

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники

В. Л. Савчук, А. М. Терешков

**ЭЛЕКТРОННЫЕ СРЕДСТВА СБОРА, ОБРАБОТКИ
И ОТОБРАЖЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ**

Руководство к выполнению лабораторных работ
для студентов направления 11.04.04
«Электроника и наноэлектроника»

Томск
2022

УДК 004.42
ББК 32.973
С13

Рецензент:

Легостаев Н. С., профессор кафедры промышленной электроники ТУСУР,
канд. техн. наук

Савчук, Виктор Леонидович

С13 Электронные средства сбора, обработки и отображения информации :
руководство к выполнению лабораторных работ для студентов направления
11.04.04 «Электроника и наноэлектроника» (уровень магистратуры) /
В. Л. Савчук, А. М. Терешков. – Томск : ТУСУР, 2022. – 30 с.

Руководство разработано в соответствии с действующим Федеральным государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования по направлению подготовки 11.04.04 «Электроника и наноэлектроника» (уровень магистратуры).

В руководстве указаны цели и задачи проведения цикла лабораторных работ, а также методические указания по их проведению, требования к оформлению отчетной документации.

Одобрено на заседании каф. ПрЭ, протокол № 10 от 12.05.2022.

УДК 004.42
ББК 32.973

© Савчук В. Л., Терешков А. М., 2022
© Томск. гос. ун-т систем упр. и
радиоэлектроники, 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1 «ИССЛЕДОВАНИЕ КОДЕРОВ И ДЕКОДЕРОВ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ АСИНХРОННЫХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ ДВОИЧНЫМИ ОДНОПОЛЯРНЫМИ СИГНАЛАМИ».....	4
1 Последовательная асинхронная передача данных.....	4
2 Программа лабораторной работы.....	8
3 Содержание отчета по лабораторной работе № 1.....	10
4 Контрольные вопросы	11
5 Список рекомендуемой литературы.....	11
Приложение А Мультиплексор	12
Приложение Б Регистр сдвига	13
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2 «ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТНЫХ МОДУЛЯТОРОВ-ДЕМОДУЛЯТОРОВ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ ДИСКРЕТНОЙ ИНФОРМАЦИИ»	14
1 Модуляция носителей информации	14
2 Дискретный канал с частотной модуляцией	16
3 Частотные модуляторы.....	18
4 Частотные демодуляторы.....	19
5 Программа лабораторной работы № 2.....	22
6 Содержание отчета по лабораторной работе	26
7 Контрольные вопросы	27
8 Список рекомендуемой литературы.....	27
Приложение А Фильтр нижних частот (ФНЧ).....	28
Приложение Б Активные избирательные фильтры	29

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1 «ИССЛЕДОВАНИЕ КОДЕРОВ И ДЕКОДЕРОВ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ АСИНХРОННЫХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ ДВОИЧНЫМИ ОДНОПОЛЯРНЫМИ СИГНАЛАМИ»

Целью первой лабораторной работы является:

– экспериментальное исследование кодеров и декодеров асинхронных устройств последовательного обмена данными.

Основное назначение подобных устройств:

– организация удаленных терминалов с ЭВМ, микроконтроллерами для сбора данных в измерительной технике и АСУ ТП, а также передача данных на значительные расстояния через модемы.

В данной лабораторной работе исследуется однополярный телеграфный интерфейс с форматом передаваемых знаков 5/8. Наименьший формат передачи данных – 5/8 выбран для упрощения схемной реализации устройства последовательного интерфейса.

В ходе выполнения работы подробно анализируются схемы построения кодеров и декодеров асинхронных последовательных интерфейсов с элементами помехоустойчивого кодирования. Электронные схемы кодеров и декодеров моделируются и исследуются с помощью системы моделирования электронных схем ASIMEC, разработанной в ТУСУР.

В качестве компонентов исследуемых устройств используются резисторы, конденсаторы, цифровые микросхемы (логические элементы, триггеры, счетчики и др.), а также источники постоянного и импульсного напряжения, измерительные приборы. Реализуется полная имитация органов управления и экранов измерительных приборов.

1 Последовательная асинхронная передача данных

Суть асинхронного принципа управления состоит в независимой работе (по времени) передатчика и приемника при управлении функцией обмена данными регулярной последовательностью сигналов синхронизации.

Наиболее распространенными являются стартстопные принципы синхронизации по битам и знакам. Суть стартстопного принципа управления состоит в том, что стартовый импульс в сообщении запускает местный синхрогенератор приемника, который работает на частоте передатчика, и линия стробируется в соответствии с частотой местного синхронизатора, а стоповый импульс в сообщении останавливает синхрогенератор.

Передача данных осуществляется порциями (кадрами). Начало и конец каждой порции информации отмечаются специальными метками. Стандартный формат кадра последовательной асинхронной передачи данных изображен на рисунке 1.1.

Уровень логической единицы в линии называют маркером, уровень логического нуля – пробелом. При отсутствии данных в линии действует сигнал маркера. Передача кадра начинается с посылки стартового бита (пробела). После этого передаются биты данных, число которых в кадре может устанавливаться от 5 до 8. За битами данных следует бит паритета, который также называется **битом контроля четности** (или нечетности). Этот бит выбирается в каждом кадре данных таким образом, чтобы **общее число единиц в битах данных и бите паритета было четным** (или нечетным). Кадр заканчивается стоповым битом, имеющим уровень маркера. Может устанавливаться один, полтора или два стоповых бита. После этого в линии может поддерживаться состояние отсутствия данных (уровень маркера) либо начинаться следующий кадр (стартовым битом).

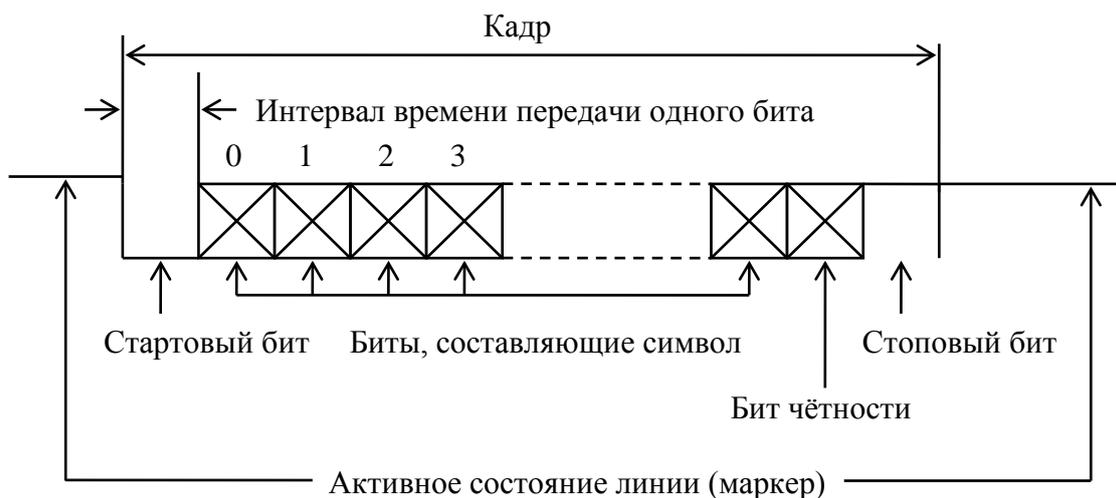


Рисунок 1.1 – Формат кадра при асинхронной последовательной передаче

Сигналы в линии могут иметь различное представление. При передаче на небольшое расстояние, в линии действует уровень напряжения от 3 до 12 В, при расстояниях до 1–1,5 км используют токовую петлю – импульсы постоянного тока значением 20 мА, передаваемые по витой паре или кабелю. Асинхронная связь постоянным током (токовая петля) по четырехпроводной дуплексной линии носит название радиального последовательного интерфейса (ИРПС).

При передаче информации по телефонным линиям через модемы, уровни напряжения преобразуют в посылки (пачки) синусоидальных сигналов. Сигналу маркера соответствует частота (тон) 1270 Гц, сигналу пробела – 1070 Гц. Для дуплексной связи по одной и той же телефонной линии используют две пары частот, например, 1270...1070 Гц и 2225...2025 Гц. Частота 2225 Гц служит для передачи в обратном направлении сигнала маркера, частота 2025 Гц – сигнал пробела.

Структура линии связи источника информации с удаленной ЭВМ изображена на рисунке 1.2.

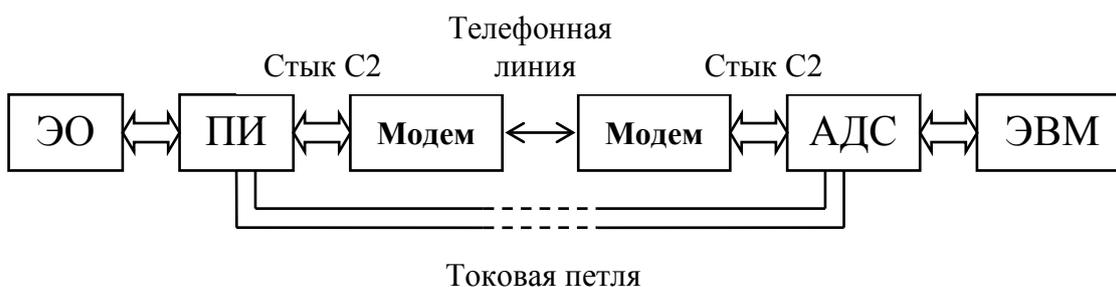


Рисунок 1.2 – Структура линии связи при последовательной передаче данных

Электронное оборудование (ЭО) должно быть снабжено последовательным интерфейсом (ПИ), преобразующим параллельный код, поступающий из ЭО, в последовательный в соответствии с описанным выше стандартным форматом. Преобразование сигналов напряжения, действующих на выходе ПИ, в сигналы телефонного тона осуществляется специальным устройством – *модемом*. Для управления модемом (подключения модема к линии, включения тона, передачи данных, контроля состояния модема) предусматриваются соответствующие стандартные сигналы. Совокупность линий для передачи этих сигналов образует Стык С2, широко используемый в вычислительных системах.

Подключение телефонной линии к ЭВМ осуществляется через второй модем, преобразующий телефонные послышки в уровни напряжения стыка С2, и последовательный интерфейс, называемый часто *адаптером дистанционной связи* (АДС) или *устройством последовательного обмена* (УПО), который является связующим звеном между стыком С2 и системным интерфейсом ЭВМ. Следует отметить, что из трех изображенных на рисунке 1.2. элементов линии связи – АДС, модема и ПИ – два первых относятся к числу стандартных устройств, включаемых в состав вычислительных систем (АДС), либо выпускаемых промышленностью как самостоятельные изделия (модемы). Что же касается последовательного интерфейса (ПИ), то, поскольку его конструкция в какой-то степени определяется назначением и характеристиками подключаемого к нему электронного оборудования, его надо разрабатывать для каждого конкретного применения. Разработка ПИ облегчается тем, что основные функциональные узлы интерфейса выпускаются в виде интегральных микросхем.

Описанная структура связи (с преобразованием в частотный телефонный сигнал) применяется только в тех случаях, когда расстояние между ЭО и ЭВМ весьма велико – более 1,5...2 км. При меньших расстояниях необходимость в использовании модемов отпадает, и связь ПИ и АДС осуществляется по двухпроводной линии с помощью токовой петли. Стандартные АДС часто имеют два выхода: на стык С2 (аналог RS-232) и токовую петлю.

Рассмотрим структуру адаптера дистанционной связи, представленную на рисунке 1.3. Он включает в себя узел связи с системным интерфейсом ЭВМ, универсальный асинхронный приемопередатчик (УАПП) и узел согласования, осуществляющие, в частности, преобразование ТТЛ-уровней в уровни стыка С2. Узел связи с системным интерфейсом ЭВМ (дешифратор адреса, модуль управления прерываниями и пр.) обеспечивают протокол системной магистрали при передаче данных между ЦП и интерфейсом.



Рисунок 1.3 – Структура АДС

Наиболее специфической частью АПД является УАПП, упрощенная структурная схема которого приведена на рисунке 1.4.

Асинхронный приемопередатчик состоит из трех секций: передачи, управления и приема. Секция передачи служит для преобразования данных из параллельного кода в последовательный. Байт данных поступает из ЭВМ (по команде программы) в параллельном коде в регистр данных РД передатчика. После завершения передачи в линию предыдущего байта и освобождения выходного регистра байт данных переносится (также параллельно) в выходной сдвиговой регистр. Здесь к нему добавляются служебные биты: стартовый, стоповый и паритета. Полученное таким образом содержимое кадра многократно сдвигается в сторону младших битов, в результате чего на выходе концевой триггера регистра, связанного с передающей линией, последовательно появляются значения всех битов кадра. Пока биты данных передаются в линию, в РД передатчика может загружаться из ЭВМ следующая порция информации.

