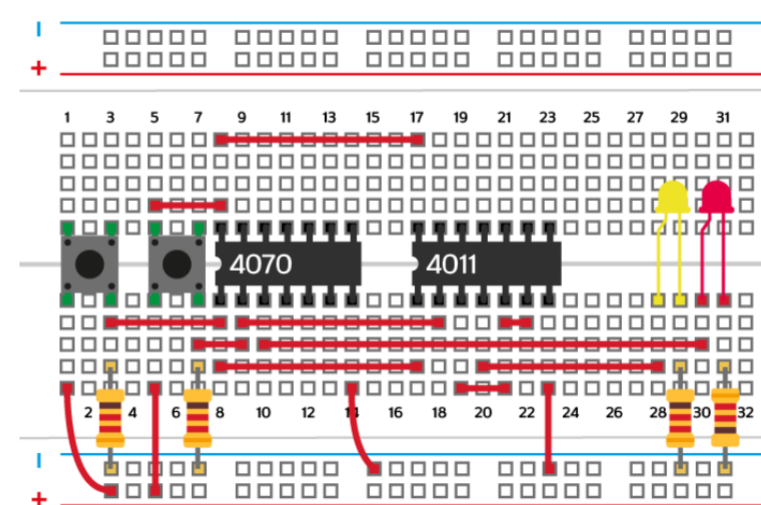
Если нажата хотя бы одна кнопка, то должен светиться красный светодиод («Сумма») и показывать 1 (в двоичной записи 01).

Если нажаты обе кнопки, то должен светиться желтый светодиод «Перенос», а «Сумма» должен погаснуть. Таким образом, мы увидим сумму двух единиц — двойку в двоичной записи (10).

Принципиальная схема



Монтажная схема (фрагмент)



Методические рекомендации

Устройство, складывающее два однобитных числа, называется полусумматором. При сложении двоичных чисел, если их сумма превышает значение, помещающееся в один разряд, в следующий разряд переносится бит переноса (carry bit).

С точки зрения схемотехники, сумма однобитных чисел формируется логическим элементом Исключающее ИЛИ, а бит переноса — логическим элементом И. В схеме полусумматора на рисунке выше мы используем логические элементы И-НЕ, поэтому нам потребовался второй элемент И-НЕ, который мы подключили к выходу первого в качестве инвертора.

У полусумматора нет входа для бита переноса из предыдущего разряда, именно этим он и отличается от полного сумматора. Полный однобитный сумматор можно собрать из двух полусумматоров и логического элемента ИЛИ. В этом случае на вход первого полусумматора поступают два однобитных числа, на вход второго — бит переноса из предыдущих разрядов и сумма однобитных чисел из первого сумматора. Входы вентиля ИЛИ объединяют биты переносов полусумматоров, на выходе ИЛИ формируется бит переноса полного сумматора.

Сумма формируется на выходе суммы второго полусумматора:

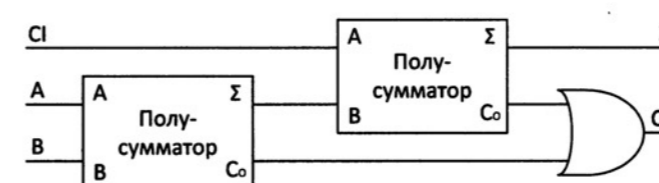


Схема полного сумматора из двух полусумматоров

Для обозначения выхода суммы используется, как и в математике, греческая заглавная буква «сигма». Выход вентиля ИЛИ здесь обозначен CO, от английского carry output — «выход переноса».

Для того чтобы получить многоразрядный сумматор, достаточно соединить входы и выходы переносов соответствующих двоичных одноразрядных сумматоров. Если результат сложения превышает выделенное для него количество разрядов, это называется переполнением (overflow). При переполнении дополнительный старший бит отбрасывается, а значит и результат в оставшихся битах будет ошибочным.

Можно преобразовать эту схему сумматора так, чтобы в ней использовались не три, а всего два типа вентилей: Исключающее ИЛИ и И-НЕ.



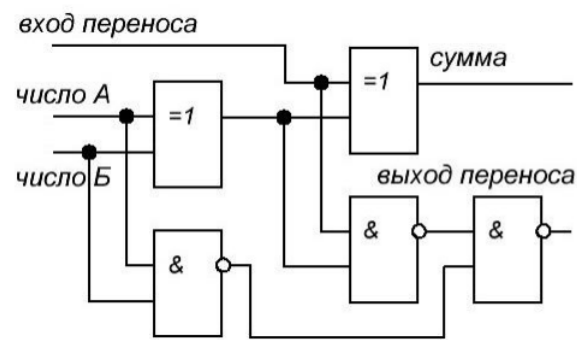


Схема полного сумматора на двух типах вентилях

Совет

При сборке полного сумматора замените для удобства тактовые кнопки на dip-переключатели, например, такие: DS1040-03RN 3 pin



chipdip.ru/product/ds1040-03rn

Вычитание одного двоичного числа из другого осуществляется преобразованием вычитаемого путем выполнения специальной операции, называемой дополнением до двух (taking the two's complement). Суть этой операции заключается в том, что инвертируются все биты этого числа, а затем к значению наименее значимого бита прибавляется 1. Затем вычитаемое складывают с уменьшаемым.

Вопросы для самопроверки:

1. Составьте таблицу истинности для полного сумматора при сложении двух однобитных чисел с переносом из предыдущего разряда.
2. Вычислите суммы следующих двоичных чисел: 0101+1010, 1110+0001, 1010+0111.
3. Переведите в дополнительный код десятичное отрицательное число 2, используя всего 4 бита.
4. Найдите десятичное значение двоичного числа 10012 в дополнительном коде.
5. Вычислите разность десятичных чисел: 3 – 5, используя 4-разрядные числа в дополнительном коде.

Дополнительное задание для тех, кто хочет знать больше: соберите универсальный сумматор-вычитатель, использующий дополнительный код по схеме на стр. 94 в [2].

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА 3 САМАЯ МАЛЕНЬКАЯ ЯЧЕЙКА ПАМЯТИ

Цели	Познакомиться с последовательными схемами в сравнении с комбинационными, изучить работу и устройство простейшего триггера.
Ожидаемые результаты	Создание модели асинхронного RS-триггера из логических элементов ИЛИ-НЕ.
Время	2 ч.
Основные понятия	Комбинационные и последовательные схемы, триггер, вход установки, вход сброса, прямой и инверсный выходы, режим хранения, запрещенный режим, временные диаграммы, обратная связь.

Этапы реализации и содержание учебной деятельности

Этап работы	Описание
Вводная часть	Актуальность хранения информации в цифровых устройствах.
Изучение нового материала	Последовательные схемы и их сравнение с комбинационными, устройство простейшего триггера.
Самостоятельная сборка схемы	Создание модели асинхронного RS-триггера из вентилях ИЛИ-НЕ.
Дополнительная работа	Для тех, кто хочет знать больше — сборка RS-триггера из вентилях И-НЕ. Составление таблиц истинности и временных диаграмм.



Необходимые электронные компоненты

- # микросхема CD4001 (ИЛИ-НЕ)
- # светодиоды: 2 шт. (зеленый и красный)
- # тактовая кнопка: 2 шт.
- # резистор 1,2 кОм (коричневый-красный-красный-золотой): 4 шт.
- # переключки
- # беспаячная макетная плата (breadboard)
- # батарея питания 9В типа Крона
- # контактная колодка для батареи Крона с проводами

Литература

- Токхейм Р. Основы цифровой электроники. Мир, 1988 г. Стр. 140. Глава 6. Триггеры
- Ревич Ю. Занимательная электроника, 3-е издание. БХВ-Петербург, 2016 г. Стр. 347. Самый простой триггер

Как это работает?

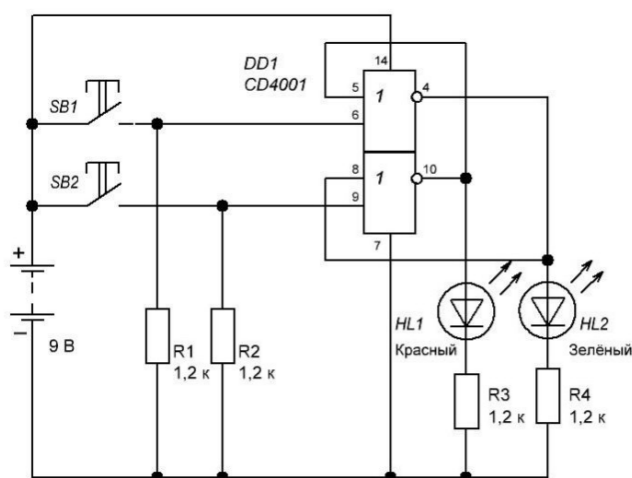
Каждая кнопка управляет включением своего светодиода.

При нажатии на правую кнопку загорается зеленый светодиод. Если кнопку отпустить, светодиод продолжит гореть.

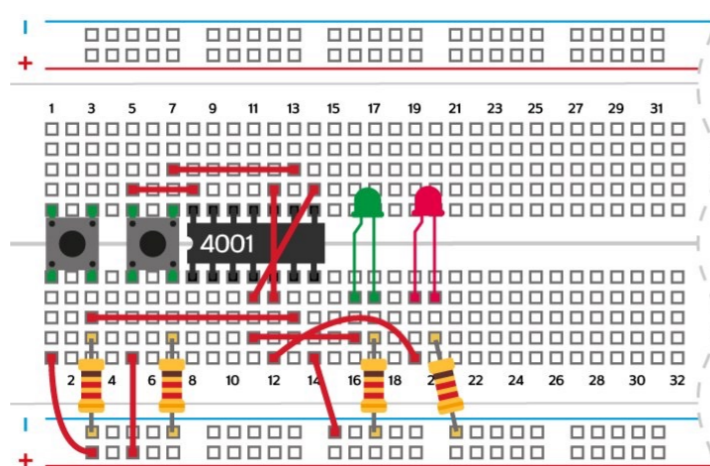
При нажатии на левую кнопку он гаснет и загорается красный светодиод, он будет гореть и после отпускания кнопки.

Таким образом, наша схема помнит, какая кнопка была нажата последней.

Принципиальная схема



Монтажная схема (фрагмент)



Теория и методические рекомендации

Все логические схемы принято разбивать на два вида — комбинационные и последовательные. Мы уже познакомились с комбинационными, в которых используются логические элементы И, ИЛИ, НЕ и их сочетания. Исходной структурной ячейкой, на основе которой строятся комбинационные логические схемы, является логический элемент (вентиль).

У комбинационных схем состояние выходов в любой момент времени зависит только от комбинации входных сигналов в этот же момент времени. Последовательные схемы получили такое название, потому что состояние их выходов зависит от последовательности состояний входов в разные моменты времени — как в текущий момент времени, так и в предыдущие.

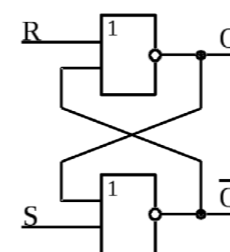
При описании работы последовательных логических схем используют временные диаграммы сигналов. По горизонтали откладывается время, по вертикали — уровень напряжения. Эти диаграммы показывают уровни напряжения и интервалы времени между входными и выходными сигналами и соответствуют картине на экране осциллографа.

Внутри последовательных схем есть элемент, который умеет запоминать логический уровень сигнала и хранить его — триггер. Именно схему триггера мы и собрали. Триггер, пока на него подано питание, может длительно находиться в одном из двух устойчивых состояний (горит либо красный, либо зеленый светодиод). Переключается триггер между этими состояниями по нажатию кнопки.

Важная особенность устройства триггеров, которая в комбинационных схемах не встречалась, состоит в том, что сигнал с выхода поступает обратно на вход. Такое подключение в электронике называется обратной связью.

Триггер — это самая маленькая ячейка памяти, он может хранить 1 бит информации (ноль или единицу). Триггеры широко используются для создания элементов оперативной памяти, информация в которой хранится только на время вычислений и теряется после отключения питания. Из них также строят различные счетчики и делители частоты.

Существует несколько типов триггеров, наш триггер — самый простой, он называется асинхронный RS-триггер. Он собран из двух логических вентилях ИЛИ-НЕ.



Асинхронный RS-триггер

RS-триггер имеет два входа — S и R и два выхода — прямой Q и инверсный. Буква Q, обозначающая инверсный выход, сверху подчеркнута.

