

Учреждение образования
«Белорусский государственный педагогический университет
имени Максима Танка»

Факультет физико-математический
Кафедра информатики и методики преподавания информатики

СОГЛАСОВАНО

И.о. заведующего кафедрой

С.В. Вабищевич
18 июня 2017 г.



СОГЛАСОВАНО

Декан факультета

С.И. Василец
05 2017 г.

(пер. № 24-2-182 от 28.06 2017г.)

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ

«Физическая электроника (раздел «Цифровая электроника»)»

Для специальности 1–02 05 04 Физика и техническое творчество

Составители: М.А. Вилькоцкий, доктор физ.-мат. наук, профессор
В.В. Юргульский, старший преподаватель

Рассмотрено и утверждено

на заседании Совета БГПУ 26 июня 2017 г. протокол № 10

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА.....	3
ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ.....	4
РАЗДЕЛ 3. ЦИФРОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА	4
Тема 3.1. Цифровая электроника.....	4
Тема 3.2. Математические основы цифровой электроники.	9
Тема 3.3. Элементы цифровых устройств.	16
Тема 3.5. Последовательностные устройства.	29
Тема 3.6. Цифровые измерительные приборы.	37
Тема 3.7. Цифровые устройства в школе.	41
ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ.....	53
РАЗДЕЛ 3. ЦИФРОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА	53
Тема 3.3. Элементы цифровых устройств.	53
Тема 3.4. Комбинационные устройства.....	53
Тема 3.5. Последовательностные устройства.	54
Тема 3.6. Цифровые измерительные приборы.	55
Тема 3.7. Цифровые устройства в школе.	55
РАЗДЕЛ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ.....	56
РАЗДЕЛ 3. ЦИФРОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА	56
ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ.....	57

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Учебно-методический комплекс (УМК) по учебной дисциплине «Физическая электроника» предназначен для студентов, обучающихся по специальности 1-02 05 02 «Физика и информатика».

Цель УМК – формирование профессиональных компетенций в области электроники, необходимых для будущей профессиональной деятельности.

Использование УМК позволит преподавателю: сформировать у студентов знания физических законов, на которых основана работа электронных устройств; об условных графических обозначениях электронных элементов применяемых в электрических схемах физических принципов работы электронных устройств и процессов, протекающих в них.

На основании УМК студенты могут сформировать умения: по составлению и анализу режимов работы электронных схем, измерению их параметров; моделированию на компьютере электронных схем и измерению их параметров с использованием пакета анализа электронных схем Micro-Cap; выбору аппаратуры и контрольно-измерительным прибором для проведения измерений; использованию инновационных технологий для решения типовых профессиональных задач учителя физики и информатики.

В УМК описаны: способы проектирования электро- и радиотехнических цепей с использованием современных компьютерных программ; приемы использования электронных приборов в профессиональной деятельности будущего учителя физики.

Теоретический раздел УМК содержит материалы для теоретического изучения дисциплины в объеме, установленном учебным планом по специальности 1-02 05 02 Физика и информатика.

Практический раздел УМК содержит материалы для проведения лабораторных занятий и организовывается в соответствии с учебным планом.

Раздел контроля знаний УМК содержит материалы текущей и итоговой аттестации, позволяющие определить соответствие результатов учебной деятельности обучающихся требованиям образовательных стандартов высшего образования и учебно-программной документации образовательных программ высшего образования.

Вспомогательный раздел УМК содержит элементы учебно-программной документации образовательной программы высшего образования.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

РАЗДЕЛ 3. ЦИФРОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

Тема 3.1. Цифровая электроника.

*История развития и области применения цифровой электроники.
Цифровой сигнал*

Вряд ли сейчас можно найти сферу нашей жизни, в которую не проникли бы в том или ином виде современные устройства цифровой электроники. Их можно буквально встретить на каждом шагу: дома, на улице, на работе. Цифровая электроника вводит нас в мир микрокалькуляторов, ЭВМ, интегральных схем и двоичных чисел 0 и 1.

Цифровая электроника – это быстро развивающаяся область современной вычислительной техники. Всю историю развития вычислительной техники принято делить на три периода – домеханический, механический, электронно-вычислительный. Эти три периода включают в себе промежуток времени от счета на пальцах до вычислений сверхмощных компьютеров.

В домеханический период использовались следующие способы счета: счет на пальцах и камнях, абак, палочки непера, логарифмическая линейка.

Древнейшие из известных счетов – “саламинская доска” по имени острова Саламин в Эгейском море – которая у греков и Западной Европе назывались “абак”, представляла собой дощечку (позднее – это доска, разделенная на колонки перегородками). На ней проводились линии, разделявшие ее на колонки, а камешки раскладывались в эти колонки по тому же позиционному принципу, по которому кладется число на обыкновенные русские счеты.

Первым устройством для выполнения умножения был набор деревянных брусков, известных как палочки Непера. Они были изобретены шотландцем Джоном Непером (1550-1617). На таком наборе из деревянных брусков была размещена таблица умножения. С палочками Непера было легко работать, но они имели один существенный недостаток: накопленные единицы механически не переносились в старший разряд. И все же этот незамысловатый прибор широко распространился в Европе.

В 1654 г. Роберт Биссакар, а в 1657 г. независимо и С.Патридж (Англия) разработал прямоугольную логарифмическую линейку. Прямоугольная логарифмическая линейка – это счетный инструмент для упрощения вычислений, с помощью которого операции над числами заменялись операциями над логарифмами этих чисел. Конструкция линейки сохранилась в основном до наших дней. Вычисления с помощью логарифмической линейки производятся просто, быстро, но приближенно.

До последнего десятилетия считалось, что первая счетная механическая машина была изобретена французом Блезом Паскалем в 1642 г. При тщательном разборе архива, который принадлежал знаменитому

астроному Иоганну Кеплеру, было обнаружено письмо, написанное в 1623 году профессором Тюбингенского университета В.Шиккардом. В нем описывалась построенная им счетная машина, которая состояла из суммирующего и множительного устройств, а также из механизма для записи промежуточных результатов. Так как счетная машина Шиккарда была известна лишь узкому кругу людей, а в XVII веке еще не была налажена система научных журналов, и основным каналом для распространения научной информации служила личная переписка ученых, в свое время она не была обнародована.

Основоположником математической логики стал немецкий математик Лейбниц. Это он в VII веке сблизил логику с исчислением, усовершенствовал и уточнил логическую символику.

На фундаменте, заложенном Лейбницем, великий математик Джордж Буль создал новую область науки – математическую логику. Он вывел для логических построений особую алгебру, основанную на двоичной системе счисления, которая позже стала называться булевой. Именно булева алгебра позволила легко описывать состояние дискретных устройств.

Наиболее яркую страницу в истории вычислительной техники открыл профессор математики Кембриджского университета Чарльз Беббидж. В 1822 году он приступил к осуществлению проекта разностной машины, предназначенной для расчета навигационных и астрономических таблиц. Машину эту строили десять лет, но так и не закончили из-за финансовых трудностей. В 1833 г., приостановив работы над разностной машиной, Беббидж начал осуществлять проект универсальной автоматической машины для любых вычислений, которую он назвал аналитической машиной.

Аналитическая машина Беббиджа состояла, как и современная ЭВМ, из трех основных устройств: “склада” (запоминающего устройства), “фабрики” (арифметического устройства) и “конторы” (устройства управления). Аналитическая машина которую сам изобретатель, а затем его сын, строили с перерывами в течение 70 лет, так и не была построена. Изобретение это настолько опередило время, что идеи, заложенные в нем, удалось реализовать лишь в середине XX века в современных ЭВМ.

Первая чисто релейная машина была создана в 1941 г. немецким инженером Конрадом Цузе. Его машина Ц-3 состояла из 2600 электромагнитных реле, на которых было построено арифметическое устройство и память на 64 двоичных числа, Управлялась машина программой, задаваемой с помощью перфорированной ленты.

Американский физик и математик Карл Айкен закончил работу над первым вариантом электромеханической машины под названием MARK – 1 в 1944 году. Машина была передана Гарвардскому университету и эксплуатировалась в течение многих лет.

Вторая машина Айкена была чисто релейная. Она содержала около 1300 реле и имела в своем составе все блоки, предусмотренные классической беббиджевой структурой. Кроме того, машина имела встроенные релейные

блоки для вычисления функций $\sin x$, $\cos x$, 10^x , $\log x$ и др.

И все же релейным машинам не суждено было совершить революцию вычислительной технике. Надежность электромагнитных реле была невелика, да и считали эти машины довольно медленно.

Предпосылки для создания персональных ЭВМ были обеспечены появлением транзисторов. Первый транзистор был создан Бардиным, Браттейном и Шокли в 1948 году. Появление транзисторов обеспечили переход к созданию электронно-вычислительных машин с меньшей энергопотребляемостью, большим быстродействием, высокой интеграцией элементов схем и меньшей себестоимостью.

Исключительно важную роль в развитии вычислительной техники сыграло появление интегральных микросхем (ИМС) в 1960 г. Совершенствование технологии производства микросхем привело к созданию больших (БИС) и сверхбольших интегральных микросхем (СБИС).

Разработка первой электронной серийной машины UNIV AC (Universal Automatic Computer) осуществлена Эккертом и Маучли, основавшими в декабре 1947 года фирму ECKERT-MAUCHLI.

Первый образец машины (UNIV AC – 1) был построен для бюро переписи США и пущен в эксплуатацию весной 1951 г. Синхронная, последовательного действия вычислительная машина UNIV AC – 1 создана на базе ЭВМ ENIAC и EDV AC. Работала она с тактовой частотой 2,25 МГц и содержала около 5000 электронных ламп. Внутреннее запоминающее устройство ёмкостью 1000 12-разрядных десятичных чисел было выполнено на 100 ртутных линиях задержки.

В 1950 г. в Киеве в Институте точной механики и вычислительной техники (ИТМ и ВТ) организован отдел цифровых ЭВМ для разработки и создания большой ЭВМ. В 1951 г. под руководством Лебедева С.А. была создана БЭСМ (Большая Электронная Счётная Машина), а в 1952 г. началась её опытная эксплуатация. По тем временам БЭСМ была весьма производительной машиной – 800 оп/с. Она имела трёхадресную систему команд, а для упрощения программирования широко применялся метод стандартных программ, который в дальнейшем положил начало модульному программированию, пакетам прикладных программ. Серийно машина стала выпускаться в 1956 г. под названием БЭСМ – 2.

В лаборатории электросхем энергетического института под руководством И. С. Брука в 1951 г. построили макет небольшой ЭВМ первого поколения под названием М – 1. В следующем году здесь была создана вычислительная машина М-2. В машине М-2 использовались 1879 ламп, средняя производительность составляла 2000 оп/с. В 1955 – 1956 г.г. коллектив лаборатории выпустил малую ЭВМ М – 3 с быстродействием 30 оп/с и оперативной памятью на магнитном барабане.

Ещё одна разработка малой вычислительной машины под названием "Урал" была закончена в 1954 г. коллективом сотрудников под руководством Рамеева. Эта машина стала родоначальником целого семейства "Уралов",

последняя серия которых ("Урал – 16"), была выпущена в 1967 г. Простота машины, удачная конструкция, невысокая стоимость обусловили её широкое применение.

Во второй половине 50 – х г.г. в нашей стране было выпущено ещё 8 типов машин по вакуумно-ламповой технологии. Из них наиболее удачной была ЭВМ М-20, созданная под руководством С. А. Лебедева, который в 1954 г. возглавил ИТМ и ВТ. Машина отличалась высокой производительностью (20 тыс. оп/с), что было достигнуто использованием совершенной элементной базы и соответствующей функционально – структурной организации. Серийный выпуск ЭВМ М – 20 был начат в 1959 г.

В 1958 г. под руководством В. М. Глушкова в Институте кибернетики АН Украины была создана вычислительная машина "Киев", имевшая производительность 6 – 10 тыс. оп/с. "Киев" впервые в СССР использовалась для дистанционного управления технологическими процессами.

В Минске с 1958 года под руководством Г. П. Лопато и В. В. Пржиялковского начались работы по созданию первой машины известного в дальнейшем семейства " Минск-1". Она выпускалась минским заводом вычислительных машин в различных модификациях: " Минск – 1 ", " Минск – 11 ", " Минск – 12 ", " Минск – 14 ". Машина широко использовалась в вычислительных центрах СССР и стран СЭВ. Средняя производительность машины составляла 2 – 3 тыс. оп/с.

Исключительно важную роль в развитии вычислительной техники сыграло появление БИС и СБИС. Была освоена технология создания микропроцессоров с высокой интеграцией. Так в ноябре 1971 года корпорация Intel объявила о создании первого в мире микропроцессора 4004 предназначенного для распространения на коммерческой основе. Свой очередной микропроцессор 8008 компания Intel выпустила в 1972 году. Мощность этого процессора, по сравнению с его предшественником, возросла вдвое.

Подлинный успех корпорации Intel принес микропроцессор 8080 выпущенный в 1974 году. Это процессор стал "мозгом" первого персонального компьютера "Альтаир".

В 1978 году фирма Intel первой выпустила 16-битный микропроцессор 8086. Микропроцессор 8086 оказался "прародителем" целого семейства, которое называют семейством 80x86 или 86.

Следующим крупным шагом в разработке новых идей стал микропроцессор Intel 286 известный под названием 80286, появившийся в 1982 году. Микропроцессор 286 стал первым процессором Intel, способным выполнять любые программы, написанные для его предшественников.

В 1985 году был разработан микропроцессор Intel 386. Особая ценность микропроцессора 386 заключается в том, что он позволяет переключаться в выполнении программ, управляемых различными операционными системами.

В 1989 году фирма Intel представила первого представителя семейства

80x86 Intel 486. Intel 486 стал первым микропроцессором со встроенным математическим сопроцессором, который существенно ускорил обработку данных, выполняя сложные математические действия вместо центрального процессора.

Микропроцессор Pentium является представителем следующего после 80486 поколения МП фирмы Intel и совместим со всеми предшествующими моделями типа 80x86 (1992 г.). Внешняя шина данных памяти является 64-битовой. Он научил компьютер работать со звуком, голосовой и письменной речью, фотоизображением.

Процессор Pentium Pro, выпущенный в 1995 году, положил начало шестого поколения процессоров. Процессор разрабатывался как мощное средство для серверов и систем автоматического проектирования.

Процессор Pentium II появился в 1997 году. Процессор дает возможность вводить в ПК и обрабатывать цифровые фотоизображения, пересылать их через Internet, создавать и редактировать тексты, музыкальные произведения и даже сценки домашнего кино, передавать видеоизображения по обычным телефонным линиям и по Internet.

Процессор Pentium III корпорация Intel представила в 1999 году. В процессоре Pentium III, самом современном и быстродействующем процессоре корпорации Intel для настольных ПК, воплощены последние технологические достижения, обеспечивающие беспрецедентную производительность, управляемость и удобство работы с Internet.

Утверждение понятия принадлежности компьютеров к тому или иному поколению и появление самого термина "поколение" относится к 1964 г., когда фирма IBM выпустила серию компьютеров IBM/360 на гибридных микросхемах (монокристаллические интегральные схемы в то время ещё не выпускались в достаточном количестве), назвав эту серию компьютерами третьего поколения.

Элементной базой первого поколения ЭВМ были электронные лампы, второго поколения – транзисторы, третьего поколения – интегральные микросхемы (ИМС), четвертого – большие интегральные микросхемы (БИС), пятого поколения – сверхбольшие интегральные микросхемы (СБИС), скоростные сверхбольшие интегральные микросхемы (ССБИС).

Переходя к оценке и рассмотрению различных поколений необходимо, прежде всего, заметить, что поскольку процесс создания компьютеров происходил и происходит непрерывно (в нём участвуют многие разработчики из многих стран, имеющие дело с решением различных проблем). Поэтому затруднительно, а в некоторых случаях и бесполезно, пытаться точно установить, когда то или иное поколение начиналось или заканчивалось.

Цифровые устройства оперируют с цифровыми сигналами, протекающие в цифровых электронных схемах, число применений которых растет чрезвычайно быстро. Одна маленькая интегральная схема может выполнить функции тысячи транзисторов, диодов и резисторов.

В магазинах информация выводится на цифровые индикаторы кассовых аппаратов. Существуют персональные микроЭВМ размером с маленькие карманные микрокалькуляторы. Работа промышленного оборудования контролируется цифровыми электронными схемами. Мы узнаем время по электронным цифровым настольным и наручным часам. В автомобилях для контроля работы двигателя применяются микропроцессоры. Технические специалисты широко используют в своей работе цифровые вольтметры и частотомеры.

Тема 3.2. Математические основы цифровой электроники.

Позиционные системы счисления. Операции над числами в разных системах счисления. Логические основы цифровой электроники. Формы задания логической функции. Законы алгебры логики.

В вычислительной технике используются позиционные системы счисления. Система счисления, у которой вес цифры зависит от разряда числа, в котором находится цифра, называется *позиционной*. Такими системами счисления являются: *десятеричная, двоичная, восьмеричная, шестнадцатеричная* и т.д.

Любое число в позиционной системе можно представить в виде $N = \sum k \cdot a^{n-1}$, где k – коэффициент (цифра данного разряда), a – основание системы счисления, n – разряд цифры в числе:

$$\begin{aligned} 205_{10} &= 2 \cdot 10^2 + 0 \cdot 10^1 + 5 \cdot 10^0; \\ 1011_2 &= 1 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0; \\ 323_{16} &= 3 \cdot 16^2 + 2 \cdot 16^1 + 3 \cdot 16^0. \end{aligned}$$

В повседневной деятельности мы используем позиционную систему счисления с основанием десять, в которой для предоставления числа используется десять цифр: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9. Например, рассмотрим число 525. Здесь 5 в первом разряде означает пять единиц, а 5 в третьем разряде – 500 единиц, т.е. ее вес в 100 раз больше.

В электронных вычислительных машинах для организации вычислительного процесса десятичная система не применяется ввиду трудности технической реализации представления 10 цифр.

Основной системой счисления, которая используется в вычислительной технике, является двоичная. Если основанием десятичной системы счисления является число 10, то в двоичной системе – число 2. Иногда основание системы счисления указывается в виде нижнего индекса, расположенного после данного числа. Например, десятичное число 205 записывается как 205_{10} , двоичное число 1011 записывается как 1011_2 . шестнадцатеричное число 143 записывается как 143_{16} .

Если в десятичной системе счисления десять единиц данного разряда составляют единицу старшего разряда, то в двоичной системе две единицы данного разряда составляют единицу старшего разряда.

Натуральный ряд чисел от 0 до 7 в десятичной и двоичной системах

счисления приведены в таблице 1.

Таблица

1

Десятичные числа	0	1	2	3	4	5	6
Двоичные числа	0	1	10	11	100	101	110

Двоичная система счисления в сравнении с десятичной обладает следующими преимуществами. Цифры 0 и 1 изображаются состоянием простейших двухпозиционных элементов. Например цифру 1 можно изобразить высоким уровнем напряжения, а цифру 0 – низким уровнем напряжения. Вследствие этого повышается экономичность ЭВМ.

В двоично-десятичной системе счисления основание 10, но каждая десятичная цифра 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 заменена ее двоичным эквивалентом – тетрадой.

Пример: Перевести число 39_{10} в двоично-десятичную систему счисления.

$$39_{10} = 0011$$

3

$$1001 = 00111001$$

9

Обратный перевод из двоично-десятичной системы в десятичную не представляет труда. Для этого надо исходное число разбить на тетрады, начиная справа налево. При этом, если последние тетрады получаются неполными, то они дополняются нулями.

В восьмеричной системе счисления основанием является 8, а для изображения числа в этой системе используются цифры: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7.

Для перевода чисел из восьмеричного кода в двоичный необходимо каждую цифру восьмеричного числа заменить ее двоичным эквивалентом в виде триады согласно таблице 2.

Таблица 2

восьмеричные числа	0	1	2	3	4	5	6	7
Двоичные числа	000	001	010	011	100	101	110	111

Для перевода из двоичной системы в восьмеричную необходимо двоичное число разбить на триады влево и вправо от запятой и каждую триаду заменить ее восьмеричным числом.

Шестнадцатеричная система счисления – это система счисления с основанием шестнадцать, в которой для предоставления числа используется десять цифр (0,1,2,3,4,5,6,7,8,9) и шесть букв (A,B,C,D,E,F) (таблица 3).

Таблица

3

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F

Для перевода шестнадцатеричного числа в десятичное необходимо

каждую цифру (начиная справа) шестнадцатеричного числа умножить на 16 в степени, соответствующей разряду этой цифры.

Пример: Шестнадцатеричное число $C921_{16}$ перевести в десятичное. Начните с первой цифры справа (1) и умножьте ее на 16^0 (первый разряд задается нулевой степенью); увеличивайте показатель степени каждый раз, когда вы переходите к следующей цифре (справа налево):

- $1_{16} = 1 \times 16^0 = 1$
- $2_{16} = 2 \times 16^1 = 32$
- $9_{16} = 9 \times 16^2 = 2304$
- $C_{16} = C \times 16^3 = 12 \times 4096 = 49152$

Теперь просто сложите результат умножения.

$$C921_{16} = 1 + 32 + 2304 + 49152 = 51489_{10}$$

А для перевода двоичного числа в шестнадцатеричное надо двоичное число разбить на тетрады и каждую тетраду заменить ее шестнадцатеричным эквивалентом. При этом, если необходимо, крайние тетрады дополняются нулями.

