



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное 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_____

КАФЕДРА _____КОМПЬЮТЕРНЫЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ_____

НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ _____09.03.03 ПРИКЛАДНАЯ ИНФОРМАТИКА_____

РАСЧЕТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА К КУРСОВОЙ РАБОТЕ

НА ТЕМУ:

Схемотехническое проектирование
электронного устройства

Студент ИУ6-64Б
(Группа)

(Подпись, дата) Д.О. Кошенков
(И.О. Фамилия)

Руководитель курсовой работы

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

2025 г.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное 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)

« » 2025 г.

ЗАДАНИЕ
на выполнение курсовой работы

по дисциплине Схемотехника

Студент группы ИУ6-64Б

Кошенков Дмитрий Олегович

(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 КР: 25% к 3 нед., 50% к 10 нед., 75% к 13 нед., 100% к 15 нед.

Техническое задание Цифровой омметр с диапазоном измерения от 1 Ом до 1 МОм

Оформление курсовой работы:

Расчетно-пояснительная записка (РПЗ) на 20-30 листах формата А4.

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

Дата выдачи задания « » 2025 г.

Руководитель курсовой работы

(Подпись, дата)

О.Ю. Ерёмин

(И.О. Фамилия)

Студент

(Подпись, дата)

Д.О. Кошенков

(И.О. Фамилия)

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

РЕФЕРАТ

Расчетно-пояснительная записка состоит из 22 страниц, включающих в себя 9 рисунков, 3 таблиц, 5 источников и 0 приложений.

КМОП, ОММЕТР, RC-ЦЕПЬ, ИЗМЕРЕНИЕ ВРЕМЕННЫХ ИНТЕРВАЛОВ ЦИФРОВОЙ СЧЕТЧИК

Объектом разработки является цифровой омметр, реализующий метод измерения сопротивления на основе времязадающей RC-цепи.

Цель работы – проектирование цифрового омметра, построенного на интегральных микросхемах, выполненных по технологии КМОП, и предназначенного для измерения электрического сопротивления в заданном диапазоне. Актуальность работы заключается в необходимости создания простых и достаточно точных цифровых средств для измерения электрического сопротивления, являющегося одной из базовых задач в электронике и приборостроении. Применение метода, основанного на измерении времени заряда RC-цепи, позволяет реализовать гибкое и масштабируемое устройство. Путем изменения емкости конденсатора или частоты тактового генератора можно легко адаптировать прибор для измерения сопротивлений в широком диапазоне значений без значительного усложнения схемы.

В результате разработки было спроектировано устройство, осуществляющее измерение сопротивления путем преобразования его величины во временной интервал заряда конденсатора известной емкости до заданного порогового напряжения. Данный интервал измеряется с помощью цифрового счетчика, тактируемого стабильным генератором частоты, и полученное цифровое значение преобразуется для отображения результата на цифровом индикаторе.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1 Анализ требований	6
1.1 Описание принципа работы описываемого устройства	6
1.2 Выбор схемотехнического решения	6
2 Проектирование электрической функциональной схемы	8
2.1 Блок измеряемого резистора и измерительной RC-цепи	8
2.2 Блок отображения	8
2.3 Блок сравнения	8
2.4 Блок управления	9
3 Построение временных диаграмм	10
4 Разработка принципиальной электрической схемы	11
4.1 Выбор элементной базы	11
4.2 Обоснование и синтез принципиальной схемы	11
4.3 Выбор генератора тактовых импульсов	17
5 Расчёт быстродействия	18
6 Расчет потребляемой мощности	19
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	21
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	22

ВВЕДЕНИЕ

Измерение электрического сопротивления является одной из базовых задач в электронике, радиотехнике и приборостроении. Точное определение номинала резисторов, проверка целостности цепей и измерение параметров различных компонентов и датчиков – неотъемлемая часть разработки, настройки и ремонта электронных устройств. Существует множество методов и приборов для измерения сопротивления, от классических аналоговых омметров до сложных цифровых мультиметров и измерительных мостов. Данная работа посвящена разработке цифрового омметра, реализующего метод цифрового измерения сопротивления, основанный на использовании времязадающей RC-цепи и цифровых счетчиков.

