

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

Кафедра радиоэлектронных средств

***ПЕРВИЧНЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ
И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В СИСТЕМАХ БЕЗОПАСНОСТИ.***

***ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
ОТ УТЕЧКИ ПО ТЕХНИЧЕСКИМ КАНАЛАМ***

Лабораторный практикум
для студентов специальности 1-38 02 03
«Техническое обеспечение безопасности»
всех форм обучения

Минск БГУИР 2011

УДК 621.317.39.084.2+002:004.056(076.5)

ББК 32.96-04+32.973.26-018.2я73

П26

А в т о р ы:

В. Ю. Серенков, А. И. Бересневич, В. В. Маклюк, А. И. Пинаев

Р е ц е н з е н т ы:

доцент кафедры микро- и наноэлектроники учреждения образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»,
кандидат технических наук Ю. А. Родионов;

заведующий кафедрой электроники учреждения образования
«Минский государственный высший радиотехнический колледж»,
кандидат технических наук, доцент И. И. Шпак

Первичные измерительные преобразователи и их применение в
П26 системах безопасности. Обеспечение информационной безопасности от
утечки по техническим каналам: лаб. практикум для студ. спец. 1-38 02 03
«Техническое обеспечение безопасности» всех форм обуч. /
В. Ю. Серенков [и др.]. – Минск : БГУИР, 2011. – 52 с. : ил.
ISBN 978-985-488-494-3.

В лабораторном практикуме, разделенном на два цикла, приводятся
описание, методика, порядок выполнения и оформления восьми лабораторных работ
по курсам «Первичные измерительные преобразователи в системах безопасности» и
«Обеспечение информационной безопасности от утечки по техническим каналам».
Предназначен для студентов всех форм обучения.

УДК 621.317.39.084.2+002:004.056(076.5)

ББК 32.96-04+32.973.26-018.2я73

ISBN 978-985-488-494-3

© УО «Белорусский государственный
университет информатики
и радиоэлектроники», 2011

СОДЕРЖАНИЕ

I Первичные измерительные преобразователи и их применение в системах безопасности

Лабораторная работа №1 «Изучение методов контроля безадресных извещателей в шлейфах охранно-пожарной сигнализации с контролем по напряжению».....	4
Лабораторная работа №2 «Изучение методов контроля безадресных извещателей в шлейфах охранно-пожарной сигнализации с контролем по току».....	10
Лабораторная работа №3 «Моделирование схем линейных измерительных преобразователей».....	15
Лабораторная работа №4 «Изучение методов передачи информации в системах охранно-пожарной сигнализации с адресными извещателями в шлейфе сигнализации».....	23

II Обеспечение информационной безопасности от утечки по техническим каналам

Лабораторная работа №5 «Исследование цифроаналоговых и аналого-цифровых преобразователей».....	29
Лабораторная работа №6 «Исследование особенностей применения операционных усилителей в качестве сумматоров аналоговых сигналов».....	33
Лабораторная работа №7 «Исследование особенностей применения операционных усилителей в качестве дифференциаторов и интеграторов».....	38
Лабораторная работа №8 «Исследование особенностей применения компараторов».....	43
Литература	51

I Первичные измерительные преобразователи и их применение в системах безопасности

Лабораторная работа №1

Изучение методов контроля безадресных извещателей в шлейфах охранно-пожарной сигнализации с контролем по напряжению

1.1 Цель работы

Проанализировать границы напряжения в шлейфе, соответствующие состояниям: «норма», «сработка одного извещателя типа $D_{нз}$ », «сработка двух извещателей типа $D_{нз}$ », «сработка одного извещателя типа $D_{но}$ », «сработка двух извещателей типа $D_{но}$ », «обрыв», «короткое замыкание».

Определить максимальное число дымовых извещателей, которое можно установить в шлейф сигнализации.

1.2 Теоретическая часть

Принцип работы системы охранно-пожарной сигнализации заключается в контроле датчиков (извещателей) охранной или пожарной сигнализации, по которым оценивается состояние объекта.

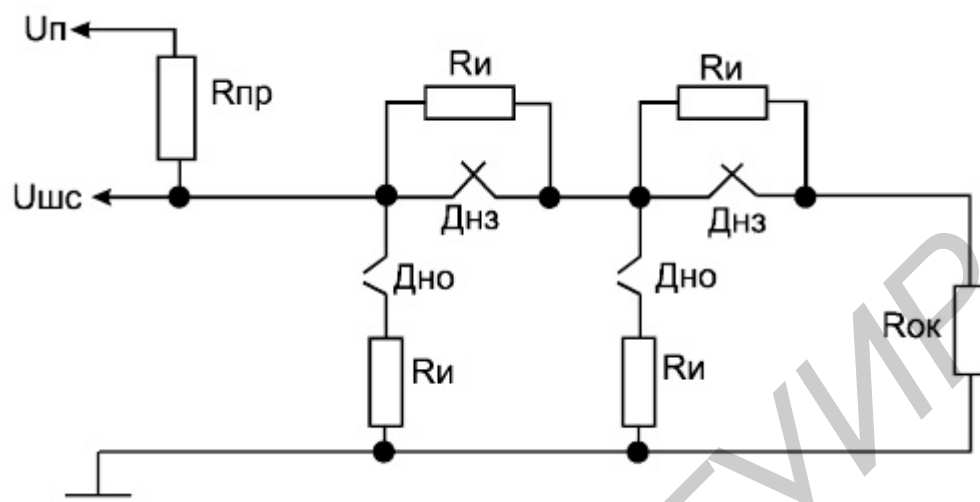
Задача извещателей – определить параметры контролируемой среды и передать информацию на прибор сигнализации. Принцип передачи информации является основной и наиболее существенной характеристикой охранной или пожарной системы. Традиционно существуют три основных способа передачи информации от извещателей к прибору сигнализации:

- 1) изменением напряжения в шлейфе сигнализации;
- 2) изменением тока в шлейфе сигнализации;
- 3) передачей информации в виде кодовых посылок, осуществляемых модуляцией тока или напряжения в шлейфе сигнализации.

Передача информации путем изменения напряжения в шлейфе является наиболее распространенным и простым методом. Схема передачи показана на рисунке 1.1.

В дежурном режиме извещатели имеют состояние, показанное на схеме. Напряжение в шлейфе ($U_{шс}$) обусловлено номиналами резисторов $R_{пр}$, $R_{ок}$, которые образуют делитель для напряжения ($U_{п}$). При сработке одного извещателя типа $D_{нз}$ его контакты размыкаются, и последовательно к оконечному резистору подключается сопротивление $R_{и}$. Нижнее плечо делителя увеличивается, и напряжение в шлейфе повышается. Величина повышения определяется номиналом резистора $R_{и}$. При сработке второго извещателя типа $D_{нз}$ происходит дополнительное повышение напряжения. При обрыве шлейфа – напряжение $U_{шс}$ сравнивается с напряжением $U_{п}$. При сработке извещателя типа $D_{но}$ его контакты замыкаются и параллельно резистору $R_{ок}$ подключается резистор $R_{и}$, что приводит к уменьшению

напряжения. Аналогично предыдущему случаю номинал резистора $R_{и}$ и количество сработавших извещателей определяют величину изменения напряжения. При замыкании шлейфа его напряжение будет равно 0.



- $U_{п}$ – напряжение питания прибора;
- $U_{шс}$ – напряжение в шлейфе сигнализации;
- $R_{ок}$ – оконечный резистор, устанавливаемый на конце шлейфа;
- $R_{пр}$ – резистор, установленный внутри прибора;
- $R_{и}$ – резисторы, устанавливаемые параллельно или последовательно с извещателями;
- $D_{но}$ – извещатель с нормально-разомкнутыми контактами;
- $D_{нз}$ – извещатель с нормально-замкнутыми контактами

Рисунок 1.1 – Схема передачи информации в шлейфе сигнализации

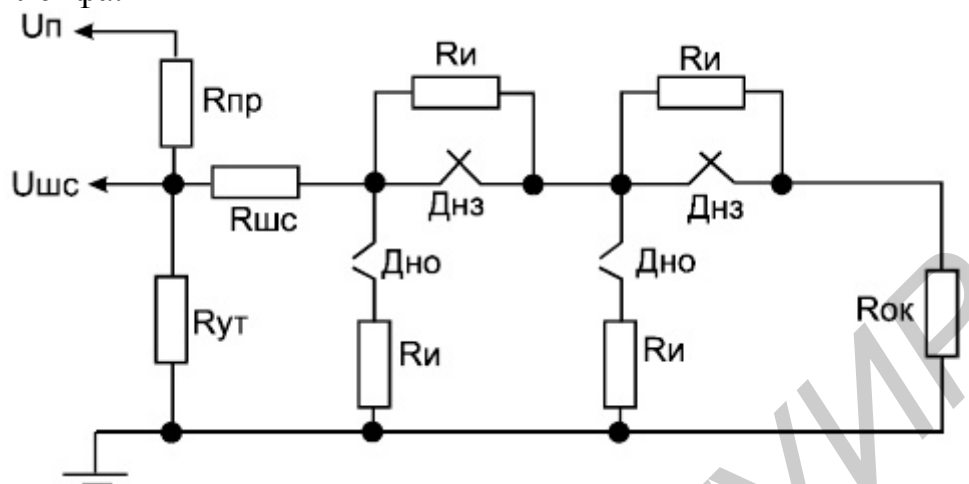
Очевидно, что действие извещателей обоих типов противоположно и их одновременная сработка взаимно компенсирует изменение напряжения, поэтому в шлейф допускается включать извещатели только одного типа или исключать возможность сработки обоих типов извещателей одновременно.

В реальных условиях эксплуатации необходимо учитывать следующие обстоятельства (рисунок 1.2):

- 1) номиналы резисторов имеют отклонения как в положительную, так и в отрицательную сторону;
- 2) провода шлейфа имеют сопротивление, отличное от нуля;
- 3) между проводами и контактами шлейфа возможно образование цепей утечки.

С учетом этих обстоятельств, состояния нормы, неисправности и сработки будут характеризоваться не четкими уровнями, а областями, в пределах которых могут находиться напряжения, соответствующие каждому состоянию извещателей и соответственно шлейфа.

Кроме того, при анализе шлейфа с извещателями типа $D_{но}$ необходимо учитывать, что ими, как правило, являются дымовые извещатели, питающиеся от этого же шлейфа.



- $R_{шс}$ – паразитное сопротивление проводов шлейфа;
- $R_{ут}$ – эквивалентное сопротивление цепей утечки

Рисунок 1.2 – Эквивалентная схема реального шлейфа сигнализации

Внимание! Предельные значения $R_{шс}$ и $R_{ут}$ являются обязательными для указания в эксплуатационной документации на прибор сигнализации.

Минимальное напряжение питания извещателей в большинстве случаев не ниже 9 В, потребляемый ток от 50 до 100 мкА, при срабатывании на извещателе происходит падение напряжения от 0,5 до 0,8 В (в зависимости от типа извещателя). Эквивалентная схема дымового извещателя для анализа шлейфа с контролем по напряжению показана на рисунке 1.3, где $R_э$ – эквивалентное сопротивление тока потребления извещателя.

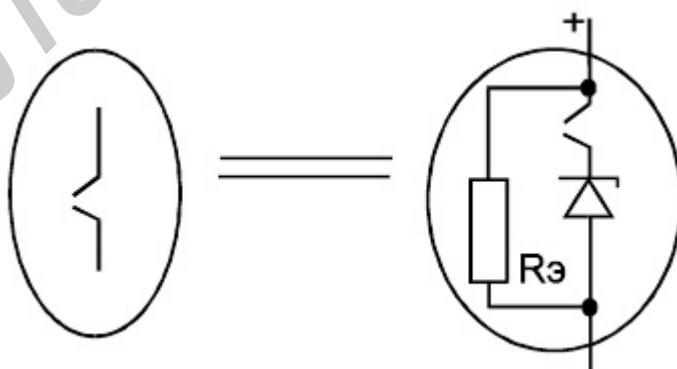


Рисунок 1.3 – Эквивалентная схема дымового извещателя

Для обеспечения напряжения, необходимого для питания дымовых извещателей, параллельно резистору прибора предполагается устанавливать добавочное сопротивление такого номинала, чтобы напряжение в шлейфе

поднялось выше 9,5 В. Если предполагается, что прибор должен распознавать сработку двух извещателей, отношение сопротивлений прибора (с учетом добавочного сопротивления) и сопротивления извещателя выбирают таким, чтобы при срабатывании первого извещателя напряжение в шлейфе было достаточным для питания оставшихся извещателей. Чтобы прибор мог идентифицировать уровни, соответствующие состояниям дымовых извещателей, кроме добавочных резисторов в приборе устанавливают соответствующий режим.

Очевидно, что для увеличения числа извещателей в шлейфе сигнализации необходимо уменьшать добавочное сопротивление, однако это затруднит отличие границ уровней «Норма» – «Обрыв»; кроме того, при большом числе извещателей их эквивалентное сопротивление может «подменять» окончательный резистор и удаление части извещателей окажется незамеченным.

1.3 Практическая часть

Работа выполняется на персональном компьютере. Программное обеспечение – пакет моделирования электронных схем Electronics Workbench.

1.3.1 Анализ работы извещателей нормально-замкнутого типа

1.3.1.1 Создать в окне изображения электрическую принципиальную схему, согласно рисунку 1.4. Для измерения напряжения в шлейфе использовать виртуальный вольтметр.

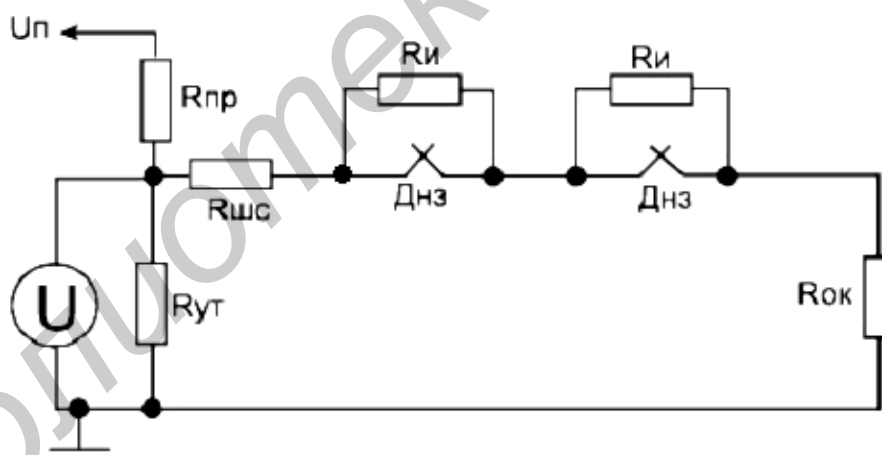


Рисунок 1.4 – Схема электрическая принципиальная шлейфа сигнализации с контролем по напряжению

1.3.1.2 Определить номинальный уровень состояния «норма».

1.3.1.3 Определить параметры элементов, фиксирующие верхнюю границу состояния «норма».

1.3.1.4 Определить значение напряжения, соответствующее верхней границе состояния «норма».

1.3.1.5 Определить параметры элементов, фиксирующие нижнюю границу состояния «норма».

1.3.1.6 Определить значение напряжения, соответствующее нижней границе состояния «норма».

1.3.1.7 Занести измеренные данные в таблицу 1.1. Пример анализа схемы для состояния «норма» приведен в таблице 1.2.

1.3.1.8 Произвести аналогичные процедуры для состояний, соответствующих сработке одного извещателя типа $D_{нз}$, сработке двух извещателей типа $D_{нз}$, обрыву, короткому замыканию.

Таблица 1.1 – Значение уровней напряжения, соответствующих состоянию «норма»

Состояние	Значение сопротивлений						U, В
	$R_{шс}, \text{ Ом}$	$R_{ут}, \text{ Ом}$	$R_{ок}, \text{ Ом}$	$R_{пр}, \text{ Ом}$	$R_{и1}, \text{ Ом}$	$R_{и2}, \text{ Ом}$	
Номинальное							
Верхнее							
Нижнее							

Таблица 1.2 – Пример анализа схемы для состояния «норма»

Состояние	Значение сопротивлений						U, В
	$R_{шс}, \text{ Ом}$	$R_{ут}, \text{ Ом}$	$R_{ок}, \text{ Ом}$	$R_{пр}, \text{ Ом}$	$R_{и1}, \text{ Ом}$	$R_{и2}, \text{ Ом}$	
Номинальное	0	0	$R_{ок}$	$R_{пр}$	0	0	
Верхнее	150	0	$R_{ок}+5\%$	$R_{пр}+5\%$	0	0	
Нижнее	0	20 кОм	$R_{ок}-5\%$	$R_{пр}-5\%$	0	0	

1.3.2 Анализ работы извещателей нормально-разомкнутого типа

1.3.2.1 Создать в окне изображения электрическую принципиальную схему согласно рисунку 1.5. Для измерения напряжения в шлейфе использовать виртуальный вольтметр.