Вход под названием S (Set — установить, англ.) при подаче на него напряжения высокого уровня — логической «1» — устанавливает на прямом выходе триггера Q тоже логическую «1» и включает, тем самым, светодиод, подключенный к этому выходу. То есть активный уровень сигнала входов данного RS-триггера высокий.

Вход под названием R (Reset — сбросить, англ.) при подаче на него логической «1» устанавливает на прямом выходе триггера логический «0» и выключает светодиод.

Таблица истинности для RS-триггера включает четыре режима его работы: установка нуля на прямом выходе, установка единицы, хранение и запрещенное состояние.

Вопросы для самопроверки

1. Какой активный уровень сигнала для входов RS-триггера, собранного из вентилях И-НЕ?
2. Что такое обратная связь в цифровой схемотехнике?
3. Приведите примеры запрещенных состояний RS-триггеров, собранных из вентилях И-НЕ и ИЛИ-НЕ.
4. Составьте временную диаграмму выходных сигналов для RS-триггера на базе вентилях ИЛИ-НЕ, подавая на его входы сигналы R и S.
5. Что такое режим хранения триггера?



ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА 4 КТО БЫСТРЕЕ

Цели	Собрать схему электронной игры «Кто быстрее».
Ожидаемые результаты	Создание модели электронной игры «Кто быстрее» для двух игроков с использованием триггеров.
Время	2 ч.

Этапы реализации и содержание учебной деятельности

Этап работы	Описание
Вводная часть	Микросхемы, содержащие готовые триггеры.
Самостоятельная сборка схемы	Поэтапная сборка схемы электронной игры «Кто быстрее» для двух игроков с использованием триггеров.
Рефлексия	Как можно улучшить игру с использованием уже полученных знаний по схемотехнике? Как решить проблему фальстарта, когда игрок нажимает кнопку раньше команды ведущего?

Необходимые электронные компоненты

- # микросхема CD4013 (два D-триггера)
- # микросхема CD4001 (ИЛИ-НЕ)
- # светодиоды: 2 шт. (красный и зеленый)
- # тактовая кнопка: 3 шт.
- # резистор 1,2 кОм (коричневый-красный-красный-золотой): 5 шт.
- # переключки
- # беспаячная макетная плата (breadboard)
- # батарея питания 9В типа Крона (6F22, 6LR61)
- # контактная колодка для батареи Крона с проводами

Литература

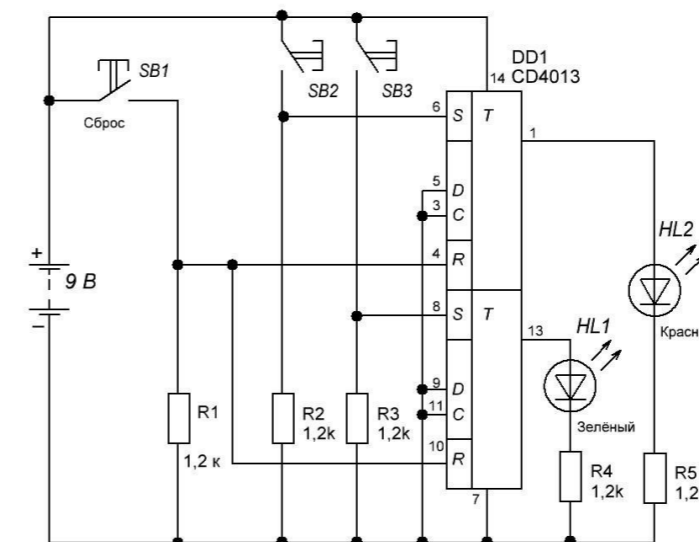
- Токхейм Р. Основы цифровой электроники. Мир, 1988 г. Стр. 140. Глава 6. Триггеры
- Ревич Ю. Занимательная электроника, 3-е издание. БХВ-Петербург, 2016 г. Стр. 350. D-триггеры

Теория и методические рекомендации

Схему будем собирать в два этапа. Сначала соберем схему из двух триггеров, убедимся в ее работоспособности, а потом добавим к ней логическую микросхему, содержащую вентили ИЛИ-НЕ. Сложные схемы, содержащие несколько микросхем, удобнее собирать, проверять и отлаживать по частям.

При нажатии на правую кнопку загорается зеленый светодиод. При нажатии на среднюю кнопку загорается красный светодиод. Светодиоды продолжают гореть и после отпускания кнопок. Повторные нажатия на эти же кнопки не дают никакого эффекта. При нажатии на левую кнопку все светодиоды гаснут.

Принципиальная схема (1 этап)



В предыдущем примере мы построили простейший триггер из логических элементов. В этом примере мы будем использовать микросхему CD4013, которая уже содержит два независимых триггера. Это более сложные триггеры, они относятся к типу D-триггеров (от англ. Delay — задержка, поэтому их также называют триггерами задержки). Каждый триггер содержит четыре входа (обозначены латинскими буквами S, R, C, D) и два выхода — прямой и инвертирующий.

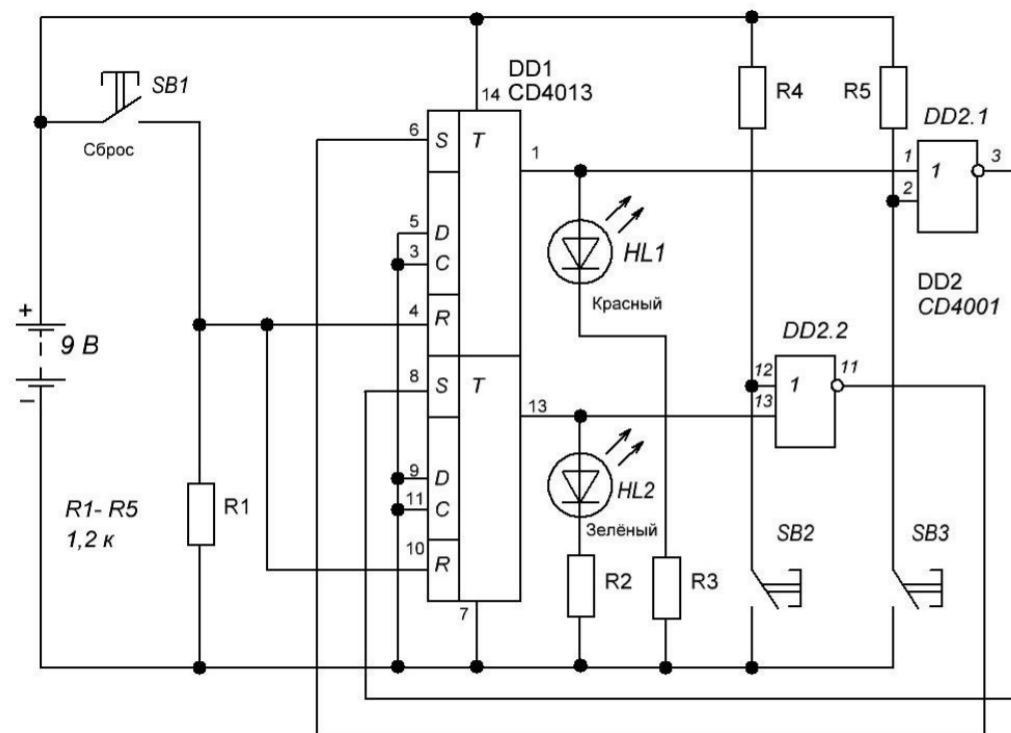
Входы триггера D (информационный) и C (синхронизации, или тактовый) мы использовать в этом примере не будем, поэтому для минимизации помех и устойчивой работы схемы подключим их к «минусу» питания.

Вход под названием S (Set — установить, англ.) при подаче на него напряжения высокого уровня (логическая «1») устанавливает на прямом выходе триггера тоже логическую «1» и включает, тем самым, светодиод, подключенный к этому выходу.

Вход под названием R (Reset — сбросить, англ.) при подаче на него логической «1» устанавливает на прямом выходе триггера логический «0» и выключает светодиод. По-другому еще говорят: «сбрасывает» триггер в нулевое состояние. В этой схеме сброс триггеров сделан одной кнопкой — она подключена к входам R сразу обоих триггеров.

Если эта часть схемы работает правильно, переходим к окончательной сборке игры.

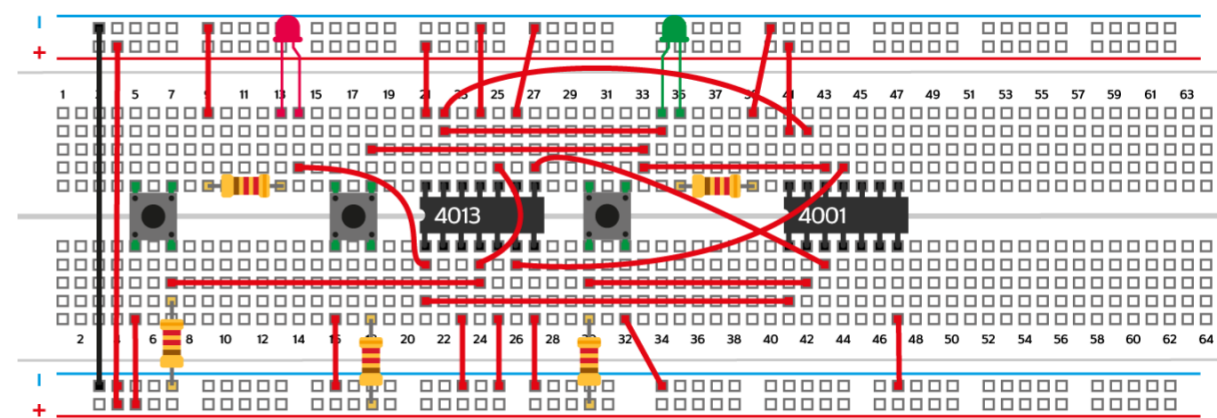
Принципиальная схема игры (II этап)



Превратим схему в систему для игры в «Брейн-ринг». Команда, которая первая нажала на кнопку и зажгла светодиод, имеет приоритетное право ответа на вопрос.

Предыдущая схема с двумя триггерами претерпела ряд изменений. Мы добавили микросхему CD4001 с логическими элементами ИЛИ-НЕ, а кнопки для игроков подключили к этой микросхеме. Изменился и способ подключения кнопок: они теперь «подтянуты» резистором к положительному полюсу питания (а не к отрицательному, как в прошлом примере). В замкнутом состоянии кнопки устанавливают состояние логического «0» на входах элементов ИЛИ-НЕ.

Монтажная схема игры (II этап)



После подачи питания на схему нажимаем кнопку «Сброс» (крайняя слева). Теперь схема находится в исходном состоянии, ни один светодиод не горит. Если нажата одна из двух центральных кнопок и соответствующий ей светодиод (красный или зеленый) горит, то нажатие другой кнопки уже никак не повлияет на работу схемы. Чтобы вернуть схему в исходное состояние, нужно снова нажать кнопку «Сброс» (крайняя слева).

Можно начинать играть — по команде ведущего игроки команд стремятся как можно быстрее нажать каждый свою кнопку. Кто нажал первым, у того и загорается светодиод. Второму игроку не удастся включить свой светодиод, даже если первый игрок уже отпустил кнопку. Для следующего раунда игры нужно нажать кнопку «Сброс».

Вопросы для самопроверки

1. Для чего нужны логические вентили ИЛИ-НЕ в схеме игры?
2. Каким способом можно решить проблему фальстарта в игре, когда игрок нажимает кнопку раньше команды ведущего?



ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА 5 ДЕШИФРАТОР ИЗ ДВОИЧНОГО КОДА

Цели	Изучить устройство семисегментных светодиодных индикаторов, микросхем дешифраторов из двоичного кода на примере 4000 серии микросхем технологии КМОП.
Ожидаемые результаты	Сборка схемы, которая переводит двоичный код в привычный для нас вид в десятичной системе счисления для отображения на дисплее семисегментного индикатора.
Время	2 ч.
Основные понятия	Двоичный код, семисегментный индикатор, дешифратор, драйвер, подтягивающий резистор, токоограничивающий резистор, общий катод.

Этапы реализации и содержание учебной деятельности

Этап работы	Описание
Вводная часть	Отображение десятичных цифр как элемент интерфейса.
Изучение нового материала	Устройство семисегментных светодиодных индикаторов. Дешифраторы из двоичного кода. Назначение выводов микросхемы CD4511BE.
Самостоятельная сборка схемы	Поэтапная сборка схемы: сначала сборка индикатора с токоограничивающими резисторами, затем добавление микросхемы-драйвера и кнопок с подтягивающими резисторами.

