



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Московский государственный технический университет  
имени Н.Э. Баумана  
(национальный исследовательский университет)»  
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

ФАКУЛЬТЕТ Информатика и системы управления (ИУ)

КАФЕДРА Компьютерные системы и сети (ИУ6)

НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ 09.03.03 Прикладная информатика

# РАСЧЕТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА К КУРСОВОЙ РАБОТЕ

**НА ТЕМУ:**

***Схемотехническое проектирование  
электронного устройства***

Студент ИУ6-65Б  
(Группа)

\_\_\_\_\_  
(Подпись, дата)

\_\_\_\_\_  
(И.О.Фамилия)

Руководитель курсовой работы

\_\_\_\_\_  
(Подпись, дата)

О.Ю.Еремин  
(И.О.Фамилия)

2022 г.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана  
(национальный исследовательский университет)»  
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой ИУ6  
(Индекс)  
А.В.Пролетарский  
(И.О.Фамилия)  
«    » 2022 г.

## З А Д А Н И Е на выполнение курсовой работы

по дисциплине Схемотехника

Студент группы ИУ6-65Б

(Фамилия, имя, отчество)

Тема курсовой работы Схемотехническое проектирование  
электронного устройства

Направленность КР (учебная, исследовательская, практическая, производственная, др.)  
учебная

Источник тематики (кафедра, предприятие, НИР) кафедра

График выполнения работы: 25% к 3 нед., 50% к 10 нед., 75% к 13 нед., 100% к 15 нед.

### ***Задание***

Разработать клавиатуру на 64 кнопки

### ***Оформление курсовой работы:***

Расчетно-пояснительная записка на 20-30 листах формата А4.

1. Схема электрическая функциональная
2. Диаграммы временные работы устройства
3. Диаграмма электрическая принципиальная
4. Спецификация (перечень) используемых элементов

Дата выдачи задания «08» февраля 2022 г.

Руководитель курсовой работы

О.Ю.Еремин  
(Подпись, дата) (И.О.Фамилия)

Студент

(Подпись, дата) (И.О.Фамилия)

Примечание: Задание оформляется в двух экземплярах: один выдается студенту, второй хранится на кафедре.

## РЕФЕРАТ

Записка 24 страницы, 16 рисунков, 3 таблиц, 7 источников, 5 приложений.

**КЛАВИАТУРА, МИКРОСХЕМА, ТТЛ, РЕГИСТР, СЧЕТЧИК.**

Объектом разработки является клавиатура.

Цель работы – создание функционального устройства, осуществляющего вывод информации посредством кнопок, на базе логики ТТЛ, а также разработка документации на это устройство.

При проектировании решены следующие задачи: анализ объекта разработки на функциональном уровне, разработка функциональной схемы модуля, выбор элементной базы для реализации объекта, разработка принципиальной схемы модуля, расчет электрических параметров.

Результатом проектирования является комплект конструкторской документации для изготовления устройства. Устройство должно обладать следующими техническими характеристиками:

- тип ввода данных: последовательный;
- логика элементов ТТЛ;
- тактовая частота 25,6 МГц;
- количество кнопок 64;
- возможность одновременного нажатия не менее 2 кнопок;
- потребляемая мощность не более 2 Вт.

## СОДЕРЖАНИЕ

|  |    |
|--|----|
| ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЕ И СОКРАЩЕНИЯ .....                  | 5  |
| ВВЕДЕНИЕ .....   | 6  |
| 1 Анализ требований.....                                     | 7  |
| 1.1 Принцип работы разрабатываемого устройства.....          | 7  |
| 1.2 Выбор схемотехнического решения .....                    | 7  |
| 2 Проектирование функциональной схемы .....                  | 9  |
| 2.1 Устройство обхода всех кнопок .....                      | 9  |
| 2.2 Кнопки.....  | 9  |
| 2.3 Регистры, хранящие зажатые кнопки .....                  | 11 |
| 2.4 Сравнение значения в регистрах проверки и записи .....   | 11 |
| 3 Моделирование.....   | 12 |
| 4 Проектирование принципиальной схемы устройства.....        | 14 |
| 4.1 Выбор серии.....   | 14 |
| 4.2 Выбор устройства для приема данных .....                 | 15 |
| 4.3 Выбор устройства для опроса кнопок .....                 | 15 |
| 4.4 Выбор устройства для сравнения значения в регистрах..... | 16 |
| 4.5 Выбор генератора тактовых импульсов .....                | 17 |
| 4.6 Выбор разъемов.....                                      | 18 |
| 4.7 Устранение помех .....                                   | 18 |
| 5 Проектирование принципиальной схемы устройства.....        | 19 |
| 5.1 Расчет статической мощности .....                        | 19 |
| 5.2 Расчет динамической мощности .....                       | 20 |
| 5.3 Расчет быстродействия.....                               | 21 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....   | 22 |
| СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....                        | 23 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ А Техническое задание .....                       | 24 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ Б Схема электрическая функциональная.....         | 28 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ В Схема электрическая принципиальная.....         | 29 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ Г Лист спецификации .....                         | 30 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ Д Временные диаграммы.....                        | 31 |

## ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

ТТЛ – Транзисторно-транзисторная логика

ТЗ – Техническое задание

УГО – Условное графическое обозначение

N-Key Rollover – Возможность одновременного нажатия любых N клавиш

МС – Микросхема

ЛЭ – Логический элемент

## **ВВЕДЕНИЕ**

В данной работе производится разработка клавиатуры с 64 кнопками и 2-Key Rollover.