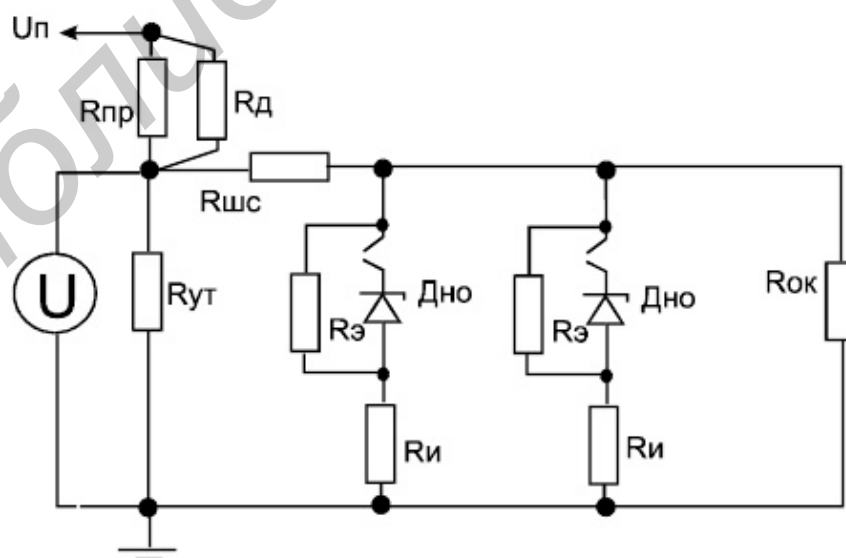


Рисунок 1.5 – Схема электрическая принципиальная

1.3.2.2 По напряжению питания прибора и потребляемому току извещателя определить его эквивалентное сопротивление (R_3).

1.3.2.3 Определить номинальный уровень состояния «норма».

1.3.2.4 Определить параметры элементов, фиксирующие верхнюю границу состояния «норма».

1.3.2.5 Определить значение напряжения, соответствующее верхней границе состояния «норма».

1.3.2.6 Определить параметры элементов, фиксирующие нижнюю границу состояния «норма».

1.3.2.7 Определить значение напряжения, соответствующее нижней границе состояния «норма».

1.3.2.8 Занести полученные данные в таблицу 1.3.

1.3.2.9 Произвести аналогичные процедуры для состояний, соответствующих сработке одного извещателя типа $D_{но}$, сработке двух извещателей типа $D_{но}$, обрыву, короткому замыканию.

Таблица 1.3 – Значение уровней напряжения, соответствующих состоянию «норма»

Состояние	Значение сопротивлений							
	$R_{шс}$, Ом	$R_{ут}$, Ом	R_d , Ом	$R_{ок}$, Ом	$R_{пр}$, Ом	$R_{и1}$, Ом	$R_{и2}$, Ом	U, В
Номинальное								
Верхнее								
Нижнее								

1.3.3 *Определение максимального числа дымовых извещателей, включаемых в шлейф сигнализации*

1.3.3.1 Создать в окне изображения электрическую принципиальную схему, согласно рисунку 1.5. Для измерения напряжения в шлейфе использовать виртуальный вольтметр.

1.3.3.2 Установить один извещатель в режим сработки, остальные в дежурный режим.

1.3.3.3 Поочередно добавлять в шлейф извещатели в дежурном режиме, контролируя напряжение в шлейфе.

1.3.3.4 При снижении напряжения до минимального уровня питания извещателей зафиксировать их количество.

1.4 Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

Титульный лист.

1 Цель работы.

2 Краткие теоретические сведения (ответы на контрольные вопросы).

3 Принципиальные схемы шлейфов с извещателями.

4 Таблицы номиналов элементов и напряжений для каждого состояния.

5 Обоснованное число дымовых извещателей.

6 Выводы.

1.5 Контрольные вопросы

- 1 Принцип контроля извещателей в шлейфе.
- 2 Достоинства и недостатки шлейфа с контролем по напряжению.
- 3 Порядок определения максимального числа извещателей.
- 4 Влияние условий эксплуатации на изменение напряжения в шлейфе.
- 5 Способы передачи информации от извещателей к прибору сигнализации.

Лабораторная работа №2

Изучение методов передачи информации в системах охранно-пожарной сигнализации с контролем извещателей в шлейфе сигнализации по току

2.1 Цель работы

Проанализировать границы тока в шлейфе, соответствующие следующим состояниям: «норма», «сработка одного извещателя типа $D_{нз}$ », «сработка двух извещателей типа $D_{нз}$ », «сработка одного извещателя типа $D_{но}$ », «сработка двух извещателей типа $D_{но}$ », «обрыв», «короткое замыкание».

2.2 Теоретическая часть

Принцип работы системы охранно-пожарной сигнализации заключается в контроле датчиков (извещателей) охранной или пожарной сигнализации, по которым оценивается состояние объекта. Задача извещателей – определить параметры контролируемой среды и передать информацию на прибор сигнализации. Принцип передачи информации является основной и наиболее существенной характеристикой охранной или пожарной системы. Традиционно существуют три основных способа передачи информации от извещателей к прибору сигнализации:

- 1) изменением напряжения в шлейфе сигнализации;
- 2) изменением тока в шлейфе сигнализации;
- 3) передачей информации в виде кодовых посылок, осуществляемых модуляцией тока или напряжения в шлейфе сигнализации.

Передача информации путем изменения тока в шлейфе нашла основное применение в системах пожарной автоматики благодаря высокой помехоустойчивости, возможности включать большое число извещателей с питанием от шлейфа, возможности одновременного контроля извещателей с нормально-замкнутыми и нормально-разомкнутыми контактами. Схема передачи информации показана на рисунке 2.1.

Работа шлейфа осуществляется тактами знакопеременного напряжения, в первом такте на верхнем по схеме проводе шлейфа устанавливается положительный потенциал, на нижнем – потенциал «земли»; во втором такте полярность напряжения на проводах меняется на противоположную.

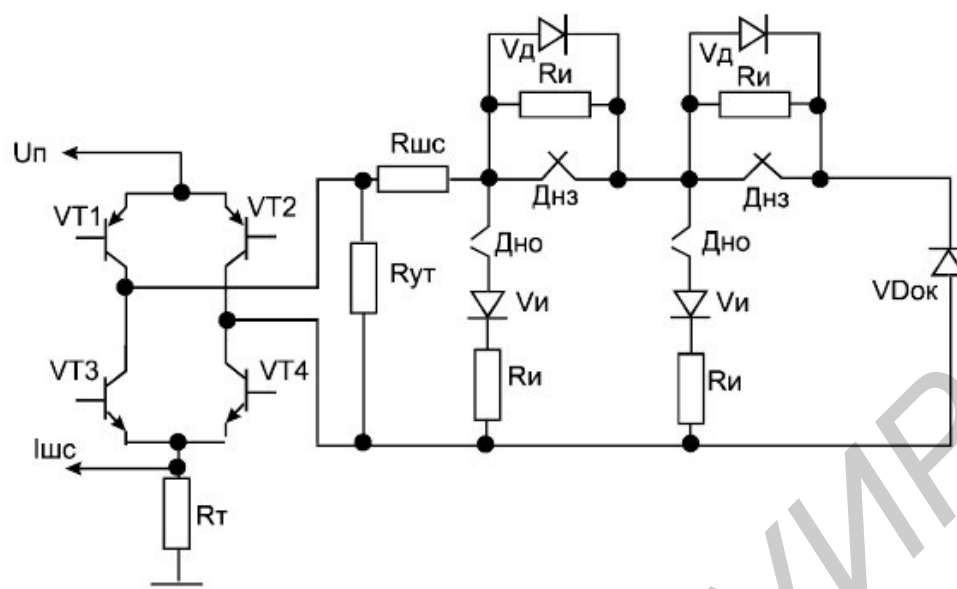


Рисунок 2.1 – Схема передачи информации в шлейфе сигнализации

В первом такте осуществляется питание токопотребляющих извещателей, контроль их сработки и проверка шлейфа на замыкание, во втором такте контроль сработки нормально-замкнутых извещателей, проверка шлейфа на обрыв. Соотношение между длительностями тактов выбрано таким, чтобы токопотребляющие извещатели не «заметили» кратковременного отключения питания, т. е. длительность первого такта значительно превышает длительность второго (рисунок 2.2). Диоды, встроенные в извещатели ($V_{и}$), защищают их схему от напряжения обратной полярности (см. рисунок 2.1).

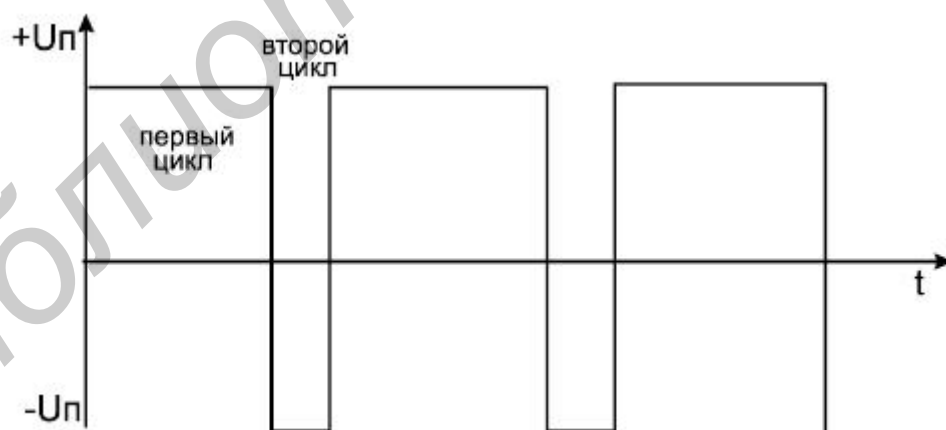


Рисунок 2.2 – Такты импульсов напряжения в шлейфе сигнализации

Переключение тактов осуществляется мостовой схемой на транзисторах VT1-VT4 (см. рисунок 2.1). В первом такте транзисторы VT1, VT4 включены, VT2, VT3 – выключены. Положительный потенциал напряжения питания через транзистор VT1 подается на верхний провод шлейфа, нижний провод через

транзистор VT4 подключен к резистору токового датчика R_T . Прямой полярностью напряжения осуществляется питание активных извещателей. Если извещатели находятся в дежурном режиме, ток, потребляемый ими, незначителен (ток потребления в дежурном режиме) и падение напряжения на резисторе R_T невелико. При срабатывании одного нормально-замкнутого извещателя через его контакты начинает протекать ток, ограниченный только внешним резистором извещателя. На резисторе токового датчика возникает падение напряжения, которое идентифицируется прибором как сработка одного извещателя. При срабатывании второго датчика ток соответственно увеличивается. При возникновении замыкания величина тока ограничивается только токовым датчиком. Во втором такте транзисторы VT1, VT4 выключены, VT2, VT3 – включены. На нижнем по схеме проводе шлейфа устанавливается потенциал питания, верхний провод подключается к резистору токового датчика. По проводам шлейфа через прямосмещенный оконечный диод протекает ток, ограниченный только токовым датчиком. При срабатывании первого извещателя с нормально-замкнутыми контактами его контакты размыкаются и ток ограничивается резистором извещателя $R_{и}$, при срабатывании второго датчика ток уменьшается еще сильнее. При обрыве проводов шлейфа ток через шлейф прекращается.

Диоды V_d применяются тогда, когда в шлейф одновременно включаются извещатели с нормально-замкнутыми и нормально-разомкнутыми контактами. Через эти диоды осуществляется питание активных извещателей при сработке одного нормально-замкнутого извещателя. Количество активных извещателей, включаемых в токовый шлейф, намного больше, чем в шлейф с контролем по напряжению, поскольку внутри прибора отсутствует резистор, при этом снижения напряжения при подключении извещателей и сработках не происходит. Номинал резистора R_T относительно мал (меньше 50 Ом) и соответственно вся цепь шлейфа является низкоомной, что значительно повышает ее устойчивость к воздействию помех. В реальных условиях эксплуатации необходимо учитывать следующие обстоятельства:

- 1) номиналы резисторов извещателей и токового датчика имеют отклонения как в положительную, так и отрицательную сторону;
 - 2) провода шлейфа и контакты имеют сопротивление, отличное от нуля;
 - 3) между проводами шлейфа возможно образование цепей утечки.
- Внимание! Предельные значения сопротивлений проводов шлейфа ($R_{шс}$) и утечки ($R_{ут}$) являются обязательными для указания в эксплуатационной документации на прибор сигнализации.

С учетом этих обстоятельств состояния нормы, неисправности и сработки будут характеризоваться не четкими уровнями, а областями, в пределах которых может находиться ток (напряжение на токовом датчике), соответствующее каждому состоянию извещателей и шлейфа.

2.3 Практическая часть

Работа выполняется на персональном компьютере. Программное обеспечение – пакет моделирования электронных схем Electronics Workbench.

2.3.1 Анализ работы извещателей нормально-разомкнутого типа

2.3.1.1 Создать в окне изображения электрическую принципиальную схему согласно рисунку 2.3. Для измерения напряжения в шлейфе использовать виртуальный вольтметр.

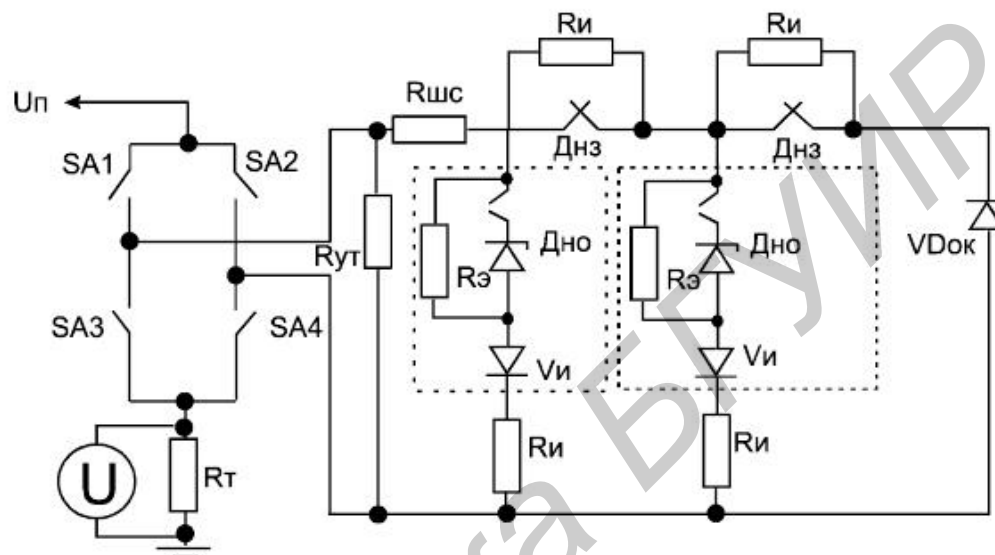


Рисунок 2.3 – Схема электрическая принципиальная

2.3.1.2 По напряжению питания прибора и потребляемому току извещателя определить его эквивалентное сопротивление ($R_э$).

2.3.1.3 Установить переключатели SA1, SA4 в положение замкнуто, SA2, SA3 – разомкнуто.

2.3.1.4 Определить номинальный уровень состояния «норма».

2.3.1.5 Определить параметры элементов, фиксирующие верхнюю границу состояния «норма».

2.3.1.6 Определить значение напряжения, соответствующее верхней границе состояния «норма».

2.3.1.7 Определить параметры элементов, фиксирующие нижнюю границу состояния «норма».

2.3.1.8 Определить значение напряжения, фиксирующие нижней границе состояния «норма».

2.3.1.9 Занести измеренные данные в таблицу 2.1.

2.3.1.10 Произвести аналогичные процедуры для состояний, соответствующих сработке одного извещателя типа Д_{но}, сработке двух извещателей типа Д_{но}, короткому замыканию.

Таблица 2.1 – Значение уровней напряжения, соответствующих состоянию «норма»

Состояние	$R_{шс}, \text{ Ом}$	$R_{ут}, \text{ Ом}$	$R_T, \text{ Ом}$	$R_{и1}, \text{ Ом}$	$R_{и2}, \text{ Ом}$	$U, \text{ В}$
Номинальное						
Верхнее						
Нижнее						

Таблица 2.2 – Пример анализа схемы для состояния «норма»

Состояние	$R_{шс}, \text{ Ом}$	$R_{ут}, \text{ Ом}$	$R_T, \text{ Ом}$	$R_{и1}, \text{ Ом}$	$R_{и2}, \text{ Ом}$	$U, \text{ В}$
Номинальное	0	∞	R_T	0	0	
Верхнее	0	20000	$R_T + 5 \%$	0	0	
Нижнее	150	∞	$R_T - 5 \%$	0	0	

2.3.2 Анализ работы извещателей нормально-разомкнутого типа

2.3.2.1 Установить переключатели SA2, SA3 в положение замкнуто, SA1, SA4 – разомкнуто.

2.3.2.2 Определить номинальный уровень состояния «норма».

2.3.2.3 Определить параметры элементов, фиксирующие верхнюю границу состояния «норма».

2.3.2.4 Определить значение напряжения, соответствующее верхней границе состояния «норма».

2.3.2.5 Определить параметры элементов, фиксирующие нижнюю границу состояния «норма».