Необходимые электронные компоненты

- # микросхема CD4511BE
- # тактовые кнопки: 4 шт.
- # резистор 1,2 кОм (коричневый-красный-красный — золотой): 4 шт.
- # одноразрядный семисегментный индикатор с общим катодом
- # резистор 560 Ом (зеленый-синий-коричневый — золотой): 7 шт.
- # переключатели
- # безопасная макетная плата (breadboard)
- # батарея питания 9В типа Крона (6F22, 6LR61)
- # контактная колодка для батареи Крона с проводами

Литература

- Токхейм Р. Основы цифровой электроники. Мир, 1988 г. Стр. 121. 5.5. Семисегментные индикаторы на светодиодах
- Кириченко П. Цифровая электроника для начинающих. 2-е издание. Издательство: БХВ-Петербург, 2022 г. Стр. 103. Учим цифровые схемы показывать десятичные числа
- CD4511BE datasheet: static.chipdip.ru/lib/249/DOC000249619.pdf



Теория и методические рекомендации

Семисегментный индикатор состоит из семи элементов (или сегментов) индикации, каждый из которых можно включать и выключать независимо от других. Включая сегменты в разных комбинациях, можно составить упрощенные изображения арабских цифр и некоторых букв. Каждый сегмент — это отдельный светодиод. Между собой светодиоды могут соединяться либо катодами — тогда такой индикатор называется «с общим катодом», либо анодами. Мы используем семисегментный индикатор с общим катодом.

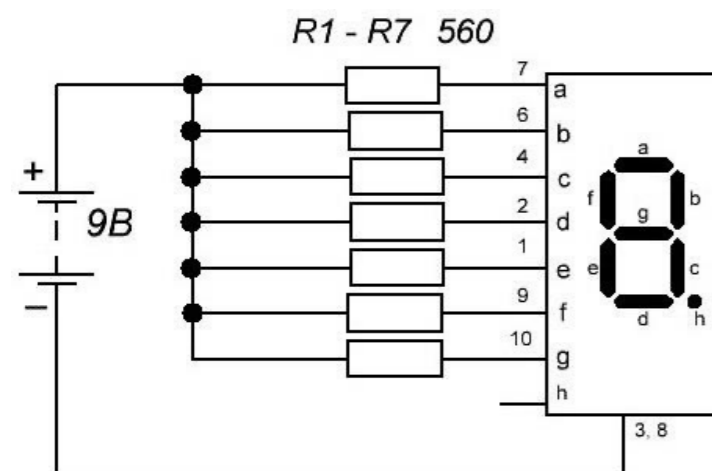
В нашем светодиодном индикаторе десять выводов: два общих вывода (3 и 8) на разных концах цоколя индикатора идут к катодам всех сегментов, и остальные восемь — к аноду каждого из семи сегментов и к десятичной точке. Сегмент точки можно использовать при необходимости, в наших же схемах мы его не используем и поэтому никуда не подключаем. Выводы индикатора нумеруются последовательно, против часовой стрелки, начиная с нижнего левого.

Попробуйте высвечивать разные цифры и буквы, отключая резисторы от индикатора. Какие буквы на латинице и кириллице можно отобразить с его помощью?

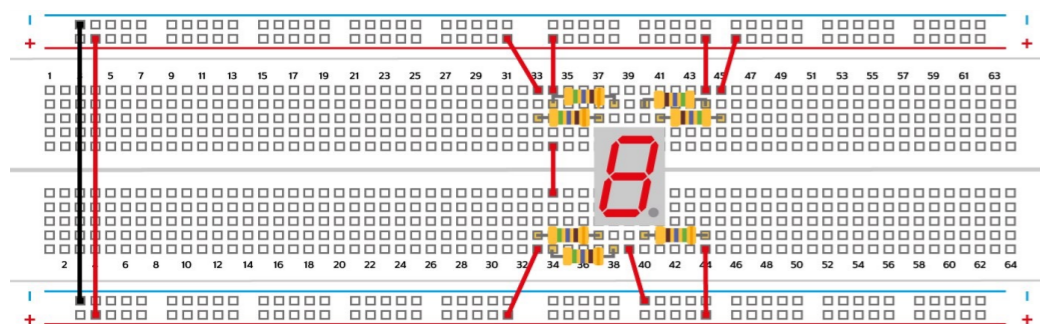
Рекомендация по сборке: желательно собрать индикатор в правой половине макетной платы, как это показано на монтажной схеме. При сборке следующих схем мы будем добавлять к нему другие элементы, поэтому сохраните эту схему на макетной плате для следующих проектов.



Принципиальная схема

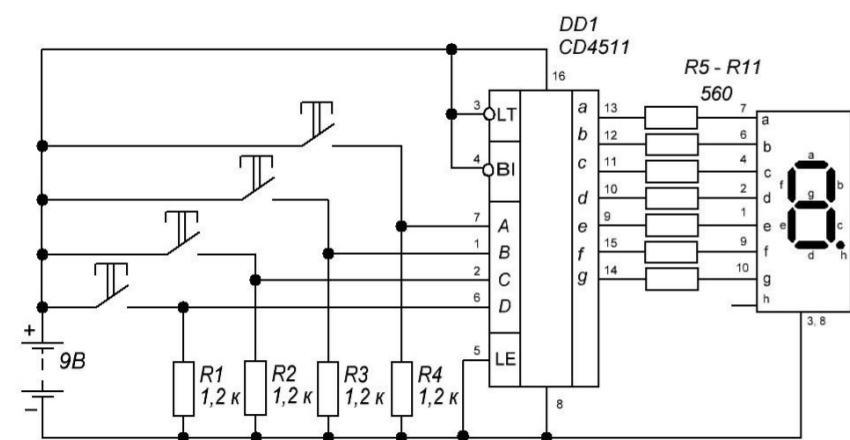


Монтажная схема

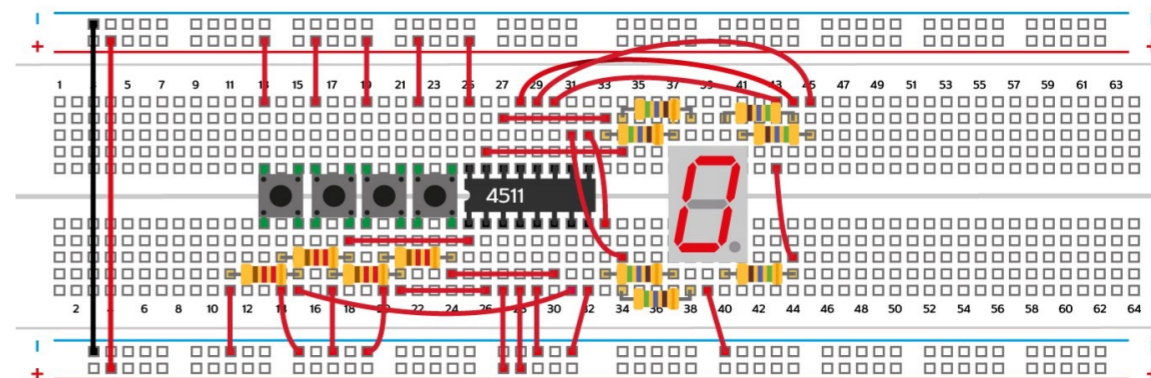


В следующей схеме мы используем специальную микросхему — дешифратор, которая переводит двоичный код в привычный для нас вид в десятичной системе счисления для отображения на дисплее семисегментного индикатора.

Принципиальная схема



Монтажная схема



После включения схемы на индикаторе должна отобразиться цифра 0. Если поочередно нажимать на кнопки, то на индикаторе будут показаны цифры 1, 2, 4, 8. Если нажать одновременно несколько кнопок, будут высвечиваться другие цифры. Некоторые комбинации нажатых кнопок не приведут к отображению никаких цифр. Это происходит потому, что наш индикатор не может отображать числа больше 9, а четыре входа микросхемы в двоичной системе позволяют передавать информацию о числах до 15 включительно. Поэтому, если двоичный код на входах микросхемы соответствует числам от 10 до 15 включительно, индикатор просто погаснет.

Рекомендация по сборке: не разбирайте схему после изучения этого примера, она пригодится для следующих проектов.

Вопросы для самопроверки

1. Если сегменты a, c, d, f и g будут светиться, то какая десятичная цифра появится на семисегментном индикаторе?
2. Как работает режим записи входных данных во внутреннюю память — так называемое защелкивание данных (latch enable) микросхемы 4511?
3. В чем состоит особенность отображения цифр 6 и 9 драйвером 4511?
4. Какое практическое применение входа BL (blinking) микросхемы 4511?
5. Что это значит — светодиодный семисегментный индикатор с общим катодом?



ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА 6 ЦИФРЫ ПО ПОРЯДКУ

Цели	Изучить работу двоичного счетчика.
Ожидаемые результаты	Сборка схемы, считающей нажатия на кнопку и отображающей число нажатий в диапазоне от 0 до 9.
Время	2 ч.
Основные понятия	Двоичный счетчик, «дребезг контактов», реверсивный счетчик, двоично-десятичный счетчик, предустановка счетчика.

Этапы реализации и содержание учебной деятельности

Этап работы	Описание
Вводная часть	Применение счетчиков в цифровой электронике.
Изучение нового материала	Как устроен двоичный счетчик, его временные диаграммы. Вычитающий счетчик, реверсивные счетчики. «Дребезг контактов» и борьба с ним аппаратным способом.
Самостоятельная сборка схемы	Эта схема является модернизацией схемы предыдущего проекта. Мы добавили к дешифратору двоичный счетчик.

Необходимые электронные компоненты

- # микросхема CD4029BE
- # микросхема CD4511BE
- # семисегментный индикатор с общим катодом
- # кнопка тактовая
- # резистор 1,2 кОм (коричневый-красный-красный-золотой)
- # резистор 560 Ом (зеленый-синий-коричневый-золотой): 7 шт.
- # перемычки
- # беспаячная макетная плата (breadboard)
- # батарея питания 9В типа Крона (6F22, 6LR61)
- # контактная колодка для батареи Крона с проводами

Литература

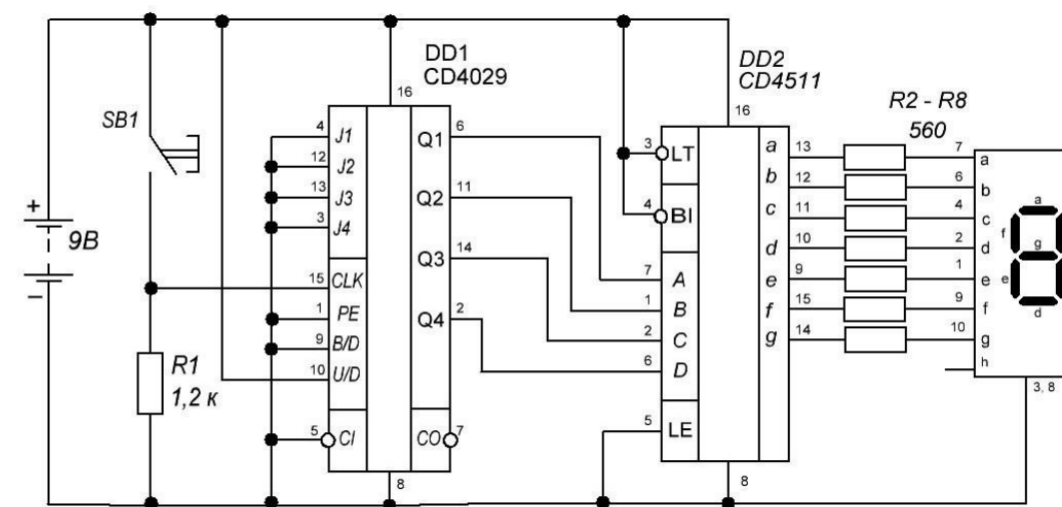
- Токхейм Р. Основы цифровой электроники. Мир, 1988 г. Стр. 163. Глава 7. Счетчики
- Ревич Ю. Занимательная электроника, 3-е издание. БХВ-Петербург, 2016 г. Стр. 353. Счетчики
- Кириченко П. Цифровая электроника для начинающих. 2-е издание. Издательство: БХВ Петербург, 2022 г. Стр. 155. Считалочка для цифровых схем
- CD4029BE datasheet: static.chipdip.ru/lib/222/DOC000222305.pdf

