

Федеральное агентство по образованию  
Томский политехнический университет

УТВЕРЖДАЮ  
Декан ФТФ  
\_\_\_\_\_ В.И. Бойко  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_

## Лабораторная работа №2

### Модуляция сигналов

Методическое указание к выполнению лабораторной работы по дисциплине  
«Основы телеуправления и телеконтроля» для студентов ФТФ специальности  
140306.

Томск - 2006

## Содержание

Содержание .....	2
1 Цель работы .....	3
2 Содержание работы .....	3
2.1 Амплитудная модуляция сигналов с двумя боковыми полосами .....	3
2.2 Амплитудная модуляция сигналов с одной боковой полосой .....	8
2.3 Амплитудная манипуляция .....	8
2.4 Частотная модуляция .....	9
2.5 Амплитудно-импульсная модуляция (АИМ).....	11
2.6 Широтно-импульсная модуляция (ШИМ) .....	13
2.7 Сравнить между собой рассмотренные системы телеизмерения по помехоустойчивости, полосе частот и сложности реализации.....	15
3 Содержание отчёта .....	15
4 Контрольные вопросы.....	16
Перечень источников .....	17

## 1 Цель работы

Исследование систем телеизмерения с различными типами модуляции и влияния помех на характеристики передаваемого сигнала в этих системах.

## 2 Содержание работы

Работа выполняется в среде пакета схемотехнического моделирования Electronics Workbench 5.12. В ходе выполнения работы необходимо выполнить следующие пункты.

### 2.1 Амплитудная модуляция сигналов с двумя боковыми полосами

1. В пакете Electronics Workbench собрать схему системы телеизмерения, представленной на рис. 1.

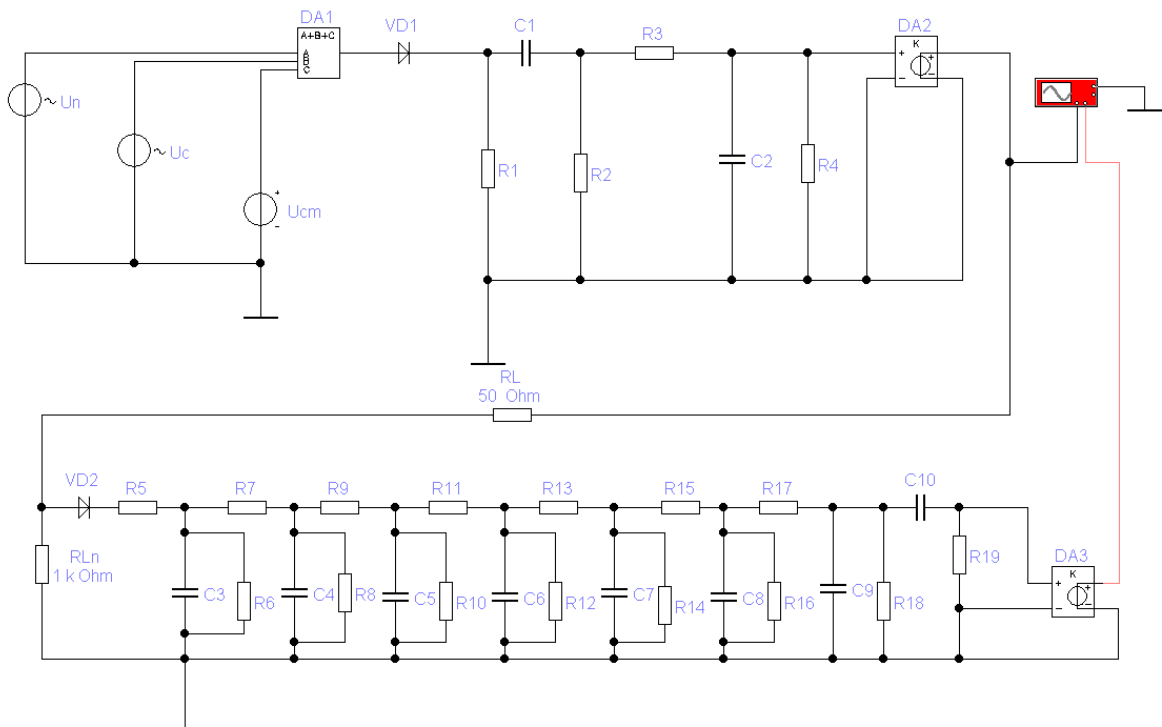


Рис. 1. Модель системы телеизмерения с амплитудной модуляцией

На рис. 1 введены следующие обозначения:

- $U_n$  – генератор несущей частоты;
- $U_c$  – источник сигнала (передаваемый сигнал);
- $U_{cm}$  – напряжения смещения;
- DA1 – сумматор напряжений;
- VD1, VD2 – диоды;
- R1, C1, R2, R3, C2, R4 – полосовой фильтр;
- DA2, DA3 – усилители напряжения;
- RL – сопротивление линии связи;
- $RL_n$  – сопротивление нагрузки линии связи;
- R5 ... R18, C3 ... C9 – фильтр нижних частот (7-го порядка);
- C10, R19 – фильтр высоких частот (фильтрация постоянной составляющей).

2. В соответствии с индивидуальным вариантом (см. табл. 1) произвести выбор амплитуды и частоты несущей [1], напряжения смещения [1], рассчитать полосовой фильтр и фильтр нижних частот [2, 3] для схемы рис. 1.

Табл. 1. Таблица индивидуальных параметров для модели системы телеизмерения с АМ

Вариант	Передаваемый сигнал		Глубина модуляции
	Действующее напряжение, В	Частота, Гц	
1	1	60	0.5
2	5	120	0.7
3	7	50	0.3
4	10	100	0.4
5	4	50	0.5
6	2	30	0.7
7	1	600	0.5
8	5	1200	0.7
9	7	1000	0.3
10	10	500	0.4
11	4	1000	0.5
12	2	300	0.7

3. Произвести моделирование системы телеизмерения. При правильной работе приемника и передатчика форма сигнала АМ и выходного сигнала должна быть как показано на рис. 2.

