

МИНИСТЕРСТВО ЦИФРОВОГО РАЗВИТИЯ, СВЯЗИ  
И МАССОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Северо-Кавказский филиал  
ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного  
бюджетного образовательного учреждения высшего образования  
«Московский технический университет связи и информатики»



Кафедра «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»

Методические указания  
к выполнению лабораторных работ по дисциплине

«Основы построения инфокоммуникационных систем и сетей»

(для студентов по направлению подготовки 11.03.02 Инфокоммуникационные  
технологии и системы связи)

Ростов-на Дону  
2022

УДК 621.372.88 (021)

ББК

Б

Юхнов В.И. *Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Основы построения инфокоммуникационных систем и сетей»*. (Для студентов по направлению подготовки 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи всех форм обучения). Ростов-на-Дону: Северо-Кавказский филиал МТУСИ, 2022. - 140 с.

Лабораторные работы по направлению подготовки 11.03.02.62 охватывают материалы 2-х семестров дисциплины Основы построения инфокоммуникационных систем и сетей. Методические указания включают девять лабораторных работ, и дают рекомендации по их выполнению. Методическое пособие утверждено на заседании кафедры «Инфокоммуникационные технологии и системы связи», протокол № 5 от «19» декабря 2022 г.

**Рецензент: В.В. Ершов** канд. техн. наук, доц. каф. ИТСС СКФ МТУСИ.

## СОДЕРЖАНИЕ

1	Лабораторная работа №1 «Исследование параметров сигналов электро- связи».....	4
2	Лабораторная работа № 2 «Исследование уровней передачи сигналов в канале связи».....	15
3	Лабораторная работа № 3 «Исследование модулированных сигнала- лов».....	20
4	Лабораторная работа № 4 «Исследование принципов построения и ос- новных характеристик каналов тональной частоты».....	43
5	Лабораторная работа № 5«Исследование дифференциальных развязыва- ющих устройств».....	58
6	Лабораторная работа № 6 «Исследование устойчивости двусторонних телефонных каналов.».....	66
7	Лабораторная работа № 7 «Исследование частотного уплотнения линии связи и частотного разделения каналов тональной частоты».....	82
8	Лабораторная работа № 8 «Исследование основ построения МСП с АИМ-ВРК».....	94
9	Лабораторная работа № 9 «Исследование трех программно вещатель- ного приемника».....	112

# **Лабораторная работа № 1.**

## **«Исследование параметров сигналов электросвязи»**

### **Цели работы.**

1. Закрепить знания уровней сигналов и их применение для определения параметров каналов связи.
2. Получить практические навыки расчетов уровней сигналов при заданных значениях физических величин и расчетов значений физических величин при заданных уровнях.
3. Овладеть методикой экспериментального исследования уровней сигналов в канале связи при различных значениях параметров канала.
4. Получить практические навыки определения уровней сигналов в каналах связи при различных сопротивлениях нагрузки.

### **Программа работы**

1. Исследование функциональной схемы и экспериментальных возможностей лабораторной установки.
  2. Экспериментальное исследование уровней сигналов в канале связи при различных значениях параметров канала.
  3. Расчет уровней сигналов и значений физических величин при заданных уровнях.
  4. Исследование взаимосвязи уровней сигнала по напряжению, току и мощности, а также зависимости уровня сигнала по напряжению от сопротивления нагрузки.
- Учебное время – 4 часа.

### **Оборудование рабочего места**

1. Измерительный пульт ИП-300;
2. Вольтметр ВЗ-57;
3. Комплект ЕТ-70;
4. Генератор ГЗ-112;
5. Калькуляторы.

### **Методические указания:**

Процесс выполнения лабораторной работы предусматривает:

- индивидуальную подготовку к работе за счет времени, предусмотренного в программе дисциплины на самостоятельную работу;
- допуск к самостоятельным экспериментальным исследованиям;
- экспериментальные исследования;
- защиту полученных результатов с их теоретическим обоснованием.

Для получения допуска к выполнению лабораторной работы студент должен:

- знать основные термины и определения;
- знать взаимосвязи уровней сигнала по напряжению, току и мощности;
- знать устройство лабораторного макета, его принцип действия и функциональные возможности;
- уметь пользоваться рекомендованными средствами измерений;
- иметь в рабочей тетради по лабораторному практикуму подготовленные формы отчетности и отработанные вопросы подготовки к работе.

Для подготовки к лабораторной работе необходимо:

- изучить тему, цели и содержание программы работы;
- ознакомиться с лабораторным макетом, средствами измерений;
- изучить порядок подготовки макета и средств измерений к работе, методику проведения экспериментальных исследований и порядок возвращения макета и средств измерения в исходное состояние;
- подготовить в рабочей тетради по лабораторному практикуму рекомендованные формы отчетности;
- повторить ключевые положения теории изучаемого вопроса;
- вычертить схему исследуемой лабораторной установки, уяснить назначение функциональных элементов и их взаимодействие.

## КЛЮЧЕВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

В технике связи представляется более удобным оценивать мощности напряжения и токи сигналов не их абсолютными значениями в Ваттах, Вольтах и Амперах, а в относительных логарифмических единицах - уровнях мощности, напряжения и тока.

Удобство такой оценки в следующем:

- потери энергии в линии оцениваются экспоненциальными зависимостями;
- чувствительность органов слуха человека к силе звукового сигнала подчиняется логарифмическому закону;
- при использовании логарифмических единиц упрощаются арифметические расчеты: действия умножения и деления заменяются сложением и вычитанием;
- порядок логарифмических единиц оказывается более низким, чем при использовании абсолютных величин.

При теоретическом анализе, расчетах и измерениях сигнал связи условно представляется синусоидальным электрическим колебанием, полученным от воображаемого или реального измерительного генератора, имеющего определенное внутреннее сопротивление; частоту и амплитуду.

Уровни передачи по мощности, напряжению и току определяются следующими соотношениями

$$p_m = 10 \lg \frac{P_x}{P_0} ; \quad p_m = 0,5 \ln \frac{P_x}{P_0} ; \quad (1.1)$$

$$p_n = 20 \lg \frac{U_x}{U_0} ; \quad p_n = \ln \frac{U_x}{U_0} ; \quad (1.2)$$

$$p_t = 20 \lg \frac{I_x}{I_0} ; \quad p_t = \ln \frac{I_x}{I_0} ; \quad (1.3)$$

где  $P_x$ ,  $U_x$ ,  $I_x$  — величины мощности, напряжения или тока в рассматриваемой точке;

$P_o, U_o, I_o$  – величины мощности, напряжения или тока, по отношению к которым определяются уровни передачи (исходные, опорные).

В технической литературе величины мощности, напряжения и тока обозначаются прописными буквами, соответственно,  $P, U, I$ , а значения уровней строчными буквами, соответственно,  $p_m, p_n, p_t$ .

Логарифмические единицы вычисленные при помощи десятичного логарифма называются децибелами (дБ), а вычисленные при помощи натурального логарифма – неперами (Нп).

Между децибелами и неперами имеется следующая связь:

$$1 \text{ Нп} = 8,686 \text{ дБ}; \quad 1 \text{ дБ} = 0,113 \text{ Нп}.$$

Из формул (1.1) - (1.3) следует, что уровни передачи могут быть положительными, если величины мощности  $P_x$ , напряжения  $U_x$  или тока  $I_x$  будут больше исходных величин мощности  $P_o$ , напряжения  $U_o$  или тока  $I_o$ . В противном случае уровни передачи будут отрицательными.

Нулевое значение указанные уровни будут иметь в том случае, если соответственно  $P_x = P_o, U_x = U_o, I_x = I_o$ .

Уровни передачи подразделяются на абсолютные, относительные и измерительные.

Уровень передачи называется **абсолютным**, если за исходные приняты следующие величины: мощность  $P_o = 1 \text{ мВт}$ , рассеиваемая на сопротивлении  $R_o = 600 \text{ Ом}$ , напряжение  $U_o = \sqrt{P_o R_o} = 0,775 \text{ В}$ , ток  $I_o = \sqrt{P_o / R_o} = 1,29 \text{ мА}$ .

Исходя из приведенных определений абсолютных уровней, можно решить обратную задачу: определить мощность, напряжение и ток сигнала по заданным абсолютным уровням:

$$\begin{aligned} P_x &= 1 \text{ мВт} \cdot 10^{0,1 p_m}, & \text{мВт} & & P_x &= 1 \text{ мВт} \cdot e^{2 p_m}, & \text{мВт} \\ U_x &= 0,775 \text{ В} \cdot 10^{0,05 p_n}, & \text{В} & & U_x &= 0,775 \text{ В} \cdot e^{2 p_n}, & \text{В} \\ I_x &= 1,29 \text{ мА} \cdot 10^{0,05 p_t}, & \text{мА} & & I_x &= 1,29 \text{ мА} \cdot e^{2 p_t}, & \text{мА} \end{aligned}$$

Если в качестве опорных выбраны значения мощности, напряжения или тока сигнала в какой-либо произвольной точке канала, то уровни этого же сигнала в другой точке канала, вычисленные по формулам (1) - (3), называются **относительными**. Обычно в качестве «точки отсчета» при их определении ис-

пользуют двухпроводный вход канала тональной частоты, входное сопротивление которого равно 600 Ом. Эту характерную точку канала называют точкой нулевого относительного уровня (ТНОУ), поскольку относительный уровень сигнала в этой точке равен нулю.

Введение понятия «точки нулевого относительного уровня» позволяет сравнивать мощности или уровни мощности различных сигналов между собой, а также сопоставлять мощности сигналов и помех в канале, приводя все эти величины к одной и той же точке канала - ТНОУ. Для того, чтобы подчеркнуть, что уровень мощности сигнала или помехи оценивается именно в ТНОУ, его обозначают дБО или НпО.

Другими словами, относительный уровень показывает разность абсолютных уровней в рассматриваемой точке и в точке канала принятой за начало отсчета.

**Измерительным уровнем** называется абсолютный уровень в рассматриваемой точке канала, если ко входу канала подключён нормальный генератор. Под нормальным генератором понимается генератор с ЭДС  $= 2 \cdot 0,775 \text{ В}$  и внутренним сопротивлением 600 Ом.

Так как входное сопротивление канала, как правило, активно и также равно 600 Ом, то ко входу канала оказывается подведенным абсолютный нулевой уровень мощности, тока и напряжения (1мВт, 0,775В, 1,29мА).

Частота нормального генератора может быть любой, однако, на практике считают частоту нормального генератора равной 800 Гц.

Понятие «измерительного уровня» тесно связано с понятием «диаграммы уровней», которая представляет собой график распределения измерительных уровней в канале связи. Эта диаграмма, разрабатываемая, при проектировании магистрали связи, является одним из её основных паспортных документов.

В общем случае уровень передачи по мощности -  $p_m$  не равен уровню передачи по напряжению -  $p_n$  или току -  $p_t$ . Однако, между ними легко устанавливается взаимозависимость, если известны сопротивления  $R_x$  и  $R_o$ , на которых выделяется соответствующая мощность  $P_x$  или  $P_o$  (где  $R_x$  - сопротивление



линии в точке измерения,  $R_0$ - сопротивление линии в исходной точке). Действительно:

$$\begin{aligned}
 p_m &= 10 \lg \frac{P_x}{P_0} = 10 \lg \left( \frac{U_x^2}{R_x} / \frac{U_0^2}{R_0} \right) = 10 \lg \left( \frac{U_x^2}{U_0^2} / \frac{R_x}{R_0} \right) = \\
 &= 20 \lg \frac{U_x}{U_0} - 10 \lg \frac{R_x}{R_0} = p_n - 10 \lg \frac{R_x}{R_0}, \\
 \text{т.е.} \quad p_n &= p_m + 10 \lg \frac{R_x}{R_0}
 \end{aligned} \tag{1.4}$$

Аналогично можно получить

$$p_t = p_m - 10 \lg \frac{R_x}{R_0} \tag{1.5}$$

Из этих формул следует, что уровни мощности, напряжения и тока численно совпадают только при выполнении условия  $R_x = R_0$ .

Если  $R_x > R_0$ , то уровень напряжения будет больше уровня мощности. Если  $R_x < R_0$ , то уровень напряжения будет меньше уровня мощности, а уровень тока - больше уровня мощности.

Измерение уровней осуществляется при помощи измерителей уровней (указателей уровней), которые обычно представляют собой электронные вольтметры, шкалы которых проградуированы в децибелах или в неперах относительно напряжения 0,775 В. Очевидно, что такие приборы измеряют абсолютные уровни напряжения. Если сопротивления в измеряемых точках составляют 600 Ом, то уровни напряжения и мощности численно равны между собой. Если сопротивления не соответствуют этому номиналу, то для определения уровней мощности необходимо осуществить расчет по формуле (1.4).

В технике связи в логарифмических единицах выражают и коэффициенты передачи активных и пассивных четырехполюсников (усилителей, участков цепи, удлинителей и т.п.). Усиление (по мощности) усилителя, согласованного по входу и выходу, рассчитывается по формуле

$$S = 10 \lg (P_{\text{вых}} / P_{\text{вх}}) \tag{1.6}$$

где  $P_{\text{ВЫХ}}$  , - мощность, выделяемая в нагрузке усилителя, Вт;

$P_{\text{ВХ}}$  - мощность, потребляемая его входной цепью, Вт.