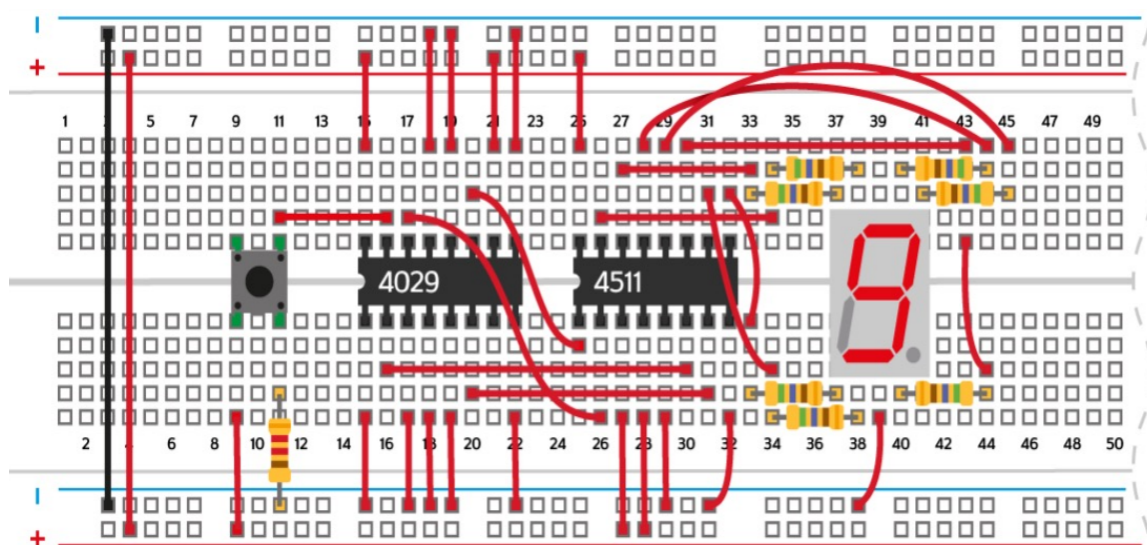


Как работает схема

Нажимайте на кнопку и число на индикаторе будет увеличиваться на единицу, а иногда на несколько единиц сразу. И так до цифры 9, потом все начинается с начала, с цифры 0.

Принципиальная схема





Теория и методические рекомендации

Мы добавили к нашему дешифратору двоичный счетчик — микросхему CD4029. Счетчик считает нажатия на кнопку и информацию о числе нажатий передает в виде двоичного кода (который в предыдущем примере мы задавали четырьмя кнопками) дешифратору. Дешифратор же управляет отображением цифр на семисегментном индикаторе.

У счетчика CD4029 есть вход U/D (десятый вывод микросхемы), который определяет направление счета: в возрастающем (UP) или убывающем (DOWN) порядке. В этой схеме он соединен с «плюсом» питания, но попробуйте подключить его к «минусу» и посмотрите, что получится.

Разберемся, почему мы нажимаем кнопку всего один раз, а счетчик иногда увеличивает число на индикаторе сразу на несколько единиц? Причина этого — так называемый «дребезг контактов», о котором мы уже упоминали ранее. Обыкновенная кнопка внутри себя содержит два металлических контакта. Один контакт — неподвижный, жестко закреплен в корпусе. При нажатии на кнопку другой контакт, который представляет собой упругую пластину, ударяет по этому контакту. Во время удара упругого контакта по неподвижному, первый начинает беспорядочно подпрыгивать, и может происходить целая серия соприкосновений контактов (тот самый «дребезг»), пока они не замкнутся окончательно. Эту серию соприкосновений контактов наш счетчик воспринимает как несколько нажатий и поэтому прибавляет сразу несколько единиц.

Рекомендация по сборке: не разбирайте схему после изучения этого примера, она нам пригодится для следующих проектов.

Вопросы для самопроверки

1. Как называется счетчик, в котором запуск всех триггеров осуществляется в один и тот же момент времени?
2. Синхронизирующие входы триггеров соединены параллельно или последовательно?
3. Как устроен вычитающий счетчик с точки зрения схемотехники?
4. Изобразите схему двоичного счетчика по модулю 10.
5. Какие вы знаете схемотехнические решения по борьбе с дребезгом контактов?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА 7 УГАДАЙ ЧИСЛО

Цели Модернизировать предыдущую схему, добавив к ней генератор импульсов. Используя знания об инерции зрения человека, использовать полученную схему в качестве генератора случайных чисел.

Ожидаемые результаты Создание модели генератора случайных чисел.

Время 2 ч.

Основные понятия Генератор импульсов, двоичная система счисления, инерция зрения (персистенция), критическая частота слияния световых мельканий (critical flicker frequency, CFF), генератор случайных чисел.

Этапы реализации и содержание учебной деятельности

Этап работы	Описание
Вводная часть	Актуальность и проблемы генерации истинно случайных чисел.
Изучение нового материала	Как компьютеры генерируют случайные числа? Основные типы генераторов случайных чисел. Инерция зрения человека (персистенция) и критическая частота слияния световых мельканий.
Самостоятельная сборка схемы	Собираемая схема является модернизацией схемы предыдущего проекта. Мы добавили к двоичному счетчику генератор импульсов на микросхеме 555 с частотой 40 Гц.



Необходимые электронные компоненты

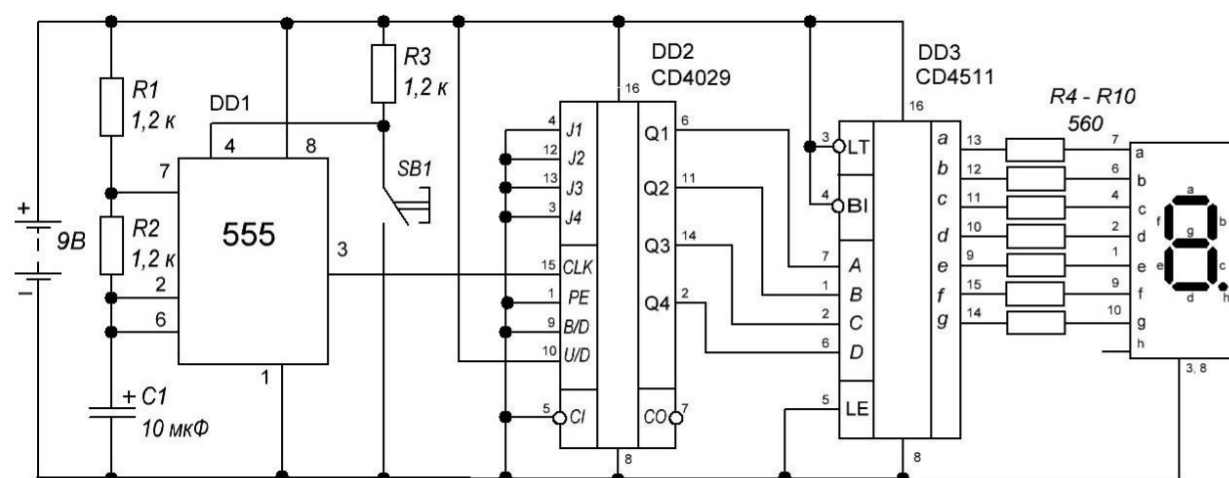
- # микросхема NE555
- # микросхема CD4029
- # микросхема CD4511
- # семисегментный индикатор с общим катодом
- # кнопка тактовая
- # конденсатор 10 мкФ
- # резистор 1,2 кОм (коричневый-красный-красный-золотой): 3 шт.
- # резистор 560 Ом (зеленый-синий-коричневый-золотой): 7 шт.
- # перемычки
- # беспаячная макетная плата (breadboard)
- # батарея питания 9В типа Крона (6F22, 6LR61)
- # контактная колодка для батареи Крона с проводами

Литература

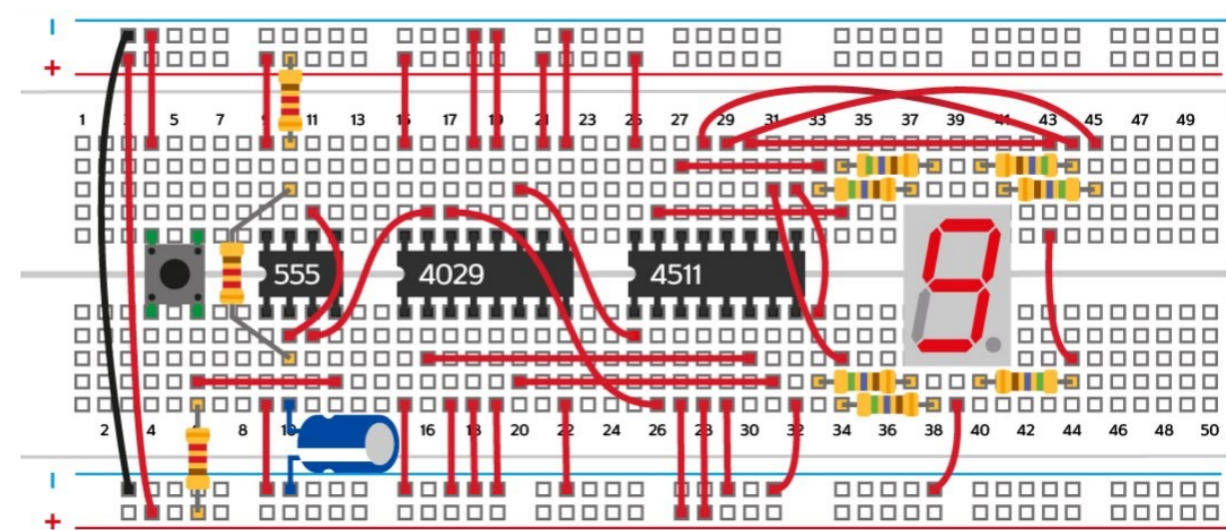
- Генератор случайных чисел без программирования и даже компьютера: чем удивить юного программиста? — habr.com/ru/companies/mipt/articles/314446/
- Создавая непредсказуемость. Примеры использования генераторов случайных чисел: habr.com/ru/companies/piter/articles/646399/
- Кевин Митник. Искусство вторжения: [правдивые истории и фантаст. ухищрения изобретат. хакеров] — Москва, ДМК Пресс, 2005 г. Глава 1. Ограбление казино на миллионы долларов.
- Инерция (персистенция) зрения: ru.wikipedia.org/wiki/Инерция_зрения
- critical flicker frequency (CFF): en.wikipedia.org/wiki/Flicker_fusion_threshold



Принципиальная схема



Монтажная схема (фрагмент)



Теория и методические рекомендации

После включения питания схемы на индикаторе будет отображаться мерцающая цифра 8. При нажатии на кнопку на индикаторе высветится какое-то случайное число. Эта схема является модификацией предыдущей. Вместо кнопки теперь используется уже знакомый нам генератор импульсов на микросхеме 555. Генератор формирует импульсы с частотой около 40 Гц, поэтому цифры на индикаторе меняются так быстро, что нам кажется, будто они сливаются в одну. Когда мы нажимаем на кнопку, то счет останавливается, и на индикаторе отображается случайная цифра — от 0 до 9.

Инерция человеческого зрения представляет собой неспособность сетчатки отвечать на частые колебания яркости света и сигнализировать о них. Увеличение частоты мелькания света приводит к оптическому обману зрения, при котором мелькание кажется непрерывным. На феномене инерции зрения основаны кинематография и мультипликация.

Наш глаз сохраняет следы световой стимуляции в течение некоторого времени (150-250 мс.) после выключения света. Иными словами, глаз воспринимает прерывистый свет как непрерывный при определенных интервалах между вспышками. Минимальная частота следования световых стимулов, при которой происходит слияние отдельных ощущений мелькания в ощущение непрерывного света — это и есть критическая частота слияния мельканий. Зависит от ряда факторов и колеблется в диапазоне 15-60 Гц.

Как компьютеры генерируют случайные числа? Простой ответ на этот вопрос — никак. По крайней мере, не сами по себе. Люди создали компьютеры, чтобы они были тем, чем не являемся мы — полностью логическими машинами. Случайность не в их природе. По своей сути компьютеры — простые машины, которые принимают данные, обрабатывают их и выдают обратно. Чтобы компьютеры могли генерировать случайные числа, им нужен внешний источник случайности. И этот источник будет варьироваться в зависимости от того, каким генератором случайных чисел вы решите воспользоваться. Существует два основных типа генераторов случайных чисел: генератор псевдослучайных чисел (ГПСЧ) и генератор истинно случайных чисел (ГИСЧ). Как вы думаете, какой тип генератора вы собрали? Аргументируйте вашу позицию.

Рекомендация по сборке: не разбирайте схему после изучения этого примера, она нам пригодится для следующих проектов.

