



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
УПРАВЛЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Кафедра «Радиоэлектроника»

**Методические указания**  
к лабораторной работе  
«Исследование амплитудного модулятора»  
по дисциплине

**«Общая теория связи»**

Авторы  
Назарова О. Ю.,  
Звездина М. Ю.

Ростов-на-Дону, 2019



## Аннотация

Методические указания предназначены для студентов очной, заочной форм обучения направления 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи».

## Авторы

к.т.н., доцент кафедры «Радиоэлектроника»  
Назарова О.Ю.,

д.ф.-м.н., профессор кафедры  
«Радиоэлектроника» Звездина М.Ю.



## Оглавление

<b>Цель работы.....</b>	<b>4</b>
<b>1. Описание последовательности выполнения исследования.....</b>	<b>4</b>
<b>2. Исследование процесса амплитудной модуляции .....</b>	<b>4</b>
<b>3. Исследование работы амплитудного детектора .....</b>	<b>11</b>
<b>4. Последовательность выполнения исследования работы АД.....</b>	<b>13</b>
<b>Содержание отчета .....</b>	<b>16</b>
<b>Контрольные вопросы .....</b>	<b>16</b>
<b>Литература .....</b>	<b>17</b>

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Исследование сигналов с амплитудной модуляций, исследование работы амплитудного модулятора и амплитудного детектора

## 1. ОПИСАНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Структура выполняемой работы следующая:

- исследование влияния коэффициента модуляции и метода модуляции на временную диаграмму (осциллограмму) модулируемого сигнала;
- исследование зависимости спектра модулируемого сигнала от метода модуляции.

- исследование работы частотного детектора

Для проведения исследований использовать программный продукт *ElectronicWorkbench* и языковую среду *MathCad 14*.

- задать исходные данные в соответствии с вариантом из таблицы 1.

Таблица 1 – Варианты исходных данных для проведения исследований

Номер варианта	Амплитуда источника $V_1$ , В	Частота источника $V_1$ , кГц	Амплитуда источника $V_2$ , В	Частота источника $V_2$ , кГц	$L_1$ , мкГн	$C_2$ , нФ	$R_5$ , Ом
1	0,5	155	0,1	3	300	3,6	12
2	0,5	200	0,1	5	620	1,0	51
3	0,5	450	0,1	7	62	2,0	3
4	0,5	610	0,1	3	30	2,2	1
5	0,5	255	0,1	7	300	1,3	27
6	0,5	185	0,1	4	620	1,2	47
7	0,5	515	0,1	8	62	1,5	2
8	0,5	405	0,1	6	150	1,0	6,2
9	0,5	180	0,1	2,5	150	5,1	1,5
10	0,5	295	0,1	2	62	47	1

## 2. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА АМПЛИТУДНОЙ МОДУЛЯЦИИ

Детектирование или демодуляция – это радиофизический процесс, обратный модуляции, т. е. из принятого модулированно-

го сигнала должен получиться первоначальный полезный сигнал, который промодулировали в передатчике и излучили в пространство в виде электромагнитных волн.

Модуляция - это процесс управления одним или несколькими параметрами высокочастотного (ВЧ) колебания. Управляющим является сигнал, несущий информацию.

Амплитудной модуляцией (АМ) называется образование сигнала путем изменения амплитуды гармонического колебания пропорционально мгновенным значением напряжения или тока другого электрического сигнала (сообщения).