Усиление равно разности уровней мощности сигналов на выходе и входе усилителя:

$$S = 10 \lg(P_{\text{ВЫХ}}/P_{\text{ВХ}}) = 10 \lg \frac{P_{\text{ВЫХ}}}{1 \text{ мВт}} - 10 \lg \frac{P_{\text{ВХ}}}{1 \text{ мВт}} = p_{\text{ВЫХ}} - p_{\text{ВХ}} \quad (1.7)$$

Затухание согласованного четырёхполюсника определяется следующим образом:

$$A = 10 \lg(P_{\text{ВХ}}/P_{\text{ВЫХ}}) = p_{\text{ВХ}} - p_{\text{ВЫХ}} \quad (1.8)$$

### ОПИСАНИЕ МАКЕТА ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ ИП-300.

Для выполнения лабораторной работы используются приборы измерительного пульта ИП-300 в составе указателя уровня, магазина затуханий, согласующего трансформатора 600/135 Ом и схемы сравнения. Кроме приборов макета ИП-300 используются вольтметр ВЗ-57 (38), генератор ГЗ-112 и приборы измерительного пульта ЕТ-70.

Измерения напряжений и уровней удобно осуществлять, используя схему сравнения ИП-300. При этом выход генератора необходимо подключить ко входу схемы сравнения (гнезда «ГЕН.»), а к выходу схемы сравнения (гнезда «ИНД.») подключить  $R_{\text{н}}=600$  Ом в соответствии с рис.1. С левой стороны схемы сравнения находится ключ, с помощью которого генератор можно подключить к сопротивлению нагрузки через верхнюю или нижнюю ветвь схемы сравнения. В разрыв нижней ветви схемы сравнения к гнездам «МЗ» подключается магазин затуханий, который служит в данном случае, в качестве измеряемого четырехполюсника с  $R_{\text{ВХ}}=R_{\text{ВЫХ}}=600$  Ом. В качестве измеряемого четырехполюсника с  $R_{\text{ВХ}}=600$  Ом и  $R_{\text{ВЫХ}}=135$  Ом используется согласующий трансформатор, при этом к гнездам «ИНД» подключается сопротивление 135 Ом.

Измерение напряжения осуществляется вольтметром ВЗ-57, подключаемым параллельно к гнездам верхней ветви схемы сравнения в положении «I»

ключа «I-II» (на входе четырехполюсника) и параллельно нижней ветви схемы сравнения – в положении «II» ключа (на выходе четырехполюсника).

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.

1. В качестве четырехполносника используется магазин затуханий с  $R_{BX}=R_{ВЫХ}=600 \text{ Ом}$ .
2. Собрать схему согласно рисунка 1.

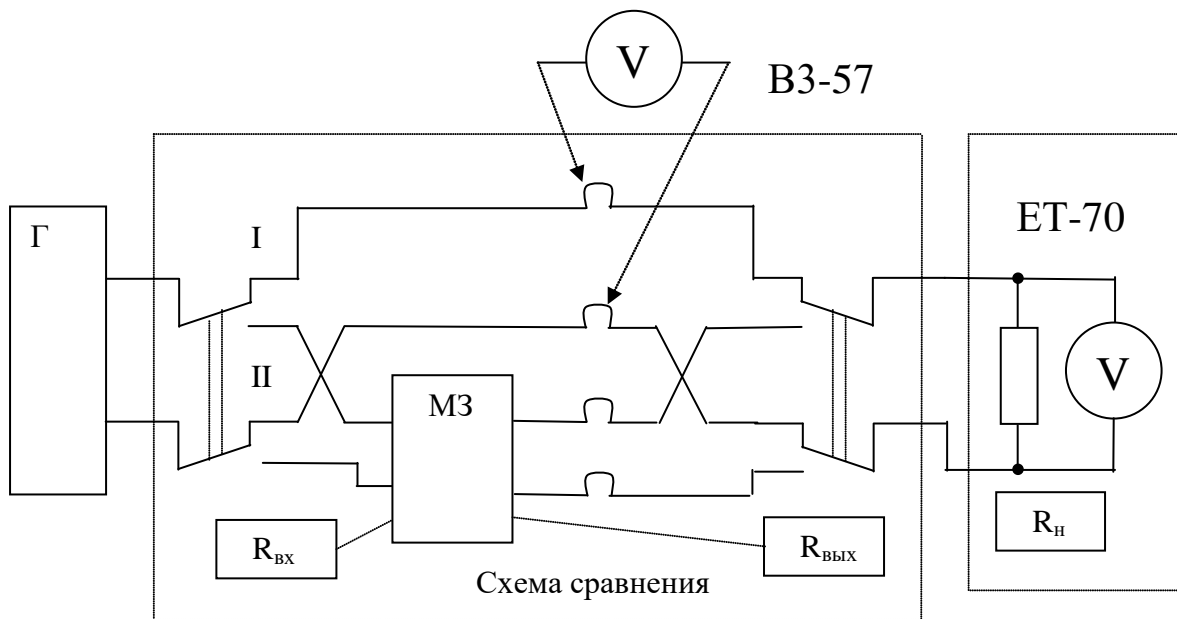


Рисунок 1

Г-генератор; МЗ - магазин затуханий,  $R_{BX}=R_{ВЫХ}=600 \text{ Ом}$ ;

 $R_H$  – сопротивление нагрузки

3. Установить частоту генератора 800 Гц.
4. Установить ключ схемы сравнения в положение «I», а вольтметр подключить параллельно верхней ветви схемы сравнения.
5. Установить на выходе генератора, то есть на входе МЗ  $U_{\text{вх}} = 6 \text{ В}$  по показанию вольтметра с помощью регулятора уровня генератора.
6. Установить ключ схемы сравнения в положение «II», а вольтметр подключить параллельно нижней ветви схемы сравнения.
7. Произвести измерения уровней входного и выходного сигналов в децибелах по вольтметру, в неперах по указателю уровня. Данные занести в таблицу 1.

Таблица 1- Измеренные значения

	$U_{\text{ВХ}}$ , В	$U_{\text{ВЫХ}}$ , В	$p_{\text{НВХ}}$ , дБ	$p_{\text{НВЫХ}}$ , дБ	$p_{\text{НВХ}}$ , Нп	$p_{\text{НВЫХ}}$ , Нп	A, Нп
1. $R_{\text{ВХ}}=R_{\text{ВЫХ}}$	6	6					0
2. $R_{\text{ВХ}}=R_{\text{ВЫХ}}$	6	0,6					
3. $R_{\text{ВХ}} \neq R_{\text{ВЫХ}}$	6						-

8. Установить затухание МЗ таким, чтобы напряжение на выходе МЗ оказалось равным  $U_{\text{ВЫХ}}=0,6$  В. Произвести измерения уровней входного и выходного сигналов в децибелах по вольтметру, в неперах по указателю уровня. Данные занести в таблицу 1.

9. Собрать схему для случая  $R_{\text{ВХ}} \neq R_{\text{ВЫХ}}$  согласно рисунка 2.

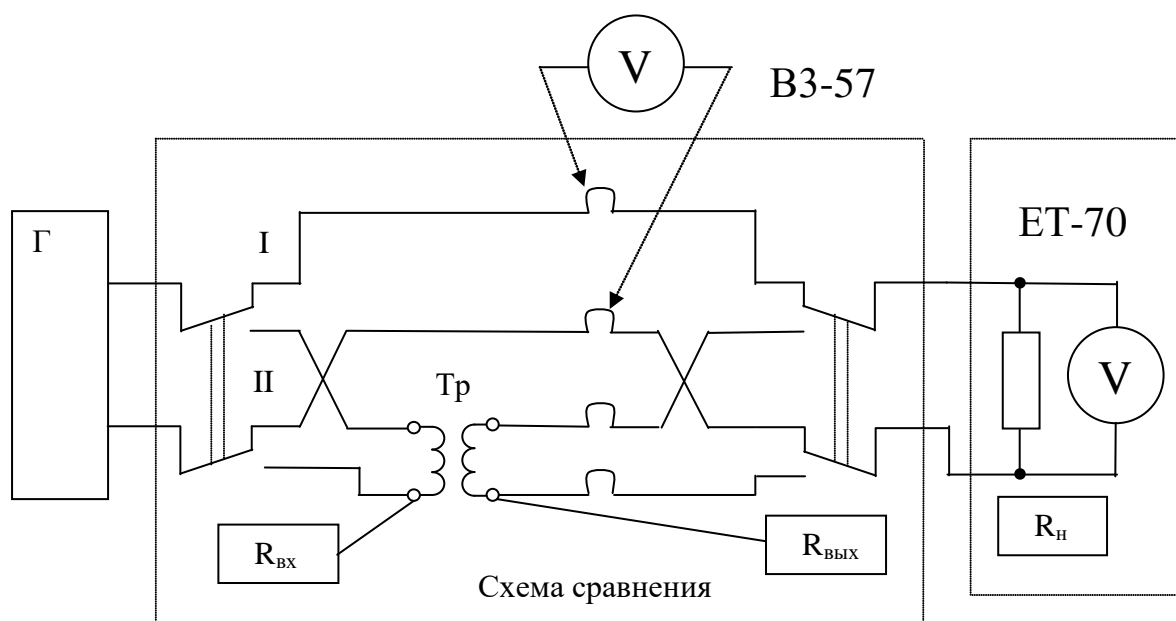


Рисунок 2

Г-генератор; Тр – согласующий трансформатор с  $R_{\text{ВХ}}=600$  Ом,  $R_{\text{ВЫХ}}=135$  Ом;  $R_{\text{Н}}$  – сопротивление нагрузки.

10. Установить ключ схемы сравнения в положение «I», на выходе включить нагрузку  $R=600$  Ом, а вольтметр подключить параллельно верхней ветви схемы сравнения.

11. Установить на выходе генератора (на входе согласующего трансформатора)  $U_{вх}=6$  В по показанию вольтметра с помощью регулятора уровня выхода генератора.

12. Установить ключ схемы сравнения в положение «П», на выходе схемы включить нагрузку  $R=135$  Ом, а вольтметр подключить параллельно нижней ветви схемы сравнения.

13. Измерить напряжение на выходе согласующего трансформатора. Произвести измерения уровней входного и выходного сигналов в децибелах по вольтметру, в неперах по указателю уровня. Данные занести в таблицу 1.

14. Рассчитать значение тока и мощности на выходе и входе МЗ по известным значениям  $R_{вх}=600$  Ом,  $R_{вых}=600$  Ом и измеренным значениям  $U_{вх}=6$  В,  $U_{вых}=0,6$  В.

15. Рассчитать абсолютные уровни по мощности, напряжению и току на входе и выходе МЗ по формулам:

$$p_m=10\lg(P_x/P_0), \text{ дБ}; \quad p_m=0.5\ln(P_x/P_0), \text{ Нп}; \quad (9)$$

$$p_n=20\lg(U_x/U_0), \text{ дБ}; \quad p_n=\ln(U_x/U_0), \text{ Нп}; \quad (10)$$

$$p_i=20\lg(I_x/I_0), \text{ дБ}; \quad p_i=\ln(I_x/I_0), \text{ Нп}. \quad (11)$$

Причем  $1\text{Нп}=8.686$  дБ,  $1\text{дБ}=0.113$  Нп.

16. Рассчитать затухание по мощности по формуле:

$$A=10\lg(P_{вх}/P_{вых})=p_{вх}-p_{вых} \quad (12)$$

17. Данные рассчитанные в пунктах 15,16 занести в таблицу 2, сравнить с измеренными значениями таблицы 1, сделать выводы.

18. Рассчитать значения мощности, тока и уровней по мощности, напряжению и току на входе и выходе четырехполосника согласно выражений (9-11), у которого  $R_{вх}\neq R_{вых}$ . В качестве четырехполосника используется согласующий трансформатор с  $R_{вх}=600$  Ом,  $R_{вых}=135$  Ом.

19. Согласно данным таблицы 1 и таблицы 2 для случая  $R_{вх}\neq R_{вых}$  рассчитать значения  $p_{м\text{ вых}} - p_{н\text{ вых}}$  и  $p_{м\text{ вых}} - p_{т\text{ вых}}$ , используя значения, полученные в предыдущем пункте, применяя формулы:

$$p_n=p_m+10\lg(R_x/R_0), \text{ дБ}; \quad (13)$$

$$p_T = p_M - 10 \lg(R_X/R_0), \text{ дБ}; \quad (14)$$

Сравнить полученные значения соответственно и сделать вывод.

20. Данные рассчитанные в пункте 18 занести в таблицу 2. Сделать выводы.

Таблица 2 - Рассчитанные значения

	$I_{BX},$ А	$I_{BЫX},$ А	$P_{BX},$ Вт	$P_{BЫX},$ Вт	$p_{MBX},$ дБ/ Нп	$p_{MBЫX},$ дБ/ Нп	$p_{HBX},$ дБ/ Нп	$p_{H-}$ $p_{BЫX},$ дБ/ Нп	$p_{TBX},$ дБ/ Нп	$p_{TBЫX},$ дБ/ Нп	$A$ дБ/ Нп
1. $R_{BX} = R_{BЫX}$ $U_{BX} = 6 \text{ В}$ $U_{BЫX} = 6 \text{ В}$											
2. $R_{BX} = R_{BЫX}$ $U_{BX} = 6 \text{ В}$ $U_{BЫX} = 0,6 \text{ В}$											
3. $R_{BX} \neq R_{BЫX}$ $U_{BX} = 6 \text{ В}$											

### Отчетность по лабораторной работе.

Результаты лабораторной работы оформляются в тетради по лабораторному практикуму и представляются для отчетности.

Для получения зачета по лабораторной работе студент должен подтвердить достоверность полученных результатов, пояснить физический смысл полученных результатов и ответить на контрольные вопросы.

### Контрольные вопросы:

1. Дать определение уровня передачи электрического сигнала.
2. Почему в технике электросвязи используют логарифмические единицы измерения мощности, напряжения, тока?
3. Дать определение абсолютного уровня передачи.
4. Дать определение относительного уровня передачи.
5. Дать определение измерительного уровня передачи.
6. Поясните взаимосвязь между уровнями сигнала по мощности, напряжению, току при различных сопротивлениях нагрузки. Подтвердите формулами.
7. Какими приборами измеряются уровни передачи?
8. Что такое затухание четырехполюсника?
9. Что такое диаграмма уровней? Для чего она используется?