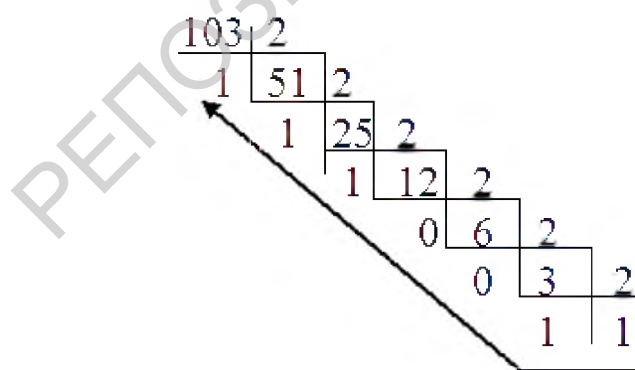
Пример: Перевести двоичное число 1111101 в шестнадцатеричное.

0111 1101

7 D

$$1111101_2 = 7D_{16}$$

При переводе числа из десятичной системы счисления в двоичную систему последовательно делят это число на 2, а остатки от деления записывают друг за другом в обратном порядке. Например, перевод числа 103_{10} в двоичную систему счисления осуществляется следующим образом:



$$\text{т.е. } 103_{10} = 1100111_2.$$

Арифметические действия в двоичной системе счисления выполняются по таким же правилам, как и в десятичной системе счисления. При сложении двоичных чисел пользуются таблицей сложения (таблица 2), при вычитании – таблицей вычитания (таблица 3), при умножении – таблицей умножения (таблица 4).

Таблица 2	Таблица 3	Таблица 4
$0 + 0 = 0$	$0 - 0 = 0$	$0 \cdot 0 = 0$
$0 + 1 = 1$	$1 - 0 = 1$	$0 \cdot 1 = 0$
$1 + 0 = 1$	$1 - 1 = 0$	$1 \cdot 0 = 0$
$1 + 1 = 10$	$10 - 1 = 1$	$1 \cdot 1 = 1$

Сложение, например, двух чисел 18 и 23 в десятичной и двоичной системах выполняется следующим образом:

$$\begin{array}{r} + 18 \\ 23 \\ \hline 41 \end{array} \quad \begin{array}{r} + 10010 \\ 10111 \\ \hline 101001 \end{array}$$

Вычитание, например, числа 5 от числа 20 в десятичной и двоичной системах выполняется следующим образом:

$$\begin{array}{r} - 20 \\ 5 \\ \hline 15 \end{array} \quad \begin{array}{r} - 10100 \\ 101 \\ \hline 1111 \end{array}$$

Умножение, например, числа 11 на 13 в десятичной и двоичной системах выполняется следующим образом:

$$\begin{array}{r} \times 11 \\ 13 \\ \hline + 33 \\ 11 \\ \hline 143 \end{array} \quad \begin{array}{r} \times 1011 \\ 1101 \\ \hline + 1011 \\ 0000 \\ 1011 \\ 1011 \\ \hline 10001111 \end{array}$$

Деление, например, числа 42 на 3 в десятичной и двоичной системах выполняется следующим образом:

$$\begin{array}{r} 42 \overline{) 3} \\ - 3 \overline{) 14} \\ \hline 12 \\ - 12 \\ \hline 0 \end{array} \quad \begin{array}{r} 101010 \overline{) 11} \\ 11 \overline{) 1110} \\ \hline 100 \\ - 11 \\ \hline 11 \\ - 11 \\ \hline 0 \end{array}$$

Дробная часть десятичного числа переводится по следующему

правилу: дробная часть умножается на два до получения целого числа, затем умножается дробная часть произведения на два до получения целого числа, и так далее.

Пример: дано число $0,75_{(10)}$ которое нужно перевести в двоичную систему счисления.

Для описания работы цифровых устройств используют булеву алгебру.

Алгебра логики – раздел математической логики, изучающий высказывания, рассматриваемые со стороны их логических значений (истинности или ложности) и логических операций над ними. Алгебра логики возникла в середине XIX века в трудах английского математика Джорджа Буля. Буль первым показал, что существует аналогия между алгебраическими и логическими действиями, так как и те, и другие предполагают лишь два варианта ответов – истина или ложь, нуль или единица.

Что же собой представляет алгебра логики? Во-первых, она изучает методы установления истинности или ложности сложных логических высказываний с помощью алгебраических методов. Во-вторых, булева алгебра делает это таким образом, что сложное логическое высказывание описывается функцией, результатом вычисления которой может быть либо *истина*, либо *ложь* (1, либо 0). При этом аргументы функции (простые высказывания) также могут иметь только два значения: 0, либо 1.

Что такое простое логическое высказывание? Это фразы типа «два больше одного», «5.8 является целым числом». В первом случае мы имеем истину, а во втором ложь. Алгебра логики не касается сути этих высказываний. Если кто-то решит, что высказывание «Земля квадратная» истинно, то алгебра логики это примет как факт. Дело в том, что булева алгебра занимается вычислениями результата сложных логических высказываний на основе заранее известных значений простых высказываний.

Булевой называют функцию $f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$, аргументы которой и сама функция принимают значения 0 или 1. Таблицу, показывающую, какие значения принимает булева функция при всех сочетания значений аргументов, называют *таблицей истинности*. Таблица истинности булевой функции n аргументов содержит 2^n строк и $n+1$ столбцов (n столбцов значений аргументов и один столбец значений функции). Например, таблица истинности функции $y = f(x_1, x_2, x_3)$, будет иметь 8 строк и 4 столбца.

Булеву функцию $y = f(x_1, x_2)$, значение которой определяется таблицей 4, называют логическим сложением или *дизъюнкцией* и обозначают символом « $\vee$ », т.е. используют такую запись $y = x_1 \vee x_2$. Таблица истинности дизъюнкции от таблицы истинности сложения в двоичной системе счисления отличается тем, что в строке $1 + 1$ значение функции принимается за 1 ($1 + 1 = 1$).

Таблица 4

x_2	x_1	y
0	0	0

0	1	1
1	0	1
1	1	1

Булеву функцию $y = f(x_1, x_2)$, значение которой определяется таблицей 5, называют логическим умножением или *конъюнкцией* и обозначают символом $\wedge$, т.е. используется запись $y = x_1 \wedge x_2$.

Таблица 5

x_2	x_1	y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Если оговорено, что речь идет о булевых функциях, *дизъюнкцию* допускается обозначать знаком “+”, а *конъюнкцию* – знаком “.”.

Булева функция $y = f(x)$, значение которой определяется по таблице 6, называется *отрицанием*. Над аргументом отрицания ставится черта и записывается $y = \bar{x}$

Таблица 6

x	y
0	1
1	0

Операции логического сложения и умножения могут быть реализованы с помощью электрических цепей, снабженных, например, контактами. Контакт может находиться в одном из двух состояний: замкнутым или разомкнутым. Если контакт x_i замкнут, его состояние принимают за 1 ($x_i=1$), если же он разомкнут – принимают за 0 ($x_i=0$). Если по цепи, состоящей из контактов, ток протекает, состояние цепи принимается за 1 ($y=1$), если же ток в цепи отсутствует – принимается за 0 ($y=0$).

Логическое сложение реализуется параллельным соединением ключей, следовательно, функция $y = x_1 \vee x_2$ реализуется двумя параллельно соединенными ключами (рис.1,а). Логическое умножение реализуется последовательным соединением ключей, следовательно, функция $y = x_1 \wedge x_2$ реализуется двумя последовательно соединенными ключами (рис.3.1.1,б).

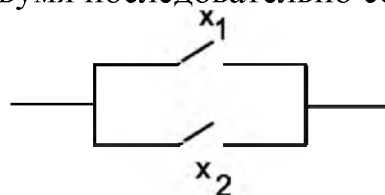


Рис. 3.1.1,а



Рис. 3.1.1,б

Пусть работа схемы описана булевой функцией $y = x_1(x_2 + x_3)$. Эту

функцию реализует цепь, изображенная на рисунке 3.1.2.

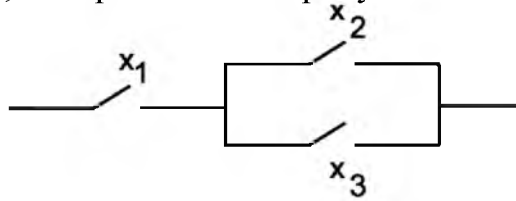


Рис. 3.1.2

Для обозначения контактов, которые находятся в состоянии, противоположном состоянию контакта x , используют символ противоположности $\bar{x}$. Например, булева функция $y = x_1 \bar{x}_3 + x_2 x_3$ будет реализована четырьмя контактами (рис 3.1.3).

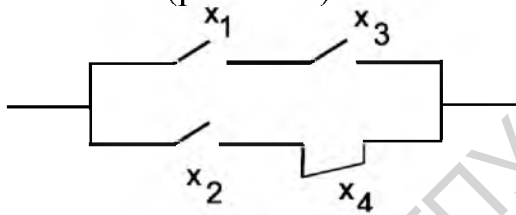


Рис. 3.1.3

На основании таблиц дизъюнкции, конъюнкции и отрицания можно записать следующие равенства:

$1 + x = 1$	$1 \cdot x = x$	$x + \bar{x} = 1$	$x \cdot \bar{x} = 0$
$0 + x = x$	$0 \cdot x = 0$	$x + x = x$	$x \cdot x = x$

Для дизъюнкции, конъюнкции и отрицания справедливы следующие законы:

1) переместительный:

$$\begin{aligned} x_1 \cdot x_2 &= x_2 \cdot x_1 \\ x_1 + x_2 &= x_2 + x_1 \end{aligned}$$

2) сочетательный:

$$\begin{aligned} (x_1 \cdot x_2) x_3 &= x_1 (x_2 \cdot x_3) \\ (x_1 + x_2) + x_3 &= x_1 + (x_2 + x_3) \end{aligned}$$

3) распределительный:

$$\begin{aligned} x_1 (x_2 + x_3) &= x_1 \cdot x_2 + x_1 \cdot x_3 \\ x_1 + x_2 x_3 &= (x_1 + x_2)(x_1 + x_3) \end{aligned}$$

4) инверсный:

$$\begin{aligned} \overline{x_1 \cdot x_2} &= \bar{x}_1 + \bar{x}_2 \\ \overline{x_1 + x_2} &= \bar{x}_1 \bar{x}_2 \end{aligned}$$

Любой из законов легко проверить путем составления таблиц истинности для обеих частей равенства. Например, проверим закон

$$\overline{x_1 \cdot x_2} = \bar{x}_1 + \bar{x}_2$$

Заполним таблицы истинности для левой (табл 7) и правой (табл 8) части равенства.

Сравнивая столбцы значений функции для левой и правой частей равенства, видно, что эти значения совпадают, следовательно, правая часть равенства равна левой.

Тема 3.3. Элементы цифровых устройств.

Электронные ключи. Ключи на транзисторах. Режимы транзистора в схеме ключа. Логические элементы цифровых устройств. Формирователи одиночных импульсов и импульсных последовательностей на логических элементах.

Таблица 7

x_1	x_2	$x_1 x_2$	$\overline{x_1} \overline{x_2}$
0	0	0	1
0	1	0	1
1	0	0	1
1	1	1	0

Таблица 8

x_1	x_2	$\overline{x_1}$	$\overline{x_2}$	$\overline{x_1 + x_2}$
0	0	1	1	1
0	1	1	0	1
1	0	0	1	1
1	1	0	0	0

Мультивибраторы.

Цифровые устройства различных поколений строились на основе различных физических элементов: электромагнитных реле, электронных ламп, полупроводниковых приборов и т.д.

Устройства современной вычислительной техники основываются, как правило, на полупроводниковых приборах. Однако разобраться в принципе работы таких устройств на электромагнитных реле наиболее легко, поэтому имеет смысл вначале рассмотреть такие устройства.

Общий вид электромагнитного реле представлен на рис 3.3.1. Оно состоит из катушки 1, сердечника 2, поворотного якоря 3, подвижных и неподвижных 4 контактов.

Когда по катушке реле не проходит ток, одни неподвижные контакты 4 замкнуты, а другие разомкнуты. При прохождении тока по катушке якорь намагничивается и притягивается к сердечнику электромагнита. При этом подвижные контакты, связанные с якорем фигурной скобой смещаются вниз, размыкают одни неподвижные контакты 4 и замыкают другие неподвижные контакты т. е. одни цепи выключаются, а другие включаются.

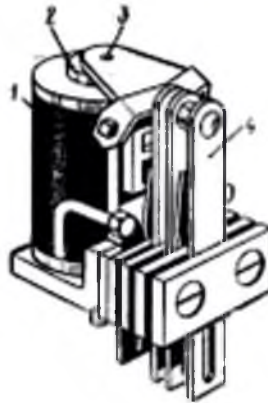


Рис. 3.3.1

На схемах обмотку реле обозначают прямоугольником и буквой К с цифрой порядкового номера реле на схеме, а контакты этого реле – буквой К с порядковым номером реле и цифрой порядкового номера контакта данного реле.

На рис 3.3.2 показано графическое изображение обмотки реле $K1$, нормально разомкнутого контакта $K1.1$, нормально замкнутого контакта $K1.2$, и переключающего контакта $K1.3$.

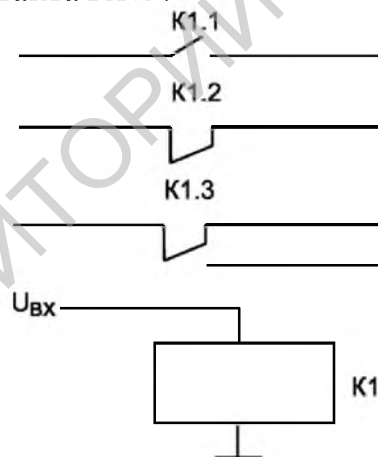


Рис. 3.3.2

Операции логического умножения, сложения можно реализовать с помощью электронных ключей.

На рис 3.3.3 изображена схема логического сложения на электромагнитных реле. Когда на обмотки реле $K1$ и $K2$ напряжение не подано ($A=0$, $B=0$), контакты $K1.1$ и $K2.1$ разомкнуты и напряжение между выходом P и общей точкой цепи равно 0 ($P=0$).

Если подать напряжение только на обмотку реле $K1$ ($A=1$, $B=0$), то замкнется контакт $K1.1$ и на выход P будет подано напряжение ($P=1$). Аналогично можно показать, что если $A=0$, $B=1$, то $P=1$, а также $P=1$ при $A=1$, $B=1$.

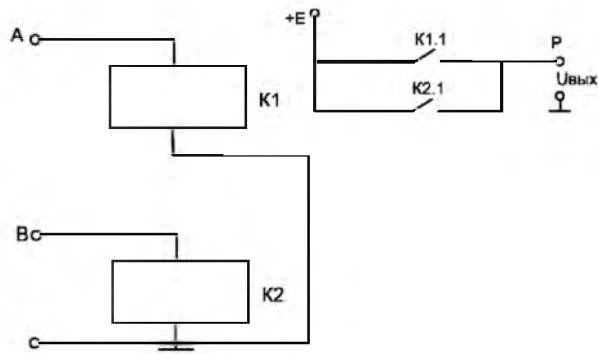


Рис. 3.3.3

Схема логического умножения на электромагнитных реле изображена на рис 3.3.4. Если на обмотки реле подать напряжение, величина которого будет соответствовать логической 1 ($A=1$, $B=1$), то контакты реле $K1.1$ и $K2.1$ замкнутся и на выходе P появится напряжение ($P=1$). Если же подать напряжение на обмотку одного реле, например $K1$ ($A=1$, $B=0$), то контакт $K1.1$ замкнется, но контакт $K2.1$ останется разомкнутым и на выход P напряжение поступать не будет ($P=0$). Аналогичное явление мы будем наблюдать, если подадим напряжение на вход B ($A=0$, $B=1$) или же не будем подавать напряжение на оба входа ($A=0$, $B=0$).

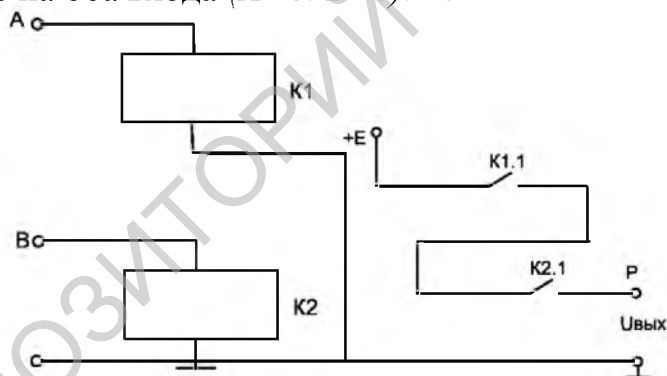


Рис. 3.3.4

Операция отрицания реализуется нормально замкнутым контактом электромагнитного реле (рис 3.3.5). Если напряжение на обмотку реле не поступает ($A=0$), то нормально замкнутый контакт $K1.1$ замкнут и на выход схемы напряжение поступает ($P=1$). Если подать напряжение на обмотку реле ($A=1$), то контакт $K1.1$ разомкнется и на выходе схемы напряжение будет равно нулю ($P=0$).

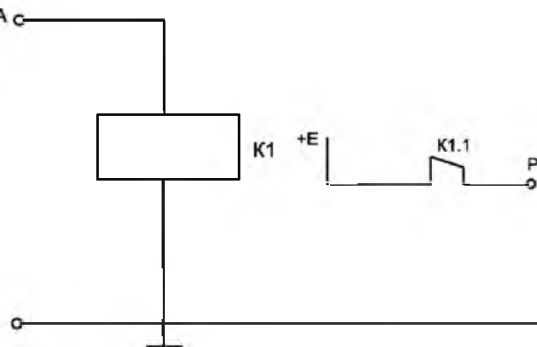


Рис. 3.3.5

В электронной схеме инвертора чаще используется транзистор (рис 3.3.6). Как видно из схемы, резистор R_k и переход коллектор – эмиттер транзистора включены последовательно. Если на базу транзистора напряжение не подается ($A=0$), то транзистор закрыт и напряжение на выходе близко к напряжению питания E ($P=1$). Если на базу транзистора подать напряжение ($A=1$), то транзистор откроется, наступит режим насыщения, сопротивление коллектор – эмиттер резко уменьшится и на выходе схемы напряжение станет близким к нулю ($P=0$). Если на входе установлена 1, то на выходе установится 0, и наоборот.

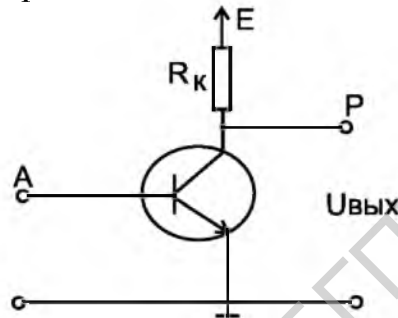


Рис. 3.3.6

Схема электронного ключа на биполярном транзисторе типа $n-p-n$ дана на рис 3.3.7. Рассмотрим работу такой схемы в ключевом режиме. Для схемы справедливо равенство: $E = I_k R + U_k$. Если на входе схемы 0, т.е. $U_{вх} = 0$, транзистор закрыт, $I_k = 0$, тогда $U_k = E$, т.е. U_k соответствует высокому уровню напряжения (логическая единица). Если на входе 1, т.е. $U_{вх} > 0$, транзистор открыт, $I_k > 0$, тогда $E = U_k - I_k R$, а т.к. I_k имеет значительную величину, то $U_k \ll E$, что соответствует низкому уровню напряжения (логический 0).

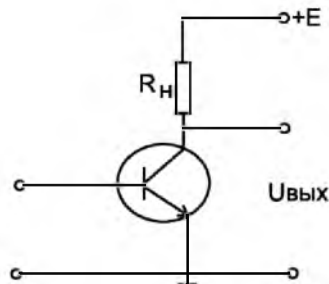


Рис. 3.3.7

Устройства, предназначенные для реализации логических функций, называются *логическими элементами*. Логические элементы составляют основу любых цифровых устройств.

Основными логическими элементами являются элементы *И*, *ИЛИ* и *НЕ*.

Логический элемент И. Функция F , которая принимает значение 1 только в тех случаях, когда аргументы A и B одновременно принимают значение 1, а во всех остальных – 0, называется *конъюнкцией* (логическим

умножением), а элемент, реализующий ее, логическим элементом *И*. Конъюнкция обозначается символом $\wedge$.

Работу логического элемента можно описать таблицей истинности. Таблица истинности содержит $2n$ строк и $n+1$ столбцов, где n – число аргументов реализуемой функции. Столбцы значений аргументов заполняются по стандартной форме записи. А именно, первая строка значений аргументов есть n – разрядное двоичное число 0, вторая – 1, третья – 2 и т.д. Столбец F значений функции заполняется на основании условия работы данного устройства. Работу логического элемента *И* отражает таблица истинности 9, а графическое изображение приведено на рисунке 3.3.8.

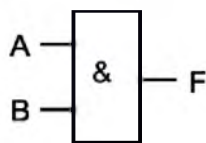


Рис. 3.3.8

Таблица 9

A	B	F
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Логический элемент ИЛИ. Функция F , которая принимает значение 1 в тех случаях, когда хотя бы один из аргументов A или B принимают значение 1, и нуля, когда все аргументы равны 0, называется дизъюнкцией (логическим сложением), а логический элемент, реализующий ее, логическим элементом *ИЛИ*. Дизъюнкция обозначается символом $\vee$.

