

РОСАТОМ
Северская государственная технологическая академия

Зав. кафедрой ЭиАФУ

доцент

_____ В.Я. Дурновцев

“ _____ ” _____ 2009г.

В.Б. Терёхин

Лабораторные работы в *Multisim*
по курсу «Прикладная электроника»

Практическое руководство

Северск 2009

УДК 621.373.5

ББК _____

Терёхин В.Б. Лабораторные работы в *Multisim* по курсу «Прикладная электроника»: практическое руководство/ В.Б. Терёхин. – Северск: Изд – во СГТА, 2009. – 87 с.

В практическом руководстве приведено семь методических указаний к выполнению лабораторных работ с использованием программного продукта *Multisim 10*. Руководство является приложением к методическим разработкам, выпущенным на кафедре ЭиАФУ ранее.

Руководство предназначено для студентов специальности 140306 «Электроника и автоматика физических установок» при выполнении лабораторных работ по курсу «Прикладная электроника».

Руководство одобрено на заседании кафедры ЭиАФУ
(протокол № 5 от 25 июня 2008 г.)

Печатается в соответствии с планом выпуска учебно-методической литературы на 2009 г., утверждённом Советом СГТА.
Рег. № 8/09 от « 22 » 03 2009г.

Рецензент Ю.А. Соловьев – доцент кафедры ЭиАФУ СГТА,
канд. физ.-мат. наук

Редактор И.Г. Попова

Подписано к печати _____ Формат бумаги 60*84/32
Гарнитура Times New Roman. Бумага писчая №2
Плоская печать. Усл. Печ.л.2,53 Уч. изд. л.4,58
Тираж 50 экз. Заказ _____

Отпечатано в ИИО СГТА
6360036. Томская обл., г. Северск,
пр. Коммунистический, 65

Содержание

Введение	4
1 Осциллографирование в электронных схемах	5
1.1 Осциллограф (Oscilloscope)	5
1.2 Представление результатов моделирования в виде графиков	8
1.3 Программа работы	8
1.4 Содержание отчета по теме «Осциллографирование»	18
2 Исследование логических элементов	19
2.1 Программа работы в <i>Multisim</i>	19
2.2 Содержание отчета по теме «Исследование логических элементов»	24
3 Триггеры	25
3.1 Программа исследования в <i>Multisim</i>	25
3.2 Содержание отчета по теме «Триггеры»	37
4 Двоичные счётчики	37
4.1 Программа выполнения работы в <i>Multisim</i>	37
4.2 Содержание отчета по теме «Двоичные счётчики»	48
5 Дешифраторы	49
5.1 Исследование дешифраторов в <i>Multisim</i>	49
5.2 Содержание отчета по теме «Дешифраторы»	55
6 Одновибраторы	55
6.1 Ход выполнения работы	55
6.2 Содержание отчета по теме «Одновибраторы»	59
7 Исследование схем электронных генераторов в Multisim	59
7.1 Постановка задачи и цель работы	59
7.2 Введение в принципы генерации	60
7.3 Исследование <i>RC</i> – генераторов	62
7.4 Генераторы с обратной <i>LC</i> -связью	71
7.5 Генераторы на таймерах	80
7.6 Содержание отчёта по теме «Электронные генераторы»	88
Литература.....	88

Введение

Multisim 10 представляет собой программный продукт, позволяющий производить моделирование, тестирование, разработку и отладку электрических и электронных схем. Для работы программного комплекса необходим современный компьютер с операционной средой **Windows** и приложением **Microsoft Office**. *Multisim 10* имеет достаточно понятный интерфейс пользователя и прост в обращении. *Multisim 10* содержит в библиотеке большое количество моделей полупроводниковых элементов и других электромеханических устройств, и также позволяет создавать пользователю свои модели. *Multisim 10* позволяет проводить исследования электрических и электронных цепей, выполнение которых в реальных условиях является трудоемким процессом. Процедура работы с пакетом сводится к следующим действиям:

- формируется электрическая схема анализируемого устройства с помощью встроенного редактора, для этого необходимые компоненты из окна выбранного раздела копируются в рабочую область и соединяются друг с другом с помощью проводников, устанавливаются расчетные значения параметров компонентов;
- к схеме подключаются необходимые приборы и инструменты: генератор, осциллограф, логический анализатор, пробник и др.;
- работа схемы активируется нажатием на виртуальный «выключатель питания I/O»;
- результаты анализа, например, осциллограмма периодического процесса или частотная характеристика устройства могут быть сохранены для документирования (оформления отчёта по лабораторной работе).

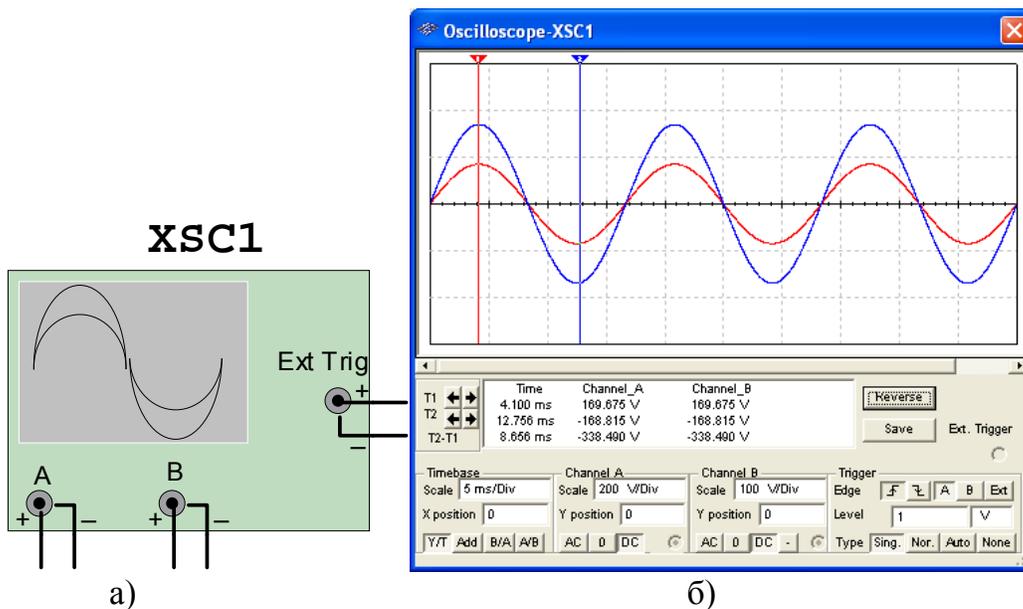
Цель работы: выполнить исследования с применением программного продукта *Multisim 10* электронных схем, предлагаемых для рассмотрения и анализа в [1]. В сборнике руководств по выполнению лабораторных работ по прикладной электронике [1] рассмотрены схемы и принцип работы, приводится программа и методика их исследования на реальных стендах. Данное руководство является приложением к [1] и предназначено для углубленного изучения схем. Для углублённого изучения программного продукта *Multisim* проработать [2, 3]. Кроме того, представляется возможность самостоятельного выполнения лабораторной работы студентом на компьютере в домашних условиях.

1 Осциллографирование в электронных схемах

1.1 Осциллограф (Oscilloscope)

Осциллограф и его лицевая панель показаны на рисунках 1.1 а), б).

Осциллограф имеет два потенциально развязанных измерительных канала **Channel A** и **B** с отдельной регулировкой чувствительности в диапазоне от 5 мкВ/дел ($\mu V/Div$) до 1000 Тера (10^{12}) В/дел (TV/Div) и регулировкой смещения по вертикали (**Y position**). Выбор режима регистрации по входу (по переменному – **AC** или постоянному току – **DC**) осуществляется нажатием кнопок .



а) двух лучевой осциллограф; б) лицевая панель осциллографа

Рисунок 1.1 – Виртуальный осциллограф

Режим **AC** предназначен для наблюдения только сигналов переменного тока (его еще называют режимом "закрытого входа", поскольку в этом режиме на вход измерительного усилителя включается разделительный конденсатор, не пропускающий постоянную составляющую). В режиме **0** исследуемый сигнал отключается от входа осциллографа, а входной зажим замыкается на землю. В режиме **DC** (включен по умолчанию) можно проводить осциллографические измерения как постоянного, так и переменного тока. Этот режим еще называют режимом "открытого входа", так как входной сигнал поступает на вход измерительного усилителя непосредственно. С правой стороны от кнопки **DC** расположен входной зажим измерительного усилителя соответствующего канала.

Режим работы развертки выбирается кнопками



В положении *Y/T* (обычный режим, включен по умолчанию) реализуется следующий режим работы развертки: по вертикали — напряжение сигнала, по горизонтали — время.

В режиме *Add* организуется дифференциальный вход: напряжения, действующие на входах, суммируются с учетом знаков и разворачиваются во времени как в режиме *Y/T*. Масштабируются оба канала шкалой по каналу *A*. Если необходимо изменить знак напряжения, поступающего по каналу *B* на инверсный, то для канала *B* включается кнопка с точкой вместо *DC*.

В режиме *B/A* по вертикали — сигнал канала *B*, по горизонтали — сигнал канала *A*.

В режиме *A/B* по вертикали — сигнал канала *A*, по горизонтали — сигнал канала *B*.

Режимы *A/B* и *B/A* используются для построения статических характеристик исследуемых элементов и устройств.

В режиме развертки *Y/T* масштаб (*Scale*) длительности развертки (*TIME BASE*) может быть задан в диапазоне от 1 fs/дел (10^{-15} с) (*fs/div*) до 20 Мс/дел (10^6 с) (*Ms/div*) с возможностью установки смещения (отклонения луча по горизонтали) в том же масштабе, т.е. по оси *X* (*X pos*).

Режим запуска развертки выбирается переключателем



По умолчанию устанавливается состояние *Auto*, в котором осуществляется синхронное наблюдение за изменениями сигналов по каналам *A* и *B* во времени (режим *Y/T*). Результат наблюдения накапливается и заканчивается с концом моделирования. Расположенная в нижней части экрана горизонтальная прокрутка позволяет просмотреть результат моделирования на любом временном отрезке. Состояние кнопок *A* и *B* не имеет значения. Отклонения исследуемых сигналов по оси *Y* на экране настраивается переключением масштабов по нужному каналу. Если исследуемый сигнал выходит за пределы экрана, то численное значение масштаба (*Scale*) увеличивается. Если размер отклонения не достаточен, то масштаб уменьшается до такого значения, при котором исследуемым сигналом занята большая часть экрана. Если исследуемый сигнал сжат или слишком развернут по времени, затрудняя наблюдение за процессом, то необходимо изменить масштаб (*Scale*) развертки по времени (*Timebase*) — уменьшить масштаб при сжатом изображении и увеличить при развернутом.

В режиме *Y/T* предусмотрен ждущий режим запуска (*Nor.*). Запуск развертки (*EDGE*) по переднему или заднему фронту запускающего сигнала выбирается нажатием кнопок  при регулируемом уровне (*LEVEL*) запуска. Источником запускающего сигнала может быть выбран исследуемый сигнал, поступающий на вход канала *A* или *B*, или от внешнего источника (*EXT*), подключаемого к входному зажиму в блоке управления *TRIGGER*.

Названные режимы запуска развертки выбираются кнопками *A*, *B* или *EXT*. Следует иметь в виду, что накопления результатов исследования нет, так как развертка перезапускается.

В однократном режиме запуска *Sing* реализуется ждущий режим *Nor* с накоплением результатов исследования (перезапуск развертки исключен).

К клемме « \leftrightarrow » на входных зажимах прибора подсоединяется провод, относительно которого измеряются входные сигналы и внешний источник синхронизации.

При выполнении процесса моделирования (включен виртуальный выключатель питания *I/O*) лицевая панель осциллографа существенно меняется (рисунок 1.2) – появляется сетка и возможность прокрутки изображения по горизонтали и его сканирования с помощью вертикальных визирных линий (синего и красного цвета), которые за треугольные ушки (они обозначены также цифрами 1 и 2) могут быть курсором установлены в любое место экрана. При этом в индикаторных окошках под экраном приводятся результаты измерения напряжения, временных интервалов и их приращений (между визирными линиями).

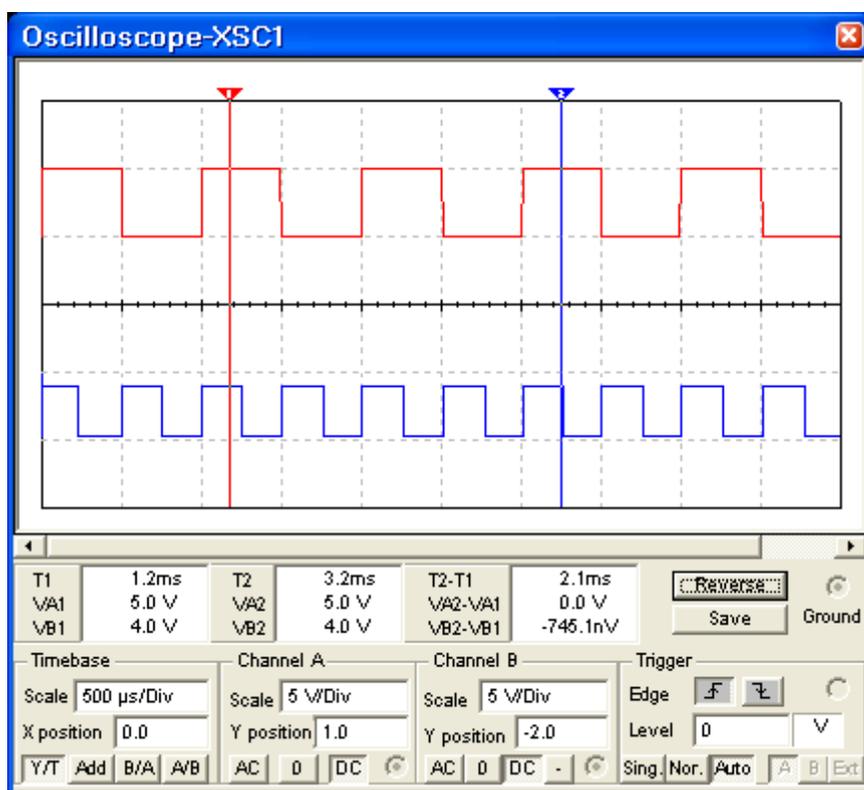


Рисунок 1.2 – Лицевая панель осциллографа в режиме моделирования

Цвет изображения можно инвертировать нажатием кнопки *Reverse* и записать данные в файл нажатием кнопки *Save*.

1.2 Представление результатов моделирования в виде графиков

Командой **Grapher** меню **View** вызывается окно, в котором представлены графики результатов выполнения команд моделирования меню **Analysis**. Если в процессе моделирования использовано несколько команд этого меню, то результаты их выполнения накапливаются в виде отдельных графиков. Это позволяет оперативно просматривать результаты моделирования без его повторного проведения. Отметим, что вызов окна происходит автоматически при выполнении первой же команды из меню **Analysis**. Если в схеме используется осциллограф, то после запуска моделирования и предварительно установленной команды **Display Graph** в ее окне появляется закладка **Oscilloscope** с изображением осциллограммы в виде диаграммы (рисунок 1.3); если используется измеритель АЧХ–ФЧХ, то появляется закладка **Bode** с изображением АЧХ и ФЧХ и т.д. Одновременно графическая информация выводится также и на лицевые панели основных приборов.

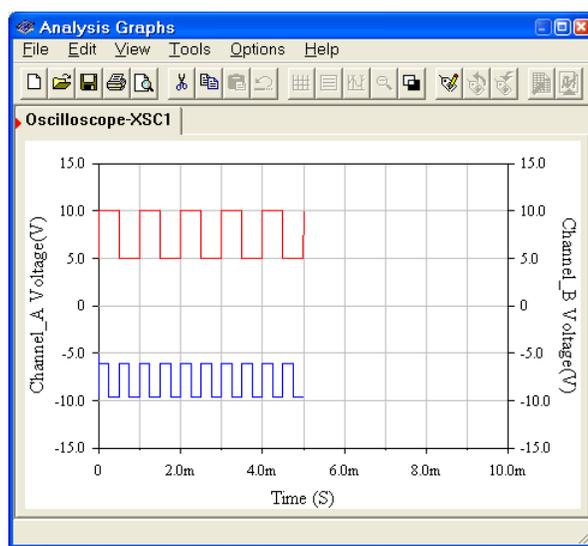


Рисунок 1.3 – Представление осциллограммы в виде диаграммы

1.3 Программа работы

1.3.1 Измерить напряжения и токи в схеме на рисунке 1.4.

Для этого выполнить следующие шаги:

– запустить программу *Multisim 10*;

– двойным щелчком коммутировать кнопку **Open**  меню и открыть последовательно папки *Circuit Design Suite 10*, *Прикладная электроника*, *Осциллографирование* и *Рисунок 1.4*;

– в папке **Рисунок 1.4** открыть файл «**Рисунок 1.4.N**», где N – номер варианта;

– измерить с помощью осциллографа амплитуду напряжения или тока источников постоянного и переменного тока в схеме на рисунке 1.4. Результаты измерения свести в таблицу 1.1. Для измерения использовать сетку на экране осциллографа и выбранный масштаб наблюдения сигнала. Точное измерение вести с помощью встроенного инструмента. Привести отредактированные осциллограммы наблюдаемых сигналов и прокомментировать род тока исследуемых источников.

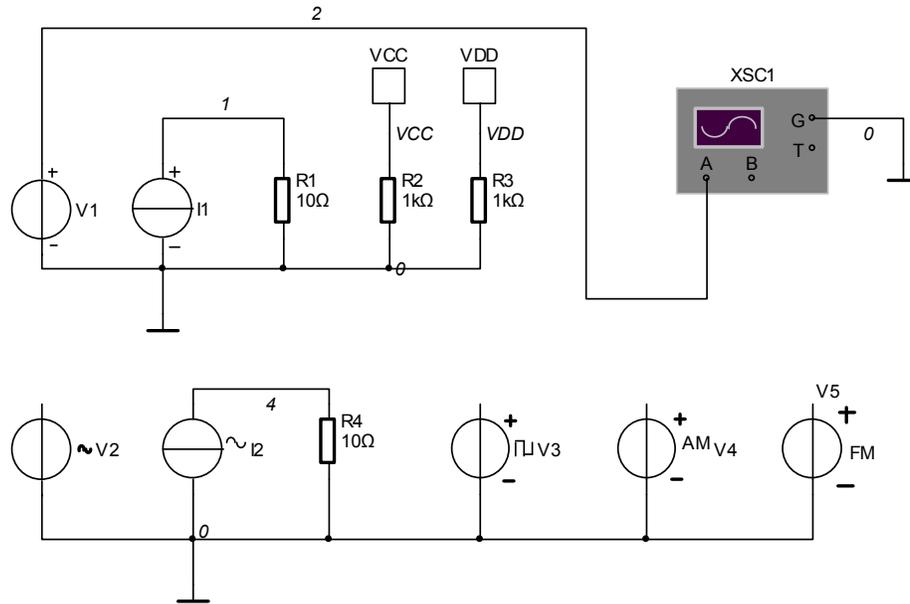


Рисунок 1.4 – Набор источников постоянного и переменного тока

Таблица 1.1 – Результаты измерения параметров источников

Источник	Амплитуда тока, A	Амплитуда напряжения, B	Точное измерение тока или напряжения
$V1$			
$I1$			
$V2$			
$U1$			
$U2$			
$I2$			
$V3$			
$V4$			
$V5$			

Для представления исследуемой схемы в *Word* при оформлении отчета необходимо:

– в меню *View* выключить команду *Show Grid*, в меню *Options* выбрать команду *Preferences* и в закладке *Circuit* заменить стиль представления с *Custom* на *White & Black*. Удаляется сетка и схема представляется в черно-белом изображении;

– в меню *Edit* командой *Select All* выделить всю схему и произвести копирование;

– открыть документ *Word* (отчет или протокол испытаний), поставить курсор в место установки схемы, в меню *Правка* выбрать команду *Специальная вставка...* и занести исследуемую принципиальную схему в отчет метафайлом *Windows (EMF)*.

Для представления в *Word* полученных в ходе выполнения диаграмм и осциллограмм при оформлении отчета необходимо:

– установить команду *Grapher* меню *View* и открыть окно с диаграммами;

– выбрать нужную диаграмму и отредактировать (убрать название сверху диаграммы, установить сетку, заменить названия осей по смыслу представляемых сигналов на русском языке и т.д.);

– в меню данного окна выбрать команду *Сору* и скопировать без предварительного выделения;

– открыть документ *Word* (отчет или протокол испытаний), поставить курсор в место установки диаграммы и поместить скопированную диаграмму (в меню *Правка* выбирать команду *Специальная вставка...* не надо).

1.3.2 Измерить осциллографом длительность импульса и длительность паузы генератора по схеме, приведенной на рисунке 1.5.

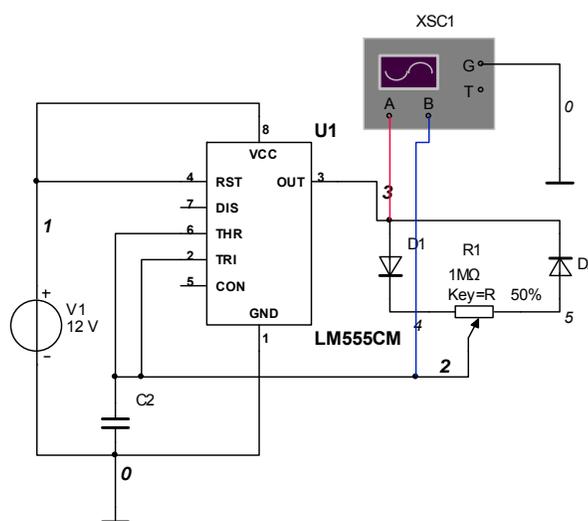


Рисунок 1.5 – Регулируемый генератор импульсов

Для этого выполнить следующие шаги:

– в соответствии с рекомендацией п. 1.3.1 вызвать на рабочий стол программы *Multisim* файл «Рисунок 1.5.N» из папки *Рисунок 1.5*;

– измерить с помощью осциллографа длительности импульса и паузы для различного положения потенциометра *R1* в схеме на рисунке 1.5. Результаты измерения занести в таблицу 1. 2;

– изменение состояния потенциометра *R1* ведется клавишей «*l*» для уменьшения и клавишей «*R*» для увеличения относительного положения ползунка (можно изменить состояние всплывающим ползунком при наведении курсора на потенциометр);

– описать принцип действия схемы и привести в отчете отредактированную осциллограмму выходного сигнала и сигнала обратной связи;

– построить на одном графике зависимость длительностей импульса и паузы от положения потенциометра и сделать выводы.

Таблица 1.2 – Результаты измерения длительностей

Положение движка потенциометра <i>R1</i> , %	Длительность импульса, <i>c</i>	Длительность паузы, <i>c</i>	Длительность периода, <i>c</i>
10			
20			
30			
40			
50			
60			
70			
80			
90			

1.3.3 Измерить частоту генератора, схема которого приведена на рисунке 1.6, для диапазона значений индуктивности *L1* от 90 до 150 μH ($\mu=10^{-6}$).

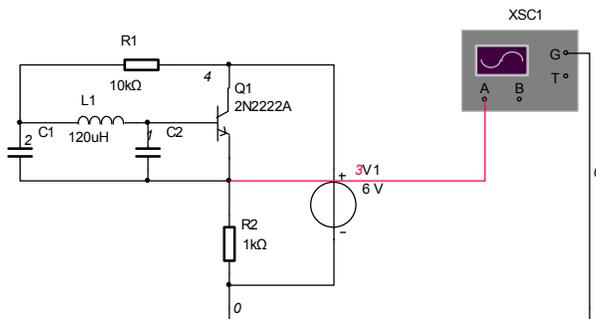


Рисунок 1.6 – Автогенератор

- Для этого выполнить следующие шаги:
- поместить на рабочее поле программы *Multisim* схему, приведенную в файле «**Рисунок 1.6.N**» папки **Рисунок 1.6**;
 - исследование провести по графику, который можно получить при анализе в режиме **Parameter Sweep**;
 - результаты измерения периода внести в таблицу 1.3 и расчетным путем получить частоту;
 - построить график зависимости частоты генератора от индуктивности $L1$ и сделать выводы.

Таблица 1.3 – Результаты измерения периода и расчёта частоты генератора

Индуктивность $L1$, μH	Длительность периода, c	Частота, Гц
90		
100		
110		
120		
130		
140		
150		

Для формирования семейства осциллограмм, соответствующих различным значениям индуктивности $L1$, на одном графике необходимо использовать режим анализа **Parameter Sweep**. Для этого:

- в меню **Simulate** выбрать команду **Analysis**, открыть окно с возможными режимами анализа, открыть окно настройки режима **Parameter Sweep**, как показано на рисунке 1.7;

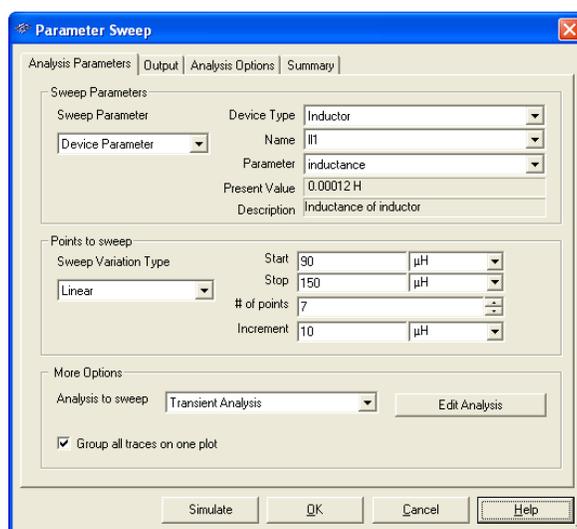


Рисунок 1.7 – Окно настройки режима **Parameter Sweep**

– на закладке *Analysis Parameters* выбирается доступный для вариации элемент схемы и устанавливается диапазон его изменения. В разделе *More Options* устанавливается режим *Transient Analysis* и кнопкой *Edit Analysis* открывается дополнительное окно (рисунок 1.8), где в строке *Start time* указывается время начала вывода графика. Ненулевое значение обусловлено стремлением исключить переходный процесс установления генерации импульсов, где частота не достигла своего установившегося значения.

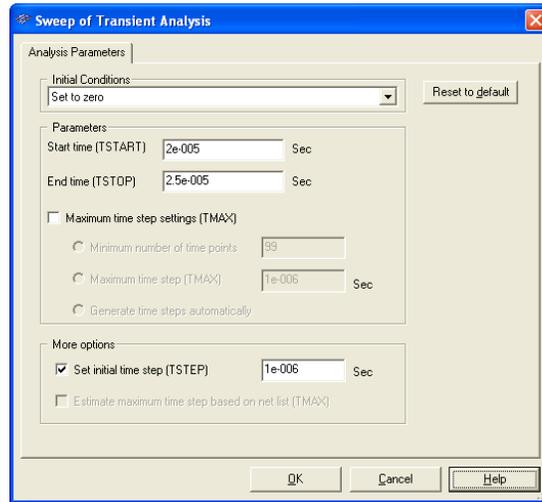


Рисунок 1.8 – Настройка режима *Transient Analysis*

В строке *End time* указывается время окончания анализа заданного варианта. Предлагается вести решение дифференциальных уравнений с постоянным шагом, численное значение шага задается в строке *Set initial time step*. При работе с переменным шагом устанавливается максимальное значение шага в строке *Maximum time step*. Анализ с генерацией автоматического шага дает быстрое решение, однако точность и качество результата может быть неудовлетворительными.

На закладке *Output variables* в правом окошке отражаются номера точек принципиальной схемы, изменение напряжения в которых необходимо отразить на диаграмме.

На закладке *Analysis Options* задаются основные параметры системы моделирования, определяющие качество получаемых результатов. Чаще всего отказ в моделировании требует корректировки параметров на этой закладке.

Построение графиков для иллюстрации содержания данных таблицы, как правило, рекомендуется производить в программе *Excel*. Данные исходной таблицы копируются и вносятся в электронную таблицу *Excel*. В этой программе предусмотрена стандартная процедура построения графиков.

1.3.4 Измерить с помощью осциллографа временной сдвиг между сигналами.

Для этого выполнить следующие шаги:

– вызвать схему исследования рисунок 1.9 из файла *Рисунок 1.9.N* папки *Рисунок 1.9*;

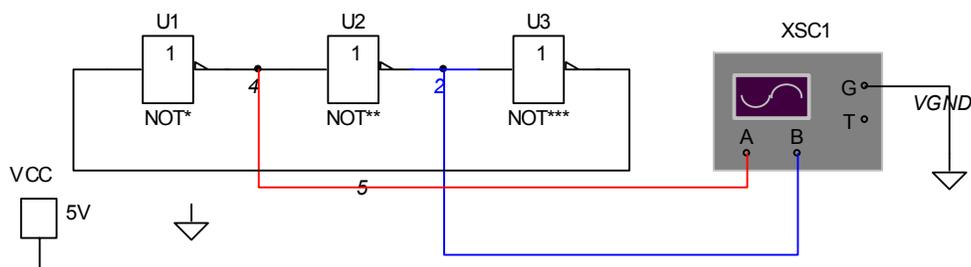


Рисунок 1.9 – Схема исследования

– измерить временной сдвиг между сигналами на входе и выходе элементов $U1$, $U2$ и $U3$, являющийся следствием задержки распространения сигнала. Меняя точки подключения осциллографа определить время задержки распространения всех элементов. Результаты исследования занести в таблицу 1.4. Иметь в виду, что элементы $U1$, $U2$ и $U3$ являются инверторами. Представить отредактированную осциллограмму сигналов. Сделать выводы о динамических свойствах исследуемых элементов.