10. Что такое усиление четырехполюсника?

## Лабораторная работа № 2.

### «Исследование уровней передачи сигналов в канале связи»

Электрические сигналы количественно можно характеризовать мощностью  $P$ , напряжением  $U$  и током  $I$ . В технике электросвязи принято пользоваться логарифмическими величинами - *уровнями передачи*, что позволяет существенно упростить многие расчеты, связанные с передачей сигналов. Уровни передачи, вычисленные посредством десятичных логарифмов, выражаются в децибелах (дБ).

*Уровнем передачи* называется логарифмическое отношение мощности, напряжения или тока передаваемого сигнала, измеренное в какой либо точке  $x$  системы, к уже известным опорным величинам. Количественные значения уровней передачи определяются по формулам:

- уровень по мощности  $p_M = 10 \lg \frac{P_x}{P_0}$ , дБ
  - уровень по напряжению  $p_H = 20 \lg \frac{U_x}{U_0}$ , дБ
  - уровень по току  $p_I = 20 \lg \frac{I_x}{I_0}$ , дБ
- (1)

где  $P_x$ ,  $U_x$ ,  $I_x$  - величины мощности, напряжения и тока в рассматриваемой точке  $x$  системы;

$P_0$ ,  $U_0$ ,  $I_0$  - величины, принятые за опорные.

Практически могут существовать три случая соотношения мощностей, напряжений и токов:

1.  $P_x > P_0$ ,  $U_x > U_0$ ,  $I_x > I_0$ . Уровни передачи будут иметь значения больше нуля и называются *положительными уровнями*, т.е. имеют знак «+» ;
2.  $P_x = P_0$ ,  $U_x = U_0$ ,  $I_x = I_0$ . Уровни передачи равны нулю и называются *нулевыми уровнями* ;
3.  $P_x < P_0$ ,  $U_x < U_0$ ,  $I_x < I_0$ . Уровни передачи будут иметь значения меньше нуля и называются *отрицательными уровнями*, т.е. имеют знак «-».

Для расчета значений абсолютных значений параметров сигнала при известных уровнях передачи в дБ используются очевидные математические соотношения:

$$P_x = P_0 \cdot 10^{0,1p_M}, \quad U_x = U_0 \cdot 10^{0,05p_H}, \quad I_x = I_0 \cdot 10^{0,05p_I}.$$

В зависимости от значений опорных величин  $P_0, U_0, I_0$  различают три вида уров-



ней передачи: абсолютный, относительный и измерительный.

**Абсолютными уровнями** передачи называются такие уровни, когда мощность  $P_0 = 1$  мВт (мВ-А), напряжение  $U_0 = 0,775$  В, ток  $I_0 = 1,29$ мА, что имеет место при  $Z_0 = 600$  Ом. При этом формулы (1) примут вид:

$$\begin{aligned} p_M &= 10 \lg \frac{P_x (\text{Вт})}{1 \cdot 10^{-3}}, \text{ дБм} \\ p_H &= 20 \lg \frac{U_x (\text{В})}{0.775}, \text{ дБн} \\ p_T &= 20 \lg \frac{I_x (\text{А})}{1,29 \cdot 10^{-3}}, \text{ дБт} \end{aligned} \quad (2)$$

На основании известных соотношений

$$P = I \cdot U ; \quad I = \frac{U}{|Z|} ; \quad P = \frac{U^2}{|Z|} ; \quad U = I \cdot |Z| ; \quad P = I^2 \cdot |Z|$$

где  $Z$  - сопротивление (в общем случае комплексное), соотношения для абсолютных уровней передачи  $p_M$ ,  $p_H$  и  $p_T$  будут следующие:

$$p_M = 10 \lg \frac{P_x}{P_0} = 10 \lg \left[ \frac{U_x^2}{|Z_x|} \cdot \frac{Z_0}{U_0^2} \right] = 20 \lg \frac{U_x}{U_0} + 10 \lg \left| \frac{Z_0}{Z_x} \right| = p_H + 10 \lg \left| \frac{Z_0}{Z_x} \right| \quad \text{дБм},$$

$$p_M = 10 \lg \frac{P_x}{P_0} = 10 \lg \left[ \frac{I_x^2}{I_0^2} \cdot |Z_x| \right] = 20 \lg \frac{I_x}{I_0} + 10 \lg \left| \frac{Z_x}{Z_0} \right| = p_T - 10 \lg \left| \frac{Z_0}{Z_x} \right| \quad \text{дБм},$$

$$p_H = p_T - 10 \lg \left| \frac{Z_0}{Z_x} \right| \quad \text{дБн}.$$

При  $Z_x = 600$  получим  $p_M = p_H = p_T$ .

**Измерительным уровнем** называют абсолютный уровень в точке  $x$  тракта передачи, если к входу канала передачи подключен генератор гармонического колебания с абсолютным уровнем и частотой, рекомендованными (т.е. установленными директивно) при выполнении измерений. В качестве такого генератора для каналов тональной частоты (ТЧ) обычно используют генератор со следующими характеристиками: частота 1020 Гц, ЭДС = 1,55 В, выходное сопротивление 600 Ом. Такой генератор иногда называют «нормальным», при его подключении к входу канала, который имеет входное сопротивление 600 Ом, на этом

входе устанавливаются нулевые абсолютные уровни мощности и напряжения.

**Относительными уровнями** передачи называются уровни, определяемые в точке  $x$  системы при значениях  $P_0, U_0, I_0$ , соответствующих величинам в некоторой другой точке системы, принятой за исходную (или начальную), т.е.  $P_0 = P_{вх}$ ,  $U_0 = U_{вх}$ ,  $I_0 = I_{вх}$ .

Относительные уровни передачи представляют собой разность абсолютных уровней в некоторой точке  $x$  и точке, принятой за исходную.

Тогда

$$\begin{aligned} p_{M0} &= 10 \lg \frac{P_x}{P_0} = 10 \lg \left[ \frac{P_x}{1 \cdot 10^{-3}} \cdot \frac{1 \cdot 10^{-3}}{P_{вх}} \right] = \\ &= 10 \lg \frac{P_x}{1 \cdot 10^{-3}} - 10 \lg \frac{P_{вх}}{1 \cdot 10^{-3}} = p_x - p_{вх} \end{aligned} \quad \text{дБм,}$$

где  $p_x, p_{вх}$  - абсолютные уровни сигнала соответственно в точке  $x$  и точке, принятой за исходную.

В точке нулевого относительного уровня (ТНОУ)  $p_x = p_{вх} \Rightarrow p_{M0} = \text{ОдБ}$ .

Единицы измерения абсолютного уровня  $p_M^{\text{ТНОУ}}$ , определённого в ТНОУ, записываются как дБм0.

Для перехода относительного уровня к абсолютному следует использовать выражение:

$$p_M = p_{M0} + p_M^{\text{ТНОУ}}.$$

### **Пример:**

*Действующее значение напряжения сигнала в заданной точке тракта системы передачи равно 1,6 В. Сопротивление цепи передачи в этой точке составляет 75 Ом. Определить значения абсолютных уровней передачи по мощности, напряжению и току.*

Решение :

$$\begin{aligned} p_H &= 20 \lg \left( \frac{1,6}{0,775} \right) \cong 20 \lg(2) = 6 \text{ дБн}, \\ p_M &= 10 \lg \frac{P}{P_0} = p_H + 10 \lg \left[ \left| \frac{Z_0}{Z} \right| \right] \cong 6 + 10 \lg \left( \frac{600}{75} \right) = 6 + 10 \lg(8) \cong 15 \text{ дБм}, \end{aligned}$$

$$p_T = p_M + 10 \lg \left[ \left| \frac{Z_0}{Z} \right| \right] \cong 15 + 9 = 24 \text{ дБт.}$$

При решении подобных задач можно использовать таблицу приближенных значений:

A	10lg(A), дБ /приблизительно/
1	0
2	3
3	4,8
5	7
7	8,5
11	10,4
13	11,1

Промежуточные значения могут быть получены из указанных в таблице значений путем разложения на слагаемые. Например,  $10=5 \cdot 2 \Rightarrow 10 \lg(10) = 10 \lg(5) + 10 \lg(2) = 7 + 3 = 10$ .

### Задание на лабораторную работу

1. Абсолютный уровень сигнала по мощности в некоторой точке тракта системы передачи составляет  $p_M = (-26+N)$  дБм (N - здесь и в последующих задачах номер студента по журналу). Сопротивление в этой точке составляет 150 Ом. Найти абсолютный уровень по напряжению и току, а также значения мощности и напряжения сигнала.
2. Напряжение гармонического испытательного сигнала составляет  $U_x = (5+2N)$  мВ. Найти соответствующий этому напряжению абсолютный уровень по напряжению.
3. Мощность сигнала в ТНОУ равна  $P_x = (10+5N)$  мВт. Рассчитать абсолютный уровень этого сигнала.
4. Определить абсолютный уровень по мощности гармонического сигнала на сопротивлении  $Z_x = (75+2N)$  Ом, если известно, что абсолютный уровень сигнала по напряжению на этом сопротивлении  $p_H = (5-5N)$  дБн.
5. Абсолютный уровень по мощности сигнала в измеряемой точке с сопротивлением  $Z_x = (75+2N)$  Ом составляет  $p_M = (10-2N)$  дБм. Рассчитайте абсолютный

уровень по напряжению в этой точке.

6. Определить величины мощности и напряжения гармонического сигнала на сопротивлении  $Z_x = (75+2N)$  Ом, если известно, что абсолютный уровень сигнала по мощности на этом сопротивлении  $p_M = (5-5N)$  дБм.

7. Найдите значение мощности сигнала, если известно что уровень по мощности равен  $p_M = (10-2N)$  дБм.

## Лабораторная работа №3

### «ИССЛЕДОВАНИЕ МОДУЛИРОВАННЫХ СИГНАЛОВ»

**Цель работы:** изучение характеристик сигналов с амплитудной, фазовой и частотной модуляцией.

#### 1. Краткие сведения из теории.

Сигналы, поступающие из источника сообщений (микрофон, передающая телевизионная камера, датчик телеметрической системы), как правило, не могут быть непосредственно переданы по радиоканалу. Дело не только в том, что эти сигналы недостаточно велики по амплитуде. Гораздо существеннее их относительная *низкочастотность*. Чтобы осуществить эффективную передачу сигналов в какой-либо среде, необходимо перенести спектр этих сигналов из низкочастотной области в область достаточно высоких частот. Данная процедура получила в радиотехнике название *модуляции*.

**Понятие несущего колебания.** Идея способа, позволяющего переносить спектр сигнала в область высоких частот, заключается в следующем. Прежде всего, в передатчике формируется вспомогательный высокочастотный сигнал, называемый *несущим колебанием*. Его математическая модель  $u_{\text{нес}}(t) = f(t; a_1, a_2, \dots, a_m)$  такова, что имеется некоторая совокупность параметров  $a_1, a_2, \dots, a_m$ , определяющих форму этого колебания. Пусть  $s(t)$  – низкочастотное сообщение, подлежащее передаче по радиоканалу. Если, по крайней мере, один из указанных параметров изменяется во времени пропорционально передаваемому сообщению, то несущее колебание приобретает новое свойство – оно несет в себе информацию, которая первоначально была заключена в сигнале  $s(t)$ . Физический процесс управления параметрами несущего колебания и является модуляцией. В радиотехнике широкое распространение получили системы модуляции, использующие в качестве несущего простое гармоническое колебание, имеющее три свободных параметра  $U, \omega$  и  $\varphi$ .

$$u_{\text{нес}}(t) = U \cos(\omega t + \varphi) \quad (3.1)$$

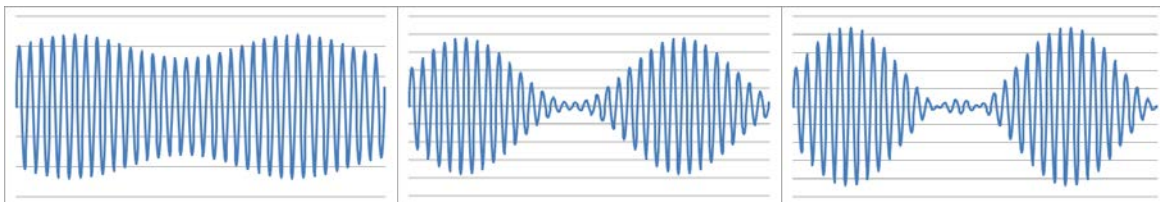
У гармонического колебания можно изменять при модуляции амплитуду, частоту и сдвиг фазы. Соответственно различают три вида модуляции - амплитудную, частотную и фазовую. Так как и при частотной и при фазовой модуляции изменяется фазовый угол, то эти два вида модуляции объединяют одним названием угловой модуляции. Возможны и смешанные виды модуляции. Частота несущего сигнала зачастую называется несущей частотой.

### Сигналы с амплитудной модуляцией

**Принцип амплитудной модуляции.** Если переменной оказывается амплитуда сигнала  $U(t)$ , причем остальные два параметра  $\omega$  и  $\varphi$  неизменны, то имеется *амплитудная модуляция* несущего колебания. Форма записи амплитудно-модулированного сигнала, или АМ-сигнала, такова:

$$u_{\text{ам}} = U(t) \cos(\omega_0 t + \varphi_0) \quad (3.2)$$

Осциллограмма АМ-сигнала имеет характерный вид (рис. 1). Обращает на себя внимание симметрия графика относительно оси времени. В соответствии с формулой (2) АМ-сигнал есть произведение *огибающей*  $U(t)$  и *гармонического заполнения*  $\cos(\omega_0 t + \varphi_0)$ . В большинстве практически интересных случаев оги-



бающая изменяется во времени *гораздо меньше*, чем высокочастотное заполнение.