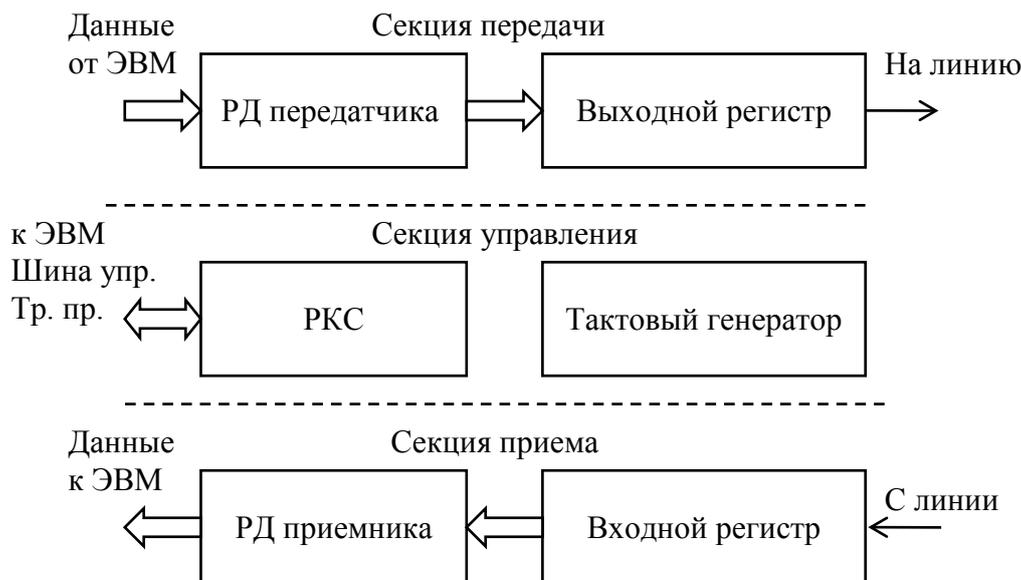


Рисунок 1.4 – Структура УАПП

Секция приема работает аналогично. Биты, поступающие из линии, вдвигаются во входной сдвиговый регистр. После получения всего кадра из него убираются служебные биты, и оставшаяся информационная часть переносится параллельно в РД приемника, откуда по команде программы данные принимаются в ЭВМ. Пока происходит пересылка данных в ЭВМ, входной сдвиговый регистр может принимать следующую порцию (кадр) данных.

В секции управления имеются регистры команд и состояний (РКС) (обычно два), с помощью которых программно устанавливаются характеристики УАПП: скорость передачи, число информационных битов, наличие и вид паритета и т.д. Кроме того, отдельные разряды РКС (или иногда дополнительные разряды РД) фиксируют ошибки приема данных, например, получения в РД приемника следующего байта данных до считывания в ЭВМ предыдущего (ошибка наложения или переполнения).

Тактовый генератор, входящий в состав УАПП, определяет частоту сдвига в сдвиговых регистрах и соответственно скорость передачи и приема данных. Очевидно, что передача и прием в конкретной линии должны вестись с одной скоростью.

Если АДС работает на токовую петлю, функции узла согласования ограничиваются преобразованием уровней напряжения, действующих на выходе УАПП, в токовые посылки. Если же АДС предназначен для подсоединения к модему, либо другой аппаратуре с выходом на стык С2, то узел согласования должен вырабатывать и воспринимать ряд управляющих сигналов. Число этих сигналов определяется функциональными возможностями АДС.

Адаптер дистанционной связи с модемом или без него (в зависимости от длины линии связи) может использоваться для подключения к ЭВМ терминального оборудования, а также связи двух ЭВМ с целью организации двухпроцессорной вычислительной системы. При этом, если обе ЭВМ имеют выход на стык С2, их можно связать через нуль-модем, представляющий собой два разъема стыков С2 с перемычками, соединяющими ответные цепи. Естественно, на обеих ЭВМ должны быть активизированы программы приема-передачи данных. Часто электронное оборудование, предназначенное для использования в автоматизированных системах, имеет выход на стык С2. Это дает возможность подключения такого оборудования к ЭВМ через стандартный последовательный интерфейс.

2 Программа лабораторной работы

2.1 Ознакомьтесь с электрическими схемами кодера и декодера канала передачи данных, приведенными на рисунках 2.1 и 2.2.

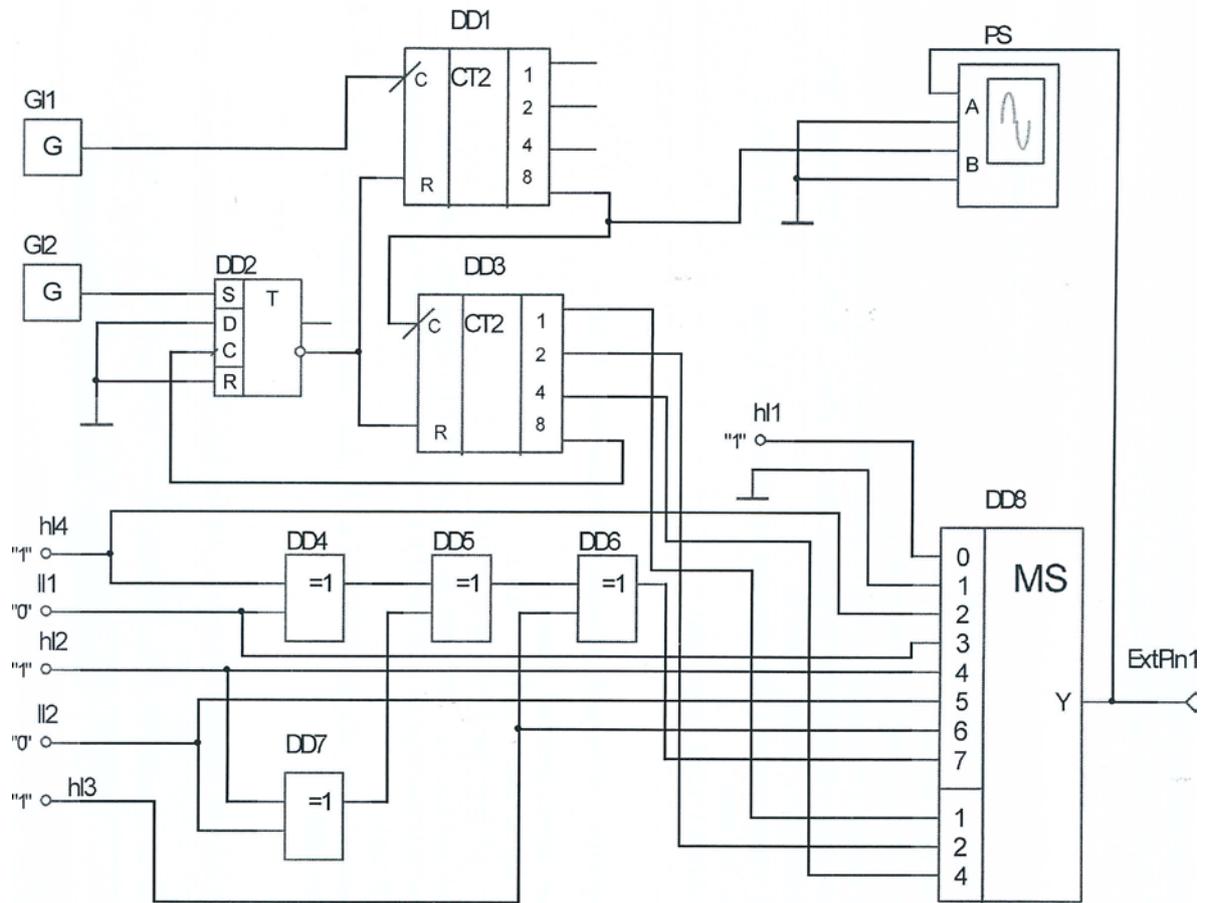


Рисунок 2.1 – Схема электрическая принципиальная кодера канала

Кодер канала выполняет прием данных от источника информации в параллельном коде и осуществляет преобразование в последовательный помехоустойчивый код (добавляя избыточный разряд проверки на четность), а затем передачу в линию связи.

Источник информации формирует кадр данных, который в параллельном коде поступает на мультиплексор и схему контроля четности, с выхода которой бит контроля четности добавляется как старший разряд в данные кадра. Каждый кадр источник информации сопровождает сигналом синхронизации (G12) для записи в регистр.

При поступлении сигнала синхронизации от источника информации пусковой триггер DD2 формирует строб кадра.

Данные, поступившие в параллельном коде в буферный регистр мультиплексора, преобразуются в последовательный. Импульсы сдвига формируются в соответствии с частотой задающего генератора.

Частота следования импульсов задающего генератора G11 в 16 раз выше скорости дискретной модуляции. Делители частоты на двоичных счетчиках формируют сигналы управления регистром сдвига (мультиплексором). Делитель частоты DD3 является счетчиком количества битов в кадре данных и формирует сигнал сброса пускового триггера в исходное состояние. С выхода регистра сдвига (мультиплексора) кадр данных поступает в линию связи.

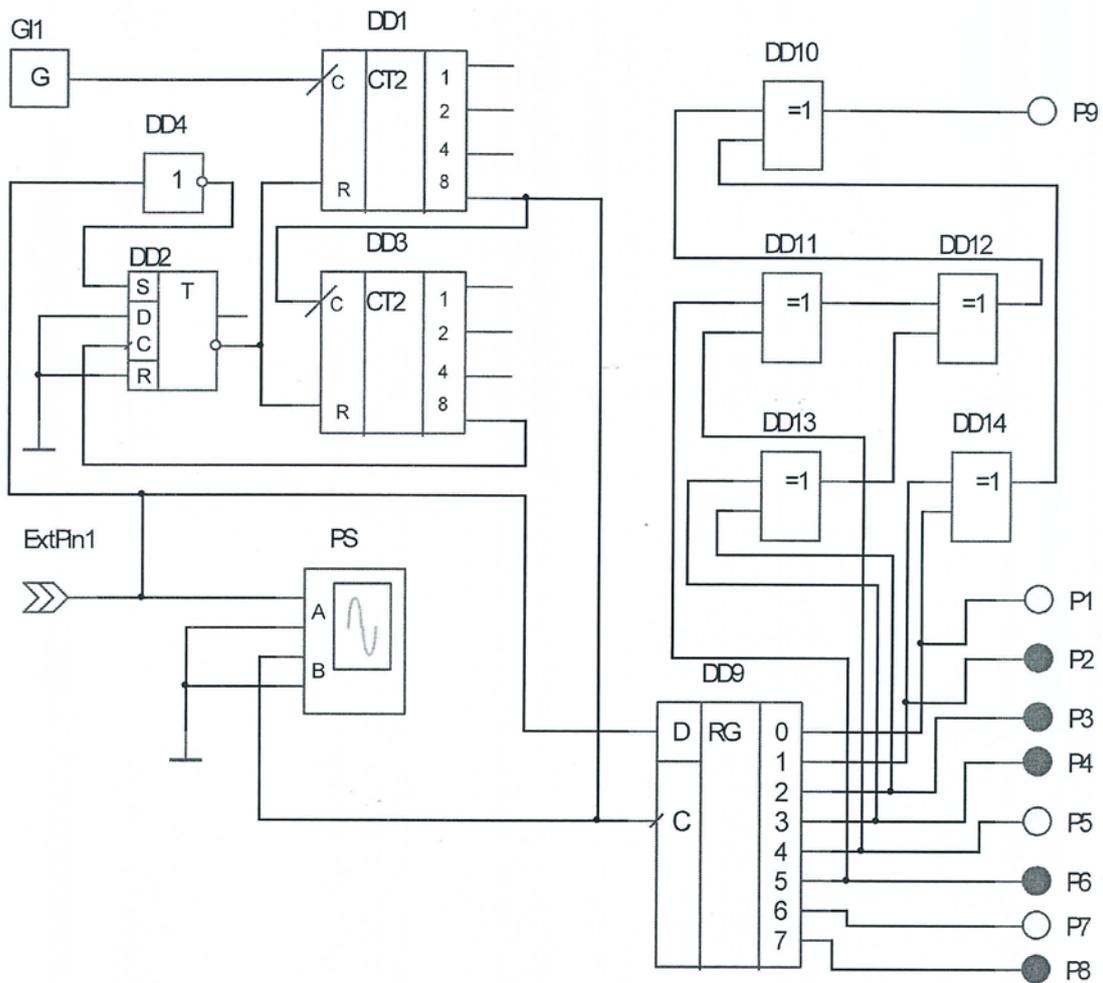


Рисунок 2.2 – Схема электрическая принципиальная декодера канала

2.2 Рассчитать частоту следования импульсов задающего генератора кодера с учетом заданного варианта. Соответствующая скорость модуляции приведена в таблице 2.1.