Таблица 1.4 – Результаты измерения временного сдвига

Тип элемента	Временной сдвиг, с		
	$U1$	$U2$	$U3$

Особое внимание необходимо обратить на настройку канала развёртки осциллографа:

– время задержки логических элементов исчисляется десятками и сотнями наносекунд (10^{-9} с). Поэтому, чтобы на экране осциллографа уместилось два периода колебания исследуемого генератора ($T_{ген} = 6t_{з.р}$), необходимо выбрать настройку генератора развёртки **Scale Timebase** примерно равную времени задержки распространения. При этом подразумевается, что время прохождения луча с левой крайней точки в правую составляет $10 \cdot \text{Timebase} / \text{Дел}$;

– для формирования одноразовой развёртки необходимо выбрать режим работы развёртки **Sign.** с запуском развёртки от сигнала *канала А*. Уровень запуска развёртки **Level** выбрать в $1 B$.

1.3.5 Измерить с помощью осциллографа фазовый сдвиг между двумя гармоническими сигналами одной частоты.

Для этого выполнить следующие шаги:

– из папки **Рисунок 1.10** вызвать схему исследования рисунок 1.10 из файла **Рисунок 1.10.N**;

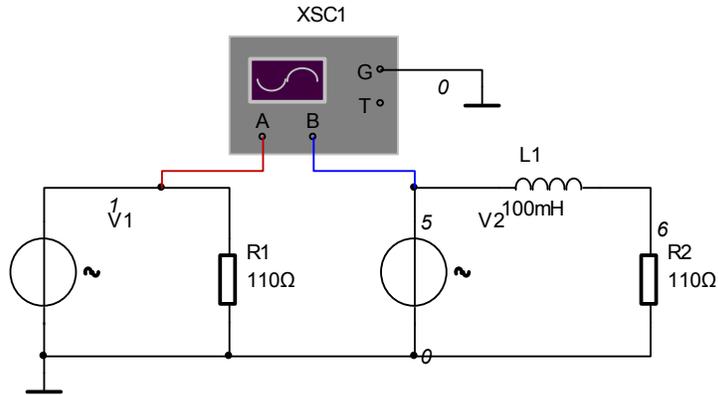


Рисунок 1.10 – Схема измерения фазового сдвига

– измерить частоту напряжений источников $V1$ и $V2$ (рисунок 1.10), временные сдвиги между напряжениями и токами источников, которые пересчитать в фазовые сдвиги в электрических градусах и радианах. Экспериментальные и расчетные данные занести в таблицу 1.5. Привести отредактированные осциллограммы исследуемых напряжений и токов.

Таблица 1.5 – Расчет фазовых сдвигов

Параметр	Сдвиг		
	Во времени, с	В градусах	В радианах
Напряжение			
Ток			

Примечание - период исследуемого сигнала соответствует повороту его вектора на 360 электрических градусов (2π радиан) независимо от частоты.

1.3.6 Исследовать статические вольт – амперные характеристики (ВАХ) диода по схеме, приведённой на рисунке 1.11.

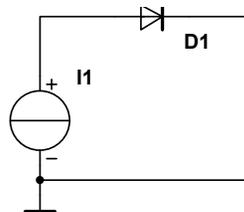


Рисунок 1.11 – Схема исследования на основе генератора тока $I1$

Для этого выполнить следующие шаги:

– вызвать схему снятия характеристик - рисунок 1.11 - из файла **Рисунок 1.11.N** папки **Рисунок 1.11**;

– моделировать в режиме **DC Sweep**, позволяющем задавать дискретно значения параметра источника **Source 1 (I1)** и рассчитывать схему на постоянном токе с представлением результата в виде графика (рисунок 1.12). Окно задания параметров режима **DC Sweep** показано на рисунке 1.13;

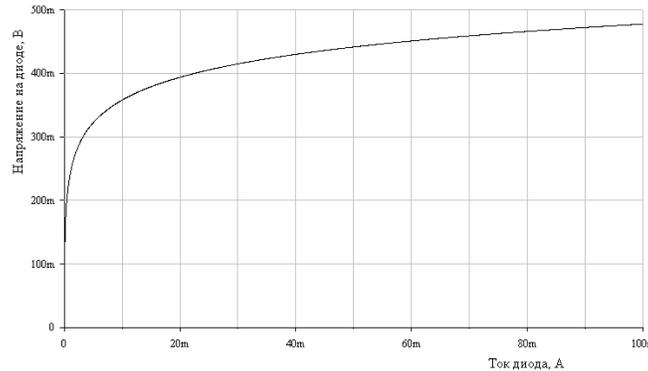


Рисунок 1.12 – График **ВАХ** для прямого включения диода

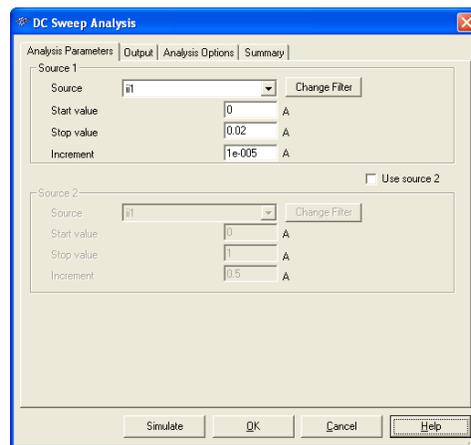


Рисунок 1.13 – Окно задания параметров режима **DC Sweep**

– для снятия прямой ветви **ВАХ** необходимо дискретно с выбранным шагом задавать ток генератора тока **I1** от нулевого значения до заданного и регистрировать напряжение на диоде **D1** (на аноде диода). Номер точки на схеме, в которой необходимо регистрировать напряжение, вводится на закладке **Output** окна, как показано на рисунке 1.13. После заполнения полей окна моделирование запускается кнопкой **Simulate**;

– корректировать надписи на графике на осях на русском языке выбранным шрифтом возможно после нажатия кнопки **Properties** в окне **Grapher View**;

– для получения графика обратной ветви ВАХ необходимо в схеме, показанной на рисунке 1.11, сменить полярность тока, задавая начальный ток **Start value** в окне (рисунок 1.13) с минусом и конечный ток **Stop value** нулевого значения. Учесть, что обратный ток составляет единицы или доли микроампера ($1e-06A$). По полученной ВАХ определить напряжение пробоя U_{np} и обратный ток диода при $0.5U_{np}$.

1.3.7 Исследовать статические выходные и входные ВАХ транзистора по схеме с ОЭ в режиме **DC Sweep** меню **Analysis**.

Для этого выполнить следующие шаги:

– вызвать схему исследования рисунок 1.14 из файла **Рисунок 1.14.N** папки **Рисунок 1.14**;

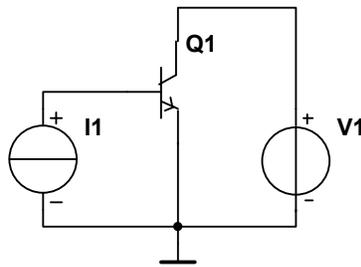


Рисунок 1.14 – Схема исследования статических ВАХ транзистора с ОЭ

– получить выходные статические ВАХ $I_k=f(U_{кэ})$ при $I_b=const$. Получить семейство характеристик для различных значений базового тока транзистора (не более пяти значений), для чего генератор тока $I1$ должен быть зафиксирован в окне **DC Sweep** как источник **Use source 2**. Регистрацию тока коллектора I_k осуществлять измерением тока источника напряжения $I(V1)$, что должно быть отражено в окне настройки режима анализа **DC Sweep** на закладке **Output**. Напряжение на коллекторе изменять с малым шагом от 0 до 20...30 В с помощью источника $V1$, зафиксированного в окне настройки **DC Sweep** как **Source 1**. Это необходимо для формирования непрерывной «гладкой» характеристики;

– получить входные статические ВАХ $U_{бэ}=f(I_b)$ при $U_{кэ}=const$. Для чего в окне настройки **DC Sweep** генератор тока $I1$ задать как источник **Source 1**, а $V1$ как источник **Use source 2** и вести регистрацию напряжения $U_{бэ}$ в точке 1, для чего ввести $V(1)$ на закладке **Output**. Значение напряжений коллектора назначить не более трёх: 0 В, 10 В и 20...30 В.

1.3.8 Исследовать статические выходные и входные BAX транзистора по схеме с OB (рисунок 1.15) в режиме $DC Sweep$ меню *Analysis* по схеме файла **Рисунок 1.15.N** в папке **Рисунок 1.15**.

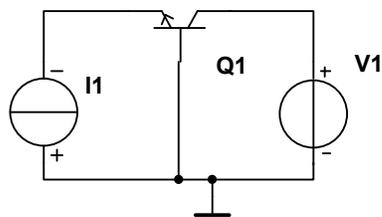


Рисунок 1.15 – Схема исследования транзистора с OB

Выходная статическая BAX : $I_k = f(U_k)$, при $I_{\varepsilon} = Const$. Значения напряжения первого источника $V1$ изменяются с мелким шагом, значения тока второго источника $I1$ – с крупным шагом, чтобы получить семейство из не более пяти характеристик. В закладке **Output** в качестве тока коллектора выбираем ток источника $V1 - I(V1)$. Напряжение коллектора $V1$ задавать с отрицательного начального значения минус 2...3 В.

Входная статическая BAX : $U_{\varepsilon} = f(I_{\varepsilon})$, при $U_k = Const$. Первый источник $I1$ изменяется с мелким шагом, второй источник $V1$ – с крупным шагом, чтобы получить семейство из не более трёх характеристик. В закладке **Output** в качестве напряжения на базе относительно эмиттера выбираем напряжение в точке 1 схемы модели – $V(1)$.

1.4 Содержание отчета по теме «Осциллографирование»

1.4.1 Назначение осциллографа, цель исследований.

1.4.2 Изложение результатов выполнения программы работ по всем пунктам:

- постановка задачи;
- представление принципиальной схемы, описание работы схемы и процесса проведения эксперимента;
- оформление полученных результатов в виде таблиц, графиков, временных диаграмм или осциллограмм;
- провести анализ полученных результатов, дать сравнительную оценку и выводы.

1.4.3 Сделать заключение и подвести итоги.

2 Исследование логических элементов

2.1 Программа работы в Multisim

2.1.1 Прежде необходимо выполнить лабораторную работу «Осциллографирование» и изучить руководство к выполнению работы «Исследование логических элементов» [1].

2.1.2 Исследовать логические свойства элементов (заполнить таблицу истинности), показанных на рисунке 2.1.

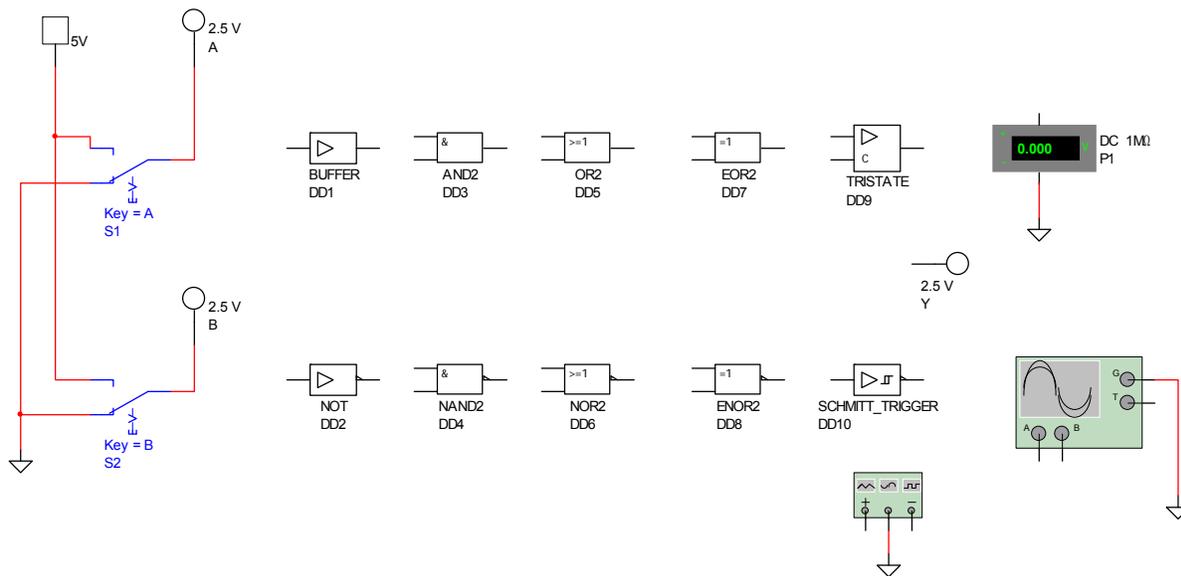


Рисунок 2.1– Исследование логических свойств типовых элементов

Для этого выполнить следующие шаги:

- вызвать на рабочее поле *Multisim* файл **Рисунок 2.1.N** из папок **Исследование логических элементов** и **Рисунок 2.1**;
- подключая вход логических элементов к переключателям *S1*, *S2*, а выход – к логическому индикатору *Y* (к вольтметру *P1* или ко входу осциллографа), составить таблицы состояния (истинности) в соответствии с таблицей 2.1;
- управление переключателями *S1* и *S2* осуществляется кнопками *A* и *B* (английский шрифт) или всплывающей кнопкой при наведении курсора на изображение переключателя. Входное и выходное напряжения измерять вольтметром (или двумя одновременно), либо осциллографом по двум каналам;

– установить соответствие полученной таблицы состояния функциональному назначению элемента.

Таблица 2.1 – Таблица состояния исследуемого элемента

A	B	Входное напряжение	Y	Выходное напряжение
0	0			
0	1			
1	0			
1	1			

Примечания:

1 Если логический элемент имеет один вход, то заполняется один столбец (тот, переключатель которого был использован при исследовании).

2 Число необходимых приборов может быть увеличено, например, копированием.

3 Функциональный генератор используется для исследования триггера Шмитта. С выхода генератора формируется однополярное (положительное) напряжение треугольной формы частотой $1 \dots 100$ Гц. При этом амплитуда напряжения не должна превышать напряжения питания микросхемы. Для исключения разнополярного выходного сигнала использовать настройку функционального генератора смещение *Offset*.

2.1.3 Исследовать работу логического элемента резисторно–транзисторной логики (PTЛ) по схеме рисунка 2.2, помещенной в файле *Рисунок 2.2.N*

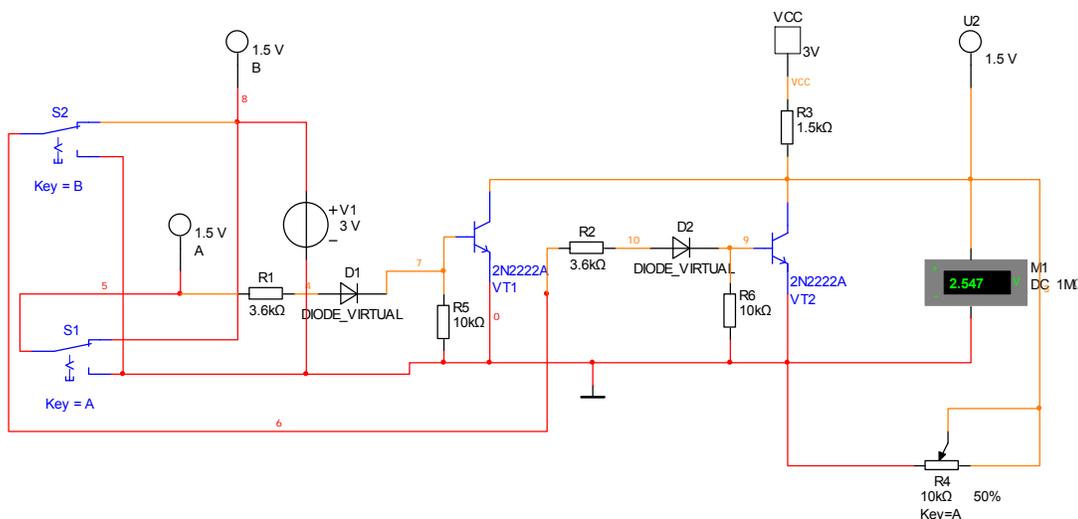


Рисунок 2.2 – Схема исследования PTЛ элемента

Для этого выполнить следующие шаги:

- последовательно устанавливая переключателями $S1$ и $S2$ низкий и высокий уровни входного напряжения (логический “0” и “1”), составить таблицу состояния элемента (таблица 2.1);
- известными методами получить аналитическое выражение логической функции элемента;
- получить график статической характеристики $PTЛ$ элемента. Для этого выходы $S1$ и $S2$ подключить к источнику $V1$ и вести анализ в режиме «*DC Sweep*», задавая изменение напряжения источника $V1$ от 0 до 5 В. Выходным параметром установить напряжение на выходе (точка 3). По графику отредактированной статической характеристики рассчитать аналитически коэффициент усиления и определить зону напряжения, при прохождении которой входным сигналом элемент меняет состояние с высокого уровня на низкий. Исследовать зависимость величины выходного напряжения элемента от значения сопротивления нагрузочного резистора $R4$, коммутируя клавишу R (на увеличение процентного значения $R4$ коммутировать клавишу R совместно с клавишей *Shift*), либо использовать всплывающий ползунок при наведении курсора на $R4$. Построить график и определить номинальное значение нагрузки при напряжении, соответствующем логической единице, равном и более 2,5 В. В зависимости от полученных результатов исследования скорректировать настройку логических индикаторов.

2.1.4 Снять статическую характеристику логического элемента, тип которого указан на схеме рисунок 2.3.

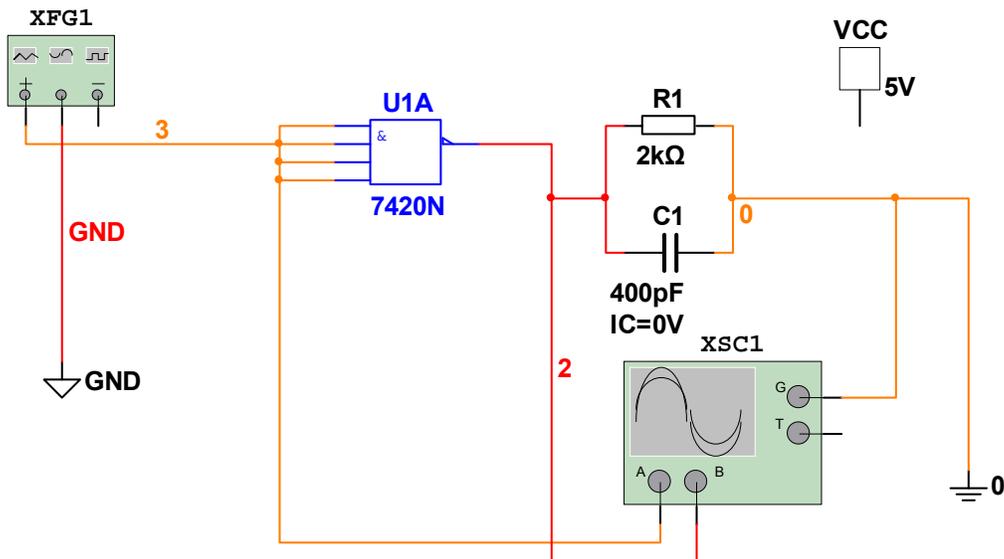


Рисунок 2.3 – Схема снятия статической характеристики логического элемента

Для этого выполнить следующие шаги:

- вызвать файл **Рисунок 2.3.N**;
- выполнить моделирование на частоте функционального генератора 1 Гц для исключения влияния на статическую характеристику быстродействия исследуемого элемента по схеме, приведённой на рисунке 2.3. При указанном подключении измерительных каналов *A* и *B* осциллографа, положение переключателя режима развертки должно соответствовать *B\A*. По полученному на экране осциллографа изображению статической характеристики установить минимальное, максимальное и среднее напряжения переключения, рассчитать коэффициент усиления. Сравнить с паспортными данными.

Примечания

1 Частота функционального генератора $1 \dots 100 \text{ Гц}$, вид напряжения треугольный пилообразный, треугольное напряжение – однополярное положительное (используется настройка смещения **Offset**).

2 Режим работы развёртки – одноразовый (*Sing.*).

2.1.5 Определить динамические параметры (среднее время задержки распространения сигнала) элемента, тип которого указан на схеме 2.4.

Для этого выполнить следующие шаги:

- вызвать файл **Рисунок 2.4.N**;

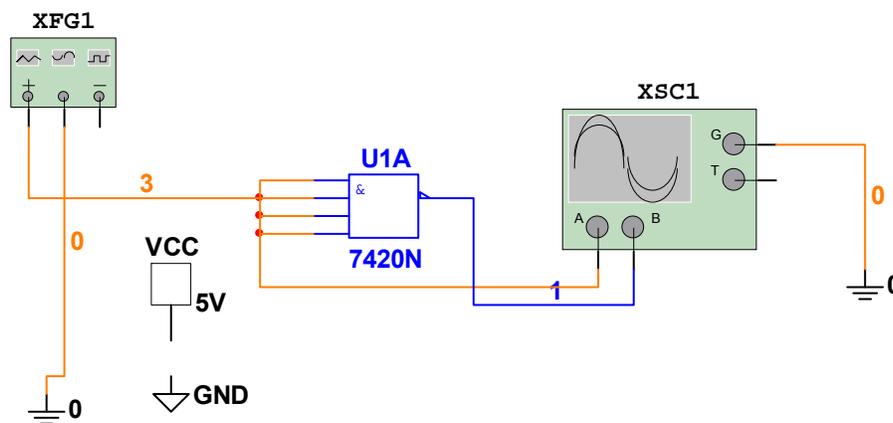


Рисунок 2.4 – Исследование быстродействия логического элемента

- установить переключатель запуска горизонтальной развертки в положение «*A*», то есть синхронизация от положительного перепада сигнала, поступающего по каналу *A*;
- установить переключатель запуска горизонтальной развертки в положение «*Sing.*» и уровень запуска развёртки **Level** в 1 В ;
- время развёртки $1 \dots 10 \text{ нс}$;
- функциональный генератор должен быть настроен на формирование положительных импульсных сигналов амплитудой, равной напряжению

питания исследуемой микросхемы, частотой $1...10$ МГц с относительной длительностью $10...15$ %;

– по осциллограмме определить время задержки распространения сигнала при переключении с 1 на 0, с 0 на 1 и среднее время. Сравнить полученный результат с паспортными данными. Отредактированную диаграмму поместить в отчёт.

2.1.6 Разработать и исследовать схему логического устройства с помощью логического преобразователя (*Logic Converter*).

Для этого выполнить следующие шаги:

– вызвать схему, размещенную в файле *Рисунок 2.5.N*. На схемах, показанных на рисунках рисунок 2.5 и 2.6, показан логический преобразователь с развернутой лицевой панелью, активизированный на работу с логическим устройством с тремя входами (A, B, C), переключатели $S1, S2, S3$ и логический пробник Y для анализа будущей схемы логического устройства;

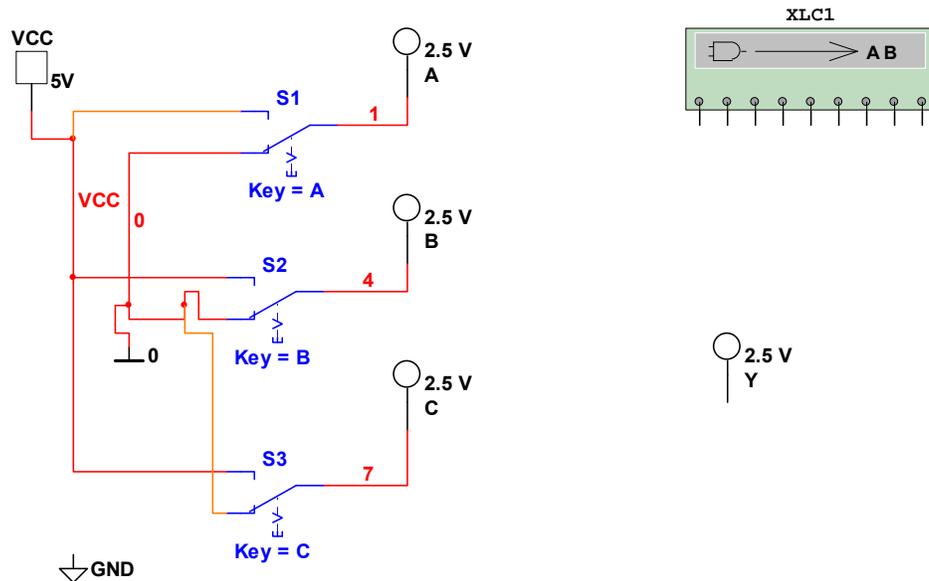


Рисунок 2.5 – Синтез логического устройства

– в предлагаемую на лицевой панели таблицу истинности внести значение выходного сигнала логического устройства (правый столбец), выделяя курсором мыши;

– таблица истинности задается преподавателем в виде таблицы 2.2 в файле *Рисунок 2.5.N*;

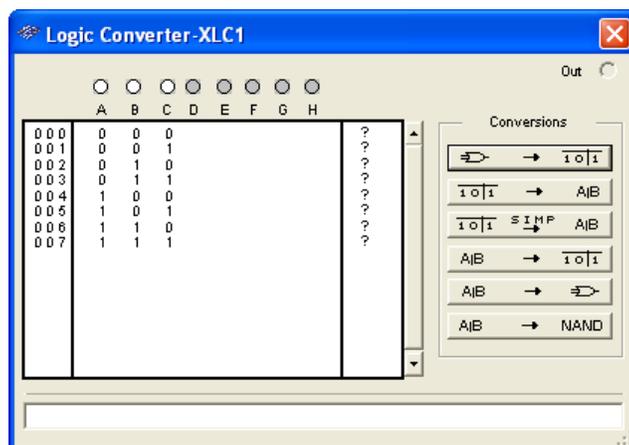


Рисунок 2.6 – Лицевая панель логического преобразователя

Таблица 2.2 – Таблица истинности

A	B	C	Y	A	B	C	Y
0	0	0	1	1	0	0	0
0	0	1	1	1	0	1	0
0	1	0	1	1	1	0	0
0	1	1	0	1	1	1	0

– для получения аналитического выражения необходимо нажать кнопку $\overline{i0i} \rightarrow A|B$ или $\overline{i0i} \xrightarrow{SIMP} A|B$. При коммутации последней кнопки аналитическое выражение дается в минимальной форме;

– для создания схемы логического устройства коммутируются кнопки $A|B \rightarrow \Rightarrow$ или $A|B \rightarrow NAND$. В последнем случае схема реализуется только на элементах И–НЕ;

– подключить $S1, S2, S3$ ко входам полученной схемы, к выходу подключить логический пробник Y и составить таблицу состояния. Сделать вывод о соответствии полученной таблицы заданной.

2.2 Содержание отчета по теме «Исследование логических элементов»

2.2.1 Назначение логических элементов и схем на их основе, цель исследований.

2.2.2 Изложение результатов выполнения программы работ по всем пунктам:

- постановка задачи;
- представление принципиальной схемы, описание работы схемы и процесса проведения эксперимента;

- оформление полученных результатов в виде таблиц, графиков, временных диаграмм или осциллограмм;
- провести анализ полученных результатов, дать сравнительную оценку и выводы;
- графическую часть представлять в машинном виде.

2.2.3 Сделать заключение и подвести итоги.

3 Триггеры

3.1 Программа исследования в *Multisim*

3.1.1 Исследовать триггеры с R,S -управлением по схемам на рисунках 3.1 и 3.2 с использованием программы *Multisim*.

Для чего выполнить следующие шаги:

- двойным щелчком по кнопке *Multisim 10* активизировать работу программы *Multisim* ;
- открыть папку **Прикладная электроника** ;
- открыть папку **Триггеры** и соответствующие файлы схем R,S -триггера;
- составить таблицу состояния триггера с R,S -управлением по схеме рисунок 3.1. Комбинация состояния сигналов на входах S и R триггера задается кнопками $S1$ и $S2$, управляемые одноименными клавишами клавиатуры или курсором. Состояние логических сигналов на входах R и S , выходах Q и \bar{Q} контролируется логическими светодиодными пробниками с одноименными индексами. Свечение пробника соответствует «1».

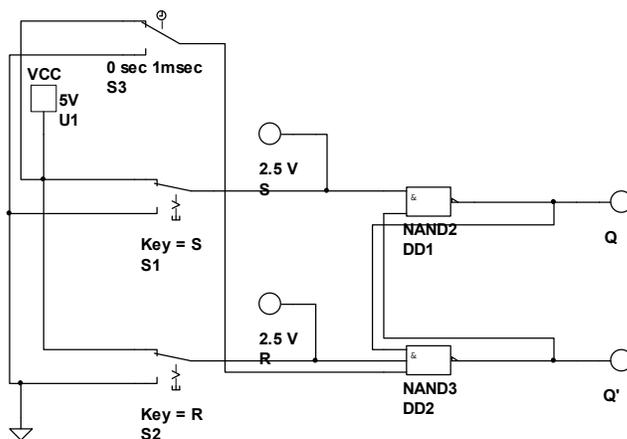


Рисунок 3.1 – Триггер с R,S -управлением на элементах $И-НЕ$

Результаты исследования занести в таблицу 3.1.

Таблица 3.1 – Состояние триггера с R,S -управлением на И-НЕ

Входы		Выходы		Пояснение состояния схемы
S	R	Q	\bar{Q}	
1	1			
0	1			
1	0			
0	0			

- нарисовать условное графическое обозначение (УГО) исследуемого триггера;
- выполнить предыдущий пункт для схем на рисунках 3.2 и 3.3;

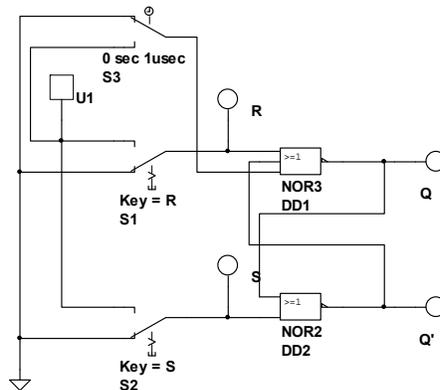


Рисунок 3.2 – Триггер с R,S -управлением на элементах ИЛИ-НЕ

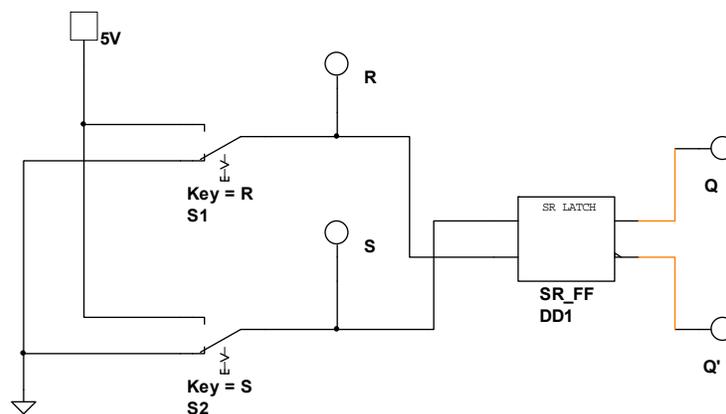


Рисунок 3.3 – Триггер с R,S -управлением

- сделать сравнительный анализ полученных результатов с результатами, полученными в предыдущем пункте.