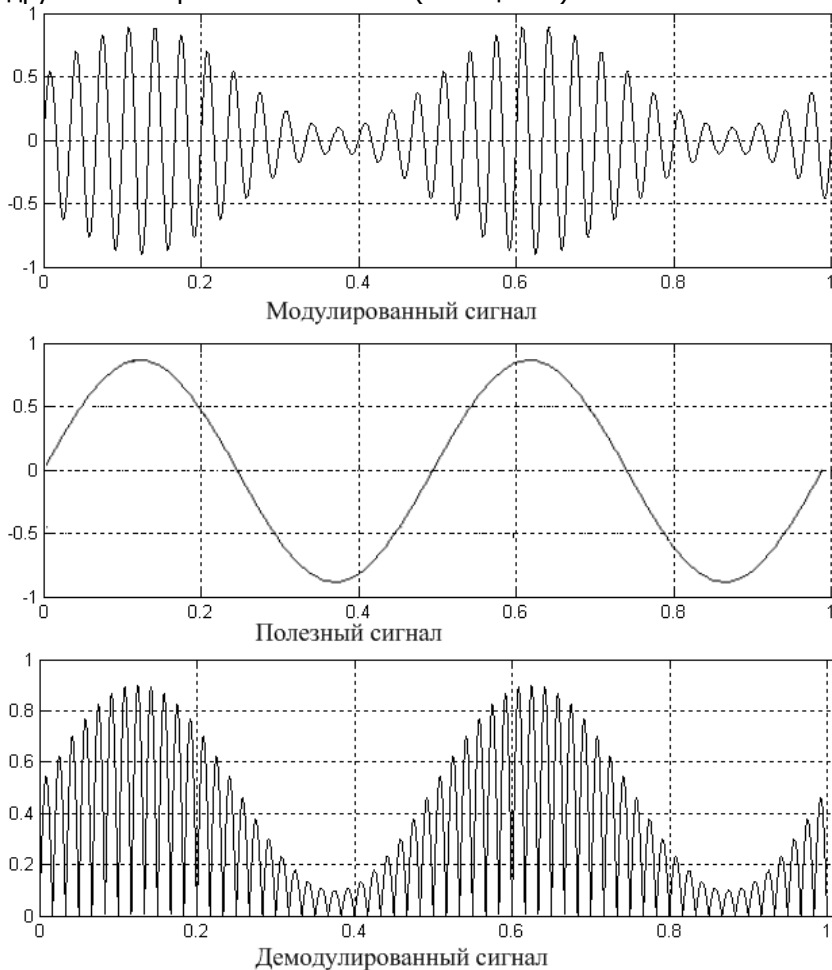


Рисунок 1 - Пример амплитудной модуляции

## 2.1 Выполнение исследований по влиянию параметров амплитуд генераторов на временную диаграмму модулируемого сигнала

2.1.1 Работу начать с исследования влияния амплитуды  $V_2$  источника модулирующего сигнала на коэффициент модуляции.

Для проведения исследований необходимо включить модель и наблюдать АМ-сигнал на выходе осциллографа  $B$  (в режиме  $DC$ ), установив необходимые значения длительности развертки ( $Timebase$ ) и делителей напряжения ( $Scale$ ).

Выключить модель незадолго до момента полного хода луча осциллографа. Включить транспонирование осциллограмм в *Exel*. Для этого последовательно нажать ИНСТРУМЕНТЫ-ЭКСПОРТ В *Exel*.

Копировать график в соответствующий раздел отчета.

Повторить измерения по п.2.1.1, увеличивая амплитуду источника  $V_2$  для следующих значений: 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3 и 5 В.

В таблицу 2.1 занести полученные значения коэффициента модуляции, рассчитанной с использованием формулы:

$$m = \frac{V_{\max} - V_{\min}}{V_{\max} + V_{\min}} 100\% . \quad (2.1)$$

Таблица 2.1 – Зависимость коэффициента модуляции и коэффициента полезного действия от амплитуды источника  $V_2$  модулирующего сигнала

Номер измерения	Амплитуда источника $V_2$ , В	Коэффициент модуляции $m$ , %	КПД $\eta$ , %
1	0,5	4,37	0,095
2	1	5,93	0,176
3	1,5	7,55	0,284
4	2	9,19	0,421
5	2,5	10,97	0,598
6	3	12,62	0,79
7	5	17,81	1,561

Для примера в таблицу 2.1 были помещены данные исследований для первого варианта. На рисунках 2.1-2.3 приведены

временные диаграммы (осциллограммы), полученные для значений первого, второго и седьмого номера измерений.

Анализ данных таблицы 2.1 показывает, что увеличение амплитуды источника  $V_2$  модулирующего сигнала приводит к росту коэффициента модуляции. Однако рост незначительный. Так, при увеличении амплитуды с 0,5 В до 5 В, т.е. в 10 раз, коэффициент модуляции увеличился всего на 13%.