Принцип действия разрабатываемого устройства заключается в измерении времени, необходимого для заряда конденсатора известной емкости через измеряемое сопротивление до определенного порогового напряжения. Это время напрямую связано с постоянной времени RC-цепи и, следовательно, пропорционально измеряемому сопротивлению R . Для точного измерения этого временного интервала используются цифровые счетчики, тактируемые стабильным генератором частоты. Полученное цифровое значение со счетчиков затем преобразуется и отображается как измеренное сопротивление.

Актуальность разработки такого устройства заключается в возможности создания относительно простого, но достаточно точного цифрового омметра. Преимуществом метода является также гибкость и масштабируемость: путем изменения емкости конденсатора или частоты тактового генератора можно легко адаптировать прибор для измерения сопротивлений в широком диапазоне значений без значительного усложнения схемы, диапазон измерений также можно увеличить, увеличением количества счетчиков.

Электрические схемы выполнены согласно ГОСТ [1].

1 Анализ требований

Согласно требованиям технического задания, результатом работы устройства является вычисление сопротивления в диапазоне от 1Ом до 1МОм. Устройство должно быть реализовано на доступной элементной базе с использованием стандартных цифровых компонентов.

1.1 Описание принципа работы описываемого устройства

В качестве входных данных устройство принимает измеряемый резистор, подключаемый к специальным контактам. Данный резистор используется как элемент R в составе времязадающей RC-цепи, совместно с конденсатором известной емкости C , для получения характерной постоянной времени $T = R \cdot C$.

Принцип действия разрабатываемого устройства заключается в измерении временного интервала, необходимого для заряда конденсатора C через измеряемое сопротивление R до порогового напряжения. Данный временной интервал напрямую связан с постоянной времени RC-цепи и, следовательно, пропорционален измеряемому сопротивлению R . Постоянная времени определяется как время, за которое напряжение на конденсаторе при его заряде достигает 63.2% от напряжения питания.

Для точного измерения указанного временного интервала используются цифровые счетчики, тактируемые импульсами генератора тактовой частоты. Полученное количество тактовых импульсов за время заряда отображается на цифровом индикаторе как измеренное значение сопротивления, и полученная величина кратна измеряемому сопротивлению.

1.2 Выбор схемотехнического решения

Исходя из описанного принципа измерения сопротивления, основанного на заряде RC-цепи, выбирается структурная схема устройства, представленная в Приложении Б. Процесс измерения инициируется блоком управления, который координирует взаимодействие всех узлов устройства.

По команде начала измерения блок управления формирует сигнал, запускающий заряд конденсатора в измерительной RC-цепи, входящей в состав измерительного узла. Одновременно с началом заряда блок управления разрешает работу блока счетчиков. Блок счетчиков начинает подсчет импульсов, поступающих от генератора тактовых импульсов, который обеспечивает стабильную временную базу для измерений.

В течение процесса заряда напряжение на конденсаторе непрерывно контролируется блоком сравнения, также являющимся частью измерительного узла. Как только напряжение на конденсаторе достигает заранее установленного порогового значения, блок сравнения формирует сигнал окончания заряда. Этот сигнал немедленно поступает в блок управления.

Получив сигнал окончания заряда, блок управления формирует сигнал запрета счета, который останавливает работу блока счетчиков. В блоке счетчиков фиксируется итоговое количество тактовых импульсов, подсчитанное строго за время заряда конденсатора до порогового уровня.

Зафиксированное в блоке счетчиков цифровое значение пропорционально измеряемому сопротивлению. Блок управления передает сигнал готовности данных в блок вывода результата. Блок вывода считывает цифровой код из блока счетчиков формирует управляющие сигналы для отображения результата на цифровом индикаторе.

2 Проектирование электрической функциональной схемы

Описание принципов работы блоков и их взаимодействия позволило выделить основной функционал устройства и провести верхнеуровневый анализ происходящих в нем процессов. Разработанная функциональная схема устройства представлена в Приложении В.