Таблица 2.1

Вариант, №	Скорость модуляции (Бод)
1	50
2	100
3	150
4	200
5	300
6	600
7	1200
8	2400

2.3 Собрать принципиальную схему мультиплексора с использованием логических элементов и дешифратора на наборном поле программы моделирования электронных схем ASIMEC (см. Приложение А). Создать модуль соответствующей подсхемы, сохранить его в виде файла. После записи, сформированный модуль будет доступен в разделе «подсхемы» для дальнейшего использования.

2.4 Собрать принципиальную схему последовательно-параллельного регистра сдвига на основе D-триггеров (см. Приложение Б). Создать модуль соответствующей подсхемы, сохранить его в виде файла.

2.5 Перезагрузить ASIMEC. Собрать схему кодера канала с системой управления передачей и приема данных с использованием подсхемы «мультиплексор».

2.5.1 Данные, передаваемые кодером в канал связи, установить статически, подключением нужных выводов к источнику напряжения +5 В (уровень логической единицы), а остальных к «земле» (уровень логического нуля).

2.5.2 Исследовать в работе собранную схему кодера канала с системой управления передачей данных. В качестве приемного устройства использовать осциллограф, подключив его к выходу мультиплексора. Убедиться, что передаваемые двоичные комбинации соответствуют диаграмме на экране осциллографа.

2.6 Дополнить исследованную схему кодера канала схемой декодера с использованием подсхемы «регистр сдвига» (рис. 2.2).

Рассмотрим работу приемника информации (декодер канала на рис. 2.2).

Сигнал с линии связи поступает в регистр сдвига и схему выявления стартового бита. Схема выявления стартового бита приемника DD2, DD4 обнаруживает переход от стопового к стартовому биту, при помощи которого декодер синхронизируется с источником информации, что устраняет влияние небольшого дрейфа генераторов тактовых импульсов. Запускается делитель частоты DD1 и DD2 и входной регистр сдвига стробируется в соответствии с частотой местного генератора. Частота следования импульсов сдвига регистра в приемнике, получаемых с делителя частоты, должна быть кратной частоте ГТИ, обычно шестнадцатикратной. Это обеспечит стробирование принимаемых сигналов всегда примерно в середине их длительности. Прежде чем рассинхронизация местного генератора и генератора источника данных увеличивается настолько, что явится причиной ошибки, поступает стоповая посылка, означающая конец слова обмена. В приемнике выключается делитель частоты, и он снова переходит в режим ожидания стартового бита. Для обнаружения ошибок в принятой информации служит схема выявления ошибок DD10-DD14 (контроль четности).

2.6.1 Источником информации (входом) для декодера является выход ранее собранного кодера канала.

2.6.2 В качестве устройств отображения информации на выходе декодера канала удобно использовать пробники в виде круглой «лампочки». Наряду с принимаемыми данными, подключить к пробникам служебные биты: «ошибка формата» и «ошибка паритета».

2.6.3 Исследовать в работе собранную схему декодера канала с системой управления приемом данных. Убедиться, что передаваемые кодером данные соответствуют данным, отображаемым на выходе декодера, а биты «ошибка формата» и «ошибка паритета» – нулевые.

2.6.4 Смоделировать ошибку паритета. Это можно сделать, отключив схему контроля четности в кодере канала. Убедиться, что схема декодера канала обнаруживает ошибку паритета.

2.6.5 Смоделировать ошибку формата. Убедиться, что декодер канала обнаруживает ошибку формата.

3 Содержание отчета по лабораторной работе № 1

Отчет должен содержать исследованные в работе схемы кодера и декодера канала, результаты проведенных исследований, ответы на контрольные вопросы и по пунктам программы работы.

4 Контрольные вопросы

1. Дайте определение биту паритета. Объясните, в чем состоит ошибка паритета?
2. Как проявляется ошибка формата?
3. Каким образом формируется информация о наличии ошибок паритета и формата?

5 Список рекомендуемой литературы

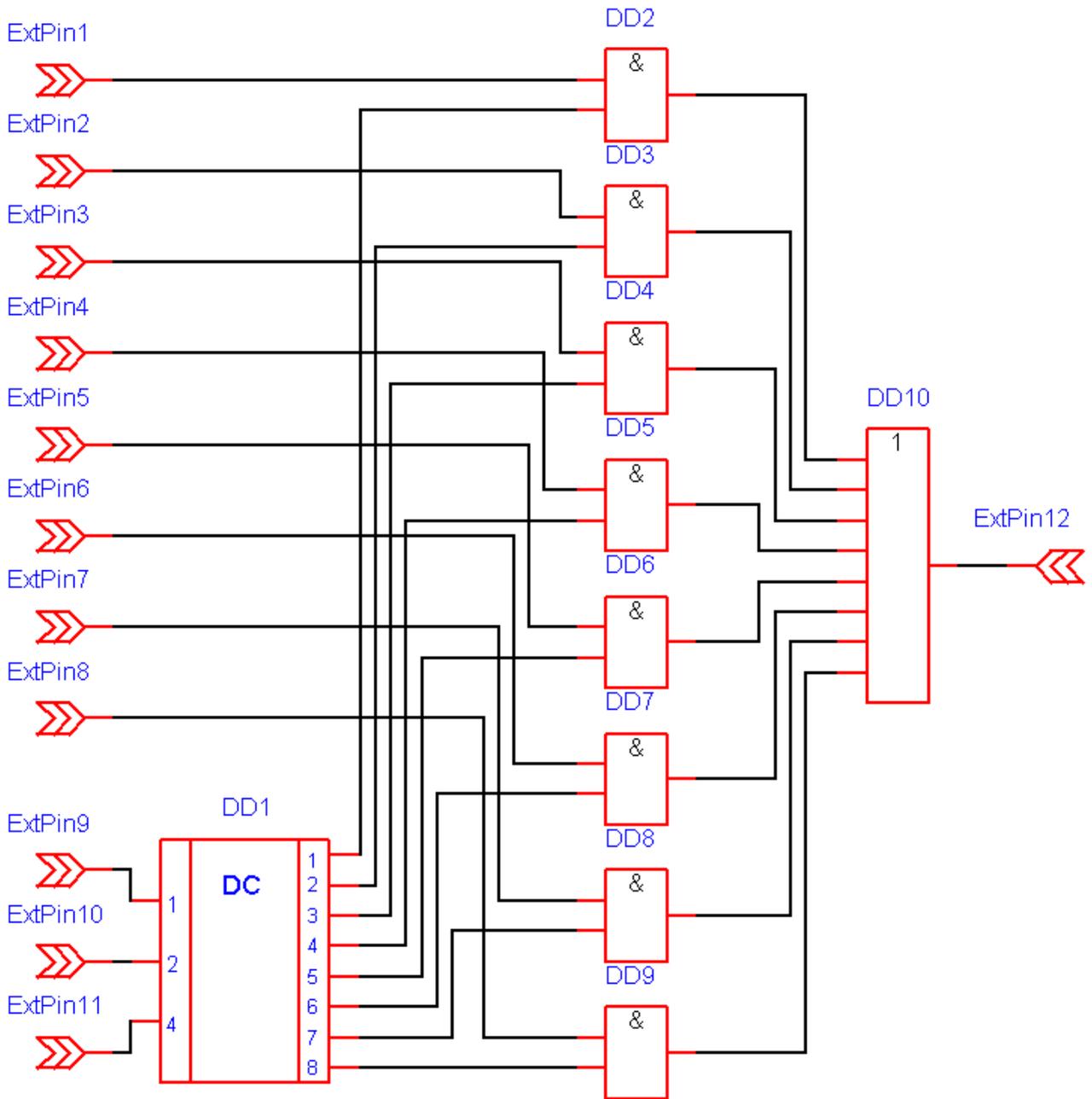
5.1 Савчук, В. Л. Электронные средства сбора, обработки и отображения информации : учеб. пособие. – Томск : ТУСУР, 2007. – 174 с.

5.2 Савчук, В. Л. Руководство к организации самостоятельной работы для студентов направления «Электроника и микроэлектроника» / В. Л. Савчук ; Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, кафедра промышленной электроники. – Томск : ТУСУР, 2006. – 27 с.

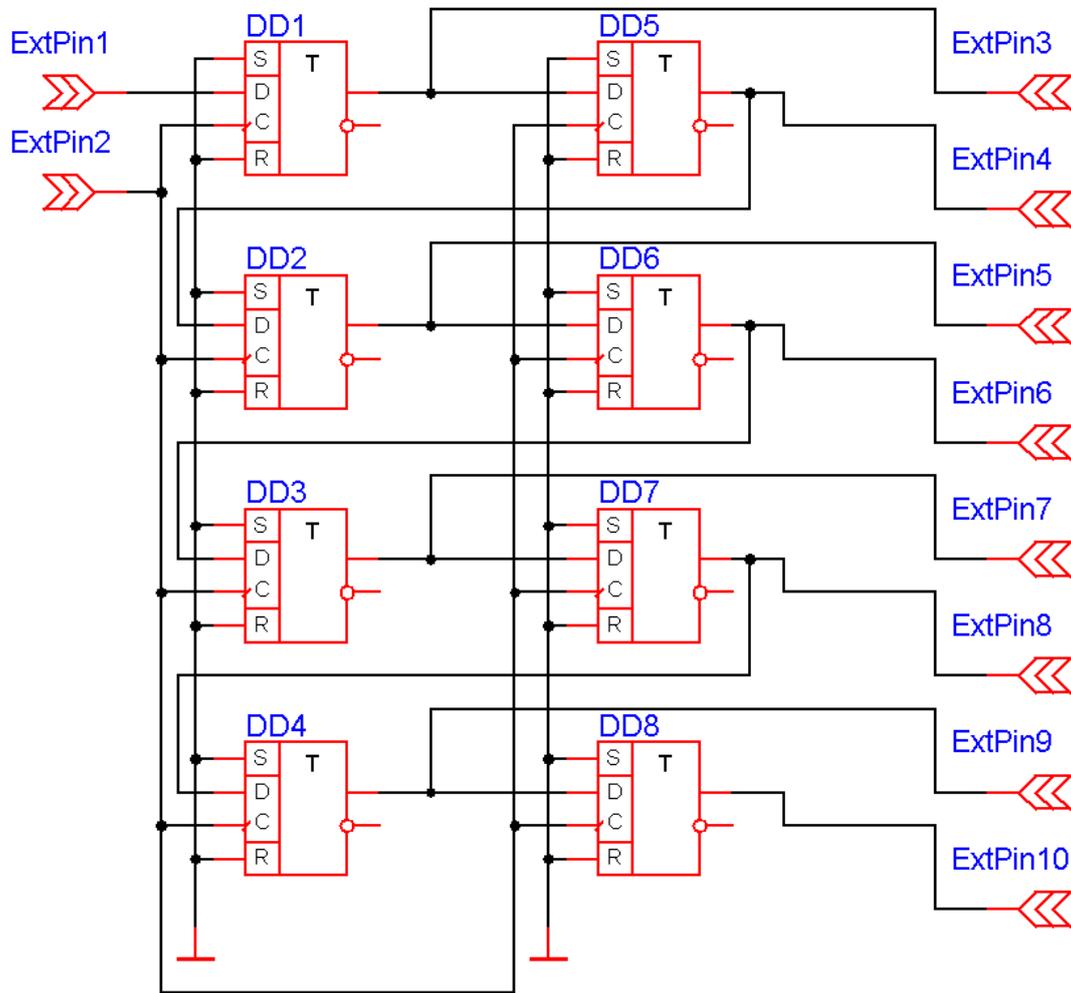
5.3 Общие требования и правила оформления отчетов по лабораторным работам: методические указания по оформлению отчетов по лабораторным работам для студентов всех специальностей / Н. И. Кузбных : Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники – Томск, 2012. – URL: <http://edu.tusur.ru/training/publications/3890> (дата обращения: 29.06.2022).

5.4 Система моделирования электронных схем «Asimes». [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.ie.tusur.ru/content.php?id=490> (дата обращения: 29.06.2022).

Приложение А Мультиплексор



Приложение Б Регистр сдвига



ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2 «ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТНЫХ МОДУЛЯТОРОВ-ДЕМОДУЛЯТОРОВ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ ДИСКРЕТНОЙ ИНФОРМАЦИИ»

Целью данной лабораторной работы является:

– экспериментальное исследование схем построения и характеристик частотных модуляторов и демодуляторов низкоскоростных модемов.

Основное назначение этих устройств – передача информации на значительное расстояние по телефонным каналам связи. Применение частотной модуляции (ЧМ) позволяет достаточно просто организовать обратный канал по одной физической линии связи, т. е. так называемый дуплексный режим работы модемов.