Работу логического элемента *ИЛИ* отражает таблица истинности 10, а графическое изображение его приведено на рисунке 3.3.9.

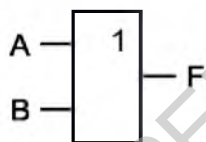


Рис. 3.3.9

Таблица 10

A	B	F
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Логический элемент НЕ. Функция F , которая принимает значение 1 в случае, когда аргумент A принимает значение 0, и 0, когда аргумент принимает значение 1, называется отрицанием (инверсией), и реализуется логическим элементом *НЕ*. Записывается $F = \neg A$ и читается не A .

Работу логического элемента *НЕ* отражает таблица истинности 11, а графическое изображение его приведено на рисунке 3.3.10.

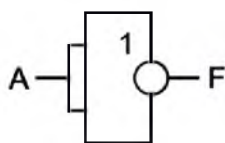


Рис. 3.3.10

Таблица 11

A	F
0	1
1	0

Логически е элементы *И*, *ИЛИ* и *НЕ* являются основными. На их основе может быть построено цифровое устройство, реализующее самую сложную логическую функцию.

Если к выходу логического элемента *И* подсоединить элемент *НЕ*, получается элемент, который называют элементом *И-НЕ*. Работу логического элемента *И-НЕ* отражает таблица истинности 12, а графическое изображение его приведено на рисунке 3.3.11.

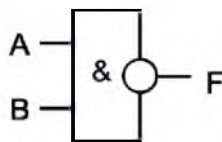


Рис.3.3.11

Таблица 12

A	B	F
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Если к выходу логического элемента *ИЛИ* подсоединить элемент *НЕ*, получается элемент, который называют элементом *ИЛИ-НЕ*. Работу логического элемента *ИЛИ-НЕ* отражает таблица истинности 13, а графическое изображение его приведено на рисунке 3.3.12.

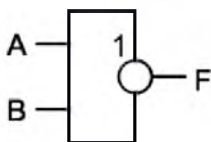


Рис. 3.3.12

Таблица 13

A	B	F
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

В цифровой технике часто возникает необходимость изменять параметры и формы сигнала.

На рисунке 3.3.13 дана схема, а на рисунке 3.3.14 временная диаграмма преобразователя гармонических колебаний в прямоугольные. На выходе *F* преобразователя возникнет уровень логической 1 в момент, когда возрастающее напряжение на входе логического элемента достигнет величины порогового $U_{пор}$, и уровень логического 0, когда уменьшающееся напряжение на входе тоже достигнет величины $U_{пор}$.

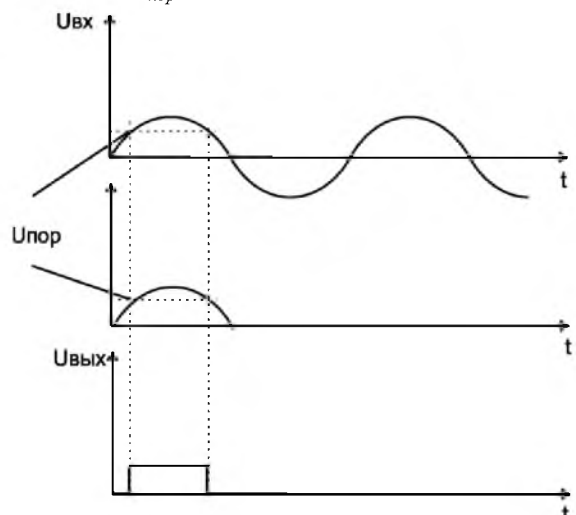
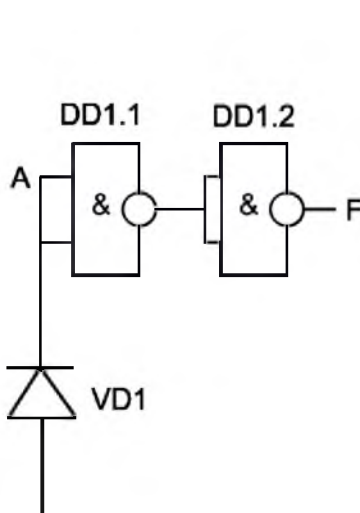


Рис. 3.3.13

Рис. 3.3.14

На рисунке 3.3.15 дана схема и временная диаграмма (рис 3.3.16) работы устройства задержки фронта импульса. Если на входе A устройства задержки установлен уровень логического 0, конденсатор $C1$ незаряжен, а это значит, что на входе B установлен тоже уровень логического 0 и на выходе F , будет уровень логической 1. Как только на входе A появится уровень 1, конденсатор $C1$ начнет заряжаться обратным током диода. Величина тока небольшая, поэтому для зарядки конденсатора до уровня логической 1 необходима некоторый промежуток времени, на протяжении которого на выходе логического элемента уровень логической 1 будет сохраняться. И только в момент, когда конденсатор будет заряжаться до уровня логической 1, на выходе F логического элемента установится уровень логического 0.

На выходе F устройства задержки фронта импульса выходной сигнал проинвертирован относительно входного. Для того чтобы выходной сигнал был неинвертирован, к выходу F устройства необходимо подключить еще один элемент HE .

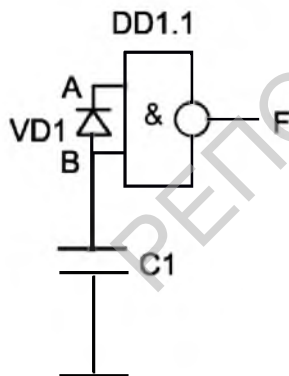


Рис. 3.3.15.

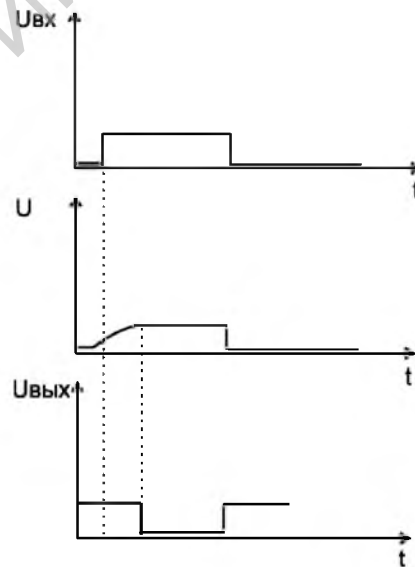
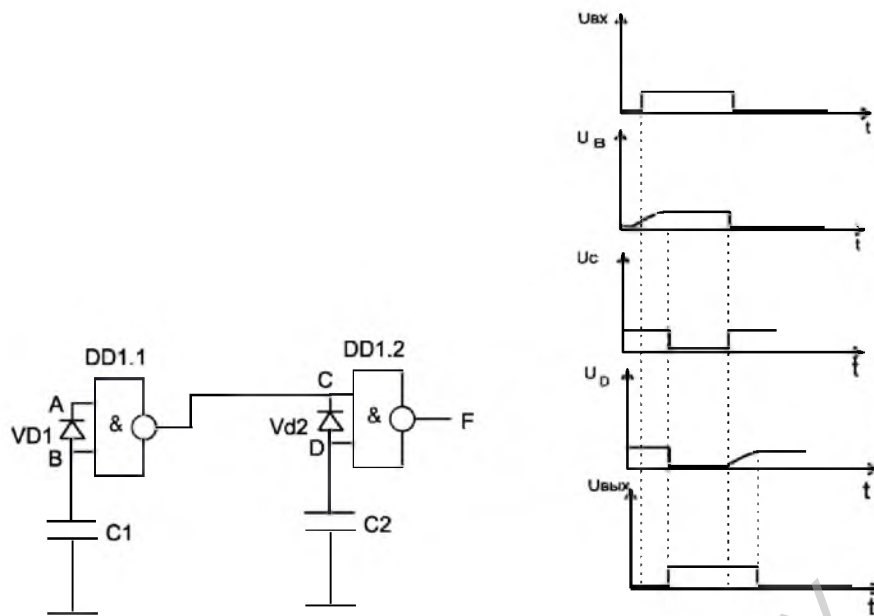


Рис. 3.3.16

На рисунке 3.3.17 дана схема и диаграмма работы устройства задержки импульса. Она состоит из двух каскадов задержки фронта. Проходя первый каскад, импульс инвертирован с задержкой фронта, через второй – инвертирован с задержкой спада импульса. В результате задержки фронта и спада на одно и тоже время (при $C1=C2$) поступивший на вход импульс оказывается задержанным во времени с сохранением его продолжительности.



Мультивибратором называется релаксационный генератор, который вырабатывает последовательность прямоугольных импульсов или близкой к ним по форме. В цифровых устройствах чаще всего мультивибраторы служат в качестве задающих генераторов. Мультивибраторы могут быть построены на транзисторах, логических элементах и т.д. Рассмотрим, как работает мультивибратор, построенный на трех логических элементах И-НЕ (рис 3.3.18).

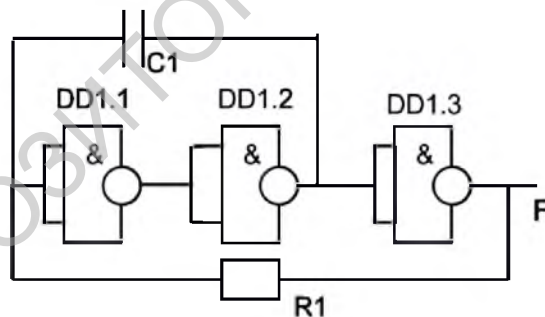


Рис. 3.3.18

Если на входе логического элемента $DD1.1$ будет уровень логического 0, на выходе $DD1.2$ также будет 0. Поэтому между этими точками разность потенциалов равна 0. В это время на выходе элемента $DD1.3$ появится уровень логической 1, который относительно входа элемента $DD1.3$, которая относительно входа этого элемента создает разность потенциалов. Между этими точками подключены конденсатор $C1$ и резистор $R1$ и благодаря возникшей разности потенциалов конденсатор $C1$ начнет заряжаться через резистор $R1$. Когда напряжение на входе элемента $DD1.1$ достигнет уровня логической 1, произойдет смена логических уровней на входе и выходе элемента $DD1.3$. С этого момента конденсатор $C1$ начнет разряжаться через $R1$ током противоположным току зарядки. Этот процесс повторяется, и на выходе F возникает последовательность импульсов по форме близкой к прямоугольной. Частота генерации обратно пропорциональна

сопротивлению резистора $R1$ и емкости конденсатора $C1$. **Тема 3.4. Комбинационные устройства.**

Шифраторы, дешифраторы. Сумматоры. Компараторы. Мультиплексоры, демультиплексоры. Арифметика – логические устройства.

Устройства, у которых выходной сигнал зависит только от значений сигналов на его входах в данный момент времени называются *комбинационными*. К ним относятся *шифраторы, дешифраторы, сумматоры, компараторы, мультиплексоры, демультиплексоры* и т.д.

Шифратором называется комбинационное устройство с m входами и n выходами, который преобразует сигнал одного из входов в сигнал слова. Шифратор, у которого слово представлено в двоичном коде, называется *двоичным*. Если у двоичного шифратора выполняется условие $m = 2^n$ шифратор называется *полным*, если же $m \neq 2^n$ – *неполным*. Неполный шифратор, предназначенный для преобразования десятичных цифр от 0 до 9 в двоичное число, называется *декадным*. Схема декадного шифратора дана на рисунке 3.4.1.

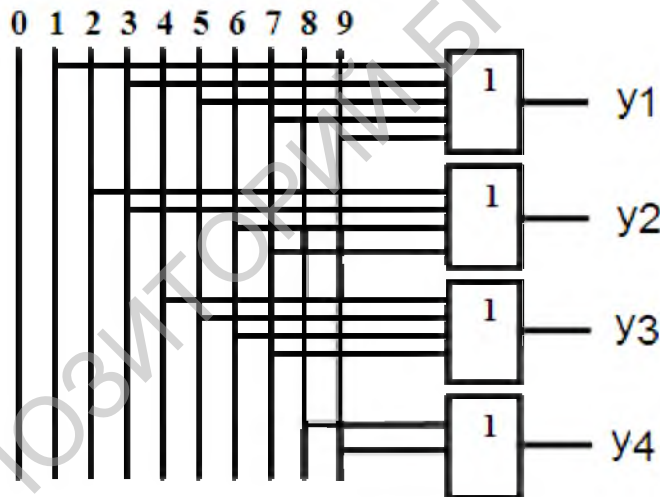


Рис. 3.4.1

Значения сигналов на выходах $Y4$, $Y3$, $Y2$, $Y1$ декадного шифратора даны в таблице 19, где цифра при Y указывает разряд двоичного числа.

Таблица 19

Десятичный код	Y_4	Y_3	Y_2	Y_1
0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	0	1	1
4	0	1	0	0
5	0	1	0	1
6	0	1	1	0
7	0	1	1	1
8	1	0	0	0
9	1	0	0	1

Дешифратором называется комбинационное устройство с m входами и n выходами, который преобразует код слова, который поступает на вход, в сигнал на одном из его выходов. Дешифратор, у которого слово представлено

в двоичном коде, называется *двоичным*. Если в двоичном дешифраторе выполняется условие $n = 2^m$ шифратор называется *полным*, если же $n \neq 2^m$ – *неполным*. Неполный дешифратор, предназначенный для преобразования двоичных цифр от 0000 до 1001 в десятичный код, называется *декадным*.

В качестве примера рассмотрим способ построения дешифратора на 2 входа. Работу такого дешифратора отражает система булевых выражений, где i при Y_i отражает цифру, которая дешифрируется, и i при X_i – разряд двоичного числа:

$$Y_0 = X_2 X_1; Y_1 = X_2 X_1; Y_2 = X_1 X_2; Y_3 = X_1 X_2$$

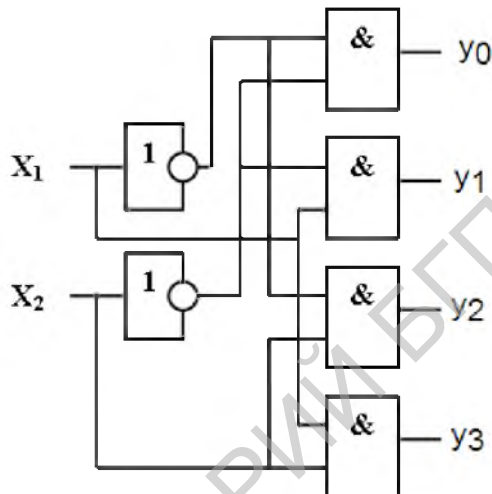


Рис. 3.4.2

В цифровой электронике широко используются *декадные семисегментные индикаторы*. На рисунке 3.4.3 приведена схема подключения семисегментного дешифратора с общим катодом

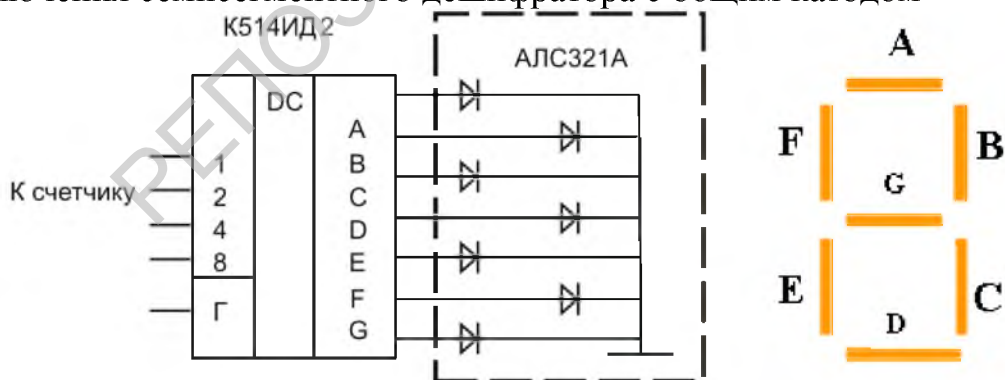


Рис. 3.4.3

Логические устройства, предназначенные для сложения чисел в двоичной системе счисления, называются *двоичными сумматорами*.

Простейшее логическое устройство, которое выполняет операцию сложения двух одноразрядных чисел, является логический элемент *ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ*. Иногда его называют *СУММАТОРОМ ПО МОДУЛЮ 2*. Особенностью работы такого элемента является то, что $1 + 1$ принимается за 0. Операция *ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ* записывается как $A \oplus B$.

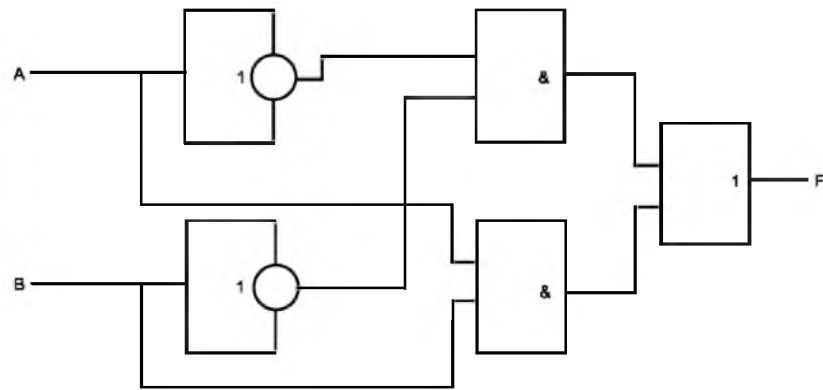


Рис. 3.4.4

ПОЛУСУММАТОР (рис 3.4.5) имеет два входа (A и B) и два выхода: суммы S и переноса P . Работа полусумматора осуществляется в соответствии с правилом: при любых наборах сигналов на входах A и B , на выходе S формируется результат сложения *сумматора по модулю 2*, а на выходе сигнал переноса P во всех случаях будет 0, кроме случая при $A = B = 1$, когда $P = 1$. Графическое изображение полусумматора приведено на рисунке 3.4.6.

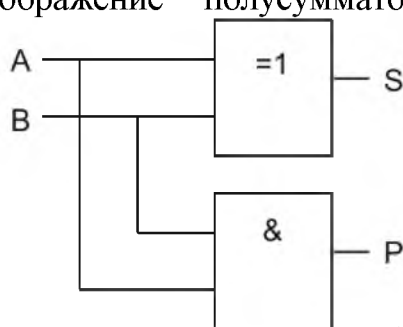


Рис. 3.4.5

Таблица 22

A	B	P_P	S
0	0	0	0
0	1	0	1
1	0	0	1
1	1	1	0

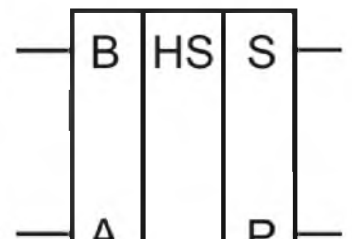


Рис. 3.4.6

Работа полусумматора отражена таблицей 22

ИНТЕГРАЛЬНЫЙ СУММАТОР. Интегральная микросхема К155ИМ2 (рис .3.4.7) является двухразрядным сумматором, где $A1$ и $B1$ – входы первого разряда чисел, $B1$ и $B2$ – входы второго числа, $P1$ – вход переноса с младшего разряда, $P2$ – выход переноса в старший разряд.

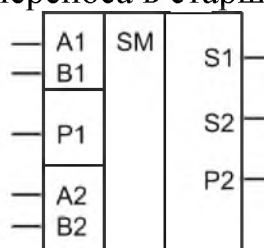


Рис. 3.4.7

Компаратором называется устройство, служащее для сравнения чисел. Одним из наиболее простых таких устройств является логический элемент *ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ-НЕ*. На рисунке 3.4.8 приведена схема, на рисунке 3.4.9 – графическое обозначение, таблица 24 отражает его работу.

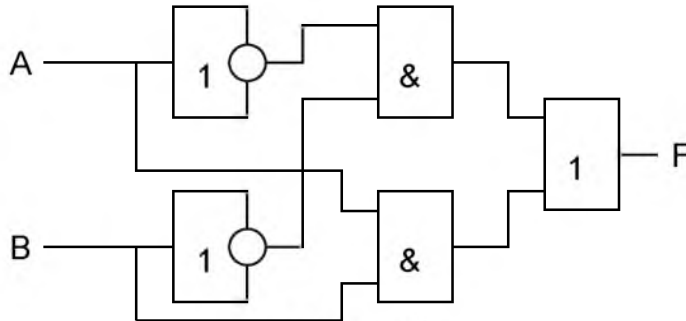


Рис. 3.4.8

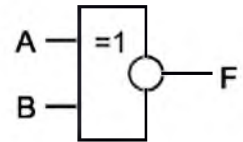


Рис. 3.4.9

Таблица 24

A	B	F
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

В случае, когда возникает необходимость осуществить сравнение двух многоразрядных чисел, используется схема сравнения, приведенная на рисунке 3.4.10. На выходе такой схемы будет уровень логической 1 только при условии, если цифры во всех разрядах будут равны между собой.

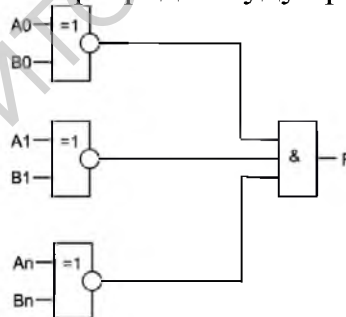


Рис. 3.4.10

Часто возникает необходимость при сравнении двух чисел A и B оценить не только их равенство, но и установить, какое из них большее. Эту функцию выполняет одноразрядный двоичный сумматор (рис. 3.4.11). Работу его отражает таблица 25.