2.1 Блок измеряемого резистора и измерительной RC-цепи

Данные блоки отвечают за взаимодействие с аналоговой частью схемы и визуализацию конечного результата. Узел D1 представляет собой интерфейс измерительной RC-цепи, обеспечивая подключение внешнего измеряемого резистора и принимая управляющие сигналы «Старт» и «Сброс» для начала заряда и разряда конденсатора соответственно. Выход U узла DD1 представляет аналоговое напряжение на конденсаторе RC-цепи. АЦП D3 непрерывно преобразует это напряжение U в 14-разрядный цифровой код.

2.2 Блок отображения

Счетчик D9 накапливает результат подсчета тактовых импульсов в процессе измерения. Итоговое значение с D9 по 4-разрядной шине передается непосредственно на семисегментный индикатор для отображения результата измерения.

2.3 Блок сравнения

Блок сравнения осуществляет операцию сравнения цифрового значения напряжения, поступающего с АЦП (DD2), с пороговым значением, хранящимся в регистре константы (D3). Компаратор D4 производит непрерывное сравнение этих двух 14-разрядных кодов. При превышении измеряемым напряжением порогового уровня, компаратор D4 формирует сигнал завершения измерения.

2.4 Блок управления

Сигнал «Сброс» обнуляет счётчик D9 и разряжает конденсатор RC-цепи.

Активный сигнал «Старт» инициирует начало процесса измерения. Он запускает заряд конденсатора в узле D2 и одновременно устанавливает триггер D7 в состояние $Q=1$. Второй вход элемента И D6 подключается к выходу компаратора D4, отражающему результат сравнения текущего напряжения с пороговым. Таким образом, пока идет заряд и напряжение не достигло порога, оба входа элемента D6 активны, и его выход также равен логической 1.

Выход элемента D7 поступает на управляющий вход S мультимплексора D8. При $S=1$ мультимплексор передает на свой выход Y сигнал со входа X0, то есть тактовые импульсы от генератора G. Эти импульсы поступают на тактовый вход C счетчика D7, который начинает подсчет, измеряя длительность процесса заряда. Когда напряжение на конденсаторе достигает порогового значения, соответствующий выход компаратора D4 становится неактивным. Это приводит к установке выхода элемента И D6 в логический 0. Мультимплексор D8, управляемый теперь сигналом $S=0$, переключается и передает на выход Y сигнал со входа X1, прекращая поступление тактовых импульсов на счетчик D9. Таким образом, счет останавливается точно в момент достижения порогового напряжения, и в счетчике фиксируется значение, пропорциональное времени заряда конденсатора. На лампу EL1 подается сигнал о том, что расчет окончен и вывод корректен.

3 Построение временных диаграмм

Согласно требованиям технического задания необходимо разработать временные диаграммы для пояснения принципов работы разрабатываемого устройства. Разработанные временные диаграммы представлены на рисунке , а также в приложении Г.

Сигналы «start» и «rst» формируются в произвольный момент, их снятие происходит синхронно по переднему фронту тактового сигнала clk. При поступлении асинхронного сигнала «start» (0) запускается синхронный процесс измерения, в результате чего на выходной шине out[31:0] появляется цифровой код счёта (1). После накопления корректного значения активируется флаг «valid» (2), свидетельствуя о готовности данных. Деактивация «start» синхронно по фронту clk (3) прекращает поступление тактовых импульсов на счётчик. Активация «rst» (4) обнуляет выходную шину out[31:0] и сбрасывает флаг «valid» (5), возвращая систему в исходное состояние.

4 Разработка принципиальной электрической схемы

Разработанная принципиальная схема устройства представлена в приложении Д.

4.1 Выбор элементной базы

Согласно заданию для разрабатываемого устройства необходимо применять КМОП-логику с учётом приоритетов быстродействия и суммарной потребляемой мощности. Выбор элементной базы производится на основе анализа характеристик отечественных серий: К561, КР1561 и К564. В таблице 1 представлено сравнение элементов разных серий.