В дуплексном режиме объекты, соединенные между собой через модемы, могут одновременно передавать информацию друг другу. В этом случае используется известный принцип частотного уплотнения каналов связи.

В полудуплексном режиме в каждый момент времени только один из модемов может осуществлять передачу, другой модем должен дожидаться своей очереди.

Эхоплексный режим – это один из видов полудуплексного режима, когда принимающий модем передает обратно на передающий модем эхо-отображение всех поступающих на него символов. Модемы также могут осуществлять эхо-отображение принятых символов обратно на компьютер или терминал.

Электронные схемы модуляторов и демодуляторов в данной работе моделируются и испытываются с помощью системы моделирования электронных схем ASIMES на ПЭВМ.

В качестве компонентов исследуемых устройств используются резисторы, конденсаторы, цифровые микросхемы (логические элементы, триггеры, счетчики и др.), а также источники постоянного и импульсного напряжения, измерительные приборы (вольтметр, осциллограф).

Реализуется полная имитация органов управления и экранов измерительных приборов.

1 Модуляция носителей информации

Нанесение информации на материальные носители достигается определенным изменением параметров физических процессов – колебаний или импульсных последовательностей. Подобные операции называют **модуляцией**. Обратные операции восстановления величин, вызвавших изменение параметров при модуляции, называются **демодуляцией**.

Физические процессы, параметры которых содержат информацию, называются **сигналами**. Например, в телефонии электрическими сигналами передаются звуки разговора, в телевидении – изображения.

Для образования сигналов используется фиксированный уровень, колебания или импульсы любой физической природы, которые рассматриваются как **носители** информации. Изменяя один или несколько параметров носителя, в соответствии с передаваемой информацией, осуществляют модуляцию сигнала. Эти параметры называют **информационными**.

Наиболее часто в качестве носителя используют переменное напряжение, которое содержит три параметра: амплитуду U , фазу φ , частоту ω (или период $T = 2\pi/\omega$).

Двоичные сигналы могут быть классифицированы по видам используемой модуляции (рисунок 1.1):

- 1) сигналы с амплитудной модуляцией;
- 2) сигналы с фазовой модуляцией;
- 3) сигналы с относительной фазовой модуляцией;
- 4) сигналы с частотной модуляцией.

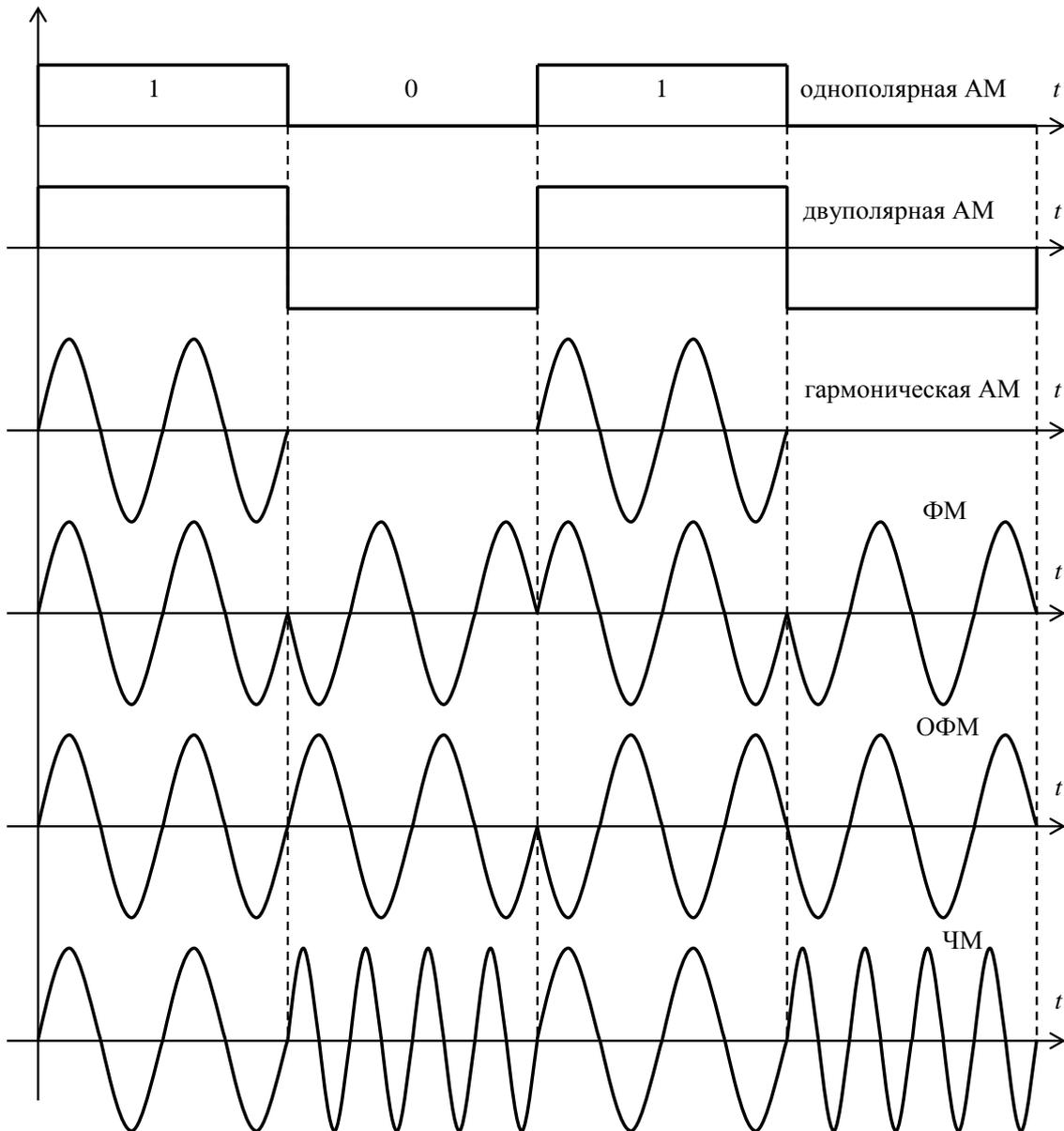


Рисунок 1.1 – Виды двоичных сигналов

Двоичные сигналы с амплитудной модуляцией (АМ), могут быть *однополярными, двуполярными, гармоническими*. Однополярные и двуполярные сигналы применяются для передачи по проводным линиям связи, гармонические применяются для передачи по телефонным линиям связи и по радиоканалам. Гармонические импульсные сигналы на приемном пункте детектируются и превращаются в сигналы однополярные или двуполярные. Для разделения сигналов, соответствующих нулям и единицам, на выходе приемного устройства должно быть применено пороговое устройство, которое выдает единичный сигнал, если напряжение превосходит пороговое значение и дает нулевой сигнал, если напряжение меньше порогового.

Двоичные сигналы с фазовой модуляцией (ФМ). Типичные сигналы с фазовой модуляцией показаны на рисунке 1.1. Импульсы, соответствующие нулю и единице, отличаются друг от друга только фазой колебаний. Отсчет фазы производится относительно фазы опорного когерентного напряжения. Если импульс напряжения, соответствующий нулю, имеет фазу, отличную от опорного напряжения на 180° , то импульс напряжения, соответствующий единице, имеет фазу, совпадающую с фазой когерентного опорного напряжения.

На приемном пункте происходит превращение колебаний, модулированных по фазе, в колебания, модулированные по амплитуде.

Двоичные сигналы с относительной фазовой модуляцией (ОФМ). При использовании ОФМ фаза каждой последующей посылки определяется относительно фазы предыдущей посылки. Если последующая посылка имеет фазу, совпадающую с фазой предыдущей посылки, то последующей посылке приписывается нуль, если фаза последующей посылки изменяется относительно фазы предыдущей посылки на 180° , то последующей посылке приписывается единица. Возможен и обратный подход к передаче нуля и единицы.

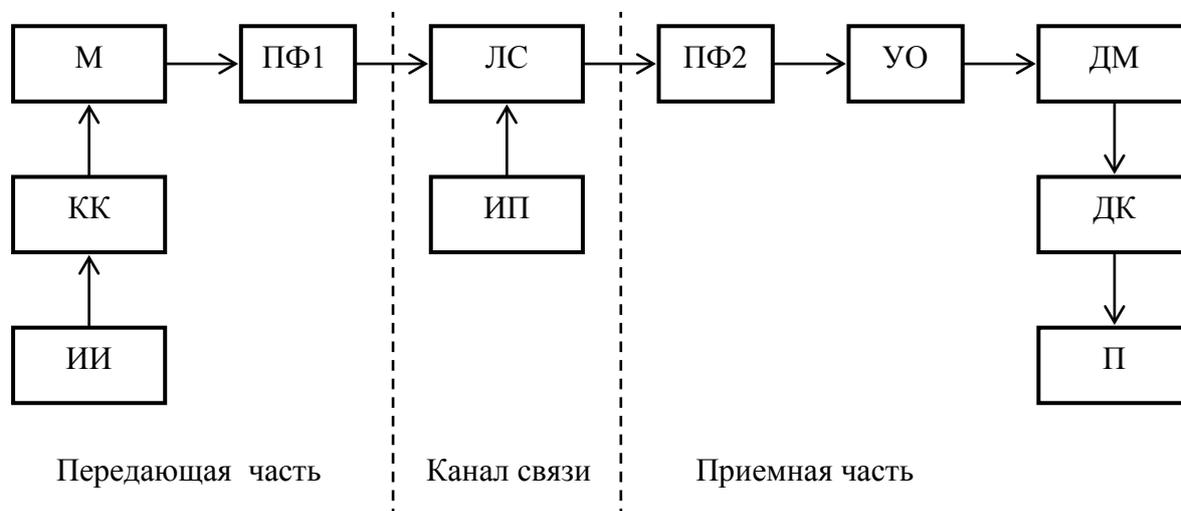
Двоичные сигналы с частотной модуляцией (ЧМ) получили в настоящее время большое применение. Нуль и единица передаются импульсами с двумя различными частотами. Для приема сигналов с частотной модуляцией необходимо иметь два фильтра, настроенных на частоты f_1 и f_2 . На выходе фильтров включается балансный детектор, выдающий видеосигналы отрицательной полярности или положительной – в зависимости от того, принимается сигнал на частоте f_1 или на частоте f_2 .

2 Дискретный канал с частотной модуляцией

Наиболее распространенный тип канала – телефонный с полосой пропускания $\Delta F = 3,1$ кГц и диапазоном частот от $f_n = 0,3$ кГц до $f_b = 3,4$ кГц.

Данные от источника информации, после преобразования параллельного кода в последовательный, представляют обычно в виде беспериодического сигнала без возвращения к нулю (БВН), который соответствует сигналу с двуполярной АМ, представленной на рисунке 1.1. Для передачи прямоугольных импульсов без искажений требуется полоса частот от нуля до бесконечности. Реальные каналы имеют конечную полосу частот, с которой необходимо согласовать передаваемые сигналы путем модуляции.

Структурная схема дискретного канала с ЧМ приведена на рисунке 2.1.



ИИ – источник информации;

КК – кодер канала;

М – модулятор;

ПФ1 – полосовой фильтр передачи;

ЛС – линия связи

ИП – источник помех;

ПФ2 – полосовой фильтр приемника;

УО – усилитель-ограничитель;

ДМ – демодулятор;

ДК – декодер канала;

П – получатель информации.

Рисунок 2.1 – Структурная схема системы передачи информации с ЧМ

Передаваемое сообщение от источника информации **ИИ** в параллельном коде поступает на кодер канала **КК**, который преобразует параллельный код в последовательный двоичный БВН-код. При этом кодер канала вводит избыточные символы в сообщение (например, бит контроля четности), формирует стартовый и стоповый биты на каждый кадр передаваемых данных. Таким образом, выходной сигнал с кодера является модулирующим сигналом для модулятора.

В зависимости от состояния модулирующего сигнала («0» или «1») частотный модулятор **М** формирует частотные посылки с частотой f_1 и f_2 . При поступлении на модулятор сигнала положительной полярности модулятор формирует частоту $f_2 = f_{cp} + \Delta f$, называемой верхней характеристической частотой.

Частота f_{cp} является средней частотой, Δf – девиацией (отклонением) частоты. При поступлении на вход модулятора отрицательной посылки на его выходе появляется частота $f_1 = f_{cp} - \Delta f$, называемая нижней характеристической частотой. Сигнал на выходе модулятора можно рассматривать как суперпозицию двух АМ сигналов, один из которых имеет несущую f_1 , а другой f_2 . Соответственно спектр ЧМ сигнала может быть представлен как суперпозиция спектров двух АМ сигналов (см. рисунок 2.2).