2.3.2.6 Определить значение напряжения, соответствующее нижней границе состояния «норма».

2.3.2.7 Занести полученные данные в таблицу 2.1.

2.3.2.8 Произвести аналогичные процедуры для состояний, соответствующих сработке одного извещателя типа $D_{нз}$, сработке двух извещателей типа $D_{нз}$, обрыву.

2.4 Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

Титульный лист.

1 Цель работы.

2 Краткие теоретические сведения (ответы на контрольные вопросы).

3 Принципиальные схемы шлейфов с извещателями.

4 Таблицы номиналов элементов и напряжений для каждого состояния.

5 Выводы.

2.5 Контрольные вопросы

1 Достоинства и недостатки передачи информации путем изменения тока в шлейфе.

2 Принцип работы шлейфа передачи информации по току.

- 3 Какими физическими процессами обусловлено сопротивление шлейфа и сопротивление утечки?
- 4 Чем обусловлен выбор длительности тактов?
- 5 Когда применяются в работе шлейфа диоды?

Лабораторная работа №3

Моделирование схем линейных измерительных преобразователей

3.1 Цель работы

Изучить методы создания линейных измерительных преобразователей. Получить практические навыки реализации масштабных преобразователей.

3.2 Теоретическая часть

Масштабным линейным преобразованием называют операцию создания выходного сигнала, информативный параметр которого пропорционален однородному информативному параметру входного сигнала. Причем Кмп (коэффициент масштабного преобразования) может быть и больше, и меньше 1.

Величинами, наиболее удобными для масштабного линейного преобразования, являются электрическое напряжение и ток, частота, давление газа, механическая сила, механический момент, число оборотов, перемещение и др.

Величиной, наиболее удобной для создания многоканальных и регулируемых масштабных преобразователей, является постоянное электрическое напряжение, поэтому большинство аналоговых вычислительных устройств основано на операциях с ним. Ниже приведены основные типы масштабных преобразователей (рисунки 3.1 – 3.11).

3.2.1 Резистивный делитель постоянного напряжения:

$$K = R_2 / (R_1 + R_2) \text{ при } R_i = 0 \text{ и } R_H = \infty. \quad (3.1)$$

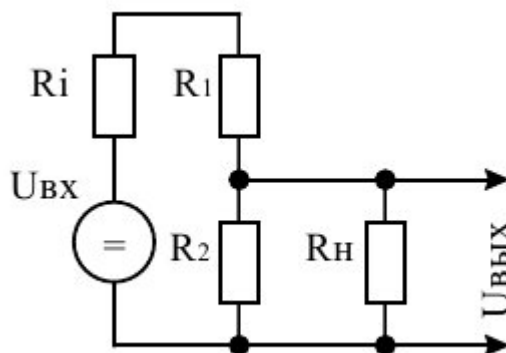


Рисунок 3.1 – Резистивный делитель постоянного напряжения

3.2.2 Емкостный делитель переменного напряжения:

$$K = C_2 / (C_1 + C_2) \text{ при } R_i = 0 \text{ и } R_H = \infty. \quad (3.2)$$

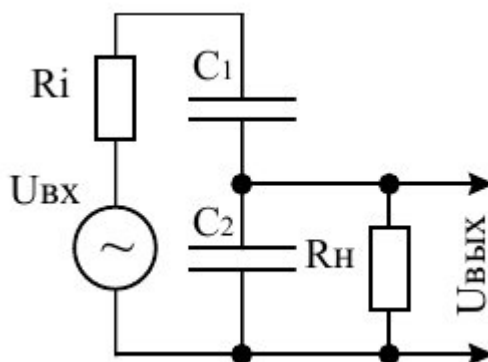


Рисунок 3.2 – Емкостный делитель переменного напряжения

3.2.3 Индуктивный делитель переменного напряжения:

$$K = W_2 / (W_1 + W_2) \text{ при } C_H = 0. \quad (3.3)$$

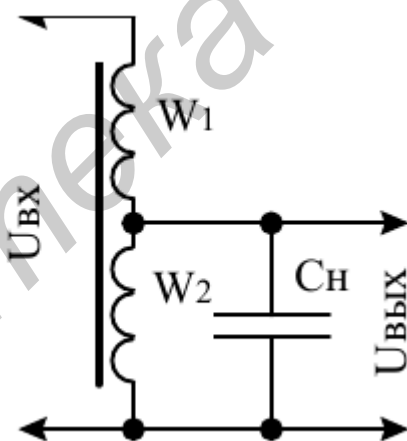


Рисунок 3.3 – Индуктивный делитель переменного напряжения

3.2.4 Измерительный трансформатор переменного напряжения:

$$K = W_2 / W_1 \text{ при } R_H = \infty. \quad (3.4)$$

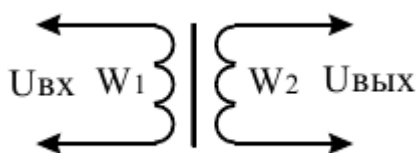


Рисунок 3.4 – Измерительный трансформатор переменного напряжения

3.2.5 Измерительный усилитель напряжения:

$$K = U_{\text{ВЫХ}}/E_x = (R_1 + R_2) / R_1 \text{ при } K_y \rightarrow \infty. \quad (3.5)$$

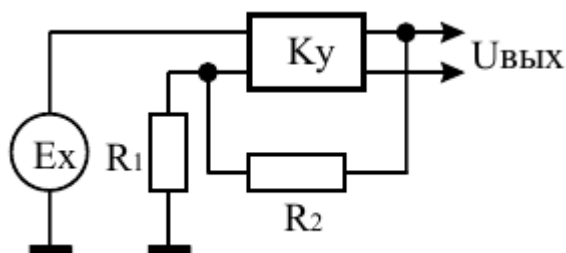


Рисунок 3.5 – Измерительный усилитель напряжения

3.2.6 Резистивный делитель постоянного тока:

$$K = I_2/I_1 = (R_1 + R_H) / R_2. \quad (3.6)$$

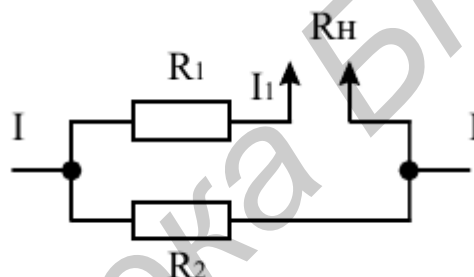


Рисунок 3.6 – Резистивный делитель постоянного тока

3.2.7 Емкостный делитель переменного тока:

$$K = I_2/I_1 = j(1/\omega C_2) / [j(1/\omega C_1) + j(1/\omega C_2) + R_H]. \quad (3.7)$$

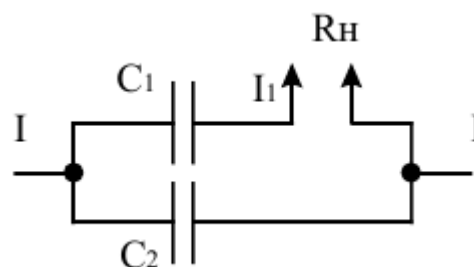


Рисунок 3.7 – Емкостный делитель переменного тока

3.2.8 Измерительный трансформатор переменного тока:

$$K = I_2/I_1 = W_1/W_2 \text{ при } R_H \rightarrow 0. \quad (3.8)$$

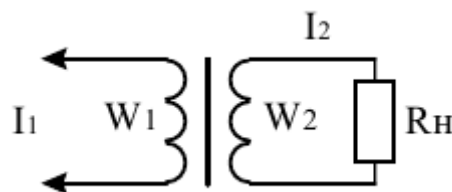


Рисунок 3.8 – Измерительный трансформатор переменного тока

3.2.9 Измерительный усилитель тока:

$$K = I_2/I_1 = (R_1+R_2)/R_2 \text{ при } K_y \rightarrow \infty, \quad (3.9)$$

где K_y – коэффициент усиления.

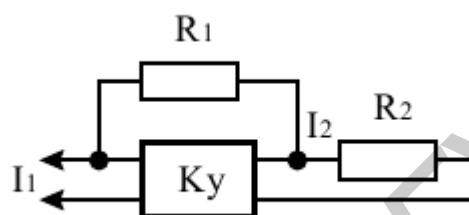


Рисунок 3.9 – Измерительный усилитель тока

3.2.10 Делитель частоты импульсов:

$$K = f_2/f_1 = 1/K_d. \quad (3.10)$$



Рисунок 3.10 – Делитель частоты импульсов

3.2.11 Умножитель частоты импульсов:

$$K = f_2/f_1 = K_d. \quad (3.11)$$

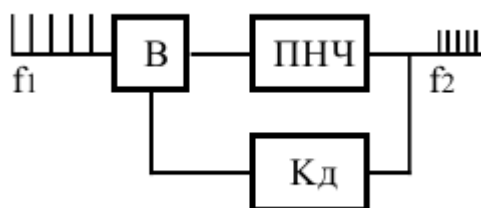


Рисунок 3.11 – Умножитель частоты импульсов

Для масштабного преобразования постоянного электрического напряжения широко используются резистивные делители и операционные усилители. Погрешность наиболее точных отечественных резистивных делителей, выполненных на основе печатных проводников из манганина, снижена до 10^{-6} . Коэффициент преобразования масштабных преобразователей

на резисторах находится в диапазоне от 1 до 0, а у усилителей в интегральном исполнении достигает 10^6 .

Для масштабного преобразования переменного электрического напряжения применяются резистивные и индуктивные делители, делители на конденсаторах. Наиболее широкополосными по частоте являются делители на конденсаторах, а наиболее точными и наименее подверженными внешним воздействиям – индуктивные делители, так как их коэффициент преобразования $K_{мп}$ определяется только отношением числа витков и погрешность их снижена до 10^{-7} . Индуктивные делители весьма удобны также для управления автоматическими ключами путем переключения числа витков.

Переменное электрическое напряжение преобразуется масштабно с помощью измерительных трансформаторов напряжения, коэффициент преобразования которых равен отношению числа витков. Погрешность таких трансформаторов снижена до 0,1%. Измерительные трансформаторы напряжения работают в режиме, близком к режиму холостого хода, и широко применяются при измерении больших по значению напряжений. Переменный электрический ток с наиболее высокой точностью масштабно преобразуется с помощью трансформаторов тока, коэффициент преобразования которых также равен отношению числа витков. Погрешность таких трансформаторов может быть снижена до 10^{-4} . Измерительные трансформаторы тока незаменимы при измерении больших переменных токов от десятков ампер и выше. Измерительные трансформаторы тока работают в режиме, близком к короткому замыканию вторичной обмотки. Применяя измерительные трансформаторы тока, необходимо помнить, что при размыкании их вторичной обмотки на ней возникает напряжение свыше 1000 В, опасное для жизни.

Деление частоты электрических колебаний или умножение периода повторения импульсов с очень высокой точностью выполняется делителями частоты в виде делителей импульсов или пересчетных устройств. Коэффициент деления делителей частоты изменяется дискретно:

$$f_2 = Kf_1, \quad K = 1 \setminus K_d.$$

Умножение частоты или деление периодов повторения импульсов с высокой точностью может производиться с помощью умножителей частоты по замкнутой схеме с делителями частоты в обратной схеме включения. Коэффициент умножения частоты равен

$$K = f_2 \setminus f_1 = K_d.$$

3.3 Практическая часть

Работа выполняется на персональном компьютере. Программное обеспечение – пакет моделирования электронных схем Electronics Workbench.

3.3.1 Резистивный делитель

Для исследования резистивного делителя с помощью программы Electronics Workbench нарисуйте электрическую схему, изображенную на рисунке 3.12.

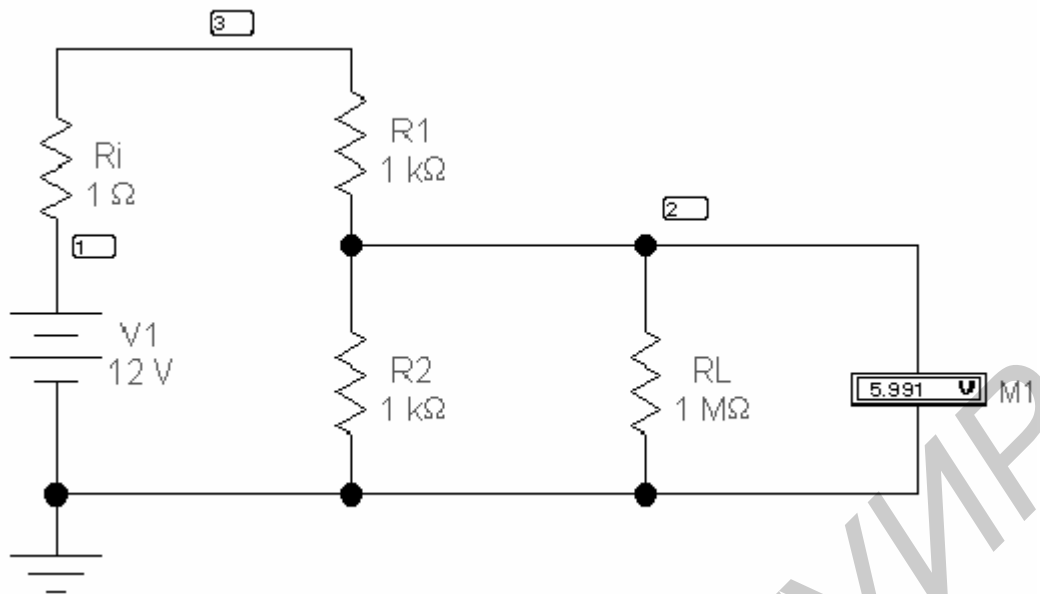


Рисунок 3.12 – Резистивный делитель

При исследовании работы резистивного делителя проделать следующие процедуры:

- 1) построить график зависимости выходного напряжения делителя от сопротивления источника R_i ;
- 2) построить график зависимости выходного напряжения делителя от сопротивления нагрузки R_n ;
- 3) построить график зависимости выходного напряжения делителя от сопротивления R_1 и R_2 .

Для исследования зависимости выходного напряжения от сопротивления источника напряжения воспользоваться моделированием с вариацией параметров.

Выбрать пункт меню Analysis/Parameter Sweep. Появляется диалоговое окно моделирования с изменением параметров (таблица 3.1). В полях указать значения согласно таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Изменение параметров

Component	R_i
Parameter	Resistance
Start Value	1
End Value	10000
Sweep Type	Linear
Increment Size	100
Output node	Точка измерения выходного напряжения

В поле Sweep for: указать DC Operation point.

После заполнения полей нажать кнопку Simulate. В результате моделирования получаем зависимость выходного напряжения делителя от сопротивления источника сигнала. Зарисовать полученный график. Определить, при каком сопротивлении источника сигнала выходное напряжение отличается от идеального на 1 %.

Аналогичным образом провести анализ:

1) выходного напряжения от сопротивления нагрузки R_n со следующими параметрами моделирования (таблица 3.2).

Таблица 3.2 – Изменение выходного напряжения от сопротивления нагрузки

Component	RL
Parameter	Resistance
Start Value	0.0001
End Value	0.01
Sweep Type	Linear
Increment Size	0.0001

Определить, при каком сопротивлении нагрузки выходное напряжение отличается от идеального на 1 %;

2) выходного напряжения от сопротивления R_1 и R_2 со следующими параметрами моделирования согласно таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Изменение выходного напряжения от сопротивления R_1 и R_2

Component	R1 (R2)
Parameter	Resistance
Start Value	0.1
End Value	10
Sweep Type	Linear
Increment Size	0.1

Зарисовать полученные графики.

3.3.2 Емкостный делитель

Нарисовать электрическую схему, изображенную на рисунке 3.13.

Запустить схему на моделирование. Изменяя значение емкости C_1 в диапазоне 1–10 μF с шагом 1, построить график зависимости выходного напряжения делителя от емкости C_1 .

Для изменения значения емкости конденсаторов необходимо дважды щелкнуть на нужном элементе. Появится окно редактирования свойств, в котором необходимо указать требуемые значения емкости. Выходное напряжение контролировать с помощью вольтметра.

Задать значение емкости C_1 равным 1 μF и, изменяя емкость C_2 в диапазоне 1–10 μF с шагом 1, построить график зависимости выходного напряжения делителя от емкости C_2 .