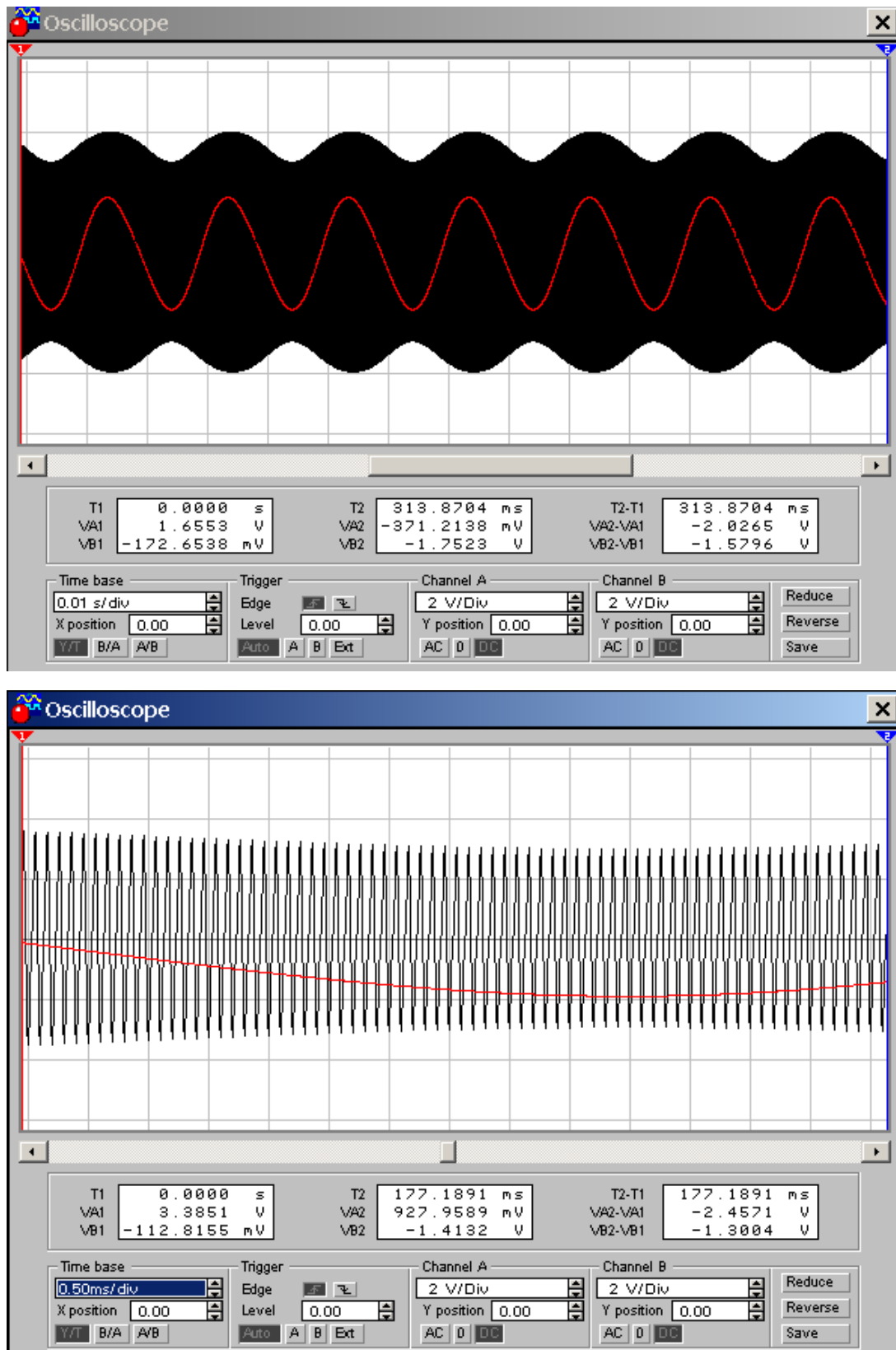


Рис. 2. Форма АМ-колебаний и сигнала на выходе приемника

В схеме рис. 1 для получения АМ использовался косвенный способ перемножения сигнала, а именно перемножение на диоде. К косвенным относят перемножители, выполненные на основе компонентов с логарифмическими или квадратичными (параболическими) амплитудными характеристиками, устройства с амплитудно-широтной импульсной модуляцией и др. [2]. Прямое умножение осуществляется с помощью компонентов и электронных узлов, имеющих двойное управление, например выполненных на основе каскодных усилительных каскадов [2]. Причем такие перемножители сигналов существуют и в интегральном исполнении [2].

Применение интегрального перемножителя сигналов существенно упрощает схемотехнику АМ - передатчика.

4. В пакете Electronics Workbench собрать схему системы телеизмерения, которая представлена на рис. 3.