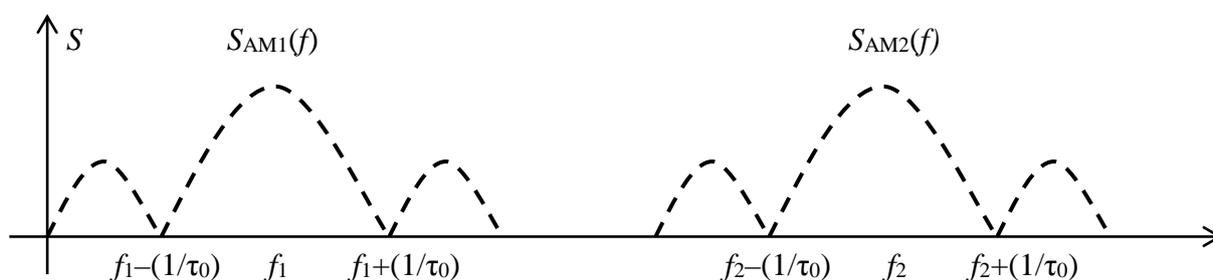


Рисунок 2.2 – Спектр ЧМ сигнала

Ширина спектра ЧМ сигнала шире чем у АМ сигнала на величину, определяемую расстоянием между несущими f_1 и f_2 . Значение $\Delta f = (f_2 - f_1)/2$ характеризует изменение частоты при передаче единицы или нуля относительно ее среднего значения f_{cp} . Отношение девиации частоты Δf к скорости модуляции B называется индексом частотной модуляции:

$$m_{чм} = \Delta f / B.$$

Полосовой фильтр передатчика **ПФ1** ограничивает спектр сигнала, передаваемого в канал связи в соответствии с нижней и верхней границей полосы канала. Ширина спектра сигнала $F_{чм}$ на выходе модулятора зависит от скорости двоичной модуляции B и девиации частоты. Приблизительно $\Delta F_{чм} = 1,6 B$. Чем больше индекс модуляции, тем шире при прочих равных условиях спектр ЧМ сигнала.

Полосовой фильтр приемника **ПФ2** выделяет полосу частот телефонного канала, что позволяет избавиться от помех, находящихся вне полосы пропускания **ПФ2**. Далее сигнал усиливается усилителем-ограничителем **УО**. Усилитель компенсирует потери энергии сигнала в линии за счет затухания. Кроме этого усилитель выполняет дополнительную функцию – функцию ограничения сигнала по уровню. При этом удается обеспечить постоянство уровня сигнала на входе частотного демодулятора **Д**. В демодуляторе, импульсы переменного тока преобразуются в посылки постоянного тока. В декодере канала **ДК** происходит преобразование символов в сообщения. При этом, в зависимости от используемого способа кодирования, происходит обнаружение или исправление ошибок.

3 Частотные модуляторы

Воздействие на частоту переменного напряжения наиболее просто осуществить в месте его возникновения, поэтому частотные модуляторы, как правило, объединены с источником модулируемого напряжения.

В низкочастотной электронике частоту формируемого генератором напряжения изменяют главным образом путем изменения параметров частотно-определяющих элементов автогенератора: емкости, индуктивности и сопротивлений.

При дискретном характере модулирующего сигнала и ограниченном количестве его возможных состояний (в нашем случае – два состояния) частотно-модулированный сигнал должен иметь соответствующее количество стационарных значений частоты. Если при этом допускается скачкообразный переход частоты генератора от одного модуляционного значения к другому, то схема модулятора вырождается в электронный коммутатор, в функции которого входит переключение дополнительных конденсаторов, сопротивлений или катушек индуктивности, подсоединяемых параллельно основным реактивным элементам контура, определяющего частоту генерации.

Вариант такого частотного модулятора, рассчитанного на управление сигналом, показан на рисунке 3.1.

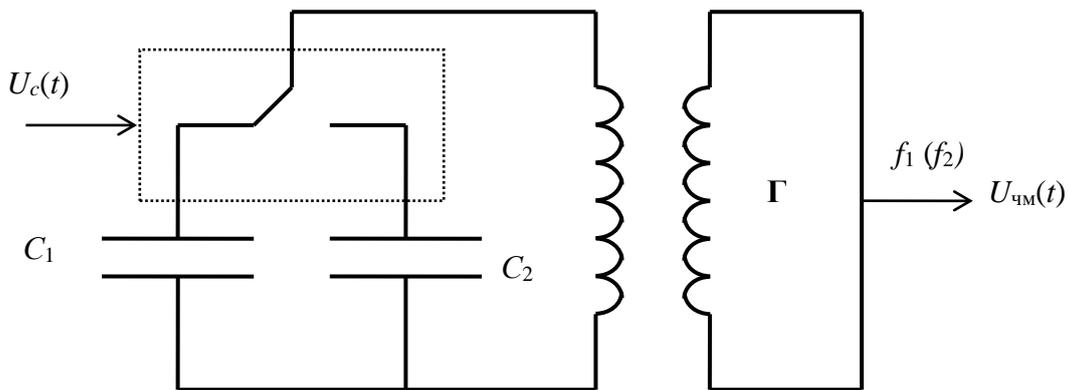


Рисунок 3.1 – Структурная схема частотного модулятора с непосредственным воздействием на частоту генератора

Данная схема частотного модулятора обладает двумя недостатками, имеющими в некоторых случаях большое значение.

Первый из них заключается в том, что характер переходного процесса изменения частоты генератора от одного модуляционного значения к другому, по существу, неуправляем.

Второй недостаток состоит в скачкообразном изменении фазы модулированного напряжения, вызываемом резким изменением параметров колебательного контура. Скачок фазы в свою очередь вызывает искажение спектральных свойств сигнала в сторону увеличения мощности составляющих, далеко отстоящих от средней частоты генератора.

В современных системах с ЧМ наиболее часто используются цифровые схемы получения требуемых частот с помощью делителей частоты ДЧ (см. рисунок 3.2). Благодаря переключению частот nf_1 и nf_2 (во много раз превышающих требуемые f_1 и f_2), уменьшаются скачки фазы Δf и, следовательно, обеспечиваются меньшие по величине искажения ЧМ сигнала.

Время изменения частоты от f_1 до f_2 называется временем нарастания переходного процесса $t_{\text{н}} = 1/\Delta F_{\text{к}}$, где $\Delta F_{\text{к}}$ – ширина канала.

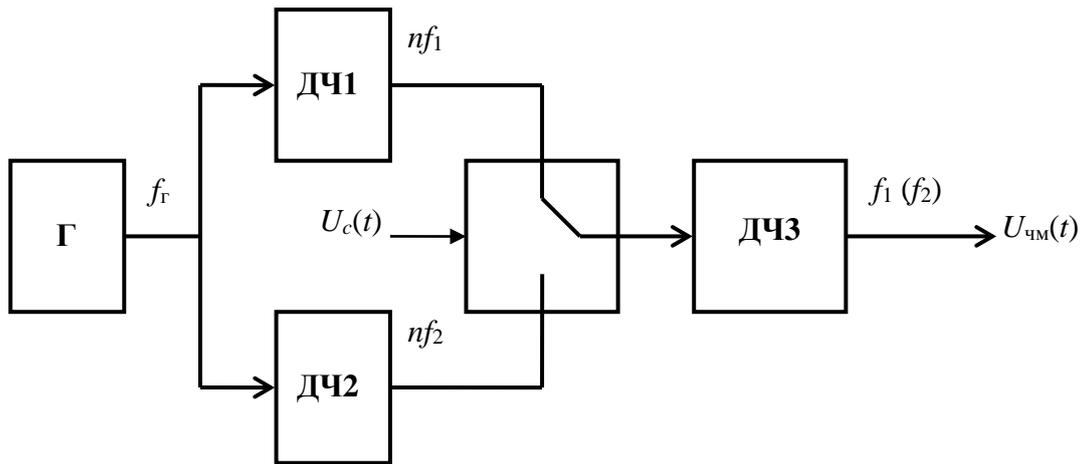


Рисунок 3.2 – Структурная схема частотного модулятора без непосредственного воздействия на частоту генератора

4 Частотные демодуляторы

Демодуляторы ЧМ сигналов также могут быть реализованы как на цифровых, так и на аналоговых устройствах. Один из вариантов аналогового демодулятора использует представление ЧМ сигнала в виде суммы двух АМ сигналов. Такая схема получила название двухполосной схемы приема по огибающей (см. рисунок 4.1).

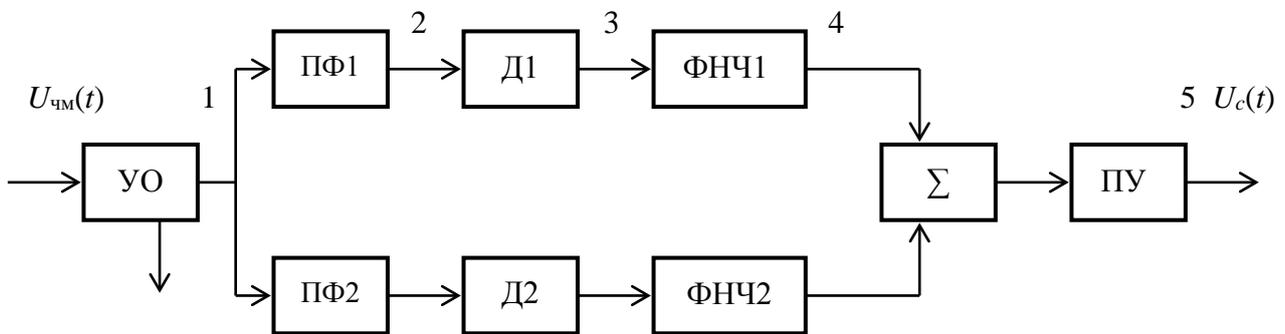


Рисунок 4.1 – Демодулятор ЧМ сигнала по огибающей

В верхнем тракте демодулятора выделяется огибающая сигнала с частотой f_1 , в нижнем – с частотой f_2 . При прохождении через полосовые фильтры ПФ1 и ПФ2 ЧМ сигнал приобретает признаки амплитудной модуляции. В каждом тракте имеются амплитудные демодуляторы (детекторы) Д1 и Д2 и фильтры нижних частот ФНЧ1, ФНЧ2. Сигналы трактов суммируются с разным знаком в суммирующем устройстве. Пороговое устройство ПУ обеспечивает получение бесперебойного сигнала с хорошими параметрами (амплитуда импульсов, длительность фронтов).

Временные диаграммы для одного тракта работы такой схемы приведены на рисунке 4.2.

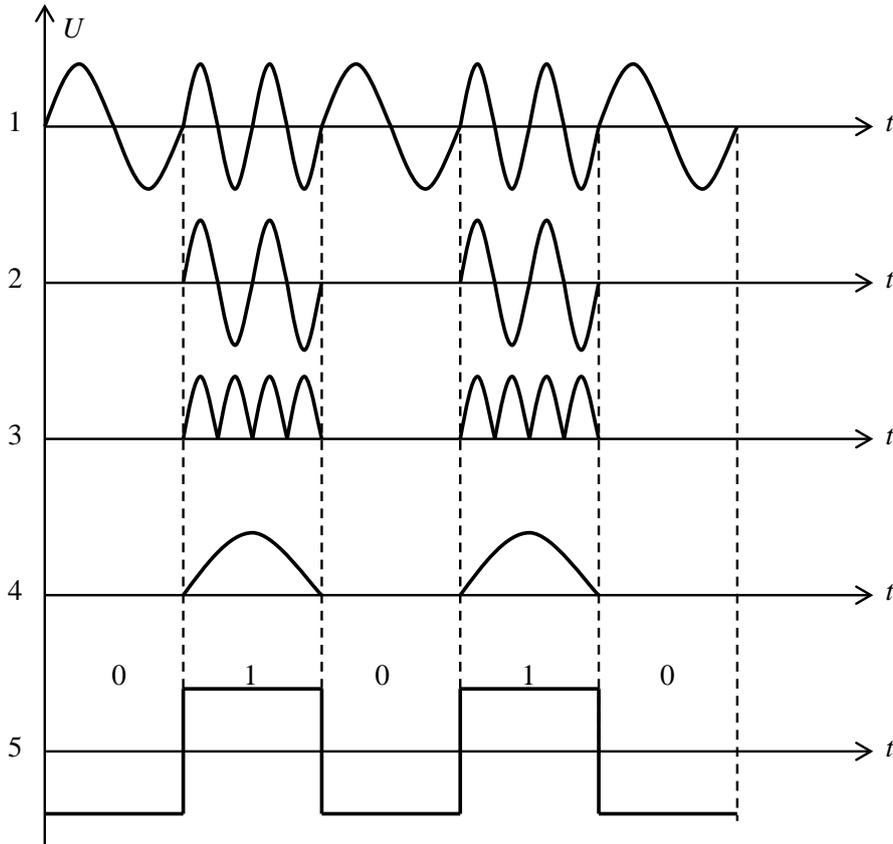


Рисунок 4.2 – Временные диаграммы частотного демодулятора при приеме по огибающей

В цифровых частотных демодуляторах реализуется принцип классификации принимаемых сигналов по частоте на основе измерения длительности полупериода (или периода) принимаемого сигнала. На основании измерения длительности полупериода при двоичной модуляции решающее устройство отождествляет принятый полупериод с одним из значений полярности сигнала. Таким образом реальный ЧМ сигнал разбивается на элементарные отрезки сигнала, содержащие полупериод несущего колебания. Определение границ единичных элементов осуществляется с точностью, не превышающей длительность одного элементарного отрезка сигнала. Разновидностью метода измерения длительности полупериода (периода) принимаемого сигнала является метод измерения разности набега фазы каждого текущего колебания относительно предшествующего периода. Структурная схема цифрового частотного демодулятора приведена на рисунке 4.3.