Вопросы для самопроверки

1. Для каких фоторецепторов глаза — палочек или колбочек, выше критическая частота слияния мельканий?
2. Какие электронные компоненты схемы влияют на частоту генерируемых импульсов таймера 555?
3. Для чего применяются генераторы случайных чисел?
4. Какие типы генераторов случайных чисел вы знаете?
5. Какой способ генерации случайных чисел более быстрый?



ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА 8 ЭЛЕКТРОННЫЙ КУБИК

Цели	Модернизировать предыдущую схему, ограничив диапазон «выпадающих» чисел от 1 до 6, превратив тем самым генератор случайных чисел в электронный кубик для настольных игр.
Ожидаемые результаты	Создание модели имитатора электронного кубика для настольных игр.
Время	1 ч.
Основные понятия	Логическая функция И, полупроводниковый диод, диодно-резисторная логика, предустановка двоичного счетчика, D-триггер.

Этапы реализации и содержание учебной деятельности

Этап работы	Описание
Вводная часть	Практическое применение собранного генератора случайных чисел для настольных и других игр.
Изучение нового материала	Как ограничить диапазон счета генератора случайных чисел «снизу» и «сверху». Реализация предустановки (установки начального состояния) счетчика.
Самостоятельная сборка схемы	Собираемая схема является модернизацией предыдущего проекта. Мы добавили к двоичному счетчику функцию предустановки и реализовали логическую функцию И с помощью диодов (диодно-резисторная логика).

Необходимые электронные компоненты

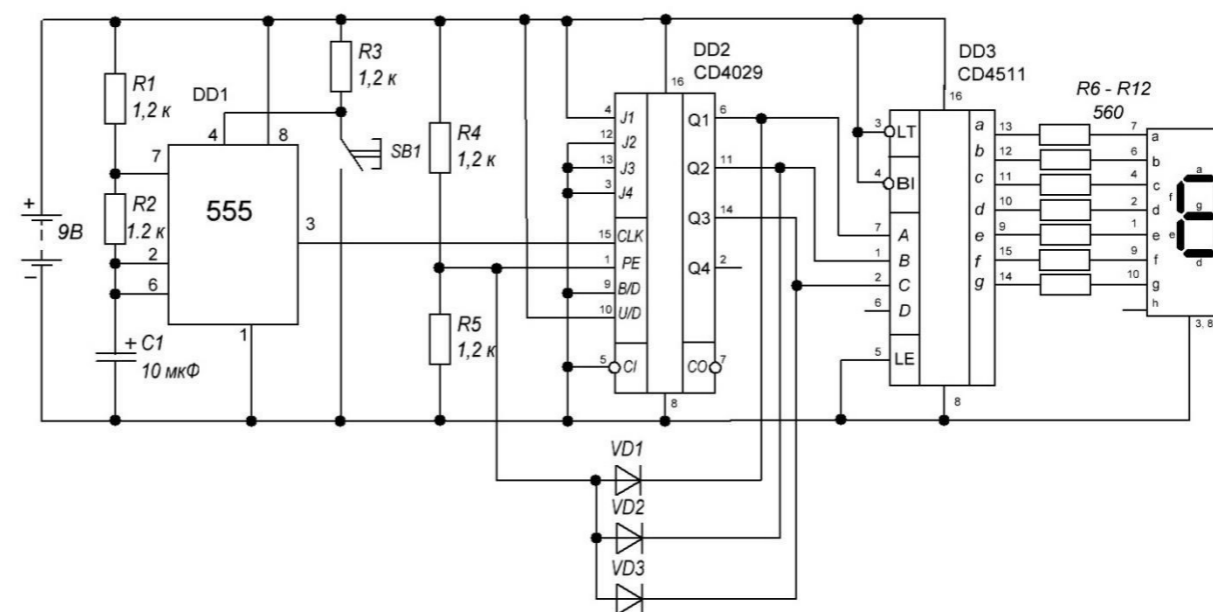
- # микросхема NE555
- # микросхема CD4029
- # микросхема CD4511
- # семисегментный индикатор с общим катодом
- # кнопка тактовая
- # конденсатор 10 мкФ
- # резистор 1,2 кОм (коричневый-красный-красный-золотой): 3 шт.
- # резистор 560 Ом (зеленый-синий-коричневый-золотой): 7 шт.
- # диод 1N4148: 3 шт.
- # переключки
- # беспаячная макетная плата (breadboard)
- # батарея питания 9В типа Крона (6F22, 6LR61)
- # контактная колодка для батареи Крона с проводами

Литература

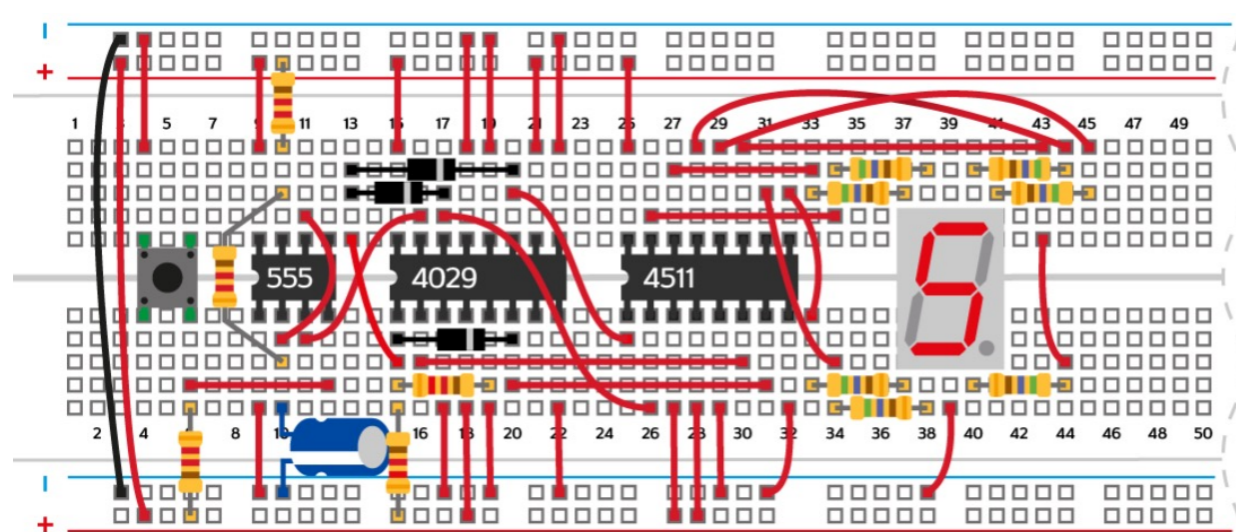
- # Простейшие логические элементы на диодах:
www.club155.ru/commutators-logical
- # Кириченко П. Цифровая электроника для начинающих. 2-е издание. Издательство: БХВ Петербург, 2022 г. Стр. 161. Две схемы электронного кубика для игр.
- # CD4029BE datasheet:
static.chipdip.ru/lib/222/DOC000222305.pdf



Принципиальная схема



Монтажная схема (фрагмент)



Теория и методические рекомендации

После включения схемы на индикаторе будет отображаться мерцающее число 8. При нажатии на кнопку на индикаторе высветится случайное число — от 1 до 6. Мы изменили схему генератора случайных чисел следующим образом: когда счетчик досчитает до цифры 6, следующий импульс от генератора сбрасывает его, и счет начинается заново, но не с 0, а с цифры 1.

Чтобы счетчик начинал отсчет не с 0, необходимо сделать так называемую предустановку счетчика. У него есть четыре входа, обозначенных как J1 — J4. При подаче на вход PE (PRESET ENABLE) счетчика логической «1» в него записывается то число, которое задано в виде двоичного кода на входах J1 — J4. И дальнейший счет будет продолжаться уже с этого числа.

В нашем примере логическая «1» подается на вход предустановки J1 (вывод 4 микросхемы соединен с «плюсом» питания), а на остальные входы J2 — J4 подается напряжение низкого уровня. Этот двоичный код 0001 соответствует числу 1 в десятичной системе счисления, поэтому счетчик продолжает счет с 1, а не с 0.

На входе PE счетчика появляется логическая «1», когда счетчик досчитает до числа 111 в двоичном коде (число 7 в десятичной системе счисления). Мы добились этого установкой на выходах счетчика Q1-Q3 трех диодов, которые в нашем случае выполняют логическую операцию «И» (мнемоническое правило для нее звучит так: на выходе будет 1 тогда и только тогда, когда на всех входах будут логические «1»). Мы используем в данной логической цепи свойство диодов проводить электрический ток только в одном направлении. Когда на всех трех выходах счетчика устанавливается напряжение высокого уровня, что соответствует числу 111, то и на входе PE, как результат логической функции «И», тоже появляется логическая «1». Происходит предустановка счетчика, в него записывается число 1 и счет продолжается до числа 6. Затем цикл повторяется до тех пор, пока не будет нажата кнопка, которая остановит генерацию импульсов и, соответственно, счетчик.

Рекомендация по сборке: не торопитесь разбирать эту схему по окончании ее изучения. Мы немного изменим ее и научимся считать людей и предметы.

Дополнительное задание для тех, кто хочет знать больше: соберите вариант счетчика с отдельными светодиодами вместо индикатора по схеме на стр. 164 в [2].

Вопросы для самопроверки

1. Какую роль играют резисторы R4 и R5 в этой схеме?
2. Почему мы изменили подключения вывода 4 микросхемы CD4029 по сравнению с предыдущей схемой?
3. Как заменить блок диодно-резисторной логики в этой схеме, если у вас есть в распоряжении микросхемы с вентилями 2И-НЕ? Изобразите новую схему соединений без диодов и резисторов R4 и R5, но с микросхемой CD4011.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА 9 СЧЕТЧИК ЛЮДЕЙ И ПРЕДМЕТОВ

Цели	Модернизировать предыдущую схему, добавив к ней датчик — фоторезистор и изменив режим работы микросхемы 555.
Ожидаемые результаты	Создание модели счетчика людей и предметов, которая считает, сколько раз был затемнен фоторезистор — или, иначе говоря, сколько предметов (людей, коробок, животных) прошло мимо него.
Время	2 ч.
Основные понятия	Фоторезистор, одновибратор.

Этапы реализации и содержание учебной деятельности

Этап работы	Описание
Вводная часть	Подсчет быстро движущихся предметов в реальном мире с помощью оптических датчиков.
Изучение нового материала	Как работает простейший оптический датчик из фоторезистора. Одновибратор — генератор, вырабатывающий одиночные электрические импульсы.
Самостоятельная сборка схемы	Собираемая схема является модернизацией предыдущего проекта. Мы добавили фоторезистор и изменили режим работы микросхемы 555. Теперь она работает как одновибратор.
Рефлексия	Обсудить, какие изменения следует внести в схему, чтобы отсчет начинался с нуля и продолжался в диапазоне до 99. Что можно сделать, чтобы счетчик не переполнялся или хотя бы сигнализировал, что отсчет идет по второму и т. д. кругу?