Таблица 25

A	B	$Y<$	$Y=$	$Y>$
0	0	0	1	0
0	1	1	0	0
1	0	0	0	1
1	1	0	1	0

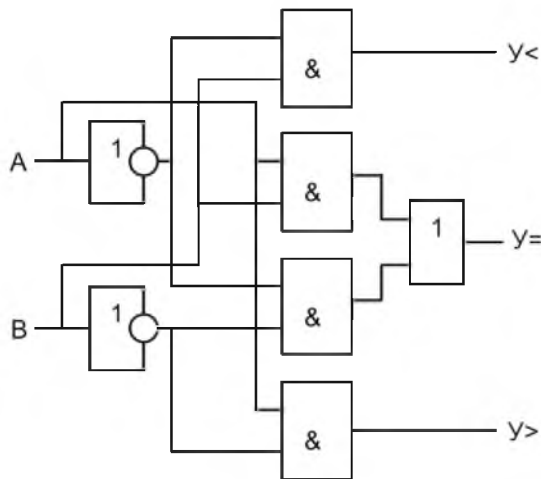


Рис. 3.4.11

Мультиплексором называется устройство, которое обеспечивает передачу сигнала одного из множества входов на один выход при определенном адресном коде. Мультиплексор имеет m информационных и n адресных входов. Для мультиплексора $m = 2^n$. В записи «мультиплексор (8-1)» обозначает, что у него 8 информационных входов ($m = 8$) и один выход. По числу информационных входов ($m = 8$) можно рассчитать число адресных ($n = 3$).

На рисунке 3.4.12 приведена схема мультиплексора (2 – 1). Если $S = 0$ выход F принимает уровень входа $D0$, если $S = 1$ – уровень входа $D1$.

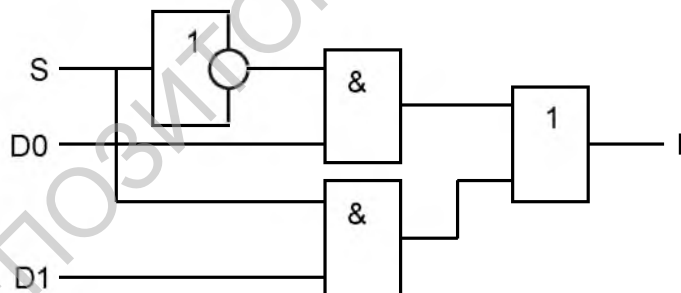
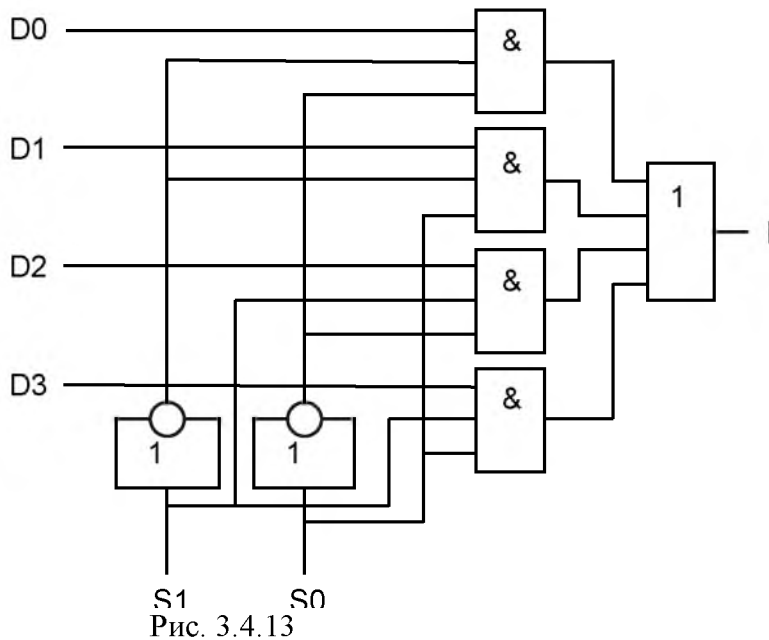


Рис. 3.4.12

На рисунке 3.4.13 приведена схема мультиплексора (4 – 1), работу которого отражает таблица 25.

Таблица 25

S1	S0	F
0	0	D0
0	1	D1
1	0	D2
1	1	D3



Тема 3.5. Последовательностные устройства.

Триггер как последовательностное устройство. Реализация триггеров на логических элементах. Регистры. Запоминающие устройства. Счетчики.

Устройство, у которого значение сигнала на выходе зависит не только от значений сигналов на его входах в данный момент времени, но и от его предыдущего состояния, называется *последовательностным*. Примером последовательностных схем могут служить *триггеры*. Триггером называется электронное устройство, которое может принимать одно из двух состояний (0 или 1). Триггер имеет два выхода: прямой – Q и инверсный – $\bar{Q}$. Если на прямом выходе Q напряжение соответствует высокому уровню, принято считать, что триггер находится в состоянии 1, а если низкому уровню – в состоянии 0.

Входы триггеров имеют определенное буквенное обозначение, которое отражает его функциональное назначение: R – вход установки триггера в состояние 0, S – вход установки триггера в состояние 1, D – информационный вход, C – синхронный вход, T – счетный вход.

Наиболее простым триггером является $\bar{R}\bar{S}$ -триггер с инверсными входами (рис. 3.5.1), графическое обозначение которого дано на рис. 3.5.2, а его работу отражает таблица 15.

Таблица 15

$\bar{R}$	$\bar{S}$	Q
0	0	Запрет
0	1	0
1	0	1
1	1	Хранения

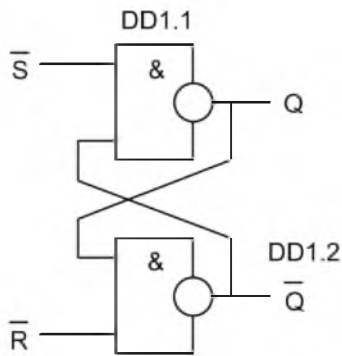


Рис. 3.5.1

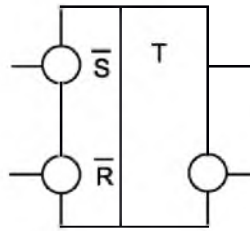


Рис. 3.5.2

Если ко входам $\bar{S}$ и $\bar{R}$ подключить логические элементы И-НЕ, получается RS -триггер (рис. 3.5.3). Графическое обозначение RS -триггера дано на рис. 3.5.4, а его работу отражает таблица 16.

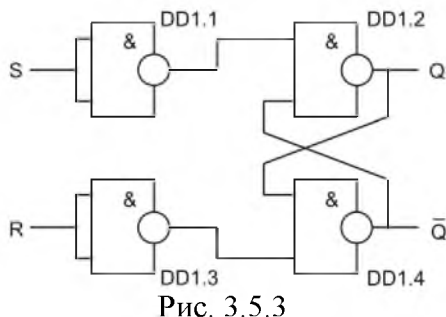


Рис. 3.5.3

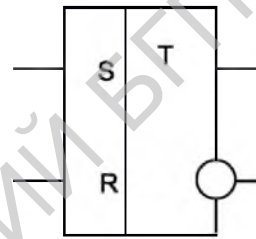


Рис. 3.5.4

Таблица 16

R	S	Q
0	0	Хранения
0	1	1
1	0	0
1	1	Запрет

На рис. 3.5.5 дана схема синхронного RS -триггера (RSC -триггера). При $C = 0$ он находится в режиме хранения, а при $C = 1$ – работает как RS -триггер. Графическое обозначение RSC -триггера дано на рис. 3.5.6.

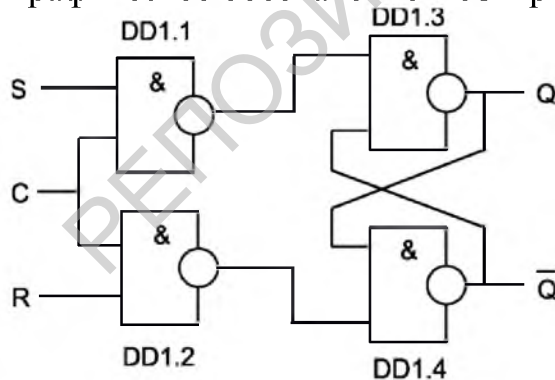


Рис. 3.5.5

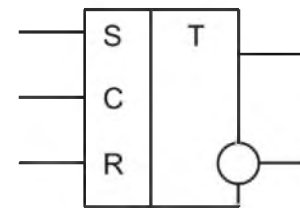


Рис. 3.5.6

Если в RSC -триггере между входами R и S включить логический элемент НЕ (рис. 3.5.7), получится D -триггер со статическим управлением (статический D -триггер), графическое обозначение которого дано на рис. 3.5.8. Выход Q такого триггера всегда принимает логический уровень входа D при $C = 1$. Если $C = 0$ триггер находится в режиме хранения. Логические уровни на прямом и инверсном выходах не могут быть однозначными.

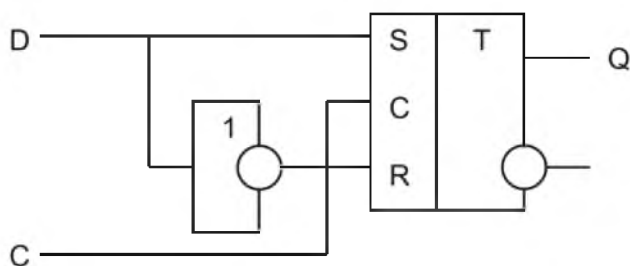


Рис. 3.5.7

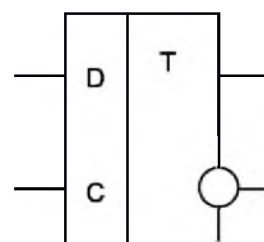


Рис. 3.5.8

Для хранения многоразрядных чисел используются регистры. Основой регистров являются запоминающие элементы – триггеры, которые предназначены для хранения определенного разряда двоичного числа. Для хранения n -разрядного числа необходимо n – триггеров. Регистры могут выполнять и другие функции, например, сдвиг числа, хранящегося в регистре, вправо и влево.

Регистр запоминания (рис 3.5.9) предназначен для запоминания двоичных чисел. После нажатия кнопки $S2$ все триггеры переключаются в состояние 0. При не нажатой кнопке $S1$ на верхних входах логических элементов $И-НЕ$ находится уровень логического 0, который на инверсных входах S триггеров обеспечит уровень логической 1. Этот уровень является пассивным для триггера и повлиять на его состояние не может.

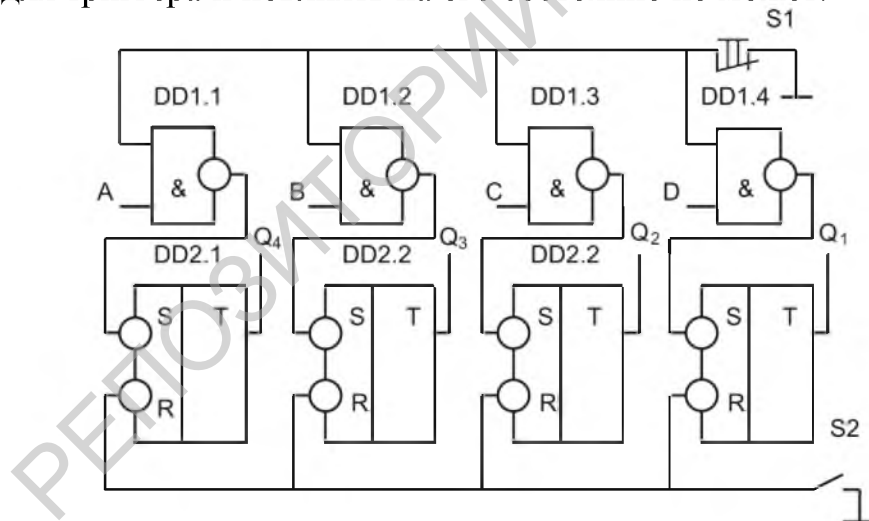


Рис. 3.5.9

На входах A , B , C , D устанавливаются логические уровни соответственно записываемому числу. Пусть на входе A установлен уровень логической 1, а на входе B – уровень 0. При нажатии кнопки $S1$ на верхних входах логических элементов появится уровень логической 1. На выходе $DD1.1$ появится уровень логического 0, который переключит триггер $DD2.1$ в состояние 1. Триггер $DD1.2$ останется в состоянии 0, т.к. на выходе $DD2.2$ сохранится уровень логической 1.

Регистр сдвига вправо (рис 3.5.10) обеспечивает, каждым очередным импульсом на входе C , сдвиг записанного в регистре числа на один разряд вправо. Если $D=0$, то при каждом сдвиге числа в регистре в триггер $DD1.1$, будет записываться цифра 0, а если $D=1$ – цифра 1.

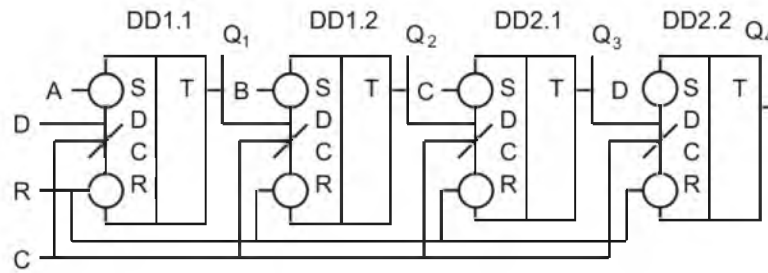


Рис. 3.5.10

Регистр сдвига влево (рис 3.5.11) обеспечивает, каждым очередным импульсом на входе C , сдвиг записанного числа в регистре на один разряд влево. Если $D=0$, то при каждом сдвиге числа в регистре в триггер $DD2.2$, будет записываться цифра 0, а если $D=1$ – цифра 1.

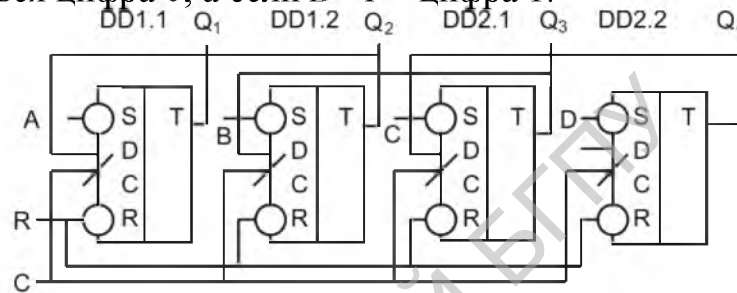


Рис. 3.5.11

Одной из основных частей ЭВМ является запоминающие устройства ($ЗУ$). Запоминающие устройства предназначены для приема (записи), хранения и выдачи (считывания) информации в виде цифрового кода. В них хранятся числа, над которыми должны быть выполнены определенные операции, и числа – коды команд, которые определяют характер этих действий. Основными характеристиками $ЗУ$ является информационная емкость и быстродействие. Информационная емкость $ЗУ$ определяется числом единиц хранимой двоичной информации (бит), а быстродействие – числом операций в секунду.

Запоминающие устройства по выполняемым функциям делятся на оперативные ($ОЗУ$) и постоянные ($ПЗУ$). $ПЗУ$ осуществляют хранение и выдачу постоянно записанной информации (стандартные микропрограммы, табличные значения, константы и т.д.). В $ОЗУ$ хранятся исходные данные и программа обработки информации. При выключении ЭВМ информация, находящаяся в $ОЗУ$ теряется, а в $ПЗУ$ – сохраняется. $ОЗУ$ и $ПЗУ$ состоит из элементов памяти (запоминающих ячеек). Каждая цифра разряда числа хранится в отдельной ячейке памяти.

Рассмотрим принцип работы оперативного запоминающего устройства. Ячейкой памяти такого $ЗУ$ является триггер. Следовательно, $ОЗУ$ представляет собой матрицу триггеров (рис. 3.5.12).

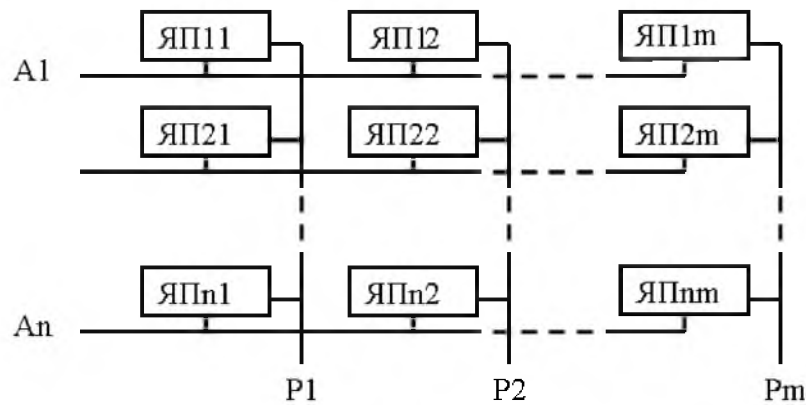


Рис. 3.5.12

В каждом рядке матрицы может храниться двоичное m – разрядное число. Число рядков n определяет количество m – разрядных чисел, которые могут храниться в данной матрице $ОЗУ$. Следовательно, информационная емкость такого $ОЗУ$ составит mn бит. В каждую ячейку памяти могут приходить сигналы по адресным A_i –и разрядным P_j –шинам. При наличии в адресной шине A_i сигнала уровня логической 1 происходит считывание по разрядным шинам состояния каждого элемента в этом рядке. Когда нужно записать информацию в ячейку памяти с выбранным адресом A_i , по разрядным шинам $P_1...P_m$, в зависимости от кода информации, подаются в каждую ячейку памяти 0 или 1. Каждая из ячеек памяти может хранить 1 бит информации.

Простейшей ячейкой памяти может служить RS –триггер выполненный на двух эмиттерных транзисторах (рис. 3.5.13).

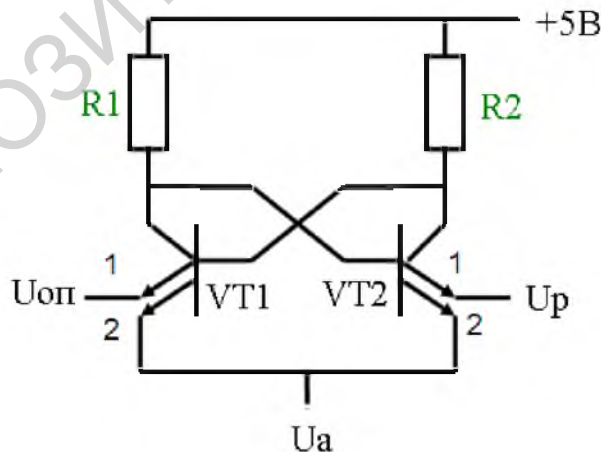


Рис. 3.5.13

Эмиттеры 2 двухэмиттерных транзисторов $VT1$ и $VT2$ соединены с адресной шиной A_i . Эмиттер 1 транзистора $VT1$ соединен с разрядной шиной P_j , на которую подается опорное напряжение $U_{оп}$, общее для всех триггеров матрицы $ЗУ$. Причем, $U_{оп}$ есть величина постоянная для всех ячеек памяти ($U_{оп}=const$).

Различают следующие режимы работы ячейки памяти: записи 1, записи 0, хранения и считывания. Когда транзистор $VT2$ открыт, а $VT1$ закрыт – в ячейку памяти записана 1, а когда $VT2$ закрыт, а $VT1$ открыт – записан 0.

Режимы работы ячейки памяти определяются соотношением между опорным напряжением U_{on} , напряжением на разрядной шине U_p и напряжением, которое подается на адресную шину U_a .

Для перевода ячейки памяти в режим записи необходимо исключить влияние на его работу эмиттеров 2. Это достигается подачей на адресную шину высокого уровня напряжения ($U_a = E$). Для записи в ячейку памяти 1 должно выполняться условие $U_a > U_{on} = U_p$. При этом условии транзистор VT_2 открывается, а транзистор VT_1 закрывается. Запись 0 осуществляется при условии $U_a > U_p > U_{on}$. В этом случае транзистор VT_2 закроется, а транзистор VT_1 откроется.

Условие режима хранения $U_a < U_{on} = U_p$. Пусть, например, в ячейке памяти записана 1 (было выполнено условие $U_a > U_{on} > U_p$). Увеличение напряжения U_p до величины U_{on} не приведет до переключения триггера в новое состояние. Уменьшение напряжения U_a до величины $U_a < U_{on}$ также не приведет к переключению триггера в новое состояние благодаря тому, что основной ток потечет через эмиттеры 2, а токи через эмиттеры 1 будут незначительными.

Микросхема K155PY2 (рис. 3.5.14) является ОЗУ с произвольной выборкой. Это значит, что запись или считывание информации в нем может осуществляться с любой ячейкой памяти по определенному адресу.