а

б

в

Рис. 1. АМ-сигналы при различных глубинах модуляции:

а – неглубокая модуляция; б – глубокая модуляция; в – перемодуляция.

Амплитудно-модулированное (АМ) колебание - это колебание, амплитуда которого изменяется по закону передаваемого сигнала, т.е.

$$U_m(t) = U_{m0} + k \cdot s(t) , \quad (3.3)$$

где:  $U_m(t)$  - изменяющаяся во времени амплитуда АМ колебания (огибающая АМ колебания);

$U_{m0}$ - амплитуда колебания в отсутствие модуляции (амплитуда несущего сигнала);

$s(t)$ - модулирующее колебание (передаваемый сигнал);

$k$  - коэффициент пропорциональности, определяемый модулятором.

В частном случае модулирующий сигнал является гармоническим. Это так называемая тональная модуляция. При этом

$$s(t) = U_{\Omega} \cos(\Omega t + \Phi) , \quad (3.4)$$

где  $U_{\Omega}$ ,  $\Omega$ ,  $\Phi$  - соответственно амплитуда, угловая частота и начальная фаза модулирующего колебания.

Выражение (3) для амплитуды АМ колебания примет вид

$$U_m(t) = U_{m0} + k \cdot U_{\Omega} \cos(\Omega t + \Phi) \quad (3.5)$$

а полное выражение для амплитудно-модулированного сигнала запишется как

$$\begin{aligned} u(t) &= U_m(t) \cos(\omega_0 t + \varphi) = \\ &= [U_{m0} + k \cdot U_{\Omega} \cos(\Omega t + \Phi) \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi)] = \\ &= [U_{m0} + k \cdot \Delta U_m \cos(\Omega t + \Phi)] \cos(\omega_0 t + \varphi) = \\ &= U_{m0} [1 + M \cdot \cos(\Omega t + \Phi)] \cos(\omega_0 t + \varphi) . \end{aligned} \quad (6)$$

Величина

$$M = \frac{\Delta U_m}{U_{m0}} \quad (3.7)$$

называется коэффициентом модуляции. Она определяет степень изменения амплитуды АМ колебания, так называемую глубину модуляции. Как правило,  $0 < M < 1$ .

Смысл этого термина поясняется осциллограммами АМ-сигналов, изображенными на рис. 1.

При малой глубине модуляции относительное изменение огибающей невелико, т.е.  $Ms(t) \ll 1$  во все моменты времени независимо от формы сигнала  $s(t)$ . Если же в моменты времени, когда сигнал  $s(t)$  достигает экстремальных значений, имеются приближенные равенства  $MS_{max}(t) \cong 1$  или  $MS_{min}(t) \cong 0$ , то говорят о глубокой амплитудной модуляции.

АМ-сигналы с малой глубиной модуляции в радиоканалах нецелесообразны ввиду неполного использования мощности передатчика.

В то же время 100%-ная модуляция вверх ( $M = 1$ ) в два раза повышает амплитуду колебаний при пиковых значениях модулирующего сообщения. Дальнейший рост этой амплитуды, как правило, приводит к нежелательным искажениям из-за перегрузки выходных каскадов передатчика.

Не менее опасна слишком глубокая амплитудная модуляция вниз. На рис. 1, в изображена так называемая *перемодуляция* ( $M > 1$ ). Здесь форма огибающей перестает повторять форму модулирующего сигнала.

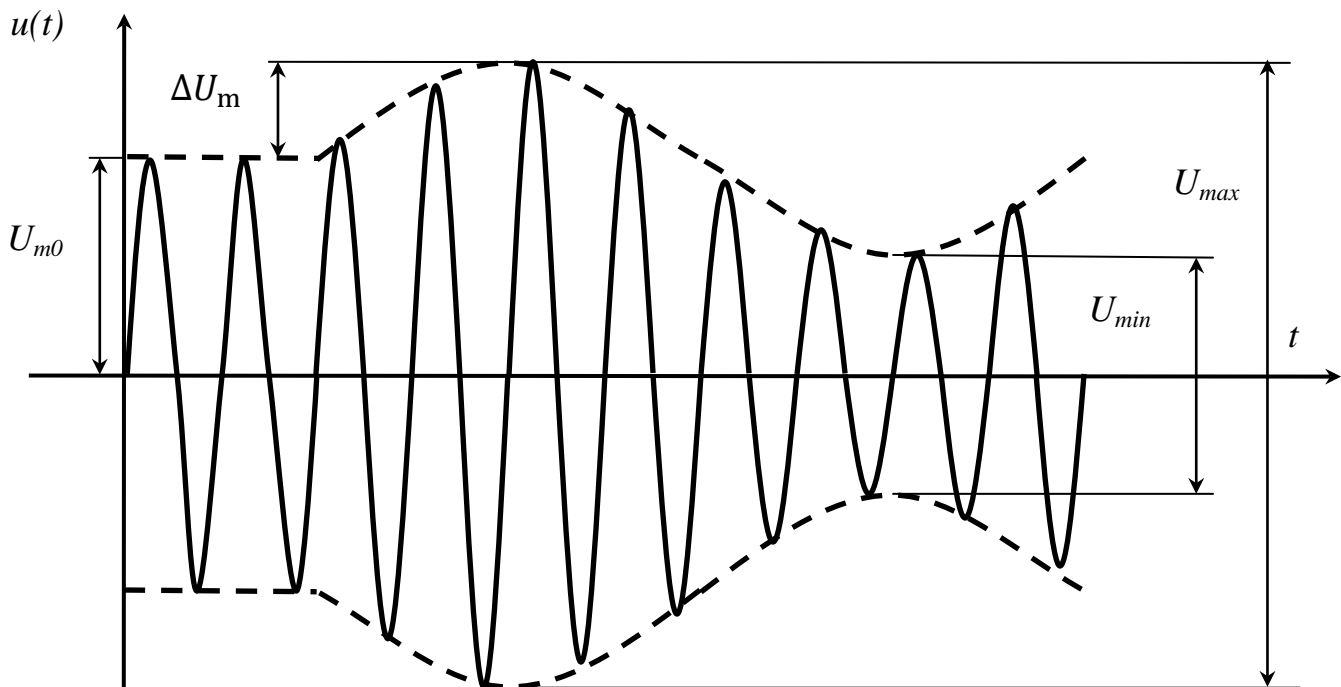


Рис.2

На рисунке 2 изображена временная диаграмма АМ колебания при тональной модуляции.

На этом рисунке показано, что размах сигнала изменяется от некоторого минимального значения  $U_{min}$  до некоторого максимального значения  $U_{max}$ , причем

$$\frac{U_{max} + U_{min}}{4} = U_{m0}, \quad \frac{U_{max} - U_{min}}{4} = \Delta U_m$$



откуда получается выражение, позволяющее определять коэффициент модуляции по временной диаграмме (осциллограмме).

$$M = \frac{\Delta U_m}{U_{m0}} = \frac{U_{max} - U_{min}}{U_{max} + U_{min}} \quad (3.8)$$

Спектральный состав АМ колебания при тональной модуляции может быть определен на основе выражения (6). Действительно, раскрывая квадратные скобки, после элементарных преобразований получим

$$u(t) = U_{m0} \cos(\omega_0 t + \varphi) + \frac{U_{m0}M}{2} \cos[(\omega_0 + \Omega)t + \varphi + \Phi] + \frac{U_{m0}M}{2} \cos[(\omega_0 - \Omega)t + \varphi - \Phi] \quad (3.9)$$

Амплитудный и фазовый спектры рассматриваемого сигнала изображены на рисунке 3.

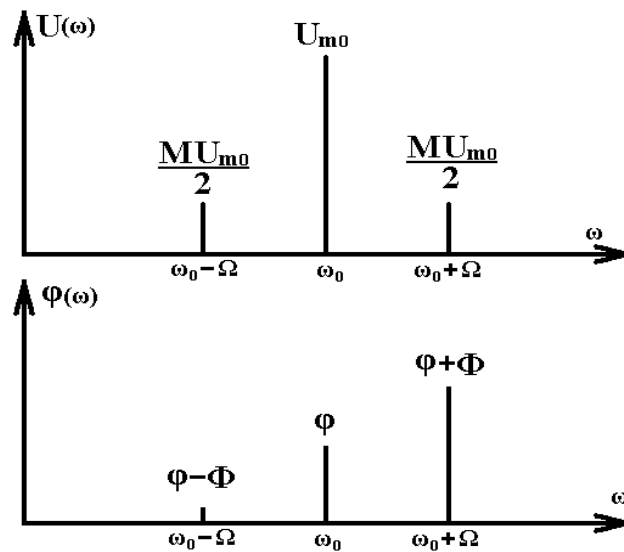


Рис.3

Строя по формуле (9) спектральную диаграмму однотонового АМ-сигнала, следует обратить внимание на равенство амплитуд верхнего и нижнего боковых колебаний, а также на симметрию расположения этих спектральных составляющих относительно несущего колебания.

Рассмотренное выше показывает, что при тональной модуляции АМ колебание может быть представлено в виде суммы трех простых гармонических колебаний. Одно из них - колебание несущей частоты  $\omega_0$  с амплитудой  $U_{m0}$ . Два дру-

гих с частотами, симметричными относительно  $\omega_0$  ( $\omega_0 + \Omega$ ) и ( $\omega_0 - \Omega$ ) называются соответственно верхней и нижней боковыми составляющими. Амплитуды боковых составляющих равны одной и той же величине  $U_{m0}M/2$ .

### Сигналы с угловой модуляцией (СУМ).

При частотной модуляции (ЧМ) по закону передаваемого сообщения  $s(t)$  изменяется частота

$$\omega(t) = \omega_0 + ks(t), \quad (3.10)$$

следовательно, полная фаза несущего колебания равна

$$\phi(t) = \omega_0 t + k \int s(t) dt + \varphi_0. \quad (3.11)$$

При фазовой модуляции (ФМ) по закону передаваемого сообщения изменяется фазовый сдвиг, поэтому полная фаза определится выражением

$$\phi(t) = \omega_0 t + ks(t) + \varphi_0. \quad (3.12)$$

При тональной модуляции  $s(t) = S_0 \cos(\Omega t + \Phi)$ . Тогда для ЧМ имеем

$$\omega(t) = \omega_0 + kS_0 \cos(\Omega t + \Phi) = \omega_0 + \Delta\omega \cos(\Omega t + \Phi), \quad (3.13)$$

$$\phi(t) = \omega_0 t + \frac{\Delta\omega}{\Omega} \sin(\Omega t + \Phi) + \varphi_0 = \omega_0 t + m \sin(\Omega t + \Phi) + \varphi_0, \quad (14)$$

$$u(t) = U_m \cos[\omega_0 t + m \sin(\Omega t + \Phi) + \varphi_0]. \quad (3.15)$$

Для ФМ при тональной модуляции сразу получим

$$\begin{aligned} u(t) &= U_m \cos[\omega_0 t + kS_0 \sin(\Omega t + \Phi) + \varphi_0] = \\ &= U_m \cos[\omega_0 t + m \cos(\Omega t + \Phi) + \varphi_0]. \end{aligned} \quad (3.16)$$

Мгновенная частота этого сигнала как производная фазового угла

$$\omega(t) = \omega_0 + kS_0 \sin(\Omega t + \Phi) = \omega_0 + \Delta\omega \sin(\Omega t + \Phi), \quad (3.17)$$

Величина  $\Delta\omega$  в выражениях (13) и (17) называется девиацией частоты. По своей физической сути это максимальное отклонение частоты от своего среднего значения  $\omega_0$ .

Величина  $m$  в выражениях (14) и (15) есть индекс модуляции - максимальное отклонение сдвига фаз от своего среднего значения  $\varphi_0$ .

Следует отметить, что девиация частоты и индекс модуляции для ЧМ и ФМ определяются по-разному, однако, не трудно увидеть, что связь между ними выражается одним соотношением

$$m = \frac{\Delta\omega}{\Omega}. \quad (3.18)$$

Сравнивая формулы (15) и (16), сделаем вывод о том, что они практически одинаковы, поскольку на начальную фазу модулирующего сигнала не наложено каких-то особых условий. Это означает, что осциллограммы ЧМ и ФМ колебаний при тональной модуляции не различимы. На рисунке 4 приведена временная диаграмма СУМ при тональной модуляции.

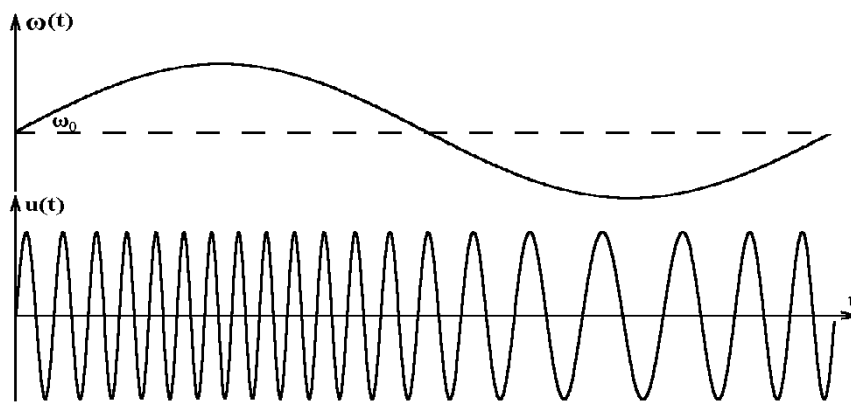


Рис. 4

Для исследования спектрального состава СУМ при тональной модуляции воспользуемся выражением (16). Раскрывая квадратные скобки и опираясь на хорошо известный из математики аппарат бесселевых функций, получим

$$\begin{aligned} u(t) &= U_m \cos[\omega_0 t + m \sin(\Omega t + \Phi) + \varphi_0] = \\ &= U_m \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n(m) \cos[(\omega_0 + n\Omega)t + n\Phi + \varphi_0] \end{aligned} \quad (3.19)$$

где  $J_n(m)$  - функция Бесселя первого рода  $n$ -ного порядка от аргумента  $m$ .