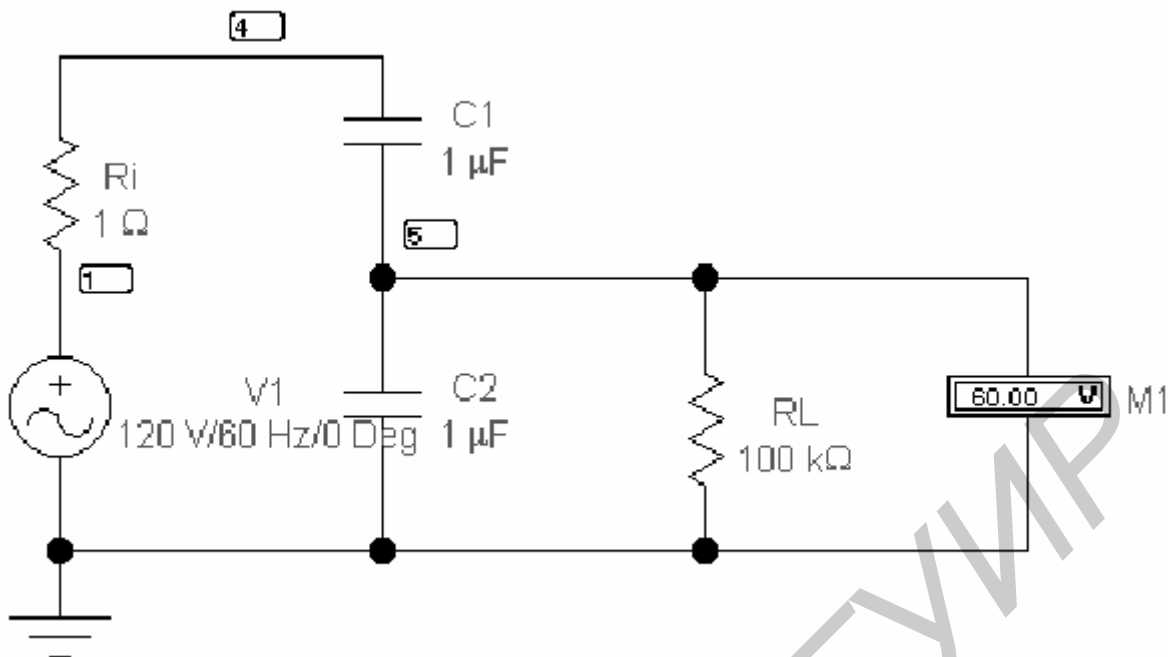


Рисунок 3.13 – Емкостный делитель

3.3.3 Усилитель напряжения

Для моделирования работы усилителя напряжения нарисуйте схему, изображенную на рисунке 3.14

Исследовать зависимость выходного напряжения от сопротивлений R_1 и R_2 , используя моделирование с вариацией параметров (таблица 3.4). Зарисовать получившиеся зависимости.

Таблица 3.4 – Зависимость выходного напряжения от вариации параметров усилителя

Component	R_1 (R_2)
Parameter	Resistance
Start Value	0.1
End Value	10
Sweep Type	Linear
Increment Size	0.1

3.4 Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

Титульный лист.

- 1 Цель работы.
- 2 Краткие теоретические сведения (ответы на контрольные вопросы).
- 3 Результаты лабораторной работы (графики, таблицы, значения параметров, измеренных в процессе работы).
- 4 Выводы.

3.5 Контрольные вопросы

- 1 Где применяются масштабные линейные преобразователи?
- 2 Основные типы преобразователей.
- 3 Резистивные делители постоянного напряжения и тока.
- 4 Емкостные и индуктивные делители переменного напряжения.
- 5 Диапазон коэффициентов масштабного преобразования резистивного делителя и усилителя постоянного тока.

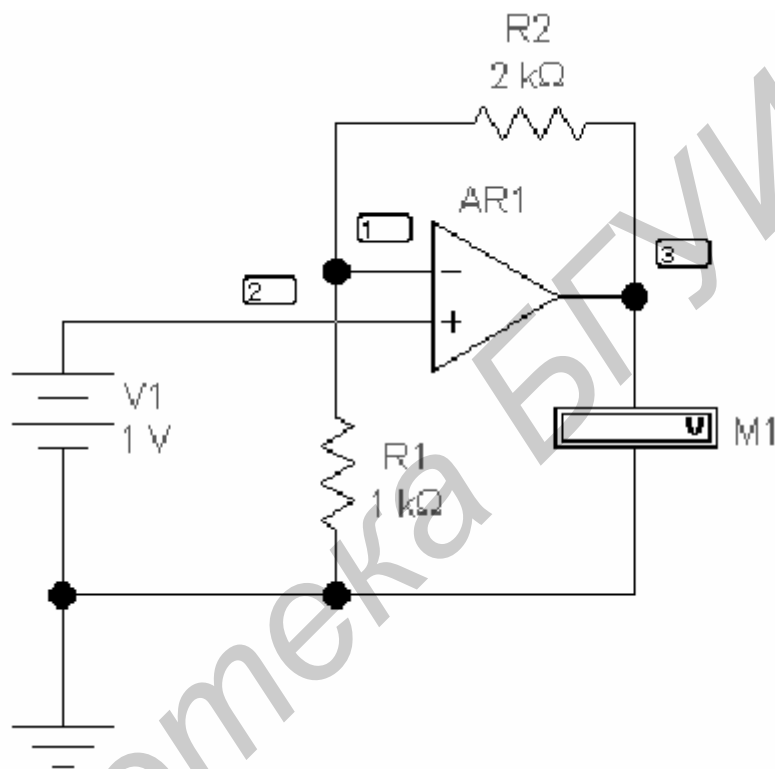


Рисунок 3.14 – Усилитель напряжения

Лабораторная работа №4

Изучение методов передачи информации в системах охранно-пожарной сигнализации с адресными извещателями в шлейфе сигнализации

4.1 Цель работы

Проанализировать границы напряжения в шлейфе, соответствующие следующим состояниям: «норма», «уровень логической 1» при минимальной и максимальной нагрузках шлейфа, «уровень логического 0» при минимальной и максимальной нагрузках шлейфа.

Определить предельную частоту обмена при заданных параметрах кабеля и длину кабеля при заданной частоте обмена.

4.2 Теоретическая часть

Адресные и адресно-аналоговые приемно-контрольные приборы охранной и пожарной сигнализации – наиболее перспективное и быстро развивающееся направление технических средств безопасности. Преимущество таких приборов состоит в том, что они определяют как факт сработки извещателя в шлейфе сигнализации, так и его конкретный номер (адрес) и значение контролируемого параметра среды. По адресу извещателя можно идентифицировать номер защищаемого помещения, а по параметру среды – степень опасности действующей угрозы.

Системы сигнализации, определяющие номер сработавшего извещателя, получили название адресных, а извещатели, подключаемые к шлейфу сигнализации таких приборов – адресных или извещателей с адресной меткой.

Системы сигнализации, определяющие номер сработавшего извещателя и значение параметра контролируемой среды, называют аналогово-адресными и соответственно требуют подключения аналогово-адресных извещателей.

Для обмена информацией между прибором и извещателями прокладывается линия связи (шлейф сигнализации). Питание извещателей может осуществляться как с этого же шлейфа, так и с отдельной линии питания. Применение извещателей с питанием по шлейфу уменьшает число проводных соединений, но предъявляет более жесткие требования к токопотреблению извещателей и параметрам линии связи (распределенная емкость, сопротивление).

Основной принцип обмена состоит в том, что на стадии установки системы в прибор заносятся номера (адреса) извещателей и соответствующие им номера помещений, в процессе работы прибор производит циклический опрос имеющихся адресов и, получая ответ извещателей, контролирует состояние объекта. Отсутствие ответа при запросе адреса идентифицируется как неисправность извещателя или повреждение линии. Для повышения надежности линии связи выполняют по кольцевой схеме с оптоизоляторами через определенные группы извещателей. При отсутствии ответа прибор производит опрос извещателя с «другой» стороны, идентифицируя место повреждения линии (рисунок 4.1).

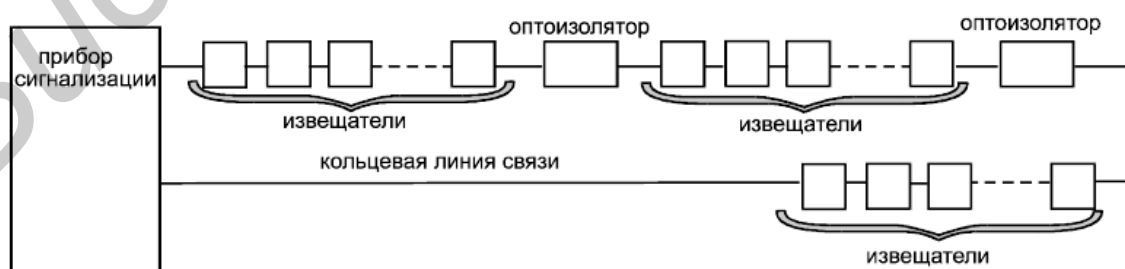
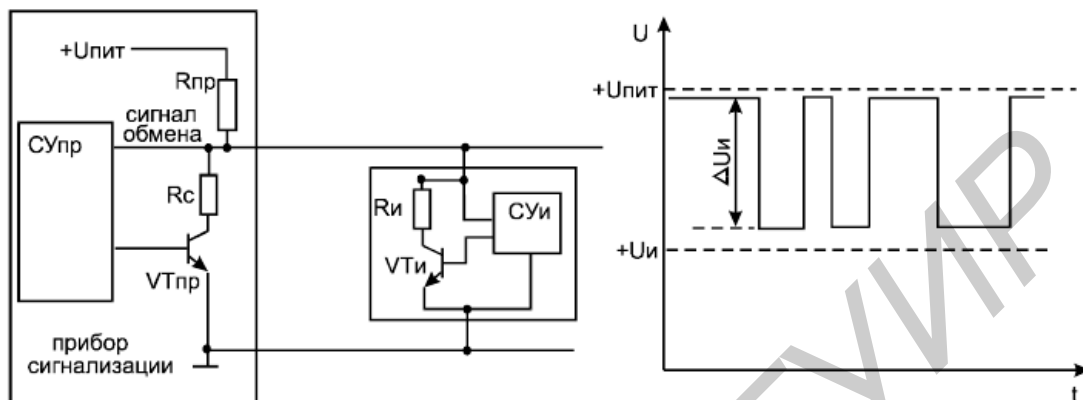


Рисунок 4.1 – Основной принцип обмена шлейфа сигнализации

Содержание информации, передаваемой и принимаемой прибором, называется логическим протоколом обмена и, как правило, у каждой фирмы-

производителя имеется свой протокол, однако физический принцип приема и передачи сигналов у всех приборов примерно одинаков (рисунок 4.2, а, б). На рисунке 4.2, а изображен упрощенный фрагмент электрических принципиальных схем прибора и извещателя, на рисунке 4.2, б – временные диаграммы, соответствующие процессу обмена.



$СУ_{и}$ – схема управления извещателя;

$СУ_{пр}$ – схема управления прибора

Рисунок 4.2 – Принцип приема и передачи сигналов

Принцип работы схемы электрической принципиальной.

Пусть прибор сигнализации формирует запрос в линию в виде кодовой посылки, содержащей логические нули и единицы. В наиболее простом случае в состав этой посылки входит старт-бит, биты адреса устройства, к которому обращен запрос, несколько бит команды (например «требование» ответить), содержание информации о состоянии, защитный код, стоп-бит. Для передачи логического «0» транзистор прибора $VT_{пр}$ включается, за счет делителя $R_{пр}$, R_c напряжение в линии уменьшается на величину « $\Delta U_{и}$ ». Схема управления извещателя, обнаружив снижение напряжения в линии, идентифицирует его как логический ноль, при выключении транзистора $VT_{пр}$ напряжение восстанавливается и воспринимается как «1». Резисторы $R_{пр}$, R_c выбраны с таким расчетом, чтобы уменьшение напряжения не оказалось ниже $U_{и}$ (где $U_{и}$ – необходимое напряжение питания извещателя).

После того как извещатель определит свой адрес, он формирует ответ, содержащий его адрес и необходимую информацию. Передача ответа осуществляется за счет транзистора $VT_{и}$.

Имеет смысл рассмотреть влияние элементов схемы на работу системы. Очевидно, что значения логического «0» и «1» будут меняться в зависимости от числа установленных извещателей. При максимальном количестве извещателей эти уровни будут снижаться, при минимальном – увеличиваться, т.е. следует предусматривать значения минимального и максимального уровня «0» и минимального уровня «1» (рисунок 4.3).

Минимальный уровень логического 0 ($U_{0 \text{ min}}$) должен быть не ниже напряжения питания извещателя ($U_{и \text{ min}}$), между минимальным уровнем «1» и максимальным уровнем «0» должен быть гарантированный перепад

напряжения, для того чтобы извещатель определил наличие сигналов передачи информации независимо от того, сколько извещателей установлено в шлейф.

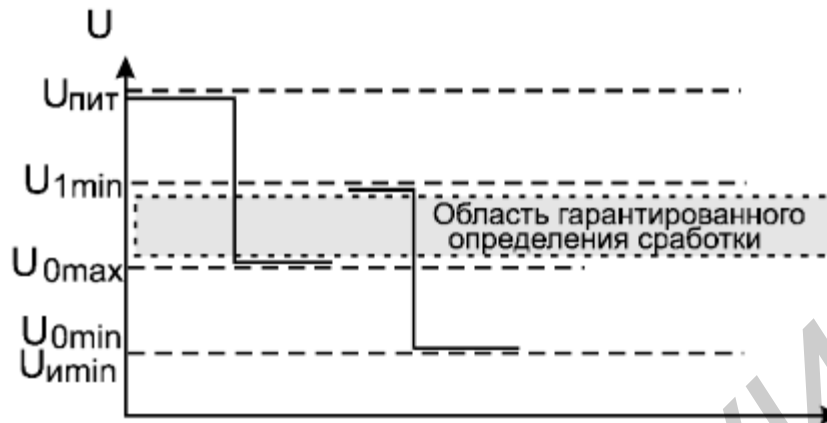


Рисунок 4.3 – Уровни напряжений

Исходными данными для оценки параметров являются: минимально допустимое напряжение питания извещателя ($U_{и}$), максимальный ток потребления извещателя ($I_{и}$), напряжение питания в шлейфе ($+U_{пит}$), минимально допустимый уровень логической единицы, максимально допустимый уровень логического нуля, скорость обмена. Минимально допустимый уровень логической единицы определяет максимальное число подключенных извещателей, т. е. запас по помехоустойчивости определяет минимальный перепад напряжения между уровнем нуля и единицы, однозначно воспринимаемый прибором и извещателем как «0» и «1».

Рассмотрим порядок оценки сопротивления $R_{пр}$. Пусть ток, потребляемый одним извещателем, – 500 мкА, максимальное количество извещателей в линии – 100, запас по помехоустойчивости 1 В, минимальное напряжение питания 10 В, минимальное напряжение питания извещателя 5 В. Определяем суммарный ток потребления всех извещателей: $I = 0,5 \text{ мА} \cdot 100 = 50 \text{ мА}$. Допустимая потеря напряжения на $R_{пр}$: $U_{пр} = U_{шс} - U_{и} - \Delta U = 10 - 5 - 1 = 4 \text{ В}$. Сопротивление прибора $R_{пр} = U_{пр} / I = 4 / 0,05 = 80 \text{ Ом}$. При максимальной загрузке шлейфа напряжение в линии составит 6 В.

Сопротивление R_c определяет перепад уровня сигнала от «1» до «0» при передаче информации со стороны прибора. Для обеспечения гарантированного перепада 1 В необходимо рассчитать делитель $R_{пр}$, R_c таким образом, чтобы напряжение на его выходе было не менее 5 В при полной загрузке шлейфа (эквивалентная схема шлейфа показана на рисунке 4.4).

Требуется рассчитать R_c таким образом, чтобы при его параллельном сопротивлении с R_3 и известном сопротивлении $R_{пр}$ напряжение в шлейфе было 5 В.

Обозначим R^* параллельные соединения R_c и R_3 , тогда

$$R^* = U_{шс} \cdot R_{пр} / (U_{п} - U_{шс}) = 5 \cdot 80 / (10 - 5) = 80 \text{ Ом}. \quad (4.1)$$

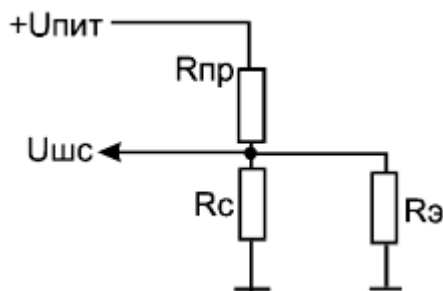


Рисунок 4.4 – Эквивалентная схема шлейфа

Эквивалентное сопротивление всех извещателей определяется исходя из суммарного потребляемого тока:

$$R_э = U_{шс} / I = 5 / 0,05 = 100 \text{ Ом.} \quad (4.2)$$

Поскольку R_c и $R_э$ включены параллельно, сопротивление R_c будет определяться как

$$R_c = R^* \cdot R_э / (R_э - R^*) = 80 \cdot 100 / (100 - 80) = 400 \text{ Ом.} \quad (4.3)$$

В реальных условиях эксплуатации приходится учитывать то, что в линии шлейфа действует сопротивление утечки $R_{ут}$, которое включено параллельно R_c , т. е. схему, показанную на рисунке 4.4, требуется представить в виде рисунка 4.5.