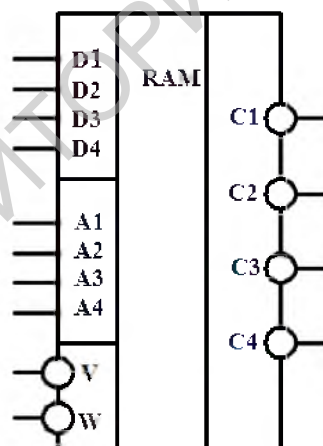


Рис. 3.5.14

Выводы микросхемы имеют следующее назначение:

$D1 \dots D4$ – информационные входы ($D1$ – младший разряд);

$A1 \dots A4$ – адресные входы ($A1$ – младший разряд);

$C1 \dots C4$ – выходы ($C1$ – младший разряд);

V – вход разрешения выборки адреса (выборка адреса разрешена при $V = 0$);

W – вход разрешения записи

Следует иметь в виду, что считывание информации с выходов $C1$, $C2$, $C3$, $C4$ происходит в инверсном коде, поэтому, когда нужно получить при считывании число, например 0010, в ячейку памяти записывается число 1101.

Счетчиком называется устройство, которое служит для подсчета количества импульсов, поступающих на его вход. Наибольшее

распространение в получили двоичные назначению счетчики суммирующие, реверсивные.

На рисунке 3.5.15 суммирующего на динамических D -каждого разряда фиксируется

Поэтому число равно числу разрядов двоичного числа.

Таблица 17

№ импульса	Q_4	Q_3	Q_2	Q_1
0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	0	1	1
-----	----	----	----	----
12	0	1	0	1
13	0	1	1	0
14	1	1	1	0
15	1	1	1	1
16	0	0	0	0

цифровой электронике счетчики. По своему делятся на вычитающие и

приведена схема счетчика, построенного триггерах. Цифра двоичного числа триггером счетчика. триггеров в счетчике

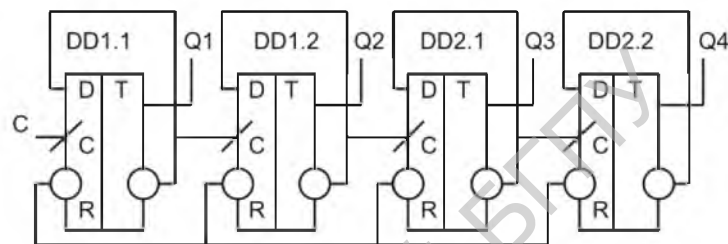


Рис. 3.5.15

Подачей на вход R нуля все триггеры переключаются в состояние 0 ($Q_4 = 0$, $Q_3 = 0$, $Q_2 = 0$, $Q_1 = 0$). Каждый триггер счетчика переключается в новое состояние только в момент положительного перепада на входе C . Поэтому в момент положительного перепада напряжения первого импульса на счетном входе C переключится в состояние 1 только триггер $DD1.1$. В этот момент на входе C триггера $DD1.2$ будет иметь место отрицательный перепад и он переключиться не может.

На рисунке 3.5.16 приведена схема вычитающего счетчика, построенного на D -триггерах с динамическим управлением.

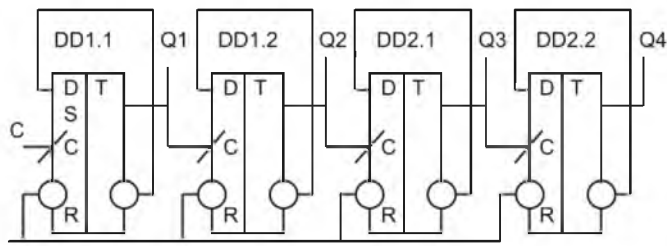


Рис. 3.5.16

Пусть все триггеры вычитающего счетчика находятся в состоянии 1 ($Q_4 = 1$, $Q_3 = 1$, $Q_2 = 1$, $Q_1 = 1$). Каждый триггер счетчика переключается в новое состояние только в момент положительного перепада на входе C . Поэтому в момент положительного перепада напряжения первого импульса на счетном входе C переключится в состояние 0 только триггер $DD1.1$. В этот момент на входе C триггера $DD1.2$ будет иметь место отрицательный перепад и он переключиться не может. Работа суммирующего счетчика отражает таблица 18.

Коэффициентом счета счетчика называют порядковый номер импульса которым восстанавливается исходное число. Для коэффициента счета используются счетчики, у которых $K_{сч}=10$ (рис 3.5.17).

Таблица 18

№ импульса	Q_4	Q_3	Q_2	Q_1
0	1	1	1	1
1	1	1	1	0
2	1	1	0	1
3	1	1	0	0
12	0	1	0	0
13	0	0	1	1
14	0	0	1	0
15	0	0	0	1
16	0	0	0	0

восстанавливается микросхемы $K155ИЕ7$ равен 16. Чаще всего двоично-десятичные коэффициент счета

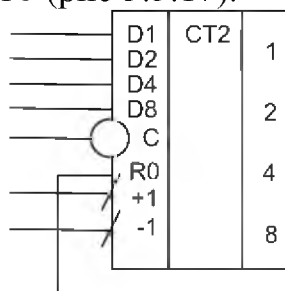


Рис. 3.5.17

Если в таком счетчике после обнуления триггеров поступит десятый импульс на выходах 2 и 8 появятся единицы, благодаря которым на выходе логического элемента *И* также появится единица, которая переключит счетчик в исходное состояние, т.е. в состояние нуля. Следовательно, для данного счетчика коэффициент счета $K_{сч}=10$. Для организации, например, коэффициента счета в счетчике $K_{сч}=5$, ко входам логического элемента *И* подключаются выходы счетчика 1 и 4.

Тема 3.6. Цифровые измерительные приборы.

Цифро-аналоговые и аналого-цифровые преобразователи. Цифровые вольтметры.

Устройства, предназначенные для преобразования цифровой величины в аналоговую, называются *цифро-аналоговыми преобразователями*. Напряжение на выходе ЦАП пропорционально весу присутствующего на входе кода. Напряжение на выходе ЦАП определяется суммой напряжений, каждое из которых обусловлено единицей соответствующего разряда входного кода: $U_{вых} = U_n + U_{n-1} + \dots + U_2 + U_1$ где $U(i)$ - напряжение, которое обеспечивается единицей *i*-го разряда.

На рисунке 3.6.1 отражена зависимость выходного напряжения ЦАП от цифрового кода на его входе.

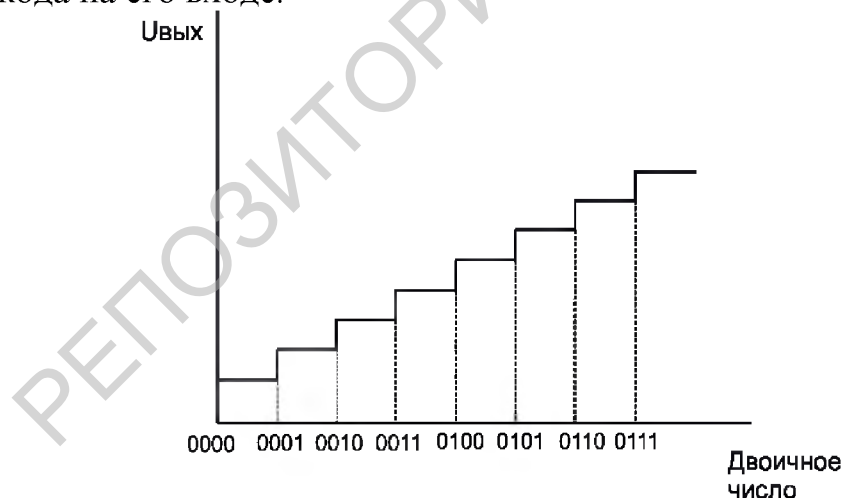


Рис. 3.6.1

Если единица младшего разряда обеспечивает напряжение на выходе ЦАП $U1$, то единица во втором разряде числа обеспечит напряжение на выходе $2U1$, в третьем – $4U1$, в четвертом – $8U1$, в пятом – $16U1$ и т.д.

Существует множество схем ЦАП. Рассмотрим ЦАП с резисторной матрицей $R - 2R$ (рис. 3.6.2). У этой матрицы используются резисторы двух номиналов ($R3=R5=R7=1R$ и $R1=R2=R4=R6=R8=R9=2R$). Триггеры $DD1$, $DD2$, $DD3$, $DD4$ образуют регистр ЦАП. Состояние триггеров зависит от записанного в регистре двоичного числа. Триггер старшего разряда всегда расположен ближе к выходу ЦАП.

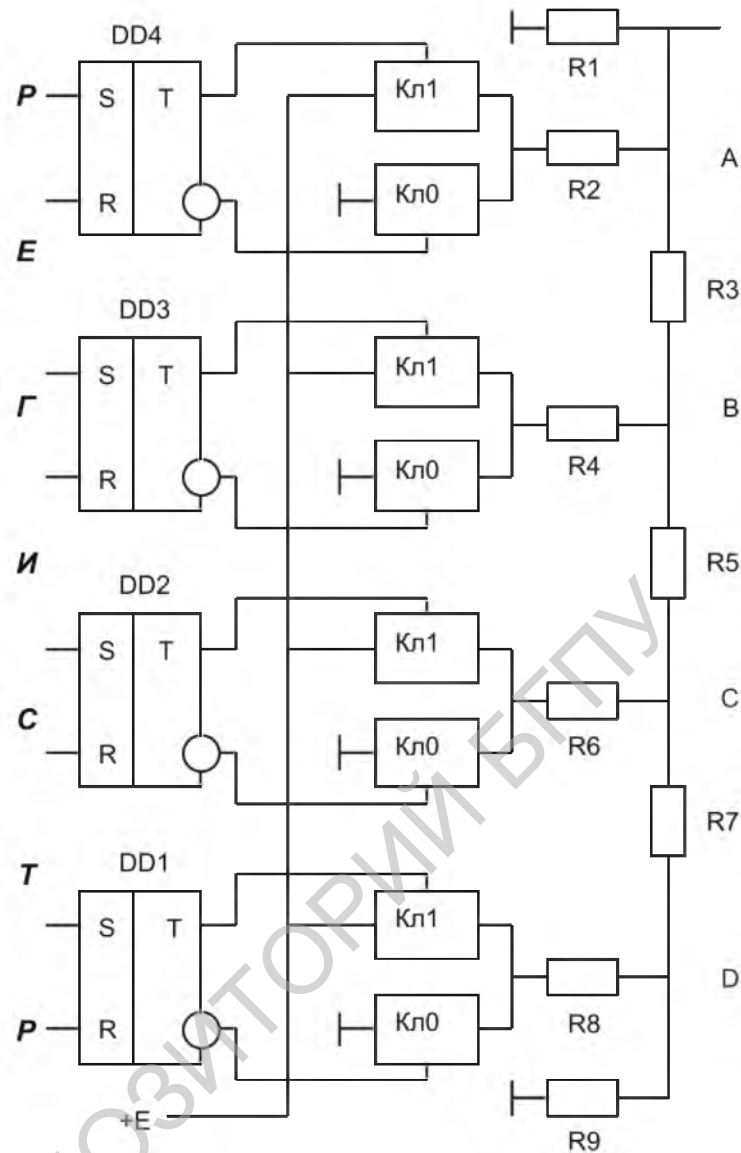


Рис. 3.6.2

Сопротивление точек A , B , C и D резисторной матрицы $R - 2R$ относительно корпуса составляет $1R$.

На рисунке 3.6.3 приведена схема $Kл1$ построенного на биполярном транзисторе $n-p-n$ -типа. Для этого ключа $R_k \ll R_9$. Если на вход ключа подается уровень логической 1, то сопротивление транзистора стремится к 0, а так как $R_k \ll R_9$ или R_k может отсутствовать ($R_k = 0$) $U_{ВЫХ}$ равно E . Если на входе ключа установить 0, транзистор закрывается и его сопротивление R_{TP} достигает большой величины ($R_{TP} \gg R_9$), напряжение на выходе ключа стремится к 0.

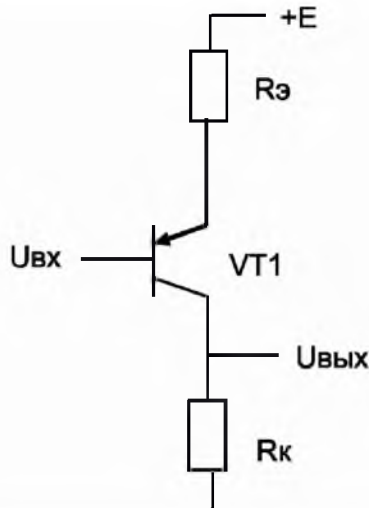


Рис. 3.6.3

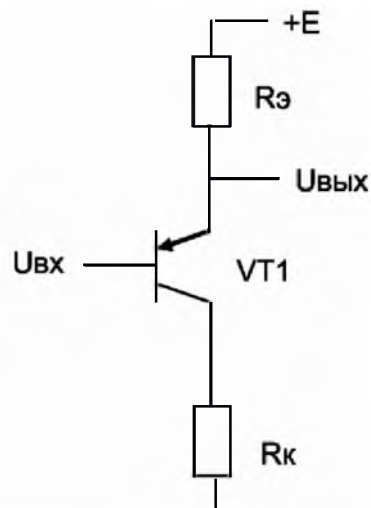


Рис. 3.6.4

На рисунке 3.6.4 приведена схема. Для этого ключа $R_k \gg R_{\varepsilon}$. Если на вход ключа подается уровень логической 1, то сопротивление транзистора стремится к 0, а так как $R_k \gg R_{\varepsilon}$ или R_{ε} может отсутствовать ($R_{\varepsilon} = 0$) $U_{\text{вых}}$ стремится к 0. Если на входе ключа установить 0, транзистор закрывается и его сопротивление R_{TP} достигает большой величины ($R_{TP} \gg R_k$) становится равным, напряжение на выходе приближается к величине E .

На рисунке 3.6.5 показана схема совмещенных ключей $Kл1$ и $Kл0$, построенных на транзисторах $n-p-n$ и $p-n-p$ -типа.

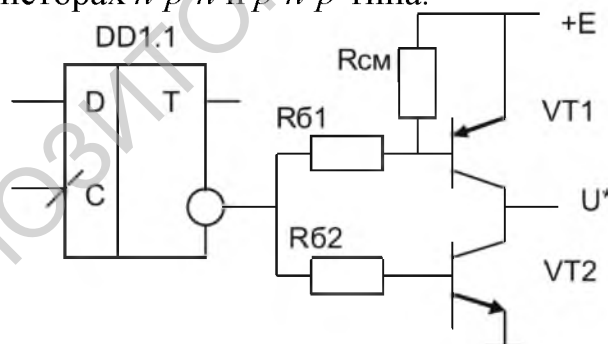


Рис. 3.6.5

Если в триггере записана 1, на инверсном выходе триггера будет 0. Наличие нуля на входе ключа открывает транзистор $VT1$ и закрывает $VT2$. Следовательно, напряжение на выходе ключа будет равным E . Если же в триггере записан 0, на инверсном выходе триггера будет уровень логической 1, благодаря которой транзистор $VT1$ закрывается, а $VT2$ открывается. Следовательно, напряжение на выходе ключа будет равным 0.

Устройства, предназначенные для преобразования аналоговой величины в цифровую, называются *аналого-цифровыми преобразователями (АЦП)*. Цифровой код на выходе АЦП пропорционален величине напряжения на его входе. На рисунке 3.6.6 отражена зависимость выходного кода ЦАП (до 1000) от входного напряжения $U_{\text{вх}}$.

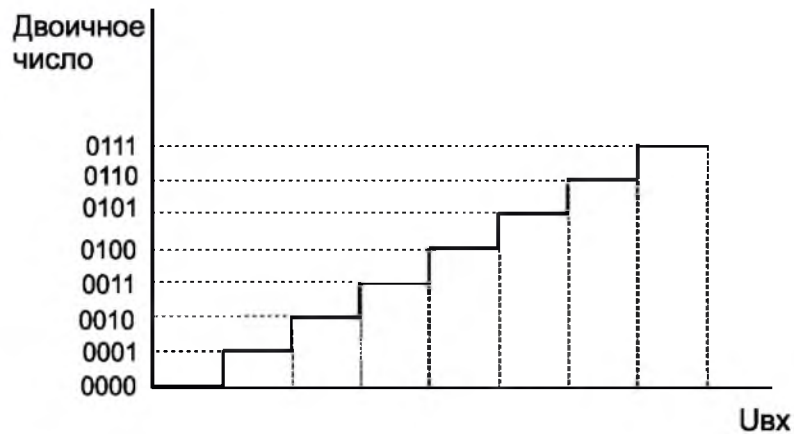


Рис. 3.6.6

Циклическое АЦП с обратной связью уравновешенного сравнения (рис. 3.6.7).

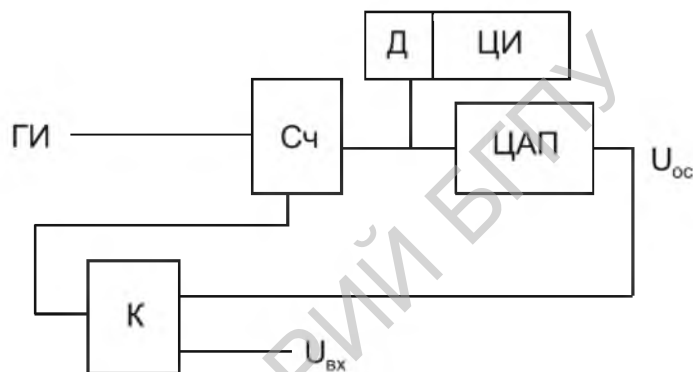


Рис. 3.6.7

Тактовым импульсом $ТИ$ счетчик обнуляется. После этого на выходе счетчика будут нули и на выходе ЦАП $U_{ос}$ будет равно 0. Пока $U_{ос} < U_{вх}$ на выходе компаратора K установлена 1 и импульсы от $ГИ$ поступают на счетчик $Cч$ и $U_{ос}$ возрастает. Как только $U_{ос}$ достигнет величины $U_{вх}$ ($U_{ос} > U_{вх}$), на выходе компаратора появится уровень логического 0 и доступ импульсов $ГИ$ в счетчик прекращается (рис. 3.6.8). До поступления очередного импульса, обнуления от $ГИ$ (Δt), в счетчике хранится двоичное число, которое дешифратором $Д$ преобразуется в десятичный код, и цифровой индикатор $ЦИ$ высвечивает величину напряжения $U_{вх}$. После обнуления счетчика начинается очередной цикл работы АЦП. Такой АЦП называют *циклическим*.

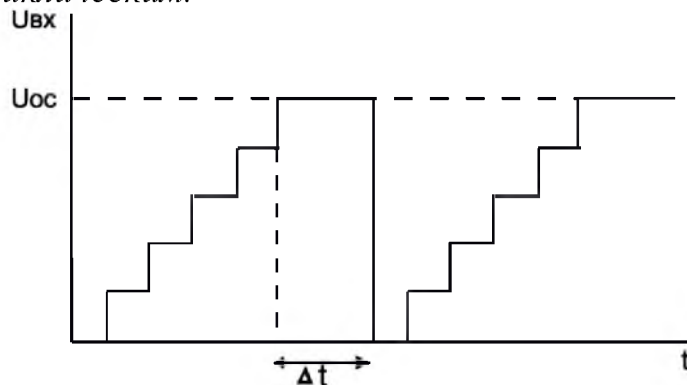


Рис. 3.6.8

АЦП являются основным устройством цифровых измерительных

приборов. На рисунке 3.6.9 приведена схема цифрового вольтметра, построенного на циклическом, а на рисунке 3.6.10 – на нециклическом АЦП.

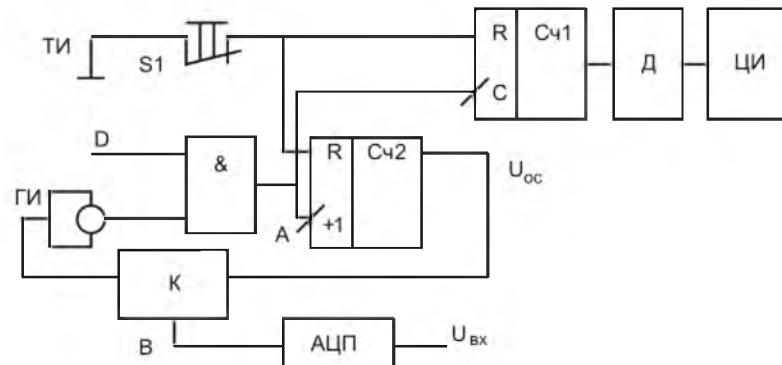


Рис. 3.6.9

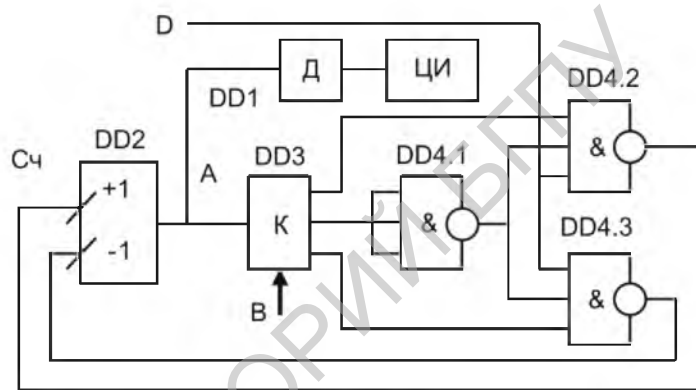


Рис. 3.6.10

Тема 3.7. Цифровые устройства в школе.

Использование цифровой техники в техническом творчестве. Электронное реле. Электронные часы.

Цифровая электроника – это быстро развивающаяся область современной техники.