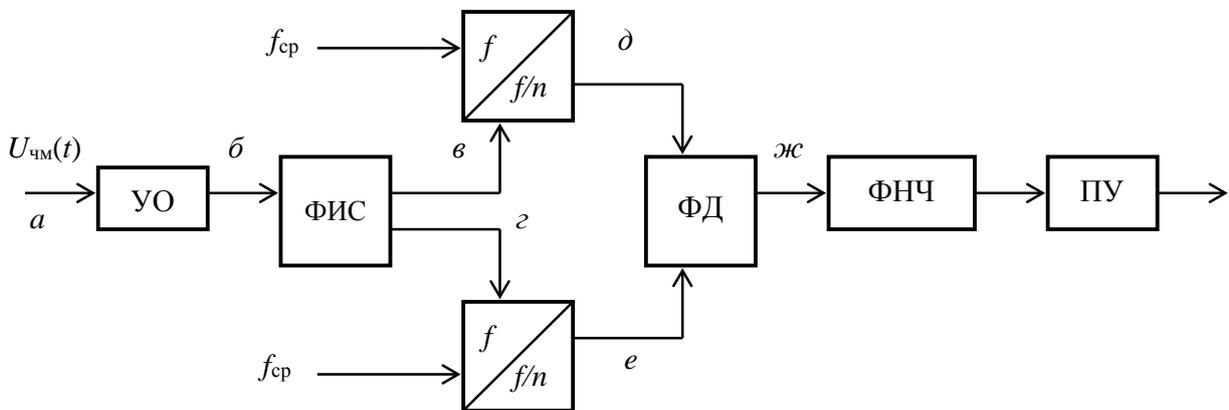


Рисунок 4.3 – Структурная схема цифрового частотного демодулятора

Временные диаграммы, поясняющие принцип действия цифрового частотного демодулятора, приведены на рисунке 4.4.

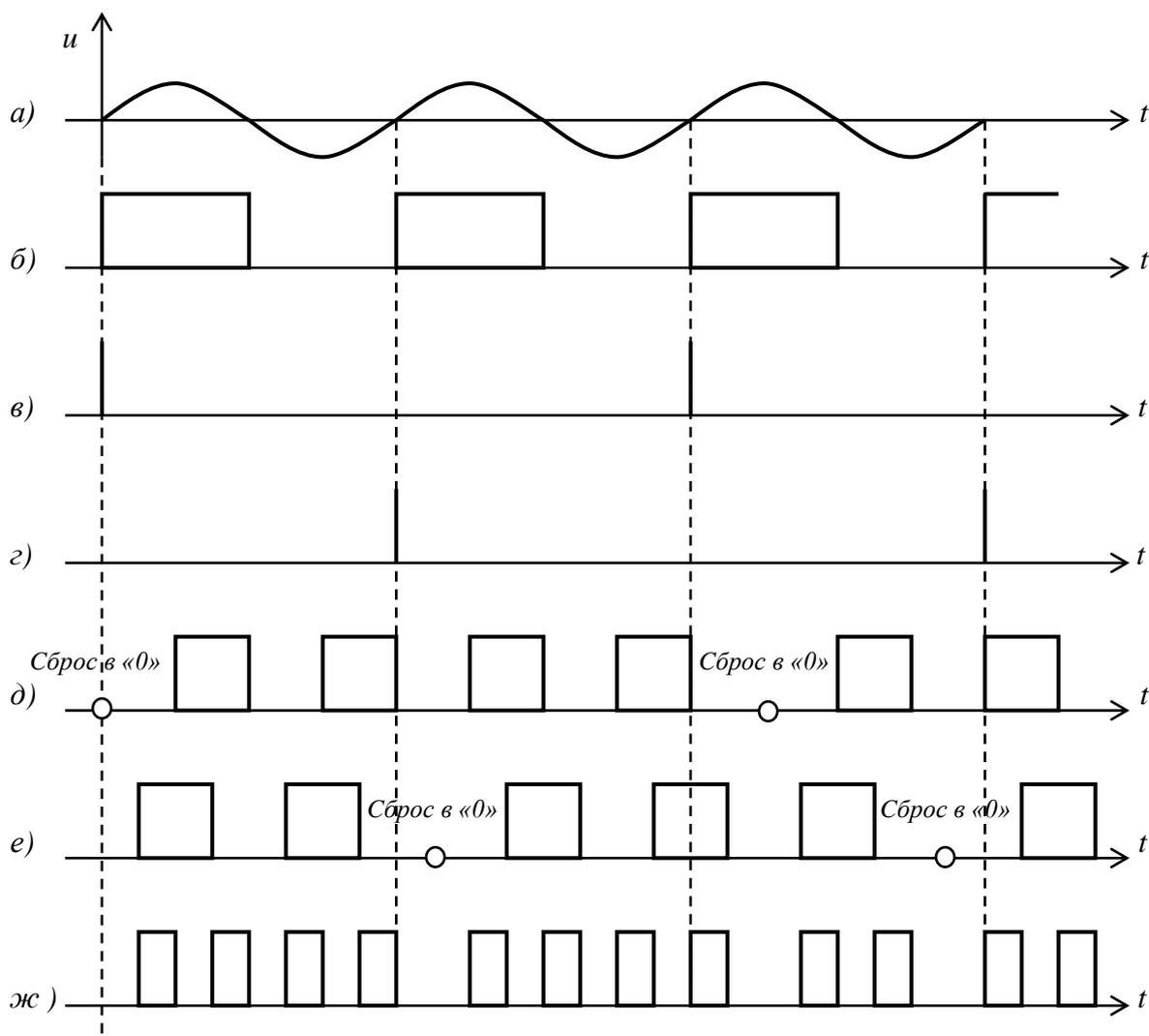


Рисунок 4.4 – Временные диаграммы цифрового частотного демодулятора

Входной сигнал (рисунок 4.4, а), соответствующий частоте f_{cp} , преобразуется усилителем-ограничителем УО в прямоугольные импульсы (рисунок 4.4, б).

В формирователе импульсов сброса ФИС выделяются короткие импульсы, соответствующие каждому периоду входного сигнала из импульсов, изображенных на рисунке 4.4, б. Короткие импульсы подаются поочередно на делители частоты (рисунки 4.4, в и г), устанавливая их в начальное состояние (рисунки 4.4, д и е). Импульсы на выходе делителей при приеме средней частоты f_{cp} изображены на рисунках 4.4, д и е. В этом случае между сигналами на выходе делителей сдвиг по фазе равен четверти периода, причем знак сдвига фаз меняется после поступления каждого импульса сброса. Сигналы с выходов делителей поступают на вход фазового детектора ФД (выполненного в виде сумматора по mod2), на выходе которого возникает последовательность импульсов (рисунок 4.4, ж), ширина каждого из которых зависит от соотношения фаз сигналов на выходах делителей.

При появлении на входе демодулятора частоты $f_2 > f_{cp}$ последовательность импульсов становится шире, а при появлении на входе демодулятора частоты $f_1 < f_{cp}$ – уже.

Выделяя с помощью ФНЧ постоянную составляющую, имеем $u_2 < u_1$, где u_2 – постоянная составляющая, соответствующая сигналу с частотой f_2 ; u_1 – постоянная составляющая, соответствующая сигналу с частотой f_1 . Подавая постоянную составляющую на пороговое устройство (ПУ) с порогом срабатывания $u_{ср\text{аб}} = (u_2 + u_1)/2$, получаем на выходе ПУ прямоугольные импульсы, соответствующие переданным единичным элементам.

5 Программа лабораторной работы № 2

5.1 Ознакомиться с функциональной схемой частотного модулятора, приведенной на рисунке 5.1. Определить индекс частотной модуляции согласно таблице 5.1. для вашего варианта лабораторной работы. Номер варианта задается преподавателем.

Таблица 5.1

Вариант	Скорость модуляции, Бод	f_1 (Гц)	f_2 (Гц)
1	50	390	450
2	100	540	900
3	150	1080	1560
4	200	1300	2100
5	300	1560	2520
6	600	2520	3000
7	1200	3000	3420
8	2400	3420	4200

5.2 Определить параметры задающих генераторов Γ_1 и Γ_2 модулятора по данным таблицы 5.1. Необходимо учесть, что частота задающего генератора должна быть в 16 раз выше требуемой, так как в схеме ЦАП происходит предварительное деление частоты, а уже затем формирование синусоидального сигнала.

5.2.1 В программе моделирования электронных схем ASIMES создать файл, содержащий схемы задающих генераторов кодера и схему коммутатора канала передачи данных, которая будет использоваться в качестве формирователя входного (модулирующего) сигнала модулятора. Принципиальную схему собирать по рисунку 5.2.

Проверить с помощью осциллографа работоспособность задающих генераторов и подсхемы «Коммутатор».

5.2.2 Дополнить схему цифро-аналоговым преобразователем (ЦАП) и фильтром нижних частот (ФНЧ) (см. ПРИЛОЖЕНИЕ А).

ФНЧ необходимо предварительно проверить в отдельном окне программы ASIMES в режиме частотного анализа с целью более точного определения его параметров для заданной полосы частот f_1 и f_2 .

Начинать сборку схемы с ФНЧ. Убедиться в правильности сборки схемы и снять амплитудно-частотную характеристику ФНЧ, используя плоттер. Затем дополнить схему, собрав ЦАП и присоединив модуль коммутатора и задающих генераторов.