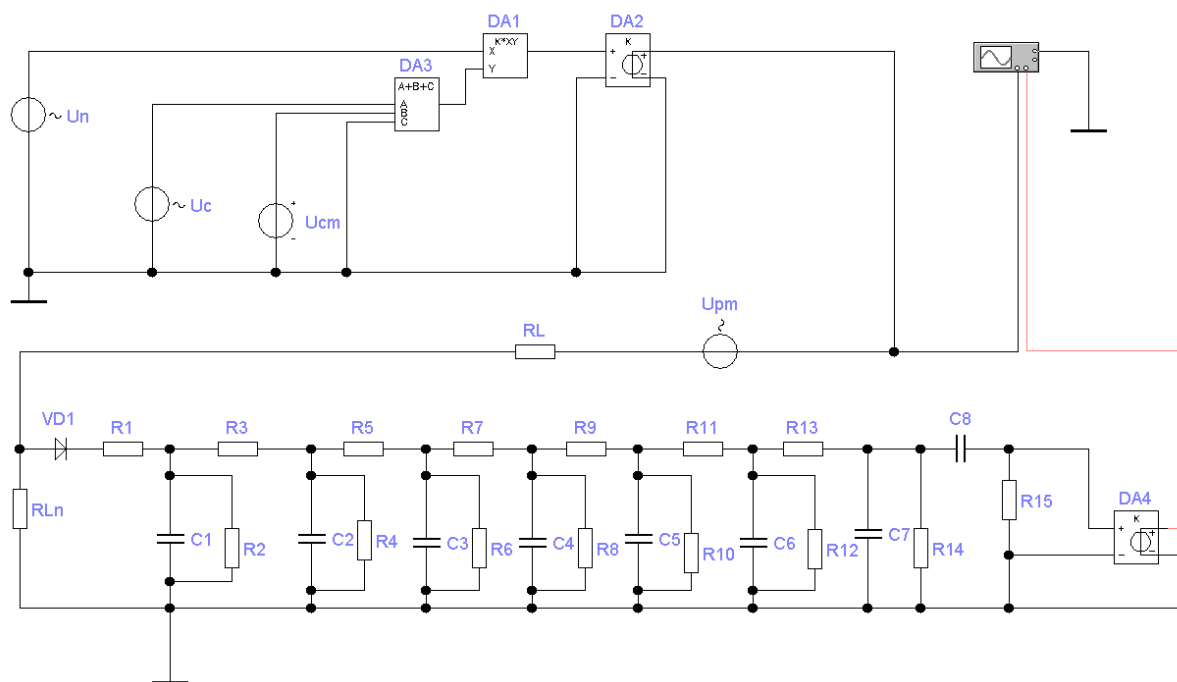


Рис. 3. Модель системы телеизмерения с амплитудной модуляцией

В схеме на рис. 3 перемножение сигналов выполнено на функциональном блоке DA1 (перемножитель). В остальном схема аналогична предыдущей схеме (см. рис. 1).

5. В соответствии с индивидуальным вариантом (см. табл. 1) произвести настройку схемы рис. 3. Причем, фильтр нижних частот может быть перенесен из предыдущей схемы.

6. Оценить степень влияния непрерывной помехи [1] в линии связи на точность передачи сигнала. Для этого в модели системы (рис. 3) последовательно в линии связи установить источник синусоидального напряжения, как показано на рис. 4.



Рис. 4

Моделирование выполнить для параметров помехи, представленных в табл. 2.

Табл. 2

№	Действующее напряжение	Частота	Фаза, град.
1	$U_{AM}^{max}/4$	$f_c$	0
2	$U_{AM}^{max}/4$	$f_c$	20
3	$U_{AM}^{max}/4$	$2 \cdot f_c$	10
4	$U_{AM}^{max}/4$	$f_n$	0
5	$U_{AM}^{max}/4$	$f_n$	90
6	$U_{AM}^{max}/4$	$1.2 \cdot f_n$	30
7	$U_{AM}^{max}/4$	$2 \cdot f_n$	40

В табл. 2 введены следующие обозначения:  $U_{AM}^{max}$  - амплитуда АМ,  $f_c$  - частота сигнала,  $f_n$  - частота несущей. Данные величины выбираются индивидуально для каждого варианта.

Зарисовать осциллограммы напряжения на выходе приемника и на выходе передатчика. Какие искажения вносит непрерывная помеха  $U_{pm}$  в сигнал на выходе приемника?

7. Оценить степень влияния импульсной помехи [1] в линии связи на точность передачи сигнала. Для этого в модели системы (рис. 3) последовательно в линии связи установить источник радиоимпульса, как показано на рис. 5.

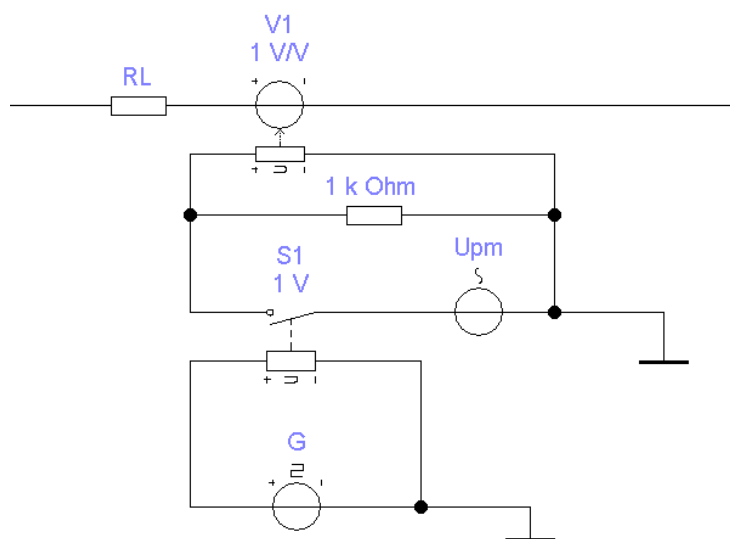


Рис. 5. Генератор импульсной помехи в линии связи

На рис. 5 генератор импульсной помехи выполнен на основе источника синусоидального напряжения  $U_{pm}$ , генератора прямоугольных импульсов G, DC-DC преобразователя V1, управляемого ключа S1. Генератор G задает длительность радиоимпульса непрерывной помехи, а источник  $U_{pm}$  – частоту и амплитуду радиоимпульса.

Моделирование выполнить для параметров помехи, представленных в табл. 3.