Клавиатура предназначена для ввода информации при помощи кнопок. На выход устройства подается 2 номера зажатых клавиш, а также 2 сигнала индикации того, что клавиша зажата.

Актуальность разрабатываемого продукта заключается в необходимости создания устройства, способного выполнять данные функции в учебных целях.

## **1 Анализ требований**

Исходя из требований, описанных в ТЗ, можно сделать вывод, что целью работы является формирование устройства, содержащего 64 кнопки, формирующего выходной сигнал, соответствующий номеру нажатой кнопки.

### **1.1 Принцип работы разрабатываемого устройства**

Данные вводятся путем нажатия на кнопки, расположенные непосредственно на устройстве.

После нажатия на кнопку Т-триггер меняет свое состояние и посылает сигнал на синхровход регистра, в результате чего в регистр записывается текущий номер опрашиваемой кнопки. Регистр выбирается также с помощью Т-триггера, в результате чего при опросе кнопок может быть зарегистрировано сразу 2 одновременных нажатия.

### **1.2 Выбор схемотехнического решения**

Первоочередной задачей является ввод данных с кнопок. Для индикации того, что кнопка нажата, будет использоваться объединение через элемент 2И строки и столбца матрицы кнопок – если на соответствующем столбце и строке высокий уровень сигнала, значит, кнопка нажата.

Для хранения номера кнопки будет использоваться регистр хранения, по два для каждой одновременно зажатой кнопки.

Для того, чтобы реализовать возможность одновременного зажатия нескольких кнопок, будет использоваться поочередный опрос кнопок со счетчика – если кнопка зажата, то в регистр хранения заносится ее номер.

Для выбора регистра, хранящего номер кнопки, будет использоваться Т-триггер. При необходимости увеличения количества одновременно нажатых кнопок, Т-триггер может быть заменен на счетчик.

Для индикации того, что кнопка перестала быть зажатой, будет использоваться дополнительный (старший) разряд счетчика, проводящего опрос кнопок – значения нажатых кнопок, записанные во время этого опроса, будут сравниваться с прошлыми значениями.

Разработанная структурная схема представлена на рисунке 1

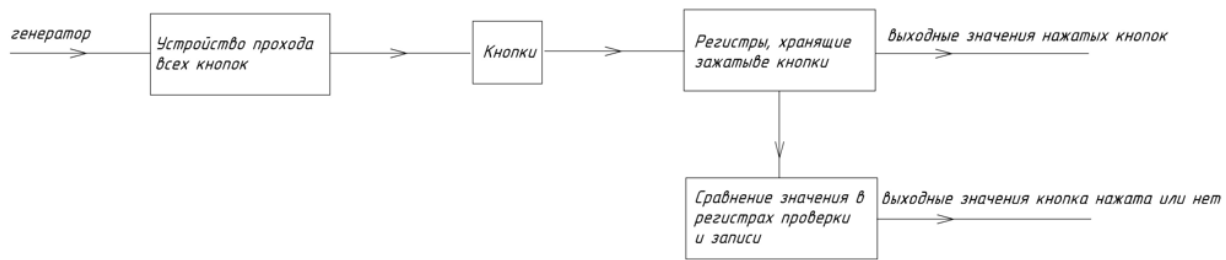


Рисунок 1 – Структурная схема устройства





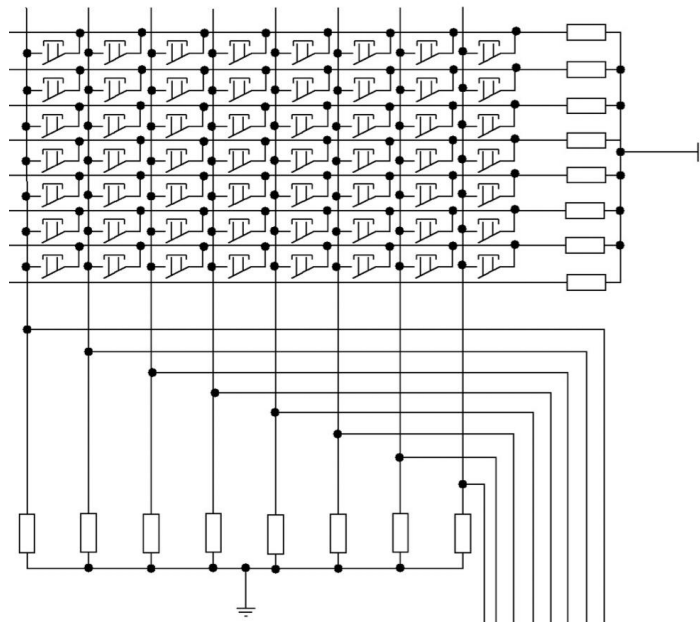


Рисунок 3 – Кнопки

После нажатия кнопки, после того как схема опроса дошла до кнопки, на соответствующих строке и столбце формируется высокий уровень сигнала.