Таблица 1 — Максимальные задержки на микросхемах

Параметр	К561	К564	КР1561	КР1533
вентиль	0,1...100	0,1...100	0,1...100	0,1...100
задержка	50	50	50	50
питание	3...15	3...15	3...15	4,5...5,5

Видно, что все три серии обеспечивают одинаковые показатели энергопотребления и быстродействия, и выбор конкретной серии определяется требуемыми функциональными блоками и габаритными ограничениями корпуса.

4.2 Обоснование и синтез принципиальной схемы

Микросхема КР1564ЛЛ1 представляет собой четыре логических элемента 2 ИЛИ. Информационными входами являются пары выводов: 1 и 2, 4 и 5, 9 и 10, 12 и 13. Информационными выходами являются выводы 3, 6, 8, 11. Вывод 7 — «общий» (земля), вывод 14 — питание. Микросхема изображена на рисунке 1

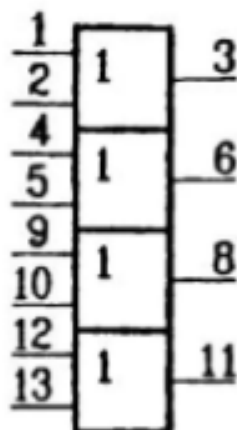


Рисунок 1 — Микросхема КР1564ЛЛ1

Микросхема К1564ЛИ2 представляет собой четыре логических элемента 2 И. Информационными входами являются пары выводов: 1 и 2, 4 и 5, 9 и 10, 12 и 13. Информационными выходами являются выводы 3, 6, 8, 11. Вывод 7 — «общий» (земля), вывод 14 — питание. Микросхема изображена на рисунке 2

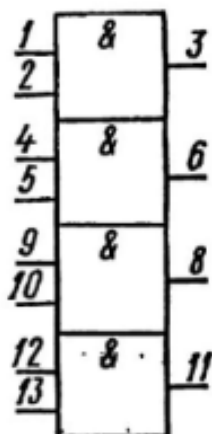


Рисунок 2 — Микросхема К1564ЛИ2

Микросхема КР1564ЛН1 (ЭП, корпус 401.14-5) представляет собой шесть логических элементов инвертор (НЕ). Информационными входами являются 1, 3, 5, 9, 11, 13. Информационными выходами являются выводы 2, 4, 6, 8, 10, 12. Вывод 7 — «общий», вывод 14 — питание. Микросхема изображена на рисунке 3.

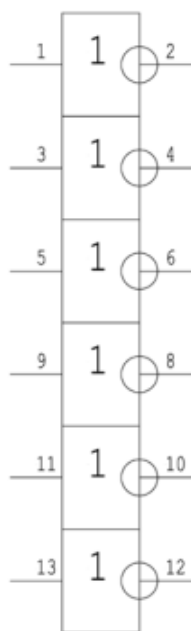


Рисунок 3 — Микросхема КР1564ЛН1

Микросхема К561ИП2 представляет собой цифровой компаратор двух четырёхразрядных чисел. Информационными входами являются $A_0...A_3$ (входы 1, 9, 11, 14) и $B_0...B_3$ (входы 10, 12, 13, 15). Информационными выходами являются вывод 5 – $A > B$, вывод 6 – $A = B$, вывод 7 – $A < B$. Вход 8 – «общий» (земля), вывод 16 – питание. Микросхема изображена на рисунке 4.