Табл. 3

№	Источник $U_{pm}$			Генератор G
	Действующее напряжение	Частота	Фаза	Частота
1	$U_{AM}^{max}/4$	$f_c$	10	$f_c$
2	$U_{AM}^{max}/4$	$1.2 \cdot f_n$	10	$f_c$
3	$U_{AM}^{max}/4$	$1.2 \cdot f_n$	20	$2 \cdot f_c$
4	$U_{AM}^{max}/4$	$2 \cdot f_n$	20	$2 \cdot f_c$

Зарисовать осциллограммы напряжения на выходе приемника и на выходе передатчика. Какие искажения вносит импульсная помеха  $U_{pm}$  в сигнал на выходе приемника?

## 2.2 Амплитудная модуляция сигналов с одной боковой полосой

Самостоятельно построить схему передатчика и приемника АМ с одной боковой полосой [1]. Данные для передаваемого сигнала расположены в табл. 1.

Для данной системы телеизмерения самостоятельно провести моделирование системы по пунктам 6 и 7 предыдущей главы. Сравнить помехоустойчивость АМ с одной боковой полосой с АМ с двумя боковыми полосами.

## 2.3 Амплитудная манипуляция

Самостоятельно построить схему передатчика и приемника для системы телеизмерения с амплитудной манипуляцией в линии связи. В качестве источника измеряемого (передаваемого) сигнала использовать генератор прямоугольных импульсов (с амплитудой 5В). Частоту импульсов сигнала и глубину манипуляции взять из табл. 1.

В качестве модели передатчика сигнала можно использовать схему представленную на рис. 6.

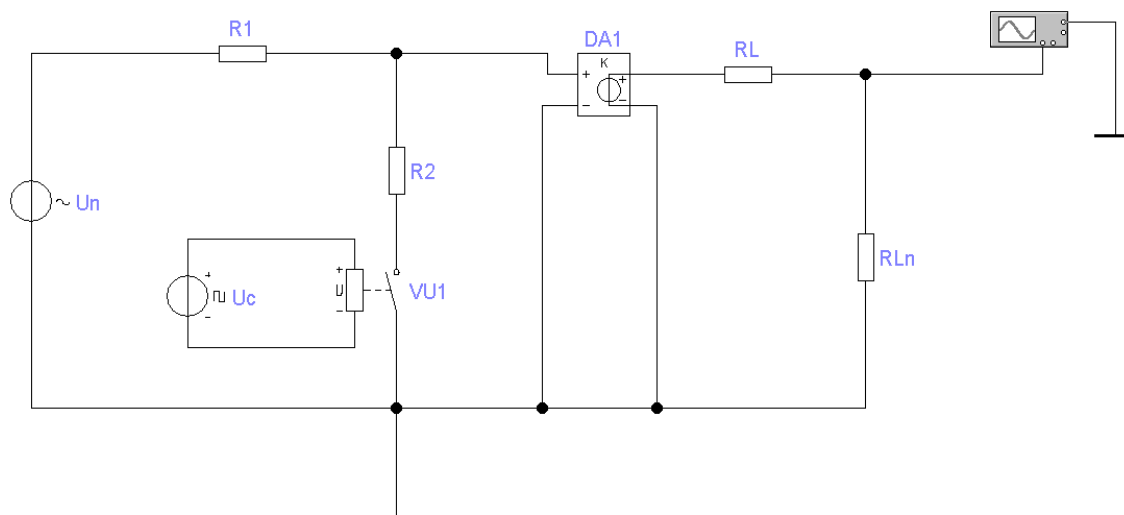


Рис. 6. Модель передатчика для системы с амплитудной манипуляцией

Для данной системы телеизмерения самостоятельно провести моделирование системы по пунктам 6 и 7 предыдущей главы. Сравнить помехоустойчивость АМ с одной боковой полосой с АМ с двумя боковыми полосами.



## 2.4 Частотная модуляция

1. В пакете Electronics Workbench собрать схему системы телеизмерения, которая представлена на рис. 7.