3.1.2 Выполнить логический анализ работы схемы, показанной на рисунке 3.4, представленной в файле **Рисунок 3.4.N**.

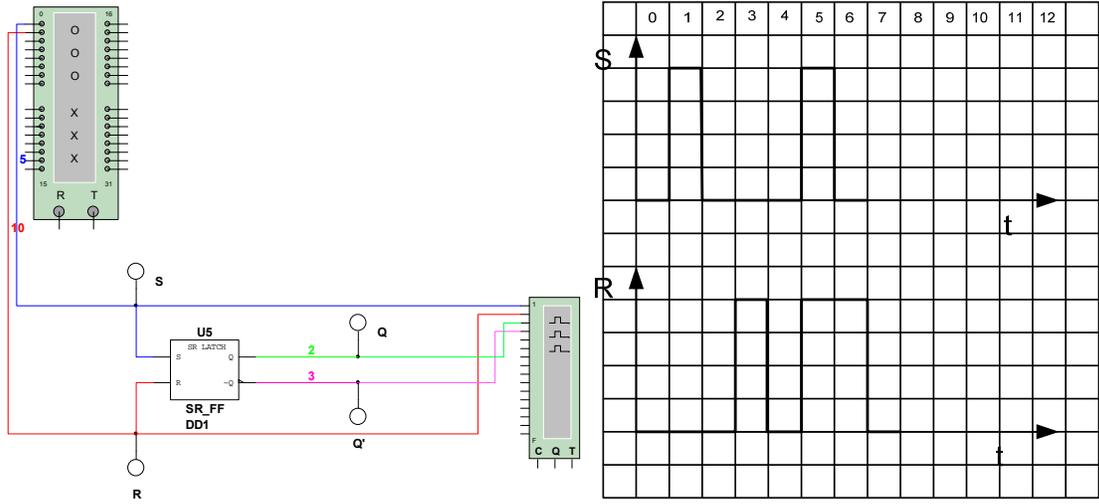


Рисунок 3.4 – Схема логического исследования и диаграмма входных сигналов

Выполнить логический анализ работы схемы на основе временных диаграмм работы, полученных при использовании генератора слов и логического анализатора [2]. Для этого необходимо сформировать входные сигналы с помощью генератора слов, например, в соответствии с заданием (см. диаграмму входных сигналов в текстовой части файла). Из 32 выходов генератора используются только два – для подачи сигналов на *S* и *R* входы триггера. Из шестнадцати входов логического анализатора используются четыре – два регистрируют входные и два входа – выходные сигналы триггера (прямой и инверсный), как показано на рисунке 3.4.

На рисунке 3.5 представлена передняя панель генератора слов.

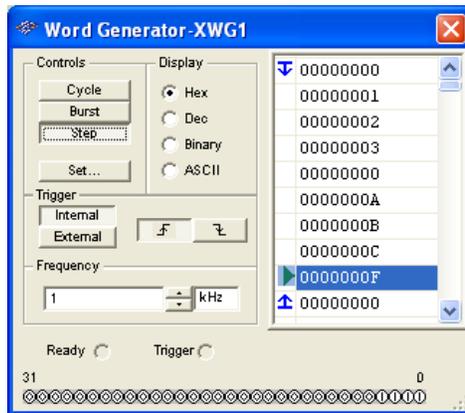


Рисунок 3.5 – Передняя панель генератора слов

Передняя панель вызывается двойным щелчком по изображению генератора. Программа формирования логических сигналов на выходах генератора слов включает набор шестнадцатеричных восьмиразрядных слов: например, на рисунке 3.5 показана программа *00000000*, *00000001*, *00000002*, *00000003*, *00000000*, *0000000A*, *0000000B*, *0000000C*, *0000000F*, *00000000*. Слова набираются на наборном поле в правой части панели. Курсор ставится там, где необходимо записать шестнадцатеричный символ *0, ... 9, A, B, C, D, E, F*. В нижней части панели располагаются индикаторы, показывающие уровень (нулевой или единичный) выходного сигнала на соответствующем выходе генератора слов. Например, при обработке девятой строки программы, в которой записан код *0000000F*, на *0–*, *1–*, *2–* и *3–* выходах генератора формируются единичные сигналы, что соответствует двоичному числу *1111*. В шаговом режиме работы генератора слов нажатие кнопки *Step* вызывает очередное слово записанной программы. После вызова последнего слова программа исполняется сначала. Установка необходимых меток в нужном месте осуществляется с помощью динамического меню при расположении курсора в зоне расположения меток и щелчка любой кнопкой мыши.

На рисунке 3.6 показана передняя панель логического анализатора. Задействовано четыре канала. Осциллограммы показывают зависимость выходного сигнала триггера (точки 2 и 3 на схеме) от входных (точки 5 и 10) на рисунке 3.4.

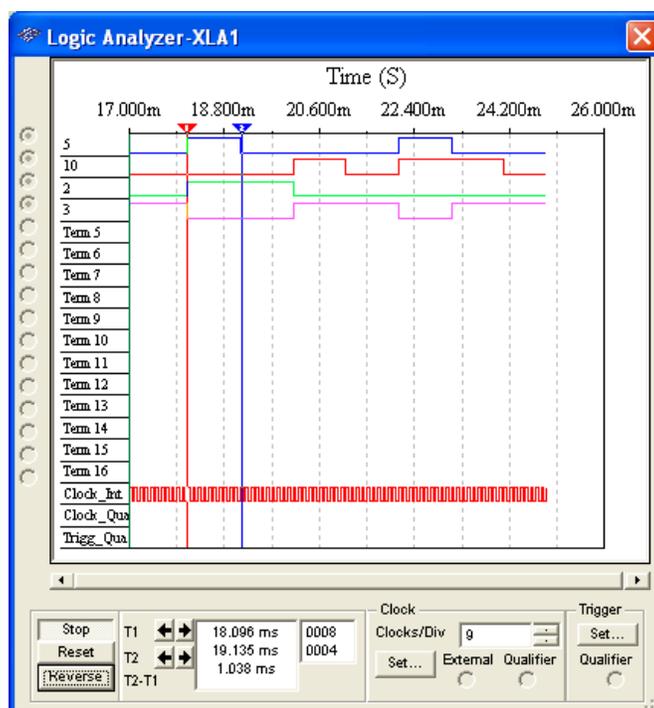


Рисунок 3.6 – Передняя панель логического анализатора

Цвет соединяющих линий определяет цвет осциллограмм соответственно. Синхронизация запуска логического анализатора определяется в блоке *Clock setup*. При коммутации кнопки *Set* открывается окно (рисунок 3.7).

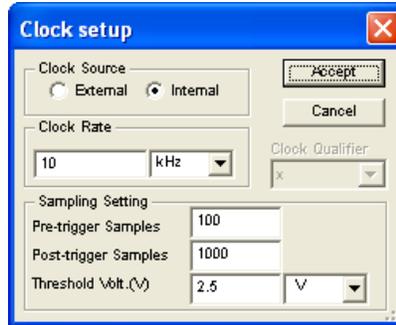


Рисунок 3.7 – Окно установки параметров сигнала запуска развертки

В данном примере синхронизация осуществляется от внутреннего генератора логического анализатора, частота которого в 10 раз больше, чем частота генератора слов. Соответственно, если настройку *Clocks/Div* (рисунок 3.6) выбрать 10, то один шаг генератора слов будет равен одному делению шкалы логического индикатора. При такой настройке в одну развёртку логического индикатора войдёт 10 слов генератора слов. Если *Clocks/Div=20*, то в одну развёртку логического индикатора войдёт 20 слов генератора слов.

3.1.3 Исследовать R,S -триггеры с синхронным управлением по схеме, приведенной на рисунке 3.8.

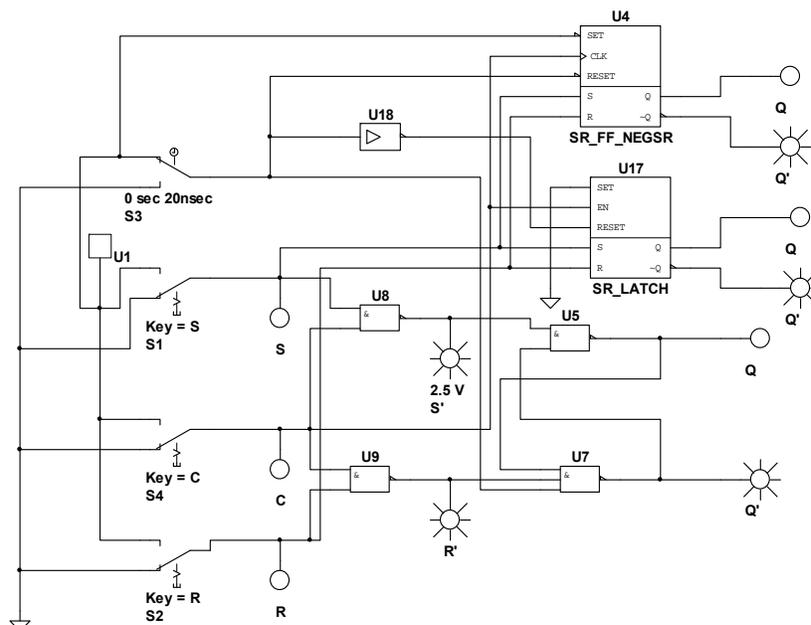


Рисунок 3.8 – Схема исследования триггеров с синхронным управлением

Для этого выполнить следующие шаги:

- из папки **Триггеры** вызвать на рабочий стол *Multisim* соответствующий файл **Рисунок 3.8.N**. На схеме приведено три триггера с синхронным управлением. Входы с обозначением «Set» и «Reset» триггеров *U17* и *U4* относятся к асинхронному управлению, триггер *U4* с динамическим управлением. Программно управляемый переключатель *S3* обеспечивает при включении питания на триггеры установку их в нулевое состояние;
- составить таблицы состояния триггеров, аналогичные приведенной в п. 3.1.1. Целесообразно составить объединённую таблицу на три триггера;
- провести исследование одновременно всех триггеров. Фиксировать появляющиеся различия в управлении каким либо триггером, отмечая в графе «**Пояснения**» таблицы состояния.

3.1.4 Исследовать R,S -триггеры с синхронным управлением по схеме, приведенной на рисунке 3.9, по временным диаграммам.

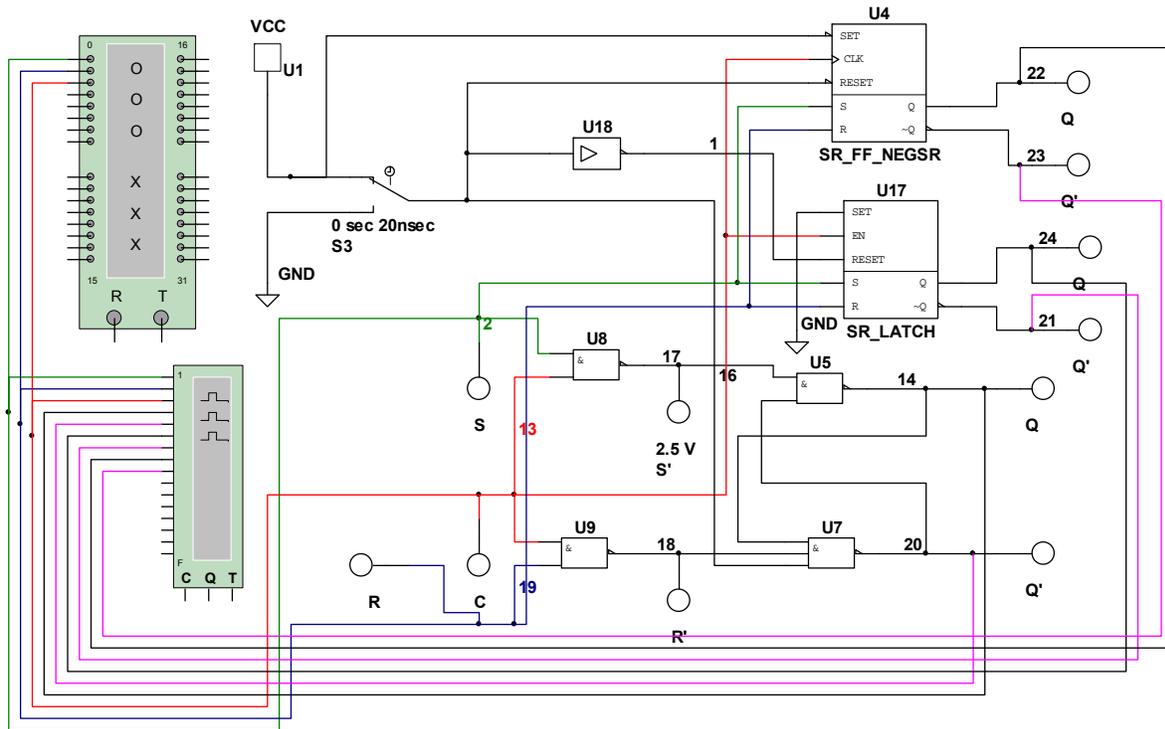


Рисунок 3.9 – Схема формирования временной диаграммы работы трёх триггеров при синхронном управлении

Для этого выполнить следующие шаги:

- из папки **Триггеры** вызвать на рабочий стол *Multisim* соответствующий файл **Рисунок 3.9.N**;
- получить временную диаграмму синхронного управления тремя триггерами с применением генератора слов и логического анализатора по диаграмме входных сигналов, заданных в описании к файлу **Рисунок 3.9.N** в *Multisim*;
- инструкции по применению и настройке генератора слов и логического анализатора смотри в предыдущем пункте.

3.1.5 Исследовать работу трёх D -триггеров в различных реализациях по схеме, представленной на рисунке 3.10.

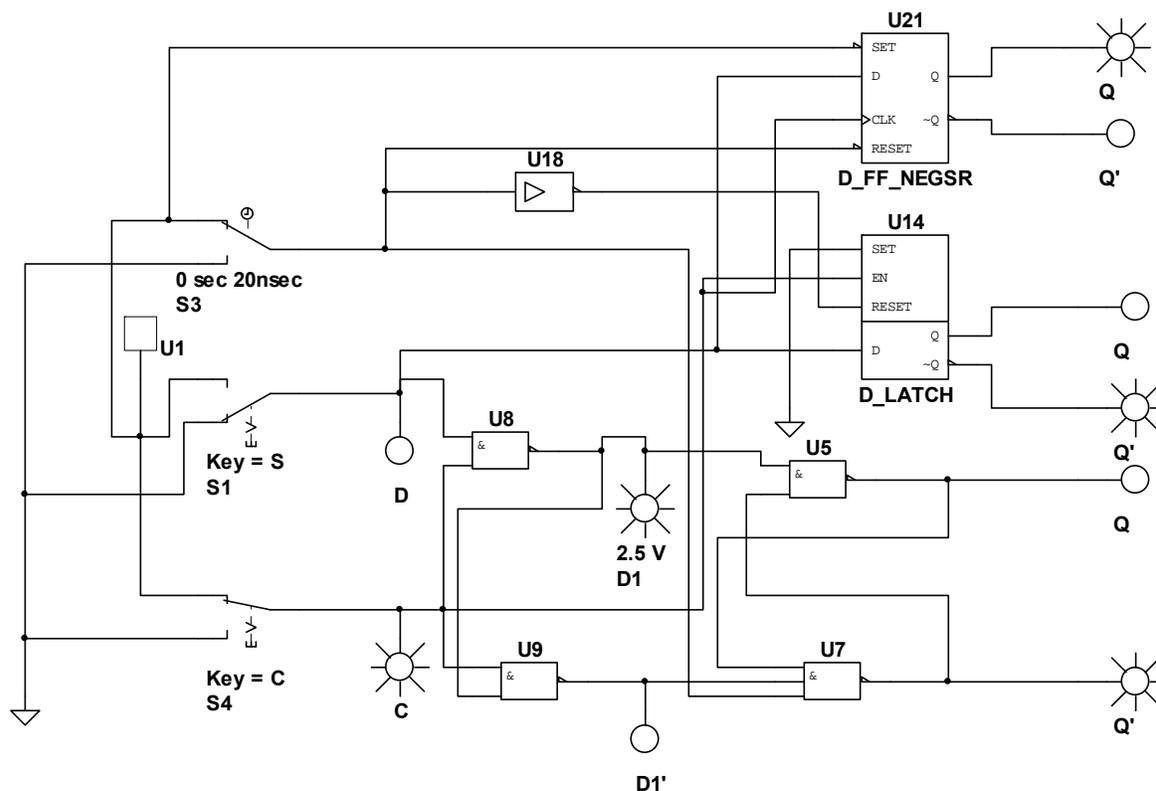


Рисунок 3.10 – Схема исследования D -триггера на элементах И-НЕ

Для этого выполнить следующие шаги:

- вызвать на рабочий стол *Multisim* схему исследования, размещённую в файле **Рисунок 3.10.N** из папки **Триггеры**. На схеме размещено три триггера: на логических элементах И-НЕ с потенциальным (прозрачным) управлением; виртуальный триггер *U14* с потенциальным управлением по D -входу и асинхронным R,S -управлением; виртуальный триггер *U21* с динамическим (непрозрачным) управлением по D -входу и асинхронным R,S -управлением;

- последовательно подавая на входы D и C триггера различные комбинации сигналов, зафиксировать состояние выходов триггеров и результаты занести в таблицу, аналогичную таблице 3.1. Получающиеся различия в управлении отдельными триггерами пояснять в примечании;

3.1.6 Исследовать работу трёх D -триггеров по временным диаграммам в различных реализациях в соответствии со схемой на рисунке 3.11.

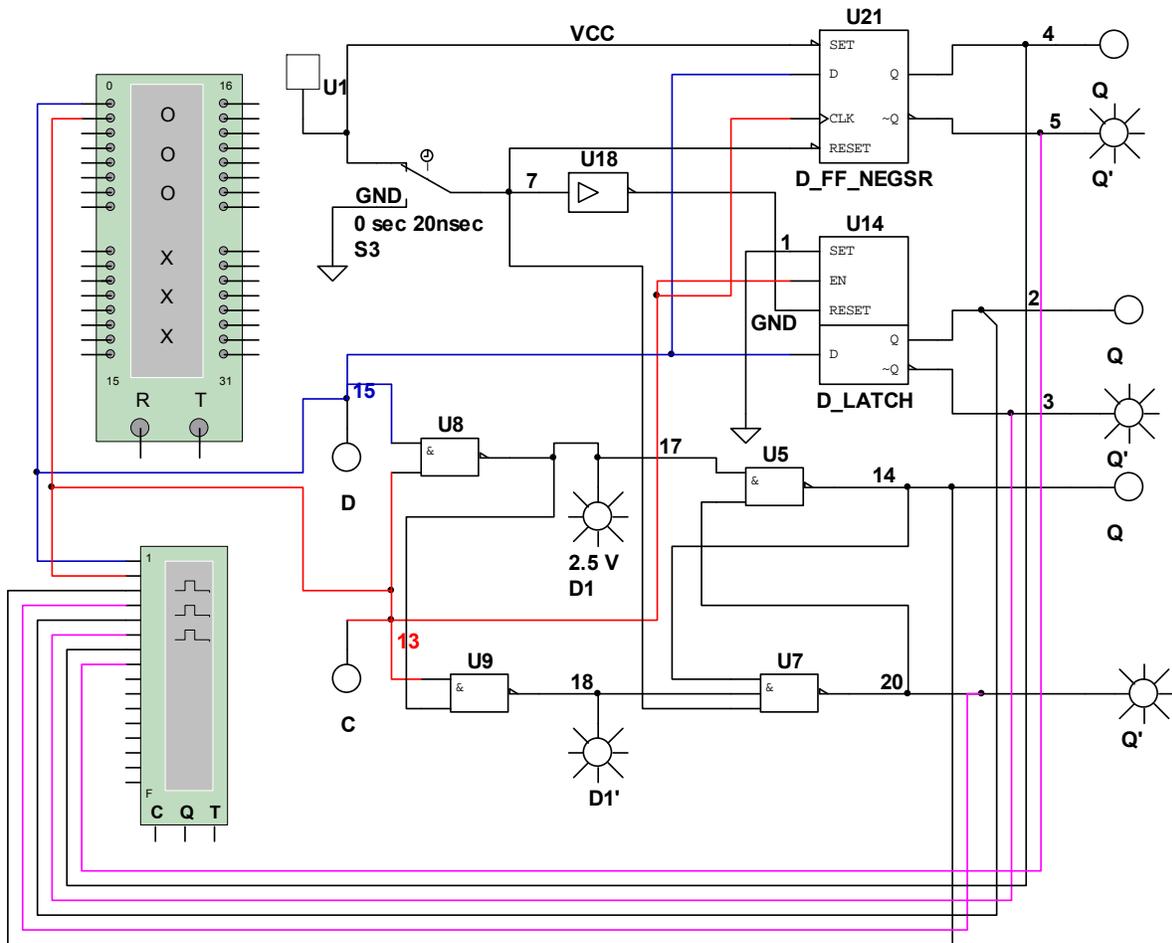


Рисунок 3.11 – Схема исследования D -триггера

Для этого выполнить следующие шаги:

- вызвать на рабочий стол *Multisim* схему исследования, размещённую в файле **Рисунок 3.11.N** из папки **Триггеры**. На схеме размещено три триггера: на логических элементах *И-НЕ* с потенциальным (прозрачным) управлением; виртуальный триггер *U14* с потенциальным управлением по D -входу и асинхронным R,S -управлением; виртуальный триггер *U21* с динамическим (непрозрачным) управлением по D -входу и асинхронным R,S -управлением;

- провести логический анализ работы D -триггеров по заданной временной диаграмме входных сигналов D и C с применением генератора слов и логического анализатора.

3.1.7 Исследовать работу J,K -триггеров.

Для этого выполнить следующие шаги:

- вызвать из папки **Триггеры** схему исследования J,K -триггера (рисунок 3.12), реализованного на элементах **ИЛИ-НЕ** в файле **Рисунок 3.12.N**;

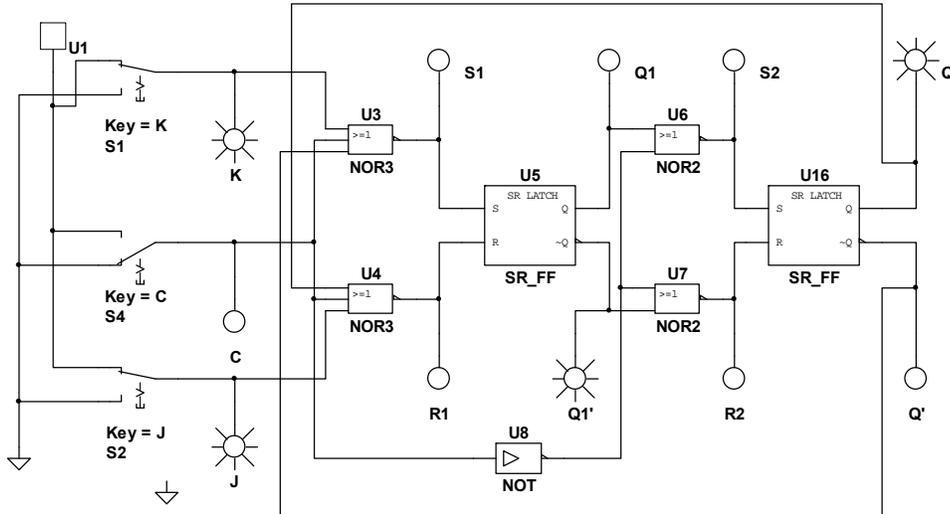


Рисунок 3.12 – Схема исследования J,K -триггера на элементах **И-НЕ**

- составить таблицу состояния, дать комментарии к каждой строке.

3.1.8 Исследовать работу J,K -триггеров.

Для этого выполнить следующие шаги:

- вызвать из папки **Триггеры** схему исследования J,K -триггера (рисунок 3.13), реализованную в файле **Рисунок 3.13.N**;

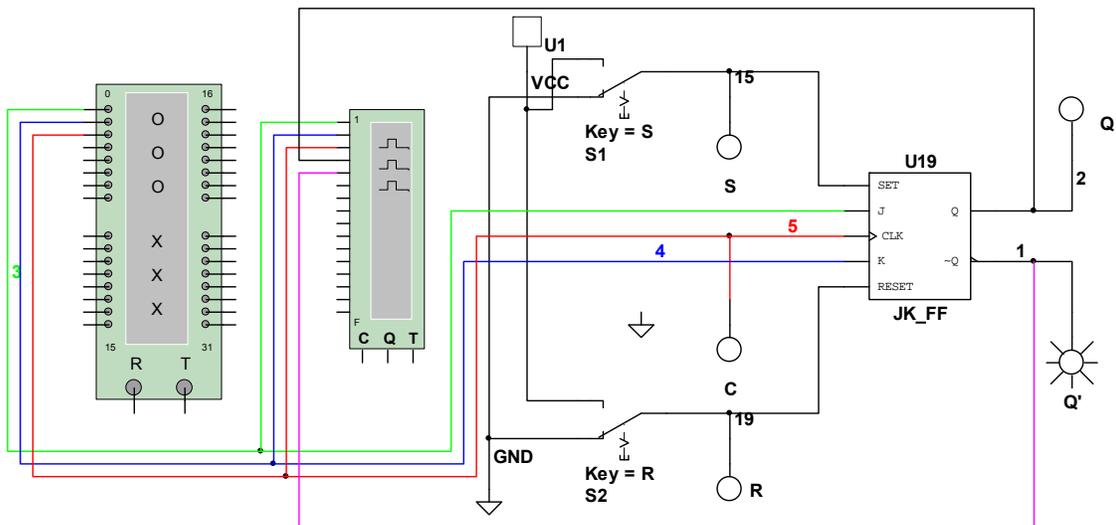


Рисунок 3.13 – Схема исследования J,K -триггера

– исследовать JK -триггер по схеме рисунок 3.13. Провести логический анализ работы схемы по временной диаграмме, построенной с помощью генератора слов и логического анализатора. Диаграмма входных сигналов J, K и C приведена в описании к файлу. Составить таблицу состояния по временной диаграмме, дать комментарии к каждой строке.

3.1.9 Исследовать работу T -триггеров.

Для этого выполнить следующие шаги:

– вызвать из папки **Триггеры** схему исследования J, K -триггера рисунок 3.14, размещённую в файле **Рисунок 3.14.N**. Найти состояние сигналов на J, K -входах, при которых JK -триггер переходит в режим двоичного счета. Описать работу счетчика, пользуясь информацией, получаемой от светодиодных логических пробников при коммутации кнопки C . Указать состояние сигнала на входе C , при котором выход триггера меняет свое состояние на инверсное. Составить таблицу истинности;

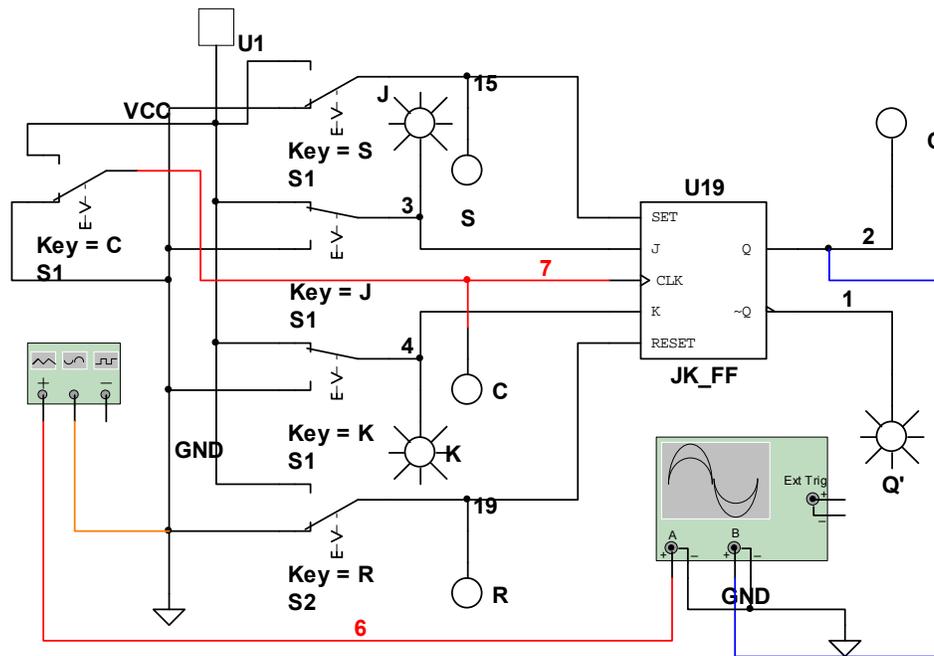


Рисунок 3.14 – Схема снятия осциллограммы работы T -триггера

– провести исследование T -триггера по временным диаграммам с использованием генератора импульсов и осциллографа (рисунок 3.14). Исследовать T -триггер как делитель частоты. Привести осциллограмму. Указать состояние сигнала на входе C , при котором выход триггера меняет свое состояние на инверсное. Определить максимальную частоту счета.

3.2 Содержание отчета по теме «Триггеры»

3.2.1 Назначение триггеров, цель исследований.

3.2.2 Изложение результатов выполнения программы работ по всем пунктам:

- постановка задачи;
- представление принципиальной схемы, описание работы схемы и процесса проведения эксперимента;
- оформление полученных результатов в виде таблиц, графиков, временных диаграмм или осциллограмм;
- провести анализ полученных результатов, дать сравнительную оценку и выводы;
- графическую часть желательно представить в машинном виде.