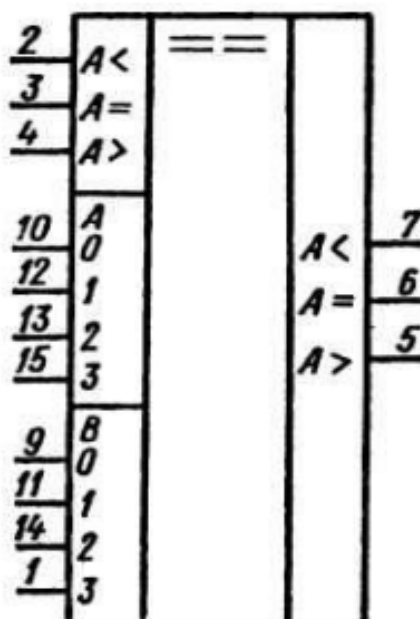


Рисунок 4 — Микросхема К561ИП2

Микросхема КР1564ИЕ6 представляет собой двоично-десятичный реверсивный счётчик. Информационными входами являются выходы данных D0...D3 (15, 1, 9 и 10), тактовые импульсы на увеличение +1 (вывод 5) и на уменьшение -1 (вывод 4), вход разрешения загрузки ED (вывод 11) и асинхронный сброс CLR (вывод 14). Информационными выходами являются счётчики Q0...Q3 (3, 2, 6 и 7), выход переноса при сложении CR (12) и выход заимствования при вычитании BR (13). Вывод 8 — «общий» (земля), вывод 16 — питание. Микросхема изображена на рисунке 5.

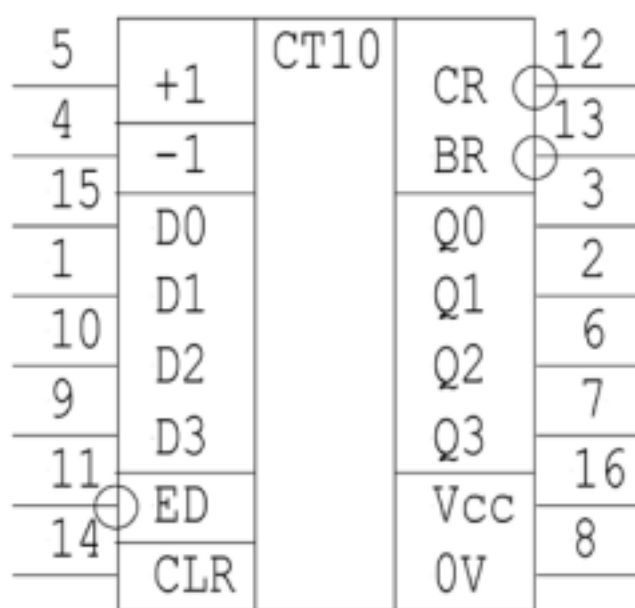


Рисунок 5 — Микросхема КР1564ИЕ6

Микросхема К561КТ3 представляет собой четыре двунаправленных переключателя. Информационными входами являются контакты X1...X4 (выводы 1, 4, 8 и 11), управляющими входами — V1...V4 (выводы 13, 5, 6 и 12). Информационными выходами являются контакты Y1...Y4 (выводы 2, 3, 9 и 10). Вывод 7 — «общий» (земля), вывод 14 — питание. Микросхема изображена на рисунке 6.

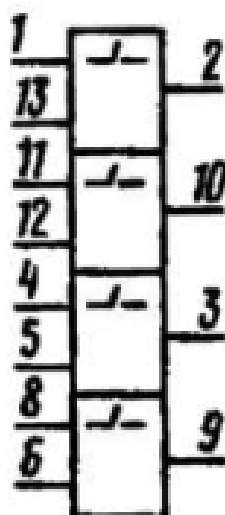


Рисунок 6 — Микросхема K561KT3

Микросхема КР1564ТМ8 представляет собой четыре D-триггера с прямыми и инверсными выходами. Информационными входами являются вывод установки «0» CLR (1), входы данных D1...D4 (4, 5, 12 и 13) и тактовый вход CLK (9). Информационными выходами являются прямые выходы Q1...Q4 (2, 7, 10 и 15) и инверсные выходы $\overline{Q}1...\overline{Q}4$ (3, 6, 11 и 14). Вывод 8 — «общий» (земля), вывод 16 — питание. Микросхема изображена на рисунке 7.