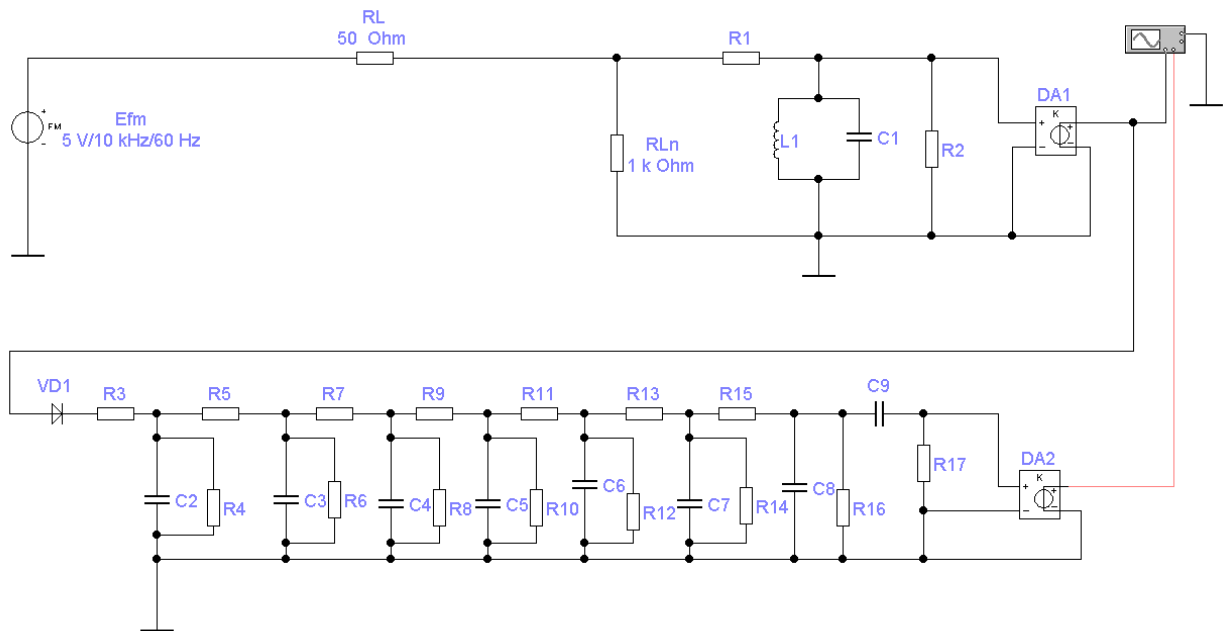


Рис. 7. Модель системы телеизмерения с частотной модуляцией

Схема рис. 7 отличается от схем на рис. 1 и рис. 3 тем, что в линии связи используется частотная модуляция, генерируемая источником Efm, который является источником сообщения и передатчиком сигнала. Кроме этого, для детектирования частотной модуляции используется простейший частотно-амплитудный детектор в виде колебательного контура L1, C1 расстроенного относительно частоты несущей. В свою очередь, детектор амплитудной модуляции аналогичен схемам на рис. 1 и рис. 3.

Параметры, которые необходимо ввести в источник Efm, представлены на рис. 8.

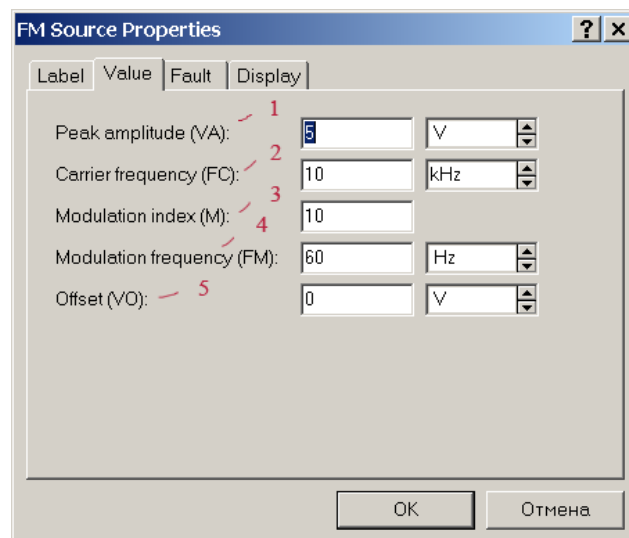


Рис. 8

На рис. 8 введены обозначения: 1 – амплитуда несущей частотной модуляции, 2 – частота несущей, 3 – индекс модуляция (глубина модуляции), 4 – частота модулирующего синусоидального сигнала (частота сообщения), 5 – смещение «нуля».

2. Настроить схему рис. 7 в соответствии с индивидуальным вариантом (см. табл. 4). Частоту и амплитуду несущей, а также индекс модуляции выбрать самостоятельно.

Табл. 4. Таблица индивидуальных параметров для модели системы телеизмерения с ЧМ

Вариант	Частота сообщения, Гц	Вариант	Частота сообщения, Гц
1	20	7	30
2	40	8	60
3	80	9	120
4	160	10	240
5	320	11	480
6	640	12	960

Для настройки частотно-амплитудного детектора можно воспользоваться формулой Томсона:

$$f_0 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}, \quad (1)$$

где  $f_0$  - резонансная частота колебательного контура.

3. Оценить степень влияния непрерывной помехи [1] в линии связи на точность передачи сигнала. Для этого в модели системы (рис. 7) последовательно в линии связи установить источник синусоидального напряжения, как показано на рис. 4.

Моделирование выполнить для параметров помехи, представленных в табл. 2. При этом в качестве  $U_{AM}^{max}$  использовать амплитуду частотной модуляции (амплитуду несущей).

Зарисовать осциллограммы напряжения на выходе приемника и на выходе передатчика, а также на выходе частотно-амплитудного детектора. Какие искажения вносит непрерывная помеха  $U_{pm}$  в сигнал на выходе приемника?

4. Оценить степень влияния импульсной помехи [1] в линии связи на точность передачи сигнала. Для этого в модели системы (рис. 7) последовательно в линии связи установить источник радиоимпульса, как показано на рис. 5.

Моделирование выполнить для параметров помехи, представленных в табл. 3. При этом в качестве  $U_{AM}^{max}$  использовать амплитуду частотной модуляции (амплитуду несущей).

Зарисовать осциллограммы напряжения на выходе приемника и на выходе передатчика, а также на выходе частотно-амплитудного детектора. Какие искажения вносит импульсная помеха  $U_{pm}$  в сигнал на выходе приемника?

## 2.5 Амплитудно-импульсная модуляция (АИМ)

1. В пакете Electronics Workbench собрать схему системы телеизмерения, которая представлена на рис. 9.