Как видно из полученного выражения, спектр состоит из бесконечно большого числа составляющих (даже при модуляции одним тоном!), расположенных симметрично относительно частоты несущего сигнала  $\omega_0$ :

$$\omega_n = \omega_0 \pm n\Omega \text{ при } n = 0, 1, 2, \dots. \quad (3.20)$$

Амплитуда  $n$ -ной гармоники определяется ее номером и индексом модуляции:

$$U_{mn} = U_m J_n(m). \quad (3.21)$$

Пример амплитудного спектра СУМ при тональной модуляции приведен на рисунке 5.

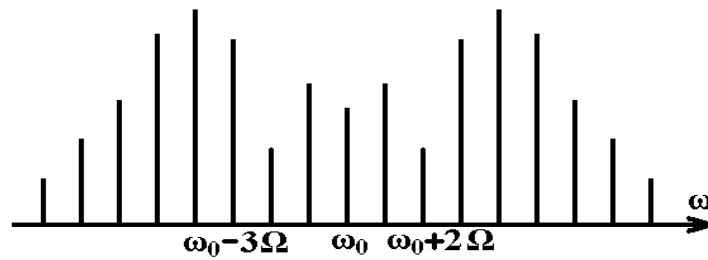


Рис. 5

Анализ спектра сигналов с угловой модуляцией показывает, что уровень несущей может быть ниже уровня боковых составляющих. Более того, в некоторых случаях амплитуда несущего колебания вообще может быть равной нулю. Этот факт говорит о более рациональном использовании энергии передатчика в данном случае по сравнению с передачей АМ сигналов.

## 2. Моделирование процессов модуляции с помощью программы EXEL.

Загрузить файл “МодуляцияОбщ1.xlsx”.

На первой странице моделируется процесс амплитудной модуляции.

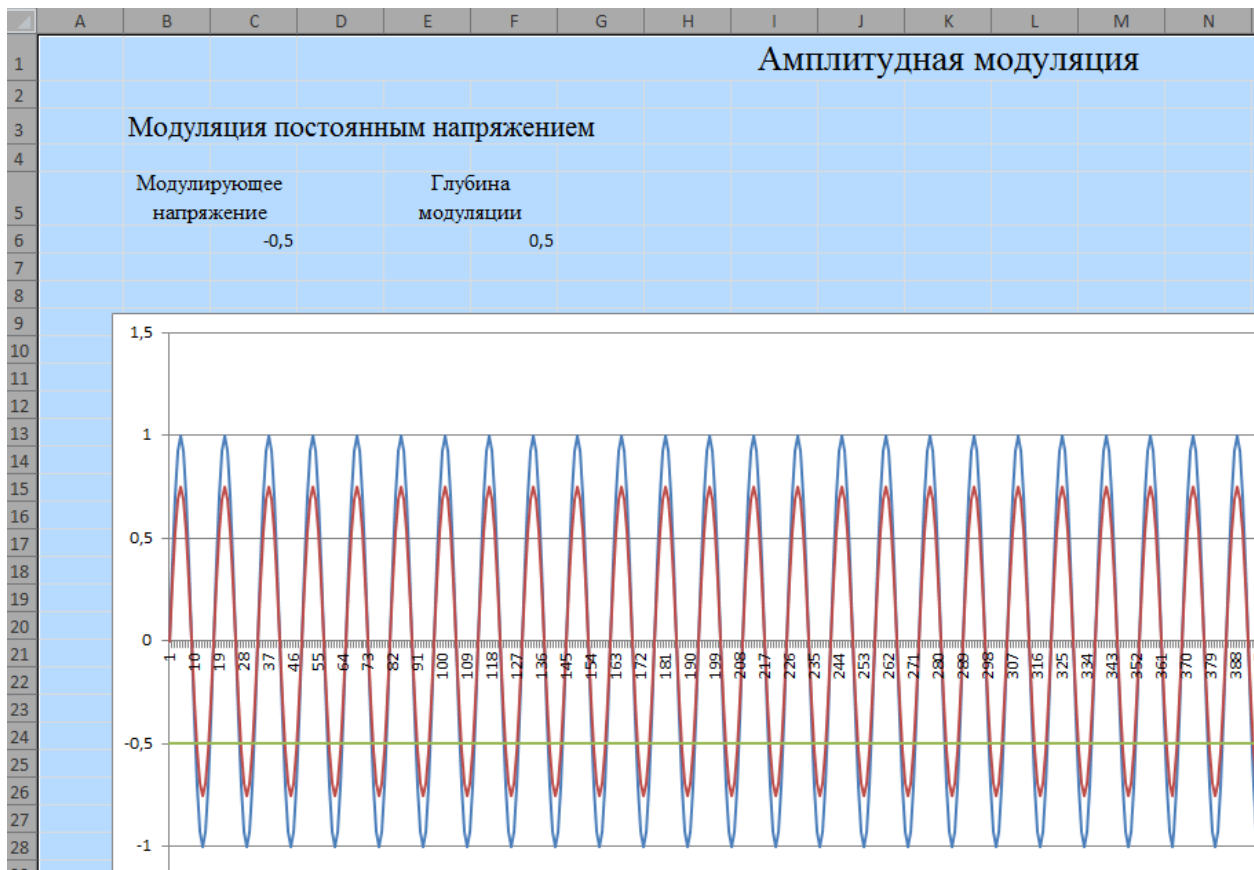


Рис.6

Изменяя значения ячеек С6 “Модулирующее напряжение” от -1 до 1 с шагом 0,2 (зеленая линия) и F6 “Глубина модуляции” от 0 до 1 наблюдать изменение амплитуды модулированного сигнала (красная линия) по отношению несущей (синяя линия).

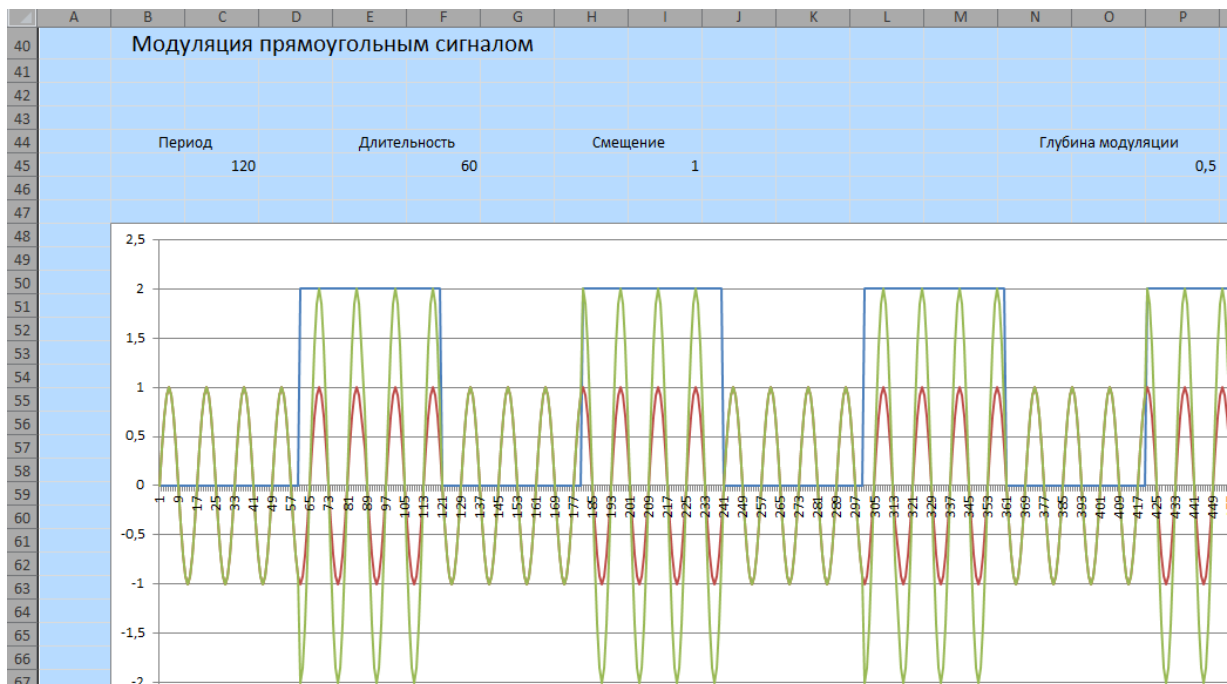


Рис.7

Изменяя значения ячеек C45 “Период” от 60 до 240 и F45 “Длительность” и I45 “Смещение” от 0 до 2 наблюдать изменение модулирующего прямоугольного сигнала (синяя линия) и модулированного (зеленая линия) по отношению несущей (красная линия). Изменяя значения ячейки R45 “Глубина модуляции” от 0 до 1 наблюдать изменение амплитуды модулированного сигнала.

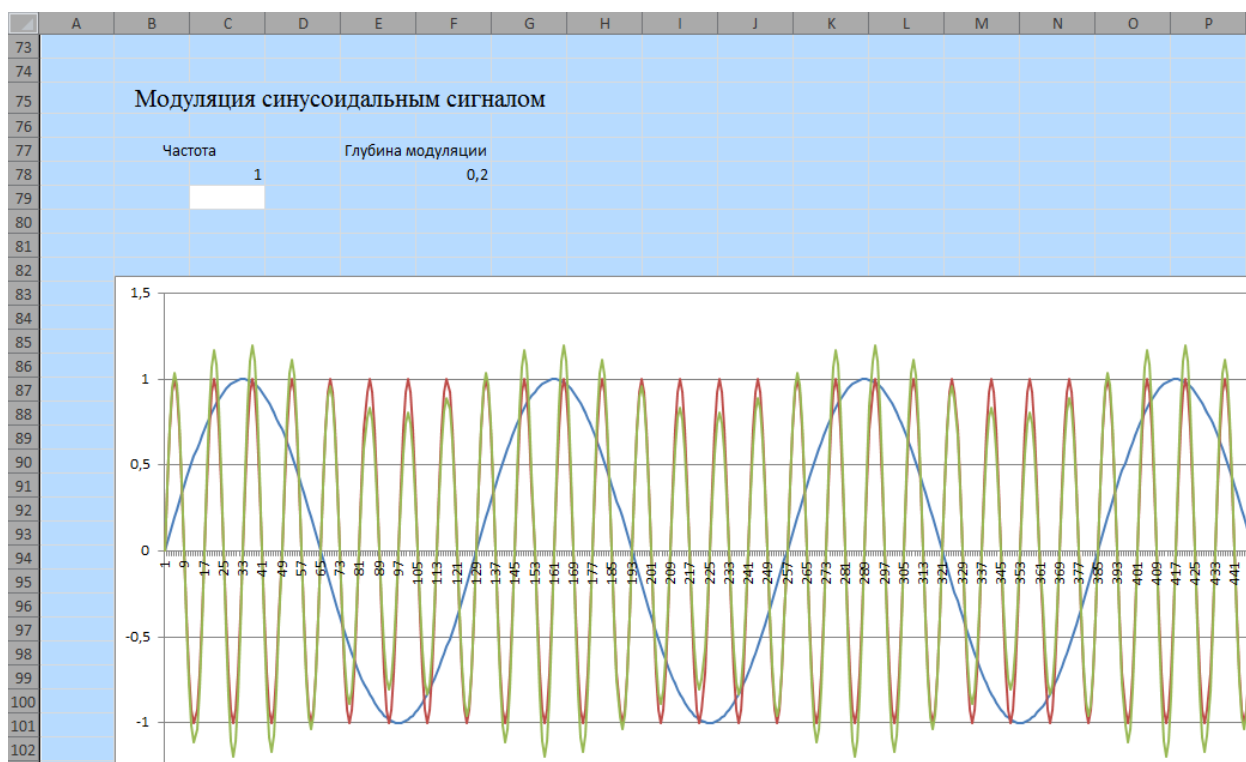


Рис.8

Изменяя значения ячеек C78 “Частота” от 0,4 до 1 с шагом 0,2 наблюдать изменение частоты моделирующего колебания (синяя линия) и изменение огибающей модулированного сигнала (зеленая линия) по отношению несущей (красная линия). Изменяя значение ячейки F78 “Глубина модуляции” от 0 до 1 наблюдать изменение амплитуды модулированного сигнала (зеленая линия).

На второй странице моделируется процесс фазовой модуляции.