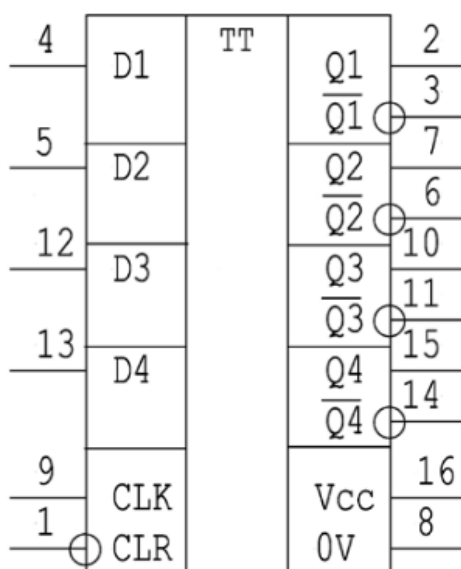


Рисунок 7 — Микросхема КР1564ТМ8

Микросхема 5101НВ015 представляет собой быстродействующий малопотребляющий конвейерный 12/14-разрядный аналого-цифровой

преобразователь. Информационными входами являются аналоговые IN– (вывод 1) и IN+ (вывод 52), опорные VREF (выводы 4, 10, 11) и REFEN (вывод 9), тактовые CLK (вывод 49) и nCLK (вывод 48), а также управляющие SCANEN (вывод 28), CALRUN (вывод 29), nCS (вывод 31), OEN (вывод 32), LVDSSEN (вывод 33), Q12SEL (вывод 36), BIASSEL2 (вывод 44), BIASSEL1 (вывод 45), BIASMODE (вывод 46) и PD (вывод 50). Информационными выходами являются цифровые данные Q0...Q13 (выводы 22, 23, 24, 25, 26, 28, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37), флаг переполнения OVFL (вывод 17) и прямой/инверсный выходы тактовой частоты CLKO (вывод 41) и nCLKO (вывод 42). Общим является металлическое основание корпуса и вывод 27; аналоговое питание VDDA подводится на выводы 2, 8, 15, 16, 91, 92; цифровое питание VDDD — на выводы 10 и 11; питание выходных драйверов VDDO — на выводы 21, 29, 37, 38; питание преддрайверов VDDR — на выводы 20 и 40. Микросхема изображена на рисунке 8.

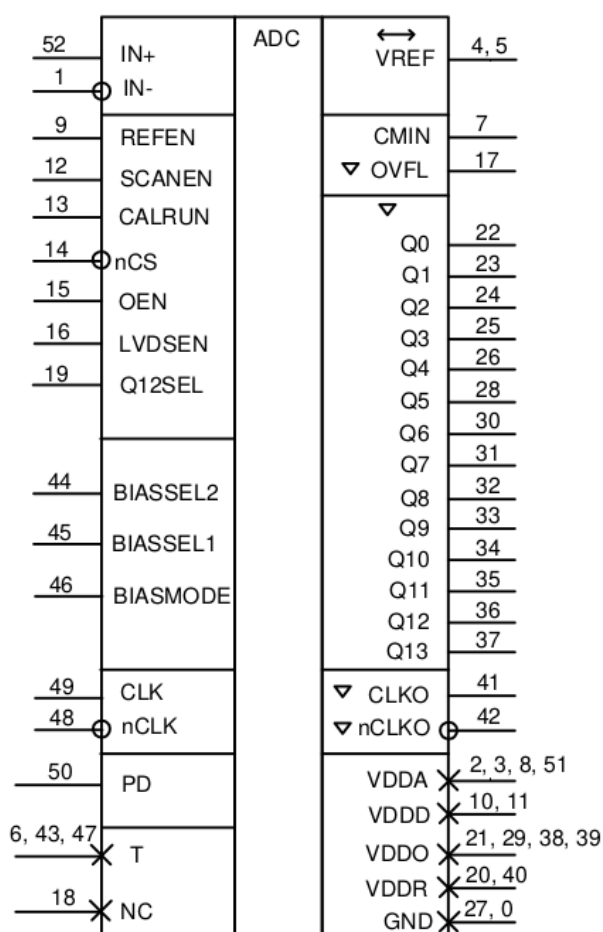


Рисунок 8 — Микросхема 5101HB015

4.3 Выбор генератора тактовых импульсов

Т.к. большая часть элементов в схеме работает по синхронным динамическим сигналам, в устройстве необходим генератор тактовых импульсов для генерации сигналов с определенной частотой. Для реализации генератора была выбрана схема на двух инверторах, изображенная на рисунке 9.