Необходимые электронные компоненты

- # микросхема NE555
- # микросхема CD4029BE
- # микросхема CD4511BE
- # транзистор 2N3904 (N-P-N)
- # семисегментный индикатор с общим катодом
- # конденсатор 10 мкФ
- # резистор 1,2 кОм (коричневый-красный-красный-золотой)
- # резистор 560 Ом (зеленый-синий-коричневый-золотой): 7 шт.
- # резистор 4,7 кОм (желтый-фиолетовый-красный-золотой)
- # резистор 16 кОм (коричневый-синий-оранжевый-золотой)
- # фоторезистор
- # резистор переменный (подстроечный) 100 кОм
- # переключатель
- # беспаячная макетная плата (breadboard)
- # батарея питания 9В типа Крона (6F22, 6LR61)
- # контактная колодка для батареи Крона с проводами

Литература

- Фоторезистор (LDR): ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%BE%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%B5%D0%B7%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%80
- Одновибратор на 555 таймере: www.joyta.ru/4999-odnovibrator-na-555-tajmere/

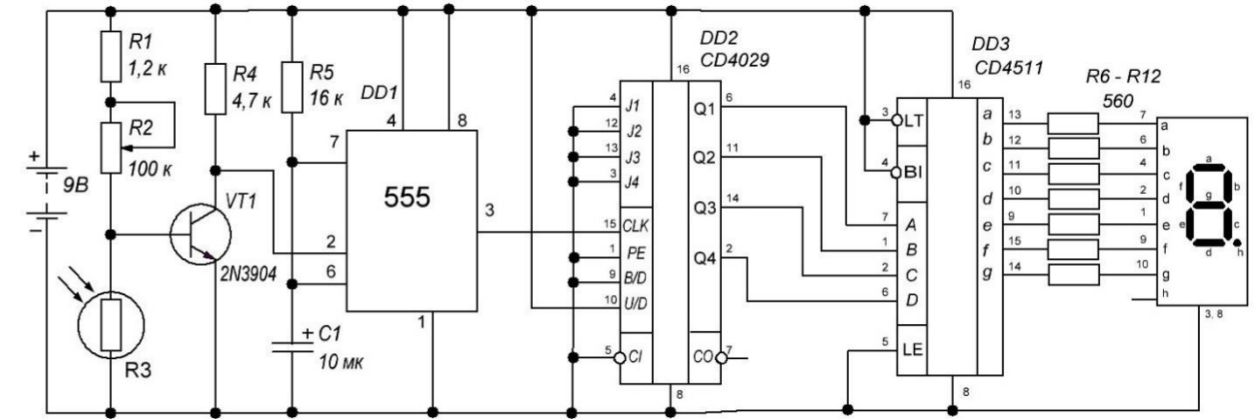


Как работает схема

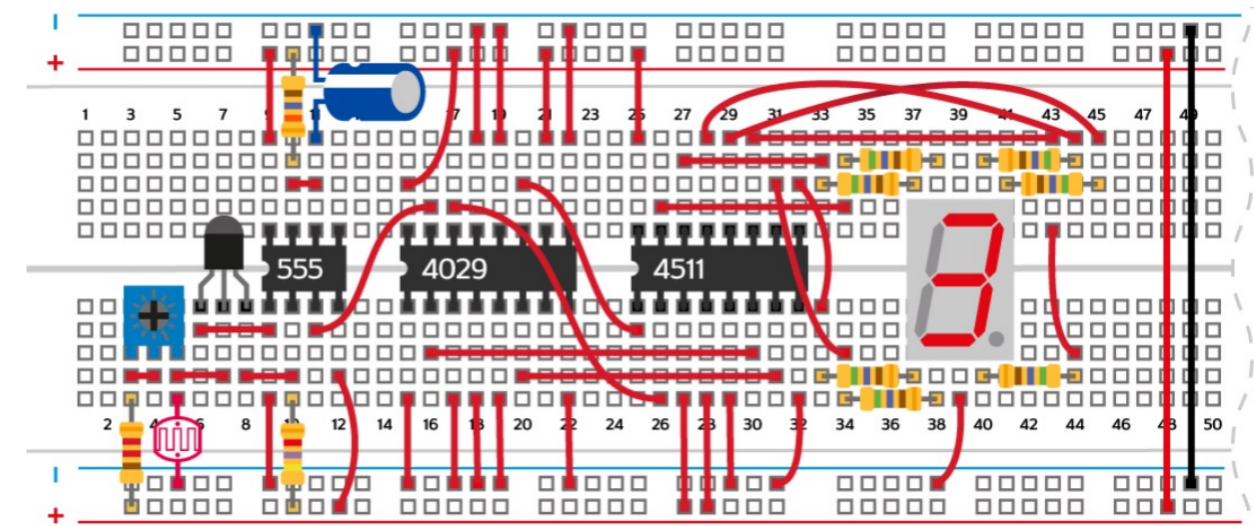
Эта схема считает, сколько раз был затемнен фоторезистор — или, иначе говоря, сколько предметов (людей, коробок, животных) прошло мимо него. Если провести рукой или предметом мимо фоторезистора, число на индикаторе увеличится на единицу.

Чтобы настроить чувствительность схемы, вращайте переменный резистор. Сначала найдите такое положение, в котором числа на индикаторе меняются самопроизвольно. Потом медленно вращая переменный резистор, найдите положение, когда такой счет прекратится. Поднесите руку к фоторезистору, тем самым затемняя его — число на индикаторе должно увеличиться на единицу. При необходимости повторите регулировку.

Принципиальная схема



Монтажная схема (фрагмент)



Теория и методические рекомендации

Микросхема 555 используется здесь в новой для нас роли — является одновибратором, то есть формирует одиночные импульсы определенной длительности при затемнении фоторезистора. Эти импульсы поступают на вход уже знакомого нам счетчика.

Вопросы для самопроверки

1. Как изменяется сопротивление фоторезистора при облучении светом?
2. Зачем нужен одновибратор в этой схеме?
3. Какие изменения нужно внести в схему, чтобы отсчет начинался с 0 и продолжался до 99, не вызывая переполнения счетчика?



ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА 10 ТУДА И ОБРАТНО

Цели	Познакомиться с принципом функционирования мультиплексора и демultipлексора. Использовать демultipлексор для создания схемы «бегущий огонек» с реверсом.
Ожидаемые результаты	Создание схемы «бегущий огонек» с реверсом на основе демultipлексора — микросхемы CD4051.
Время	2 ч.
Основные понятия	Мультиплексор, демultipлексор.

Этапы реализации и содержание учебной деятельности

Этап работы	Описание
Вводная часть	Мультиплексоры и демultipлексоры — электронные регулировщики цифровых схем.
Изучение нового материала	Схемотехническая реализация схем мультиплексора и демultipлексора. Аналоговый мультиплексор/демultipлексор CD4051.
Самостоятельная сборка схемы	Сборка схемы «бегущий огонек» с реверсом на основе таймера 555, двоичного счетчика 4029, демultipлексора CD4051 и триггера CD4013. Сборка производится в два этапа.

Необходимые электронные компоненты

- # микросхема NE555
- # микросхема CD4029BE
- # микросхема CD4051BE
- # микросхема CD4013BE
- # светодиоды: 9 шт.
- # конденсатор 10 мкФ
- # резистор 1,2 кОм (коричневый-красный-красный-золотой): 2 шт.
- # резистор 6,8 кОм (синий-серый-красный-золотой)
- # резистор 10 кОм (коричневый-чёрный-оранжевый-золотой): 2 шт.
- # резистор 16 кОм (коричневый-синий-оранжевый-золотой)
- # перемычки
- # безопасная макетная плата (breadboard)
- # батарея питания 9В типа Крона (6F22, 6LR61)
- # контактная колодка для батареи Крона с проводами

Литература

- Кириченко П. Цифровая электроника для начинающих. 2-е издание. Издательство: БХВ-Петербург, 2022 г. Стр. 110 Мультиплексоры и демultipлексоры — регулировщики цифрового движения
- CD4051B datasheet: static.chipdip.ru/lib/204/DOC000204382.pdf



Как работает схема

«Бегущий огонек» «добегает» до последнего в цепочке светодиода, меняет направление и «возвращается» назад к первому светодиоду, снова меняет направление и т. д.

Теория и методические рекомендации

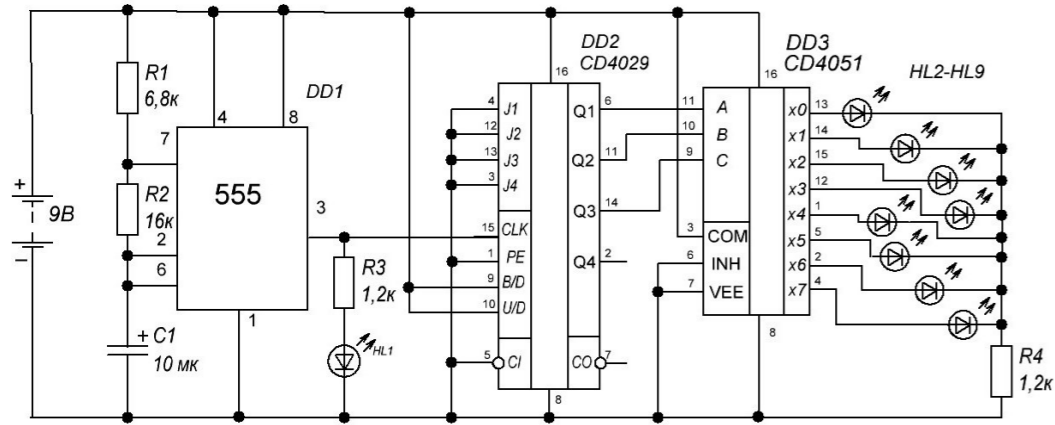
Мультиплексором называется устройство, которое позволяет передавать сигнал с одного из нескольких входов на единственный выход. Демultipлексор, напротив, передает сигнал с единственного входа на один из информационных выходов. Микросхема 4051 совмещает в себе эти две функции. Она может коммутировать как цифровые, так и аналоговые сигналы (например, в аудиоаппаратуре). Значения на цифровых входах А, В, С определяют, какой из восьми каналов будет соединен с выводом COM. Соединение возможно только при наличии разрешающего сигнала (низкого уровня) на входе INH.

Сборку схемы рекомендуется производить в два этапа. Сначала создадим эффект «бегущего» в одну сторону огонька. Нам потребуется три микросхемы.

Генератор импульсов на микросхеме 555 и двоичный счетчик на микросхеме CD4029 нам уже знакомы. Новая микросхема, демultipлексор CD4051, подключает один входной сигнал к одному из восьми выходов. Выбор выхода осуществляется при помощи адресных входов, которые в нашей схеме подключены к счетчику. А на вход мультиплексора (вывод 3 микросхемы) мы подаем логическую «1». Сигналы счетчика управляют появлением логической «1» поочередно на выходах демultipлексора. Подключенные к ним светодиоды будут также по очереди включаться, создавая эффект «бегущего огонька».



Принципиальная схема (I этап)

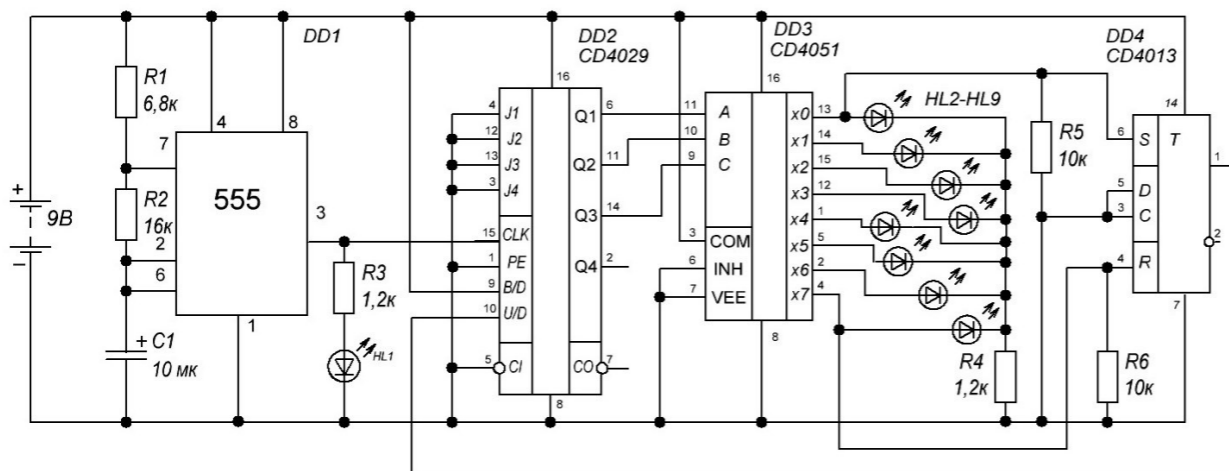


Обратите внимание, что в отличие от предыдущих схем со счетчиком CD4029, в этом проекте девятый вывод счетчика В/D (BINARY/DECIMAL) подключен к «плюсу» питания. Это нужно, чтобы счетчик работал в двоичном режиме работы и не сбрасывался после десяти импульсов, как в десятичном режиме. Почему это важно? Чтобы ответить на этот вопрос, переведите счетчик в десятичный режим, подключив девятый вывод микросхемы счетчика к «минусу» питания и посмотрите, как будет вести себя «бегущий огонек» в этом случае.