### 2.3 Регистры, хранящие нажатые кнопки

Для хранения нажатых кнопок используется по два 6-разрядных регистра хранения на каждую одновременно нажатую кнопку. Для записи значения в регистр используется объединение условия высокого уровня сигнала на строке и столбце через элементы 2И, которые затем подключаются к элементу 8ИЛИ. Полученный сигнал подается на Т-триггеры, с помощью которых происходит выбор, в какой из регистров производить запись.

Разработанная схема представлена на рисунке 4.

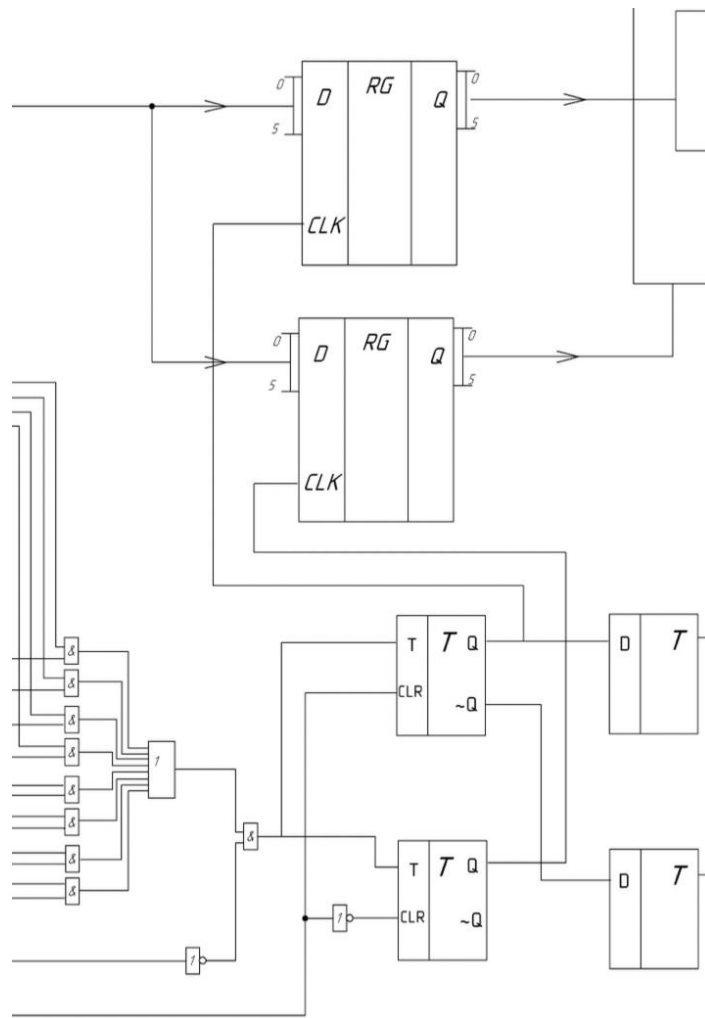


Рисунок 4 – Регистры, хранящие зажатые кнопки

## 2.4 Сравнение значения в регистрах проверки и записи

Так как в схеме отдельно содержатся регистры для записи номера зажатой кнопки и проверки того, что кнопка все еще зажата, то должно происходить сравнение значений в регистрах с помощью компаратора – если значения первой кнопки совпадают, то кнопка все еще нажата, и на выходе, служащим для индикации нажатия первой кнопки, будет высокий уровень сигнала. Аналогично схема работает для индикации нажатия второй кнопки.

Разработанная схема представлена на рисунке 5.