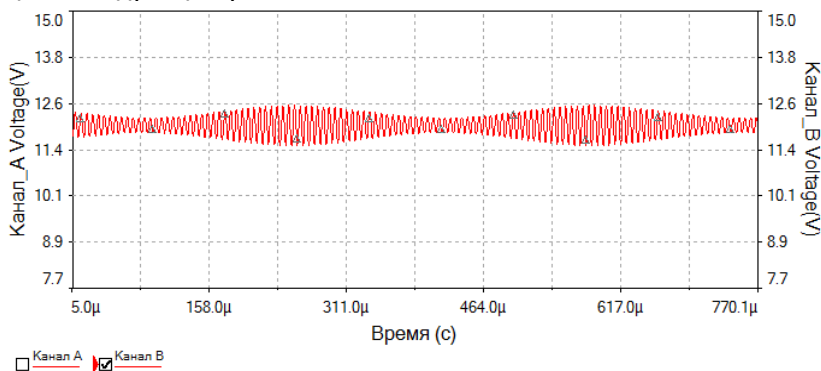


Рисунок 2.1 – Осциллограмма модулируемого сигнала при амплитуде источника модулирующего сигнала  $V_2 = 0.5$  В

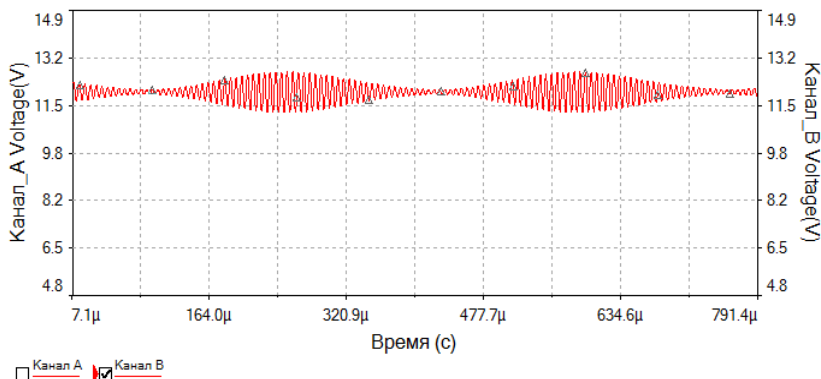


Рисунок 2.2 – Осциллограмма модулируемого сигнала при амплитуде источника модулирующего сигнала  $V_2 = 1$  В

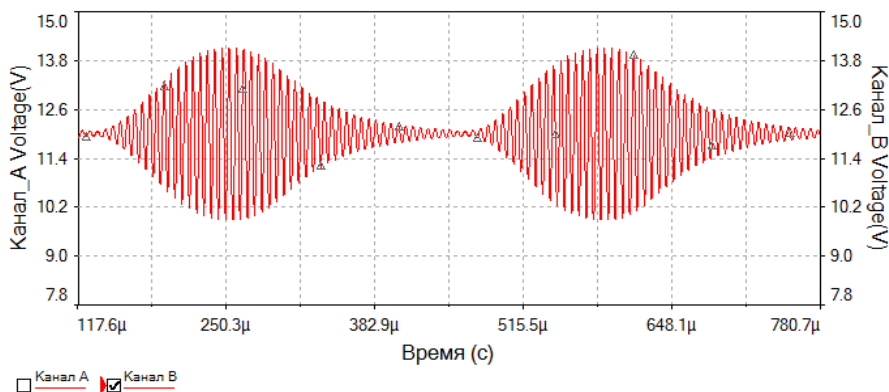


Рисунок 2.3 – Осциллограмма модулируемого сигнала при амплитуде источника модулирующего сигнала  $V_2 = 5$  В

Величина коэффициента полезного действия, зависящая от коэффициента модуляции, не превышает 1,5%.

2.1.2 Для проведения исследований влияния амплитуды источника несущей частоты  $V_1$  на форму АМ-сигнала необходимо установить амплитуду источника модулирующего сигнала  $V_2 = 0.5$  В, а амплитуду источника несущих колебаний  $V_1 = 1$  В.

Выключить модель незадолго до момента полного хода луча осциллографа. Копировать график в соответствующий раздел отчета.