3.2.3 Сделать заключение и подвести итоги.

4 Двоичные счётчики

4.1 Программа выполнения работы в *Multisim*

4.1.1 Исследовать работу одноразрядного двоичного счетчика, реализованного на *D*- и *J,K*-триггерах.

Для этого выполнить следующие шаги:

– из папки *Двоичные счетчики* вызвать файл *Рисунок 4.1.N*. Открывается схема исследования, представленная на рисунке 4.1. В схеме предусмотрено два способа формирования тактовых (счетных) сигналов. Ручной способ предполагает последовательную коммутацию клавиши *S* и использование генератора прямоугольных сигналов. Наблюдение за выходным сигналом счетчика при ручном способе управления целесообразно вести с помощью логического индикатора *Q*, при использовании генератора – с помощью осциллографа. На схеме представлено две реализации счетчика: на *D*-триггере *X15* и *J,K*-триггере *U19*, где *CLK* – тактовый (счетный) вход. *Set* и *Reset* – входы асинхронного *R,S* – управления. Справа от условного графического обозначения указаны два выхода: прямой *Q* и инверсный *Q'* (рисунок 4.1);

– убедиться, что счётчик хранит информацию, переключается по определенному перепаду тактового сигнала в инверсное состояние, является делителем частоты на два. Определить перепад тактового сигнала, приводящий к переключению выхода на инверсное значение. Привести осцилло-

граммы работы счётчиков. Определить частоту входного и выходного сигналов. Отметить отличие в работе исследуемых счётчиков.

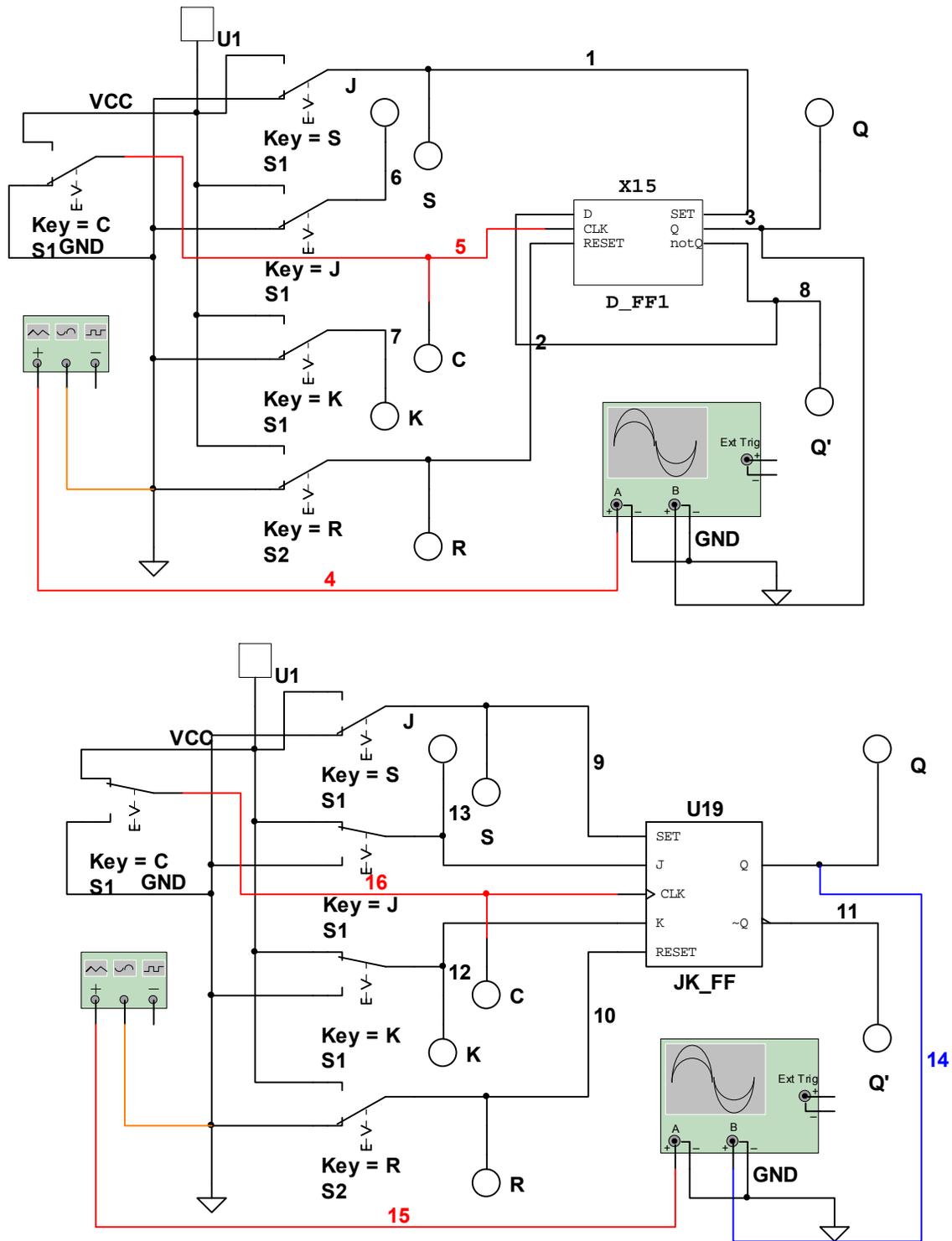


Рисунок 4.1 – Одноразрядный двоичный счетчик

4.1.2 Исследовать работу многоразрядного двоичного счетчика

Для этого:

- вызвать файл **Рисунок 4.2.N**, в котором размещается схема двоичного счётчика (рисунок 4.2), реализованного на *D*-триггерах;

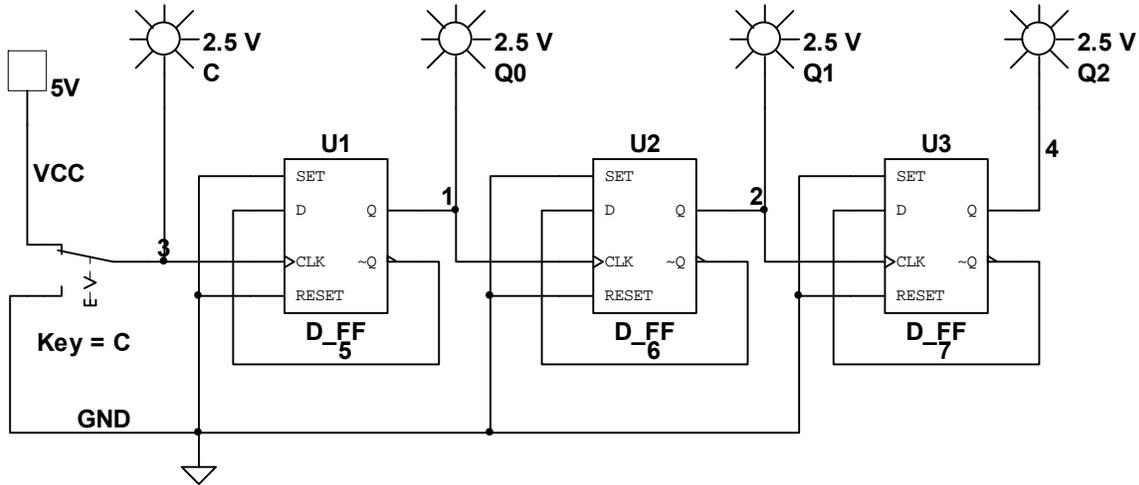


Рисунок 4.2 – Двоичный счетчик (структура 1)

- составить таблицу состояния выходов Q_2 , Q_1 , Q_0 при последовательной коммутации кнопкой (клавиша *C*) входа *CLK* элемента *U1*. Отметить, по какому фронту происходит переключение всех разрядов счетчика и к какому типу (асинхронному или синхронному) относится исследуемый счетчик. Пояснить, сколько разрядов содержит счетчик, до какого числа считает, какой элемент является младшим разрядом и какой – старшим? Доказать, что счетчик работает на вычитание (рисунок 4.2);

- вызвать файл **Рисунок 4.3.N**, в котором размещается схема двоичного счётчика (рисунок 4.3), реализованного на *D*-триггерах;

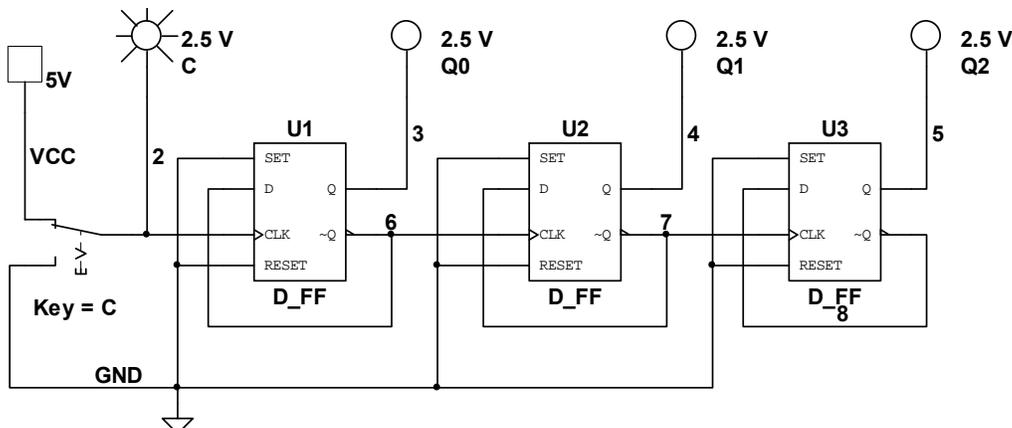


Рисунок 4.3 – Счетчик на сложение (структура 2)

– составить таблицу состояния выходов Q2, Q1, Q0 при последовательной коммутации входа CLK элемента U1 (рисунок 4.3). Отметить, по какому фронту происходит переключение всех разрядов счетчика и к какому типу (асинхронному или синхронному) относится счетчик. Пояснить, сколько разрядов содержит счетчик, до какого числа считает, какой элемент является младшим разрядом и какой – старшим? Доказать, что счетчик работает на сложение. Какие изменения в схеме привели к режиму счета на сложение?

4.1.3 Исследовать микросхему *K155IE5 (7493)* при работе в качестве счетчика и делителя частоты.

Для этого выполнить следующие шаги:

– из папки *Двоичные счётчики* вызвать файл *Рисунок 4.4.N*. На рабочий стол *Multisim* вызывается схема исследования (рисунок 4.4). Схема включает четырёхразрядный двоичный счётчик, состоящий из двух частей: делитель на два и делитель на восемь. Входы R01 и R02 – установка нуля;

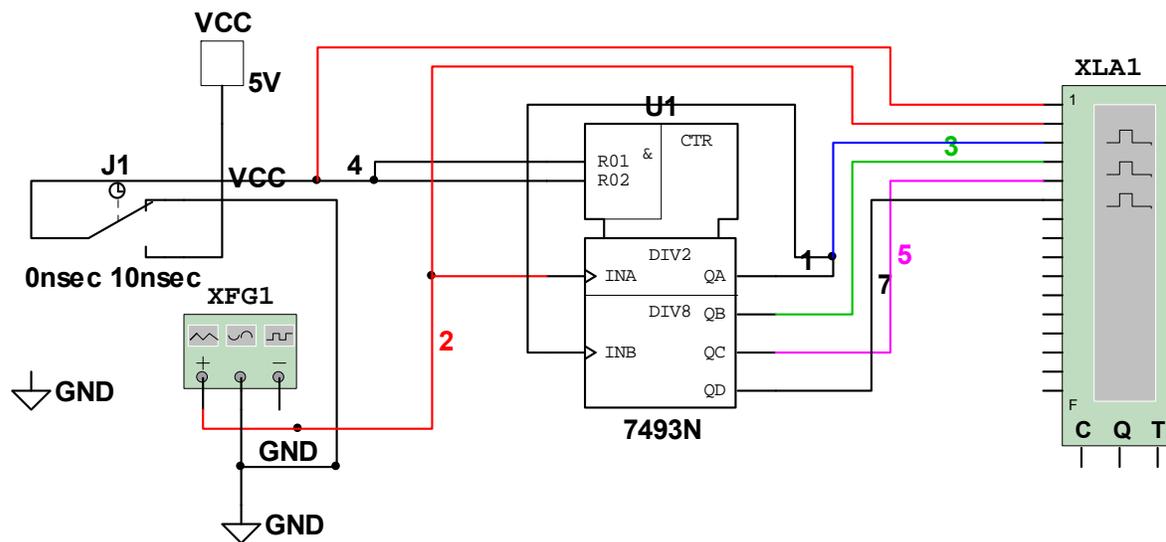


Рисунок 4.4 – Асинхронный двоичный счетчик на ИМС 7493

– исследовать работу счетчика с помощью логического анализатора *XLA1*. Вывести в виде диаграмм, полученные на анализаторе осциллограммы. Отметить фронт входного сигнала, при котором происходит смена состояния выходных сигналов счетчика. Обработать полученные осциллограммы и составить таблицу состояния выходных сигналов счетчика. Показать, что микросхема производит счет на сложение с представлением информации в двоичном коде. Определить коэффициент пересчета (деления).

Анализатор позволяет отобразить одновременно на экране монитора до шестнадцати осциллограмм – дискретных уровней сигналов, действующих во времени в шестнадцати точках исследуемой схемы. Для достоверного отображения дискретной информации, изменяющейся во времени, необхо-

можно рационально выбрать частоту выборки информации из исследуемых каналов и количество информации, выводимой на экран монитора. Эти параметры задаются с лицевой панели анализатора (рисунок 4.5). После коммутации кнопки «Set» на блоке «Clock» открывается окно (рисунок 4.6), в котором устанавливается частота выборки информации по исследуемым каналам в блоке «Clock rate» при выборе внутреннего генератора выборки «Internal» в блоке «Clock source».



Рисунок 4.5 – Лицевая панель логического анализатора

Частота выборки информации должна в 10...20 раз превышать максимальную частоту исследуемых сигналов и устанавливается в поле «Clock Rate» после оценки частоты генератора *XFG1* в исследуемой схеме.

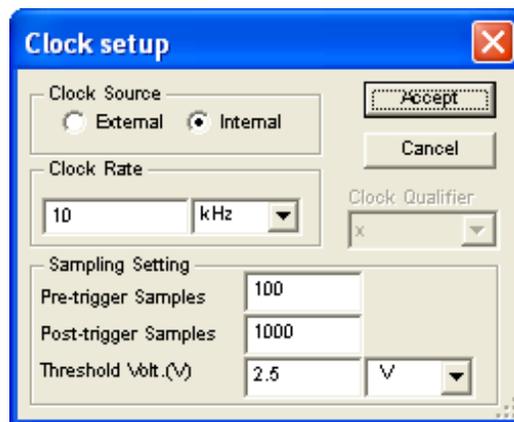


Рисунок 4.6 – Окно настройки анализатора для отображения информации

Специальных условий для выборки информации не назначается, поэтому переключатель «*Clock qualifier*» ставится в положение « \times ». Параметры наблюдаемого графического материала задаются в блоке «*Logic analyzer*». Объем выводимого материала на экран задается количеством точек «*Post-trigger samples*», например, 600. Так как переходные процессы в схеме отсутствуют, то количество точек «*Pre-trigger samples*» можно выбрать небольшим, например, от 10 до 100. При установке порогового напряжения «*Threshold voltage (V)*» величиной 2.5 В все измеренные напряжения в исследуемых точках менее этого значения будут представлены низким (нулевым) уровнем, а большей величины – высоким (единичным). Удобный масштаб наблюдения осциллограмм на экране монитора во времени выбирается числом «*Clocks/div*» на лицевой панели анализатора (см. рисунок 4.5). С помощью визирных линеек 1 и 2 можно сделать точный отсчет выбранного момента времени, определить разницу во времени между положениями линеек 1 и 2 и состояния дискретных сигналов в шестнадцатеричной форме, соответствующих положениям линеек (дискретные состояния сигнала на верхней осциллограмме относятся к младшему разряду четырехразрядного шестнадцатеричного числа, формируемого в окне на лицевой панели анализатора против меток *T1* и *T2*).

4.1.4 Исследовать микросхему *K155ИЕ4 (7492)* при работе в качестве счетчика и делителя частоты по схеме на рисунке 4.7.

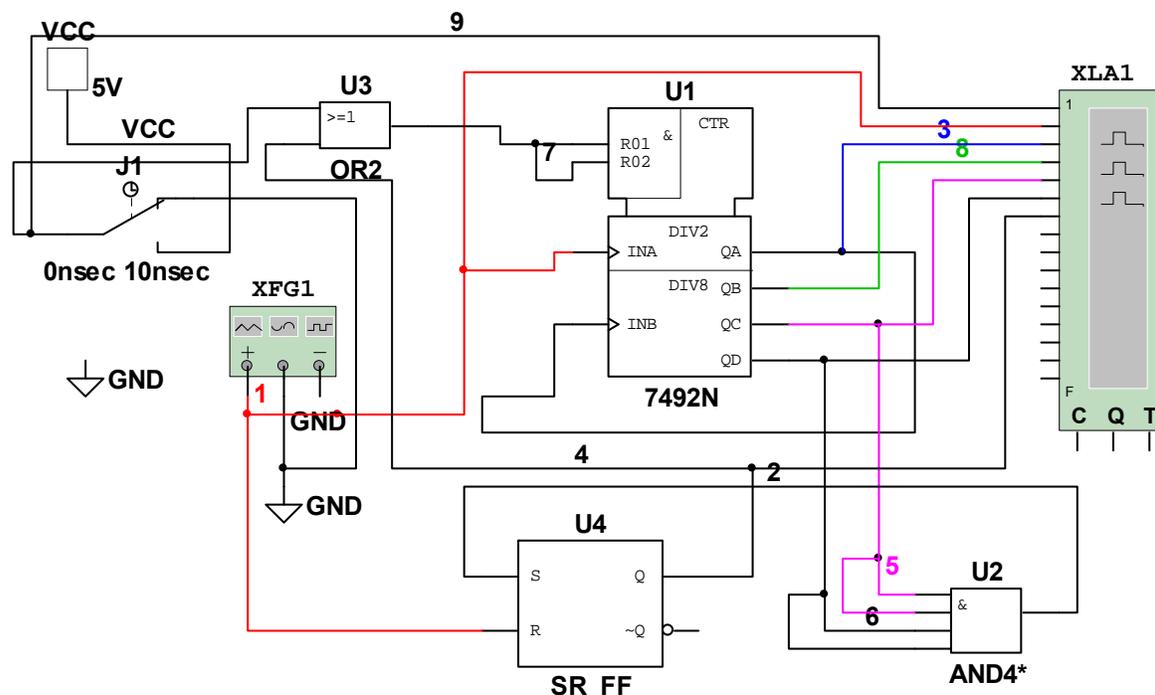


Рисунок 4.7 – Асинхронный двоичный счетчик на ИМС 7492

Для этого выполнить следующие шаги:

- из папки *Двоичные счётчики* вызвать файл *Рисунок 4.7.N*. На рабочем столе *Multisim* вызывается схема исследования, представленная на рисунке 4.7. ИМС 7492 (U1) работает в режиме четырёхразрядного счётчика, ИМС U3 осуществляет управление процессом сброса (установки всех разрядов в нулевое состояние) при включении питания на схему и при достижении определённого состояния выходов счётчика, контролируемого дешифратором U2 для получения счетчика–делителя на 12 (первая часть счетчика A делит на 2, а вторая часть B – на 6);

- исследовать работу счетчика с помощью логического анализатора XLA1. Вывести на диаграмму, полученные на анализаторе осциллограммы. Отметить фронт входного сигнала, при котором происходит смена состояния выходных сигналов счетчика. Обработать полученные осциллограммы и составить таблицу состояния выходных сигналов счетчика. Показать, что микросхема производит счет на сложение с представлением информации в двоичном коде. Определить коэффициент пересчета (деления).

4.1.5 Исследовать микросхему K155IE2 (7490) при работе в качестве счетчика и делителя частоты по схеме на рисунке 4.8.

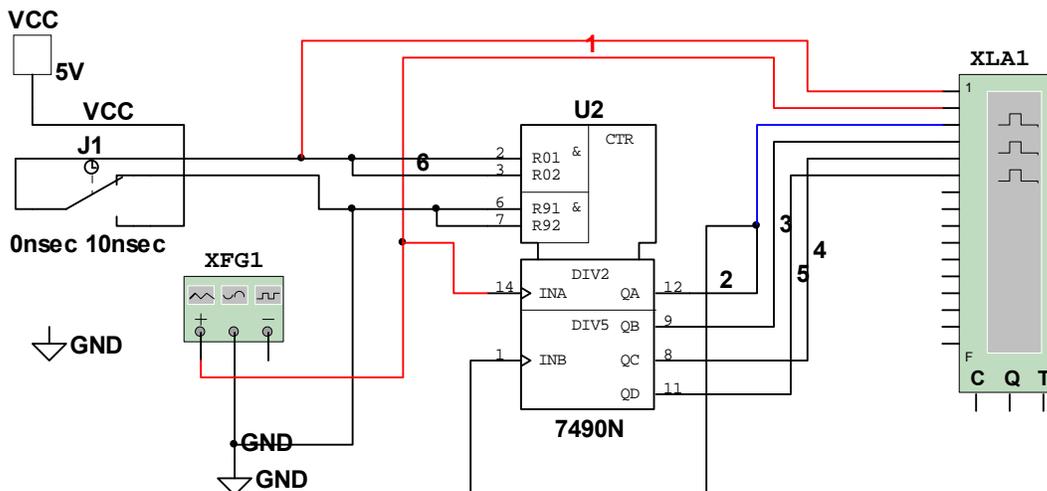


Рисунок 4.8 – Асинхронный двоичный счетчик на ИМС 7490

Для этого выполнить следующие шаги:

- из папки *Двоичные счётчики* вызвать файл *Рисунок 4.8.N*, в котором представлена схема исследования рисунок 4.8. На выходы 2, 3 ИМС 7490 через переключатель J1, программно управляемый во времени, подаётся в течении 10нс «1» для установки выходов счётчика в нулевое состояние при включении питания на схему, далее «0» – для разрешения счёта. На выходы 6, 7 ИМС 7490 подключен «0», исключающий установку числа 9 на выходе и разрешающий счёт. Выводы 12 и 1 соединены для получения счетчика–

делителя на 10 (первая часть счетчика *A* делит на 2, а вторая часть *B* – на 5). Вывод 14 – вход счетчика подсоединен к выходу генератора импульсов *XFG1* (рисунок 4.8);

– исследовать работу счетчика с помощью логического анализатора *XLA1*. Вывести на диаграмму, полученные на анализаторе осциллограммы. Отметить фронт входного сигнала, при котором происходит смена состояния выходных сигналов счетчика. Обработать полученные осциллограммы и составить таблицу состояния выходных сигналов счетчика. Показать, что микросхема производит счет на сложение с представлением информации в двоичном коде. Определить коэффициент пересчета (деления).

4.1.6 Исследовать *J,K*–триггер *K155TB1* (7472).

Для этого:

– из папки *Двоичные счетчики* вызвать файл *Рисунок 4.9.N*, в котором запрограммирована схема исследования *J,K*–триггера на ИМС 7472 (рисунок 4.9);

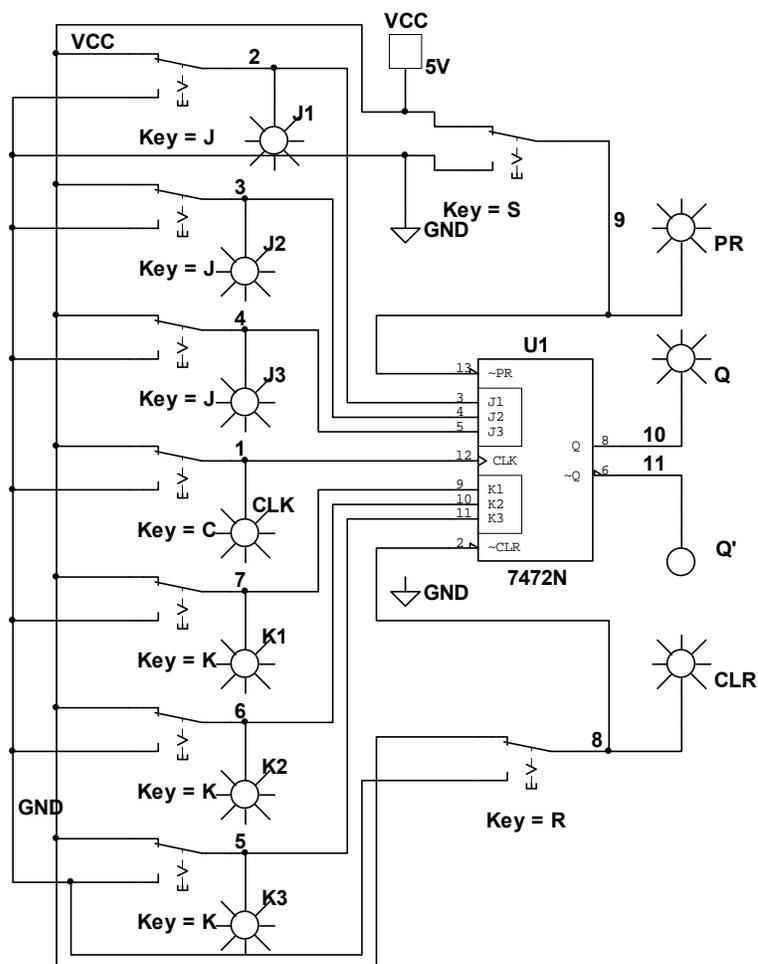


Рисунок 4.9 – *J,K*–триггер на ИМС 7472

– составить таблицу состояния триггера и на основе ее описать работу триггера. Определить условия работы триггера в режиме двоичного счетчика. Коммутацию входов вести переключателями $J1 - J9$, управляемыми курсором (рисунок 4.9). Контроль состояния входов и выходов производится светодиодными логическими индикаторами, буквенное обозначение которых совпадает с названием входов и выходов.

4.1.7 Исследовать синхронный двоичный счетчик на J,K -триггерах 7472 (вариант 1).

Для этого:

– из папки *Двоичные счётчики* вызвать файл *Рисунок 4.10.N*, в котором набрана схема исследования синхронного двоичного счетчика на J,K -триггерах 7472 (рисунок 4.10). Следует иметь в виду, что схема исследования (рисунок 4.10, 4.11 или 4.12) зависит от номера варианта;

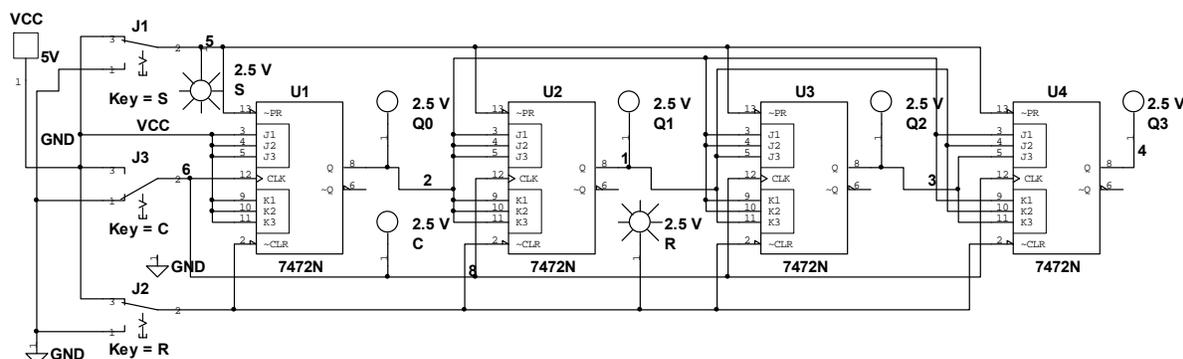


Рисунок 4.10 – Синхронный двоичный счетчик на J,K -триггерах 7472 (вариант 1)

– составить таблицу состояния счетчика и на основе ее описать работу счетчика. Определить фронт входного сигнала при переключении счетчика, разрядность (указать младший и старший разряды), коэффициент пересчета (деления). Коммутацию входов вести переключателями $J1 - J3$, управляемыми указанными клавишами или курсором и кнопкой мыши. Контроль состояния входов и выходов производится светодиодными логическими индикаторами, буквенное обозначение которых совпадает с названием входов и выходов.

4.1.8 Исследовать синхронный двоичный счетчик на J,K -триггерах 7472 (вариант 2).

Для этого:

– из папки *Двоичные счётчики* вызвать файл *Рисунок 4.10.N*, в котором представлена схема исследования рисунок 4.11 (Синхронный двоичный счетчик на J,K -триггерах 7472). Следует иметь в виду, что схема исследу-

дования (рисунок 4.10, 4.11 или 4.12) зависит от номера варианта. На рисунке 4.11 представлена схема синхронного счётчика с коэффициентом деления, отличающегося от 16;

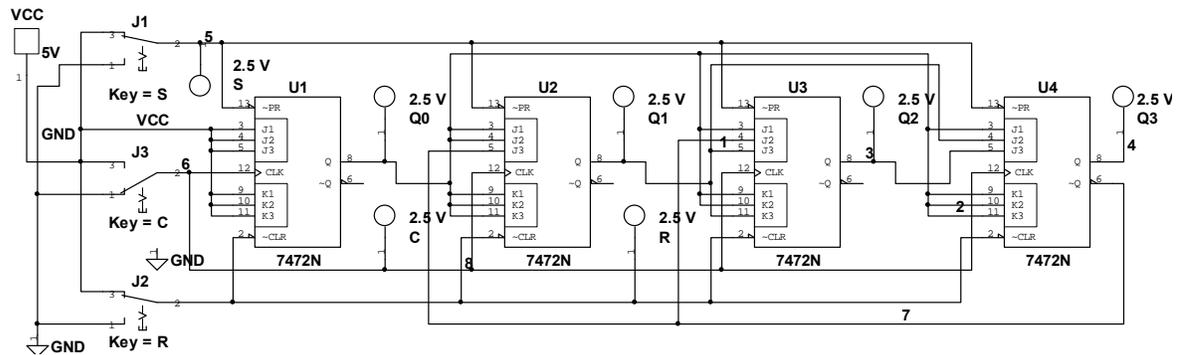


Рисунок 4.11 – Синхронный двоичный счетчик на J,K -триггерах 7472 (вариант 2)

– составить таблицу состояния счетчика и на основе ее описать работу счетчика. Определить фронт входного сигнала при переключении счетчика, разрядность (указать младший и старший разряды), коэффициент пересчета (деления). Коммутацию входов вести переключателями $J1 - J3$ (рисунок 4.11), управляемыми курсором и левой кнопкой мыши. Контроль состояния входов и выходов производится светодиодными логическими индикаторами, буквенное обозначение которых совпадает с названием входов и выходов.