Цифровая техника уже в течение нескольких десятилетий привлекает пристальный интерес организаторов и руководителей технического творчества школьников и молодежи. Однако только с серийным выпуском цифровых микросхем появилась реальная возможность широкого развития детского и юношеского технического творчества в этой области и проникновения цифровых устройств собственного изготовления в учебно-воспитательную работу школы и вуза. Данное утверждение основано на следующих обстоятельствах:

- логические основы цифровой техники достаточно просты и могут быть освоены уже школьниками;
- промышленность выпускает массовыми тиражами дешевые микросхемы, доступные для всех любителей;
- простые цифровые устройства, в отличие от аналоговых, не требуют настройки, что особенно важно для начинающих;

- имеются чрезвычайно надежные серии микросхем (например, *K155*, *K555* и др.), которые не выходят из строя почти при любых ошибках в монтаже;
- на цифровых микросхемах легко создавать разнообразные игровые автоматы, что позволяет включить в процесс обучения элементы игры;
- на цифровых микросхемах можно создавать простые конструкции, выполняющие достаточно сложные алгоритмы по автоматизации процессов управления или измерению разнообразных параметров в промышленном и сельскохозяйственном производстве, медицине, учебном процессе, домашнем хозяйстве.

На этапе начального знакомства с цифровой техникой важнейшими объектами конструирования обычно являются устройства на основе генераторов. Они применяются для создания разнообразных звуковых и световых эффектов, «оживляющих» игрушки. Можно на одной-двух микросхемах создать разнообразные музыкальные звонки и сирены, имитаторы птичьих голосов, игрушку с мигающими глазами и т.д. Все подобные конструкции состоят из одного или нескольких последовательно включенных генераторов с различными частотами генерируемых колебаний. На рисунке 3.7.1 показаны функциональные схемы подобных устройств. На рис 3.7.1а генератор с частотой 1-5 Гц, который начинает работать при замыкании ключа *S*. К прямому и инверсному выходу подключены светодиоды – «перемигивающиеся глаза» игрушки. На рис 3.7.1в однотональный генератор прерывистых сигналов, состоящий из двух последовательно включенных генераторов. При замыкании кнопки раздается прерывистый звуковой сигнал ($f_1 = 3$ Гц, $f_2 = 1$ кГц).

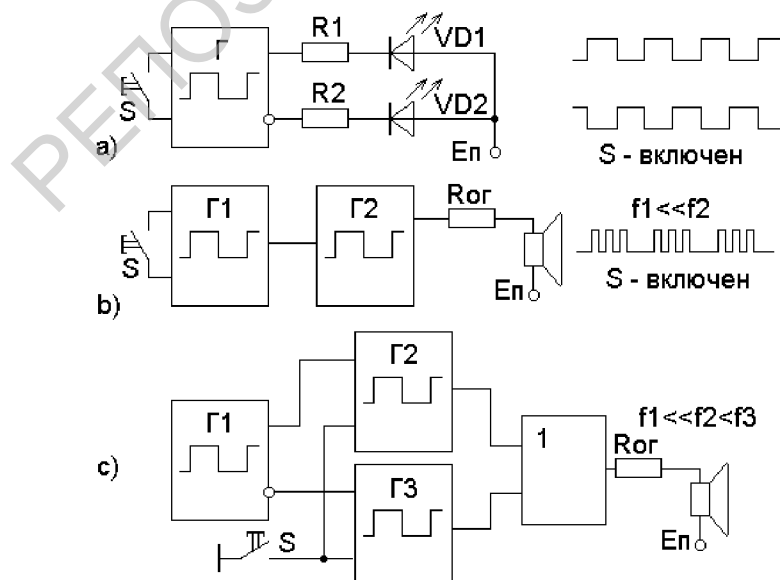


Рис. 3.7.1.

На рис 3.7.1с – двухтональная сирена, генерирующая поочередно меняющиеся сигналы с частотами f_2 и f_3 (0,5 – 2 кГц). Смена сигналов происходит с частотой $f_1 = 1 \dots 5$ Гц.

Подобные конструкции собирают на логических элементах как *ТТЛ*, так и *КМДП* (комплементарные металл-диэлектрик полупроводниковые) типов. Преимущество *ТТЛ* элементов состоит в том, что они могут без дополнительных усилителей работать на звуковые и световые индикаторы (светодиоды, лампы накаливания, телефоны, громкоговорители). Максимальный выходной ток (ток короткого замыкания) большинства логических элементов 155 серии составляет 18 мА при логической 1 на выходе и 55 мА при логическом нуле. Поэтому для получения большей выходной мощности нагрузку подключают между выходом логического элемента и источником +5 В. Для увеличения выходной мощности можно использовать элементы с большей нагрузочной способностью или применять параллельное соединение нескольких логических элементов.

Принципиальная схема устройства на *ТТЛ* элементах, имитирующая “перемигивающиеся глаза”, показана на рисунке 3.7.2. Генератор собран на элементах *D1.1* и *D1.2* микросхемы *K155ЛА3*. Усилители-инверторы, работающие на светодиодах *VD1* и *VD2* (*АЛ307*), и схема управления собраны на элементах *D1.3* и *D1.4*. В режиме покоя устройство потребляет около 20 мА. При нажатии кнопки *S* поочередно с частотой около 1 Гц начинают загораться светодиоды, при этом потребляемый ток увеличивается на 5...10 мА.

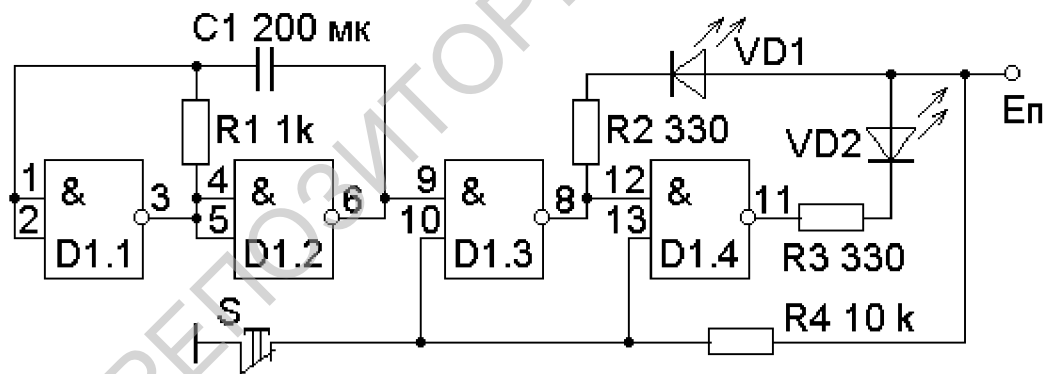


Рис. 3.7.2.

На рисунке 3.7.3 приведена принципиальная схема однотонального генератора прерывистых сигналов на микросхеме *КМДП* типа *K176ЛА7*. На элементах *D1.1* и *D1.2* собран генератор, задающий частоту прерываний $f1 = 1$ Гц, а на элементах *D1.3* и *D1.4* – звуковой генератор с частотой генерации $f2 = 600$ Гц.

Пока кнопка *S* не нажата, запрещена работа первого генератора и на его выходе постоянно находится логический ноль, запрещающий работу второго генератора. При нажатии кнопки *S* первый генератор начинает вырабатывать прямоугольные импульсы, разрешающие прерывистую работу второго генератора.

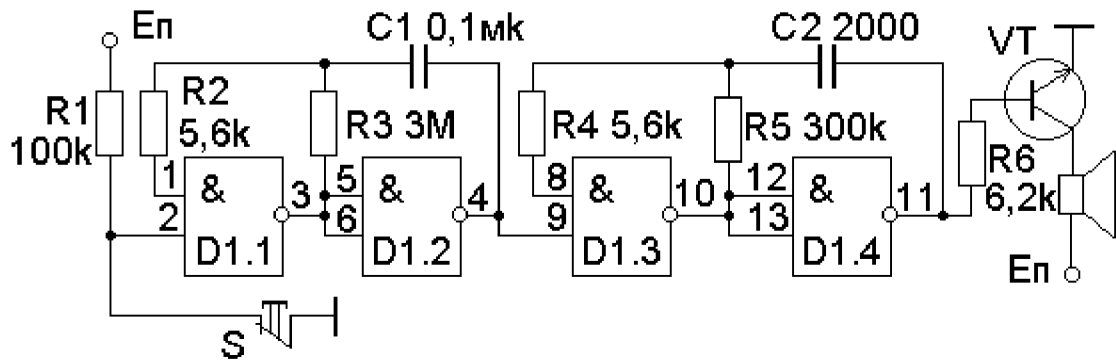


Рис. 3.7.3

Генераторы, схемы которых приведены на рис. 3.7.2 и 3.7.3 генерируют практически симметричные колебания (меандр). В имитаторах голосов птиц и зверей бывают необходимы очень короткие импульсы с большой паузой между ними. В этом случае необходимо собрать цепь с резко различными временами заряда и разряда времязадающего конденсатора. На схеме рис. 3.7.4 показан такой генератор.

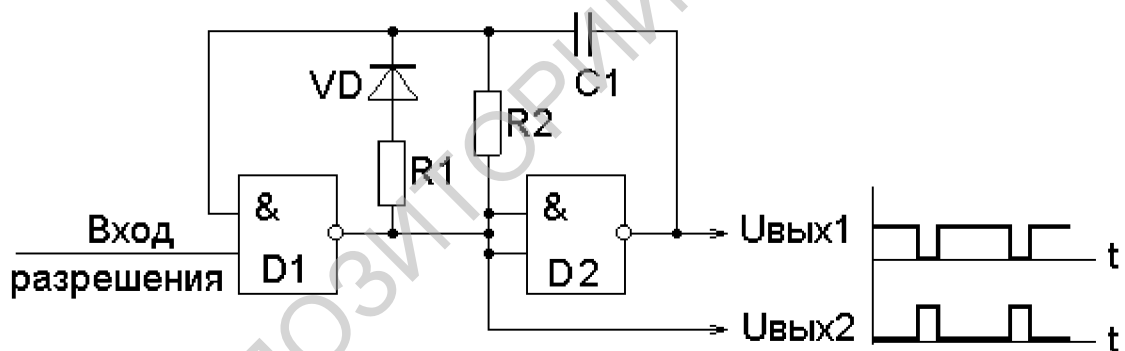


Рис. 3.7.4.

Как видно из схемы, при высоком напряжении на выходе первого элемента ($D1$) накопление положительного заряда в конденсаторе происходит через два параллельно соединенных резистора $R1$ и $R2$ (диод VD открыт). Разряд конденсатора может происходить только через резистор $R2$, так как диод VD закрыт. Поэтому постоянные времени заряда и разряда существенно отличаются, особенно при $R2 \gg R1$. Поэтому на выходе 2 появляются короткие импульсы.

Описанные схемы на генераторах находят применение не только в игрушках, но и в разнообразных устройствах сигнализации. Заменяв в схеме (рис 3.7.4) кнопку S на шлейф из тонкой проволоки (рис 3.7.5а), окружающий охраняемую зону (палаточный лагерь, штаб военно-спортивной игры и т.д.), можно получить сторожевой сигнализатор, вырабатывающий сигнал тревоги при обрыве шлейфа.

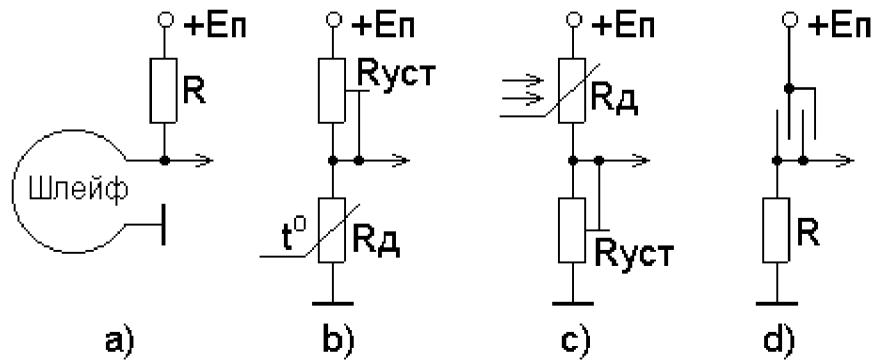


Рис. 3.7.5

Эта же схема при замене кнопки резистивным датчиком превращается в параметрический сигнализатор, подающий звуковой сигнал при изменении контролируемого параметра сверх заданных пределов. Датчиками могут являться термосопротивление (рис. 3.7.5b), фотосопротивление (рис. 3.7.5c), два электрода (рис. 3.7.5d), находящиеся в среде с меняющейся проводимостью и т.п. Датчик R_d включается последовательно с установочным резистором $R_{уст}$. При этом если сигнализатор должен сработать при уменьшении сопротивления R_d по сравнению с пределом, установленным $R_{уст}$, то датчик включают в верхнее плечо (рис. 3.7.5c,d); если же сигнализатор должен сработать при увеличении R_d выше предела, установленного подстроечным резистором, то датчик включается в нижнее плечо схемы (рис. 3.7.5b).

Для старших школьников одной из наиболее привлекательных областей технического творчества стала звуко- и светотехника (цветомузыкальные установки, бегущие огни и т.п.). Для примера рассмотрим схему, реализующую эффект бегущих огней. В схеме используется генератор импульсов, счетчик и дешифратор. Четыре лампы зажигаются поочередно. Имеется возможность инвертировать направление движения света и включать или движение света или тени. Если несколько ячеек из 4 ламп располагать одну после другой в пространстве, а соответствующие лампы ячеек включить параллельно, то получится длинная гирлянда с полным эффектом бегущих огней или тени, которой можно украсить любой праздник в школе, а особенно новогодний. Схема такого устройства приведена на рис. 3.7.6.

Элементы $D1.1$ и $D1.2$ ($K155ЛА3$) образуют генератор с перестраиваемой частотой, которую можно менять переменным резистором $R1$. Вместе с резистором $R2$ и конденсатором $C1$ он образует времязадающую цепь. D -триггеры $D2.1$ и $D2.2$ ($K155ТМ2$) включены по схеме T -триггера и образуют счетчик. Направление счета зависит от положения переключателя $S1$ (верхнее положение – суммирующий счетчик, нижнее – вычитающий).

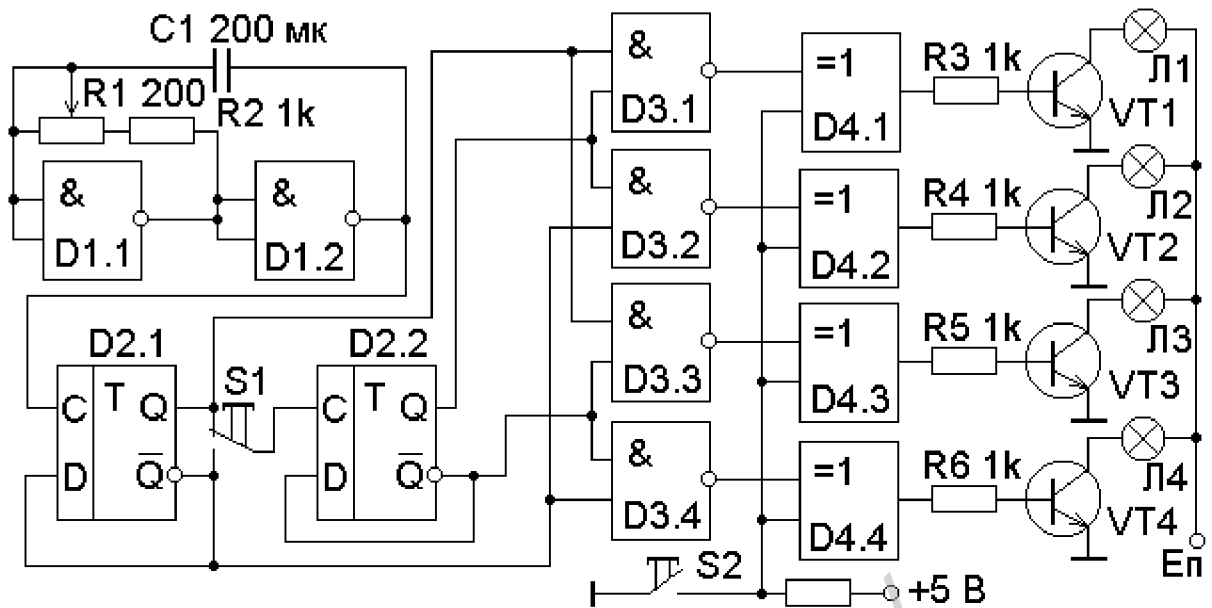


Рис. 3.7.6

От положения $S1$ зависит направление движения бегущего огня или тени. Четыре элемента И-НЕ ($D3 - K155ЛА3$) образуют дешифратор по нулям. Сигнал логического нуля присутствует одновременно только на одном выходе. При пересчете счетчиком импульсов генератора, на его выходах информация непрерывно меняется. Она и является адресной информацией для дешифратора, причем инверсию адресов производит счетчик своими выходами. Микросхема $D4 (K155ЛП5)$ содержит в своем составе 4 элемента **ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ**. Логика этих элементов определяется положением выключателя $S2$. При разомкнутом состоянии $S2$ на нижние по схеме входы элементов $D4$ подается уровень логической 1 и элементы выполняют по второму входу функцию **НЕ**. Наблюдается бегущий огонь, т.е. горит одновременно только одна лампа. Если ключ $S2$ замкнуть, то логический 0 на нижних входах $D4$ превращает элементы микросхемы $D4$ по второму (верхнему) входу в повторители напряжения. Наблюдается бегущая тень. Транзисторы $VT1...VT4$ – усилители мощности для питания ламп $Л1...Л4$.

Следующая схема (рис 3.7.7) представляет собой игровой автомат «Кто быстрее», позволяющий определить у кого из двух участников реакция на внешнее раздражение (зажигающийся светодиод) быстрее. Участвуют трое: «судья», «первый игрок», «второй игрок». У «судьи» две кнопки: «Сброс» ($S4$) – обнуляющая схему, и «Пуск» ($S3$) – зажигающая светодиод «судьи». После того, как загорелся светодиод «судьи», «игроки» должны нажать свою кнопку быстрее соперника. У нажавшего первым загорится его светодиод, опоздавший зажечь светодиод уже не сможет. Если «игрок» нажмет кнопку раньше «судьи», то загорится светодиод «игрока» и светодиод «фальстарт». Светодиод «судьи» останется темным. Для управления светодиодами используются **RS-триггеры** на элементах **И-НЕ**. Активными сигналами для этого триггера являются логические нули. Для

блокировки кнопок «игроков» ($S1$ и $S2$) они подсоединены не к общему проводу, а к прямому выходу Q триггера соперника. Если один «игрок» нажал свою кнопку раньше соперника, то на прямом выходе его триггера появится уровень логической 1, зажигающий его светодиод. Теперь при нажатии кнопки опоздавшим «игроком», его триггер останется в прежнем состоянии и его светодиод не загорится, так как теперь его кнопка подключена не к нулевому уровню, как это было после «сброса» схемы, а к уровню 1. Такая же блокировка у кнопки «судьи». После зажигания светодиода фальстарта, «судья» не сможет зажечь свой светодиод. Все входы R триггеров связаны вместе и подключены к кнопке «Сброс» ($S4$).

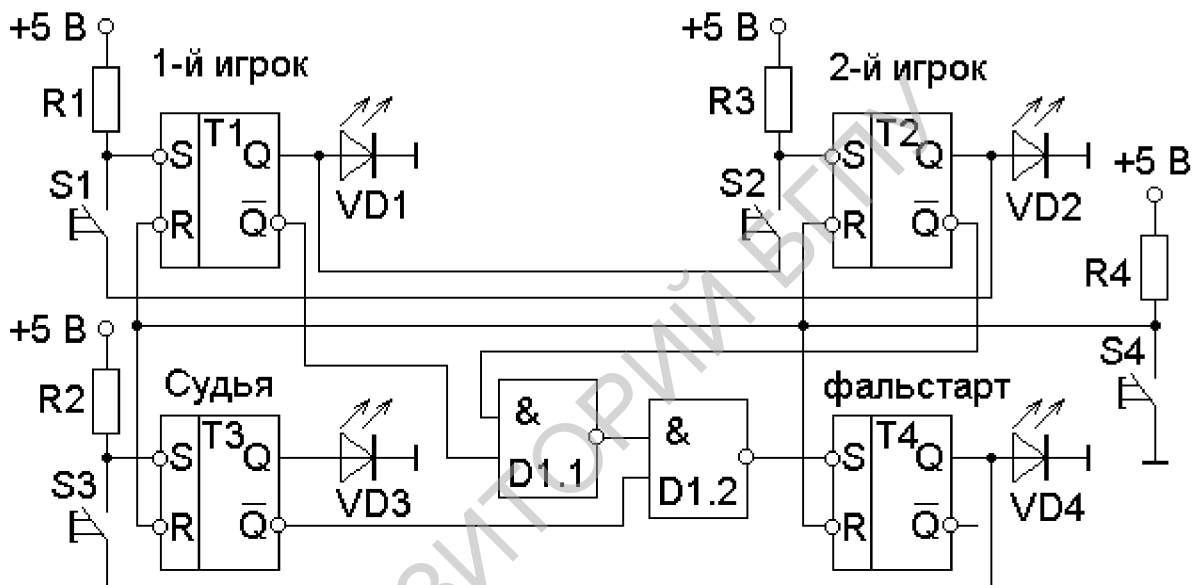


Рис. 3.7.7

Особенность этой схемы состоит в том, что она позволяет применить методы цифровой электроники для синтеза схемы логики, запускающей триггер фальстарта. Чтобы зажечь светодиод фальстарта, на вход S триггера $T4$ нужно подать сигнал нулевого уровня.