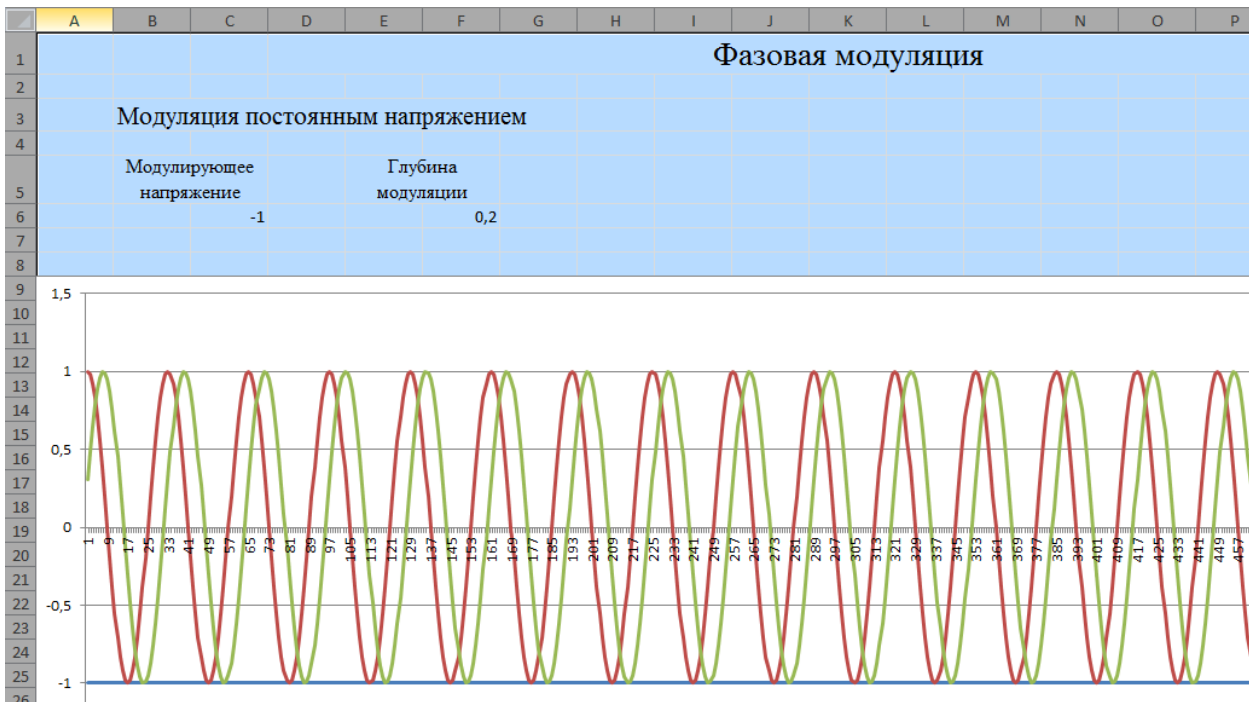


Рис.9

Изменяя значения ячеек С6 “Модулирующее напряжение” от -1 до 1 с шагом 0,2 (синяя линия) и F6 “Глубина модуляции” от 0 до 1 наблюдать изменение фазы модулированного сигнала (зеленая линия) по отношению несущей (красная линия).

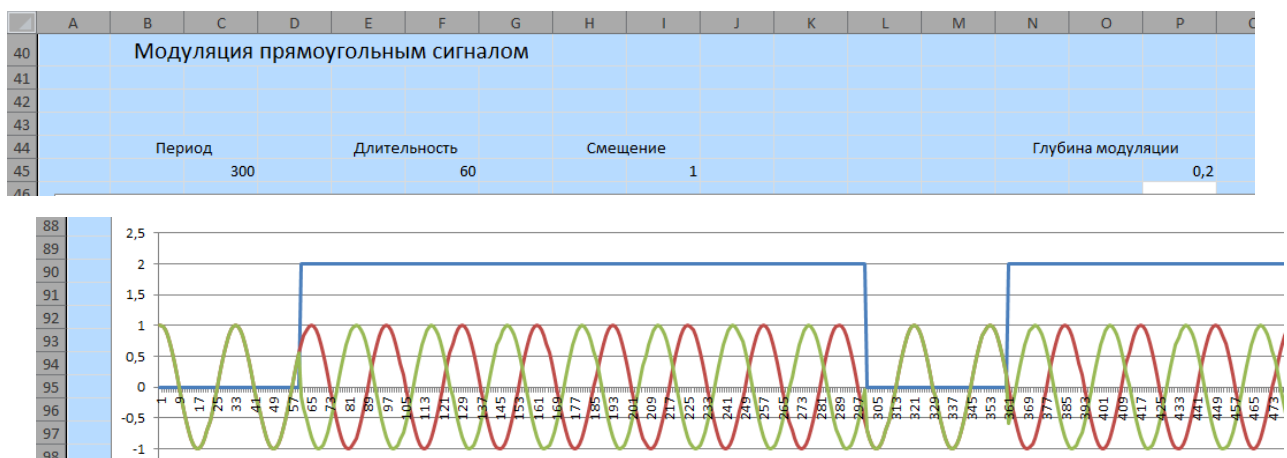


Рис.10

Изменяя значения ячеек C45 “Период” от 60 до 240 и F45 “Длительность” и I45 “Смещение” от 0 до 2 наблюдать изменение модулирующего прямоугольного сигнала (синяя линия) и модулированного (зеленая линия) по отношению несущей (красная линия). Изменяя значения ячейки R45 “Глубина модуляции” от 0 до 1 наблюдать изменение фазы модулированного сигнала.

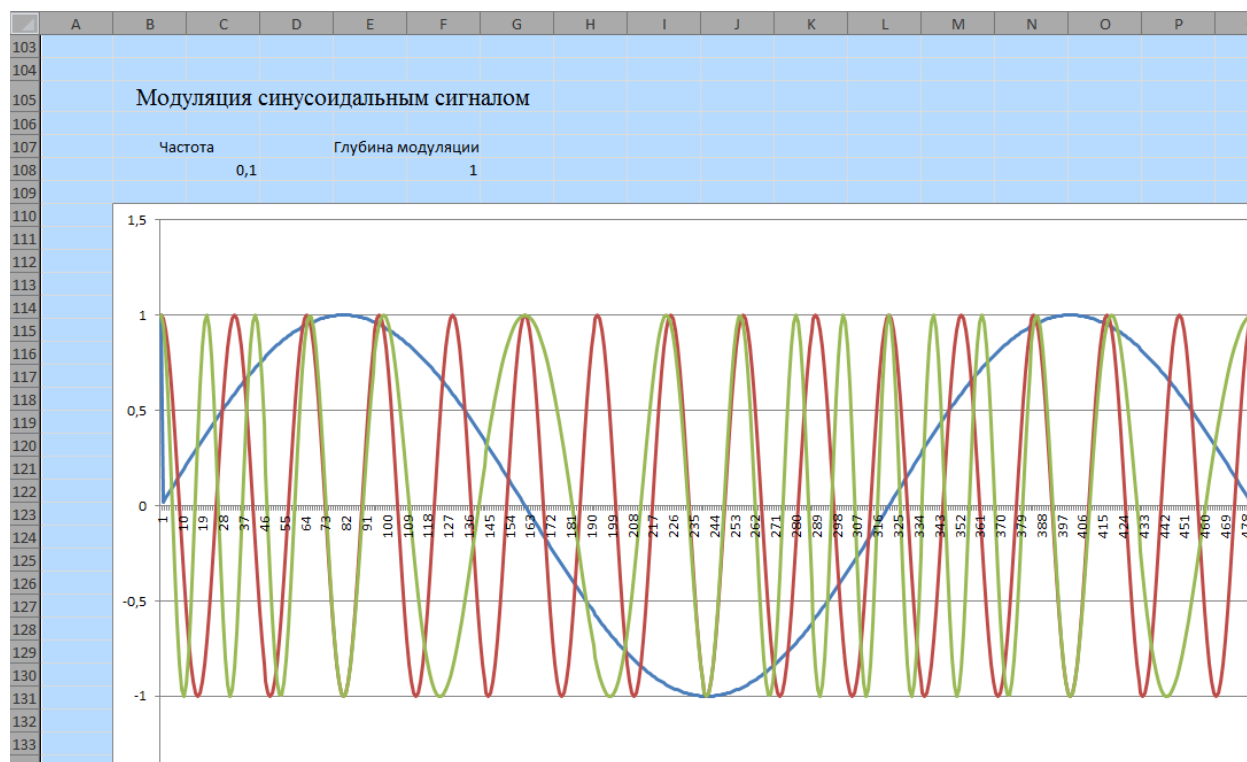


Рис.11

Изменяя значения ячеек C108 “Частота” от 0,4 до 1 с шагом 0,2 наблюдать изменение частоты моделирующего колебания (синяя линия) и изменение фазы модулированного сигнала (зеленая линия) по отношению несущей (красная линия). Изменяя значение ячейки F78 “Глубина модуляции” от 0 до 1 наблюдать изменение фазы модулированного сигнала (зеленая линия).



На третьей странице моделируется процесс фазовой модуляции.

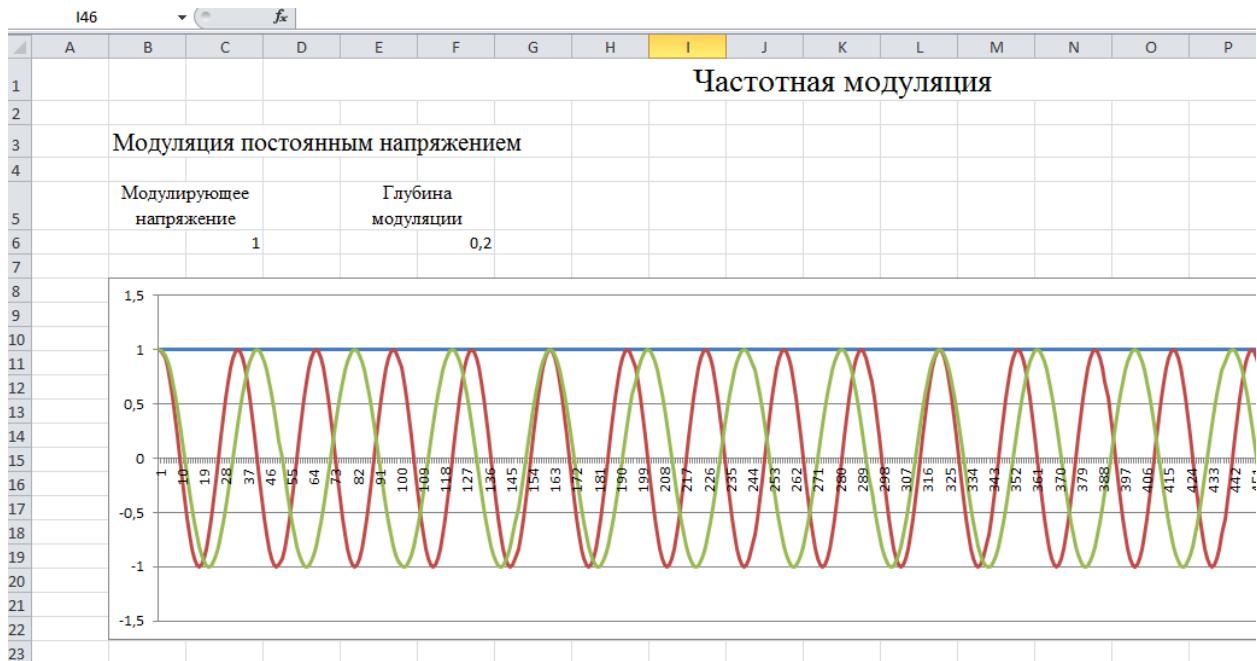


Рис.12

Изменяя значения ячеек С6 “Модулирующее напряжение” от -1 до 1 с шагом 0,2 (синяя линия) и F6 “Глубина модуляции” от 0 до 1 наблюдать изменение частоты модулированного сигнала (зеленая линия) по отношению несущей (красная линия).

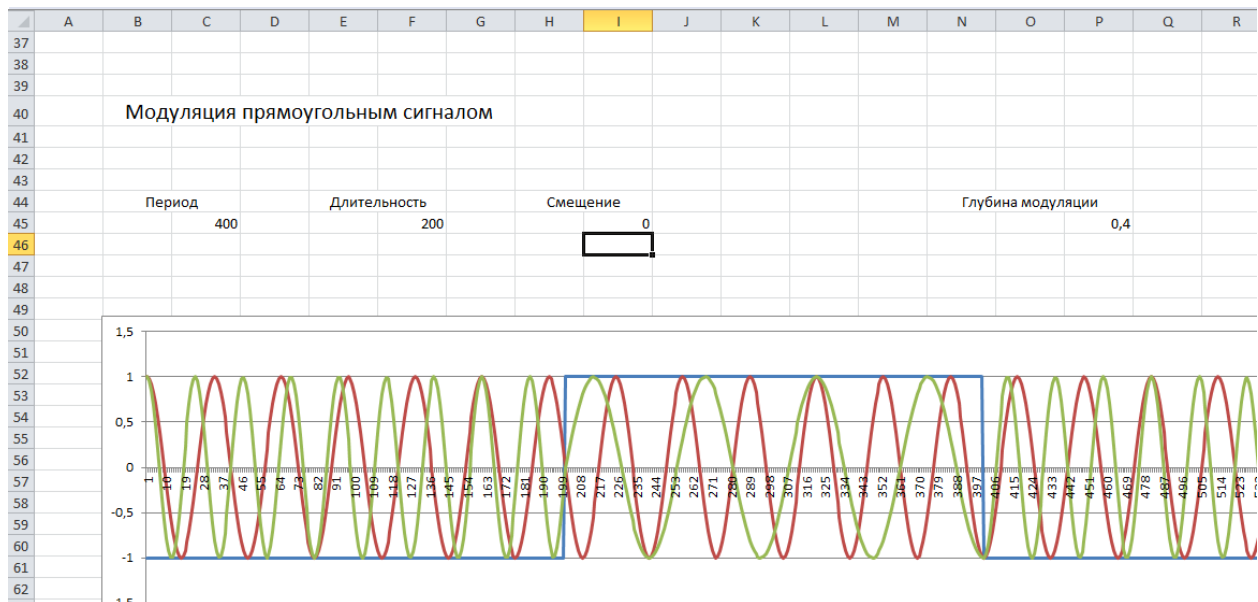


Рис.13

Изменяя значения ячеек С45 “Период” от 60 до 240 и F45 “Длительность” и I45 “Смещение” от 0 до 2 наблюдать изменение модулирующего прямоугольного сигнала (синяя линия) и модулированного (зеленая линия) по отношению несущей (красная линия).

щей (красная линия). Изменяя значения ячейки P45 “Глубина модуляции” от 0 до 1 наблюдать изменение частоты модулированного сигнала.