Повторить измерения по п.2.1.2, увеличивая амплитуду источника несущих колебаний  $V_1$  для следующих значений: 1.5, 2, 2.5 В. Построить графики и поместить их в отчет. Заполнить данные таблицы 2.2.

Таблица 2.2 – Зависимость коэффициента модуляции и коэффициента полезного действия от амплитуды источника  $V_1$  несущей частоты

Номер измерения	Амплитуда источника $V_1$ , В	Значение коэффициента модуляции $m$ , %	КПД $\eta$ , %
1	1	12,81	0,814
2	1,5	21,84	2,329
3	2	30,91	4,559



4	2,5	40,5	7,58
---	-----	------	------

Пример получаемых графиков для рассматриваемого варианта исходных данных приведен на рисунках 2.4-2.7.

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод о том, что увеличение амплитуды источника несущей частоты  $V_1$  приводит

- к существенному росту коэффициента модуляции (с 12,8% до 40,5%);
- росту коэффициента полезного действия (с 0,814% до 7,58%);
- изменению формы модулируемого сигнала: разница между минимальным и максимальным значением амплитуды выходного напряжения уменьшается, сигнал как бы «заплывает».

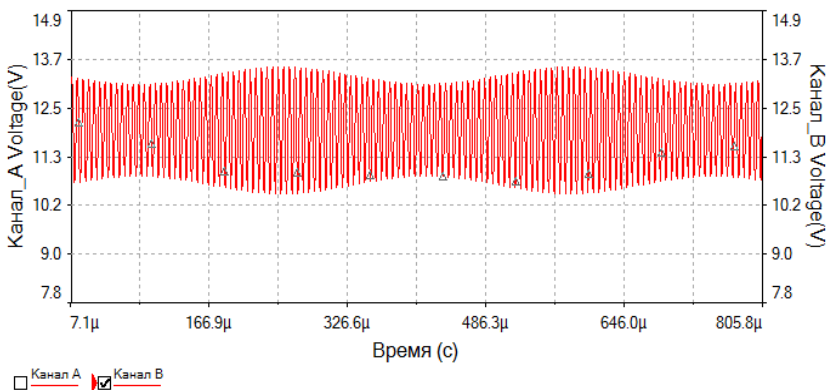


Рисунок 2.4 – Осциллограмма модулируемого сигнала при амплитуде источника несущей частоты  $V_1 = 1$  В

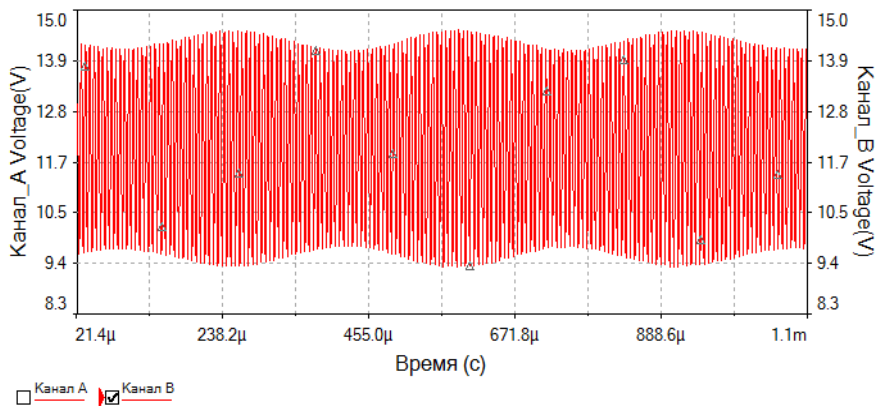


Рисунок 2.5 – Осциллограмма модулируемого сигнала при амплитуде источника несущей частоты  $V_1 = 1.5$  В