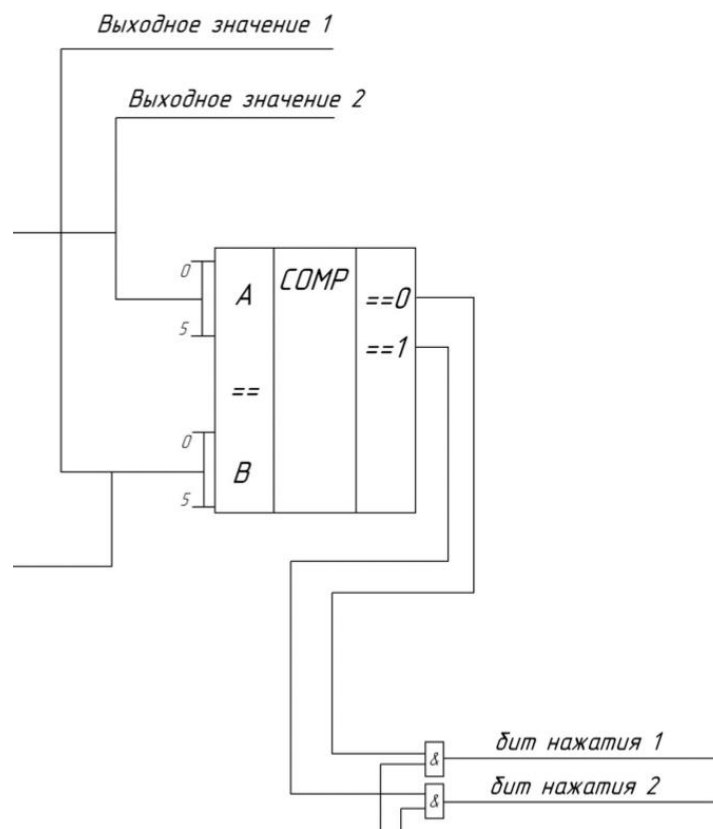


Рисунок 5 – Сравнение значения в регистрах проверки и записи

### 3 Моделирование

Для моделирования устройства была собрана и протестирована версия устройства с 16 кнопками в программе Multisim [1]. Результаты моделирования показаны на рисунке 6.

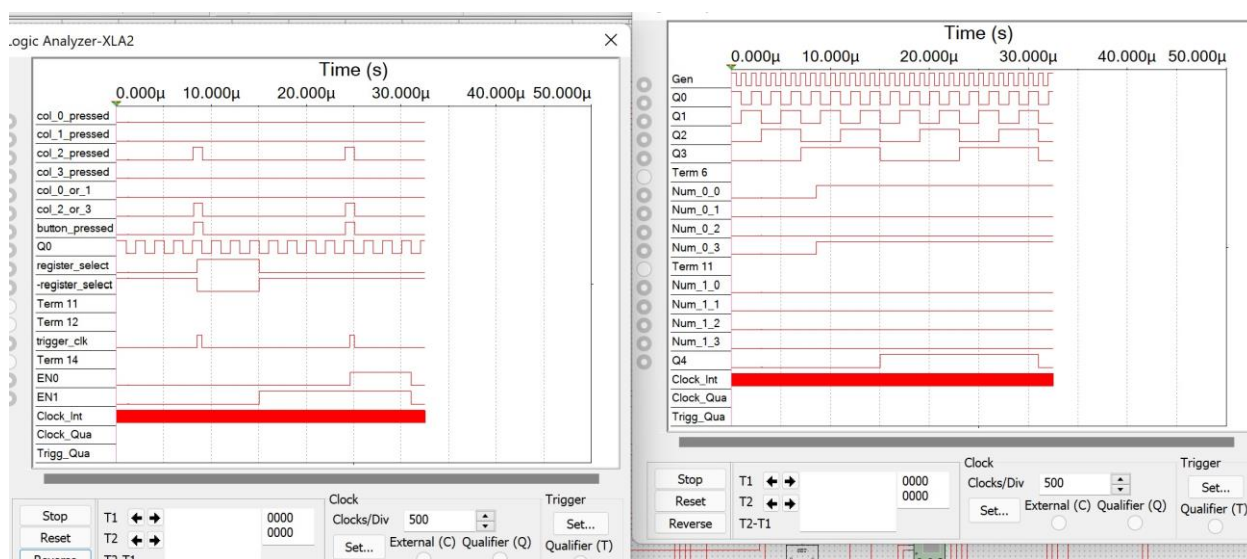


Рисунок 6 – Индикация нажатия кнопки, выбор регистра для записи, значения разрядов счетчика и регистров

## **4 Проектирование принципиальной схемы устройства**

В наши дни большинство микросхем изготавливаются по технологиям КМОП и ТТЛ. ТТЛ-микросхемы имеют высокое, в сравнении с КМОП, энергопотребление.

Выбирая элементную базу, следует учитывать основные критерии оценки элементов - быстродействие и суммарную потребляемую мощность. Согласно ТЗ, к объекту разработки предъявляется требование использования ТТЛ-логики.

Транзисторно-транзисторная логика (сокращенно ТТЛ или TTL по-английски) — технология построения электронных схем на основе биполярных транзисторов и резисторов. Название транзисторно-транзисторный появилось по причине того, что транзисторы использовались одновременно для выполнения логических функций (И, НЕ, ИЛИ) и для усиления выходного сигнала. Преимуществами ТТЛ является высокое быстродействие (десятки мегагерц) и относительно низкую чувствительность к воздействию статических зарядов.

### **4.1 Выбор серии**

В качестве серии микросхем была выбрана серия К555. У нас в стране обширна номенклатура выпускаемых интегральных микросхем. Для построения устройств автоматики и вычислительной техники широкое применение находят цифровые микросхемы серии К 155, которые изготавливают по стандартной технологии биполярных микросхем транзисторно-транзисторной логики (ТТЛ). Имеется свыше 100 наименований микросхем серии К 155. При всех своих преимуществах - высоком быстродействии, обширной номенклатуре, хорошей помехоустойчивости - эти микросхемы обладают большой потребляемой мощностью. Поэтому им на смену выпускают микросхемы серии К555, принципиальное отличие которых - использование транзисторов с коллекторными переходами, зашунтированными диодами Шоттки. В результате транзисторы микросхем серии К555 не входят в насыщение, что существенно уменьшает задержку выключения транзисторов. К тому же они значительно меньших размеров, что уменьшает емкости их р-п-переходов. В результате при сохранении быстродействия микросхем серии К555 на уровне серии К155 удалось уменьшить ее потребляемую мощность примерно в 4-5 раз.