4.1.9 Исследовать синхронный двоичный счетчик на J,K -триггерах 7472, представленный на рисунке 4.12 по варианту 3.

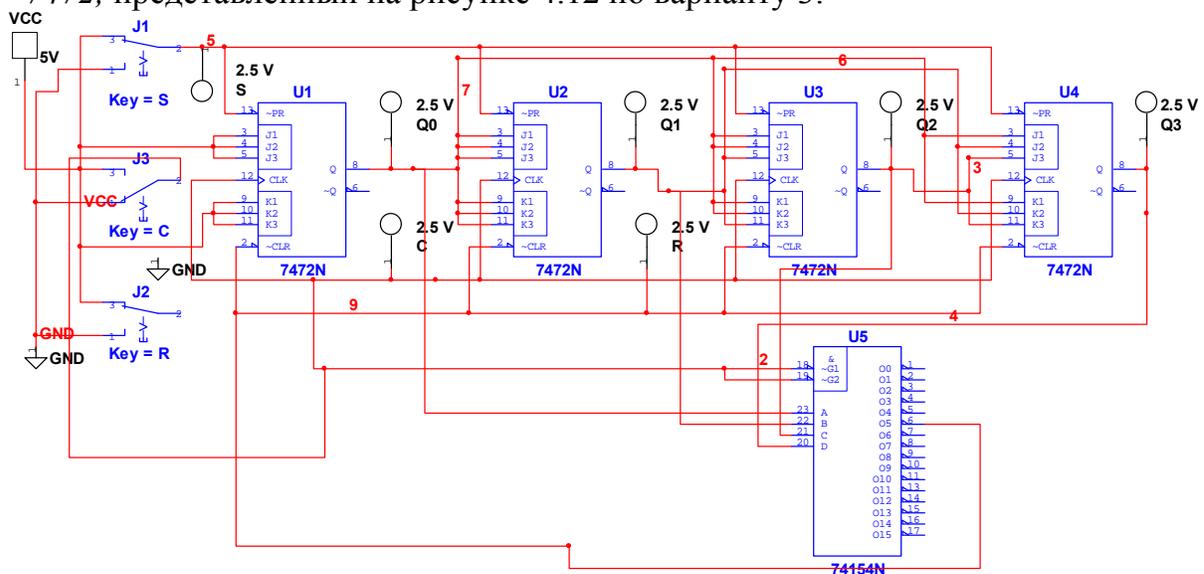


Рисунок 4.12 – Синхронный двоичный счетчик на J,K -триггерах 7472

Для этого выполнить следующие шаги:

- из папки *Двоичные счётчики* вызвать файл *Рисунок 4.10.N*, в котором представлена схема исследования рисунок 4.12 (Синхронный двоичный счётчик на J,K -триггерах 7472 по третьему варианту). Следует иметь в виду, что схема исследования (рисунок 4.10, 4.11 или 4.12) зависит от номера варианта. На рисунке 4.12 представлена схема синхронного счётчика с коэффициентом деления, устанавливаемого подключением соответствующего выхода дешифратора к схеме установки счётчика в ноль;

- составить таблицу состояния счётчика и на основе ее описать работу счётчика. Определить фронт входного сигнала при переключении счётчика, разрядность (указать младший и старший разряды), коэффициент пересчета (деления). Коммутацию входов вести переключателями $J1 - J3$ (рисунок 4.12), управляемыми курсором и левой кнопкой мыши. Контроль состояния входов и выходов производится светодиодными логическими индикаторами, буквенное обозначение которых совпадает с названием входов и выходов.

4.1.10 Исследовать динамические свойства асинхронного и синхронного управления по схеме, представленной на рисунке 4.13.

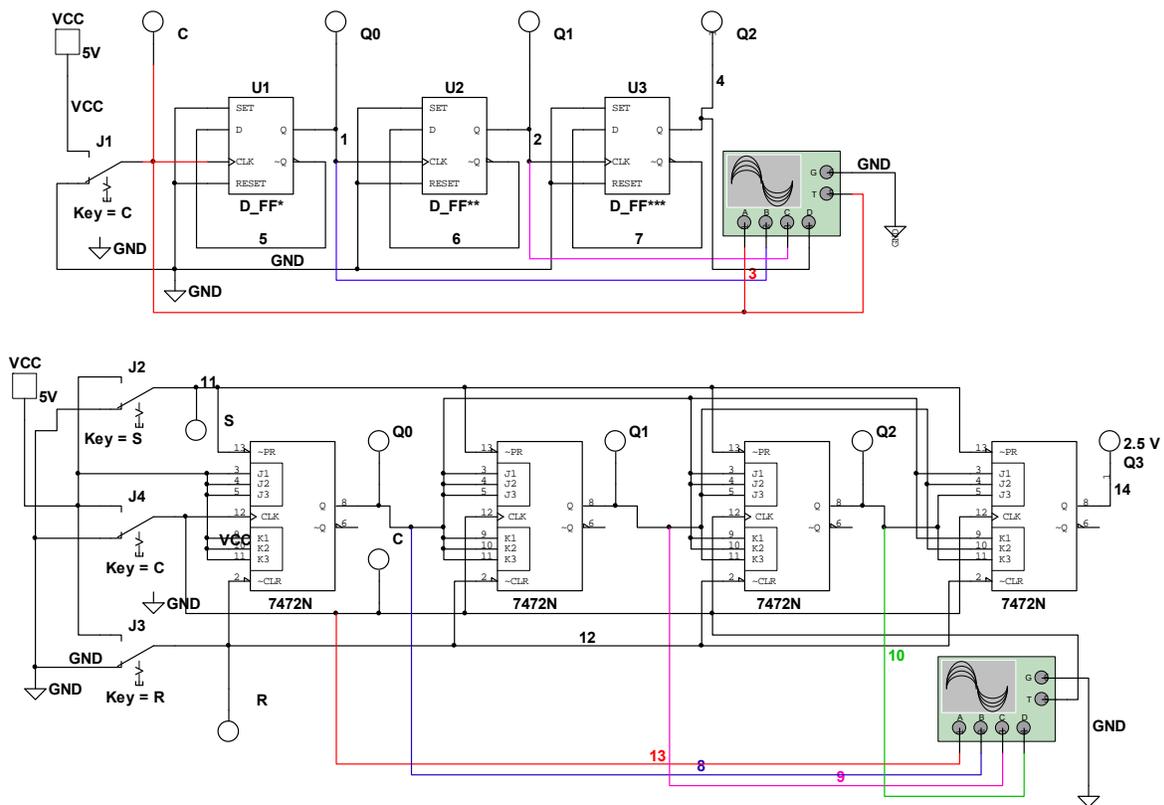


Рисунок 4.13 - Схемы исследования асинхронной и синхронной структур двоичных счётчиков

Для этого выполнить следующие шаги:

- из папки *Двоичные счетчики* вызвать файл *Рисунок 4.13.N*, в котором представлена схема динамического исследования структур асинхронного и синхронного управления двоичным многоразрядным счётчиком (рисунок 4.13);

- на рисунке 4.13 приведены структуры управления и необходимый инструмент исследования – четырёхканальный (лучевой) осциллограф. Успех эксперимента и его достоверность зависят от настройки осциллографа и программы моделирования. Суть динамического исследования состоит в определении временного сдвига сигналов, формируемых на выходах разрядов двоичного счётчика, относительно сигнала, действующего на счётном входе. Рекомендуется использовать ждущий режим запуска развёртки осциллографа (*Nor.*). В качестве запускающего развёртку сигнала используется счётный сигнал (сигнал на входе счётчика). Но предварительно необходимо определить характер активного перепада входного сигнала, приводящий к смене состояния выходных сигналов счётчика, и установить настройку *Edge* окна *Trigger* осциллографа. Уровень запуска развёртки *Level* выбрать значением $1 V$. Знак зависит от характера выбора настройки *Edge*. Длительность горизонтальной развёртки выбирается в соответствии с временем задержки распространения применяемых элементов, т.е. в наносекундах.

Настройка программы моделирования состоит в использовании постоянного по значению шага моделирования, например, $1 \dots 10 ns$. В главном меню выбирается процедура *Simulate*, открывается команда *Interactive Simulation Settings* и в строке *Set initial time step* устанавливается значение шага моделирования, предварительно выключив кнопку *Set maximum timestep (TMAX)*;

- для каждой из структур получить временные диаграммы выходных сигналов относительно входного (счётного);

- определить среднее время распространения сигнала используемых триггеров;

- указать преимущества и недостатки исследуемых структур.

4.2 Содержание отчета по теме «Двоичные счётчики»

4.2.1 Назначение счетчиков, цель исследований.

4.2.2 Изложение результатов выполнения программы работ по всем пунктам:

- постановка задачи;

- представление принципиальной схемы, описание работы схемы и процесса проведения эксперимента;

- оформление полученных результатов в виде таблиц, графиков, временных диаграмм или осциллограмм;
- провести анализ полученных результатов, дать сравнительную оценку и выводы;
- графическую часть представить в отредактированном виде.

4.2.3 Сделать заключение и подвести итоги.

5 Дешифраторы

5.1 Исследование дешифраторов в *Multisim*

5.1.1 Исследовать работу дешифратора на ИМС 74155 (К155ИД4).

Для этого выполнить следующие шаги:

- вызвать на рабочее поле *Multisim* из папки *Дешифраторы* схему исследования (рисунок 5.1) из файла *Рисунок 5.1.N*;

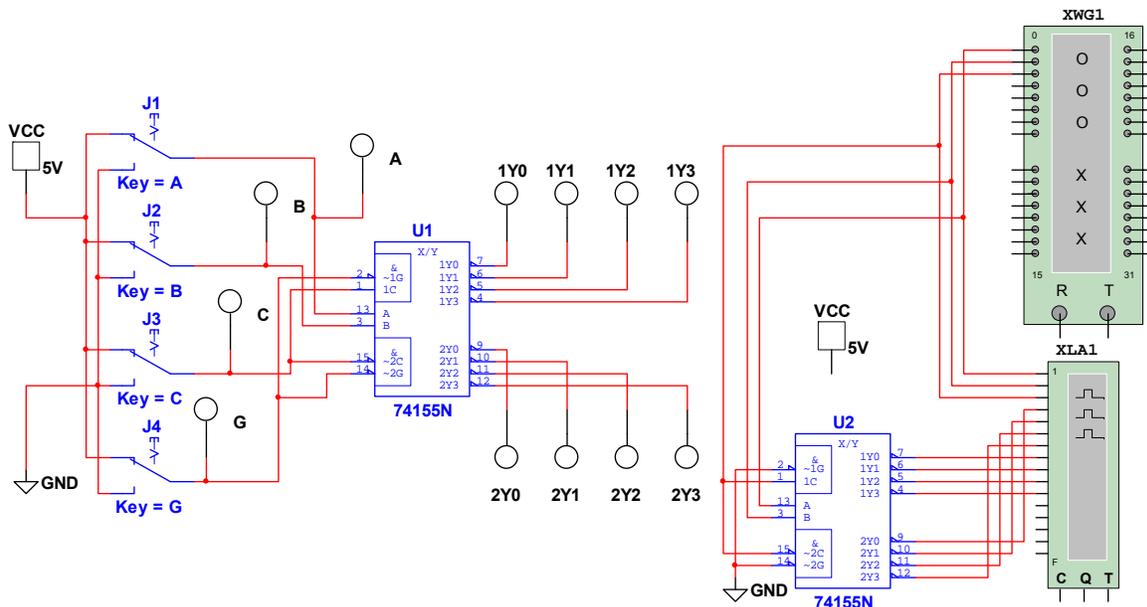


Рисунок 5.1 – Исследование ИМС 74155 (К155ИД4)

- необходимые комбинации сигналов на входах *A*, *B*, *C* дешифратора задаются переключателями *A*, *B*, *C*, управляемыми одноименными клавишами с контролем уровня сигнала светодиодными логическими индикаторами. Сигнал разрешения работы дешифратора формируется клавишей *G*. Контроль выходных сигналов дешифратора *1Y0* – *1Y3*, *2Y0* – *2Y3* ведется одно-

именными светодиодными логическими индикаторами, свечение которых соответствует логической единице (рисунок 5.1);

- на второй схеме, приведённой на рисунке 5.1, предлагается провести исследования во времени, построив временную диаграмму работы дешифратора;

- на основе исследования первой схемы составить таблицу состояния выходов дешифратора, отметив активный уровень выходного сигнала;

- на основе исследования второй схемы построить средствами *Multisim* временную диаграмму работы дешифратора.

5.1.2 Исследовать работу дешифратора на ИМС 74154 (К155ИД3).

Для этого выполнить следующие шаги:

- вызвать на рабочее поле *Multisim* из папки *Дешифраторы* схему исследования (рисунок 5.2), представленную в файле *Рисунок 5.2.N*;

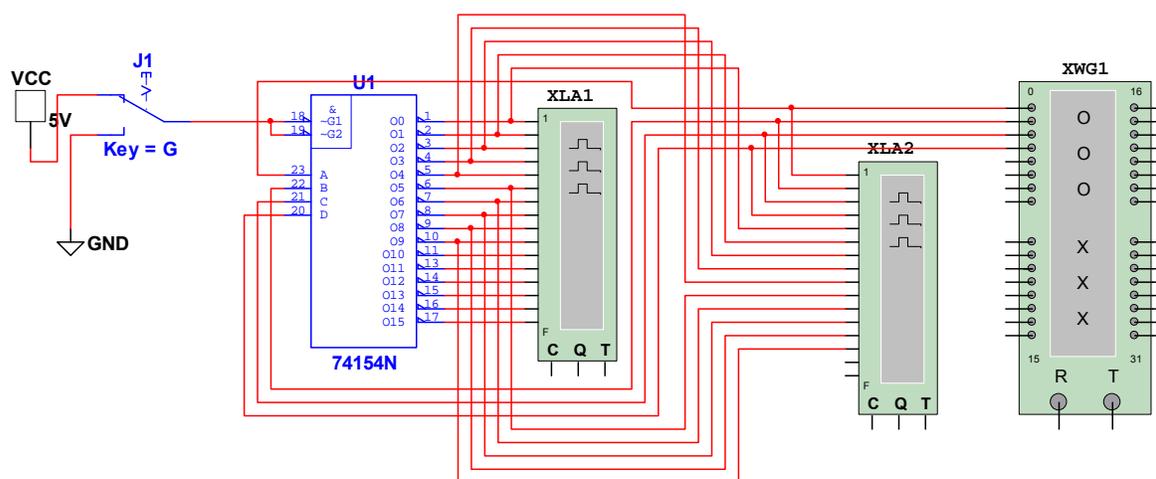


Рисунок 5.2 – Исследование ИМС 74154 (К155ИД3)

- необходимые комбинации сигналов на входах *A*, *B*, *C*, *D* дешифратора задаются генератором слов *XWG1* (рисунок 5.2). Сигнал разрешения формируется клавишей *G*. Контроль выходных сигналов дешифратора *O0... O15* ведется логическим индикатором *XLA2* на 16 входов. Так как наблюдаемых сигналов 20, то использовано два анализатора. Входы дешифратора *A*, *B*, *C*, *D* подключены к четырём выходам *0...3* младшего шестнадцатеричного разряда генератора слов. Поэтому необходимые комбинации состояний сигналов *0...F* задаются в младшем шестнадцатеричном разряде таблицы, расположенной в правой части панели (рисунок 5.3). Расстановка служебных меток (начало массива слов, конец массива и другие) осуществляется выделением нужной строки и вызовом динамического меню нажатием правой кнопки мыши. В открывшемся окне выбирается нужная команда. Режим управления генератором рекомендуется выбрать либо непрерывный *Cycle*,

либо одноразовый *Burst*. Настройка логического анализатора сводится к установке частоты внутреннего генератора записи в 10 раз большей, чем частота генератора слов. Частота генератора слов задаётся в варианте файла;

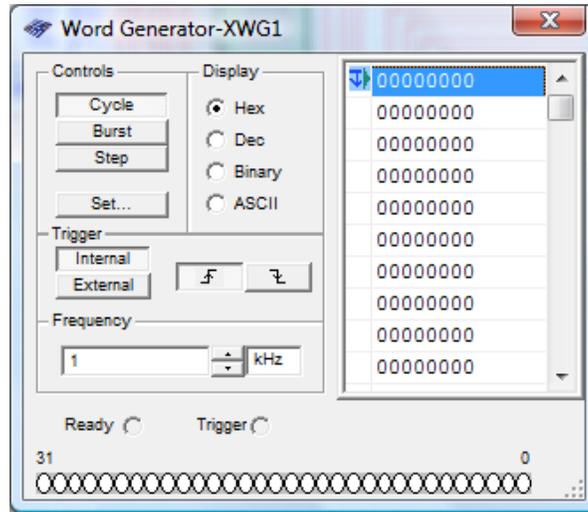


Рисунок 5.3 – Лицевая панель генератора слов

- сформировать средствами *Multisim* временную диаграмму работы дешифратора, показав входные сигналы и часть выходных сигналов. Временную диаграмму отредактировать;
- составить таблицу состояния выходов дешифратора, отметив активный уровень выходного сигнала.

5.1.3 Исследовать работу дешифратора на ИМС 7447, предназначенного для управления семисегментным индикатором.

Для этого выполнить следующие шаги:

- вызвать на рабочее поле *Multisim* из папки *Дешифраторы* схему исследования (рисунок 5.4), расположенную в файле *Рисунок 5.4.N*;
- визуализация информации осуществляется полупроводниковым семисегментным индикатором с общим анодом. Управление формированием цифр 0...9 на индикаторе ведёт специальный дешифратор *UI*, реализованный на интегральной микросхеме 7447. Выходы дешифратора *OA...OG* выполнены с открытым коллектором, следовательно, нулевой логический уровень на выходе приводит к свечению соответствующего сегмента.

Необходимые комбинации сигналов на входах *A, B, C, D* дешифратора задаются генератором слов *XWG1* с контролем уровня сигнала с помощью логического индикатора *XLAI*. Сигнал разрешения индикации единичного уровня формируется переключателем *G*. Для контроля исправности всех сегментов предусмотрен переключатель *P*. Следует иметь в виду, что результат смены состояния переключателей *G* и *P* проявляется при очередной смене

состояния информации на входах A, B, C, D . Контроль выходных сигналов дешифратора $OA - OG$ ведется логическим анализатором $XLA1$ по соответствующим входам. Комбинации состояний выходных сигналов дешифратора образуют десятичные цифры $0...9$, отражающие определенное состояние входов (рисунок 5.4);

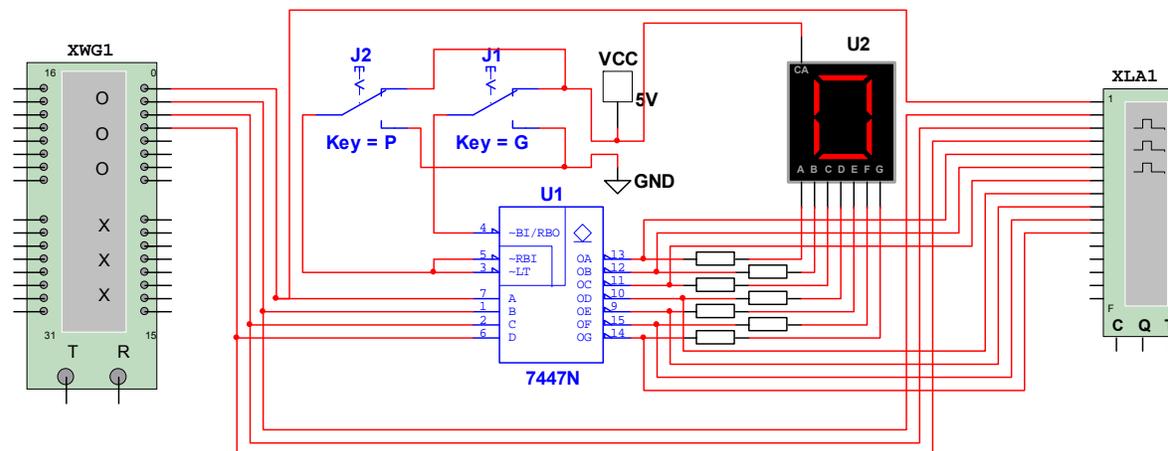


Рисунок 5.4 – Исследование ИМС 7447

- сформировать временную диаграмму работы дешифратора (выходных сигналов $OA...OG$), используя генератор слов и логический анализатор;
- составить таблицу состояния выходов дешифратора по временной диаграмме, отметив активный уровень выходного сигнала;
- объяснить необходимость применения резисторов.

5.1.4 Исследовать влияние времени задержки элементов, входящих в асинхронные и синхронные счётчики, на работу дешифратора.

Для этого:

- вызвать на рабочее поле *Multisim* из папки *Дешифраторы* схему исследования *Рисунок 5.5.N*;

– на схеме рисунок 5.5 представлены два двоичных двухразрядных счётчика: первый реализован по асинхронной структуре ($U1, U2$), а второй по синхронной ($U4, U5$). К выходам счётчиков подключены дешифраторы на четыре выхода. Регистрация сигналов дешифратора производится четырёхлучевым осциллографом. Запуск развёртки осциллографа выполнен отрицательным перепадом с выхода второго разряда счётчика по внешнему (отдельному) входу T (*Ext*), что приводит к необходимости привести в действие режим запуска горизонтальной развёртки в положение *Ext* (внешняя синхронизация). Длительность горизонтальной развёртки выбирается в наносекундах и шаг моделирования задаётся постоянным, примерно одна наносекунда. Для получения результата исследования в компактной форме на экране ос-

циллографа частоту счётного сигнала, формируемого генератором *XFG1*, рекомендуется выбрать 10 МГц ;

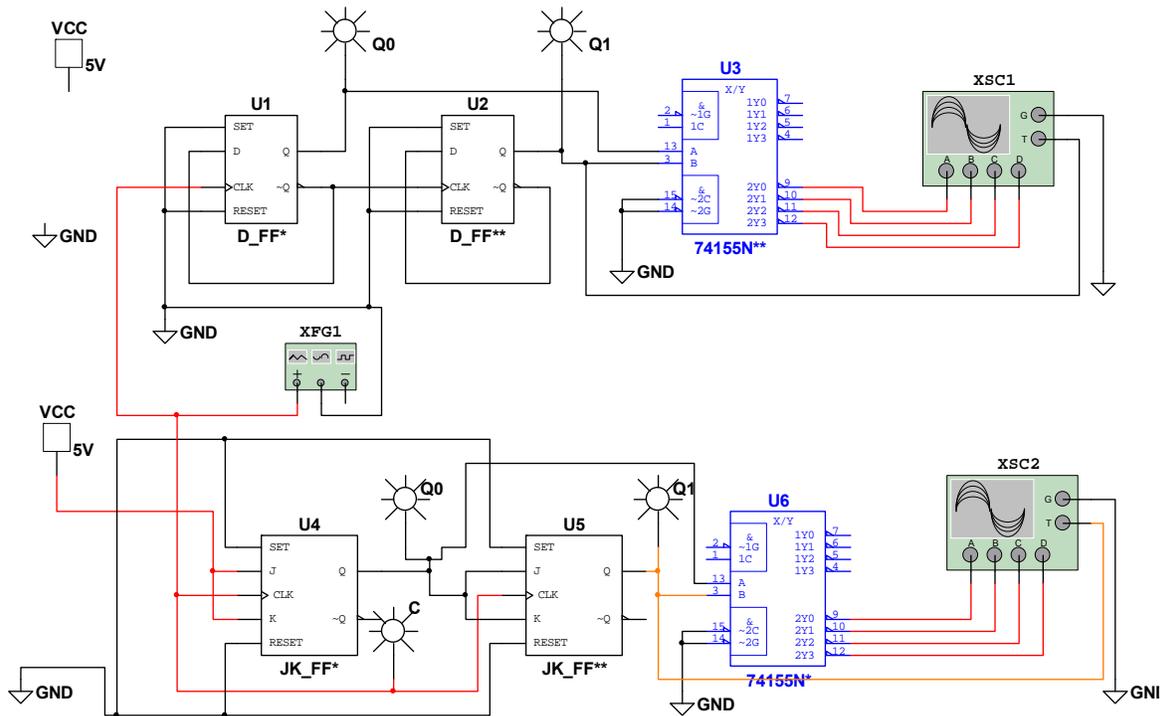


Рисунок 5.5 – Схема исследования влияния времени задержки на работу дешифратора

- последовательно задавая время задержки элементов счётчиков от 1 нс до 40 нс получить временные диаграммы работы счётчиков (асинхронного и синхронного);
- провести анализ полученных результатов и сделать выводы о предпочтительности применения той или иной структуры.

5.1.5 Исследовать работу распределителя импульсов.

Для этого выполнить следующие шаги:

- разработать схему распределителя в *Multisim*, для указанного преподавателем варианта из таблицы 5.1;
- предполагается, что реализация распределителя осуществляется на основе счётчиков и дешифраторов, набор схем которых задан в файле **Рисунок 5.6** и показывается на рисунке 5.6. Кроме того, дополнительно может быть использован любой логический элемент. В основу структуры распределителя входит счётчик с коэффициентом деления, равным числу выходов распределителя, а дешифратор организует выходы распределителя и одновременно используется в схеме управления сбросом счётчика;

Таблица 5.1 – Варианты схемы распределителя

Номер варианта	Выходная частота, кГц	Количество выходов	Номер варианта	Выходная частота, кГц	Количество выходов
1	1,0	2	14	7,5	15
2	1,5	3	15	8,0	16
3	2,0	4	16	8,5	17
4	2,5	5	17	9,0	18
5	3,0	6	18	9,5	18
6	3,5	7	19	10,0	20
7	4,0	8	20	10,5	21
8	4,5	9	21	11,0	22
9	5,0	10	22	11,5	23
10	5,5	11	23	12,0	24
11	6,0	12	24	12,5	25
12	6,5	13	25	13,0	26
13	7,0	14	26	13,5	27

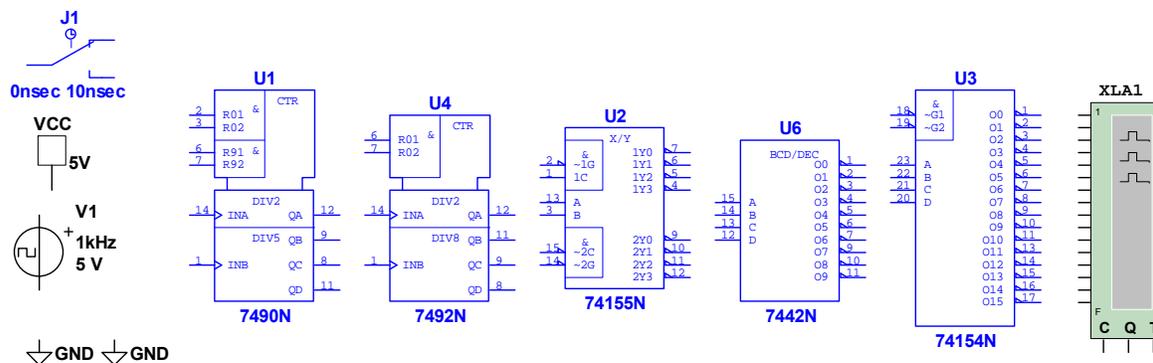


Рисунок 5.6 – Набор рекомендуемых элементов для реализации распределителя

- разработать ожидаемую временную диаграмму работы распределителя;
- исследовать разработанную схему в *Multisim* с использованием логического анализатора. Временную диаграмму работы снять с экрана анализатора, отредактировать и отразить возможность определения частоты распределителя;

- сравнить полученную временную диаграмму с разработанной теоретически.

5.2 Содержание отчета по теме «Дешифраторы»

5.2.1 Назначение дешифраторов, цель исследований.

5.2.2 Изложение результатов выполнения программы работ по всем пунктам:

- постановка задачи;
- представление принципиальной схемы, описание работы схемы и процесса проведения эксперимента;
- оформление полученных результатов в виде таблиц, графиков, временных диаграмм или осциллограмм;
- провести анализ полученных результатов, дать сравнительную оценку и выводы;
- графическую часть представить в машинном виде.

5.2.3 Сделать заключение и подвести итоги.

6 Одновибраторы

6.1 Ход выполнения работы

6.1.1 Исследовать работу одновибратора (ждущего мультивибратора) на ИМС SN74121N.

Для этого выполнить следующие шаги:

- вызвать на рабочее поле *Multisim* из папки **Одновибраторы** схему исследования (рисунок 6.1), находящуюся в файле **Рисунок 6.1.N**.