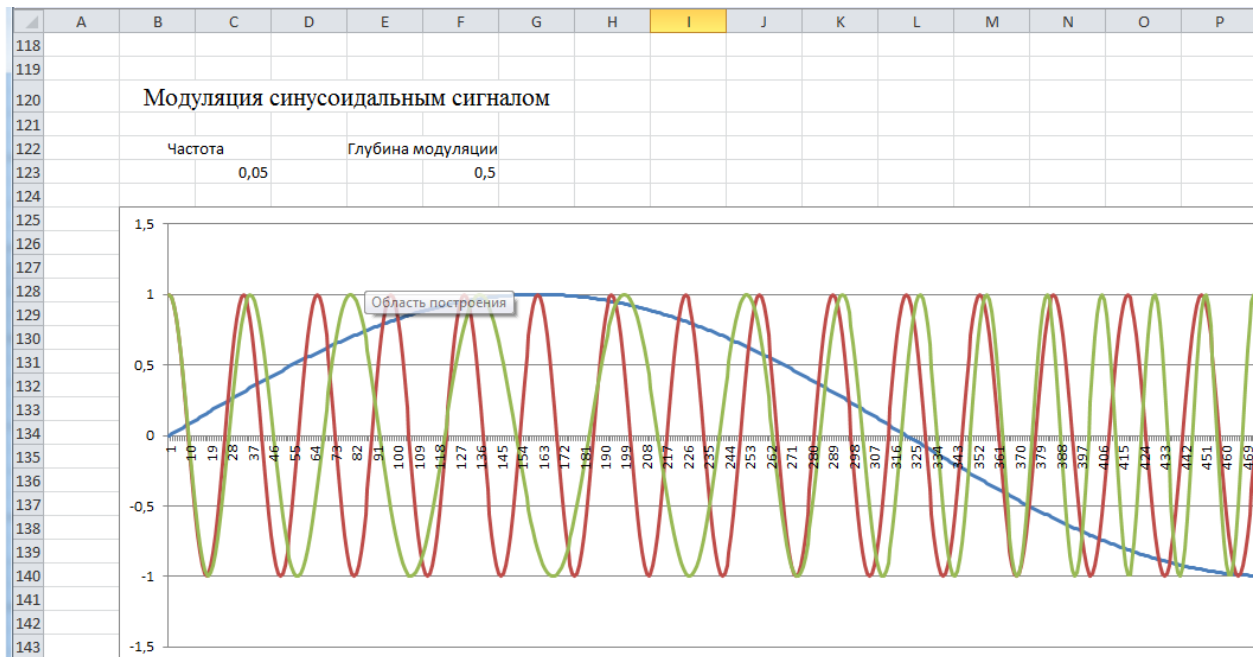


Рис.14

Изменяя значения ячеек C123 “Частота” от 0,05 до 0,2 с шагом 0,05 наблюдать изменение частоты моделирующего колебания (синяя линия) и изменение фазы модулированного сигнала (зеленая линия) по отношению несущей (красная линия). Изменяя значение ячейки F123 “Глубина модуляции” от 0 до 1 наблюдать изменение частоты модулированного сигнала (зеленая линия).

## 1. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

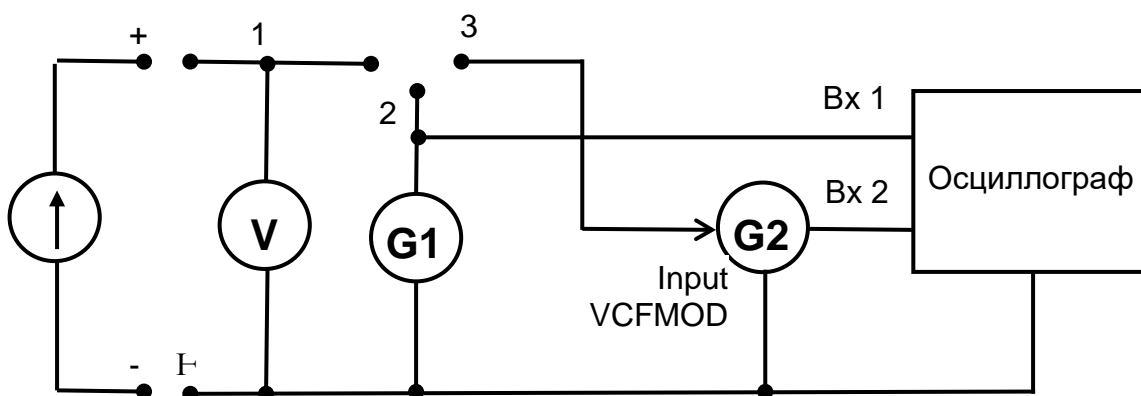


Рис.15. Схема лабораторной установки

Установка для исследования процессов амплитудной, частотной и импульсной модуляции (рисунок 15) включает в себя лабораторный макет, генератор синусо-

идальных сигналов низкочастотный ГЗ-112 (G1), функциональный генератор GFG-8255A (G2), осциллограф АСК 105.

Лабораторный макет представляет собой блок, внутри которого размещен автономный источник питания, обеспечивающий постоянные напряжения 0 - 5 В, наборное поле, вольтметр постоянного тока (V).

На лицевой панели макета выведена гнезда и ручка регулировки постоянного напряжения в пределах от 0 до 5 В, которое контролируется встроенным вольтметром со шкалой 10 В.

Функциональный генератор GFG-8255 предназначен для формирования высокочастотного несущего сигнала, генератор ГЗ-56 (ГЗ-106) - для формирования низкочастотного модулирующего колебания. Осциллограф обеспечивает наблюдение временных диаграмм сигналов (в том числе и модулированных) и измерение их основных параметров.

Порядок выполнения работы

Собрать схему согласно рис.1.

На генераторе G2 включить режим модуляции несущей, нажав кнопки “mod ext” и “mod on”.

### 1. Исследование сигналов с амплитудной модуляцией

Установить амплитудную модуляцию - ручку “mod depth” в верхнем положении.

Подать 0 В на вход модуляции “Input VCFMOD” генератора G2, соединив контакты :2 - :1. С помощью луча 2 осциллографа установить амплитуду несущей  $U_{m0} = 0,5 U_{max} = 4$  В (ручка “AMPL”) и частоту 20 кГц (ручка “FREQUENCY”) на генераторе G2.

1.1. Исследование зависимости амплитуды модулированной несущей от уровня напряжения сигнала.

Подключить к входу модуляции источник постоянного напряжения, соединив контакты :1 - :2.

Установить ручку “mod depth” регулировки коэффициента пропорциональности генератора G2 в положение “А”.

Устанавливая уровень сигнала  $U_{\text{сиг}}$  4,5 В; 3В; 1,5В; -1,5В; -3В; -4,5В измерить амплитуду несущей  $U_m$  для каждого из указанных значений. Данные занести в таблицу.

Рассчитать коэффициент пропорциональности  $k = \frac{U_m - U_{m0}}{U_{\text{сиг}}}$  и коэффициент амплитудной модуляции  $M = \frac{|U_m - U_{m0}|}{U_{m0}}$ .

Построить график зависимости амплитуды модулированного сигнала от уровня напряжения сигнала

Аналогичные действия выполнить для положений “В” и “С” ручки “mod depth” регулировки коэффициента пропорциональности генератора G2

Таблица 1

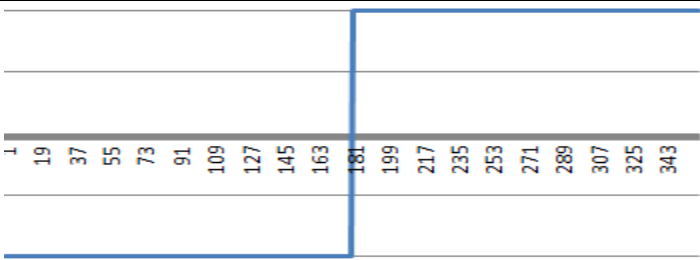
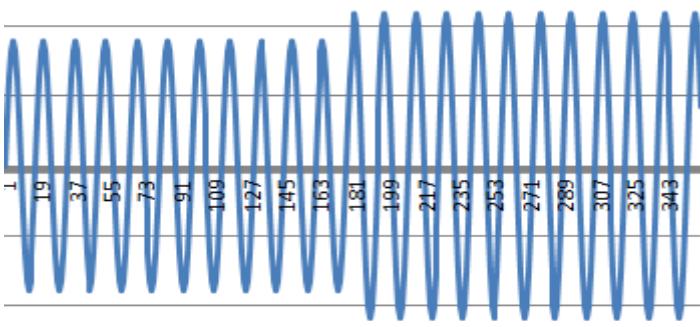
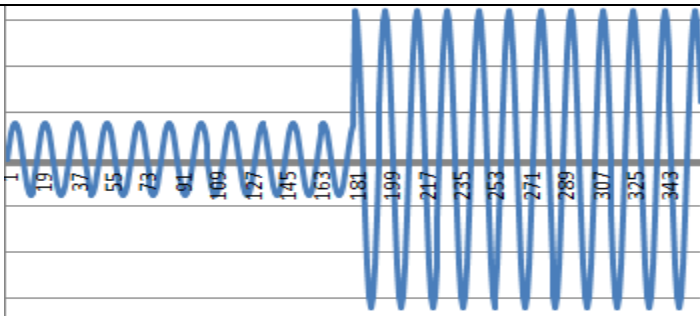
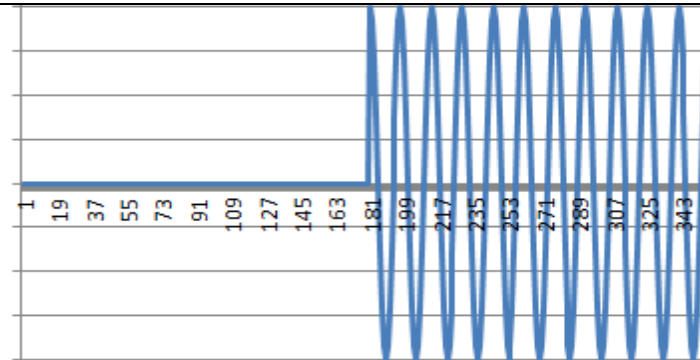
Уровень сигнала $U_{\text{сиг}}$ , В	4,5	3	1,5	-1,5	-3	-4,5
Положение “А”						
Амплитуда несущей $U_m$	5,1	4,7	4,2	3,7	3,3	2,8
Коэффициент пропорциональности $k$	0,24	0,22	0,16	0,22	0,25	0,26
Коэффициент амплитудной модуляции М	0,27	0,17	0,06	0,12	0,19	0,29
Положение “В”						
Амплитуда несущей $U_m$	7,4	6,4	5,1	2,7	1,6	0,35
Коэффициент пропорциональности $k$	0,75	0,79	0,73	0,87	0,79	0,81
Коэффициент амплитудной модуляции М	0,83	0,59	0,27	0,33	0,59	0,91
Положение “С”						
Амплитуда несущей $U_m$	8,8	7,2	5,5	2,5	0,78	-0,77
Коэффициент пропорциональности $k$	1,06	1,07	1,01	1,02	1,07	1,06
Коэффициент амплитудной модуляции М	1,19	0,8	0,38	0,38	0,81	1,19

1.2. Исследование формы несущей, модулированной прямоугольным сигналом.

Вход модуляции “Input VCFMOD” генератора G2, подключить к выходу генератора G1 соединив контакты :2 - :3.

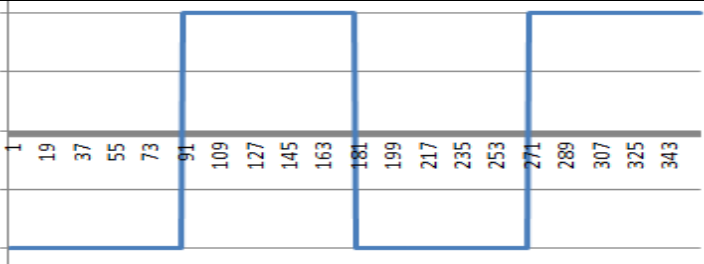
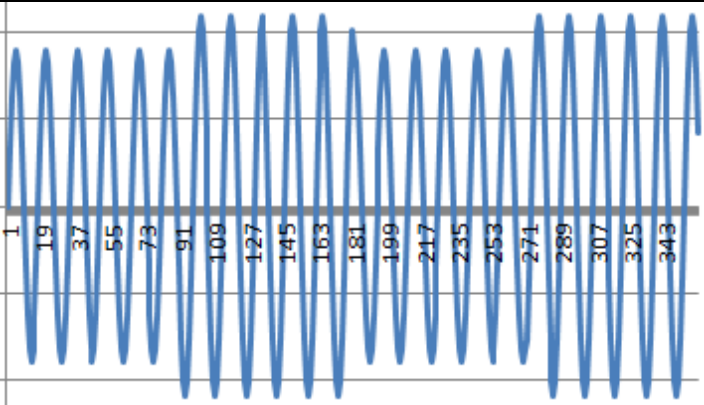
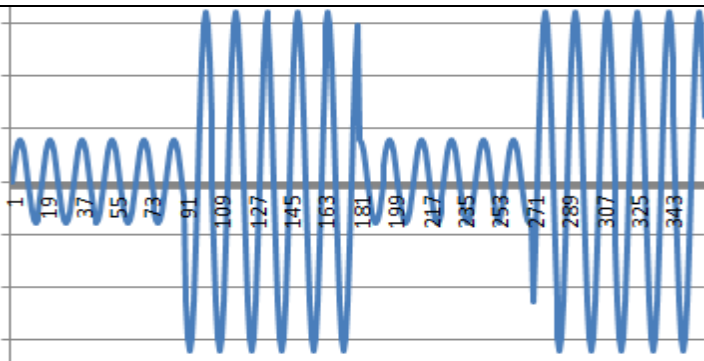
Генератор G1 установить в режим генерации синусоидальных сигналов. На выходе генератора G1 установить сигнал амплитудой 4 В частотой 1 кГц. Измерить  $U_{max}$  и  $U_{min}$  для положений “А”, “В”, “С” ручки “mod depth” регулировки коэффициента пропорциональности генератора G2. Рассчитать глубину модуляции и нарисовать эпюры для каждого из положений.