### **4.2 Выбор устройства для приема данных**

В качестве элемента, который будет хранить исходные значения, был выбран регистр хранения К555ИР23. Регистр имеет 8 входов данных, и не имеет излишнего функционала. На рисунке 10 показано УГО элемента.

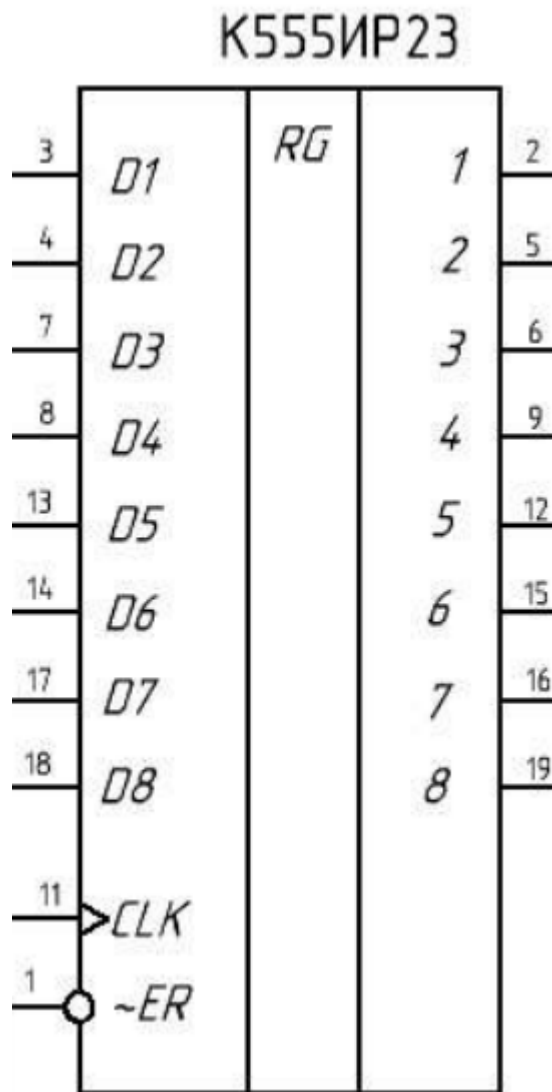


Рисунок 10 – УГО K555IP23

Входы D1:D8 используются в качестве шины для записи данных параллельного типа, Q1:Q8 – выходы. Вход 11 ( $CLK$ ) – синхровход. Вход 1 ( $\overline{ER}$ ) – инверсный вход сброса.

В качестве элемента 2И был выбран K555ЛИ1. Элемент 8ИЛИ был реализован с помощью элементов 2ИЛИ K555ЛЛ1. Элементы имеют 2 входа и 1 выход. На рисунках 11 и 12 соответственно представлены УГО элементов.

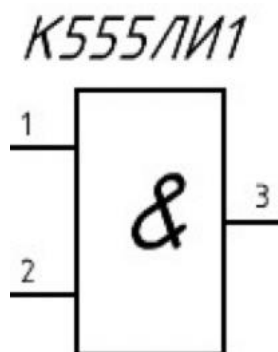


Рисунок 11 – УГО K555ЛИ1

*K555ЛЛ1*

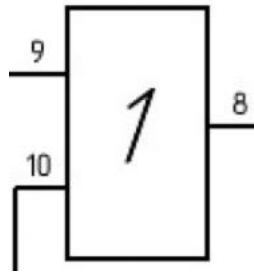


Рисунок 12 – УГО K555ЛЛ1

#### 4.3 Выбор устройства для опроса кнопок

В блоке опроса кнопок происходит выбор числа и его инкрементирование. Для выбора был выбран дешифратор K555ИД7, а для счета счетчик K555ИЕ10, представленные соответственно на рисунках 13 и 14.

*K555ИД7*

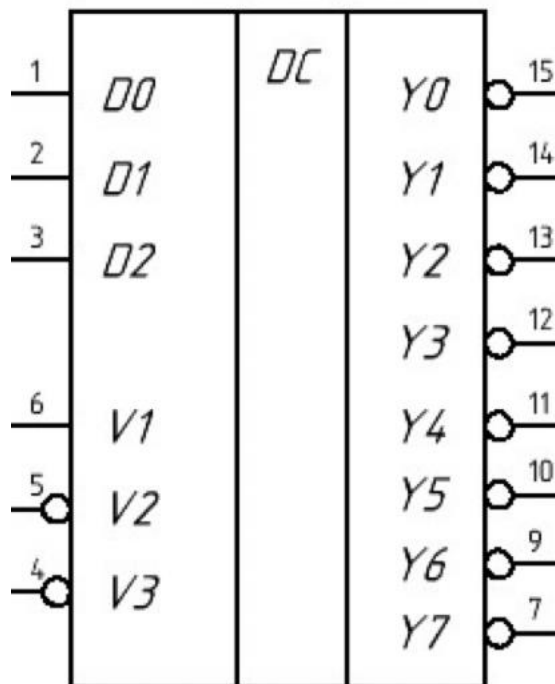


Рисунок 13 – УГО K555ИД7

Дешифратор имеет 3 входа числа D0-D2, один прямой разрешающий вход V1 и два инверсных разрешающих входа V3.