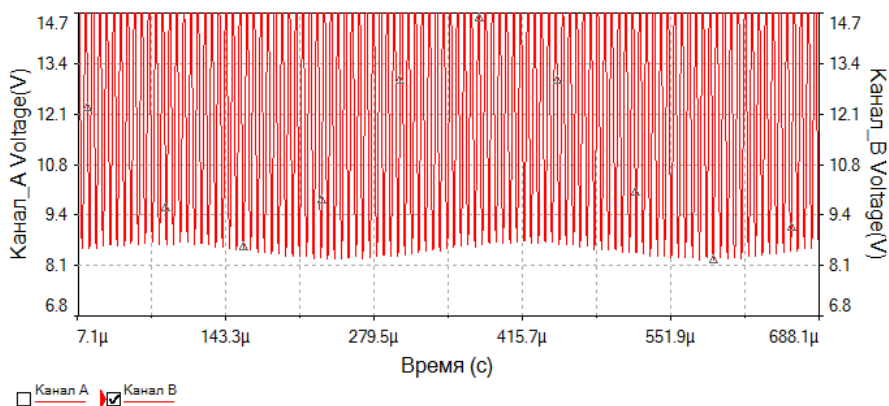


Рисунок 2.6 – Осциллограмма модулируемого сигнала при амплитуде источника несущей частоты  $V_1 = 2$  В

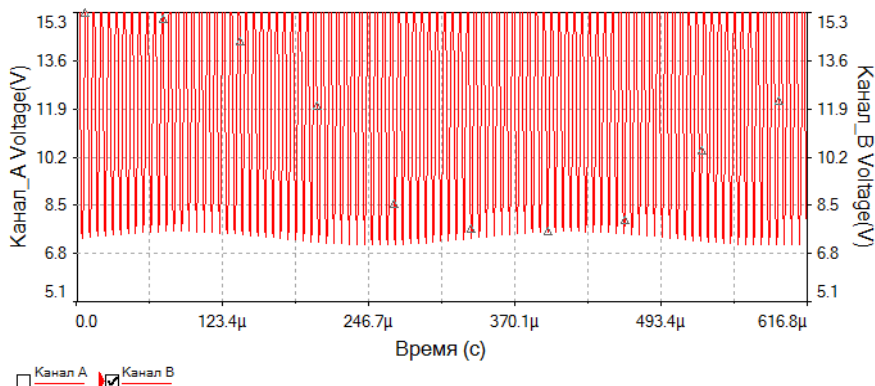


Рисунок 2.7 – Осциллограмма модулируемого сигнала при амплитуде источника несущей частоты  $V_1 = 2.5$  В

### 3. ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ АМПЛИТУДНОГО ДЕТЕКТОРА

На рисунке 3,а показана схема последовательного амплитудного детектора, а на рисунке 3,б - параллельного детектора.

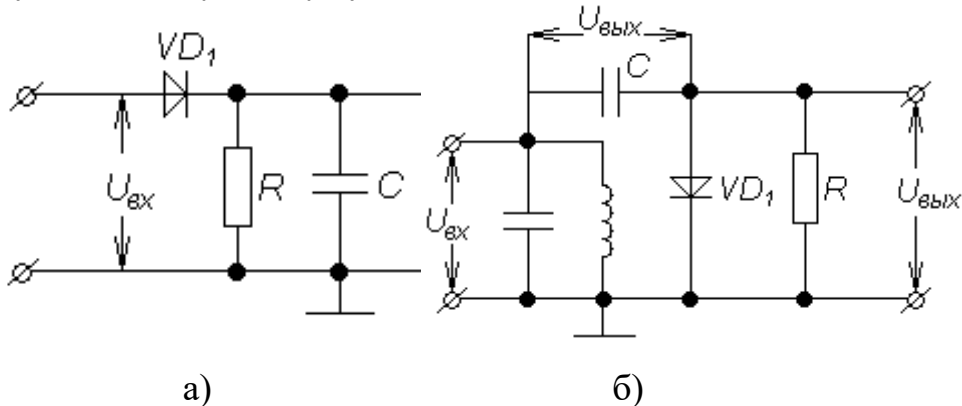


Рисунок 3 – Принципиальные схемы:

- а) последовательного детектора,
- б) параллельного детектора

Входящий в детектор фильтр нижних частот (ФНЧ) характеризуется:

- частотой среза или граничной частотой, т.е. частотой,

выше или ниже которой мощность выходного сигнала электронной схемы уменьшается вдвое от мощности в полосе пропускания:

$$\omega_{cp} = \frac{1}{2\pi RC},$$

- комплексным коэффициентом передачи, характеризующим отношение амплитуды выходного напряжения к амплитуде огибающей входного модулированного напряжения:

$$K(j\omega) = \frac{U_{вых}}{U_{вх}} = \frac{1}{1 + j\omega RC}$$

или его модулем

$$|K(j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega RC)^2}}.$$

В режиме линейного детектирования (сильный сигнал) коэффициент передачи детектора практически не зависит от амплитуды входного сигнала, а определяется углом отсечки тока, текущего через нелинейный элемент:

$$|K(j\omega)| = \cos\theta.$$

При малых углах отсечки  $\theta$  величина модуля коэффициента передачи определяется выражением:

$$|K(j\omega)| = \cos^3\sqrt{\frac{3\pi}{SR}},$$

где  $S$  – крутизна характеристики диода.

Свойства детекторов принято характеризовать следующими показателями:

- входным и выходным сопротивлением;

- частотными и фазовыми искажениями огибающей;
- нелинейными искажениями, оцениваемыми коэффициентом нелинейных искажений:

$$K = \frac{M}{4};$$

- коэффициентом подавления несущего колебания;
- линейными искажениями.

## 4. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ АД

4.1 Для проведения исследований амплитудного детектора используется программный продукт *NIMultisim*.

Структурная схема установки приведена на рисунке 4.1, а ее принципиальная схема – на рисунке 4.2.



Рисунок 4.1 – Структурная схема исследования амплитудного детектора

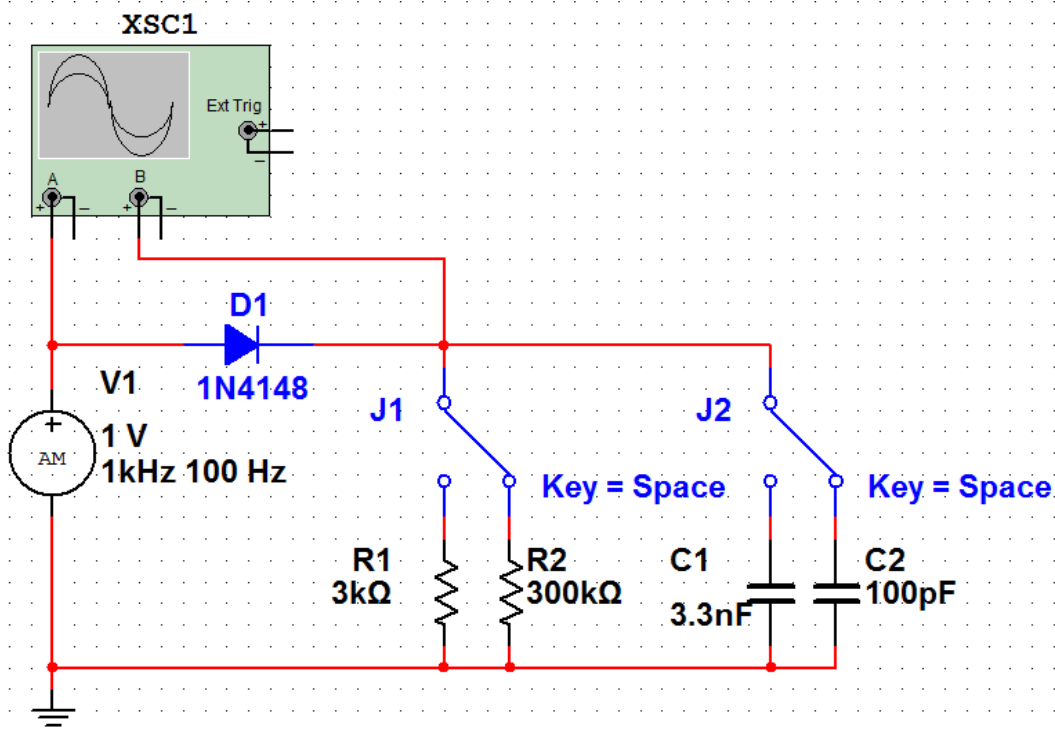


Рисунок 4.2 – Принципиальная схема исследования амплитудного детектора

Анализ структурной схемы показывает, что она включает:

- двухлучевой осциллограф (*Oscilloscope*);
- источник АМ-сигнала (AM\_Voltage) – создает АМ-сигнал

вида:

$$U_{AM} = U_{\omega_0} [1 + M \cos(\Omega t + \varphi)] \cos \omega_0 t$$

-нелинейный элемент – полупроводниковый диод типа 1N4148;

-фильтр низких частот 1-го порядка (*RC*-цепь).