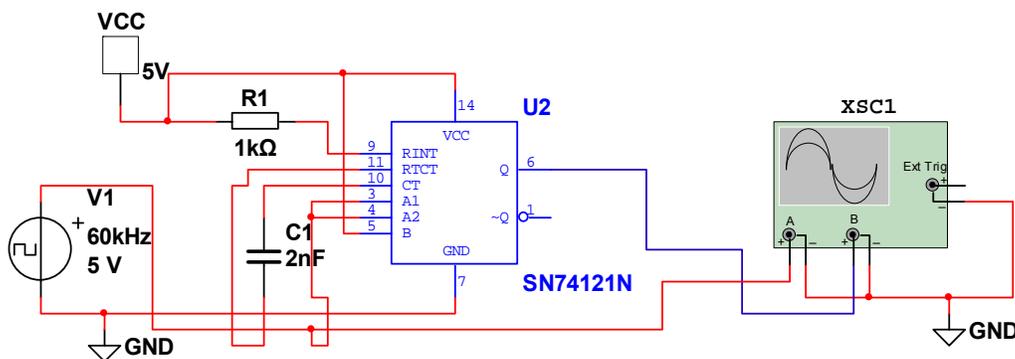


Рисунок 6.1 – Исследование ИМС SN74121N (Monostab)

На рисунке 6.1 показана схема запуска (управления) мультивибратором (ждушим мультивибратором). Запуск производится либо отрицательным перепадом входного сигнала по входу $A1$, $A2$ (при этом второй вход B подключается к плюсу источника питания, либо положительным перепадом по входу B (первый вход $A1$, $A2$ должен быть подсоединён к общей шине – земле). Запуск производится сигналом импульсного генератора $V1$. В исходном состоянии (одновибратор не запущен) на прямом выходе Q действует логический ноль, а на инверсном выходе $\sim Q$ – единица. В запущенном (возбуждённом) состоянии сигналы меняются на инверсное значение. Длительность возбуждённого состояния (выдержка времени) определяется параметрами резистора $R1$ ($0 \dots 30 \text{ кОм}$) и ёмкостью конденсатора $C1$ ($10 \text{ нФ} \dots 10 \text{ мкФ}$). Минимальная длительность возбуждённого состояния 30 нс обеспечивается при отключении элементов $R1$ и $C1$. После истечения выдержки времени одновибратор возвращается в исходное состояние и ждет очередного запуска. Контроль входного и выходного сигналов мультивибратора Q ведется осциллографом $XSC1$ (рисунок 6.1);

- снять осциллограммы работы одновибратора при запуске разными перепадами и определить длительность выдержки времени для указанных параметров R, C -цепи;

- исследовать перезапуск одновибратора. Если длительность выдержки времени одновибратора больше периода следования сигналов запуска, то возможны два исхода: либо одновибратор, находясь в возбуждённом состоянии, пропускает очередной запускающий сигнал и заканчивает выдержку времени и запускается очередным сигналом; либо, находясь в возбужденном состоянии, перезапускается и начинает новый отсчёт выдержки времени. Первый режим характеризуется отсутствием перезапуска и одновибратор выполняет роль делителя частоты. Второй – перезапуском и находится в возбуждённом состоянии до тех пор, пока период запускающего сигнала меньше длительности выдержки времени одновибратора;

- определить экспериментально зависимость длительности импульса одновибратора от параметров R, C -цепи.

6.1.2 Исследовать работу одновибратора (ждущего мультивибратора) на ИМС $SN74123N$.

Для этого выполнить следующие шаги:

- вызвать на рабочее поле *Multisim* из папки **Одновибраторы** схему исследования **Рисунок 6.2.N**.

На рисунке 6.2 показана схема запуска (управления) одновибратором (ждушим мультивибратором). Запуск производится либо положительным перепадом входного сигнала по входу $A1$, (при этом второй вход $A2$ подключается к плюсу источника питания, либо положительным перепадом по входу $A2$ (первый вход $A1$ должен быть подсоединён к общей шине – земле). Запуск производится сигналом импульсного генератора. В исходном состоянии

(одновибратор не запущен) на прямом выходе Q действует логический ноль, а на инверсном выходе W – единица. В запущенном (возбуждённом) состоянии сигналы меняются на инверсное значение. Длительность возбуждённого состояния (выдержка времени) определяется параметрами резистора $R1$ ($0 \dots 30 \text{ кОм}$) и ёмкостью конденсатора $C1$ ($10 \text{ нФ} \dots 10 \text{ мкФ}$). После истечения выдержки времени одновибратор возвращается в исходное состояние и ждет очередного запуска. Контроль входного и выходного сигналов мультивибратора Q ведется осциллографом (рисунок 6.2);

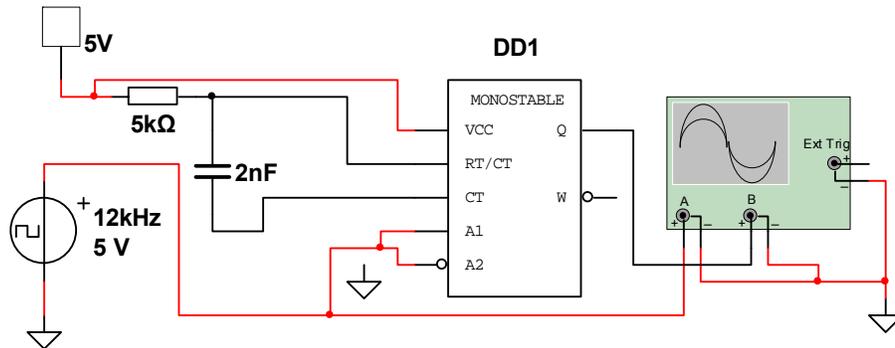


Рисунок 6.2 – Исследование ИМС SN74123N (*Monostab*)

- снять осциллограммы работы одновибратора при запуске разными перепадами (или обоими, как показано на схеме рисунок 6.2), определить длительность выдержки времени для указанных параметров R, C -цепи;
- исследовать перезапуск одновибратора. Если длительность выдержки времени одновибратора больше периода следования сигналов запуска, то возможны два исхода: либо одновибратор, находясь в возбуждённом состоянии, пропускает очередной запускающий сигнал и заканчивает выдержку времени и запускается очередным сигналом; либо, находясь в возбужденном состоянии, перезапускается и начинает новый отсчёт выдержки времени. Первый режим характеризуется отсутствием перезапуска и одновибратор выполняет роль делителя частоты. Второй – перезапуском и находится в возбуждённом состоянии до тех пор, пока период запускающего сигнала меньше длительности выдержки времени одновибратора;
- определить экспериментально зависимость длительности импульса одновибратора от параметров R, C -цепи.

6.1.3 Разработать и исследовать работу мультивибратора (автогенератора) на ИМС CD4538BCN.

Для этого выполнить следующие шаги:

- вызвать на рабочее поле *Multisim* из папки **Одновибраторы** схему исследования **Рисунок 6.3.1**. На рисунке 6.3 показана рекомендуемая схема мультивибратора, реализованная на двух одновибраторах [4]. Запуск одно-

вибраторов производится либо положительным перепадом входного сигнала по входам BA (BB), (при этом вторые входы AA (AB) подключаются к общей шине источника питания); либо отрицательным перепадом по входам AA (AB) (входы BA (BB) должны быть подсоединены к плюсу источника питания). Схема мультивибратора (автогенератора) получается при соединении двух одновибраторов в кольцо: инверсный выход одновибратора UIB запускает по отрицательному перепаду UIA , а одновибратор UIB запускается положительным перепадом по входу BB от выхода QA одновибратора UIA . Длительность возбуждённого состояния (выдержки времени) одновибраторов определяется параметрами $R1$, $C2$ и $R2$, $C1$. После истечения выдержки времени одновибратор возвращается в исходное состояние и ждет очередного запуска. Частота автогенератора определяется суммарной выдержкой времени каждого одновибратора. При одинаковых выдержках времени одновибраторов получаем симметричный мультивибратор, при разных - несимметричный. Контроль выходных сигналов мультивибратора QA и QB ведется осциллографом $XSC1$ (рисунок 6.3);

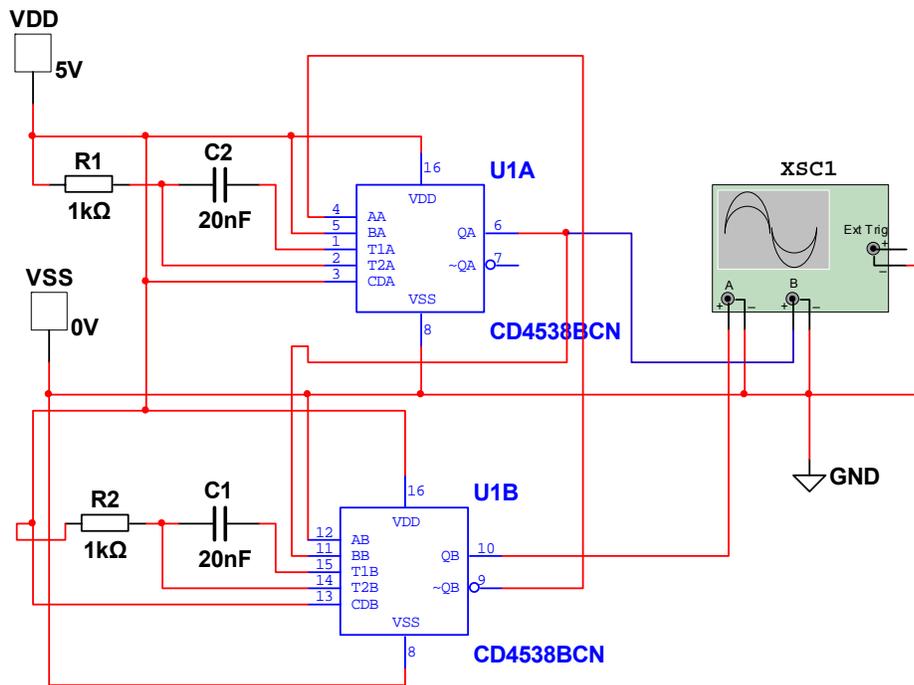


Рисунок 6.3 – Исследование мультивибратора на ИМС $CD4538BCN$ (*Monostab*)

- спроектировать симметричный мультивибратор на частоту, указанную в таблице 6.1;
- снять осциллограмму работы мультивибратора, определить длительность выдержки времени одновибраторов для полученных расчётным путём или определённых экспериментально параметров R, C -цепей.

Таблица 6.1 – Варианты частоты мультивибратора

Вариант	Частота, кГц	Вариант	Частота, кГц	Вариант	Частота, кГц
1	60	9	7	17	80
2	50	10	6	18	90
3	40	11	5	19	100
4	30	12	4	20	110
5	20	13	3	21	120
6	10	14	2	22	130
7	9	15	1	23	140
8	8	16	70	24	150

6.2 Содержание отчета по теме «Одновибраторы»

6.2.1 Назначение одновибраторов, цель исследований.

6.2.2 Изложение результатов выполнения программы работ по всем пунктам:

- постановка задачи;
- представление принципиальной схемы, описание работы схемы и процесса проведения эксперимента;
- оформление полученных результатов в виде таблиц, графиков, временных диаграмм или осциллограмм;
- провести анализ полученных результатов, дать сравнительную оценку и выводы;
- графическую часть представлять в машинном виде.

6.2.3 Сделать заключение и подвести итоги.

7 Исследование схем электронных генераторов в Multisim

7.1 Постановка задачи и цель работы

Существенной частью почти любого электронного устройства является генератор гармонических или каких-либо других колебаний. Кроме очевидных случаев применения автономных генераторов, источник регулярных колебаний необходим в любом периодически действующем измерительном приборе, в устройствах, инициирующих измерения или процессы, и вообще в любом приборе, работа, которого связана с периодическими состояниями или

периодическими колебаниями. Так, например, генераторы гармонических или специальных колебаний используются в универсальных измерительных приборах, в осциллографах, радиоприемниках, ЭВМ, в любом периферийном устройстве ЭВМ, почти в любом цифровом приборе (счетчики, таймеры, калькуляторы и любые приборы с “многократной разверткой”) и во множестве других устройств.

Цель работы: изучить принципы построения генераторов и методы их исследования с применением программного продукта Multisim.

7.2 Введение в принципы генерации

7.2.1 Обратная связь

Обратная связь (ОС) может быть положительной и отрицательной. Наличие отрицательной ОС (ООС) стабилизирует и несколько уменьшает коэффициент усиления. При введении положительной ОС (ПОС) усилитель в большинстве случаев становится нестабильным и возбуждается. Для превращения усилителя в генератор необходимо, чтобы обратная связь была положительной, а усиление достаточным для компенсации потерь в цепи ОС. В зависимости от уровня ОС форма генерируемого выходного сигнала может быть близка к чисто синусоидальной. Если при возбуждении будут достигнуты условия отсечки или насыщения, то произойдут искажения и возникнут гармоники. Обычно в генераторах колебаний синусоидальной формы используются частотно-избирательные цепи ОС. Если на выходе необходимо получить сигнал на одной из гармоник основной частоты, то выходную цепь настраивают на частоту этой гармоники.

Стабильность генератора – это его способность сохранять заданную частоту с наименьшим отклонением при воздействии внешних возмущений. Стабильность генератора приводится в относительных единицах как отношение отклонения частоты к номинальному значению. Для температурной стабильности - это есть отношение отклонения частоты на 1 °С к номинальному значению. Дрейф частоты генератора определяется стабильностью его компонентов. Физические и электрические параметры компонентов изменяются в зависимости от температуры, давления, влажности, питающих напряжений и нагрузок. В наиболее стабильных генераторах применяются прецизионные резисторы, конденсаторы, индуктивности и кристаллы, а также принимаются меры по стабилизации питающих напряжений. Для высокой стабильности генерируемой частоты цепь ОС генератора должна обеспечить быстрое изменение сдвига фазы в узком диапазоне частот вблизи желаемой частоты генерации, при этом для заданной частоты частотная характеристика цепи ОС будет обладать повышенной избирательностью, и отклонение частоты генератора будет меньше дрейфа, обусловленного температурными изменениями параметров компонентов устройства.

7.2.2 Частотно-избирательные компоненты

Элементы цепи OC вызывают фазовый сдвиг, поскольку все реальные резисторы обладают некоторой индуктивностью и емкостью (но этот сдвиг практически не велик). Наиболее «очевидными» реактивными элементами являются емкость, индуктивность и кристалл кварца. Диоды также обладают емкостью, зависящей от ширины области перехода при обратном смещении. Плоскостные диоды используются в качестве емкостей, управляемых напряжением. Все проводники (провода) создают распределенные емкости или индуктивности, которые могут вызывать нежелательное возбуждение. RC , RL и RLC – цепи создают сдвиг фазы, равный примерно 90° . Фазовый сдвиг является функцией частоты, поскольку реактивное сопротивление конденсатора зависит от частоты, поэтому:

$$X_c = \frac{1}{2\pi fC},$$

где X_c – реактивное емкостное сопротивление конденсатора;

C – емкость конденсатора;

f – частота тока в цепи конденсатора.

Угол между напряжением и током в цепи, содержащей конденсатор и активное сопротивление R_c :

$$\theta = \arctg \frac{X_c}{R_c},$$

а максимальный сдвиг фазы составляет 90° .

Для индуктивной цепи реактивное индуктивное сопротивление X_L растет с увеличением частоты f и собственно индуктивности L . Напряжение в цепи с активным сопротивлением R_L опережает ток, и фазовый угол между ними растет по мере увеличения частоты. Максимальный фазовый угол равен 90° , а

$$X_L = 2\pi fL;$$

$$\theta = \arctg \frac{X_L}{R_L}.$$

В RLC – контуре на определенной частоте возникает резонанс ($X_L = X_c$), при этом ток в цепи ограничивается только активным сопротивлением контура. Подобные контуры часто используются в цепях $ООС$ для узкополосной режекции и в цепях $ПОС$ для генерации. Резонансная частота f вычисляется по формуле:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}.$$

Обычно цепь OC обеспечивает сдвиг фазы, равный нулю, только на одной частоте. Следовательно, на выходе генератора должно формироваться напряжение синусоидальной формы. Однако сдвиг фазы несколько изменя-

ется при колебании частоты. Если имеем дело с глубокой *ОС*, то форма напряжения на выходе будет содержать компоненты различных частот. Конечно, когда один из элементов генератора работает в режиме отсечки или насыщения, напряжение на выходе генератора будет иметь форму прямоугольного сигнала (меандра). В основном низкочастотные генераторы предназначены для получения синусоидальных колебаний. Сравнительно недавно широкое распространение получили генераторы колебаний сложной формы, сигналы которых имеют форму меандра, треугольных колебаний, линейно падающих или возрастающих напряжений. Колебания несинусоидальной формы содержат большое количество гармоник различных порядков. Испытания усилителей таких сигналов упрощаются, поскольку вариации колебаний сложной формы указывают на наличие изменений частотной характеристики усилителя.

7.3 Исследование *RC* – генераторов

7.3.1 Исследование генератора с мостом Вина

Для этого выполнить следующие шаги:

– вызвать на рабочее поле Multisim из папки *Электронные генераторы* файл *Рисунок 7.1.N*, в файле представлена схема исследования генератора с мостом Вина, показанная на рисунке 7.1;

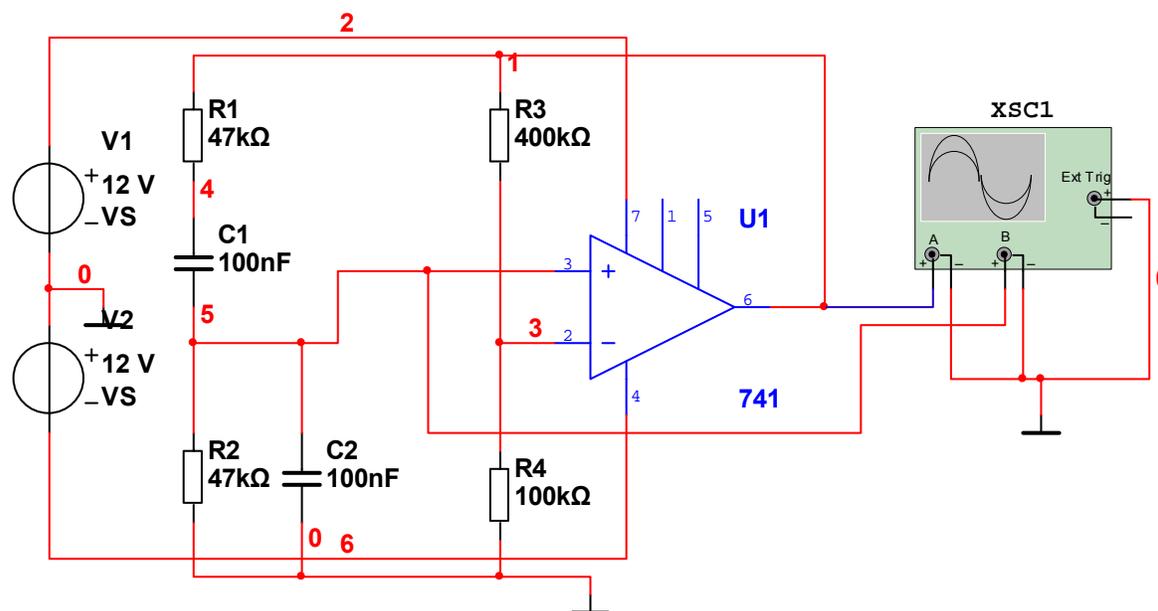


Рисунок 7.1 – Схема генератора на операционном усилителе с мостом Вина

– поскольку индуктивности для низких частот очень громоздки (имеют большие габариты), во многих случаях при создании низкочастотных генераторов стремятся избегать их применений. С помощью RC – цепей можно обеспечить сдвиг фазы на 90° . Включив две-три такие цепи последовательно, нетрудно обеспечить сдвиг фазы на 180° . Другие возможности создания необходимого сдвига фазы связаны с использованием мостовых схем. К числу наиболее распространенных в генераторах мостовых схем относится мост Вина, а одним из наиболее надежных генераторов RC – типа является генератор с мостом Вина (рисунок 7.1). В генераторе с мостом Вина применяется или двухкаскадный усилитель, или операционный усилитель, обеспечивающий сдвиг фазы на 0° . Резисторы моста Вина представляют делитель напряжения в цепи OC . Положительная OC создается фазосдвигающей цепочкой, и напряжение OC подается на неинвертирующий вход OY . Коэффициент усиления усилителя при замкнутой цепи OC должен быть немного больше 3, поскольку коэффициент передачи цепи $ПОС$ $\beta = 1/4$. Это означает, что сопротивление R_3 должно быть в четыре раза больше R_4 . Необходимое деление сигнала $ПОС$ определяется из условий $R_1 = R_2$ и $C_1 = C_2$. Реактивные плечи моста образуют делитель переменного напряжения.

На рисунке 7.2 приведена осциллограмма выходного напряжения генератора и сигнала обратной связи, формируемого с диагонали моста Вина;

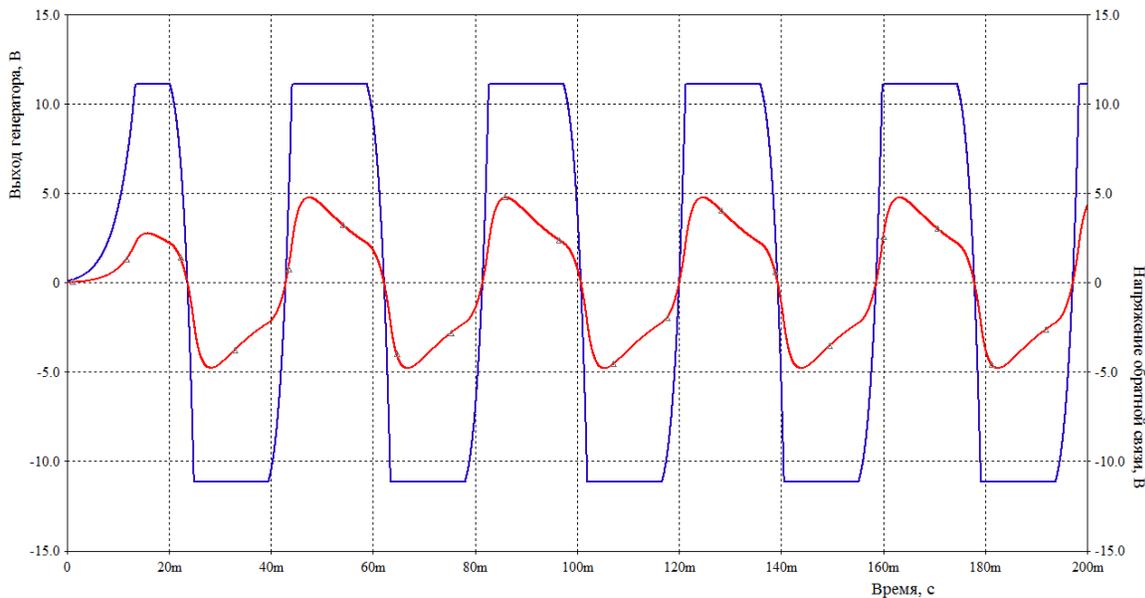


Рисунок 7.2 – Осциллограммы выходного сигнала генератора Вина и сигнала обратной связи

– для указанных на схеме параметров элементов измерить с помощью осциллографа частоту и оценить форму колебаний. Раскрыть лицевую панель осциллографа и включить моделирование, нажав кнопку “*In - Off*” в

правом верхнем углу экрана. Обработку осциллограммы можно проводить средствами и инструментом, которыми укомплектован осциллограф. Возможен и другой путь обработки осциллограммы, предлагающий дополнительные возможности (копирование осциллограммы в отчет, возможность сохранения и более широкий набор методов обработки). После получения осциллограммы нажимается кнопка “*Grapher/Analysis List*” на главной панели меню. Открывается окно “*Grapher View*” с осциллограммой на закладке “*Oscilloscope*” и набором дополнительных средств обработки осциллограммы (нанесение надписи на осях, нанесение сетки, корректировка масштабов, использование измерительного инструмента и методов обработки результатов). В частности, после нажатия кнопки “*Show/Hide Cursors*” появляются две визирные линии и окно с результатами измерений времени ($X1, X2$) и амплитуд ($Y1, Y2$). Кроме того, предлагается разность $X2 - X1 = dX$, являющаяся периодом T , если визирные линии сориентированы на измерение периода T , и выполняется операция $1/dX$, результатом которой является расчет частоты

$$f = 1/dX = 1/T;$$

– исследовать влияние изменения величины сопротивлений резисторов $R1$ и $R2$ (условие $R1 = R2$ сохраняется). Результаты измерения частоты внести в таблицу 7.1;

Таблица 7.1 – Результаты измерения частоты

$R1=R2, \text{кОм}$	2.5	5	10	20	47
$C1=C2, \text{нФ}$	42	42	42	42	42
Частота, Гц					

– исследовать влияние изменения величины емкости $C1$ и $C2$ (условие $C1 = C2$ сохраняется). Результаты измерения частоты внести в таблицу 7.2;

Таблица 7.2 – Результаты измерения частоты

$R1=R2, \text{кОм}$	20	20	20	20	20
$C1=C2, \text{нФ}$	10	20	42	82	100
Частота, Гц					

– по полученным данным построить графики зависимости частоты от изменения сопротивления резисторов $R1, R2$ при заданном значении $C1, C2$ и от изменения емкости конденсаторов $C1, C2$ при заданном значении сопротивлений резисторов $R1, R2$.

7.3.2 Исследование релаксационного генератора

Для исследования релаксационного генератора необходимо:

- вызвать на рабочее поле *Multisim* из папки *Электронные генераторы* файл *Рисунок 7.3.1*.

- в файле представлена схема исследования релаксационного генератора, показанная на рисунке 7.3.

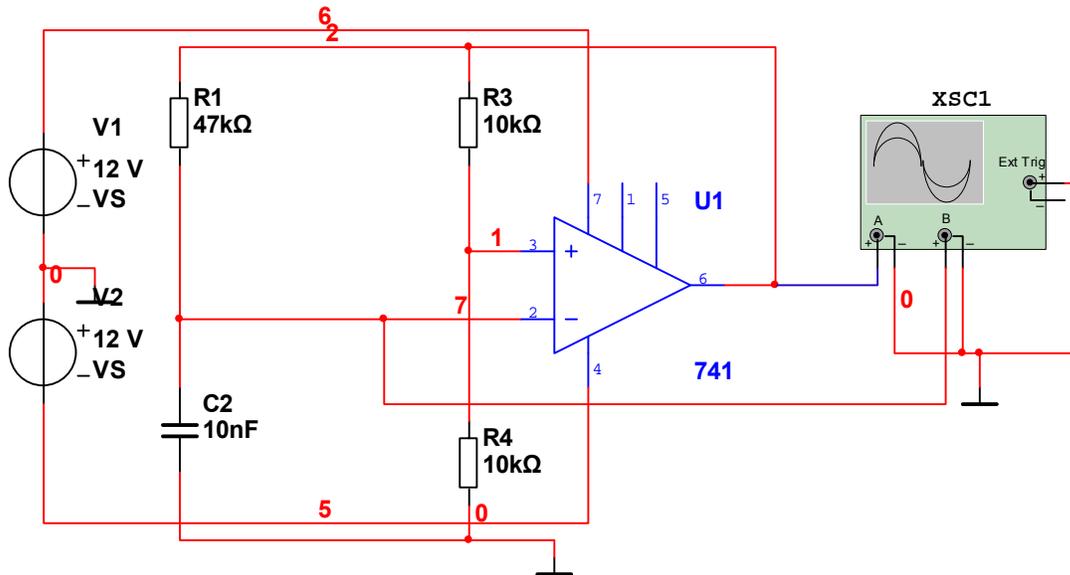


Рисунок 7.3 – Схема исследования релаксационного генератора

Параметры схемы генератора заданы в таблице 7.3 по вариантам.

Таблица 7.3 – Параметры схемы генератора по вариантам

Вари- ант	$R1,$ кОм	$C2,$ нФ	Вари- ант	$R1,$ кОм	$C2,$ нФ	Вари- ант	$R1,$ кОм	$C2,$ нФ
1	2,5	10	9	5	82	17	20	20
2	2,5	20	10	5	100	18	20	42
3	2,5	42	11	10	10	19	20	82
4	2,5	82	12	10	20	20	20	100
5	2,5	100	13	10	42	21	47	10
6	5	10	14	10	82	22	47	20
7	5	20	15	10	100	23	47	42
8	5	42	16	20	10	24	47	82

Простой генератор можно получить таким образом: будем заряжать конденсатор через резистор и его перезаряжать, когда напряжение достигнет некоторого порогового значения, и начнем цикл сначала. Это можно сделать с помощью внешней цепи, предназначенной для изменения полярности заряжающего тока при достижении порогового напряжения. Таким образом, будут генерироваться колебания треугольной формы. Генераторы, построенные на этом принципе, известны под названием “релаксационные генераторы” (рисунок 7.3). Они просты и не дороги и при умелом проектировании могут быть вполне стабильными по частоте.