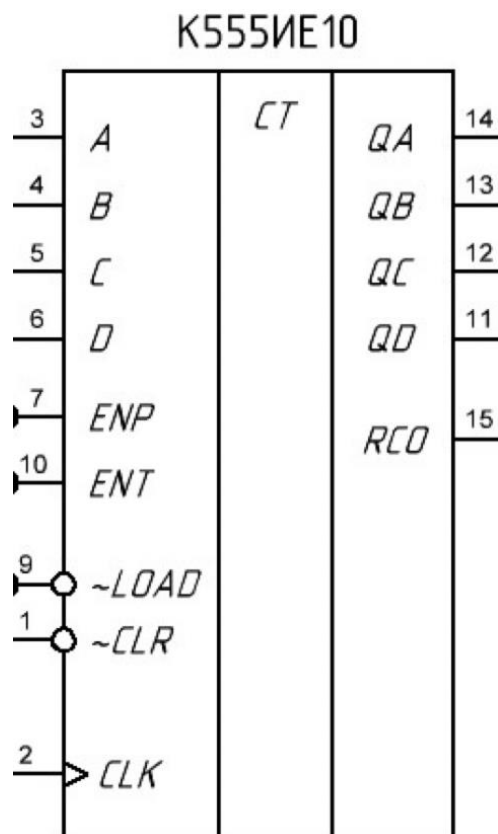


Рисунок 14 – УГО K555IE10

Счетчик имеет 4 входа числа A:D, инверсный вход загрузки числа в счетчик LOAD, инверсный вход сброса числа CLR и синхровход CLK, работающий по фронту сигнала.

#### 4.4 Выбор устройства для сравнения значения в регистрах проверки и записи

В качестве устройства для сравнения значения в регистрах проверки и записи был выбран компаратор K555СП1, УГО которого представлено на рисунке 15.

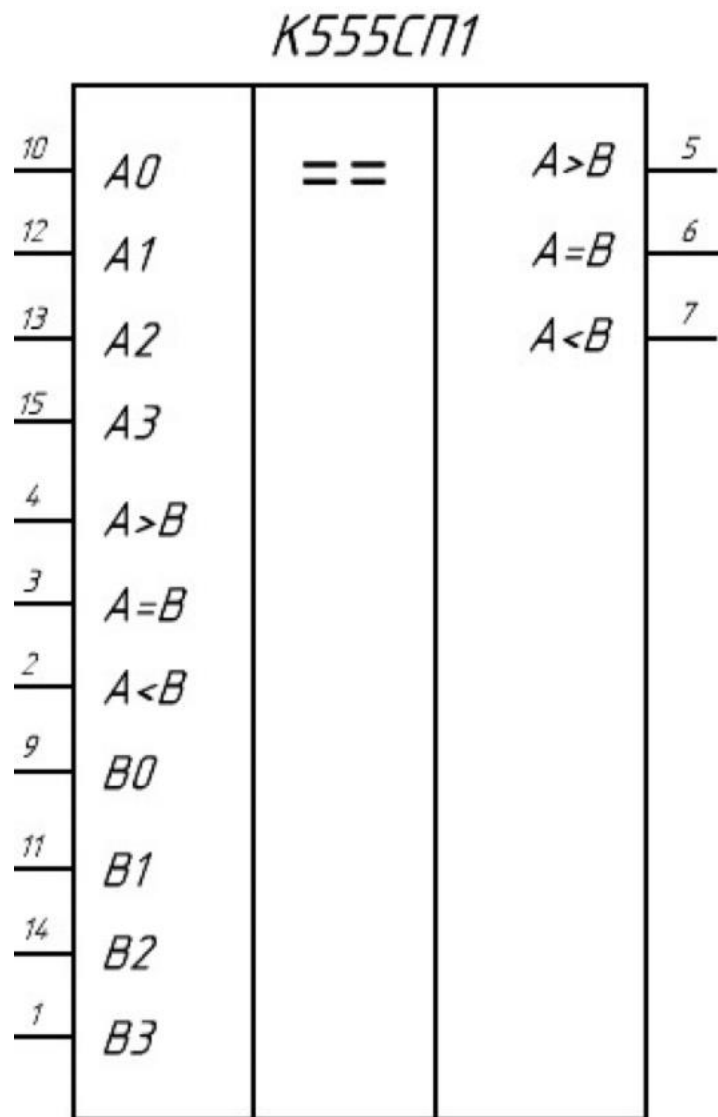


Рисунок 15 – УГО K555СП1

Компаратор имеет 2 входа числа, каждое из которых состоит из 4 бит. Помимо этого, компаратор содержит 3 входа, которые служат для наращивания и нужны в случае, если сравниваемые числа состоят из больше чем 4 бит.