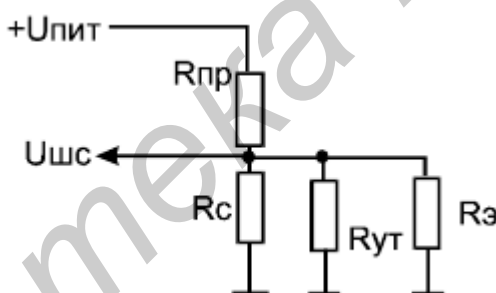


Рисунок 4.5 – Эквивалентная схема шлейфа

Однако учитывая, что сопротивление утечки значительно больше сопротивления R_c , при расчетах им можно пренебречь.

4.3 Практическая часть

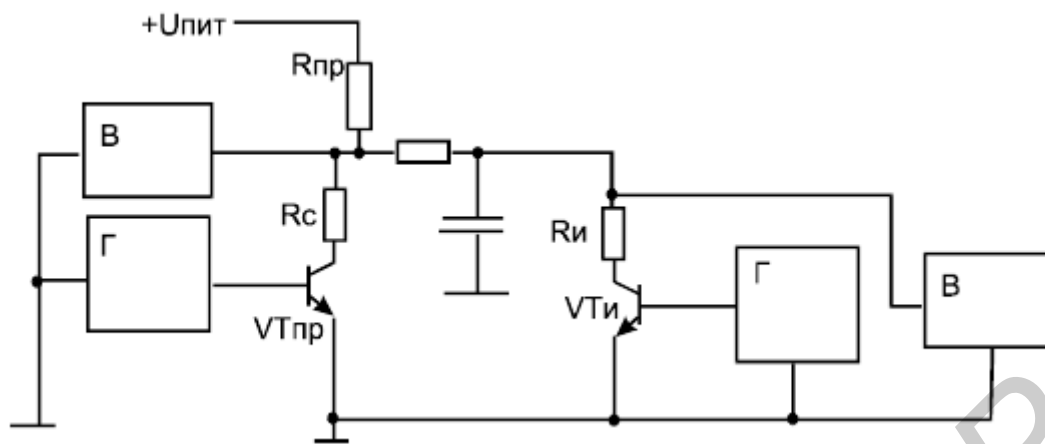
Работа выполняется на персональном компьютере. Программное обеспечение – пакет моделирования электронных схем Electronics Workbench.

Анализ работы извещателей нормально-замкнутого типа

4.3.1 Создать в окне изображения электрическую принципиальную схему, согласно рисунку 4.6. Для измерения напряжения в шлейфе использовать виртуальный вольтметр или осциллограф.

4.3.2 Определить номинальный уровень состояния «норма».

4.3.3 Определить параметры элементов, определяющие верхнюю границу состояния «норма».



В – вольтметр; Г – генератор
Рисунок 4.6 – Схема электрическая принципиальная

4.3.4 Определить значение напряжения, соответствующее нижней границе состояния «норма».

4.3.5 Определить значение логической «1» при минимальной и максимальной нагрузках шлейфа.

4.3.6 Определить уровень логического «0» при минимальной и максимальной нагрузках шлейфа

4.3.7 Определить предельную частоту передачи при заданных параметрах кабеля, определить длину кабеля при заданной частоте передачи.

4.4 Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

Титульный лист.

- 1 Цель работы.
- 2 Краткие теоретические сведения (ответы на контрольные вопросы).
- 3 Принципиальные схемы шлейфов с извещателями.
- 4 Таблицы номиналов элементов и напряжений для каждого состояния.
- 5 Обоснование длины кабеля и частоты передачи.
- 6 Выводы.

4.5 Контрольные вопросы

- 1 Основной принцип обмена информацией.
- 2 Временные диаграммы процесса обмена.
- 3 Работа схемы приема и передачи сигнала.
- 4 Влияние элементов схемы на работу системы.
- 5 Расчет делителя $R_{пр}$, R_c .

II Обеспечение информационной безопасности от утечки по техническим каналам

Лабораторная работа №5

Исследование работы цифроаналоговых и аналого-цифровых преобразователей

5.1 Цель работы

Исследование работы аналого-цифрового преобразователя.

Исследование работы цифроаналогового преобразователя.

5.2 Краткие теоретические сведения.

Цифроаналоговые преобразователи (ЦАП) служат для преобразования информации из цифровой формы в аналоговый сигнал – суммирование токов и напряжений. ЦАП широко применяется в различных устройствах автоматики для связи цифровых ЭВМ с аналоговыми элементами и системами.

Принцип работы ЦАП состоит в суммировании аналоговых сигналов, пропорциональных весам разрядов входного цифрового кода, с коэффициентами, равными нулю или единице в зависимости от значения соответствующего разряда кода.

ЦАП преобразует цифровой двоичный код $Q_4Q_3Q_2Q_1$ в аналоговую величину, обычно это напряжение $U_{\text{ВЫХ}}$. Каждый разряд двоичного кода имеет определенный вес i -го разряда вдвое больше, чем вес $(i-1)$ -го. Работу ЦАП можно описать следующей формулой:

$$U_{\text{ВЫХ}} = u \cdot (1 \cdot Q_1 + 2 \cdot Q_2 + 4 \cdot Q_3 + 8 \cdot Q_4 + \dots + Q_i), \quad (5.1)$$

где u – напряжение, соответствующее весу младшего разряда,

Q_i – значение i -го разряда двоичного кода (0 или 1).

На рисунке 5.1 приведена упрощенная схема реализации ЦАП.

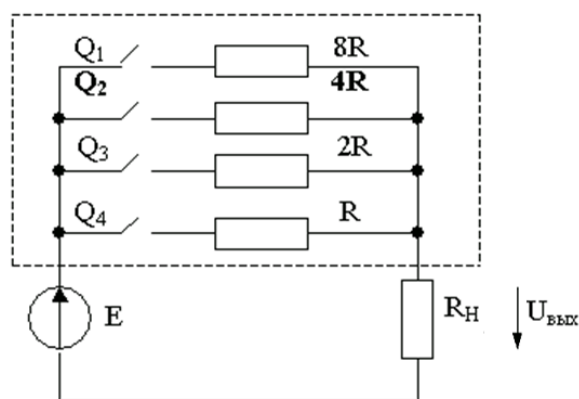


Рисунок 5.1 – Схема цифроаналогового преобразователя

В схеме i -й ключ замкнут при $Q_i = 1$, при $Q_i = 0$ – разомкнут. Регистры подобраны таким образом, что $R \gg R_H$.

Эквивалентное сопротивление обведенного пунктиром двухполюсника $R_{ЭК}$ и сопротивление нагрузки R_H образуют делитель напряжения, тогда

$$U_{ВЫХ} = E \cdot R_H / (R_H + R_{ЭК}) \approx E \cdot R_H / R_{ЭК}. \quad (5.2)$$

Проводимость двухполюсника $1/R_{ЭК}$ равна сумме проводимостей ветвей (при $Q_i = 1$ – ветвь включена, при $Q_i = 0$ – отключена):

$$1/R_{ЭК} = Q_1 / 8R + Q_2 / 4R + Q_3 / 2R + Q_4 / R. \quad (5.3)$$

Подставив выражение (5.3) в выражение (5.2), получаем выражение, идентичное (5.1):

$$U_{ВЫХ} = (8E \cdot R_H / R) \cdot (1 \cdot Q_1 + 2 \cdot Q_2 + 4 \cdot Q_3 + 8 \cdot Q_4). \quad (5.4)$$

Из выражения (5.4) очевидно, что $u = 8E \cdot R_H / R$. Выбором u можно установить требуемый масштаб аналоговой величины.

В информационных и управляющих системах часть (или вся) информация от датчиков и от других источников сигналов бывает представлена в аналоговой форме. Для ее ввода в цифровые ЭВМ и дальнейшей обработки широко применяются АЦП. В большинстве случаев АЦП выполняют преобразование входного напряжения или тока в двоичный цифровой код.

Существуют различные типы АЦП. Мы остановимся лишь на тех типах, которые получили в настоящее время наибольшее распространение: АЦП последовательного приближения (АЦППП) и АЦП параллельного типа (АЦПП).

Структурная схема АЦППП приведена на рисунке 5.2.

Схема работает следующим образом. Входной аналоговый сигнал $U_{ВХ}$ перед началом преобразования запоминается схемой выборки-хранения (ВХ), что необходимо, так как в процессе преобразования необходимо изменение аналогового сигнала. Далее по команде «Пуск» с помощью сдвигового регистра последовательно во времени каждый триггер T_i , начиная со старшего разряда, переводит в положение 1 соответствующий разряд ЦАП.

Напряжение U_1 (или ток) с выхода ЦАП сравнивается с входным аналоговым сигналом с помощью компаратора (КП). Если $U_0 > U_1$, на выходе компаратора сохраняется низкий уровень и в триггере сохраняется единица, при $U_0 < U_1$ срабатывает компаратор и переводит триггер в положение 0. После окончания цикла на выходах триггеров получается двоичный код,

соответствующий (при идеальных элементах) U_0 с точностью до половины младшего разряда.

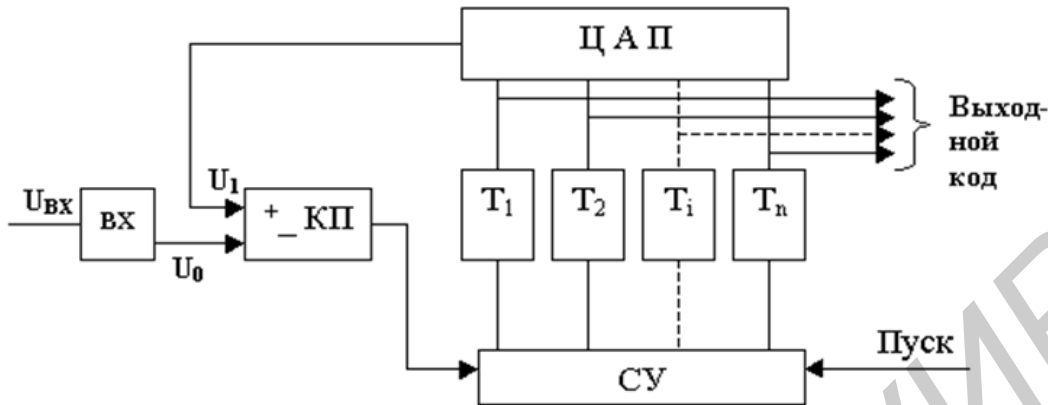


Рисунок 5.2 – Схема АЦП последовательного приближения

Погрешность АЦППП определяется неточностью ЦАП, зоной нечувствительности и смещением нуля компаратора, а также погрешностью схемы выборки – хранения.

Поскольку в такой схеме ошибка в каком-либо разряде в дальнейшем не корректируется, то необходимо, чтобы время на «взвешивание» каждого разряда было достаточно для затухания переходного процесса до уровня, соответствующего половине младшего разряда, и чтобы при таком разбалансе $U_1 - U_0$ на это значение компаратор успел сработать. Общее время преобразования:

$$t_{\text{пр}} = t_{\text{ВХ}} + n(t_{\text{з,к}} + t_{\text{у}} + t_{\text{ц}}) + t_{\text{сб}}, \quad (5.5)$$

где $t_{\text{ВХ}}$ – время, необходимое для фиксации $U_{\text{ВХ}}$ схемой ВХ;

n – число разрядов;

$t_{\text{з,к}}$ – время задержки, вносимое компаратором;

$t_{\text{у}}$ – время установления U_1 на входе ЦАП (имеет наибольшую долю в $t_{\text{пр}}$);

$t_{\text{ц}}$ – время задержки цифровых элементов в схеме управления и срабатывания триггера;

$t_{\text{сб}}$ – время, необходимое для сброса ЦАП в исходное состояние, включая время, необходимое для синхронизации с началом такта.

Существенное уменьшение $t_{\text{пр}}$ удается получить в АЦП параллельного типа. Его структурная схема приведена на рисунке 5.3. Здесь входная аналоговая величина U_0 с выхода схемы ВХ сравнивается с помощью $2^{n+1}-1$ компараторов с $2(2^n-1)$ эталонными уровнями, образованными делителями из резисторов равного сопротивления. При этом срабатывают m младших компараторов, образующих на выходах схем И-НЕ нормальный единичный

код, который затем с помощью специального дешифратора (ДШ) преобразуется в двоичный выходной сигнал.

Погрешность АЦП определяется неточностью и нестабильностью эталонного напряжения, резистивного делителя и погрешностями компараторов. Значительную роль могут играть входные токи компараторов, если делитель недостаточно низкоомный.

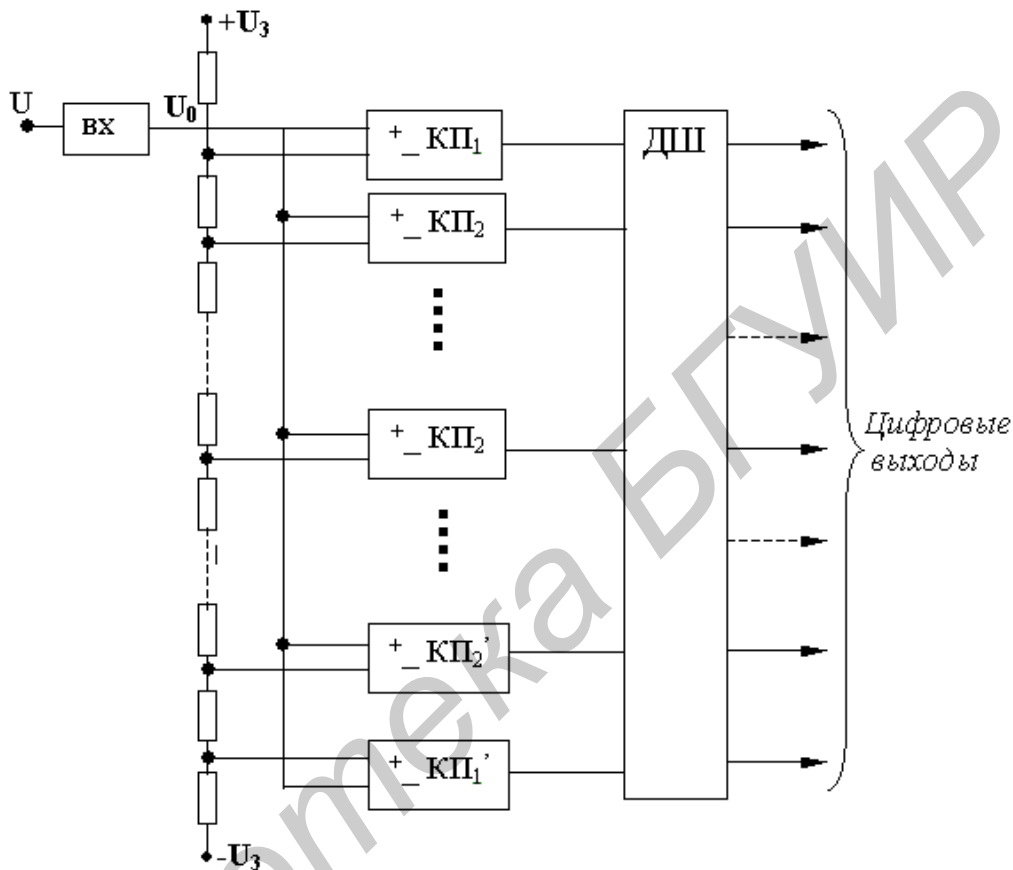


Рисунок 5.3 – Схема АЦП параллельного типа

Время преобразования складывается из следующих составляющих:

$$t_{пр} = t_{вх} + t_{з,k} + k \cdot t_{л.сi}, \quad (5.6)$$

где $t_{л.сi}$ – время задержки логических схем;

k – число последовательно включенных логических схем.

При использовании компараторов со стробированием АЦП может быть без схемы $ВХ$. При этом он обеспечивает наибольшее быстродействие по сравнению с любыми другими АЦП.

5.3 Практическая часть

5.3.1. Используя пакет Electronics Workbench, спроектировать схему, представленную на рисунке 5.4, и провести анализ влияния изменения входного напряжения (меняя частоту и амплитуду).

5.3.2. Провести анализ влияния изменения времени замыкания и размыкания каждого из ключей.