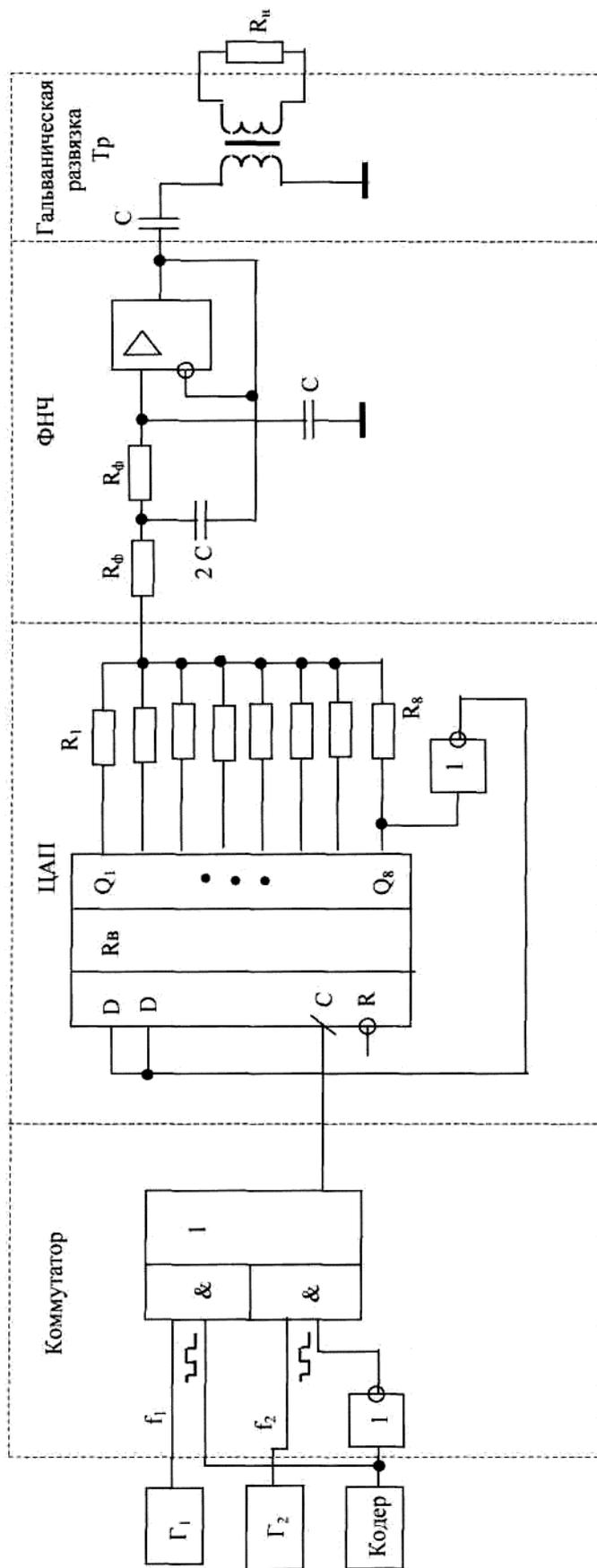


Рисунок 5.1 – Функциональная схема частотного модулятора

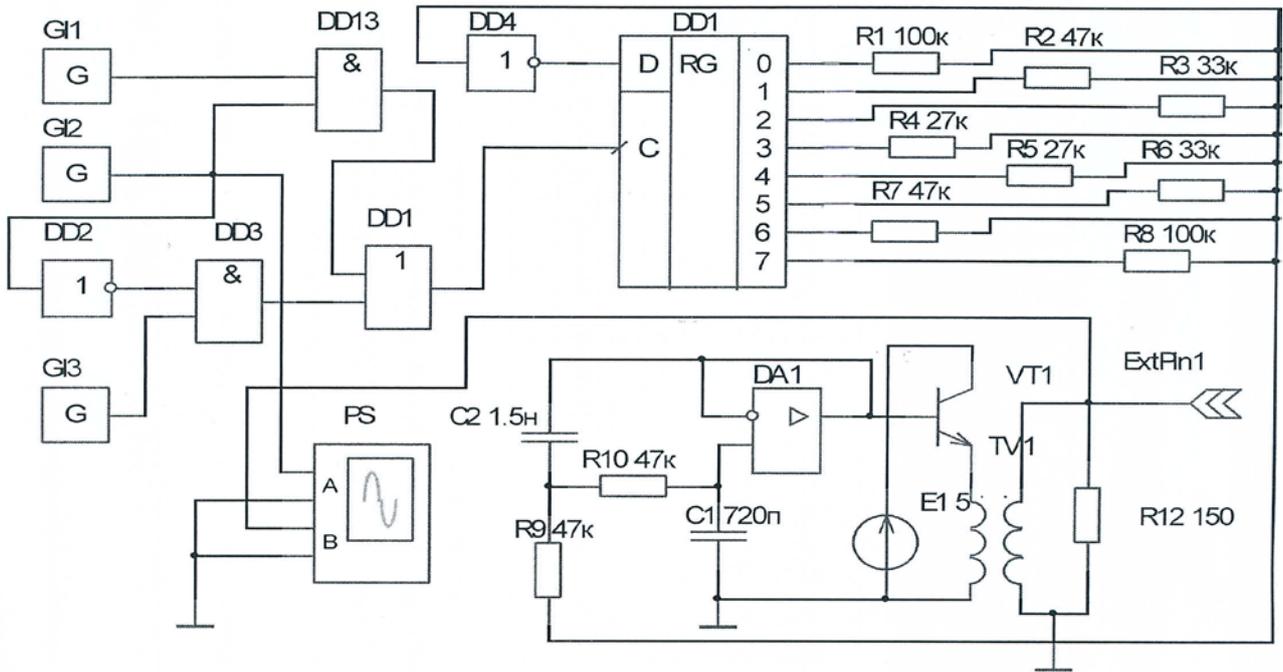


Рисунок 5.2 – Схема электрическая принципиальная модулятора канала передачи

5.3 Проверить работоспособность полной схемы модулятора и снять осциллограммы модулирующего и выходного сигналов (пример осциллограмм на рис. 5.3).

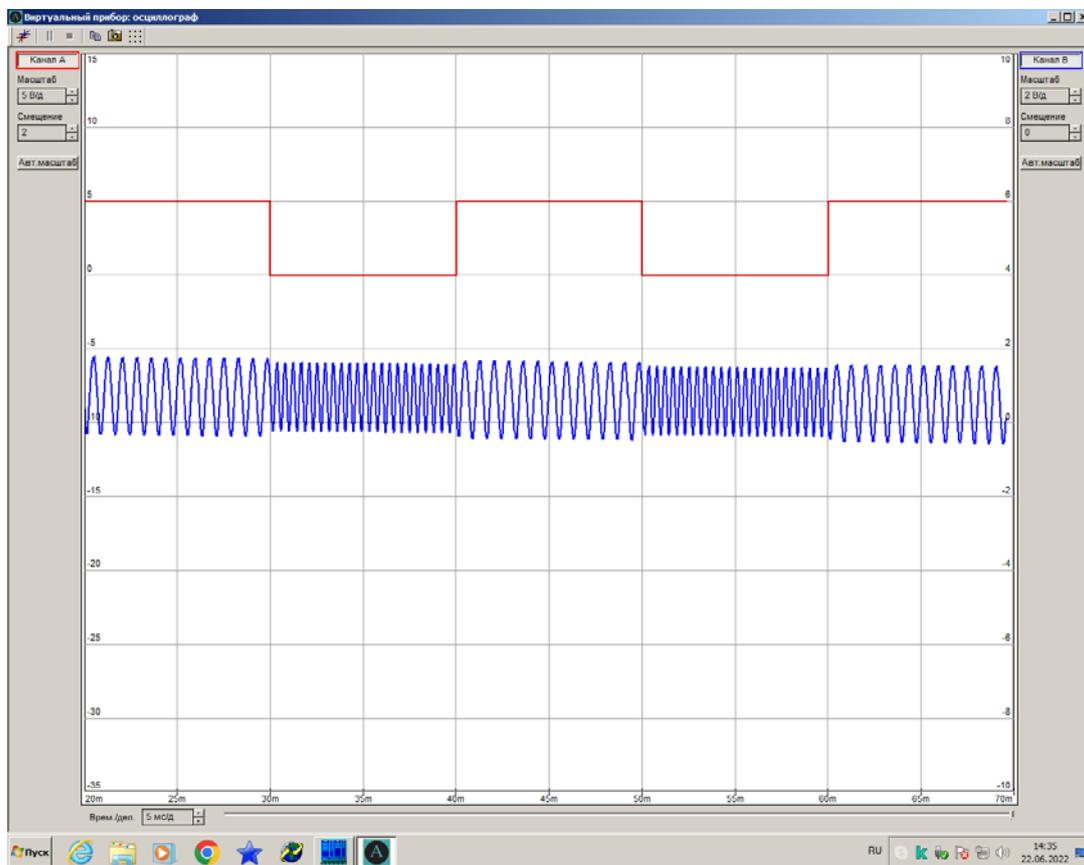


Рисунок 5.3 – Осциллограмма сигналов на входе и выходе модулятора

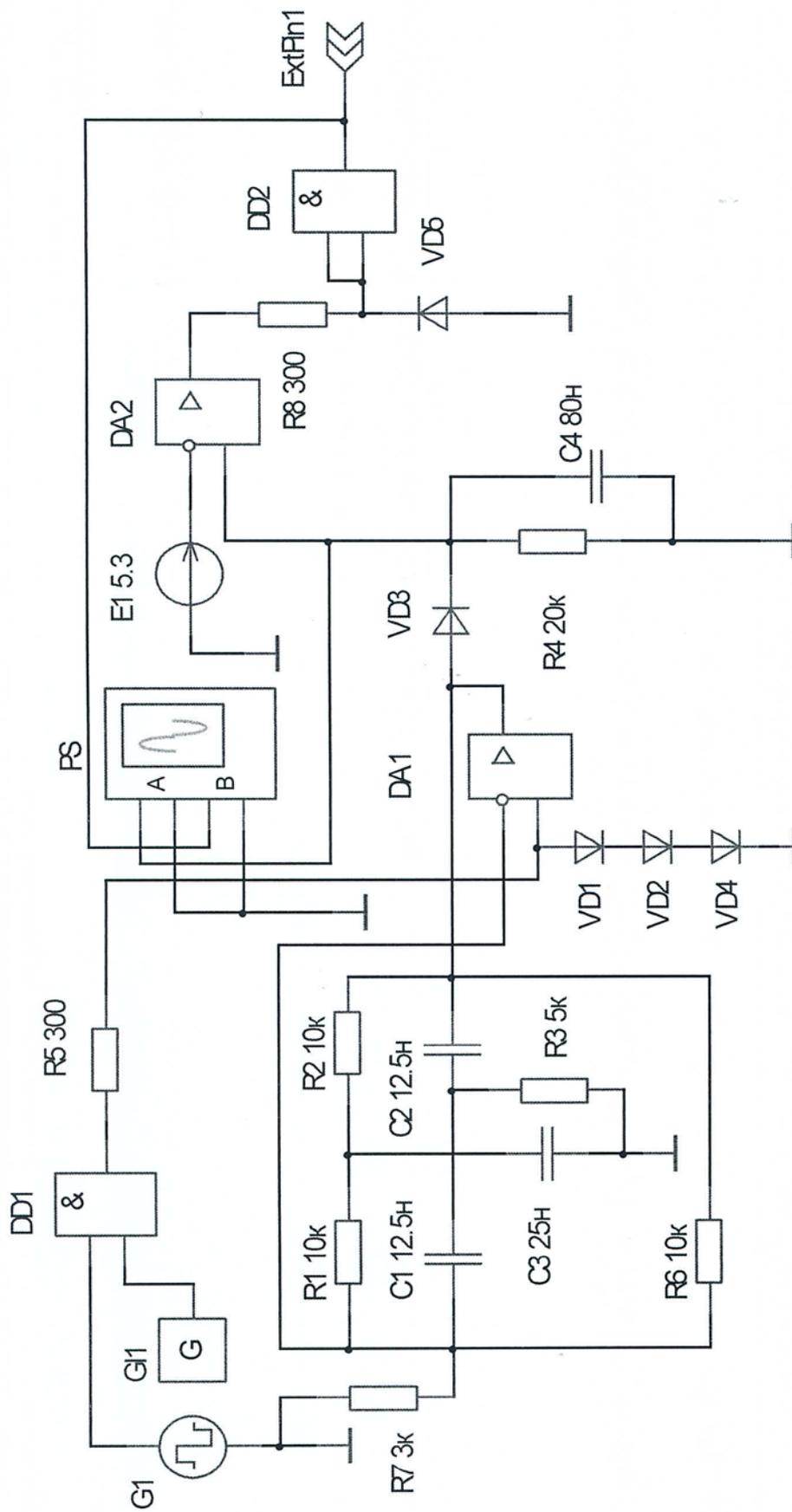


Рисунок 5.4 – Электрическая схема частотного демодулятора

5.4 Ознакомьтесь с электрической принципиальной схемой частотного демодулятора, (прием по огибающей), приведенной на рисунке 5.4.

Данная схема несколько упрощена по сравнению со схемой на рисунке 4.1, за счет исключения одного тракта приема и сумматора.

В качестве источника входного сигнала (G1, G11) применить генераторы с параметрами вашего варианта работы (задать скорость модуляции (Бод) и частоту f_1 (Гц)).

5.3.1 Рассчитать элементы полосового фильтра для единичного элемента сигнала (f_1) согласно выбранному варианту задания. Расчетные соотношения приведены в приложении Б.

5.3.2 Собрать схему полосового фильтра, проверить работоспособность схемы и снять амплитудно-частотную характеристику.

5.3.3 Собрать полную схему демодулятора (рис. 5.4).

5.3.4 Проверить работоспособность схемы демодулятора и снять осциллограммы напряжений на входе и на выходе демодулятора (рис. 5.5).