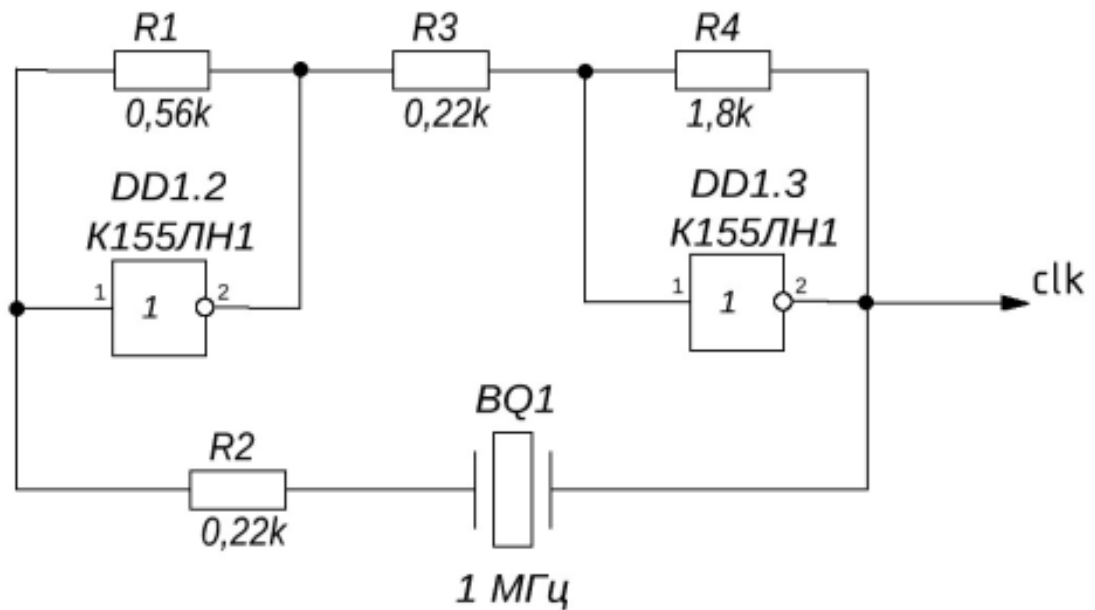


Рисунок 9 — Генератор тактовых импульсов

Преимуществом генераторов на кварцевом резонаторе является их стабильность частоты. Согласно требованию ТЗ устройство должно работать на частоте 2 МГц, поэтому в генераторе был взят кварцевый резонатор на 2 МГц.

5 Расчёт быстродействия

Для определения минимального времени «остановки» счётчиков после того, как один из компараторов выдаёт сигнал превышения порога, собраны максимальные задержки элементов согласно документации:

Таблица 2 — Максимальные задержки на микросхемах

Микросхема, обозначение	Время задержки максимальное, нс
КП1533СП1	39
КР1564ЛЛ1	17
КР1564ЛИ1	15
КП1533СП1	39
1564ТМ8	242
К561КТ3	25

Минимальное время остановки счётчиков по самому длинному пути - Регистр и АЦП → 4 компаратора → ИЛИ → И → D-триггер → мультиплексор:

$$t = t_R + t_{ADC} + 4t_{\Sigma} + t_{\mid} + t + t_t + t_m. \quad (1)$$

Подставим в формулу (1) значения:

$$t = 250 + 1 + 39 * 4 + 17 + 15 + 242 + 25 = 705 \text{ нс}. \quad (2)$$

Тогда из полученного t , можем найти максимальную частоту:

$$f = \frac{1}{t} = \frac{1}{455 \text{ нс}} = 1.42 \text{ МГц}. \quad (3)$$

Таким образом, частота, заданная в ТЗ, не превышает максимально возможного значения частоты.

6 Расчет потребляемой мощности

Полная мощность, потребляемая устройством, рассчитывается как сумма статической и динамической мощностей. Рассчитывается по формуле (4).

$$P = P_{\text{ст}} + P_{\text{дин}}. \quad (4)$$

Расчет статической мощности выполняется по формуле (5).

$$P_{\text{ст}} = \sum_{i=1}^N P_{\text{МС}i}, \quad (5)$$

где N – количество микросхем, в схеме их 23;

$P_{\text{МС}i}$ – мощность i -той микросхемы.