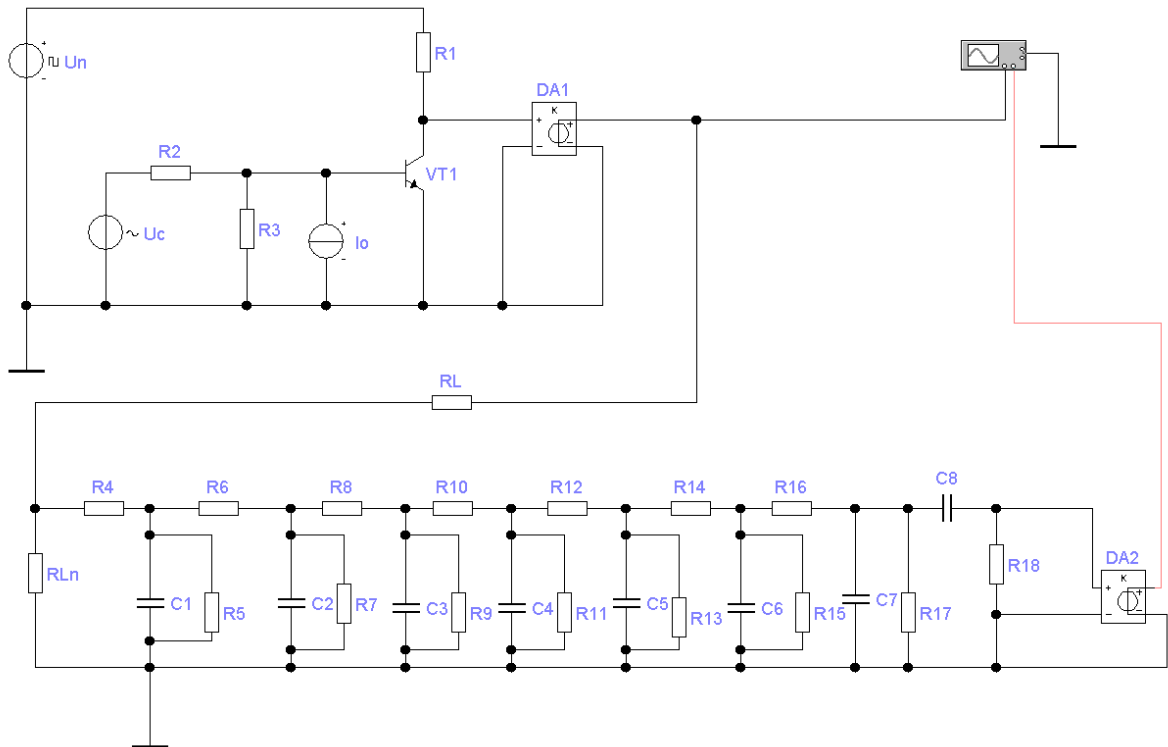


Рис. 9. Модель системы телеизмерения с амплитудно-импульсной модуляцией

Схема рис. 9 отличается от схем на рис. 1 и рис. 3 тем, что в линии связи используется амплитудно-импульсная модуляция. В качестве передатчика АИМ используется транзисторная схема R1, R2, R3, Io, VT1, являющаяся управляемым делителем напряжения [2, 3]. Источник тока Io необходим для компенсации нелинейных искажений. В качестве источника сигнала используется Uc – источник синусоидального напряжения, а в качестве источника несущей Un – генератор прямоугольных импульсов. Приемник отличается от схем рис. 1 и рис. 3 отсутствием диода.

Форма сигнала на выходе передатчика и приемника для данной модели представлена на рис. 10.

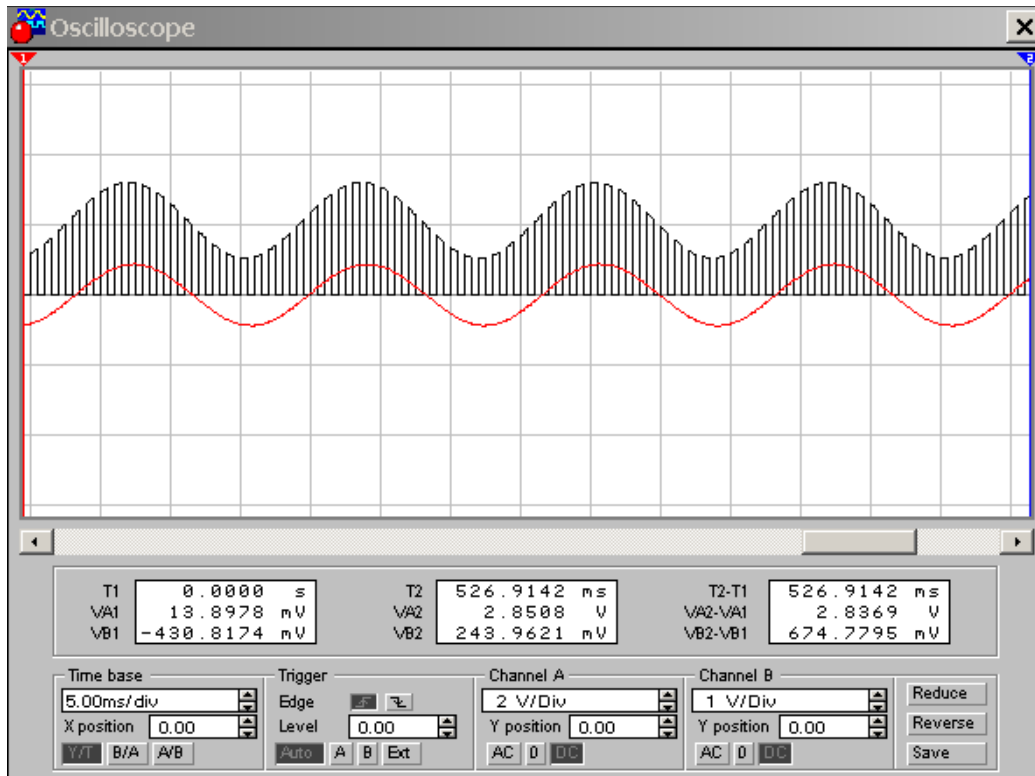


Рис. 10

2. В соответствии с индивидуальным вариантом (см. табл. 1) произвести выбор амплитуды и частоты несущей [1]. Рассчитать сопротивления  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  и величину источника тока  $I_0$  [2, 3].

5. Оценить степень влияния непрерывной помехи [1] в линии связи на точность передачи сигнала. Для этого в модели системы (рис. 9) последовательно в линии связи установить источник синусоидального напряжения, как показано на рис. 4.

Моделирование выполнить для параметров помехи, представленных в табл. 2. При этом в качестве  $U_{AM}^{max}$  использовать амплитуду АИМ (амплитуду несущей).

Зарисовать осциллограммы напряжения на выходе и передатчика. Какие искажения вносит непрерывная помеха  $U_{pm}$  в сигнал на выходе приемника?