Реле предназначено для коммутации электрических цепей по внешнему сигналу. Реле бывают, механические, тепловые, оптические, времени и т.д. В качестве датчиков в реле используются механический контакт, *геркон* (герметичный контакт, который срабатывает под действием магнитного или электрического поля), *микрофон*, *терморезистор*, *фоторезистор* и т.д. Напряжение, при котором переключается релейный элемент, называется порогом срабатывания. По характеру исполнения релейные элементы делятся на контактные, примером которых может служить электромагнитное реле, и бесконтактные. Реле, основой которых служат бесконтактные релейные элементы, называются *электронными реле*.

На рисунке 3.7.8 приведена схема универсального блока ($УБ$), который может служить для построения электронных реле разного типа. Тип реле зависит от используемого датчика, подключенного к входу (A и B).

Пока сопротивление датчика большое, транзисторы $VT1$ и $VT2$ закрыты, на коллекторах транзисторов находится уровень логического 0, который на выходе $Q1$ триггера Шмидта, состоящего из логических элементов $DD1.1$, $DD1.2$ и резистора $R4$, обеспечит уровень логического 0, а на выходе $Q2$ – уровень логической 1. С уменьшением сопротивления датчика, напряжение на базе $VT1$ растет, и напряжение на коллекторах транзисторов также увеличивается. Когда коллекторное напряжение достигнет уровня логической 1, происходит переключение триггера Шмидта в состояние 1, и на выходе $Q1$ установится логическая 1, а на выходе $Q2$ – уровень 0. При прекращении внешнего воздействия на датчик реле возвращается в исходное состояние. Чувствительность реле регулируется переменным резистором $R2$.

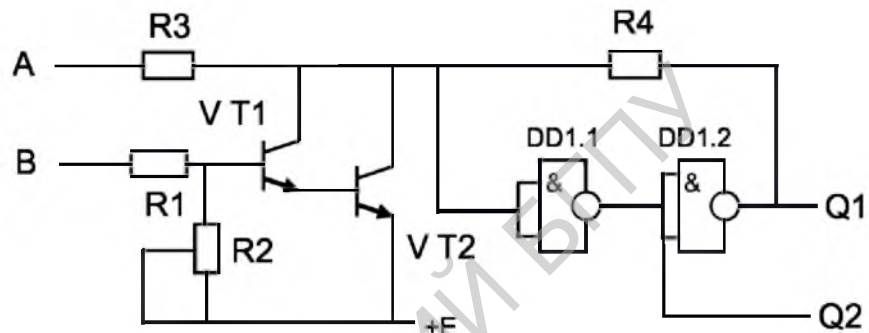


Рис. 3.7.8

Для построения электронного контактного реле (рис. 3.7.9) в качестве датчика используется геркон (а), акустического – микрофон (б), теплового – терморезистор (в) (позистор, сопротивление которого пропорционально температуре, или термистор, сопротивление которого обратно пропорционально температуре), оптического – фоторезистор (д) и т.д.

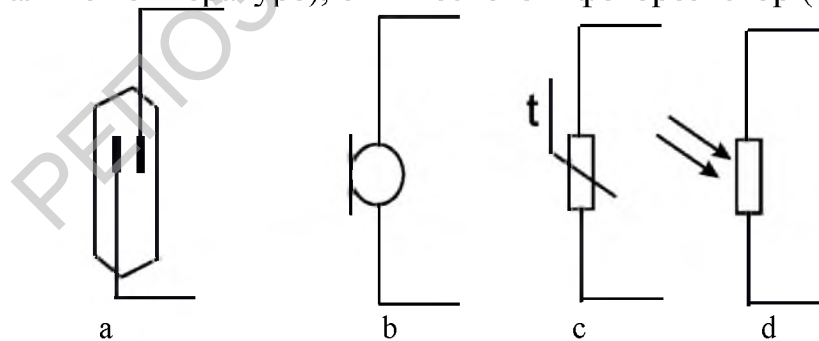


Рис. 3.7.9

Реле времени (рис. 3.7.10) состоит из генератора одиночных импульсов ($DD1.1$, $DD1.2$, $C1$, $R1$), мультивибратора ($DD1.3$, $DD1.4$, $C2$, $R2$), RS -триггер с инверсными входами ($DD2$) и счетчика ($DD3$). В качестве генератора одиночных импульсов используется ждущий мультивибратор, который при нажатии кнопки $SB1$ на его выходе обеспечивает уровень логического 0.

Мультивибратор генерирует последовательность импульсов, частота которых регулируется переменным резистором $R2$ (при перемещении движка резистора вверх частота увеличивается).

Активным уровнем триггера является уровень логического 0. Если $R=0$ и $S=1$ триггер переключается в состояние 0, если $R=1$ и $S=0$ – в

состояние 1.

Микросхема *DD3* является 4 – разрядным двоичным *счетчиком*. На выходе ≤ 15 счетчика уровень логического 0 появляется только в момент, когда на его выходах установится число 15 (1111).

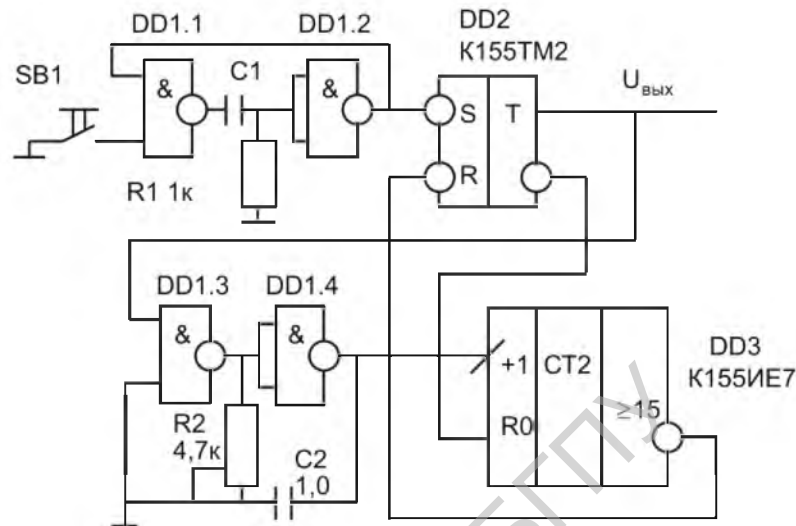


Рис. 3.7.10

Нажатие кнопки *SB1* приведет к появлению на выходе генератора одиночных импульсов уровня логического 0, который переключит триггер *DD2* в состояние 1. В этот момент начинает работать мультивибратор, частота которого зависит от емкости конденсатора *C2* и сопротивления резистора *R2*. Благодаря тому, что резистор *R2* переменный, с его помощью осуществляется регулировка частоты генерации мультивибратора.

До переключения триггера *DD2* в состояние 1 на входе *R0* счетчика *DD3* находится уровень логической 1, который обнуляет счетчик. Как только триггер переключится в состояние 1, на вход *R0* поступает уровень логического 0, и счетчик начнет отсчитывать импульсы, поступающие от мультивибратора. Когда счетчик отсчитает пятнадцатый импульс, на выходе ≤ 15 счетчика появится уровень логического 0, который переключит триггер *DD2* в состояние нуля. Чем ниже частота мультивибратора, тем больше время наличия единицы на прямом выходе триггера.

На рисунке 3.7.11 дана схема *электронного секундомера*, который запускается и выключается с помощью фотодатчиков. Покажем, как используется данная схема для измерения времени полета шарика.

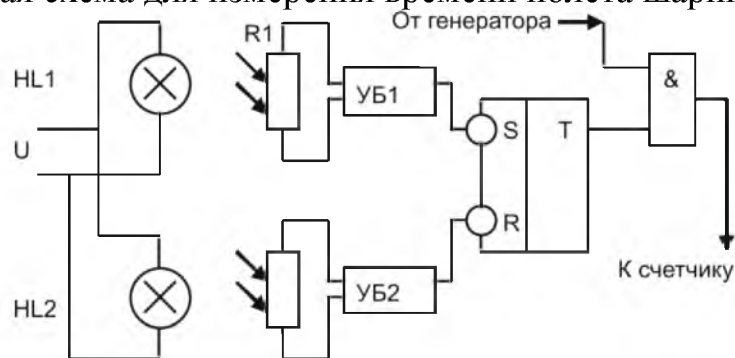


Рис. 3.7.11

При падении шарик сначала перекрывает световой поток, который поступает на верхний датчик $R1$, благодаря которому на выходе универсального блока $УБ1$ появится уровень логического 0, который переключит триггер $ДД1$ в состояние 1. С этого момента счетчик начнет отсчитывать импульсы, поступающие от генератора. Когда шарик долетит до нижнего фотодатчика, уровень логического 0 появится на выходе универсального блока $УБ2$, который переключит триггер в состояние 0. С этого момента счетчик прекратит отсчитывать импульсы, следующие от генератора. Зная период повторения импульсов T генератора, и число импульсов n , отсчитанных счетчиком, можно определить время полета шарика между двумя датчиками: $t = nT$. Зная ускорение свободного падения g можно рассчитать расстояние между двумя датчиками:
$$h = \frac{gt^2}{2}$$

Структурная схема простейших электронных часов с индикацией минут и часов дана на рисунке 3.7.12. Счетчик $Сч1$ подчитывает количество единиц минут, $Сч2$ – десятков минут, $Сч3$ – единиц часов, $Сч4$ – десятков часов. Дешифраторы $Д1, Д2, Д3, Д4$ преобразуют двоичные числа на выходе счетчиков в десятичные коды, индикацию которых обеспечивают цифровые индикаторы $ЦИ1, ЦИ2, ЦИ3, ЦИ4$. На вход счетчика единиц минут ($Сч1$) поступает последовательность минутных импульсов ($1/60 Гц$). Когда в счетчике единиц минут наберется 10 импульсов, происходит его обнуление, но в этот момент поступит один импульс на вход счетчика десятков минут и счетчик $Сч2$ отсчитает один импульс. Аналогичным образом работают все счетчики электронных часов.

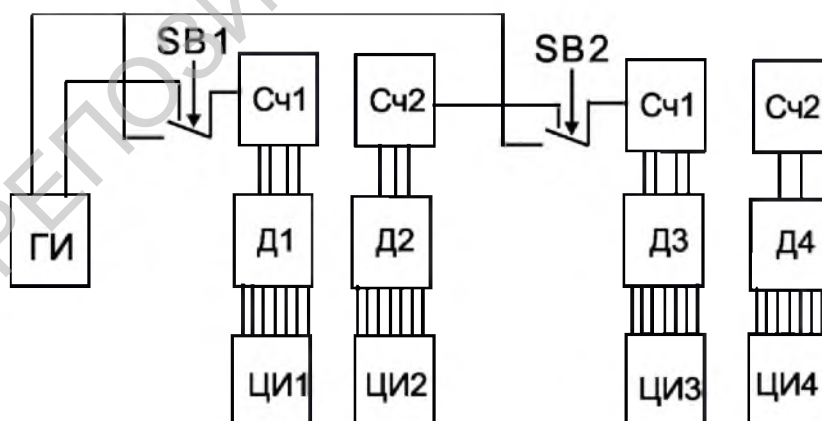


Рис. 3.7.12

Кнопка $SB2$ предназначена для установки времени часов. Нажатием ее последовательность импульсов ($f = 2 Гц$) с генератора поступают на вход счетчика $Сч3$, что позволяет установить время часов. Аналогично кнопкой $SB1$ устанавливается время минут.

Выход генератора с периодом повторения $T = 1с$ подсоединяется к мигающей точке цифрового индикатора для индикации секунд.

На рисунке 3.7.13 дана схема счетчика минут (секунд), построенная на микросхемах 155 серии. Микросхема $ДД1$ является счетчиком единиц минут, а $ДД2$ – счетчиком десятков минут. Когда счетчик единиц минут с

коэффициентом счета $K = 10$ отсчитает десятый импульс, на выходе логического элемента $DD3.1$ появится уровень логической 1. Эта единица поступает на вход $+1$ счетчика $DD2$, и этот счетчик отсчитывает единицу. Одновременно единица поступает и на вход $R0$ счетчика $DD1$, что приводит к его обнулению. Каждые 10 импульсов на входе $Вход$ счетчика $DD1$ обеспечивают единицу на входе $+1$ счетчика $DD2$. Когда счетчик $DD2$ с коэффициентом счета $K = 6$ отсчитает шестой импульс, на выходе логического элемента $DD3.2$ появится единица, которая обнулит счетчик $DD2$. Эта же единица поступает на $Вход$ счетчика единиц часов (рис. 101), который отсчитывает единицу.

Коэффициент счета счетчика минут (секунд) $K_M = K_E \cdot K_D$, где K_E – коэффициент счета единиц минут, K_D – коэффициент счета десятков минут.

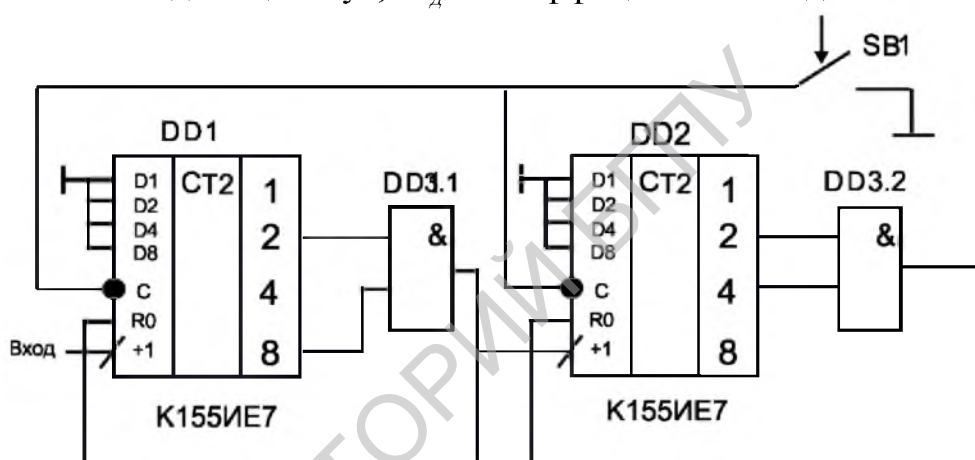


Рис. 3.7.13

Счетчик часов (рис. 109) состоит из двух счетчиков: счетчика единиц часов ($DD1$) с коэффициентом счета $K = 10$ и счетчика десятков часов ($DD2$) с коэффициентом счета $K = 2,4$ (для часов с циферблатом на 24 часа) и $K = 1,2$ (для часов с циферблатом на 12 часов). Коэффициент счета счетчика часов $K_ч = K_E \cdot K_D$.

Каждым десятым импульсом на входе $+1$ счетчика $DD1$ на выходе $DD3.1$ появляется 1, которая увеличит находящееся число в счетчике $DD2$ на 1, и обнулит счетчик $DD1$. Как только в счетчике часов окажется число 24 (для счетчика с циферблатом 24) на выходе логического элемента $DD3.2$, которая обнулит оба счетчика $DD1$ и $DD2$. Часы начнут отсчитывать время с нуля.

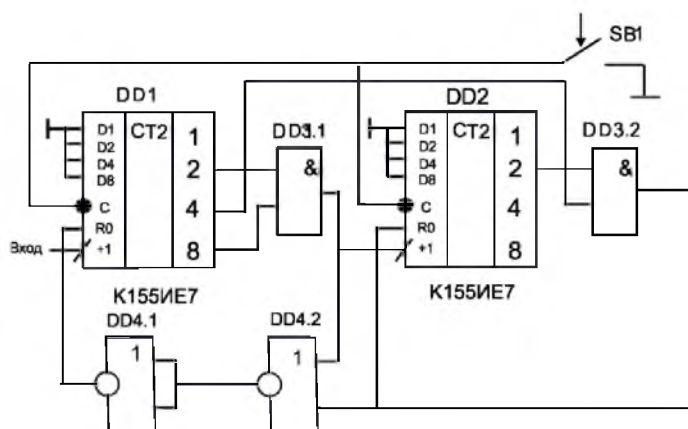


Рис. 3.7.14

Для построения схем часов используется специальная серия микросхем *K176*. На рисунке 3.7.14 приведена схема счетчика с использованием микросхемы *K176IE12*, которая имеет выходы с коэффициентом деления 32, 512, 2 и 60. Стабильность работы генератора обеспечивается кварцевым резонатором *KP* частотой 32768 Гц. Коррекция частоты кварцевого генератора осуществляется конденсатором *C1*. Сигнал частотой 32768 Гц устанавливается на выходе *A*. На выходе *B* частота кварцевого генератора делится на 32 (1024 Гц), на выходе *C* – еще на 512 (2 Гц), на выходе *D* – на 2 (1 Гц) и на выходе *E* – на 60 (1/60 Гц).

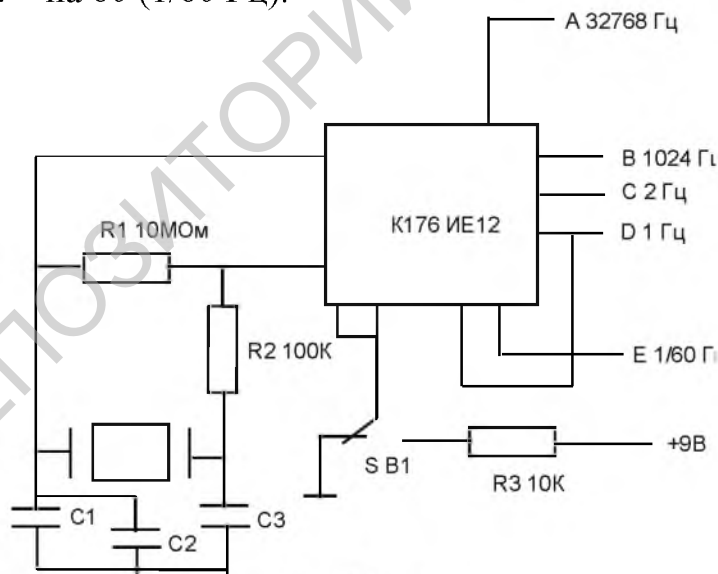


Рис. 3.7.14

Выход *D* используется для мигания индикатора секундных импульсов, а выход *C* – для установки времени часов.

Установка счетчиков микросхемы *K176IE7* в состояние 0 осуществляется нажатием кнопки *SB1*.

Для того, чтобы получить последовательность секундных импульсов, сигнал кварцевого генератора нужно пропустить через 15 - разрядный делитель.

ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

РАЗДЕЛ 3. ЦИФРОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

Тема 3.3. Элементы цифровых устройств.

Лабораторная работа. Исследование работы логических элементов.

Цель: изучить принцип работы логических элементов *И*, *ИЛИ*, *НЕ*, *И–НЕ*, *ИЛИ–НЕ*; научиться анализировать работу комбинационных схем на базе логических элементов.

1. Исследование работы логического элемента И–НЕ.
2. Исследование работы логического элемента ИЛИ–НЕ.
3. Исследование комбинационных схем, построенных на логических элементах И–НЕ.
4. Построение комбинационной схемы по булевому выражению.
5. Минимизация булево выражение.

Лабораторная работа. Исследование работы мультивибраторов.

Цель: изучить принцип мультивибратора; изучить принцип работы устройств на мультивибраторах..

1. Исследование работы мультивибратора на трех логических элементах.
2. Исследование работы мультивибратора на двух логических элементах.
3. Исследование ждущего мультивибратора.
4. Сборка модели телеграфного ключа.
5. Исследование работы генератора прерывистых сигналов.

Тема 3.4. Комбинационные устройства.

Лабораторная работа. Исследование работы преобразователей кодов.

Цель: изучить принцип работы шифраторов, дешифраторов.

1. Исследование работы полного шифратора на 4 входа.
2. Исследование работы интегрального дешифратора К155ИД1.

Цель: изучить принцип работы мультиплексоров и демультиплексоров.

1. Исследование работы мультиплексора (2 – 1).
2. Исследование работы мультиплексора (4 – 1).
3. Исследование работы интегрального мультиплексора.
4. Исследование работы шифратора на базе мультиплексора.
5. Исследование работы демультиплексора (1 – 4) в статическом режиме.

Лабораторная работа. Исследование работы сумматоров

Цель: изучить принцип работы сумматоров на логических элементах и в интегральном исполнении.

1. Исследование работы полусумматора.

2. Исследование работы одноразрядного двоичного сумматора.
3. Исследование работы интегрального сумматора.

Лабораторная работа. Исследование работы компараторов.

Цель: изучить принцип работы компараторов на логических элементах и в интегральном исполнении.

1. Исследование логического элемента ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ-НЕ.
2. Исследование работы одноразрядного двоичного компаратора.
3. Исследование работы интегрального компаратора К155СП1

Тема 3.5. Последовательностные устройства.

Лабораторная работа. Исследование работы триггеров.

Цель: исследовать работу RS , $\bar{R}\bar{S}$, RSC , D -триггеров, двуступенчатого D -и T -триггера в статическом и динамическом режимах.

1. Исследование работы $\bar{R}\bar{S}$ -триггера.
2. Исследование работы RS -триггера.
3. Исследование работы D -триггера со статическим управлением.
4. Исследование работы D -триггера с образованным счетным входом в динамическом режиме.

Лабораторная работа. Исследование работы регистров.

Цель: изучить принцип действия регистров на логических элементах и в интегральном исполнении.