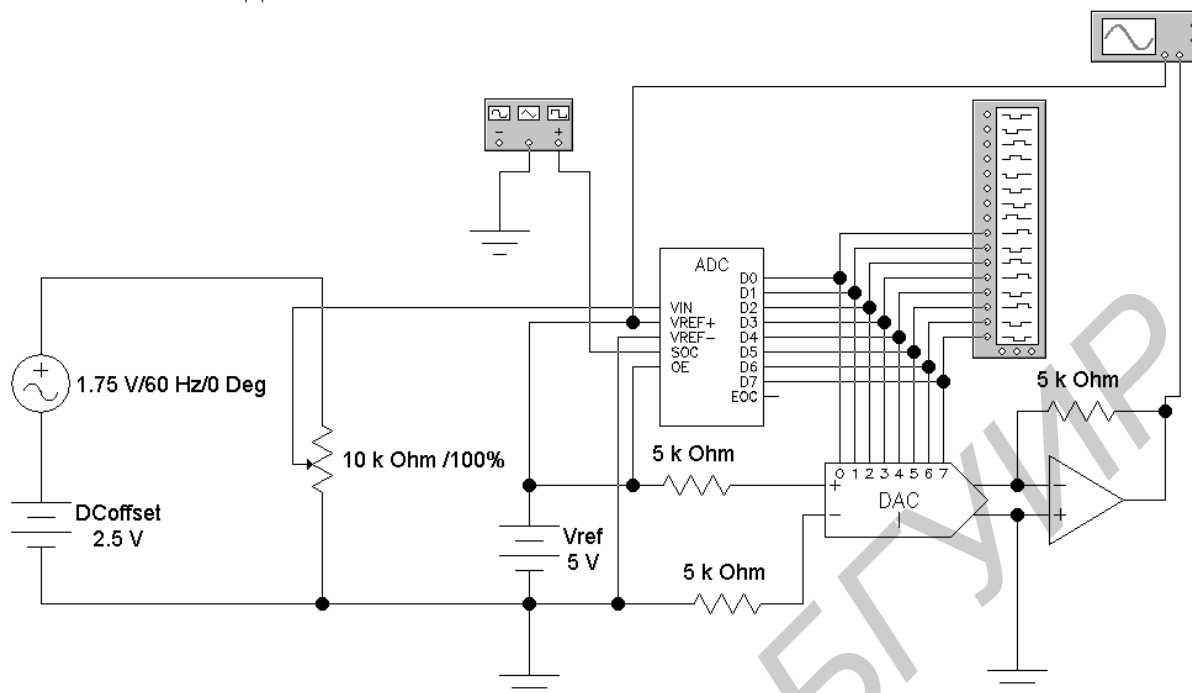


Рисунок 5.4 – Схема для исследований на базе АЦП и ЦАП

5.4 Содержание отчета

- 1 Цель работы.
- 2 Краткие теоретические сведения и ответы на контрольные вопросы.
- 3 Схема для исследований.
- 4 Результаты исследований в виде временных диаграмм.
- 5 Выводы.

5.5 Контрольные вопросы

- 1 АЦП. Определение, назначение, виды и принцип работы.
- 2 ЦАП. Определение, назначение, виды и принцип работы.
- 3 Назначение источника опорного напряжения (рисунок 5.4).
- 4 Особенности конструирования современных АЦП и ЦАП.

Лабораторная работа №6

Исследование особенностей применения операционных усилителей в качестве сумматоров аналоговых сигналов

6.1 Цель работы

- Изучение работы схемы суммирующего усилителя на ОУ.
- Исследование суммирования двух постоянных входных напряжений.
- Исследование суммирования постоянного и переменного входного напряжения.
- Исследование суммирования двух переменных входных напряжений.

6.2 Краткие теоретические сведения

Операционный усилитель (ОУ) – усилитель постоянного тока с дифференциальным входом и, как правило, единственным выходом, имеющий высокий коэффициент усиления. ОУ почти всегда используются в схемах с глубокой отрицательной обратной связью, которая благодаря высокому коэффициенту усиления ОУ полностью определяет коэффициент передачи полученной схемы.

В настоящее время ОУ получили широкое применение как в виде отдельных чипов, так и в виде функциональных блоков в составе более сложных интегральных схем. Такая популярность обусловлена тем, что ОУ является универсальным блоком с характеристиками, близкими к идеальным, на основе которого можно построить множество различных электронных узлов.

Применение ОУ в электронике чрезвычайно широко – операционный усилитель, вероятно, наиболее часто встречающийся элемент в аналоговой схемотехнике. Добавление лишь нескольких внешних компонент делает из ОУ конкретную схему аналоговой обработки сигналов. Разнообразие подключений позволяет получать различные функциональные части электрических схем.

Линейные системы:

- дифференциальный усилитель (вычитатель);
- инвертирующий усилитель;
- неинвертирующий усилитель;
- повторитель напряжения;
- суммирующий усилитель (сумматор);
- интегратор;
- дифференциатор;
- компаратор;
- измерительный усилитель;
- триггер Шмитта;
- гиратор;
- преобразователь отрицательного сопротивления.

Нелинейные системы:

- прецизионный выпрямитель;
- пиковый детектор;
- логарифмический усилитель;
- экспоненциальный усилитель.

На ОУ создаются схемы, предназначенные для выполнения математических операций над входными сигналами (сложение, вычитание, интегрирование, выделение модуля функции и т.п.). Наиболее распространенными являются суммирующие и интегрирующие схемы на ОУ. Сумматоры могут быть инвертирующими, неинвертирующими или алгебраическими (иначе вычитатели). Схема сумматора на инвертирующем усилителе приведена на рисунок 6.1.

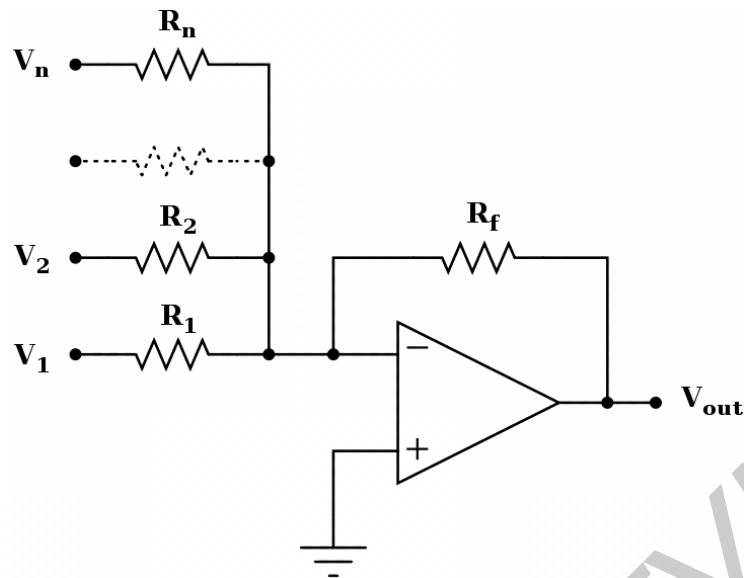


Рисунок 6.1 – Схема сумматора на инвертирующем усилителе

Данная схема суммирует (с весом) несколько напряжений. Сумма на выходе инвертирована, т. е. все веса отрицательны. Для данной схемы будет справедливо

$$U_{\text{ВЫХ}} = - R_f \left(\frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2} + \dots + \frac{U_n}{R_n} \right). \quad (6.1)$$

Если $R_f = R_1 = R_2 = R_n$, то выражение (6.1) можно записать в виде

$$U_{\text{ВЫХ}} = - (U_1 + U_2 + \dots + U_n). \quad (6.2)$$

6.3 Практическая часть

6.3.1 Используя пакет Electronics Workbench, спроектировать схему, представленную на рисунке 6.2, записать показания приборов в пункт «Результаты экспериментов» отчета.

6.3.2 По заданным номиналам элементов схемы рассчитать значения токов I_1 , I_2 , $I_{\text{ос}}$ и, используя значения напряжений U_1 и U_2 , вычислите выходное напряжение $U_{\text{ВЫХ}}$. Результаты запишите в пункт «Результаты экспериментов» отчета.

6.3.3 Спроектировать схему, представленную на рисунке 6.3, зарисовать осциллограммы входного и выходного напряжения в пункте «Результаты экспериментов» отчета.

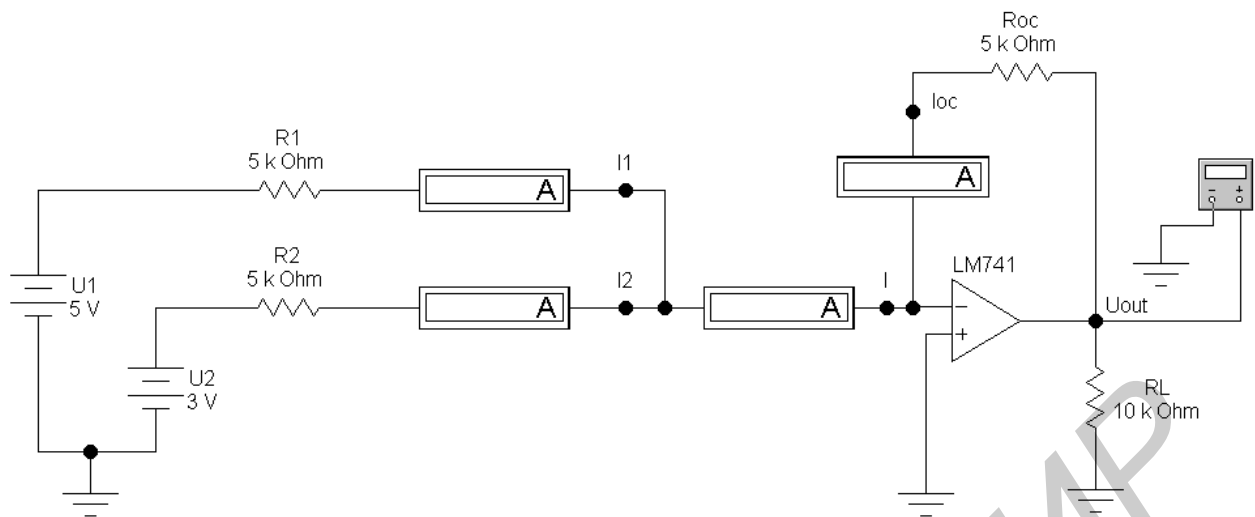


Рисунок 6.2 – Схема сумматора постоянных напряжений

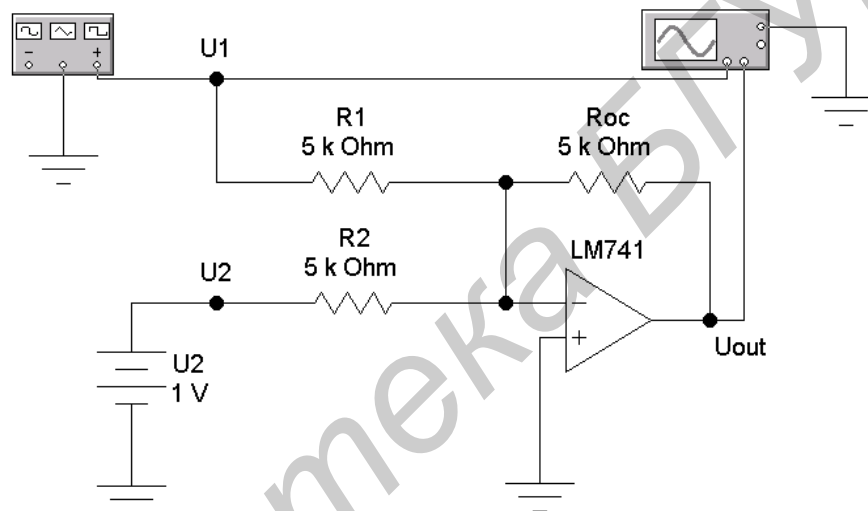


Рисунок 6.3 – Схема сумматора постоянного и переменного напряжений

6.3.4 Измерить постоянную составляющую и амплитуду выходного напряжения $U_{\text{ВЫХ}}$. Вычислить постоянную составляющую и амплитуду выходного напряжения $U_{\text{ВЫХ}}$, используя значения напряжений U_1 и U_2 . Результаты записать в раздел «Результаты экспериментов» отчета.

6.3.5 Установить значение сопротивления R_2 равным 2,5 кОм. Включить схему. Зарисовать осциллограммы входного и выходного напряжения в пункте «Результаты экспериментов» отчета.

6.3.6 Измерить постоянную составляющую и амплитуду выходного напряжения $U_{\text{ВЫХ}}$. Вычислить постоянную составляющую и амплитуду выходного напряжения $U_{\text{ВЫХ}}$, используя значения напряжений U_1 и U_2 . Результаты запишите в пункт «Результаты экспериментов» отчета.

6.3.7 Спроектировать схему, представленную на рисунке 6.4. Зарисовать осциллограммы входного и выходного напряжения в пункте «Результаты экспериментов» отчета.

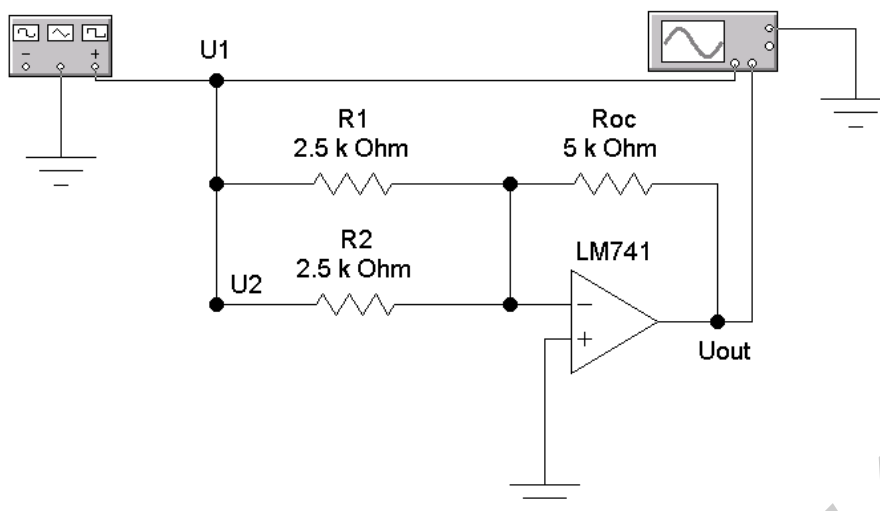


Рисунок 6.4 – Схема сумматора переменных напряжений

6.3.8 Измерить амплитуды входного и выходного напряжений. Вычислить амплитуду выходного напряжения $U_{\text{ВЫХ}}$ по известным значениям амплитуд напряжений U_1 и U_2 . Результаты записать в пункт «Результаты экспериментов» отчета.

6.4 Содержание отчета

- 1 Цель работы.
- 2 Краткие теоретические сведения и ответы на контрольные вопросы.
- 3 Схемы для исследований.
- 4 Результаты экспериментов и расчеты.

Для задания 6.3.1 и 6.3.2 практической части (суммирование постоянных напряжений) напряжение первого суммируемого сигнала $U_1 = 5$ В, Напряжение второго суммируемого сигнала $U_2 = 3$ В. Результаты занести в таблицу 6.1.

Таблица 6.1 – Результаты 6.3.1 и 6.3.2 задания практической части

Параметр	Полученный результат	
	расчет	измерение
Ток первого суммируемого сигнала I_1 , мА		
Ток второго суммируемого сигнала I_2 , мА		
Суммарный ток I , мА		
Ток в цепи обратной связи, $I_{\text{ос}}$, мА		
Выходное напряжение $U_{\text{ВЫХ}}$, В		

Для заданий 6.3.3 – 6.3.6 практической части (суммирование постоянного и переменного напряжений) сопротивление $R_2 = 5$ кОм. Зарисовать осциллограммы входного и выходного напряжений. Результаты занести в таблицу 6.2.

Таблица 6.2 – Результаты 6.3.3 – 6.3.6 заданий практической части

Параметр	Полученный результат	
	расчет	измерение
Постоянная составляющая выходного напряжения $U_{0.ВЫХ}$, В		
Амплитуда переменной составляющей выходного напряжения $U_{ВЫХ}$, В		
Сопротивление $R_2 = 2,5$ кОм		
Постоянная составляющая выходного напряжения $U_{0.ВЫХ}$, В		
Амплитуда переменной составляющей выходного напряжения $U_{ВЫХ}$, В		

Для заданий 6.3.7 и 6.3.8 практической части (суммирование переменных напряжений) зарисовать осциллограммы входного и выходного напряжений. Результаты занести в таблицу 6.3.

Таблица 6.3 – Результаты 6.3.3 – 6.3.6 заданий практической части

Параметр	Полученный результат	
	расчет	измерение
Амплитуда выходного напряжения $U_{ВЫХ}$, В		

5 Выводы.

6.5 Контрольные вопросы

- 1 ОУ. Определение, назначение, виды.
- 2 ОУ. Способы подключения в электрические схемы.
- 3 Объясните влияние напряжения смещения ОУ на ошибку суммирования постоянных напряжений в схеме на рисунке 6.2.
- 4 Как изменятся основные соотношения для схемы на рисунке 6.2, если на неинвертирующий вход ОУ подать постоянное напряжение?
- 5 Перечислите возможные способы изменения коэффициентов суммирования сигналов в схеме на рисунке 6.2. При каких ограничениях на входные сигналы схема сумматора работает в линейном режиме?

Лабораторная работа №7

Исследование особенностей применения операционных усилителей в качестве дифференциаторов и интеграторов

7.1 Цель работы

Исследовать схемы интегратора на ОУ.

Исследовать влияние параметров элементов интегратора на выходной сигнал.

Исследовать схемы дифференциатора на ОУ.

Исследовать влияние параметров элементов дифференциатора на выходной сигнал.

7.2 Краткие теоретические сведения

На основе ОУ можно построить почти идеальные интеграторы. Интеграторы на ОУ строятся на базе инвертирующих ОУ. Интегрирует входной (инвертированный) сигнал по времени. В цепь обратной связи включен конденсатор C . На рисунке 7.1 показана простейшая схема, выполняющая эту функцию.