#### 4.5 Выбор генератора тактовых импульсов

Для того, чтобы обеспечить схему стабильными тактовыми импульсами, необходимо собрать тактовый генератор с заданной частотой. На рисунке 16 представлена схема генератора.

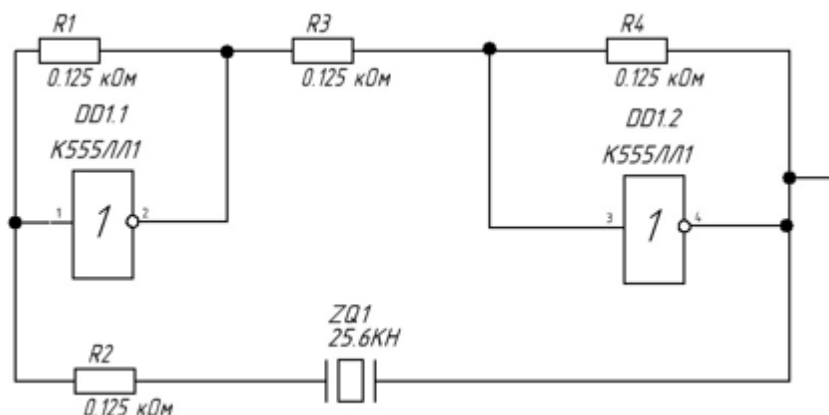


Рисунок 16 – Генератор тактовых импульсов

#### 4.6 Выбор разъемов

Устройство требует наличия двух разъемов, имеющих следующие функциональные назначения – вывод номера нажатой кнопки и индикация нажатия кнопки, входы для питания и земли:

- 1) разъем XS имеет 18 контактов-выходов данных;
- 2) разъем XP имеет 2 контакта-входа земли и питания.

#### 4.7 Устранение помех

Источник питания может быть нестабилен и выдавать скачки напряжения, из-за чего работа устройства может быть прервана. Для устранения такого явления между линией питания +5В и линией заземления 0В необходимо установить электролитические конденсаторы. Один конденсатор, с наибольшим значением, должен быть расположен в близости от разъема питания, а его емкость равна 10 мкФ.

Для снижения скачков напряжения, обусловленных переходными процессами в микросхемах, необходимо установить параллельные конденсаторы. Для разрабатываемой схемы устройства потребуется 10 конденсаторов емкостью 0.1 мкФ.

Помехи в разрабатываемом устройстве могут возникать также из-за неиспользуемых входов, которые могут создавать помехи в цепях. Для устранения такого явления все неиспользуемые прямые входы были соединены с общей линией земли (0В), а инверсные входы – с линией питания (+5В).

## 5 Расчет потребляемой мощности устройства

Рассчитаем мощность, потребляемую сумматором последовательного действия. На все МС подано напряжение 5В. Суммарная мощность, потребляемая устройством, состоит из статической и динамической мощностей.

### 5.1 Расчет статической мощности

Рассчитаем статическую мощность, потребляемую спроектированным устройством по формуле:

$$P_{\text{стат.микро.}} = U_{\text{cc}} \times I_{\text{cc}}, \quad (1)$$

где  $U_{\text{cc}}$  – напряжение питания (равно 5В),  $I_{\text{cc}}$  – ток потребления микросхемы. Результаты расчета показаны в таблице 2.

Таблица 2 – Расчет мощности, потребляемой в статическом режиме

| Тип ИМС    | Количество ИМС<br>данного типа, шт | Максимальная<br>мощность,<br>потребляемая ИМС,<br>мВт | Суммарная<br>мощность, мВт |
|------------|------------------------------------|---|----------------------------|
| КРК555ЛН1  | 4                                  | 23.63   | 94.52                      |
| КРК555ИЕ10 | 2                                  | 168   | 336                        |
| КРК555ИД7  | 2                                  | 51  | 102                        |
| КРК555ЛИ1  | 4                                  | 34.65   | 138.6                      |
| КР1564ЛЛ1  | 2                                  | 42  | 84                         |
| КРК555ТМ2  | 2                                  | 42  | 84                         |
| КРК555ИР23 | 2                                  | 210   | 420                        |
| КРК555СП1  | 2                                  | 104.4   | 208.8                      |
|            |                                    | <b>Итого:</b>   | 1467.92                    |

Учтем рассеиваемую мощность на сопротивлении R5:

$$P_{R1} = \frac{U_{R5}^2}{R5} = \frac{5^2}{125} = 0.2 \text{ (Вт)}$$

Таким образом, суммарная потребляемая мощность в статическом режиме равна:

$$P_{\text{стат.микро.}} = 200 \text{ (мВт)} + 1467.92 \text{ (мВт)} = 1667.92 \text{ (мВт)}$$

### 5.2 Расчет динамической мощности

Рассчитаем динамическую потребляемую мощность каждой микросхемы по формуле:

$$P_{\text{дин.}} = C_0 U_{\text{пит.}}^2 f_{\text{вх.}} + C_{\text{нагр.}} U_{\text{пит.}}^2 f_{\text{вых.}} = U_{\text{пит.}}^2 (C_0 f_{\text{вх.}} + C_{\text{нагр.}} f_{\text{вых.}}), \quad (2)$$