1. Исследование работы регистра сдвига вправо на D – триггерах.
2. Преобразование последовательного кода в параллельный.
3. Исследование работы кольцевого регистра вправо.
4. Исследование работы регистра сдвига влево.
5. Исследование работы интегрального регистра К155ИР1.

Лабораторная работа. Исследование работы счетчиков

Цель: изучить принцип работы счетчиков разных типов.

1. Исследование работы суммирующего счетчика на D -триггерах в статическом режиме.
2. Исследование работы вычитающего счетчика на D -триггерах в статическом режиме.
3. Исследование работы интегрального счетчика К155ИЕ7 в режиме сложения.
4. Исследование работы интегрального счетчика К155ИЕ7 в режиме вычитания.
5. Исследование работы суммирующего счетчика в динамическом режиме.
6. Исследование работы вычитающего счетчика в динамическом режиме.

Тема 3.6. Цифровые измерительные приборы.**Лабораторная работа. Цифро-аналоговые преобразователи.**

Цель: изучить принцип работы цифро-аналогового преобразователя с резисторной матрицей.

1. Исследование работы электронного ключа резисторной матрицы.
2. Исследование работы резисторной матрицы R-2R.
3. Снятие характеристики выходного напряжения ЦАП от цифрового кода на его входе.

Тема 3.7. Цифровые устройства в школе.**Лабораторная работа. Электронное реле.**

Цель: Изучить принцип электронного реле; научиться выполнять монтаж электронного реле.

1. Изучите принцип работы электронного реле.
2. Монтаж электронного реле.
3. Исследование реле с подключенными терморезистором и фоторезистором.

РАЗДЕЛ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ

РАЗДЕЛ 3. ЦИФРОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

1. История развития и области применения цифровой электроники.
2. Формирователи и преобразователи импульсов и их последовательностей.
3. Логические элементы цифровых устройств и их схемотехническая реализация.
4. Математические основы цифровой электроники.
5. Операции над числами в разных системах счисления. Двоично-десятичные числа.
6. Логические основы цифровой электроники.
7. Законы алгебры логики (Булева алгебра).
8. Элементная база цифровых устройств. ТТЛ и КМОП технологии.
9. Электронные ключи. Ключи на транзисторах.
10. Режимы транзистора в схеме ключа.
11. Логические элементы цифровых устройств. И, ИЛИ, НЕ.
12. Интегральные микросхемы логических устройств.
13. Мультивибраторы.
14. ТТЛ логика, физические значения уровней 0 и 1.
15. Реализация произвольных логических функций с помощью таблиц истинности, СДНФ СКНФ.
16. Шифраторы, дешифраторы.
17. Сумматоры.
18. Компараторы.
19. Мультиплексоры, демультиплексоры.
20. Триггер как последовательное устройство. Реализация триггеров на логических элементах.
21. Регистры.
22. Счетчики.
23. Цифровые измерительные приборы. АЦП.
24. Цифро-аналоговые и аналого-цифровые преобразователи.
25. Цифровые вольтметры.
26. Цифровые устройства в школе. Блочная машина-экзаменатор.
27. Использование цифровой техники в техническом творчестве и физическом эксперименте.
28. Электронное реле. Электронные часы и их структурная схема.

ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ

КОНТРОЛЬНЫЙ
ЭКЗЕМПЛЯР

**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени МАКСИМА ТАНКА»**

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе БГПУ
В.В. Шлыков
«07» 10 2015 г.
Регистрационный № УД 22-09-24-2015 /р.

ФИЗИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОНИКА (Цифровая электроника)

Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальности:
1-02 05 02 Физика и информатика

Факультет физический
Кафедра информатики и основ электроники

Курс (курсы)	3	
Семестр (семестры)	6	
Лекции	14	Экзамен 6 семестр
Практические (семинарские) занятия		Зачет —
Лабораторные занятия	28	Курсовая работа (проект) —
Аудиторных часов по учебной дисциплине	42	
Всего часов по учебной дисциплине	112	Форма получения высшего образования очная (дневная)

Составили: М.А. Вилькоцкий, доктор технических наук, профессор;
В.В. Юргульский, старший преподаватель.

2015 г.

Учебная программа составлена на основе учебной программы учреждения высшего образования «Физическая электроника», утвержденной 16.04.2014 г.

Регистрационный №УД –25-04-22/2014/ баз.

Рассмотрена и рекомендована к утверждению кафедрой информатики и основ электроники

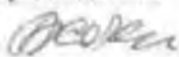
26.05.2015 протокол № 10
Заведующий кафедрой



В.М. Зеленкевич

Одобрена и рекомендована советом физического факультета БГПУ

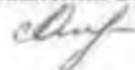
28.05.2015 протокол № 9
Председатель



В.Р. Соболев

Оформление учебной программы и сопровождающих ее материалов действующим требованиям Министерства образования Республики Беларусь соответствует

Методист учебно-методического
управления БГПУ



Е.А.Кравченко

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Важным элементом профессиональной культуры преподавателя физики является его подготовка в области электроники.

Цель раздела «Цифровая электроника» – формирование у будущего преподавателя физики системы знаний и практических навыков по основам цифровой электроники. Цифровая электроника опирается на применение знаний и навыков, полученных при изучении общей физики, а также электротехники и радиоэлектроники. При этом предусматривается получение углубленных знаний по разделам физики, связанным с электричеством, принципами работы цифровых электронных устройств. Раздел «Цифровая электроника» является основой для изучения дисциплины «Архитектура и программное обеспечение вычислительных систем» и более глубокого усвоения курса физики.

Основная задача лекций по курсу заключается в получении студентами теоретических знаний по работе современных цифровых устройств. На них предусмотрено рассмотрение вопросов связанных с основными логическими элементами, с особенностями работы различных триггеров, с принципами работы регистров и двоичных счетчиков, с устройством и принципом работы цифровых электронных измерительных приборов, с синтезом комбинационных схем, с построением различных цифровых схем по заданной булевой функции, с практическим применением знаний по цифровой технике в школьном техническом творчестве и т.д.

Лабораторные занятия обеспечивают формирование практических навыков работы с цифровыми устройствами, использование методов синтеза при разработке дискретных схем. На лабораторных занятиях предусматривается контроль степени готовности студентов к выполнению лабораторных работ и итоговая компьютерная проверка знаний по каждой лабораторной работе.

В соответствии со сказанным выше после изучения раздела «Цифровая электроника» студент должен **знать**:

1. математические основы цифровой электроники;
2. аналоговые устройства автоматики и цифровой электроники;
3. способы реализации булевых выражений;
4. основные принципы работы цифровых устройств, в том числе и цифровых измерительных приборов.

После изучения раздела «Цифровой электроники» студент должен **уметь**:

5. собирать цифровые устройства по схемам различной сложности;
6. анализировать и синтезировать схемы цифровых устройств ;
7. использовать полученные знания в кружковой работе со школьниками в кружках технического творчества;
8. использовать цифровые измерительные приборы при измерении параметров сигналов при изучении различных предметов.
9. использовать инновационные технологии для решения типовых профессиональных задач учителя физики и информатики.

В результате изучения учебной дисциплины студент должен **владеть:**

- навыками составления цифровых цепей;
- способами проектирования цифровых цепей с использованием современных компьютерных программ;
- приемами использования радиотехнических приборов в профессиональной деятельности будущего учителя физики.

Методы и формы обучения.

Обучение учебной дисциплине проходит в рамках организации лекционных и лабораторных занятий. В лекционном курсе рассматриваются новейшие концепции и подходы к изучению физической электроники. Обращается внимание на методологию постановки и решения задач. При чтении лекций особое внимание следует уделять демонстрации реальных электро-радиотехнических приборов, программных продуктов и мультимедийным презентациям, которые должны служить для будущих учителей образцом объяснения материала.

Лабораторные занятия направлены на формирование навыков практического использования полученных знаний при выполнении конкретных заданий. Методика их проведения должна содействовать развитию индивидуально-творческих способностей каждого студента и приобретению навыков самостоятельной работы.

Текущий контроль осуществляется при выполнении и сдаче лабораторных работ. Форма итогового контроля – экзамен.

Структура содержания учебной дисциплины

На изучение дисциплины «Физическая электроника» (раздел «Цифровая электроника») типовым учебным планом предусмотрено 112 часов, из них 42 часа аудиторных (14 лекционных и 28 лабораторных) занятий.

На лекциях рассматриваются теоретические основы радиоэлектроники. Лабораторные работы нацелены на формирование практических умений сборки и исследования электронных устройств. Особое внимание уделяется выяснению сущности физических процессов и законов, лежащих в основе работы различных радиоэлектронных устройств. Изучение материала опирается на использование знаний и навыков, полученных при изучении общей физики, математических и информационных дисциплин.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

1. Введение.

История развития и области применения цифровой электроники.

2. Математические основы цифровой электроники.

Позиционные системы счисления. Операции над числами в разных системах счисления. Логические основы цифровой электроники. Формы задания логической функции. Законы алгебры логики.

3. Элементы цифровых устройств.

Электронные ключи. Ключи на транзисторах. Режимы транзистора в схеме ключа. Логические элементы цифровых устройств. Формирователи одиночных импульсов и импульсных последовательностей на логических элементах. Мультивибраторы.

4. Комбинационные устройства.

Шифраторы, дешифраторы. Сумматоры. Компараторы. Мультиплексоры, демультиплексоры.

5. Последовательностные устройства.

Триггер как последовательностное устройство. Реализация триггеров на логических элементах. Регистры. Счетчики.

6. Цифровые измерительные приборы.

Цифро-аналоговые и аналого-цифровые преобразователи. Цифровые вольтметры.

7. Цифровые устройства в школе.

Использование цифровой техники в техническом творчестве. Электронное реле. Электронные часы. Электронный экзаменатор.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА

Номер раздела, темы, занятия	Название раздела, темы, занятия, перечень изучаемых вопросов	Количество аудиторных часов				Материальное обеспечение занятия (наглядные, методические пособия и др.)	Литература	Формы контроля знаний
		Лекции	Практические (семинарские) занятия	Лабораторные занятия	Управляемая самостоятельная работа студента			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	Цифровая электроника (42ч)	14	-	28				
	Введение (1 ч)							
1.1.	История развития и области применения цифровой электроники.	1				1. Презентация в Power Point	Электронный курс лекций по цифровой электронике (л.1), [введение]	
2.	Математические основы цифровой электроники (1 ч.)							
2.1.	Позиционные системы счисления (двоичная, десятичная, шестнадцатиричная). Операции над числами в разных системах счисления. Логические основы цифровой электроники. Формы задания логической функции. Законы алгебры логики.	1				1. Учебная компьютерная программа в оболочке «Студент»	Электронный курс лекций по цифровой электронике (л.2), [1]	1. Сдача тестовых заданий на компьютере
3.	Элементы цифровых устройств (6ч)							
3.1.	Электронные ключи. Ключи на транзисто-	2				1. Презентация	Электронный	1. Сдача индиви-

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	рах. Режимы транзистора в схеме ключа. Логические элементы цифровых устройств. Формирователи одиночных импульсов и импульсных последовательностей. Мульти-вибраторы					в Power Point	курс лекций по цифровой электронике (л.3)	дуальных тестовых заданий
3.2	Лабораторная работа №1 «Исследование работы логических элементов»			2		1. Лабораторный стенд. 2. Инструкция лабораторной работы №1. 3. Макеты логических элементов	Электронный курс лекций по цифровой электронике (л3), [2]	1. Компьютерный контроль готовности к выполнению работы. 2. Сдача на компьютере
3.2	Лабораторная работа №2 «Мультивибраторы»»			2		1. Лабораторный стенд. 2. Инструкция лабораторной работы №3. 3. Макеты мультивибраторов на логических элементах	Электронный курс лекций по цифровой электронике (л3), [7]	1. Компьютерный контроль готовности к выполнению работы. 2. Сдача на компьютере
4.	Комбинационные устройства (11 ч)							
4.1	Шифраторы, дешифраторы. Мультиплексоры, демultipлексоры.	1				1. Презентация. 2. Учебные плакаты	Электронный курс лекций по цифровой электронике (л.4), [6]	
4.2.	Сумматоры. Компараторы.	2				1. Презентация. 2. Учебные плакаты	Электронный курс лекций по цифровой электронике (л.5),	

1	2	3	4	5	6	7	8	9
							[6]	
4.3.	Лабораторная работа №3 «Исследование работы преобразователей кодов»»			4		1. Инструкция лабораторной работы № 7. 2. Лабораторный стенд. 3. Макеты логических элементов	Электронный курс лекций по цифровой электронике (л.4), [6]	1. Компьютерный контроль готовности к выполнению работы. 2. Сдача на компьютере
4.4.	Лабораторная работа №4 «Исследование работы сумматоров»»			2		1. Инструкция лабораторной работы №8. 2. Лабораторный стенд. 3. Макеты сумматоров	Электронный курс лекций по цифровой электронике (л.5), [6]	1. Компьютерный контроль готовности к выполнению работы. 2. Сдача на компьютере
4.5	Лабораторная работа №5 «Исследование работы компараторов»»			2		1. Инструкция лабораторной работы №8. 2. Лабораторный стенд. 3. Макеты сумматоров	Электронный курс лекций по цифровой электронике (л.5), [6]	1. Компьютерный контроль готовности к выполнению работы. 2. Сдача на компьютере
5.	Последовательностные схемы (12ч)							
5.1.	Триггер как последовательностное устройство. Реализация триггеров на логических элементах..	2				1. Презентация 2. Учебные плакаты. 3. Действующие модели последовательностных устройств	Электронный курс лекций по цифровой электронике (л.6), [3]	
5.2	Регистры. Счетчики	2				1. Презентация 2. Учебные плакаты.	Электронный курс лекций по цифровой электронике	

1	2	3	4	5	6	7	8	9
						3. Действующие модели последовательностных устройств	троники (л.7), [4],[5]	
5.3.	Лабораторная работа №6 «Исследование работы триггеров»			4		1. Инструкция лабораторной работы №2. 2. Лабораторный стенд. 3. Макеты триггеров	Электронный курс лекций по цифровой электронике (л.6), [3],	1. Компьютерный контроль готовности к выполнению работы. 2. Сдача на компьютере
5.3	Лабораторная работа №7 «Исследование работы регистров»			2		1. Инструкция лабораторной работы №4. 2. Лабораторный стенд. 3. Макеты регистров	Электронный курс лекций по цифровой электронике (л.7), [4]	1. Компьютерный контроль готовности к выполнению работы. 2. Сдача на компьютере
	Лабораторная работа №8 «Исследование работы счетчиков»			2		1. Инструкция лабораторной работы №5. 2. Лабораторный стенд. 3. Макеты счетчиков	Электронный курс лекций по цифровой электронике (л.7), [5]	1. Компьютерный контроль готовности к выполнению работы. 2. Сдача на компьютере
6.	Цифровые измерительные приборы (6 ч)							
6.1.	Цифро-аналоговые преобразователи (ЦАП) и аналого-цифровые преобразователи (АЦП). Цифровые вольтметры	2				1. Презентация 2. Учебные плакаты. 3. Действующие модели цифровых устройств	Электронный курс лекций по цифровой электронике (л.8), [8]	
6.2.	Лабораторная работа №9 «Цифро-			4		1. Инструкция ла-	Электронный	1. Компьютерный

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	аналоговые преобразователи»					бораторной работы №9. 2. Лабораторный стенд. 3. Макеты цифро-аналоговых преобразователей	курс лекций по цифровой электронике (л8), [8]	контроль готовности к выполнению работы. 2. Сдача на компьютере
7.	Цифровые устройства в школ (5 ч)							
7.1.	Использование цифровой техники в техническом творчестве. Электронное реле. Электронные часы. Электронный экзаменатор	1				1. Презентация. 2. Учебные плакаты.	Электронный курс лекций по цифровой электронике (л9), [9],[10]	
7.2.	Лабораторная работа №10 «Электронное реле»			4		1. Инструкция лабораторной работы №10. 2. Лабораторный стенд. 3. Макет электронного реле	Электронный курс лекций по цифровой электронике (л9), [9],[10]	1. Контрольный допуск к выполнению лабораторной работы. 2. Отчет по лабораторной работе
	Итого (42ч):	14		28				

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. Бойко В и др. Схемотехника электронных систем. Аналоговые и импульсные устройства. – СПб.: ВНУ, 2004.
2. Бойко В. и др. Схемотехника электронных систем. Цифровые устройства. – СПб.: ВНУ, 2004.
3. Бойт К. Цифровая электроника. – М.: Техносфера, 2007.
4. Дьюб Д.С. Электроника. Схемы и анализ. – М.: Техносфера, 2008.
5. Каплан Д., Уайт К. Практические основы аналоговых и цифровых схем. – М.: Техносфера, 2006.
6. Китунович Ф.Г., Зинчук С.Д. Электротехника. – Мн.: Техноперспектива, 2004.
7. Миловзоров О.В., Панков И.Г. Электроника. – М.: Высшая школа, 2008.
8. Ревич Ю. Занимательная электроника. – СПб.: БХВ, 2006.
9. Русак И.М., Луговский В.П. Технические средства ПЭВМ. – Мн.: Вышэйшая школа, 1996.
10. Фрике К. Вводный курс цифровой электроники. – М.: Техносфера, 2004.
11. Угрюмов Е.П. Цифровая схемотехника. – СПб.: БХВ, 2007.
12. Волович, Г.И. Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых электронных устройств / Г.И. Волович «Додека - 21», 2011 – 256с.
13. Шустов, М. Схемотехника / М.Шустов -. Наука и техника, 2013 – 230с.

Дополнительная

1. Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника и микропроцессорная техника. – М.: Высшая школа, 2006.
2. Новиков Ю.Н.. Электротехника и электроника. Теория цепей и сигналов, методы анализа. – СПб.: Питер, 2005.
3. Токхейм Р. Основы цифровой электроники. – М.: Мир, 1988.
4. Точи Р., Уидмер Н. Цифровые системы. Теория и практика. Вильямс, 2004.
5. Ушаков В.Н. Основы аналоговой и импульсной техники. Учебное пособие. – М.: РадиоСофт, 2004.
6. Кисаримов Р.А. Практическая автоматика. Справочник. – М.: РадиоСофт, 2004.

7. Блох А.Ш., Зинчук С.Д., Качинский А.М. Основы автоматики и вычислительной техники. Факультативный курс. – Мн.: «Нар. асвета», 1992.
8. Карякин, В. Цифровое телевидение / В.Карякин - Солон-Пресс, 2008 – 327с.

Перечень лекционных демонстраций по цифровой электронике.

1. Элементы цифровых устройств.

- 1.1. Действующие модели логических элементов ИЛИ, И, НЕ, ИЛИ-НЕ, И-НЕ.
- 1.2. Виртуальная модель основных логических элементов в программе Micro-Cap 5.
- 1.3. Виртуальная модель мультивибратора в программе Micro-Cap 5.

2. Комбинационные устройства.

- 2.1. Действующие модели шифратора, дешифратора, сумматора, компаратора, мультиплексора, демультимплексора.
- 2.2. Модели шифратора, дешифратора, мультиплексора, компаратора в программе POWER POINT.

3. Последовательностные устройства.

- 3.1. Действующие модели логических элементов триггеров, регистров и счетчиков.
- 3.2. Виртуальная модель триггеров в программе Micro-Cap 5.
- 3.3. Виртуальная модель регистров в программе Micro-Cap 5.
- 3.4. Виртуальная модель двоичных счетчиков в программе Micro-Cap 5.

4. Цифровые измерительные приборы.

- 4.1. Модель ЦАП в среде POWER POINT.
- 4.2. Модель АЦП в среде POWER POINT.
- 4.3. Модель цифрового вольтметра в среде POWER POINT.

5. Цифровые устройства в школе.

- 5.1. Макет экзаменатора для тестирования знаний.

ПЕРЕЧЕНЬ МАТЕРИАЛОВ НА ЭЛЕКТРОННЫХ НОСИТЕЛЯХ

9. Цифровая электроника. Электронный учебник.
10. Лекции по цифровой электронике в среде POWER POINT.
11. Вопросы тестов для проверки готовности студентов к выполнению лабораторных работ по цифровой электронике ко всем лабораторным работам.
12. Материалы тестов для проверки качества усвоения материала по лабораторным работам в оболочке «Студент». Материалы доступны в сети факультета S:/course04/.

НАГЛЯДНЫЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОСОБИЯ

Наглядные и методические пособия находятся в лаборатории цифровой электроники – корп. 3, каб. 212.

ПЕРЕЧЕНЬ СРЕДСТВ ДИАГНОСТИКИ

Для оценки достижений и уровня знаний студента при изучении дисциплины целесообразно применить комплексный инструментарий, который включает:

- контроль выполнения внеаудиторных заданий;
- контроль ведения рабочих тетрадей;
- выборочный отчет по внеаудиторным заданиям;
- устное собеседование, коллоквиум;
- компьютерное тестирование;
- зачетное занятие с учетом результатов рейтинг-листа, составленного по данным прохождения дисциплины в семестре.

ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН

№	Наименование раздела, темы	Всего	Лек-ции	Лабора-торные
1.	Введение	1	1	
2.	Математические основы цифровой электроники	1	1	
3.	Элементы цифровых устройств	6	2	4
4.	Комбинационные устройства	11	3	8
5.	Последовательностные устройства	12	4	8
6.	Цифровые измерительные приборы	6	2	4
7.	Цифровые устройства в школе	5	1	4
	Всего	42	14	28