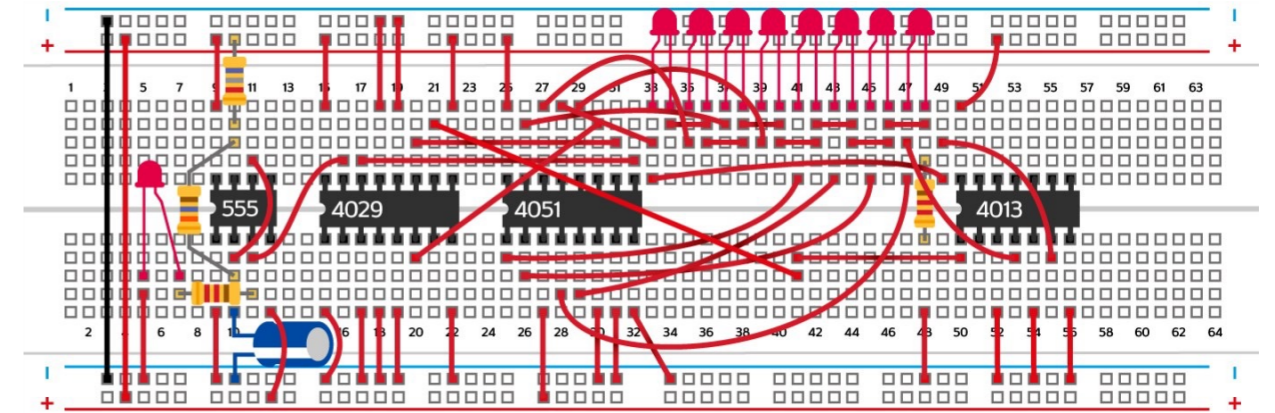
На втором этапе сборки схемы нам нужно будет добиться изменения направления поочередного включения светодиодов («бегущего огонька»). Для этого нужно изменить направление счета микросхемы — оно устанавливается уровнем сигнала на входе UP/DOWN (вывод 10) счетчика CD4029.

Если на этом входе логическая «1», то направление счета — возрастающее, если логический «0» — убывающее. Осталось сделать так, чтобы, когда огонек «добегает» до последнего светодиода, на входе UP/DOWN появлялся логический «0», а когда «возвращается» к первому — логическая «1». Для этого мы установим RS-триггер, прямой выход которого будет управлять сигналом на входе UP/DOWN счетчика. Сам же триггер будет получать сигналы от крайних выходов мультиплексора, с которыми соединены первый и последний в цепочке светодиоды.

Принципиальная схема (II этап)



Монтажная схема (II этап)



Вопросы для самопроверки

1. Для чего нужны резисторы R5 и R6 в этой схеме?
2. Составьте схему двухвходового мультиплексора, используя логические вентили НЕ, 2И, 2ИЛИ.
3. Составьте схему демультиплексора 2-в-4, используя логические вентили НЕ и 3И.



ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА 11 НАРАСТАЮЩАЯ ШКАЛА

Цели	Познакомиться с работой сдвигового регистра. Использовать сдвиговый регистр для создания схемы накапливающегося включения светодиодов в виде нарастающей шкалы.
Ожидаемые результаты	Создание модели светодиодных динамических указателей поворотов автомобиля.
Время	2 ч.
Основные понятия	Сдвиговый регистр.

Этапы реализации и содержание учебной деятельности

Этап работы	Описание
Вводная часть	Регистры в цифровой технике. Сдвиговые (или последовательные, или сдвигающие) регистры.
Изучение нового материала	Схемотехническая реализация четырехразрядного сдвигового регистра. Микросхема сдвигового регистра CD4015BE.
Самостоятельная сборка схемы	Сборка модели светодиодных динамических указателей поворотов автомобиля на основе таймера 555 и сдвигового регистра 4015.

Необходимые электронные компоненты

- # микросхема NE555
- # микросхема CD4015BE
- # светодиоды: 8 шт.
- # конденсатор 10 мкФ
- # резистор 1,2 кОм (коричневый-красный-красный-золотой): 8 шт.
- # резистор 16 кОм (коричневый-синий-оранжевый-золотой)
- # резистор 6,8 кОм (синий-серый-красный-золотой)
- # перемычки
- # безопасная макетная плата (breadboard)
- # батарея питания 9В типа Крона (6F22, 6LR61)
- # контактная колодка для батареи Крона с проводами

Литература

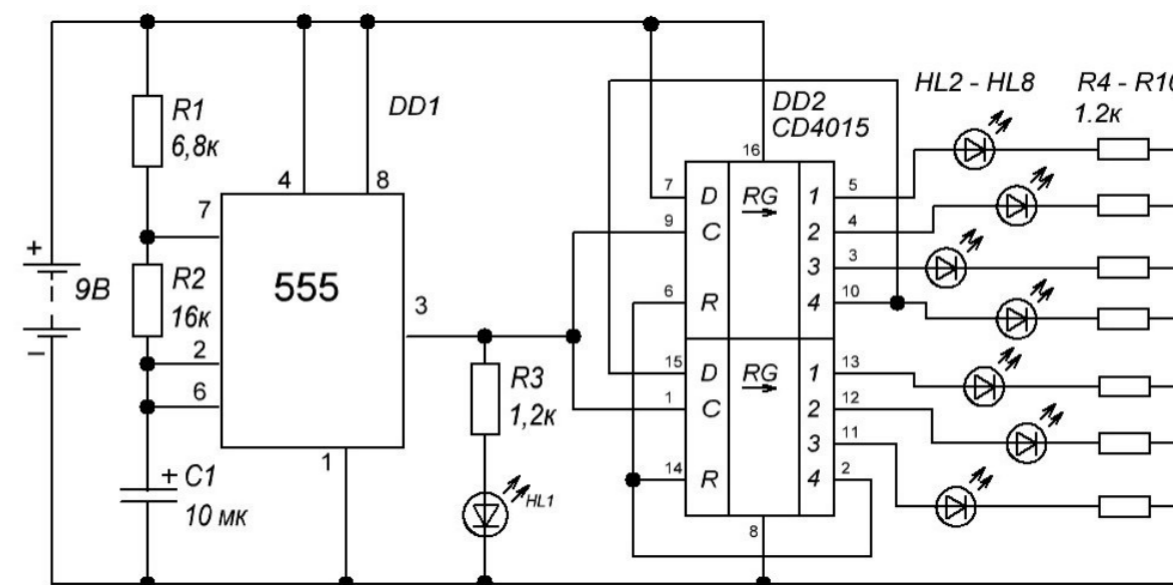
- Кириченко П. Цифровая электроника для начинающих. 2-е издание. Издательство: БХВ Петербург, 2022 г. Стр. 148
Эстафета для триггеров: конструкция сдвигового регистра
- Токхейм Р. Основы цифровой электроники. Мир, 1988 г. Стр. 191.
Регистры сдвига
- Последовательные (сдвиговые) регистры:
digteh.ru/digital/PoslReg.php
- CD4015 datasheet: static.chipdip.ru/lib/205/DOC000205248.pdf



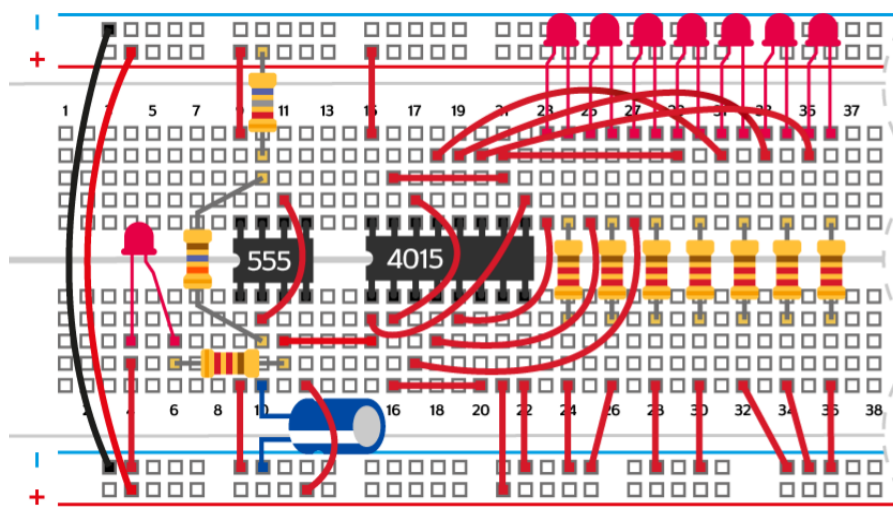
Как работает схема

Светодиоды начинают загораться один за другим, при этом предыдущие не гаснут. После того, как все светодиоды зажглись, через мгновение они все одновременно гаснут, и весь цикл начинается с начала.

Принципиальная схема



Монтажная схема (фрагмент)



Теория и методические рекомендации

Сдвиговые регистры представляют собой последовательно соединенную цепочку триггеров. По сигналу, поступающему на тактовый вход С (Clock), в первый триггер записывается значение с информационного входа D (Data). В нашей схеме на вход D первого регистра всегда подается напряжение высокого уровня, так как он соединен с «плюсом» питания. Затем с каждым тактовым сигналом содержимое каждого предыдущего триггера переписывается в следующий по порядку в цепочке триггер. Прямые выходы этих триггеров образуют выходы регистра.

Регистры широко используются в вычислительной технике для преобразования кодов — параллельного в последовательный и наоборот. Кроме того, сдвигающие регистры в составе АЛУ (арифметико-логического устройства) могут производить умножение числа на два (при сдвиге записанного в регистр двоичного числа на один разряд влево), а при сдвиге числа на один разряд вправо число делится на два.

Микросхема CD4015 содержит в своем составе два сдвиговых регистра, каждый из которых состоит из четырех D-триггеров. Регистры соединены последовательно — последний выход первого регистра соединяется с входом второго. Содержимое регистров сбрасывается при наличии сигнала на входе R (Reset). В нашем случае входы R обоих регистров соединены с последним выходом второго регистра — чтобы автоматически сбросить регистры после восьмого тактового сигнала. Все остальные выходы регистров соединены со светодиодами.

Вопросы для самопроверки

1. Для чего нужен светодиод HL1 в этой схеме?
2. Как будет работать сдвиговой регистр, если на этой схеме вывод 7 микросхемы 4015 (вход Data первого регистра) отключить от плюса питания и соединить с выводом 2 (выход последнего триггера второго регистра) этой же микросхемы через инвертор? Что будет, если исключить инвертор из схемы и соединить эти выводы напрямую?

Дополнительное задание: соберите схему забавного светильника «Бегущие огни», приведенную на стр. 150 в [1]. При этом n-канальные полевые транзисторы можно заменить на более доступные биполярные транзисторы структуры p-n-p, например, 2N3904, при условии включения в цепь базы транзисторов резисторов 10 кОм и ограничения тока коллектора до 200 мА.

ПРОЕКТНАЯ РАБОТА ЭЛЕКТРОННАЯ ИГРА «ПОЙМАЙ ОГОНЕК»

Цели Разработать схему электронной игры на скорость реакции согласно техническому заданию с использованием цифровых логических микросхем, но без использования микроконтроллера.

Ожидаемые результаты Функционирующая модель электронной игры собрана на макетных платах.

Время 4 ч.

Этапы реализации и содержание учебной деятельности

Этап работы	Описание
Вводная часть	Обоснование актуальности работы над задачей, введение в проблематику.
Подготовительный этап	Анализ существующих игр на скорость реакции. Разработка технического задания для игры с учетом знаний и навыков, полученных в ходе предыдущих практических занятий модуля «Цифровая схемотехника».
Реализационный этап	Самостоятельная сборка схемы, разработка блока логических операций и счетчика набранных баллов.
Подведение итогов и рефлексия	Обсуждение результатов работы, рефлексия, постановка последующих целей.



Необходимые электронные компоненты

- # микросхема таймер NE555P
- # микросхема CD4017BE
- # микросхема CD4026BE
- # микросхема CD4071 BE
- # микросхема CD4081 BE
- # светодиод выводной, круглый, диаметр 3-5мм: 6 шт. (разных цветов, по 2 шт. каждого цвета)
- # семисегментный одноразрядный светодиодный индикатор с общим катодом, например, Kingbright SC56-11
- # тактовая кнопка (способ монтажа — в отверстия на плату)
- # конденсатор 1 мкФ (неполярный)
- # конденсатор 47 мкФ
- # резистор 1,2 кОм: 2 шт.
- # резистор 100 кОм
- # резистор 10 кОм: 2 шт.
- # резистор 560 Ом: 7 шт.
- # перемычки
- # безопасная макетная плата (breadboard): 2 шт.
- # батарея питания 9В типа Крона
- # контактная колодка для батареи Крона с проводами

Литература

- Чарльз Платт. Электроника для начинающих (Make: Electronics). Издательство: БХВ Петербург, 2012 г. Стр. 232, эксперимент 18. Таймер для определения реакции человека
- Эйвинд Даль. Электроника для детей. Собираем простые схемы, экспериментируем с электричеством. Издательство: Манн, Иванов и Фербер, 2017 г. Стр. 251. Давайте создадим игру!
- Datasheet CD4026BE: static.chipdip.ru/lib/070/DOC012070950.pdf
- Схема подключения светодиодных семисегментных индикаторов с помощью микросхем-драйверов CD4026: vk.cc/9RHduY



Методические рекомендации

Цель данной разработки — создание электронного устройства, которое в игровой форме помогает оценить и, при необходимости, путем тренировок улучшить скорость реакции человека на световые раздражители.