В таблице 3 показаны мощности различных МС.

Таблица 3 – Потребляемые мощности различных МС

Микросхема, обозначение	Потребляе- мая мощность (макс.), мВт	Количество МС в устройстве	Суммарная потребляе- мая мощность (макс.), мВт
КР1564ЛН1	200 мВт	1	200 мВт
КР1561ЛИ2	200 мВт	1	200 мВт
КР1561ИР14	100 мВт	4	400 мВт
К561ИП2	150 мВт	4	600 мВт
5101НВ015	62 мВт	1	62 мВт
КР1561ЛЛ1	200 мВт	1	200 мВт
КР1564ТМ8	400 мВт	1	400 мВт
КР1564ИЕ7	400 мВт	8	3200 мВт

Согласно данным из таблицы суммарная потребляемая мощность устройства $P_{\text{устр}} = 5262 \text{ мВт} = 5.3 \text{ В}$.

Для расчета динамической мощности воспользуемся формулой (6):

$$P_{\text{дин.эл-та}} = C_0 * U_{\text{пит}}^2 * f_{\text{вх}} + N * (C_{\text{нагр}} * U_{\text{пит}}^2 * f_{\text{вых}}) \quad (6)$$

где C_0 - входная емкость микросхемы;

$U_{\text{пит}}$ - напряжение питания;

N - количество выводов, работающих на данной тактовой частоте;

$C_{\text{нагр}}$ - ёмкость нагрузки.

Тогда, для КР1564ИЕ6:

$$P_{\text{КР1564ИЕ6}} = (10 \text{ пФ} * (5 \text{ В})^2 * 1 \text{ МГц} + \\ + 6 * (500 \text{ пФ} * (5 \text{ В})^2 * 1 \text{ МГц})) * 8 = 0,026 \text{ Вт}. \quad (7)$$

Для КР1564ТМ8:

$$P_{\text{КР1564ТМ8}} = (15 \text{ пФ} * (5 \text{ В})^2 * 1 \text{ МГц} + \\ + 8 * (500 \text{ пФ} * (5 \text{ В})^2 * 1 \text{ МГц})) * 4 = 0.0175 \text{ Вт}. \quad (8)$$

Тогда общая емкость исходя из полученных значений:

$$P = 5.3 \text{ Вт} + 0,026 \text{ Вт} + 0.0175 \text{ Вт} = 5.3435. \quad (9)$$

Полученная потребляемая устройством мощность удовлетворяет требованиям технического задания, не превышая значения 6 Вт.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы был спроектирован простой и надёжный цифровой омметр, измеряющий сопротивление от 1 Ом до 1 МОм методом оценки времени заряда RC-цепи. Выбор КМОП-элементов и кварцевого генератора на 1 МГц позволил уложиться в заданный по ТЗ диапазон частот и не превысить 3 Вт потребляемой мощности, сохранив при этом необходимую точность и скорость измерения.

Предложенная конструкция легко масштабируется: для изменения диапазона измерений достаточно варьировать ёмкость конденсатора или параметры тактового генератора. В дальнейшем возможна доработка алгоритма с добавлением автоматической калибровки и цифровой обработки сигнала для повышения точности и расширения функциональности прибора.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ 2.702-2011 Правила выполнения электрических схем.
2. ГОСТ 2.743-91 ЕСКД. Обозначения условные в графических схемах. Элементы цифровой техники.
3. Справочник по микросхемам КМОП серий [электронный ресурс]. URL: <https://www.rlocman.ru/comp/koz/cd/cdh00.htm> (дата обращения: 20.04.2025)
4. Бирюков С.А. Применение цифровых микросхем серий ТТЛ и КМОП. - М.: ДМК Пресс, 2003. - 240 с.
5. [электронный ресурс]. URL: <https://www.microshemca.ru/> (дата обращения: 30.04.2025)