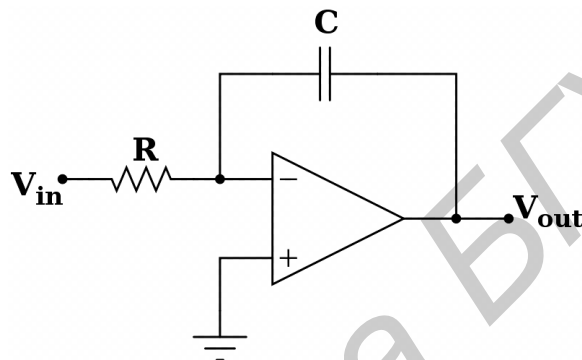


Рисунок 7.1 – Схема простейшего интегратора

Выходное напряжение $U_{\text{ВЫХ}}$ связано с входным напряжением $U_{\text{ВХ}}$ следующими соотношениями:

$$\frac{U_{\text{ВХ}}}{R} = -C \frac{dU_{\text{ВЫХ}}}{dt}, \quad (7.1)$$

$$U_{\text{ВЫХ}} = -\frac{1}{RC} \int_0^t U_{\text{ВХ}} d\xi + \text{const}. \quad (7.2)$$

Данный четырехполюсник можно также рассматривать как фильтр нижних частот. Недостатком схемы на рисунке 7.1 является дрейф выходного напряжения, обусловленный напряжением смещения и входными токами ОУ. Это нежелательное явление можно ослабить, если к конденсатору C параллельно подключить резистор R_0 с большим сопротивлением, обеспечивающий стабилизацию рабочей точки за счет обратной связи по постоянному току. Резистор обратной связи R_0 предотвращает также насыщение ОУ после заряда конденсатора, когда ток через конденсатор станет равным нулю. Выходное напряжение этой схемы при подаче на нее скачка входного напряжения амплитудой $U_{\text{ВХ}}$ изменяется в соответствии с выражением

$$U_{\text{ВЫХ}} = -U_{\text{ВХ}} \frac{R_0}{R} \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{CR_0}\right) \right]. \quad (7.3)$$

Дифференциатор дифференцирует входной (инвертированный) сигнал по времени. Не следует путать дифференциатор с дифференциальным усилителем. На рисунке 7.2 показана простейшая схема дифференциатора.

Для схемы дифференциатора выходное напряжение $U_{\text{ВЫХ}}$. Пропорционально скорости изменения входного сигнала и вычисляется по формуле:

$$U_{\text{ВЫХ}} = -RC \frac{\Delta U_{\text{ВХ}}}{\Delta t}. \quad (7.4)$$

Данный четырехполюсник можно также рассматривать как фильтр высоких частот.

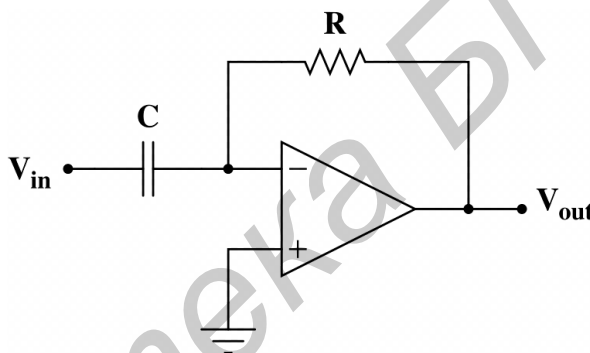


Рисунок 7.2 – Схема простейшего дифференциатора

7.3 Практическая часть

7.3.1 *Переходный процесс в схеме интегратора.* Используя пакет Electronics Workbench, спроектировать схему, представленную на рисунке 7.3. Зарисовать осциллограммы входного и выходного напряжения схемы при подаче на вход напряжения в виде последовательности прямоугольных импульсов. Измерить амплитуду входного напряжения и определить по осциллограмме скорость изменения выходного напряжения. Для установившегося процесса измерить амплитуду выходного напряжения.

7.3.2 *Влияние амплитуды входного напряжения на переходный процесс в схеме интегратора.* В схеме, изображенной на рисунке 7.3, установить амплитуду генератора равной 2 В и установить масштаб напряжения на входах А и В осциллографа 2 В/div. Зарисовать осциллограммы входного и выходного напряжения. Измерить амплитуду входного напряжения и определить по осциллограмме скорость изменения выходного напряжения. Сравнить осциллограммы выходного напряжения, полученного в этом и предыдущем задании. Для установившегося процесса измерить амплитуду выходного напряжения.

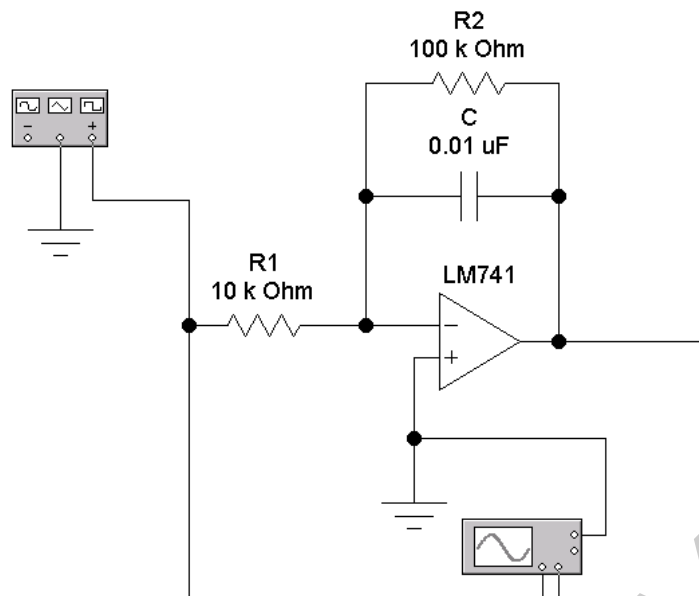


Рисунок 7.3 – Схема интегратора

7.3.3 Влияние параметров схемы на переходный процесс в схеме интегратора. В схеме (см. рисунок 7.3) установить сопротивление R_1 равным 5 кОм, амплитуду генератора – 5 В. Зарисовать осциллограммы входного и выходного напряжения. Записать амплитуду входного напряжения и определить по осциллограмме скорость изменения выходного напряжения в начале процесса. Сравнить осциллограмму выходного напряжения, полученную в данном задании, с осциллограммой, полученной в задании 7.3.1.

В схеме (см. рисунок 7.3) установить емкость конденсатора равной 0,02 мкФ. Включить схему. Зарисовать осциллограммы входного и выходного напряжения. Записать амплитуду входного напряжения и определить по осциллограмме скорость изменения выходного напряжения в начале процесса. Сравнить осциллограмму выходного напряжения, полученную в данном задании, с полученной в задании 7.3.1.

7.3.4 Переходный процесс в схеме дифференциатора на ОУ. Используя пакет Electronics Workbench, спроектировать схему, представленную на рисунке 7.4. Зарисовать осциллограммы входного и выходного напряжений. По полученным осциллограммам определить скорость изменения входного напряжения и амплитуду выходного напряжения. По заданным параметрам схемы и найденному значению скорости изменения входного напряжения рассчитать амплитуду выходного напряжения.

7.3.5 Влияние частоты входного напряжения на выходное напряжение дифференциатора. В схеме (см. рисунок 7.4) установить частоту генератора равной 2 кГц. Зарисовать осциллограммы входного и выходного напряжения. По полученным осциллограммам определить скорость изменения входного напряжения и амплитуду выходного напряжения. Сравнить осциллограмму выходного напряжения, полученную в данном задании, с осциллограммой, полученной в задании 7.3.4. По заданным параметрам схемы и найденному

значению скорости изменения входного напряжения рассчитать амплитуду выходного напряжения.

7.3.6 *Влияние сопротивления в цепи обратной связи на выходное напряжение дифференциатора.* В схеме (см. рисунок 7.4) восстановить начальную частоту генератора, а величину сопротивления в цепи обратной связи установить равной 10 кОм. Зарисовать осциллограммы входного и выходного напряжений. По полученным осциллограммам определить скорость изменения входного напряжения и амплитуду выходного напряжения. Сравнить осциллограмму выходного напряжения, полученную в данном задании, с осциллограммой, полученной в задании 7.3.4. По заданным параметрам схемы и найденному значению скорости изменения входного напряжения рассчитать амплитуду выходного напряжения.

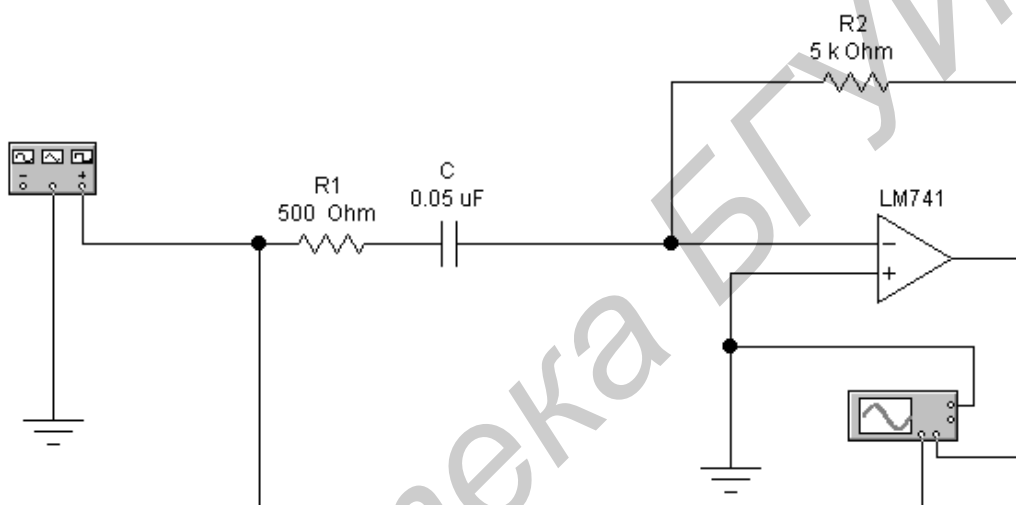


Рисунок 7.4 – Схема простейшего дифференциатора

7.3.7 *Влияние емкости конденсатора на выходное напряжение дифференциатора.* В схеме (см. рисунок 7.4) восстановить первоначальные значения параметров схемы, а величину емкости конденсатора установить равной 0,1 мкФ. После установления процесса зарисовать осциллограммы входного и выходного напряжений. По полученным осциллограммам определить скорость изменения входного напряжения и амплитуду выходного напряжения. Сравнить осциллограмму выходного напряжения, полученную в данном задании, с осциллограммой, полученной в предыдущем задании. По заданным параметрам схемы и найденному значению скорости изменения входного напряжения рассчитать амплитуду выходного напряжения.

7.4 Содержание отчета

- 1 Цель работы.
- 2 Краткие теоретические сведения и ответы на контрольные вопросы.
- 3 Схемы для исследований.
- 4 Результаты экспериментов и расчеты.
- 5 Выводы.

7.5 Контрольные вопросы

1 Какую роль играет сопротивление R_2 , подключенное параллельно конденсатору в схеме на рисунке 7.3? Является ли эта схема идеальным интегратором входного напряжения?

2 От параметров каких компонентов схемы (рисунок 7.3) зависит точность интегрирования входного напряжения? От параметров каких компонентов схемы (рисунок 7.3) зависит скорость изменения выходного напряжения при подаче на вход скачка напряжения?

3 Выведите соотношение между входным и выходным напряжением для схем (рисунки 7.3 и 7.4).

4 Почему схема (рисунок 7.4) является дифференцирующим каскадом?

5 Зависит ли выходное напряжение дифференцирующего каскада от скорости изменения входного напряжения и от величины сопротивления в цепи обратной связи? Пояснить.

6 Почему выходное напряжение дифференцирующего каскада пропорционально отрицательному значению производной входного напряжения?

Лабораторная работа №8

Исследование особенностей применения компараторов

8.1 Цель работы

Исследование схем детекторов нулевого уровня.

Исследование схем детекторов ненулевого уровня.

8.2 Краткие теоретические сведения

Компаратор (аналоговых сигналов) – электронная схема, принимающая на свои входы два аналоговых сигнала и выдающая логический «0» или логическую «1» в зависимости от того, какой из сигналов больше.

Простейший компаратор представляет собой дифференциальный усилитель. Компаратор отличается от линейного ОУ устройством входного и выходного каскадов.

Входной каскад компаратора должен выдерживать широкий диапазон входных напряжений между инвертирующим и неинвертирующим входами вплоть до размаха питающих напряжений и быстро восстанавливаться при изменении знака этого напряжения. В ОУ, охваченном обратной связью, это требование не критично, так как дифференциальное входное напряжение измеряется милливольтами и микровольтами.

Выходной каскад компаратора выполняется совместимым по уровням и токам с конкретным типом логических схем (ТТЛ, ЭСЛ и т. п.). Возможны выходные каскады на одиночном транзисторе с открытым коллектором (совместимость с ТТЛ и КМОП-логикой).

Несколько реже применяются компараторы на основе логических элементов, охваченных обратной связью (см., например, триггер Шмитта – не компаратор по своей природе, но устройство с очень схожей областью применения).

Компараторы, построенные на двух дифференциальных усилителях, можно условно разделить на двухвходовые и трехвходовые. Двухвходовые компараторы применяются в тех случаях, когда сигнал изменяется достаточно быстро (не вызывает дребезга) и на выходе генерируют один из потенциалов, которыми запитаны операционные усилители (как правило, $-/+5\text{В}$ или 0). Трехвходовые компараторы имеют более широкую область применения и обладают двумя опорными потенциалами, за счет чего их вольт-амперная характеристика может представлять собой прямоугольную петлю гистерезиса.

Другими словами, функциональное назначение компаратора заключается в изменении состояния выхода при переходе входным напряжением некоторого порогового значения. На практике в качестве компаратора чаще применяется ОУ. При этом ОУ работает преимущественно в области положительного или отрицательного ограничения выходного напряжения, проходя область усилительного режима только вблизи порога.

На рисунках 8.1 и 8.2 приведены схемы и виды характеристик детекторов нулевого уровня, имеющих близкое к нулю пороговое напряжение. Схемы различаются способом подачи входного сигнала на вход ОУ. Использование разных входов ОУ для подачи входного сигнала позволяет реализовать фиксацию уровня входного напряжения положительным или отрицательным перепадом напряжения на выходе компаратора.

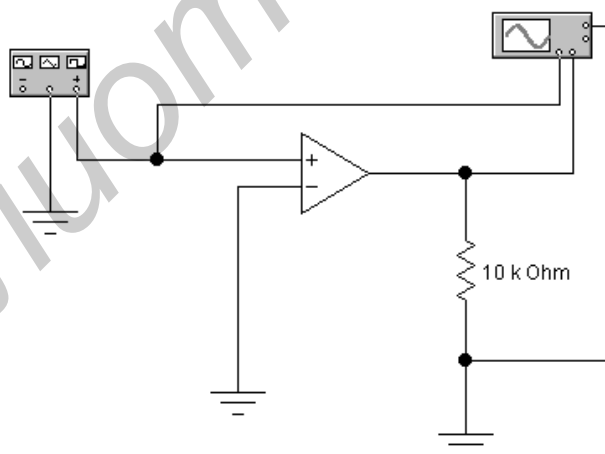


Рисунок 8.1 – Схема детектора нулевого уровня с неинвертирующим входом

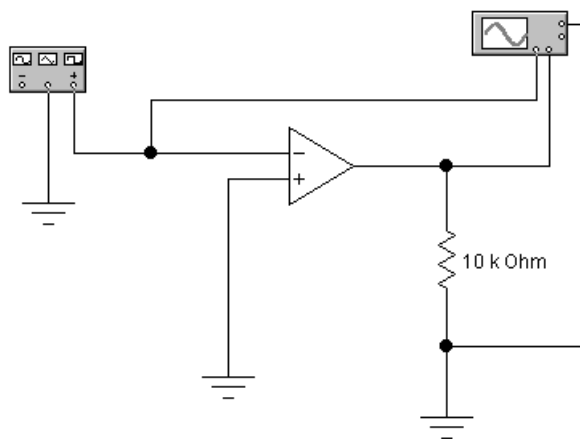


Рисунок 8.2 – Схема детектора нулевого уровня с инвертирующим входом

На рисунках 8.1 и 8.2 приводится вид характеристики «выход-вход». По вертикальной оси откладывается выходное напряжение, по горизонтальной оси – входное. Наклон характеристик вызван конечной скоростью нарастания выходного напряжения.