Раньше для создания релаксационных генераторов применялись устройства с отрицательным сопротивлением, такие, как однопереходные транзисторы или неоновые лампы, теперь предпочитают *OU* и специальные *ИМС*-таймеры. Работает генератор следующим образом. Допустим что, когда впервые прикладывается напряжение, выходной сигнал *OU* выходит на положительное насыщение $+U_{вых.мах}$. Конденсатор начинает заряжаться до напряжения $+U_{вых.мах}$ с постоянной времени, равной R_1C_2 . Когда напряжение конденсатора достигнет половины напряжения $+U_{вых.мах}$ (это определяется соотношением сопротивлений резисторов $R_4/(R_3 + R_4)$), *OU* переключается в состояние отрицательного насыщения (он включен как триггер Шмитта). При достижении половины напряжения $-U_{вых.мах}$ происходит переключение триггера на $+U_{вых.мах}$. Конденсатор начинает перезаряжаться до $+U_{вых.мах}$ с той же самой постоянной времени. Цикл повторяется бесконечно, с периодом $2,2R_1C_2$, не зависящим от напряжения питания. Применяя для заряда конденсатора источники тока, можно получить колебания хорошей треугольной формы. На рисунке 7.4 показана осциллограмма работы генератора;

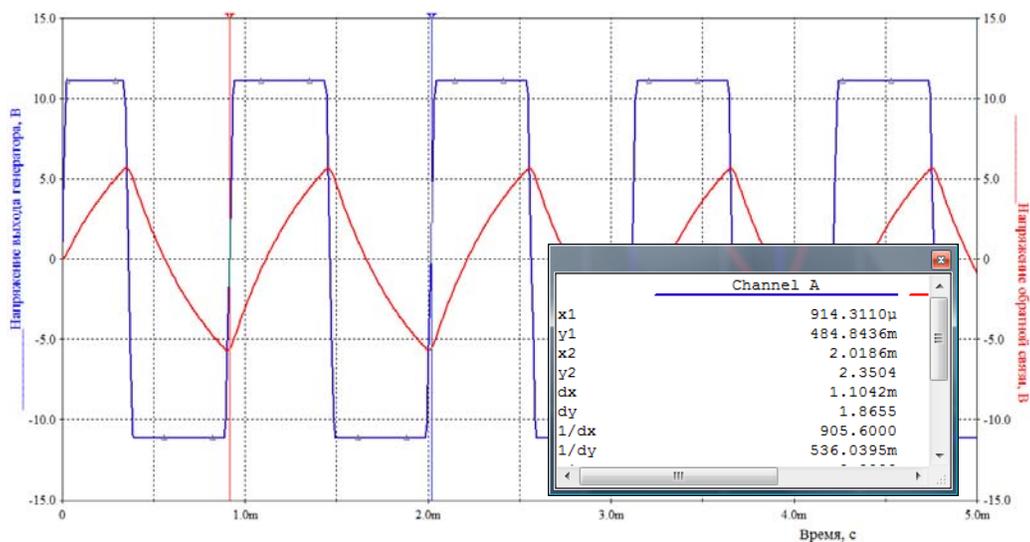


Рисунок 7.4 – Временная диаграмма работы релаксационного генератора

- снять осциллограммы в точках 7 и 2 схемы 7.3 и оценить форму колебаний, определить частоту колебаний генератора;
- исследовать влияние изменения величины емкости C_2 . В меню "Simulate" выбрать команду "Analysis" и режим работы "Parameter Sweep". В качестве изменяемого параметра в окне "Sweep Parameters" (закладка "Analysis Parameters") выбрать емкость конденсатора C_2 . В окне "Points to Sweep" в строке "Sweep Variation Tips" установить "List" и внести три значения емкости конденсатора C_2 , отличающиеся от указанного в схеме модели на $\pm 20\%$. В строке "Analysis to sweep" устанавливается "Transient Analysis", кнопкой "Edit analysis" вызывается окно настройки параметров переходного процесса, где обязательно должно быть выбрано время моделирования. На закладке "Output" выделяется номер точки, в которой необходимо исследовать сигнал, и пересылается в правое окно. Произвести моделирование переходных процессов в исследуемом генераторе нажатием кнопки "Simulate". Если осциллограммы колебаний генератора имеют неудобную форму для наблюдения и исследования, то скорректировать время переходного процесса и повторить моделирование. Обработать результаты моделирования с использованием измерительного инструмента, вызываемого нажатием кнопки "Show/Hide Cursors" на панели "Grapher View". Полученные результаты измерения частоты генератора при изменении C_2 внести в таблицу 7.4.

Таблица 7.4 – Результаты измерения частоты

$R_1, \text{кОм}$	R_1	R_1	R_1
$C_2, \text{нФ}$	$0,8C_2$	C_2	$1,2C_2$
Частота, Гц			

- исследовать влияние изменения величины сопротивления R_1 , результаты измерения частоты внести в таблицу 7.5;

Таблица 7.5 – Результаты измерения частоты

$R_1, \text{кОм}$	$0.8R_1$	R_1	$1.2R_1$
$C_2, \text{нФ}$	C_2	C_2	C_2
Частота, Гц			

- по полученным данным построить графики зависимости частоты от изменения сопротивления резистора R_1 при заданном значении C_1 , и от изменения емкости конденсатора C_1 при заданном значении сопротивления резистора R_1 . Сравнить с результатами измерений, полученных с использованием осциллографа;

– исследовать влияние температуры на частоту генератора. Исследование провести в режиме «*Temperature Sweep*» для температуры от 0°C до 100°C с интервалом 10°C.

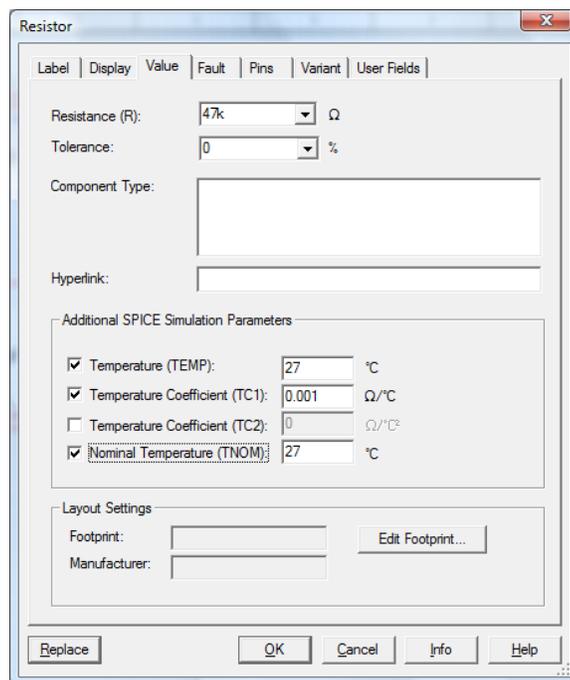


Рисунок 7.5 – Окно настройки параметров резистора

Для всех резисторов исследуемой схемы внести установку температурного коэффициента сопротивления, например, $TC1=0.001$ после двойного щелчка по графическому изображению резистора (см. рисунок 7.5). Коэффициент $TC2$ оставить нулевого значения. Работа в режиме «*Temperature Sweep*» аналогична работе в режиме «*Parameter Sweep*». Итогом исследования будут получены два сигнала на одном графике, соответствующие разным температурам. Обработать полученный экспериментальный материал известными способами и определить частоты генератора на различных температурах. Определить температурную стабильность генератора.

7.3.3 Исследование RC – генератора на логических элементах

Для исследования RC - генератора необходимо:

– вызвать на рабочее поле *Multisim* из папки *Электронные генераторы* файл **Рисунок 7.6.1**. В файле представлена схема исследования RC – генератора на логических элементах, показанная на рисунке 7.6. Высокой стабильностью характеризуется схема генератора на триггере Шмитта (рисунок 7.6). В исходном состоянии конденсатор $C1$ разряжен. При установлении на выходе триггера напряжения высокого уровня он начинает заряжаться через резистор $R1$ и входное сопротивление элемента $U1$. При до-

стижении напряжения на конденсаторе порогового уровня выход триггера устанавливается в состояние напряжения низкого уровня. Конденсатор начинает разряжаться до момента отпускания триггера и перехода его выхода в состояние высокого уровня. Цикл повторяется. Изменяя значения элементов $C1$ и $R1$, можно менять частоту генерации. Исходя из допустимого тока ИС $K555TL2$, минимальное сопротивление резистора $R1$ составляет 680 Ом , максимальное – до 2 кОм . На рисунке 7.7 приведена осциллограмма выходного сигнала генератора и напряжения на конденсаторе $C1$, изменяющегося между уровнями пороговых значений переключения триггера;

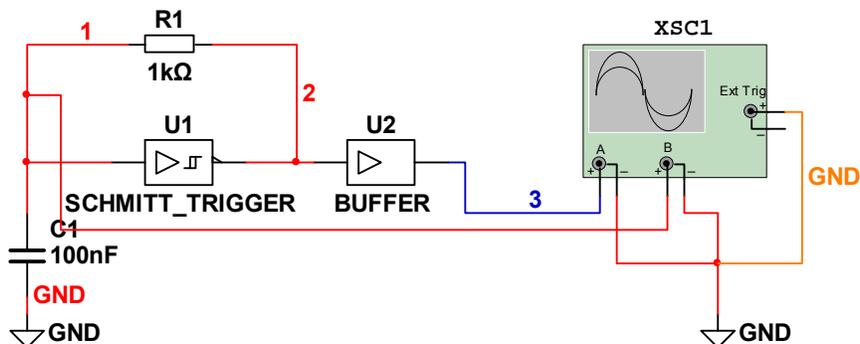


Рисунок 7.6 – Схема RC – генератора на логических элементах

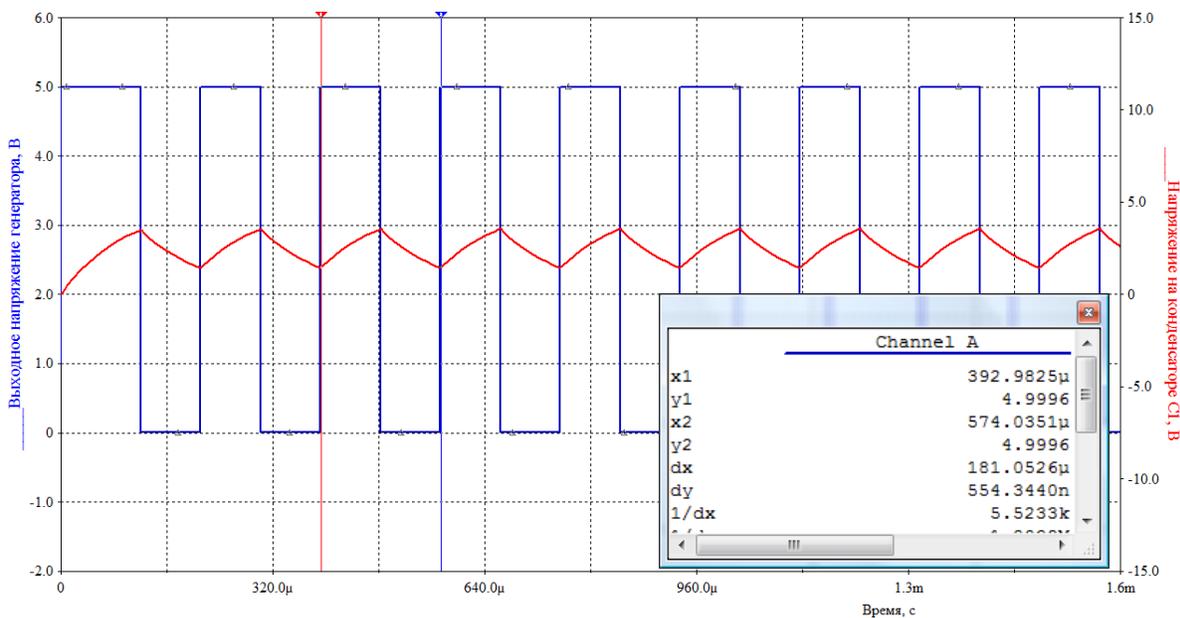


Рисунок 7.7 – Осциллограммы выходного сигнала генератора на триггере Шмитта и сигнала на времязадающей емкости $C1$

Параметры схемы генератора заданы в таблице 7.6 по вариантам.

Таблица 7.6 – Параметры схемы генератора по вариантам

Вари- ант	R_1 , кОм	C_2 , нФ	Вари- ант	R_1 , кОм	C_2 , нФ	Вари- ант	R_1 , кОм	C_2 , нФ
1	2,0	10	9	1,5	82	17	0,68	20
2	2,0	20	10	1,5	100	18	0,68	42
3	2,0	42	11	1,0	10	19	0,68	82
4	2,0	82	12	1,0	20	20	0,68	100
5	2,0	100	13	1,0	42	21	0,68	110
6	1,5	10	14	1,0	82	22	0,68	120
7	1,5	20	15	1,0	100	23	0,68	150
8	1,5	42	16	0,68	10	24	0,68	200

– исследовать влияние изменения величины емкости C_1 . В меню "Simulate" выбрать команду "Analysis" и режим работы "Parameter Sweep". Полученные результаты измерения частоты генератора при изменении C_1 внести в таблицу 7.7.

Таблица 7.7 – Результаты измерения частоты

R_1 , кОм	R_1	R_1	R_1
C_1 , нФ	$0,8C_1$	C_1	$1,2C_1$
Частота, Гц			

– исследовать влияние изменения величины сопротивления R_1 , результаты измерения частоты внести в таблицу 7.8;

Таблица 7.8 – Результаты измерения частоты

R_1 , кОм	$0.8R_1$	R_1	$1.2R_1$
C_1 , нФ	C_1	C_1	C_1
Частота, Гц			

– по полученным данным построить графики зависимости частоты от изменения сопротивления резистора R_1 при заданном значении C_1 , и от изменения емкости конденсатора C_1 при заданном значении сопротивления резистора R_1 . Сравнить с результатами измерений, полученных с использованием осциллографа;

– исследовать влияние температуры на частоту генератора. Исследование провести в режиме «*Temperature Sweep*» для температуры от 0°C до 100°C с интервалом 10°C .

Для всех резисторов исследуемой схемы внести установку температурного коэффициента сопротивления, например, $TC1=0.001$ после двойного щелчка по графическому изображению резистора. Коэффициент $TC2$ оставить нулевого значения. Работа в режиме «*Temperature Sweep*» аналогична работе в режиме «*Parameter Sweep*». Итогом исследования будут получены сигналы на одном графике, соответствующие разным температурам. Обработать полученный экспериментальный материал известными способами и определить частоты генератора на различных температурах. Определить температурную стабильность генератора.

7.4 Генераторы с обратной LC-связью

7.4.1 Индуктивно-емкостная обратная связь

RC -генераторы обычно используются на частотах не выше 1 МГц . Для генерирования колебаний в радиочастотном диапазоне обычно применяются LC -генераторы. Управление сдвигом фазы в радиочастотном диапазоне может вызвать некоторые затруднения у RC -генераторов, связанные, в частности, с параметрами сопротивлений и емкостей. С другой стороны, применение элементов с небольшой индуктивностью в сочетании с конденсаторами обеспечивает возможность создания генераторов с обратными LC -связями на частотах до 500 МГц . Как и в RC -генераторах, в данном случае OC должна обеспечивать нулевой сдвиг фазы на частоте генерации.

Это условие легко выполнить, так как сигналы в цепях эмиттера и коллектора транзистора совпадают по фазе. На рисунке 7.8 показаны варианты контуров, применяемых в генераторах.

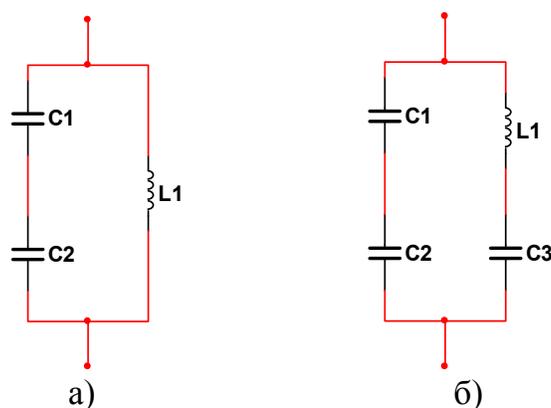


Рисунок 7.8 - Схемы контуров обратной связи

7.4.2 Исследование генератора Колпитца

Для проведения исследования необходимо:

– вызвать на рабочее поле *Multisim* из папки *Электронные генераторы* файл *Рисунок 7.9.1*, в котором находится схема, представленная на рисунке 7.9. Основой генератора Колпитца является параллельный резонансный LC-контур. Он обычно включается в цепь базы и на резонансной частоте представляет собой активное сопротивление. На частотах, отличных от резонансной, сопротивление контура имеет либо емкостной, либо индуктивный характер.

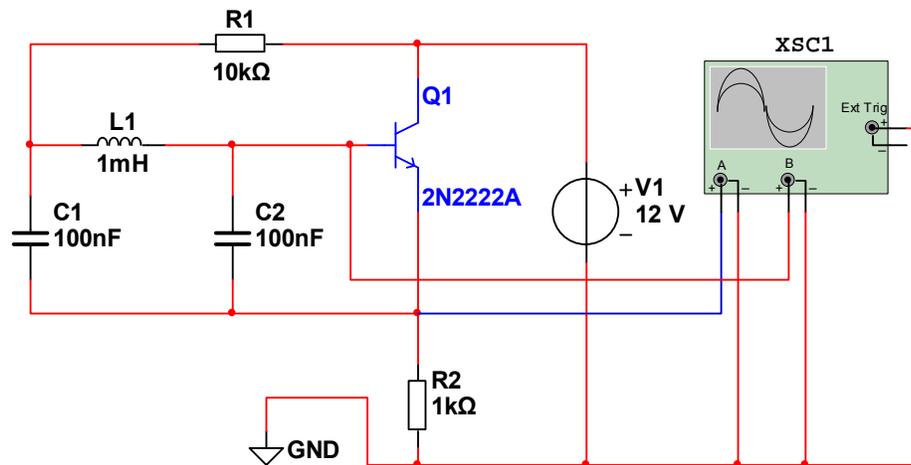


Рисунок 7.9 – Схема генератора Колпитца

Параметры схемы генератора заданы в таблице 7.9 по вариантам

Таблица 7.9 – Параметры схемы генератора по вариантам

Вариант	$L1, мГн$	$C1=C2, нФ$	Вариант	$L1, мГн$	$C1=C2, нФ$	Вариант	$L1, мГн$	$C1=C2, нФ$
1	1	10	9	2	82	17	4	20
2	1	20	10	2	100	18	4	42
3	1	42	11	3	10	19	4	82
4	1	82	12	3	20	20	4	100
5	1	100	13	3	42	21	5	10
6	2	10	14	3	82	22	5	20
7	2	20	15	3	100	23	5	42
8	2	42	16	4	10	24	5	82

Частота резонанса для генератора Колпитца определяется:

$$2\pi fL = 1 / 2\pi fC,$$

откуда

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}},$$

где

$$C = \frac{C1C2}{C1 + C2}.$$

На рисунке 7.10 приведены осциллограммы выходного напряжения и сигнала обратной связи, формируемого с генератора Колпитца;

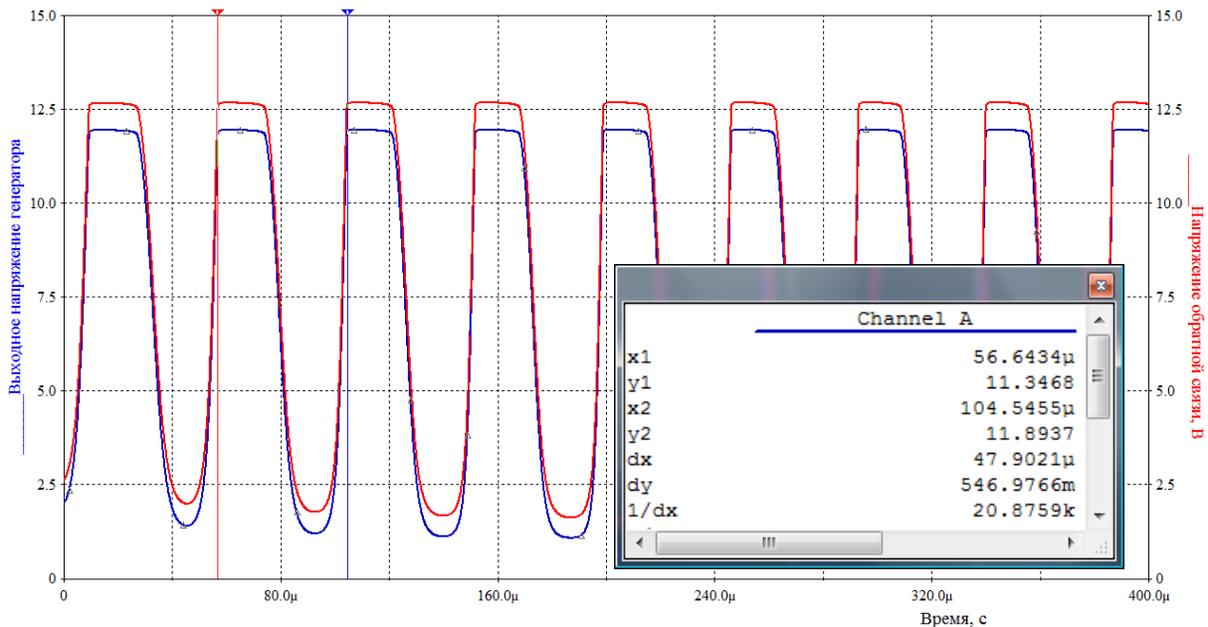


Рисунок 7.10 – Осциллограммы выходного сигнала генератора Колпитца и сигнала обратной связи

– для указанных на схеме параметров элементов измерить с помощью осциллографа частоту и оценить форму колебаний. Раскрыть лицевую панель осциллографа и включить моделирование, нажав кнопку “In - Off” в правом верхнем углу экрана. Обработку осциллограммы можно проводить средствами и инструментом, которыми укомплектован осциллограф. Возможен и другой путь обработки осциллограммы, предлагающий дополнительные возможности (копирование осциллограммы в отчет, возможность сохранения и более широкий набор методов обработки). После получения осциллограммы нажимается кнопка “Grapher/Analysis List” на главной панели меню. Открывается окно “Grapher View” с осциллограммой на закладке “Oscilloscope” и набором дополнительных средств обработки осциллограммы (нанесение надписи на осях, нанесение сетки, корректировка масштабов, ис-

пользование измерительного инструмента и методов обработки результатов). В частности, после нажатия кнопки “*Show/Hide Cursors*” появляются две визирные линии и окно с результатами измерений времени ($X1, X2$) и амплитуд ($Y1, Y2$). Кроме того, предлагается разность $X2 - X1 = dX$, являющаяся периодом T , если визирные линии сориентированы на измерение периода T , и выполняется операция $1/dX$, результатом которой является расчет частоты

$$f = 1/dX = 1/T;$$

– исследовать влияние изменения величины индуктивности $L1$ (условие $C1 = C2$ сохраняется). Результаты измерения частоты внести в таблицу 7.10;

Таблица 7.10 – Результаты измерения частоты

$L1, мГн$	$0,8L1$	$L1$	$1,2L1$
$C1 = C2, нФ$	$C1 = C2$	$C1 = C2$	$C1 = C2$
Частота, Гц			

– исследовать влияние изменения величины емкости $C1$ и $C2$ (условие $C1 = C2$ сохраняется). Результаты измерения частоты внести в таблицу 7.11;

Таблица 7.11 – Результаты измерения частоты

$L1, мГн$	$L1$	$L1$	$L1$
$C1 = C2, нФ$	$0,8(C1 = C2)$	$C1 = C2$	$1,2(C1 = C2)$
Частота, Гц			

– по полученным данным построить графики зависимости частоты от изменения индуктивности при заданном значении $C1, C2$ и от изменения емкости конденсаторов $C1, C2$ при заданном значении индуктивности $L1$.

7.4.3 Исследование генератора Клаппа

Для этого выполнить следующие шаги:

– вызвать на рабочее поле *Multisim* из папки *Электронные генераторы* файл **Рисунок 7.11.1**. Генератор Клаппа (рисунок 7.11) представляет собой вариант генератора Колпитца, в котором напряжение OC снимается с емкостного делителя. Ток контура протекает через три емкости и индуктивность. Все перечисленные компоненты схемы определяют резонансную частоту. Параметры схемы генератора заданы в таблице 7.12 по вариантам.

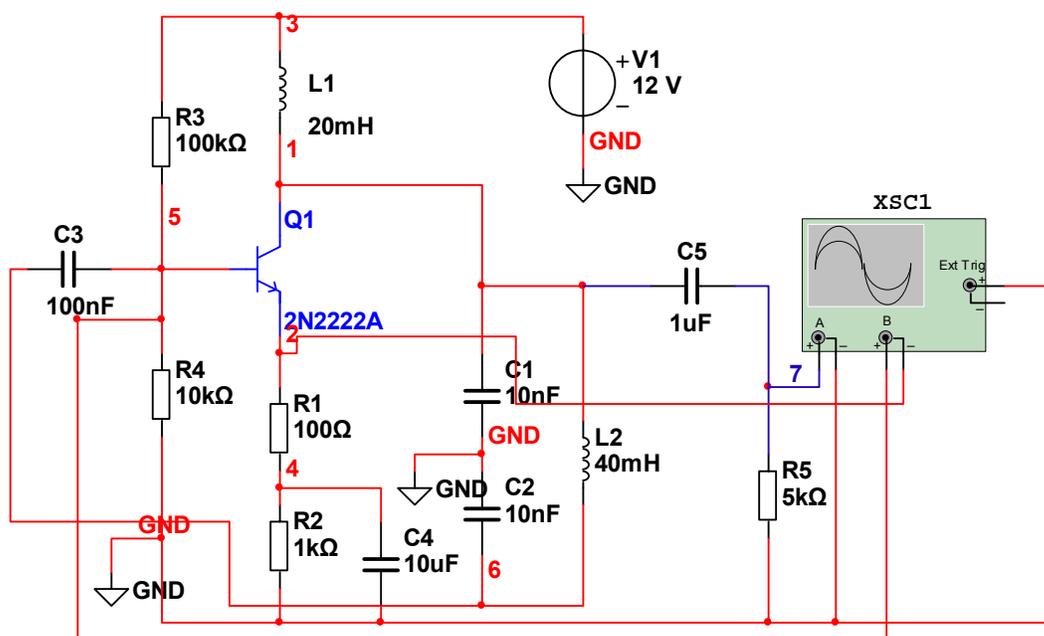


Рисунок 7.11 – Схема генератора Клаппа

Таблица 7.12 – Параметры схемы генератора по вариантам

Вариант	$L1$, мГн	$L2$, мГн	$C1=C2$, нФ	Вариант	$L1$, мГн	$L2$, мГн	$C1=C2$, нФ
1	20	40	10	14	10	20	82
2	20	40	20	15	10	20	100
3	20	40	42	16	5	10	10
4	20	40	82	17	5	10	20
5	20	40	100	18	5	10	42
6	15	30	10	19	5	10	82
7	15	30	20	20	5	10	100
8	15	30	42	21	2,5	5	10
9	15	30	82	22	2,5	5	20
10	15	30	100	23	2,5	5	42
11	10	20	10	24	2,5	5	82
12	10	20	20	25	2,5	5	100
13	10	20	42	26			

На рисунке 7.12 приведены осциллограммы выходного напряжения и сигнала обратной связи, формируемого с генератора Клаппа;

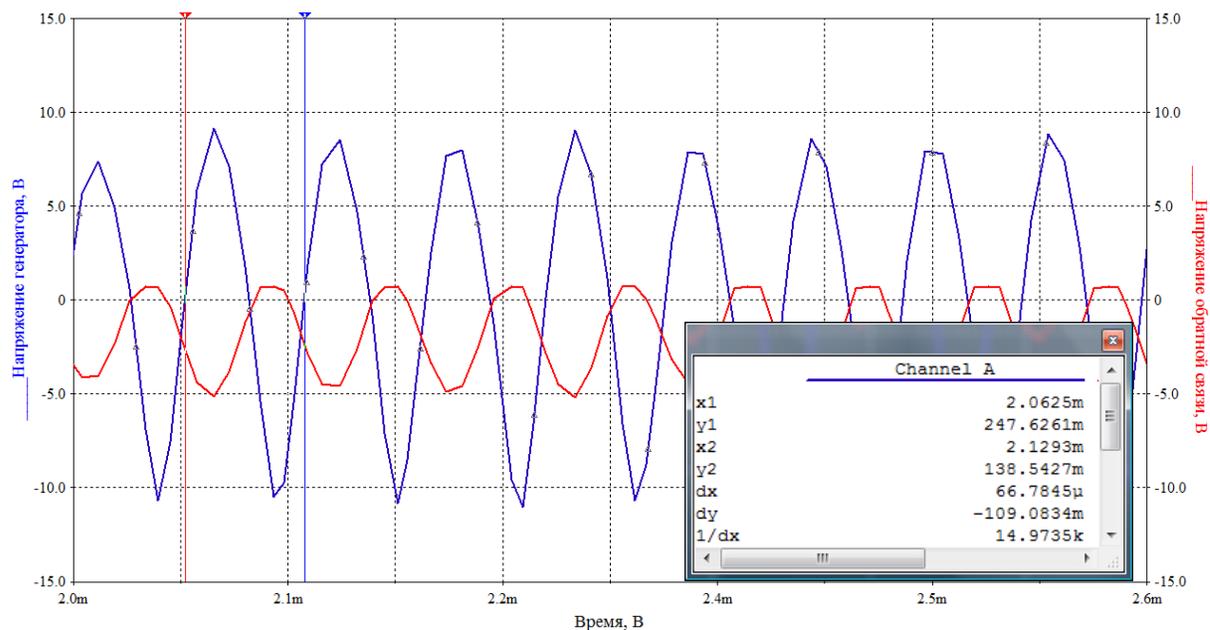


Рисунок 7.12 – Осциллограммы выходного сигнала генератора Клаппа и сигнала обратной связи

– для указанных на схеме параметров элементов измерить с помощью осциллографа частоту и оценить форму колебаний. Раскрыть лицевую панель осциллографа и включить моделирование, нажав кнопку “In - Off” в правом верхнем углу экрана. Обработку осциллограммы можно проводить средствами и инструментом, которыми укомплектован осциллограф. Возможен и другой путь обработки осциллограммы, предлагающий дополнительные возможности (копирование осциллограммы в отчет, возможность сохранения и более широкий набор методов обработки). После получения осциллограммы нажимается кнопка “Grapher/Analysis List” на главной панели меню. Открывается окно “Grapher View” с осциллограммой на закладке “Oscilloscope” и набором дополнительных средств обработки осциллограммы (нанесение надписи на осях, нанесение сетки, корректировка масштабов, использование измерительного инструмента и методов обработки результатов). В частности, после нажатия кнопки “Show/Hide Cursors” появляются две визирные линии и окно с результатами измерений времени ($X1, X2$) и амплитуд ($Y1, Y2$). Кроме того, предлагается разность $X2 - X1 = dX$, являющаяся периодом T , если визирные линии сориентированы на измерение периода T , и выполняется операция $1/dX$, результатом которой является расчет частоты

$$f = 1/dX = 1/T;$$

– исследовать влияние изменения величины индуктивностей $L1, L2$ (условие $C1=C2$ сохраняется). Результаты измерения частоты внести в таблицу 7.13;

Таблица 7.13 – Результаты измерения частоты

$L1, мГн$	$0,8L1(L2)$	$L1(L2)$	$1,2L1(L2)$
$C1=C2, нФ$	$C1=C2$	$C1=C2$	$C1=C2$
Частота, Гц			

– исследовать влияние изменения величины емкости $C1$ и $C2$ (условие $C1=C2$ сохраняется). Результаты измерения частоты внести в таблицу 7.14;

Таблица 7.14 – Результаты измерения частоты

$L1, мГн$	$L1(L2)$	$L1(L2)$	$L1(L2)$
$C1=C2, нФ$	$0,8(C1=C2)$	$C1=C2$	$1,2(C1=C2)$
Частота, Гц			

– по полученным данным построить графики зависимости частоты от изменения индуктивности при заданном значении $C1, C2$ и от изменения емкости конденсаторов $C1, C2$ при заданном значении индуктивностей $L1, L2$.