6. Оценить степень влияния импульсной помехи [1] в линии связи на точность передачи сигнала. Для этого в модели системы (рис. 9) последовательно в линии связи установить источник радиоимпульса, как показано на рис. 5.

Моделирование выполнить для параметров помехи, представленных в табл. 3. При этом в качестве  $U_{AM}^{max}$  использовать амплитуду АИМ (амплитуду несущей).

Зарисовать осциллограммы напряжения на выходе приемника и передатчика. Какие искажения вносит импульсная помеха  $U_{pm}$  в сигнал на выходе приемника?

## 2.6 Широтно-импульсная модуляция (ШИМ)

1. В пакете Electronics Workbench собрать схему системы телеизмерения, которая представлена на рис. 11.

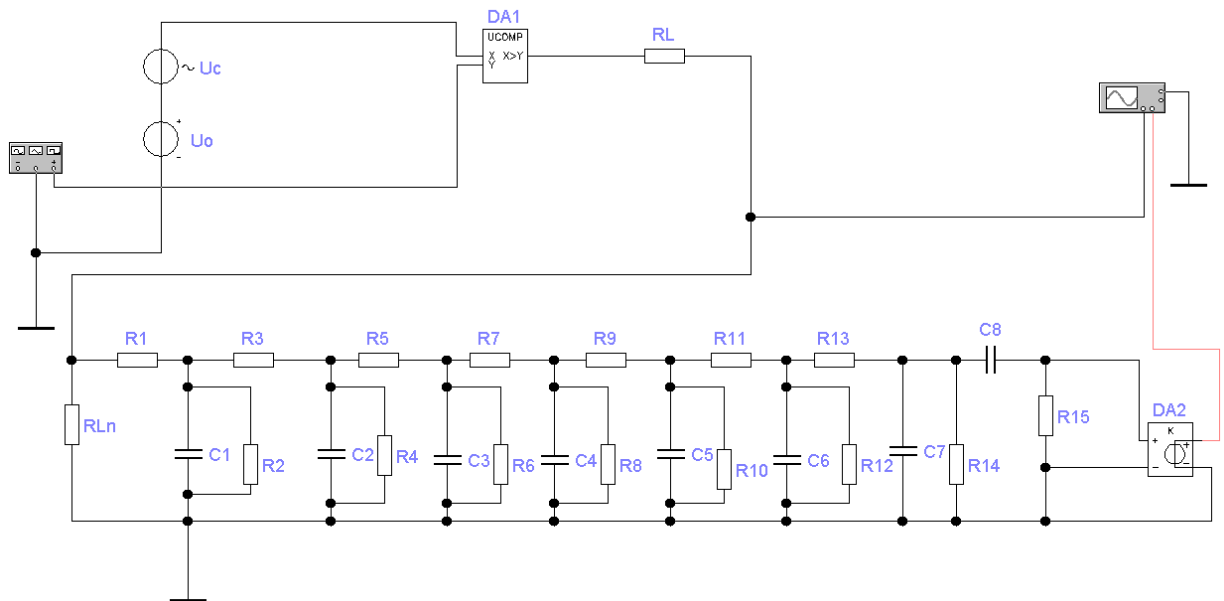


Рис. 11. Модель системы телеизмерения с широтно-импульсной модуляцией

Широтно-импульсный модулятор модели (рис. 11) выполнен на основе аналогового компаратора DA1 и функционального генератора, включенного в режиме генератора пилообразного напряжения. Приемник модели аналогичен схеме на рис. 9. Источником сигнала является  $U_c$  – источник синусоидального напряжения. Постоянное напряжение смещения  $U_0$  необходимо для формирования однополярного напряжения на входе аналогового компаратора DA1.

Параметры, которые необходимо ввести в функциональный генератор, представлены на рис. 12.

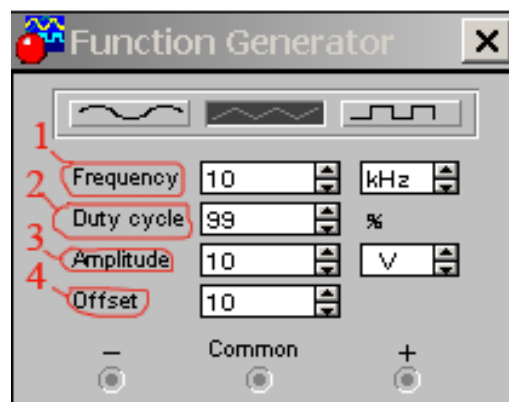


Рис. 12

На рис. 12 введены обозначения: 1 – частота, 2 – коэффициент заполнения, 3 – амплитуда, 4 – смещение линейно нарастающего напряжения.

Форма сигнала на выходе передатчика (модулятора ШИМ) и приемника представлена на рис. 13.