Актуальность предлагаемой темы связана с тем, что в современном динамичном мире вопрос о значимости скорости реакции человека и о путях ее улучшения очень важен. С этой проблемой сталкиваются работники, управляющие скоростным транспортом и опасными механизмами, а также спортсмены и киберспортсмены. Обычные геймеры тоже часто нуждаются в оценке и тренировке скорости реакции.

Каждый человек реагирует на различные световые раздражители (свет) по-разному. В нормальном, обычном состоянии, это время стабильно. При малейших отклонениях в состоянии здоровья время реакции изменяется — увеличивается. Поэтому это устройство может быть полезно при отборе людей для экстремальных условий работы, спортсменов перед соревнованиями, при определении степени усталости/утомляемости.

Основной принцип работы подобных устройств, измеряющих скорость реакции на свет, довольно прост — после включения лампочки (светодиода) пользователю необходимо как можно быстрее нажать на кнопку. Интервал времени между включением светодиода и нажатием на кнопку определяет время реакции.

Существует множество способов превратить процесс оценки скорости реакции в игру (их нужно обсудить с обучающимися в ходе подготовительного этапа). В рамках данного модуля по основам цифровой схемотехники полезно изучить электронные схемы, описанные в литературе [1,2].

В качестве основы итогового проекта предлагается взять схему из книги Эйвинда Даля «Электроника для детей», доработав и переработав ее с учетом полученных знаний и навыков. В этой игре требуется остановить последовательное мигание светодиодов разных цветов в цепочке в определенный момент, продемонстрировав тем самым скорость реакции на световой раздражитель. В процессе усовершенствования игры в устройство предлагается ввести счетчик набранных игроком очков.

Для разработки технического задания (ТЗ) можно использовать следующее описание: в игре используется ряд из пяти светодиодов, зажигающихся поочередно, создающих эффект «бегущего» то в одну, то в другую сторону огонька. Цель игры — остановить «бегающий огонек» в середине ряда светодиодов путем нажатия на кнопку. За это игрок получает один балл. За остановку огонька на светодиоде, расположенном рядом со средним светодиодом, баллы не начисляются, а за остановку на одном из крайних светодиодов игрок теряет все набранные очки. Партия идет до девяти набранных баллов. Баллы отображаются на семисегментном светодиодном индикаторе.

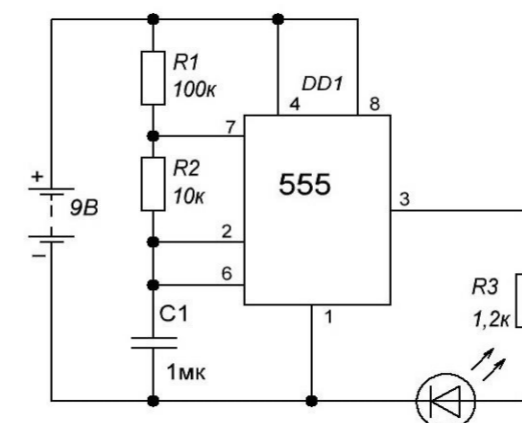
Функционально схема состоит из нескольких частей:

- ➔ генератор импульсов на микросхеме-таймере NE555, задающий темп игры, т.е. скорость перемещения огонька;
- ➔ счетчик на микросхеме CD4017 для включения светодиодов;
- ➔ блок, выполняющий логические операции;
- ➔ счетчик набранных баллов.

Целесообразно собирать, проверять и отлаживать работу схемы по этим функциональным блокам.

Сначала нужно предложить обучающимся собрать генератор импульсов на таймере 555 и убедиться, что на третьем выводе таймера присутствуют импульсы с частотой примерно 12 Гц. Для контроля можно подключить к выводу 3 микросхемы 555 через токоограничивающий резистор сопротивлением 560 Ом — 1,2 кОм светодиод катодом к «минусу» питания и убедиться, что светодиод мигает с указанной частотой (примерно 10-15 раз в секунду).

Принципиальная схема генератора импульсов



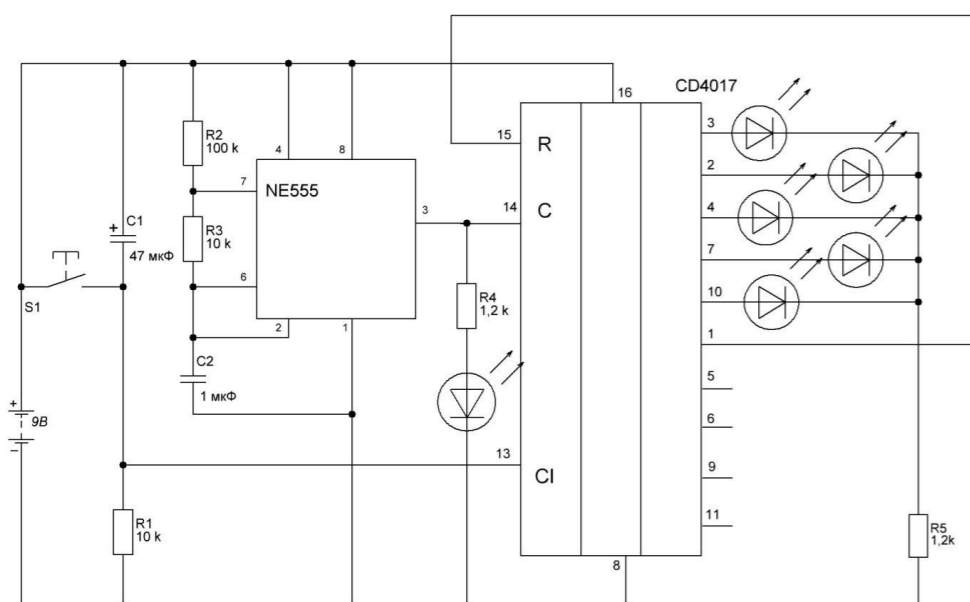
На следующем этапе необходимо к генератору импульсов добавить микросхему CD4017 для управления светодиодами. Это десятичный счетчик — интегральная схема, считающая входные импульсы. Каждый переход входного напряжения с низкого уровня на высокий на выводе 14 микросхемы увеличивает содержимое счетчика на единицу. Счетчик считает от 0 до 9 и имеет девять выходов с номерами от 0 до 9. Когда счетчик получит, например, три входных импульса, на верхний уровень переходит выход 3 (вывод 7) и, если к нему подключен светодиод, он загорается.

Если подключить светодиоды к нескольким выходам счетчика, они будут загораться поочередно в соответствии с номерами выходов. Когда счетчик досчитает до 9 и получит на входе десятый импульс, он сбросится на 0 и начнет следующий цикл подсчета. Можно ограничить подсчет импульсов, например, до 5. Для этого мы соединим выход 5 (вывод 1) с входом reset (сброс) микросхемы CD4017 (вывод 15). Тогда пятый импульс будет сбрасывать счетчик до 0.

Счет импульсов ведется только при низком напряжении на выводе 13. Значит, этот вывод можно использовать для запуска и остановки бегущего по светодиодам огонька. Для этого мы используем кнопку S1 и подтягивающий резистор R1 (см. принципиальную схему ниже). Конденсатор C1 борется с «дребезгом контактов» и обеспечивает небольшую паузу в игре при отпускании кнопки.

На втором этапе обучающиеся собирают упрощенную версию игры, где огонек «бежит» лишь в одну сторону, и отсутствует счетчик набранных баллов.

Принципиальная схема упрощенной версии игры



Упрощенная версия игры позволяет играть и тренировать реакцию на световые раздражители, но не соответствует условиям ТЗ. Нужно подключить счетчик набранных баллов с семисегментным индикатором и разработать схему блока логических операций, состоящего из логических вентилях для того, чтобы:

- ➔ обеспечить «бег» огонька туда и обратно, а не только в одну сторону;
- ➔ вести подсчет набранных баллов при выполнении следующего условия — нажата кнопка и при этом горит средний светодиод;
- ➔ сбрасывать счетчик набранных баллов до 0 при выполнении следующего условия — нажата кнопка и горит один из крайних светодиодов.

Счетчик набранных баллов удобно реализовать с помощью микросхемы CD4026. Учащимся необходимо самостоятельно разобраться в схеме подключения светодиодных семисегментных индикаторов к микросхеме CD4026 с помощью datasheet на микросхему [3] или обучающих материалов в сети, например [4]. В качестве токоограничивающих резисторов следует использовать резисторы сопротивлением не менее 560 Ом.

Блок логических операций также должен быть самостоятельно разработан учащимися.

Для того, чтобы обеспечить «бег» огонька туда и обратно, предлагается подключать часть светодиодов к счетчику 4017 с помощью микросхемы, содержащей в своем составе логические вентили, выполняющие операцию ИЛИ (возможна замена на Исключающее ИЛИ, не требует изменений схемы).

Например, можно использовать три вентиля микросхемы CD4071 (ИЛИ) таким образом:

- ➔ выводы 1 и 2 логической микросхемы 4071 подключить к выводам 1 и 7 счетчика 4017 (вывод 1 счетчика 4017 следует предварительно отсоединить от вывода 15 этой же микросхемы);
- ➔ выводы 5 и 6 логической микросхемы 4071 подключить к выводам 4 и 5 счетчика 4017 соответственно;
- ➔ выводы 8 и 9 логической микросхемы 4071 подключить к выводам 2 и 6 счетчика 4017 соответственно;
- ➔ вывод 9 счетчика 4017 подключить к выводу 15;
- ➔ аноды светодиодов 2, 3, 4 (нумерация по принципиальной схеме, идет сверху вниз) предварительно отключить от микросхемы 4017, а затем подключить их к выводам 10, 4 и 3 логической микросхемы 4071 соответственно.

Для подсчета набранных баллов предлагается использовать логический элемент И в составе микросхемы CD4081 следующим образом:

- ➔ выводы 1 и 2 логической микросхемы 4081 подключить к выводу 13 счетчика 4017 и выводу 4 логической микросхемы 4071 соответственно;
- ➔ вывод 3 логической микросхемы 4081 подключить к выводу 1 счетчика 4026.

Для сброса счетчика набранных баллов до 0 в случае ошибки игрока предлагается использовать логические элементы И и ИЛИ следующим образом:

- ➔ выводы 12 и 13 логической микросхемы 4071 (ИЛИ) подключить к выводам 3 и 10 счетчика 4017 соответственно;
- ➔ вывод 11 логической микросхемы 4071 подключить к выводу 5 логической микросхемы 4081 (И);
- ➔ вывод 6 логической микросхемы 4081 подключить к выводу 13 счетчика 4017;
- ➔ вывод 4 логической микросхемы 4081 подключить к выводу 15 счетчика 4026.

После внесения всех изменений в схему ее функционал будет соответствовать ТЗ.

По итогам тестирования схемы следует обсудить: какие есть недостатки у спроектированной игры, какие улучшения необходимо сделать в дальнейшем?

Возможно, что у части схем (либо у всех) при включении счетчик набранных баллов будет показывать не 0, а любую случайную цифру. Для решения этой проблемы следует сделать ручной сброс счетчика CD4026 через отдельную кнопку, либо автоматический, при включении, через RC цепочку. Обсудите с учащимися, как удобнее всего это реализовать.



Также обсудите, что можно сделать для повышения так называемой «играбельности» собранной схемы? Возможные варианты улучшений:

- ➔ ввести уровни игры, от которых зависит скорость переключения светодиодов;
- ➔ добавить звуковые эффекты с помощью зуммера или динамика;
- ➔ увеличить счетчик набранных баллов до 99;
- ➔ ограничить время игровой сессии и/или число нажатий на кнопку;
- ➔ сделать игру для соревнования двух игроков одновременно (вопросы для обсуждения: у каждого игрока свой ряд светодиодов или один для всех, и получает балл тот, кто быстрее нажмет правильно кнопку? А что произойдет в случае ошибки игрока, может быть, есть смысл добавлять балл противнику? Нужно ли ограничивать число нажатий на кнопку игрокам или время игровой сессии?)
- ➔ другие варианты, предложенные учащимися.

Из предложенных вариантов выбрать наиболее интересные и доступные к реализации с помощью цифровых микросхем без использования микроконтроллера, установить их в качестве следующих целей для улучшения игры.