7.4.4 Исследование LC-генератора на логических элементах

Для исследования необходимо:

– вызвать на рабочее поле *Multisim* из папки **Электронные генераторы** файл **Рисунок 7.13.1**. LC-генератор на логических элементах представляет собой инвертор, в котором напряжение OC снимается с LC-контура. Схема автогенератора с колебательным контуром и осциллограммы сигналов приводится на рисунке 7.13. Частота генератора определяется по формуле:

$$f = 1/(2\pi\sqrt{LC}),$$

причем эквивалентная емкость C соответствует параллельному включению конденсаторов $C1$ и $C2$, то есть $C = C1 * C2 / (C1 + C2)$. В этой схеме сигнал OC поступает на инвертор через LC-контур, который благодаря возможности изменять временной сдвиг фазы позволяет изменять частоту генерации при изменении параметров компонентов контура L и C .

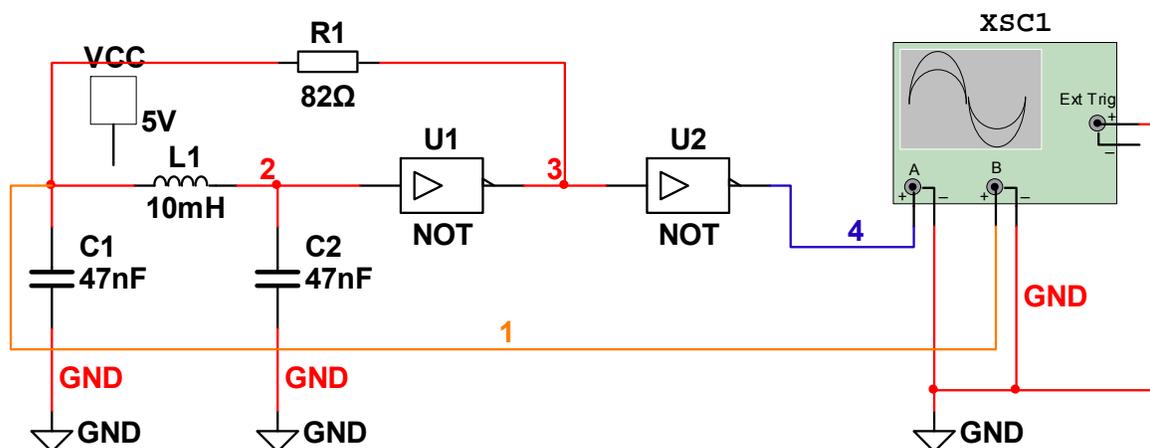


Рисунок 7.13 – Схема LC-генератора на логических элементах

Параметры схемы генератора заданы в таблице 7.15 по вариантам.

Таблица 7.15 – Параметры схемы генератора по вариантам

Вариант	$L1, мГн$	$C1=C2, нФ$	Вариант	$L1, мГн$	$C1=C2, нФ$
1	20	10	14	10	82
2	20	20	15	10	100
3	20	47	16	5	10
4	20	82	17	5	20
5	20	100	18	5	47
6	15	10	19	5	82
7	15	20	20	5	100
8	15	47	21	2,5	10
9	15	82	22	2,5	20
10	15	100	23	2,5	47
11	10	10	24	2,5	82
12	10	20	25	2,5	100
13	10	47	26		

Осциллограммы выходного сигнала LC-генератора и сигнала обратной связи показаны на рисунке 7.14;

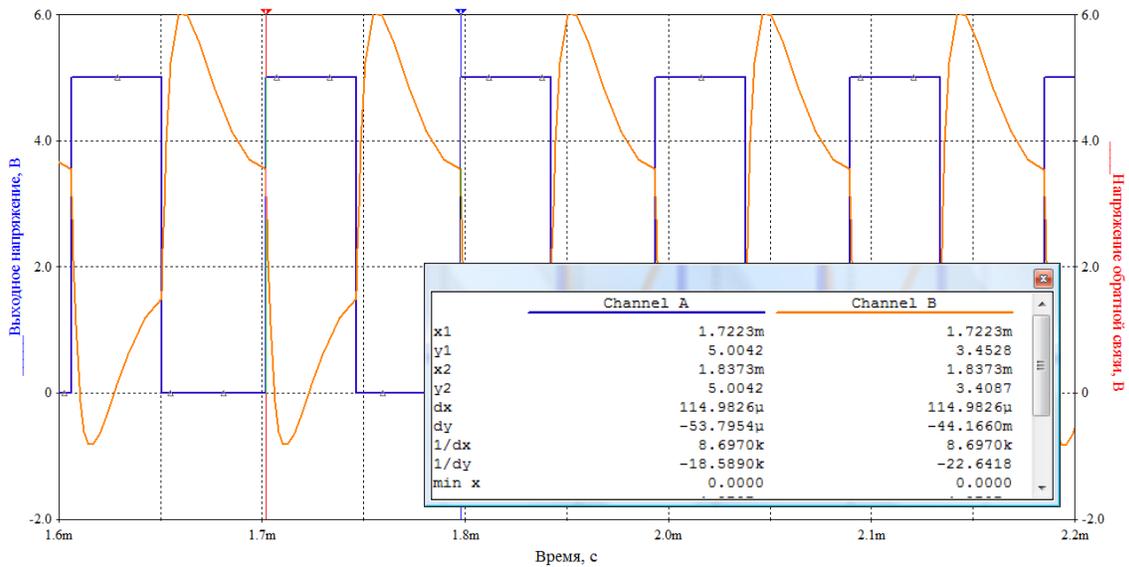


Рисунок 7.14 – Осциллограммы выходного сигнала LC -генератора и сигнала обратной связи

– для указанных на схеме параметров элементов измерить с помощью осциллографа частоту и оценить форму колебаний. Раскрыть лицевую панель осциллографа и включить моделирование, нажав кнопку “*In - Off*” в правом верхнем углу экрана. Обработку осциллограммы можно проводить средствами и инструментом, которыми укомплектован осциллограф. Возможен и другой путь обработки осциллограммы, предлагающий дополнительные возможности (копирование осциллограммы в отчет, возможность сохранения и более широкий набор методов обработки). После получения осциллограммы нажимается кнопка “*Grapher/Analysis List*” на главной панели меню. Открывается окно “*Grapher View*” с осциллограммой на закладке “*Oscilloscope*” и набором дополнительных средств обработки осциллограммы (нанесение надписи на осях, нанесение сетки, корректировка масштабов, использование измерительного инструмента и методов обработки результатов). В частности, после нажатия кнопки “*Show/Hide Cursors*” появляются две визирные линии и окно с результатами измерений времени ($X1, X2$) и амплитуд ($Y1, Y2$). Кроме того, предлагается разность $X2 - X1 = dX$, являющаяся периодом T , если визирные линии сориентированы на измерение периода T , и выполняется операция $1/dX$, результатом которой является расчет частоты

$$f = 1/dX = 1/T;$$

– исследовать влияние изменения величины индуктивности $L1$ (условие $C1 = C2$ сохраняется). Результаты измерения частоты внести в таблицу 7.16;

Таблица 7.16 – Результаты измерения частоты

$L1, мГн$	$0,8L1$	$L1$	$1,2L1$
$C1=C2, нФ$	$C1=C2$	$C1=C2$	$C1=C2$
Частота, Гц			

– исследовать влияние изменения величины емкости $C1$ и $C2$ (условие $C1=C2$ сохраняется). Результаты измерения частоты внести в таблицу 7.17;

Таблица 7.17 – Результаты измерения частоты

$L1, мГн$	$L1$	$L1$	$L1$
$C1=C2, нФ$	$0,8(C1=C2)$	$C1=C2$	$1,2(C1=C2)$
Частота, Гц			

– по полученным данным построить графики зависимости частоты от изменения индуктивности при заданном значении $C1, C2$ и от изменения емкости конденсаторов $C1, C2$ при заданном значении индуктивностей $L1, L2$;

– измерить напряжения переключения логического элемента $U1$.

7.5 Генераторы на таймерах

7.5.1 Таймер 1006ВИ1

Настоящий раздел включает использование в качестве генераторов специализированных интегральных микросхем (*ИМС*-таймеров). В настоящее время серийно выпускается одноканальный таймер 1006ВИ1 (аналог таймера – 555). Этот таймер состоит из трех функциональных узлов: двух компараторов напряжения на входе, RS-триггера и инвертирующего усилителя мощности на выходе (рисунок 7.15).

Внутренний резисторный делитель задает пороговые напряжения, равные $\frac{2}{3}U_n$ для компаратора $A1$ и $\frac{1}{3}U_n$ - для компаратора $A2$. Длительность генерируемых выходных импульсов устанавливается внешней времязадающей цепью R_tC_t . Напряжение питания U_n , подключаемое к выводу 8 и измеряемое относительно вывода 1, должно лежать в пределах 5...16,5 В.

Приращение собственного потребляемого таймером тока на 1 В изменения U_n равно примерно 0,7 мА. Выход таймера обеспечивает втекающий и вытекающий токи до 200 мА, что позволяет управлять непосредственно лам-

почками и даже электромагнитными реле. Выходное сопротивление - около 10 Ом как для низкого ($U_{вых} \approx 0,1 В$), так и для высокого ($U_{вых} \approx U_n - 0,5 В$) уровней выходного напряжения.

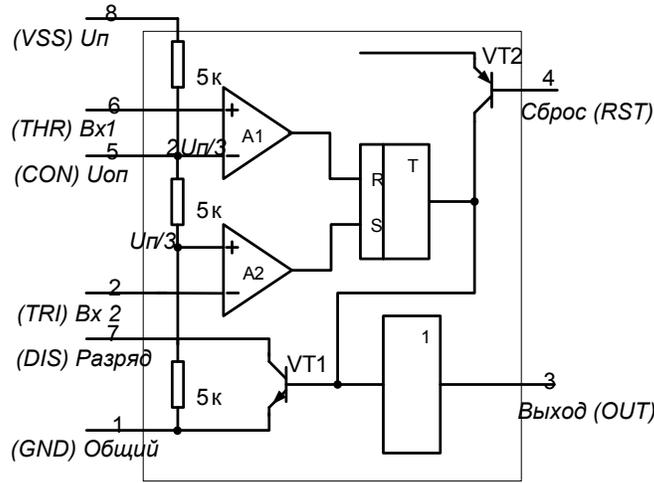


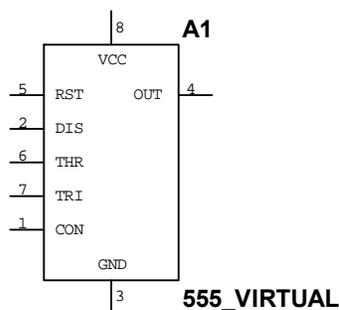
Рисунок 7.15 – Структура таймера 1006ВИ1

Запуск таймера осуществляется подачей на вывод 2 напряжения меньше $\frac{1}{3}U_n$ (эту цепь обычно называют триггерным входом). По отношению к выводу 3 этот вход является инвертирующим. При высоком напряжении на выводе 2 состоянием выхода таймера можно управлять с помощью компаратора A1 по выводу 6, называемому обычно пороговым входом. Относительно изменений выходного напряжения этот вывод является неинвертирующим входом таймера. Входной ток, втекающий для компаратора A1 (вывод 6) и вытекающий для компаратора A2 (вывод 2), не превышает 0,5 мкА. Для сброса таймера, т. е. установления на его выходе низкого напряжения, независимо от напряжения на выводах 2 и 6 используется вывод 4. Если напряжение на этом выводе меньше 0,4 В, напряжение на выводе 3 равно 0,1 В. При напряжении больше 1 В на выводе 4 цепь сброса выключена и не влияет на работу таймера. В дополнение к низкоомному выходу таймер имеет и вспомогательный высокоомный выход (вывод 7), представляющий собой открытый коллектор транзистора VT1. Этот вывод обычно используется для организации обратной связи с выхода на входы таймера. Допустимое изменение напряжения на выводах 2, 4, 6 и 7 лежит в пределах 0... 16,5 В.

В таймере имеется доступ через вывод 5 и к двум другим входам внутренних компараторов, на которые поданы пороговые напряжения. Этот вывод от резисторного делителя позволяет дополнительно управлять работой таймера, изменяя пороговые напряжения компараторов при постоянном напряжении питания. Рекомендуется шунтировать этот вывод конденсатором емкостью около 0,01 мкФ, чтобы избежать влияния внешних помех и пуль-

сации напряжения питания на точность работы таймера. Таймер *1006ВИ1* (*ИМС 555*) можно применять также для генерации отдельных импульсов произвольной длительности и других целей.

На рисунке 7.16 показано условное обозначение *ИМС 555* (таймер *1006ВИ1*) в программе *Multisim 10*. Цоколевка *ИМС 555* не совпадает с цоколевкой *ИМС 1006ВИ1*, приведенной на рисунке 7.15.



- | | |
|--|-----------------------------------|
| 1 – <i>CON</i> – эталонное напряжение; | 5 – <i>RST</i> – сброс; |
| 2 – <i>DIS</i> – разряд; | 6 – <i>THR</i> – сбросовый вход; |
| 3 – <i>GND</i> – земля; | 7 – <i>TRI</i> – триггерный вход; |
| 4 – <i>OUT</i> – выход; | 8 – <i>VCC</i> – Упит |

Рисунок 7.16 – ИМС таймера – 555 (*1006ВИ1*)

ИМС может работать от одиночного источника питания напряжением от 4,5 до 16 В, сохраняя стабильную частоту при изменениях напряжения питания, поскольку пороги следят за флуктуациями питания. Схему *ИМС 555* можно применять также для генерации отдельных импульсов произвольной длительности и других целей.

7.5.2 Исследование базовой схемы генератора на *ИМС 555*

Для исследования:

– вызвать на рабочее поле *Multisim* из папки *Электронные генераторы* файл **Рисунок 7.17.1**. Генератор на *ИМС 555* представляет собой таймер, на входе которого заряжается и разряжается конденсатор *C1* (рисунок 7.17). Так как элемент, управляющий разрядом, входит в состав таймера, то таймер переходит в режим автоколебаний. В исходном состоянии конденсатор *C1* разряжен и при включении напряжения питания компаратор *A2* (рисунок 7.15) выдаёт единицу, которая ставит триггер *T* также в единичное состояние. Компаратор *A1* находится в нулевом состоянии. На выходе таймера появляется высокий уровень выходного напряжения (единица). При этом транзистор *VT1* закрыт. Напряжение на конденсаторе растёт за счёт заряда через резисторы *R1*, *R2*, при достижении уровня $U_n/3$ компаратор *A2* переходит в нулевое состояние, но триггер *T* остаётся в единичном состоянии, сохраняя единичное состояние на выходе *OUT*. Заряд конденсатора продолжается. Как только напряжение на конденсаторе *C1* достигнет уровня $2U_n/3$,

как показано на рисунке 7.18, компаратор *A1* переходит в единичное состояние, сбрасывая триггер в ноль. Напряжение на выходе таймера также снижается до нулевого уровня. Открывается транзистор *VT1* и начинается разряд *C1* через резистор *R2*. Компаратор *A1* возвращается в нулевое состояние, триггер не меняет состояния, на выходе генератора низкий уровень напряжения. Как только напряжение на конденсаторе снизилось до $U_n/3$, компаратор *A2* переходит в единичное состояние и устанавливает триггер в единичное состояние. С этого момента времени начинается генерация заданной частоты, напряжение на конденсаторе колеблется от $U_n/3$ до $2U_n/3$ с периодом

$$T = 0,693(R1 + R2)C1. \quad (7.1)$$

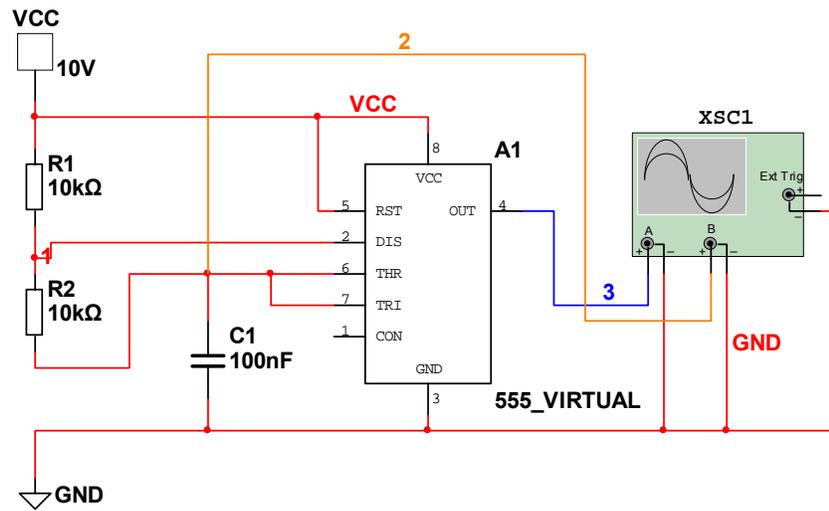


Рисунок 7.17 – Схема генератора на ИМС 555

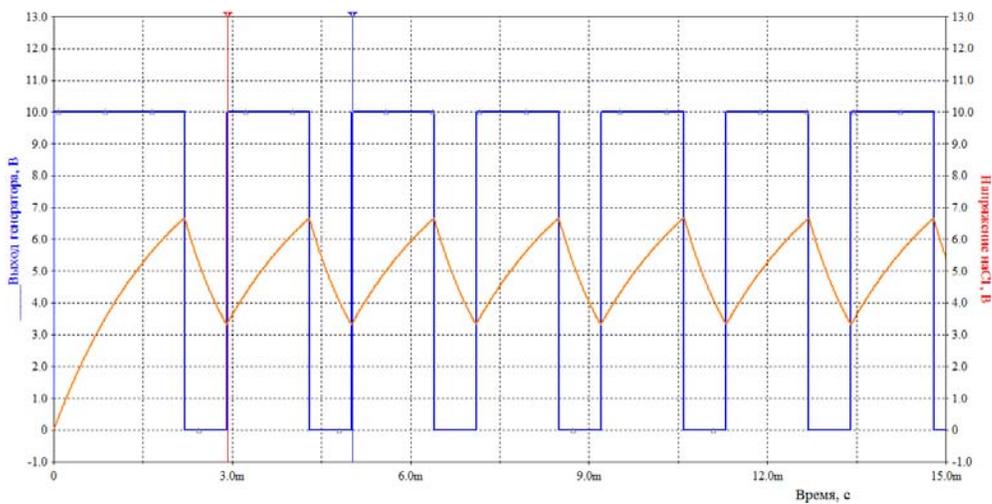


Рисунок 7.18 – Осциллограммы выходного сигнала генератора на ИМС 555 и сигнала обратной связи

Параметры схемы генератора заданы в таблице 7.18 по вариантам;

Таблица 7.18 – Параметры схемы генератора по варианта

Вариант	$R1=R2,$ $кОм$	$C1, нФ$	Вариант	$R1=R2,$ $кОм$	$C1, нФ$
1	20	10	14	10	82
2	20	20	15	10	100
3	20	47	16	5	10
4	20	82	17	5	20
5	20	100	18	5	47
6	15	10	19	5	82
7	15	20	20	5	100
8	15	47	21	2,5	10
9	15	82	22	2,5	20
10	15	100	23	2,5	47
11	10	10	24	2,5	82
12	10	20	25	2,5	100
13	10	47	26		

– для указанных на схеме параметров элементов измерить с помощью осциллографа частоту и оценить форму колебаний. Раскрыть лицевую панель осциллографа и включить моделирование, нажав кнопку “*In - Off*” в правом верхнем углу экрана. Обработку осциллограммы можно проводить средствами и инструментом, которыми укомплектован осциллограф. Возможен и другой путь обработки осциллограммы, предлагающий дополнительные возможности (копирование осциллограммы в отчет, возможность сохранения и более широкий набор методов обработки). После получения осциллограммы нажимается кнопка “*Grapher/Analysis List*” на главной панели меню. Открывается окно “*Grapher View*” с осциллограммой на закладке “*Oscilloscope*” и набором дополнительных средств обработки осциллограммы (нанесение надписи на осях, нанесение сетки, корректировка масштабов, использование измерительного инструмента и методов обработки результатов). В частности, после нажатия кнопки “*Show/Hide Cursors*” появляются две визирные линии и окно с результатами измерений времени ($X1, X2$) и амплитуд ($Y1, Y2$). Кроме того, предлагается разность $X2-X1=dX$, являющаяся периодом T , если визирные линии сориентированы на измерение периода T , и выполняется операция $1/dX$, результатом которой является расчет частоты

$$f=1/dX=1/T;$$

– исследовать влияние изменения величины сопротивлений $R1$, $R2$. Результаты измерения частоты внести в таблицу 7.19;

Таблица 7.19 – Результаты измерения частоты

$R1=R2$, кОм	$0,8(R1=R2)$	$R1=R2$	$1,2(R1=R2)$
$C1$, нФ	$C1$	$C1$	$C1$
Частота, Гц			

– исследовать влияние изменения величины емкости $C1$. Результаты измерения частоты внести в таблицу 7.20;

Таблица 7.20 – Результаты измерения частоты

$R1=R2$, кОм	$R1=R2$	$R1=R2$	$R1=R2$
$C1$, нФ	$0,8C1$	$C1$	$1,2C1$
Частота, Гц			

– по полученным данным построить графики зависимости частоты от изменения сопротивления резисторов $R1=R2$ при заданном значении $C1$ и от изменения емкости конденсатора $C1$ при заданном значении сопротивлений резисторов;

– проверить справедливость формулы 7.1. В случае неверности выражения разработать своё.

7.5.3 Исследование базовой схемы генератора на ИМС 555

Для этого:

– вызвать на рабочее поле Multisim из папки *Электронные генераторы* файл *Рисунок 7.19.1*;

– регулировку частоты и скважности выходных импульсов генератора можно осуществить, разделив цепи заряда и разряда времязадающего конденсатора. В схеме на рисунке 7.19 интервалы t_1 и t_2 (время заряда и время разряда конденсатора $C1$) регулируются таким образом, что их сумма $T = t_1 + t_2$ остается практически постоянной (рисунок 7.20). Следовательно, скважность выходных импульсов можно регулировать, не меняя их частоты, так как сумма сопротивлений в зарядной и разрядной цепи остаётся величиной неизменной;

– для указанных на схеме параметров элементов измерить с помощью осциллографа частоту и оценить форму колебаний. Раскрыть лицевую

панель осциллографа и включить моделирование, нажав кнопку “In - Off” в правом верхнем углу экрана.

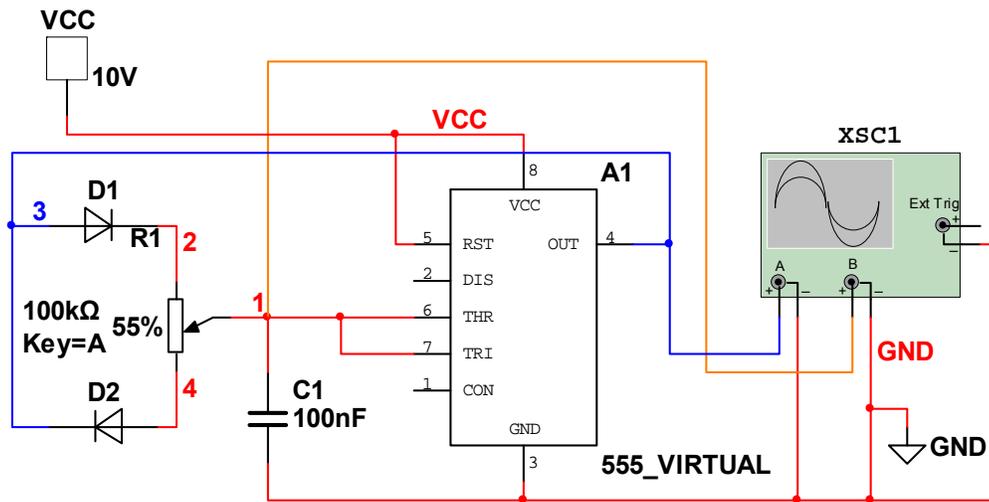


Рисунок 7.19 – Схема генератора на ИМС 555 с регулируемой скважностью

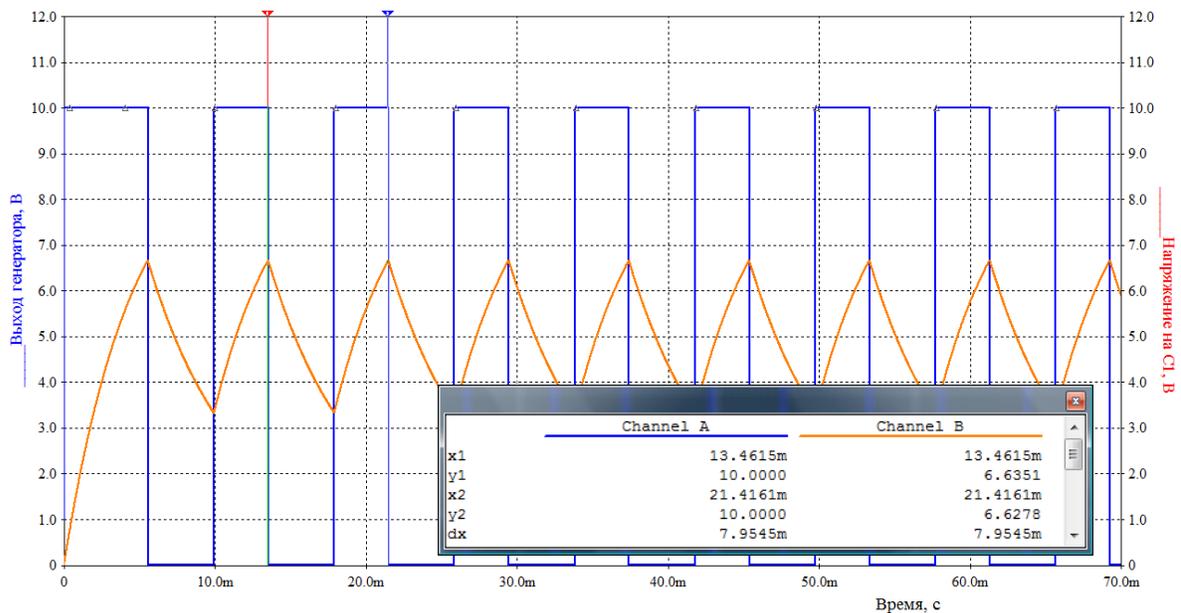


Рисунок 7.20 – Осциллограммы выходного сигнала генератора с регулируемой скважностью на ИМС 555 и сигнала обратной связи

Обработку осциллограммы можно проводить средствами и инструментом, которыми укомплектован осциллограф. Возможен и другой путь обработки осциллограммы, предлагающий дополнительные возможности (копирование осциллограммы в отчет, возможность сохранения и более широкий набор методов обработки). После получения осциллограммы нажимается

кнопка “*Grapher/Analysis List*” на главной панели меню. Открывается окно “*Grapher View*” с осциллограммой на закладке “*Oscilloscope*” и набором дополнительных средств обработки осциллограммы (нанесение надписи на осях, нанесение сетки, корректировка масштабов, использование измерительного инструмента и методов обработки результатов). В частности, после нажатия кнопки “*Show/Hide Cursors*” появляются две визирные линии и окно с результатами измерений времени ($X1, X2$) и амплитуд ($Y1, Y2$). Кроме того, предлагается разность $X2 - X1 = dX$, являющаяся периодом T , если визирные линии сориентированы на измерение периода T , и выполняется операция $1/dX$, результатом которой является расчет частоты

$$f = 1/dX = 1/T.$$

Параметры схемы генератора заданы в таблице 7.21 по вариантам;

Таблица 7.21 – Параметры схемы генератора по вариантам

Вариант	$R1, кОм$	$C1, нФ$	Вариант	$R1, кОм$	$C1, нФ$
1	200	10	14	50	82
2	200	20	15	50	100
3	200	47	16	20	10
4	200	82	17	20	20
5	200	100	18	20	47
6	100	10	19	20	82
7	100	20	20	20	100
8	100	47	21	10	10
9	100	82	22	10	20
10	100	100	23	10	47
11	50	10	24	10	82
12	50	20	25	10	100
13	50	47	26		

– исследовать влияние изменения положения ползунка потенциометра $R1$ на длительность импульса и паузы. Результаты измерения длительностей T_u, T_n и периода T внести в таблицу 7.22;

Таблица 7.22 – Результаты измерения длительностей

$R1, \%$	10	20	30	40	50	60	70	80	90
$T_u, с$									
$T_n, с$									
$T, с$									

- по полученным данным построить графики зависимости длительностей от изменения положения ползунка резистора $R1$ при заданном значении $C1$.

7.6 Содержание отчёта по теме «Электронные генераторы»

7.6.1 Назначение генераторов, цель исследований.

7.6.2 Изложение результатов выполнения программы работ по всем пунктам:

- постановка задачи;
- представление принципиальной схемы, описание работы схемы и процесса проведения эксперимента в соответствии с программой;
- оформление полученных результатов в виде таблиц и графиков;
- провести анализ полученных результатов, дать сравнительную оценку и выводы.

7.6.3 Сделать заключение и подвести итоги.

Литература

- 1 Терехин В.Б. Лабораторные работы по прикладной электронике: Руководство для студентов. – Северск: СГТИ, 2003. – 80 с.
- 2 Терехин В.Б., Соловьев Ю.А. Моделирование электронных схем в программе Electronics Workbench. Ч. 1. Создание схем. Ч.2. Элементная база: лабораторный практикум. – Северск: СТИ ТПУ, 2000. – 244 с.
- 3 Руководство по Multisim. Электронный ресурс.
- 4 Шило В.Л. Популярныe цифровые микросхемы: Справочник. 2 - е изд., испр. – Челябинск: Металлургия, Челябинское отд., 1989.- 352 с.