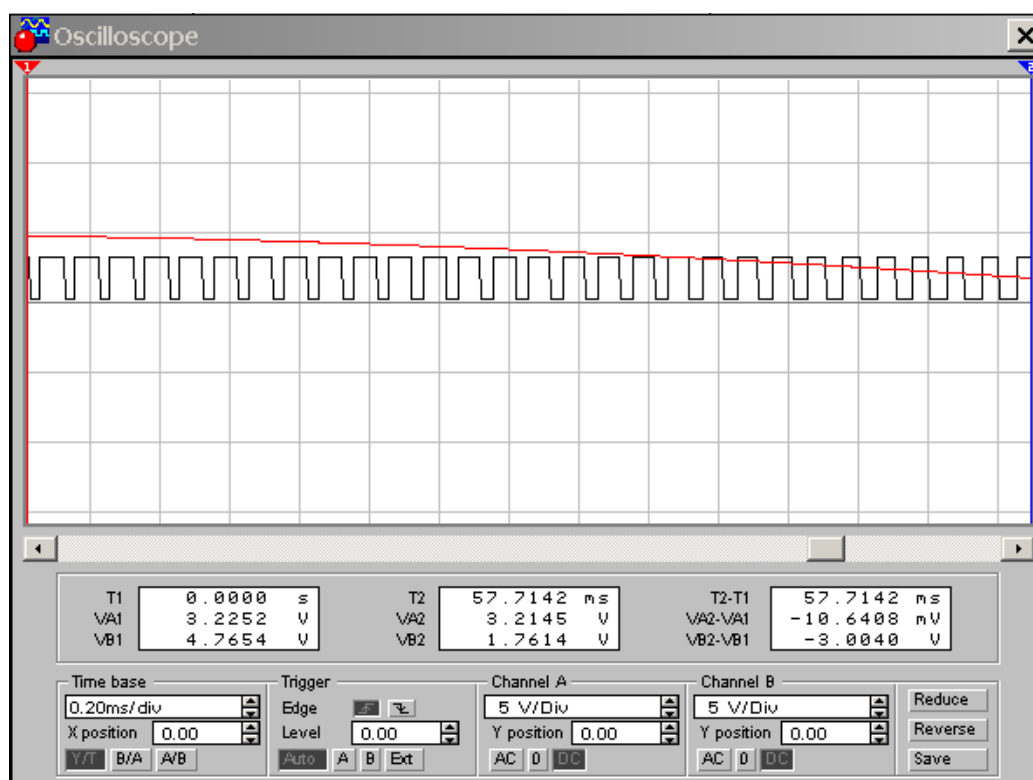


Рис. 13

2. В соответствии с индивидуальным вариантом (см. табл. 1) произвести выбор амплитуды и частоты линейно нарастающего напряжения [1] и величины напряжения  $U_0$ . Коэффициент заполнения линейно нарастающего напряжения установить 99%, а смещение равным амплитуде.

7. Оценить степень влияния непрерывной помехи [1] в линии связи на точность передачи сигнала. Для этого в модели системы (рис. 11) последовательно в линии связи установить источник синусоидального напряжения, как показано на рис. 4.

Моделирование выполнить для параметров помехи, представленных в табл. 2. При этом в качестве  $U_{AM}^{\max}$  использовать амплитуду ШИМ (на выходе DA1).

Зарисовать осциллограммы напряжения на выходе и передатчика. Какие искажения вносит непрерывная помеха  $U_{pm}$  в сигнал на выходе приемника?

8. Оценить степень влияния импульсной помехи [1] в линии связи на точность передачи сигнала. Для этого в модели системы (рис. 11) последовательно в линии связи установить источник радиоимпульса, как показано на рис. 5.

Моделирование выполнить для параметров помехи, представленных в табл. 3. При этом в качестве  $U_{AM}^{\max}$  использовать амплитуду ШИМ (на выходе DA1).

Зарисовать осциллограммы напряжения на выходе приемника и передатчика. Какие искажения вносит импульсная помеха  $U_{pm}$  в сигнал на выходе приемника?

## **2.7 Сравнить между собой рассмотренные системы телеизмерения по помехоустойчивости, полосе частот и сложности реализации**

### **3 Содержание отчёта**

После выполнения работы необходимо оформить отчет, который должен содержать:

- титульный лист;
- цель работы;
- схемы моделируемых систем;
- снятые осциллограммы;
- все проделанные расчеты;
- выводы.

#### 4 Контрольные вопросы

1. Амплитудная модуляция, полоса и спектр частот при АМ, АМ с ОБП.
2. Осуществление АМ.
3. Демодуляция АМ.
4. Амплитудная манипуляция, полярная модуляция.
5. Частотная модуляция, полоса и спектр частот при ЧМ.
6. Частотная манипуляция.
7. Демодуляция ЧМ сигналов, сравнение АМ и ЧМ.
8. Фазовая модуляция, полоса частот ФМ.
9. Фазовая манипуляция, полоса и спектр частот.
10. Реализация фазовой манипуляции, детектирование сигналов фазовой манипуляции.
11. Преимущества АФМ по сравнению с частотной манипуляцией.
12. Относительная фазовая манипуляция (ФРМ).
13. Амплитудно-импульсная модуляция (АИМ), полоса и спектр частот АИМ.
14. Широтно-импульсная модуляция (ШИМ), полоса и спектр частот ШИМ.
15. Фазоимпульсная модуляция (ФИМ), полоса частот ФИМ.
16. Кодоимпульсная модуляция (КИМ), дельта-модуляция.
17. Разностно-дискретная модуляция (РДМ),  $\lambda$ - $\Delta$ -модуляция.
18. Нарисовать форму сигнала в линии связи при двукратной модуляции: АИМ-ЧМ; ШИМ-ЧМ; АИМ-АМ; ШИМ-АМ.
19. Сравнить между собой непрерывные методы модуляции по помехоустойчивости, полосе частот и сложности реализации.
20. Сравнить между собой импульсные методы модуляции по помехоустойчивости, полосе частот и сложности реализации.
21. Сравнить между собой непрерывные и импульсные методы модуляции по помехоустойчивости, полосе частот и сложности реализации.



## **Перечень источников**

1. Тугевич В.Н. Телемеханика. Учебное пособие для ВУЗов.- 2-е изд. перераб. и доп. - М.: Высшая школа, 1985.
2. Гусев В. Г., Гусев Ю. М. Электроника: Учеб. Пособие для приборостроит. спец. вузов. – 2-е изд., перераб. И доп. – М.: Высш. шк. 1991. – 622 с.: ил.
3. Хоровиц П. Хилл У. Искусство схемотехники: В 3-х томах: Т. 1. Пер. с англ. – 4-е изд. Перераб. И доп. – М.: Мир, 1993. – 413 с., ил.