где  $C_0$  – входная емкость МС,  $U_{\text{пит.}}$  – напряжение питания (5В),  $C_{\text{нагр.}}$  – емкость нагрузки,  $f_{\text{вх.}}$  – входная частота и  $f_{\text{вых.}}$  – выходная частота. Результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3 — Расчет мощности, потребляемой в динамическом режиме

| Тип ИМС    | Количество микросхем | Потребляемая динамическая мощность, мВт |
|------------|----------------------|---|
| КРК555ЛН1  | 4                    | 6                                       |
| КРК555ИЕ10 | 2                    | 3                                       |
| КРК555ИД7  | 2                    | 3                                       |
| КРК555ЛИ1  | 4                    | 6                                       |
| КР1564ЛЛ1  | 2                    | 3                                       |
| КРК555ТМ2  | 2                    | 3                                       |
| КРК555ИР23 | 2                    | 3                                       |
| КРК555СП1  | 2                    | 3                                       |
|            | <b>Итого:</b>        | 30                                      |

Таким образом, суммарная потребляемая мощность в динамическом режиме, равна 18 мВт.

Мощность, потребляемая устройством равна:

$$P_{\text{сум.}} = 1667.92 + 30 = 1697.92 \text{ (мВт)}$$

Полученная мощность удовлетворяет указанным в ТЗ требованиям.

### 5.3 Расчет быстродействия

В таблице 4 представлено быстродействие используемых элементов

Таблица 4 — Быстродействие используемых элементов

| Тип ИМС    | $t_{3P}^{01}$ , нс | $t_{3P}^{10}$ , нс |
|------------|--------------------|--------------------|
| КРК555ЛН1  | 20                 | 20                 |
| КРК555ИЕ10 | 35                 | 35                 |
| КРК555ИД7  | 27                 | 40                 |
| КРК555ЛИ1  | 24                 | 24                 |
| КР1564ЛЛ1  | 22                 | 22                 |
| КРК555ТМ2  | 40                 | 25                 |
| КРК555ИР23 | 34                 | 34                 |
| КРК555СП1  | 39                 | 36                 |

Рассчитаем максимальное время задержки формирования выходного сигнала с момента начала отсчета длительности нового уровня сигнала на выходе:

$$\begin{aligned}
t_{\text{зд.р.}} &= 2 \cdot t_{\text{ЛН1}} + t_{\text{ИЕ10}} + t_{\text{ИД7}} + 4 \cdot t_{\text{ЛИ1}} + 8 \cdot t_{\text{ЛЛ1}} + 2 \cdot t_{\text{ТМ2}} + t_{\text{ИР23}} + t_{\text{СП1}} \\
&= 2 \cdot 20 + 35 + 27 + 4 \cdot 24 + 8 \cdot 22 + 2 \cdot 40 + 34 + 2 \cdot 39 = 319 \text{ (нс)}
\end{aligned}$$

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В ходе выполнения курсового проекта получены функциональное и принципиальное описание устройства, а также временные диаграммы симуляции его работы.

Устройство представляет собой клавиатуру – одно из основных устройств ввода, часто используемых на компьютере.

Было произведено моделирование разработанного устройства в программе Multisim. По результатам моделирования было выяснено, что устройство работает корректно.

Устройство имеет следующие технические характеристики:

- тип ввода данных: последовательный;
- логика элементов ТТЛ;
- тактовая частота 25,6 МГц;
- количество кнопок 64;
- возможность одновременного зажатия не менее 2 кнопок;
- потребляемая мощность не более 2 Вт.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Документация Multisim [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.ni.com/pdf/manuals/374483d.pdf> (дата обращения 03.05.22)
- 2 ГОСТ 2.743-91 ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Элементы цифровой техники [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-2-743-91-eskd> (дата обращения 03.05.22)
- 3 Отечественные микросхемы и их зарубежные аналоги [Электронный ресурс]. URL: <https://schem.net/sprav/sprav48.php> (дата обращения 03.05.22)
- 4 Справочник по микросхемам TTL серий [Электронный ресурс]. URL: [http://rfanat.qrz.ru/s21/ms\\_74xx.html](http://rfanat.qrz.ru/s21/ms_74xx.html) (дата обращения 03.05.22)
- 5 Справочный материал микросхемы К555ИД7 [Электронный ресурс] <https://eandc.ru> URL: <https://eandc.ru/pdf/mikroskhema/k555id7.pdf>
- Справочный материал микросхемы К555ИЕ10 [Электронный ресурс] <https://eandc.ru> URL: <https://eandc.ru/pdf/mikroskhema/k555ie10.pdf>
- 6 Справочный материал микросхемы К555ИР23 [Электронный ресурс] <https://eandc.ru> URL: <https://eandc.ru/pdf/mikroskhema/k555ir23.pdf>
- 7 Справочный материал микросхемы К555ТМ2 [Электронный ресурс] <https://eandc.ru> URL: <https://eandc.ru/pdf/mikroskhema/k555tm2.pdf>