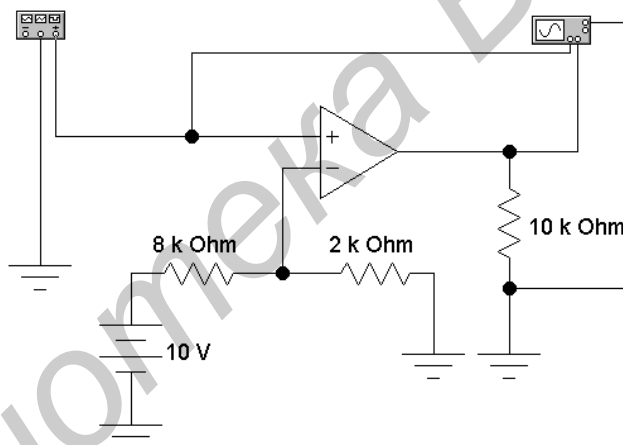


Рисунок 8.3 – Схема детектора положительного уровня входного сигнала

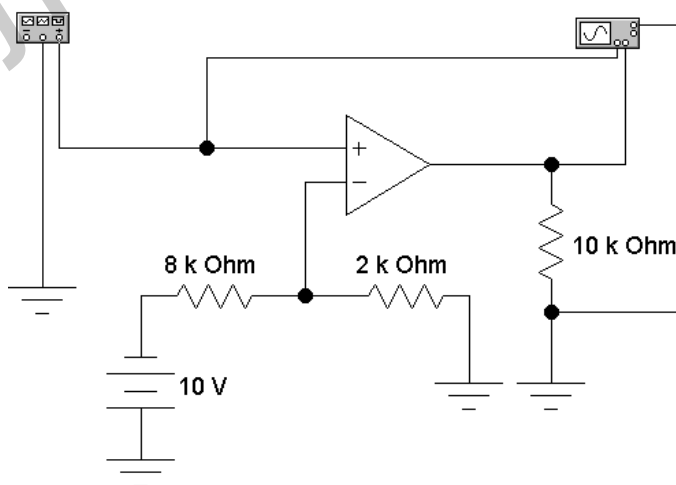


Рисунок 8.4 – Схема детектора отрицательного уровня входного сигнала

На рисунках 8.3 и 8.4 приведены схемы и виды характеристик детекторов положительного и отрицательного уровней входного напряжения. Пороговый уровень входного напряжения в этих схемах задается величиной напряжения смещения, подаваемого на инвертирующий вход ОУ. Напряжение смещения может задаваться стабилитроном, как показано на рисунке 8.5.

Максимальное и минимальное значение выходного напряжения может задаваться при помощи внешних элементов.

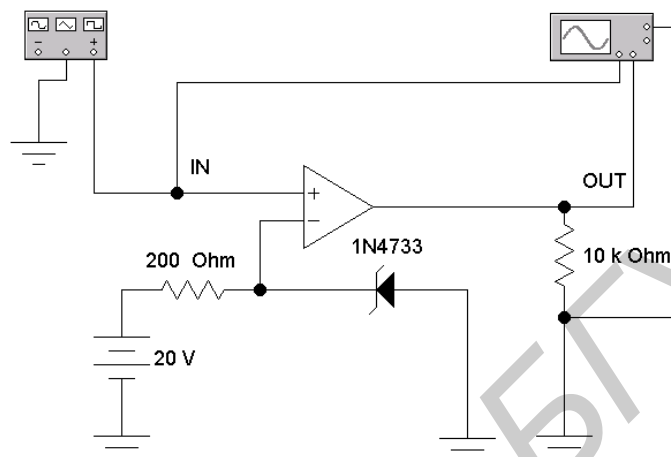


Рисунок 8.5 – Схема детектора с напряжением смещения, задаваемым стабилитроном

На рисунке 8.6 приведена схема детектора нулевого напряжения с фиксацией уровней выходного напряжения при помощи стабилитрона. Компаратор, показанный на рисунке 8.7, позволяет фиксировать наличие входного напряжения в определенном диапазоне значений. Если входное напряжение изменяется в пределах пороговых значений, устанавливаемых внешними элементами, то выходное напряжение имеет низкий уровень. При выходе за установленные пределы пороговых значений выходное напряжение изменяется на высокий уровень.

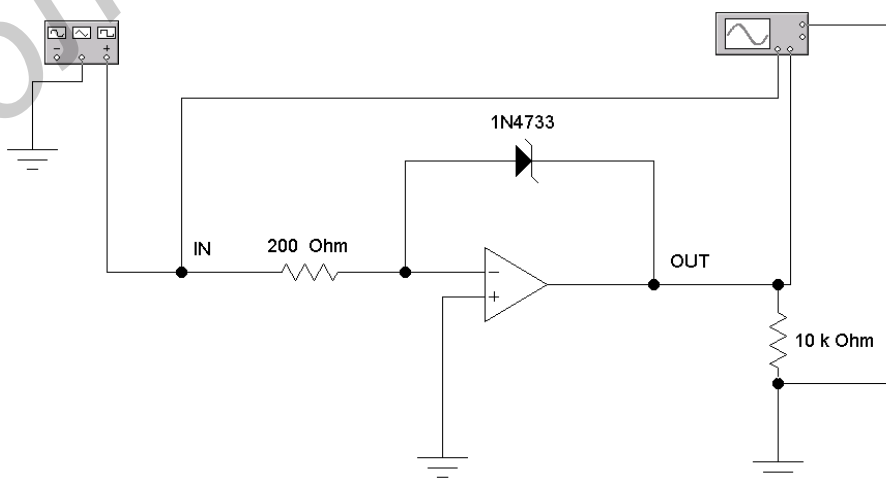


Рисунок 8.6 – Схема детектора нулевого напряжения с фиксацией уровней выходного напряжения при помощи стабилитрона

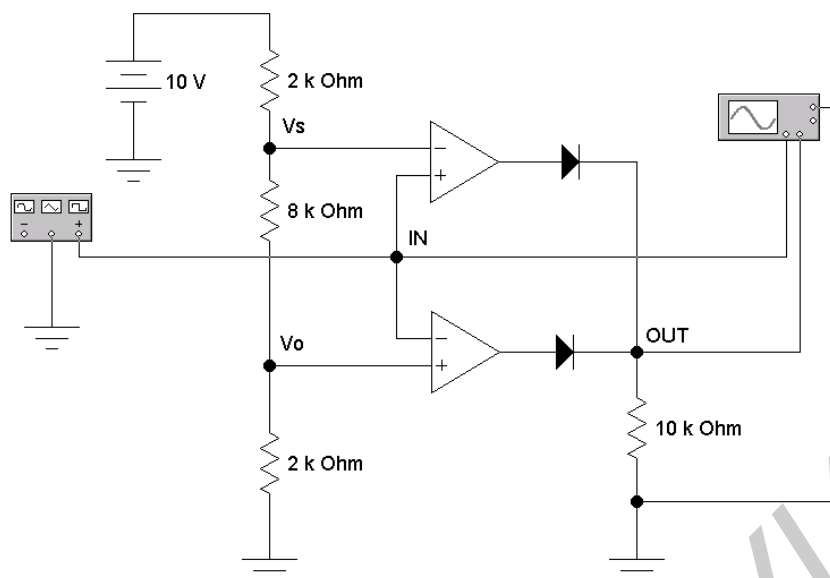


Рисунок 8.7 – Схема компаратора, фиксирующего наличие входного напряжения в определенном диапазоне значений

При работе с компараторами могут возникнуть непредвиденные сложности, проявляющиеся в том, что вместо однократного изменения уровня выходного напряжения при достижении входным напряжением порогового значения могут иметь место быстрые колебания между уровнями выходного напряжения, особенно в том случае, когда во входном сигнале присутствует значительный шум. При таком явлении может нарушаться нормальное функционирование некоторых типов схем. Можно избежать этого, если характеристика компаратора имеет гистерезис. Одной из схем такого рода является триггер Шмитта. Схема компаратора с гистерезисом и её характеристика представлены на рисунке 8.8.

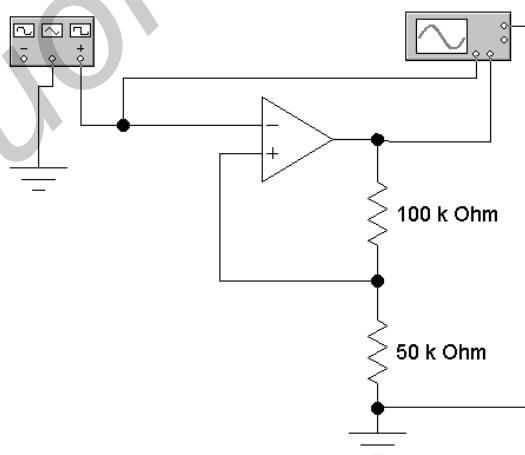


Рисунок 8.8 – Схема компаратора с гистерезисом (триггер Шмитта)

Для всех рассмотренных схем анализ их работы можно осуществить по двум характеристикам. Первая из них представляет собой характеристику вход-выход и устанавливает соотношения между входным и выходным напряжением схемы в статическом режиме. Для наблюдения такой характеристики на экране осциллографа необходимо сигнал с канала, подключенного к выходу схемы,

откладывая по вертикальной оси, а сигнал с канала, подключенного ко входу схемы, – по горизонтальной; на вход схемы подается синусоидальное напряжение. Динамику переключения выходного напряжения схемы можно проследить по осциллограммам входного и выходного напряжений. При снятии этой характеристики на вход схемы подается синусоидальное напряжение и двухлучевым осциллографом фиксируется входное и выходное напряжения.

8.3 Практическая часть

8.3.1 *Исследование характеристик детектора нулевого уровня с подачей сигнала на неинвертирующий вход ОУ.* Используя Electronics Workbench, спроектировать схему, представленную на рисунке 8.1.

В полученной на экране характеристике отклонение луча по оси Y (канал В) определяется выходным напряжением $U_{\text{ВЫХ}}$, а по оси X (канал А) – входным $U_{\text{ВХ}}$. Зарисовать характеристику «выход-вход» и по характеристике определить пороговое напряжение.

Перевести осциллограф в режим Y/T, установить масштаб напряжения на входе А 2 V/div. Зарисовать полученные осциллограммы входного $U_{\text{ВХ}}$ и выходного $U_{\text{ВЫХ}}$ напряжения. Определить пороговое значение входного напряжения $U_{\text{ВХ}}$ и сравнить его со значением, определенным в предыдущих операциях.

8.3.2 *Исследование характеристик детектора нулевого уровня с подачей сигнала на инвертирующий вход ОУ.* Повторить задание 8.3.1, только поменяв назначения входов ОУ на рисунке 8.1.

8.3.3 *Исследование характеристик компаратора с положительным опорным напряжением.* Используя Electronics Workbench, спроектировать схему, представленную на рисунке 8.3.

Зарисовать характеристику «выход-вход» и по характеристике определить пороговое напряжение.

Перевести осциллограф в режим Y/T, установить масштаб напряжения на входе А 2 V/div. Зарисовать полученные осциллограммы входного $U_{\text{ВХ}}$ и выходного $U_{\text{ВЫХ}}$ напряжения. Определить пороговое значение входного напряжения $U_{\text{ВХ}}$ и сравнить его со значением, определенным в предыдущей операции этого задания.

8.3.4 *Исследование характеристик компаратора с отрицательным опорным напряжением.* Повторить задание 8.3.3, поменяв полярность источника опорного напряжения.

8.3.5 *Исследование характеристик компаратора с опорным напряжением, задаваемым стабилитроном.* Используя Electronics Workbench, спроектировать схему, представленную на рисунке 8.5. Зарисовать характеристику «выход-вход» и по характеристике определить пороговое напряжение.

Перевести осциллограф в режим Y/T, установить масштаб напряжения на входе А 2 V/div. Зарисовать полученные осциллограммы входного $U_{ВХ}$ и выходного $U_{ВЫХ}$ напряжения. Определить пороговое значение входного напряжения $U_{ВХ}$ и сравнить его со значением, определенным в предыдущей операции, а также с напряжением стабилизации стабилитрона.

8.3.6 *Исследование характеристик компаратора с фиксацией выходного напряжения.* Используя Electronics Workbench, спроектировать схему, представленную на рисунке 8.9. Зарисовать полученные осциллограммы входного и выходного напряжения. По осциллограммам определить уровни выходного напряжения и пороговое напряжение.

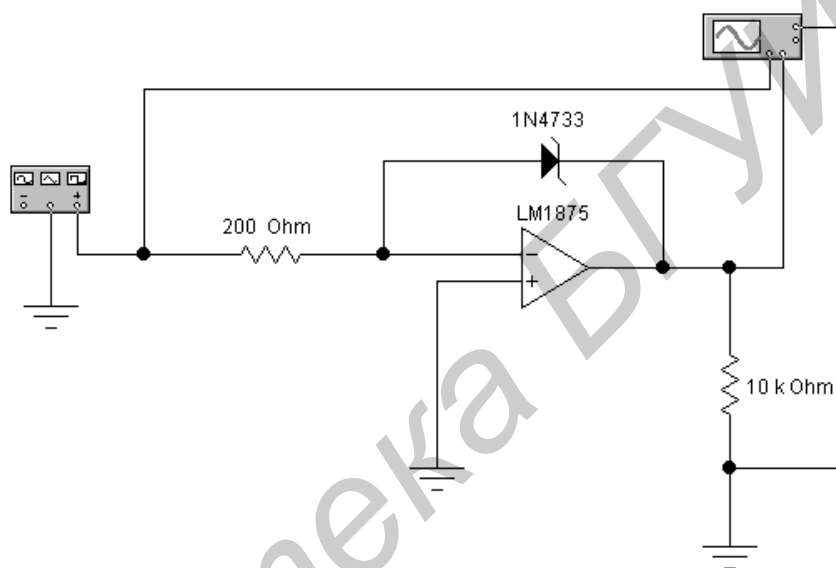


Рисунок 8.9 – Схема компаратора с фиксацией выходного напряжения

В схеме (см. рисунок 8.9) изменить направление включения стабилитрона на обратное. Повторить вышеописанные операции этого задания.

8.3.7 *Исследование характеристик компаратора с фиксированной зоной входного напряжения.* Используя Electronics Workbench, спроектировать схему, представленную на рисунке 8.7. Зарисовать полученные осциллограммы входного $U_{ВХ}$ и выходного $U_{ВЫХ}$ напряжения. Определить пороговые напряжения $U_{нижн}$ и $U_{верх}$.

8.3.8 *Исследование характеристик триггера Шмитта.* Используя Electronics Workbench, спроектировать схему, представленную на рисунке 8.8. Зарисовать характеристику «выход-вход» и по характеристике определить верхнее и нижнее значение порогового напряжения.

Перевести осциллограф в режим Y/T, установить масштаб напряжения на входе А 2 V/div. Зарисовать полученные осциллограммы входного $U_{ВХ}$ и выходного $U_{ВЫХ}$ напряжения. По осциллограммам определить значения пороговых напряжений и сравнить их со значениями, определенными в предыдущей операции этого задания.

8.4 Содержание отчета

- 1 Цель работы.
- 2 Краткие теоретические сведения и ответы на контрольные вопросы.
- 3 Схемы для исследований.
- 4 Результаты экспериментов и расчеты.
- 5 Выводы.

8.5 Контрольные вопросы

- 1 Каковы особенности применения ОУ в схемах компараторов?
- 2 Перечислите способы построения схем детекторов положительного уровня входного напряжения.
- 3 Чем определяется точность задания порогов входного напряжения в схемах детекторов уровня на основе ОУ?
- 4 На чем основана работа компаратора с фиксированной зоной входного напряжения?
- 5 Можно ли в компараторе на основе триггера Шмитта сделать уровни порогов входного напряжения разными? Если да, то каким образом?

Литература

- 1 Фрайден, Дж. Современные датчики : справочник / Дж. Фрайден. – М. : Техносфера, 2006. – 592 с.
- 2 Синилов, В. Г. Системы охранной, пожарной и охранно-пожарной сигнализации: учебник / В. Г. Синилов. – М. : ИРПО, Проф. обр. издат., 2001. – 352 с.
- 3 Шачнев, А. И. Устройства и системы охранно-пожарной сигнализации, / А. И. Шачнев. – Минск : УП «Технопринт», 2001.
- 4 Собурь, С. В. Установки автоматической пожарной сигнализации: справочник / С. В. Собурь. – Вып. 1. – М. : Спецтехника, 2000. – 224 с.
- 5 СНБ 2.02.04-04. Пожарная автоматика.
- 6 ГОСТ – 3073.7 – 2001. Приборы приемно-контрольные пожарные. Общие технические требования. Методы испытания.
- 7 РД 28/3.009 – 2001. Технические средства и системы охраны. Обозначения условные, графические элементы.

Учебное издание

Серенков Валентин Юрьевич
Бересневич Андрей Игоревич
Маклюк Василий Викторович
Пинаев Александр Иванович

***ПЕРВИЧНЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ
И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В СИСТЕМАХ БЕЗОПАСНОСТИ.***

***ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
ОТ УТЕЧКИ ПО ТЕХНИЧЕСКИМ КАНАЛАМ***

Лабораторный практикум
для студентов специальности 1-38 02 03
«Техническое обеспечение безопасности»
всех форм обучения

Редактор Т. П. Андрейченко
Корректор Е. Н. Батурчик

Подписано в печать
Гарнитура «Таймс».
Уч.-изд. л. 3,2.

Формат 60x84 1/16.
Отпечатано на ризографе.
Тираж 100 экз.

Бумага офсетная.
Усл. печ. л.
Заказ 328.

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»
ЛИ №02330/0494371 от 16.03.2009. ЛП №02330/0494175 от 03.04.2009.
220013, Минск, П. Бровки, 6