Вариант задания равен порядковому номеру студента в журнале группы.

Таблица 4.1 – Варианты исходных данных для проведения исследований

Номер варианта	Несущая частота (Carrier Frequency) $\omega_0$ , кГц	Амплитуда (Carrier Amplitude) $U_{\omega_0}$ , В	Коэффициент модуляции (Modulation Index) $M$	Частота модуляции (Modulation Frequency) $\Omega$ , кГц
1	1	6	0.7	10
2	1	8	0.9	8
3	1	7	0.6	9
4	1	11	0.4	12
5	1	9	0.5	11
6	1	10	0.8	8
7	1	12	0.7	10
8	1	15	0.5	9
9	1	14	0.6	11
10	1	16	0.8	12

4.2 В программе *NIMultisim* создать модель для исследования амплитудного детектора, используя принципиальную схему (рисунок 4.2).

4.3 Установить параметры источника АМ-сигнала в соответствии с вариантом задания (таблица 4.1).

4.4 Настроить параметры развертки и делителя напряжения осциллографа таким образом, чтобы на его экране регистрировались 3-5 периодов сигнала без ограничения амплитуды.

4.5 Запустить симуляцию модели (клавиша F5) и наблюдать сигналы на входа осциллографа *A* и *B* в режимах *DC*. Остановить симуляцию незадолго до момента полного хода луча осциллографа. Снять осциллограмму на входе *A*.

4.6 Путем коммутационных элементов *J1iJ2* снять осциллограммы детектированных сигналов при всех сочетаниях элементов *C1, R1, C2, R2*.

4.7 Для одного из положений коммутационных элементов *J1iJ2*, с помощью маркеров осциллографа, измерить максимальную и минимальную амплитуды сигнала. Занести результаты в соответствующий раздел таблицы. Рассчитать коэффициент передачи АМ-детектора.

4.8 Подключить элементы *C1, R1* в измерительную цепь. Установить в параметрах источника АМ-сигнала величину модуляции равную 1.3. Снять осциллограмму выходного сигнала.

Таблица 4.2 – Результаты исследований

$R$	$C$	$\omega_{cp}$	$A_{мин}$	$A_{макс}$	$ K(j\omega) $

## СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет по данному этапу исследований должен включать:

- структурную и принципиальную схемы исследований амплитудного модулятора;
- графики осциллограмм и спектров сигналов;
- графики зависимостей осциллограммы и спектров модулированного сигнала от типа модуляции;
- измеренные и расчетные данные, графики осциллограмм, расчет частот среза ФНЧ для всех сочетаний  $R$  и  $C$  (Вид отчета приведен в таблице 4.2), - выводы.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дайте определение модуляции как одного из радиотехнических процессов.
2. Поясните принцип работы амплитудного модулятора.
3. Объясните необходимость работы в режиме с отсечкой.
4. Как регулируется глубина модуляции выходного сигнала?
5. Поясните принцип работы балансного модулятора.
6. Поясните принцип работы частотного модулятора.
7. Объясните принцип действия частотного модулятора на основе балансного модулятора.
8. Дать определение амплитудной модуляции.
9. Дать определение процесса детектирования.
10. Что характеризует частота среза ФНЧ?
11. Что характеризует коэффициент передачи?
12. Как определяются нелинейные искажения детектора?
13. Что определяют линейные искажения?



## ЛИТЕРАТУРА

1. Акулиничев Ю.П. Теория электрической связи. СПб: Изд-во «Лань», 2010. 240 с.
2. Биккенин Р.Р., Чесноков М.Н. Теория электрической связи. М.: Изд дом «Академия», 2010. 336 с.
3. Душин В.К. Теоретические основы информационных процессов и систем. М.: Изд.-торг. корпорация «Дашков и К», 2008.
4. Королев Г.В. Электронные устройства автоматики. М.: Высш. шк., 1991. 256 с.
5. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы. М.: Радио и связь, 1988.