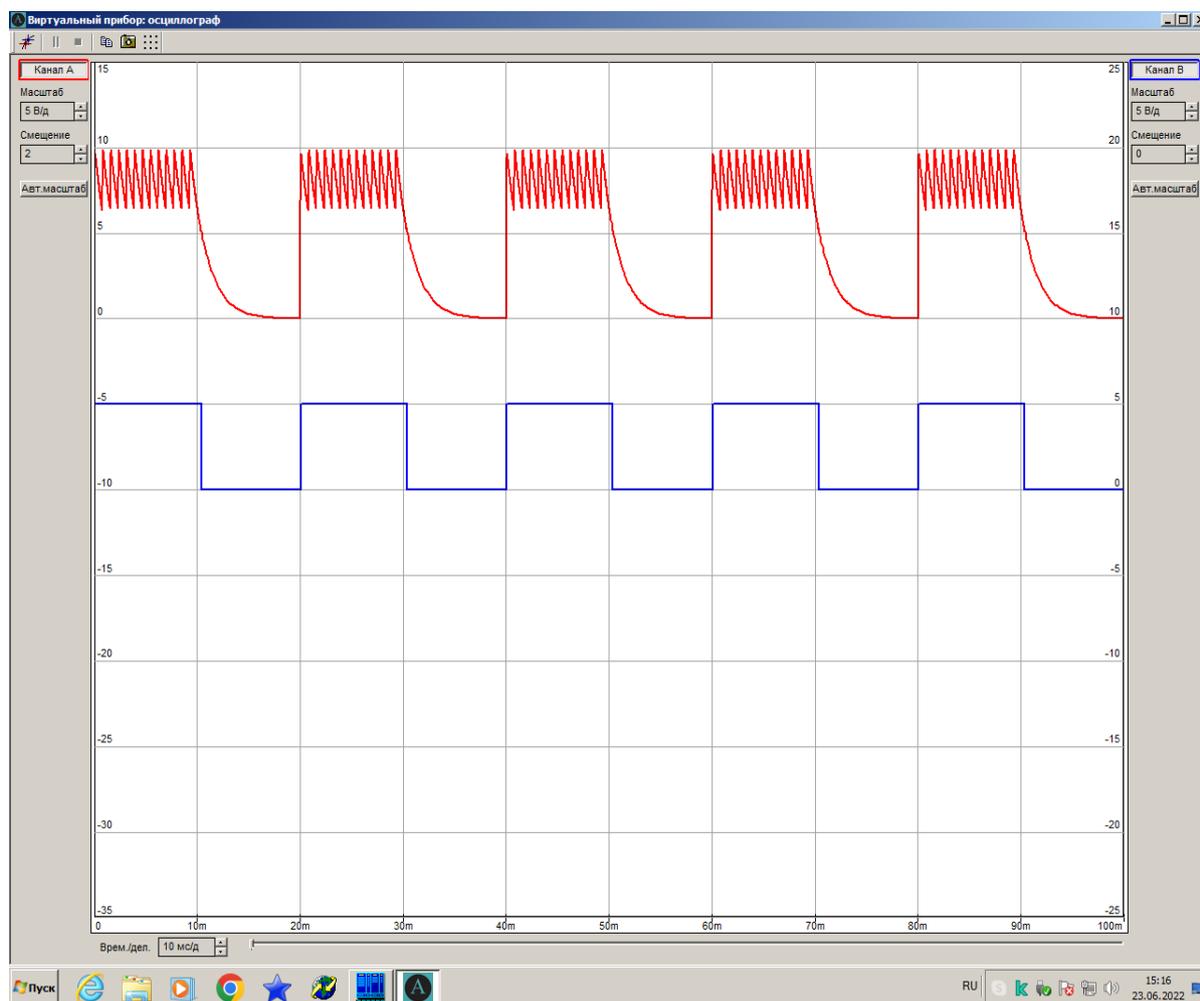


Рисунок 5.5 – Осциллограмма напряжений на входе и выходе порогового устройства

6 Содержание отчета по лабораторной работе

Отчет должен содержать расчетную часть, схемы испытанных в работе модуляторов и демодуляторов. Результаты проведенных испытаний (осциллограммы, частотные характеристики и т.п.), ответы на контрольные вопросы по пунктам программы работы.

7 Контрольные вопросы

7.1 Какие параметры сигналов называют информационными?

7.2 Какие недостатки присущи частотным модуляторам с непосредственным воздействием на частоту генератора?

7.3 В чем преимущество частотных модуляторов, выполненных по схеме делителей частоты, по сравнению со схемами непосредственного воздействия на частоту генератора?

7.4 Чем определяется время нарастания переходного процесса при переключении генерируемой частоты модулятора?

7.5 Поясните, почему уменьшаются скачки фазы в частотном модуляторе при использовании делителей частоты?

8 Список рекомендуемой литературы

8.1 Савчук, В. Л. Электронные средства сбора, обработки и отображения информации : учеб. пособие. – Томск : ТУСУР, 2007. – 174 с.

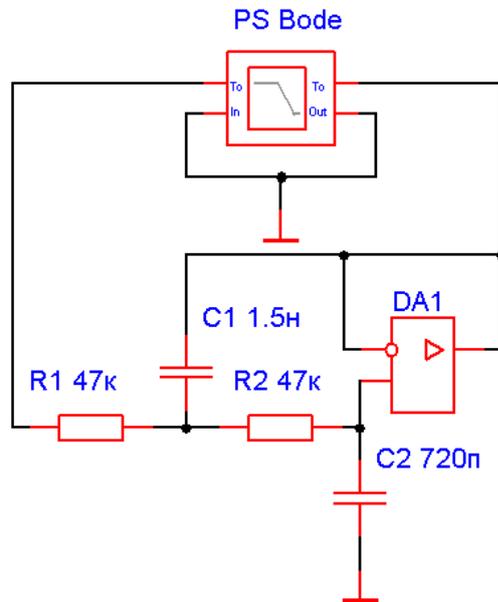
8.2 Савчук, В. Л. Руководство к организации самостоятельной работы для студентов направления «Электроника и микроэлектроника» / В. Л. Савчук ; Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, кафедра промышленной электроники. – Томск : ТУСУР, 2006. – 27 с.

8.3 Общие требования и правила оформления отчетов по лабораторным работам: методические указания по оформлению отчетов по лабораторным работам для студентов всех специальностей / Н. И. Кузбных : Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники – Томск, 2012. – URL: <http://edu.tusur.ru/training/publications/3890> (дата обращения: 29.06.2022).

8.4 Система моделирования электронных схем «Asimes». [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.ie.tusur.ru/content.php?id=49> (дата обращения: 29.06.2022).

Приложение А Фильтр нижних частот (ФНЧ)

Фильтры нижних частот имеют плоскую характеристику на нижних частотах, а на высоких она имеет довольно крутой спад. Пример схемы активного ФНЧ приведена на рисунке А.1.



$$C_1 = \frac{R_1 + R_2}{2\sqrt{2} \cdot \pi \cdot f_r \cdot R_1 \cdot R_2}$$

$$C_2 = \frac{1}{\sqrt{2} \cdot \pi \cdot f_r \cdot (R_1 + R_2)}$$

Рисунок А.1 – Схема активного ФНЧ

Для расчета емкостей C_1 и C_2 необходимо задаться значениями сопротивлений R_1 и R_2 , а также величиной граничной частоты f_r , на которой выходной сигнал уменьшается на 3 дБ. На рисунке А.2 приведена ЛАЧХ активного ФНЧ.

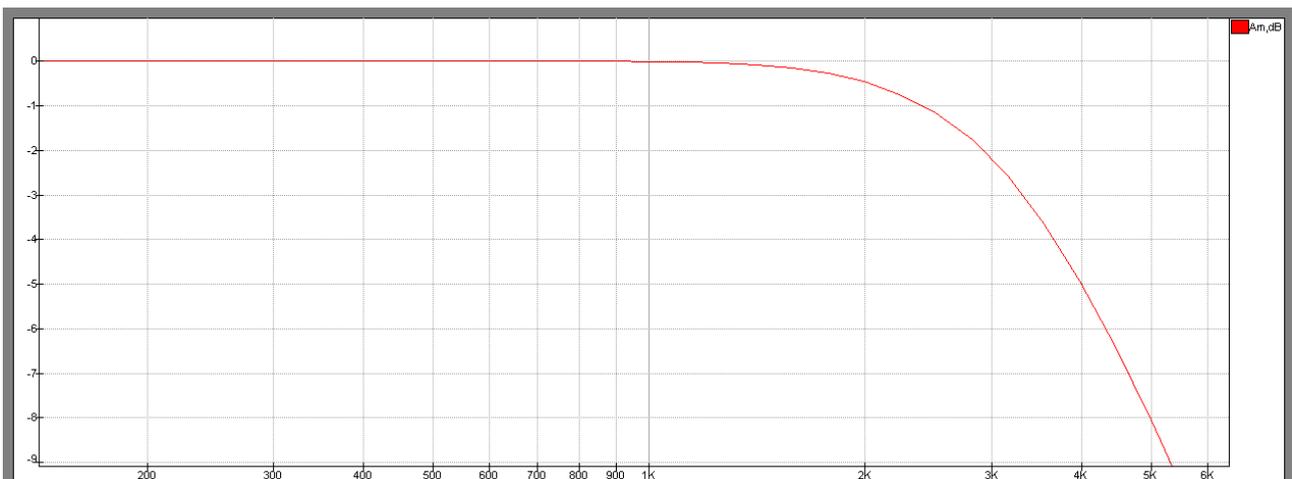


Рисунок А.2 – ЛАЧХ ФНЧ

Приложение Б Активные избирательные фильтры

Двойные Т-образные избирательные фильтры применяются для пропускания или усиления желаемой частоты или некоторого диапазона частот. Фильтры, которые согласованы с каналами передачи данных только по полосе пропускания, являются квазиоптимальными. Для радиоимпульса, длительностью T , оптимальная полоса фильтра с прямоугольной частотной характеристикой $\Delta f = 1,37/T$. Например, для скорости модуляции $B = 100$ Бод, длительность посылки составит $T = 10$ мс, а полоса фильтра $\Delta f = \frac{1,37 \cdot 10^3}{10} = 137$ Гц.

Зная характеристическую частоту модулятора, находим добротность полосового фильтра демодулятора. Допустим, что верхняя характеристическая частота $f_2 = 1300$ Гц, тогда добротность полосового фильтра определяется как

$$Q_{\text{экв}} = \frac{f_2}{\Delta f} = \frac{1300}{137} \approx 10.$$

Практическая схема двойного Т-образного полосового фильтра показана на рисунке Б.1. Двойной Т-образный мост включен в цепь обратной связи ОУ. Напряжение на выходе дифференцирующего моста опережает по фазе входное, а на выходе интегрирующего моста – отстает. На частоте квазирезонанса напряжения на выходе мостов оказываются равными по величине, но противоположными по фазе.

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \cdot R \cdot C}.$$

При этом результирующее напряжение на выходе 2Т-моста оказывается равным нулю. На частоте квазирезонанса усилитель имеет наибольшее усиление

$$K_0 = 1 + \frac{R_2}{R_1}.$$

Эквивалентная добротность $Q_{\text{экв}} = K_0/4$.

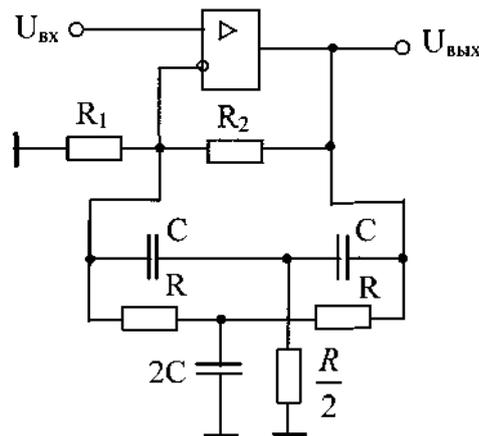


Рисунок Б.1 – Схема двойного Т-образного полосового фильтра

При расчете элементов схемы на конкретную частоту f_0 необходимо задаться величиной сопротивления резистора R и определить значения емкости конденсатора C . Значения

сопротивлений резисторов R_1 и R_2 определяются исходя из требуемой эквивалентной добротности каскада.

Частотная характеристика полосового фильтра приведена на рисунке Б.2.

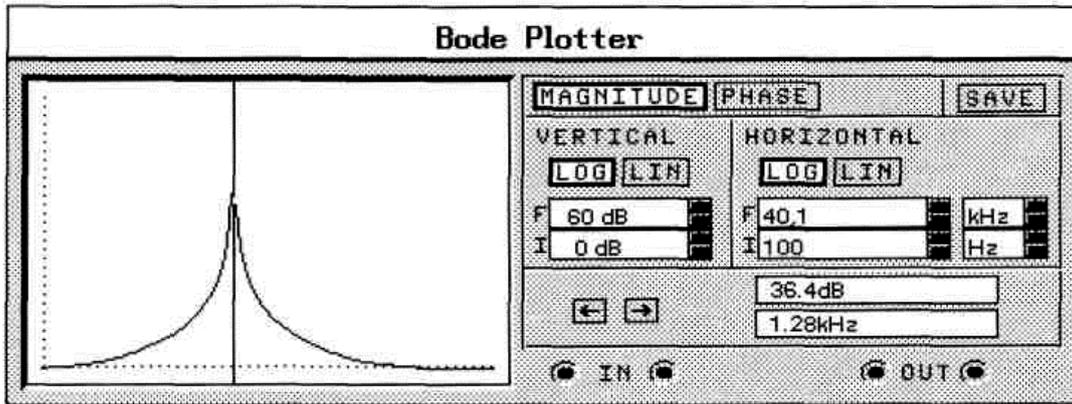


Рисунок Б.2 – Частотная характеристика полосового фильтра