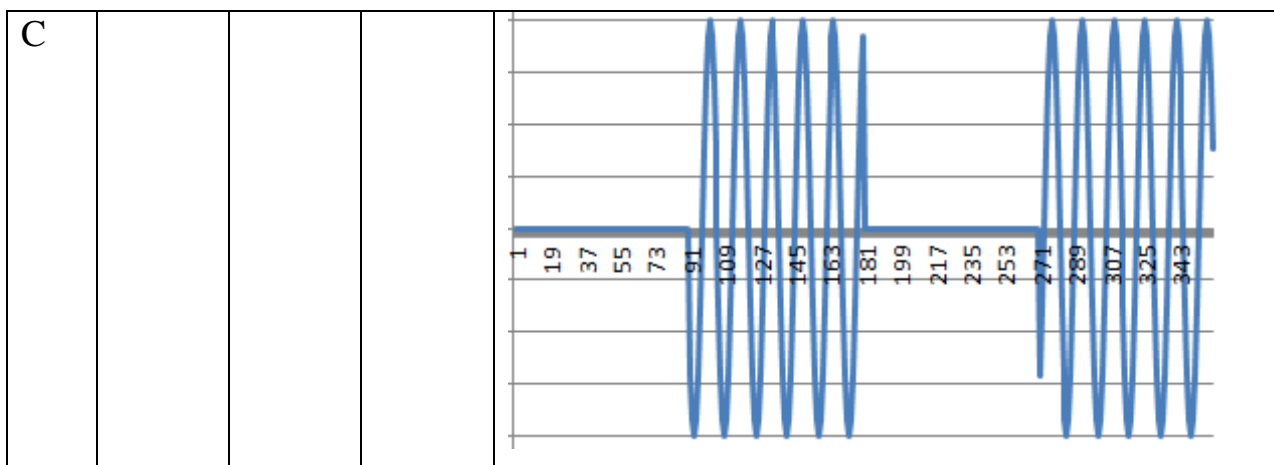
Таблица 2

Частота сигнала $f_{\text{сиг}} = 1\text{кГц}$				
	$U_{max}$	$U_{min}$	M	
А				
В				
С				

На выходе генератора G1 установить сигнал амплитудой 4 В частотой 2 кГц. Измерить  $U_{max}$  и  $U_{min}$  для положений “А”, “В”, “С” ручки “mod depth” регулировки коэффициента пропорциональности генератора G2. Рассчитать глубину модуляции и нарисовать эпюры для каждого из положений “А”, “В”, “С” ручки “mod depth”..

Таблица 3

Частота сигнала $f_{\text{сиг}} = 2\text{кГц}$				
	$U_{max}$	$U_{min}$	M	
А				
В				



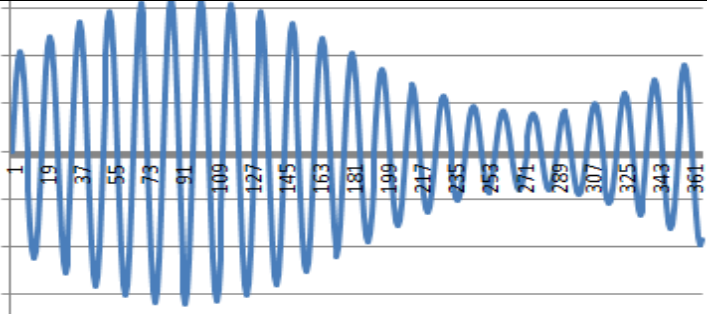
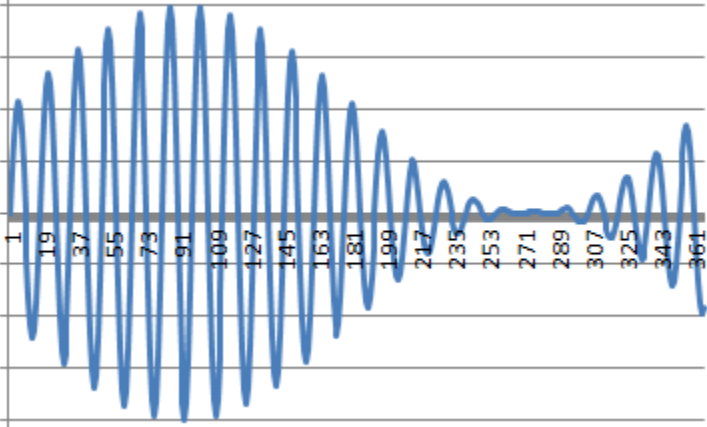
### 1.3 Исследование формы несущей, модулированной синусоидальным сигналом.

Вход модуляции “Input VCFMOD” генератора G2, подключить к выходу генератора G1 соединив контакты :2 - :3.

Генератор G1 установить в режим генерации прямоугольных импульсов. На выходе генератора G1 установить сигнал амплитудой 4 В частотой 1 кГц. Измерить  $U_{max}$  и  $U_{min}$  для положений “А”, “В”, “С” ручки “mod depth” регулировки коэффициента пропорциональности генератора G2. Рассчитать глубину модуляции и нарисовать эпюры для каждого из положений “А”, “В”, “С” ручки “mod depth”..

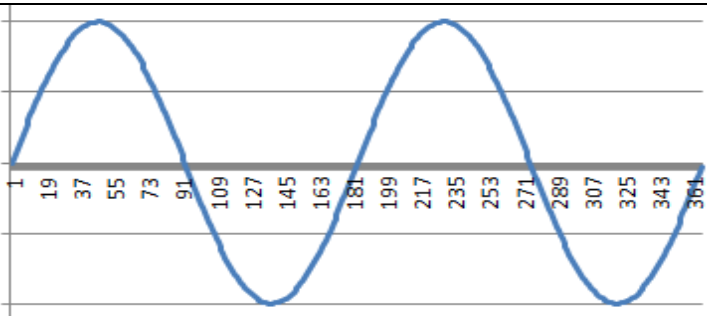
Таблица 4

Частота сигнала $f_{\text{сиг}} = 1 \text{ кГц}$				
	$U_{max}$	$U_{min}$	М	
А				

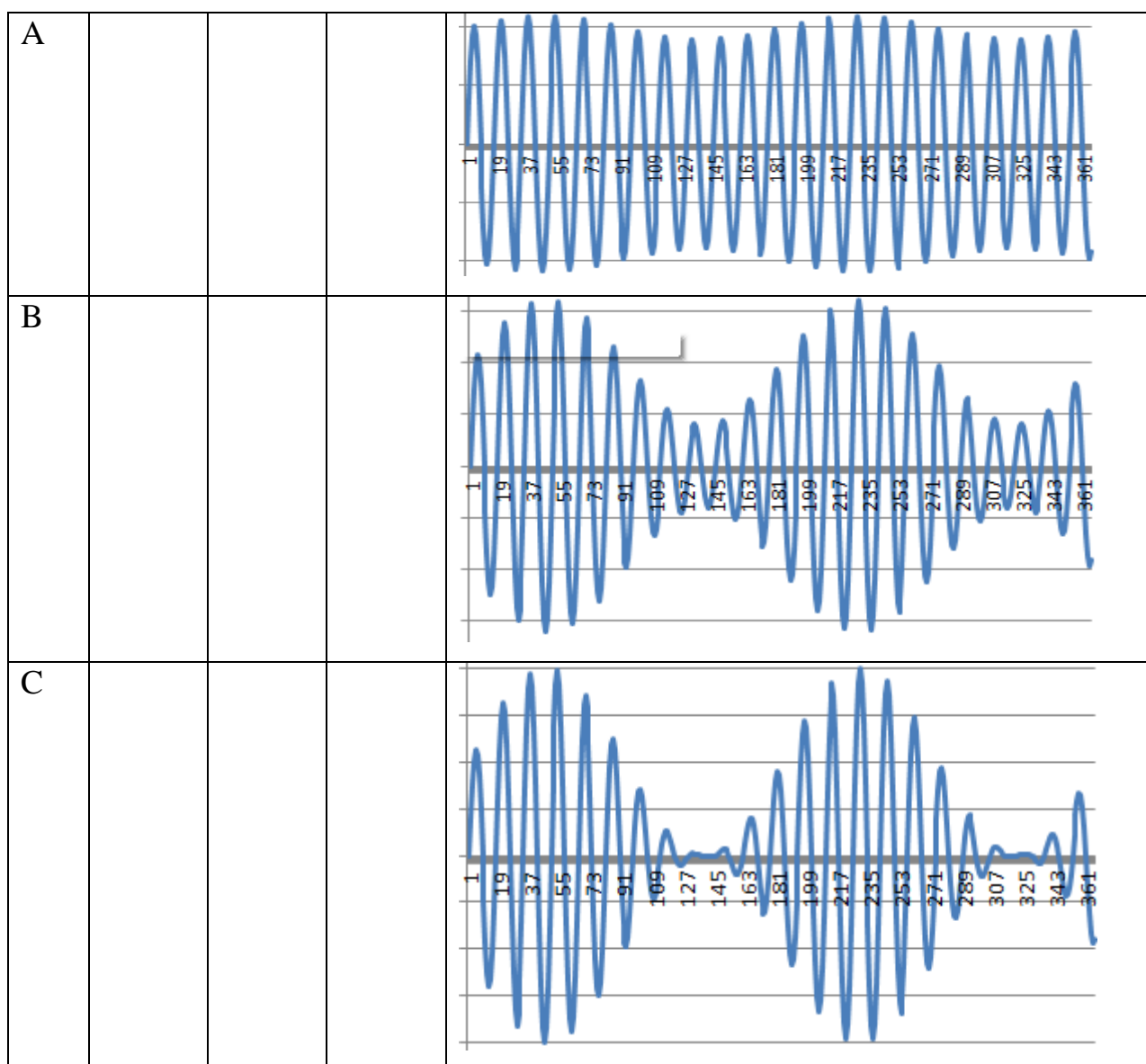
В				
С				

На выходе генератора G1 установить сигнал амплитудой 4 В частотой 2 кГц. Измерить  $U_{max}$  и  $U_{min}$  для положений “А”, “В”, “С” ручки “mod depth” регулировки коэффициента пропорциональности генератора G2. Рассчитать глубину модуляции и нарисовать эюры для каждого из положений “А”, “В”, “С” ручки “mod depth”.

Таблица 5

Частота сигнала $f_{\text{сиг}} = 2 \text{ кГц}$				
	$U_{max}$	$U_{min}$	М	





## 2. Исследование сигналов с частотной модуляцией

Установить частотную модуляцию генератора G2 - ручку “mod depth” в нижнее положение.

Подать 0 В на вход модуляции “Input VCFMOD” генератора G2, соединив контакты :2 - :1. С помощью луча 2 осциллографа установить амплитуду несущей  $U_{m0} = 0,5 U_{max} = 4$  В (ручка “AMPL”) и частоту 20 кГц (ручка “FREQUENCY”) на генераторе G2 .

2.1. Исследование зависимости девиации частоты и индекса модуляции модулированной несущей от уровня напряжения сигнала.

Подключить к входу модуляции источник постоянного напряжения, соединив контакты :1 - :2.

Установить ручку “mod depth” регулировки коэффициента пропорциональности генератора G2 в положение “А”.

Устанавливая уровень сигнала  $U_{\text{сиг}}$  4,5 В; 3В; 1,5В; -1,5В; -3В; -4,5В измерить частоту несущей  $f_m$  для каждого из указанных значений. Данные занести в таблицу.

Рассчитать девиацию частоты  $\Delta f = f_m - f_0$  и индекс модуляции  $m = \Delta f / U_{\text{сиг}}$ .

Построить график зависимости девиации модулированного сигнала от уровня напряжения сигнала

Аналогичные действия выполнить для положений “В” и “С” ручки “mod depth” регулировки коэффициента пропорциональности генератора G2

Таблица 6

Уровень сигнала $U_{\text{сиг}}$ , В	4,5	3	1,5	-1,5	-3	-4,5
Положение “А”						
Частота несущей $F_m$	17.8	18.6	19.3	20.7	21.4	22.1
Девиация частоты $\Delta f$	2.2	1.4	0.7	0,7	1.4	2.1
Индекс модуляции $m$	0,49	0.47	0,47	0,47	0,47	0,47
Положение “В”						
Частота несущей $F_m$	14.0	16.0	17.8	22.0	23.9	25.9
Девиация частоты $\Delta f$	6	4	2.2	2.0	3.9	5.9
Индекс модуляции $m$	1.33	1.33	1.46	1.33	1.3	1.47
Положение “С”						
Частота несущей $F_m$	11.7	14.5	17.2	22.8	25.4	28.1
Девиация частоты $\Delta f$	8.3	5.5	2.8	2.8	5.4	8.1
Индекс модуляции $m$	1.84	1.83	1.87	1.87	1.8	1.8

## 2. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Запишите выражение для тонального АМК. Объясните обозначения.

2. Что понимается под коэффициентом модуляции тонального АМК? Как он определяется?
3. Нарисуйте амплитудные спектральные диаграммы несущей, синусоидального модулирующего колебания и амплитудного спектра соответствующего им тонального АМК.
4. Изобразите временную диаграмму простейшего АМК. Отметьте на ней амплитуды и периоды несущей и моделирующего колебания.
5. Что понимается под индексом модуляции и как он определяется для ФМК и ЧМК?
6. Что понимается под девиацией частоты и как она определяется для ФМК и ЧМК?
7. В чем недостатки амплитудной модуляции по сравнению с угловой?
8. Почему для угловой модуляции используется УКВ-диапазон?

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы: Учеб. для вузов.- 3-е изд. перераб. и доп. М.: Высшая школа, 2000
2. Материалы лекций.

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4.**

### **«Исследование принципов построения и основных характеристик канала тональной частоты »**

#### **Цели работы:**

- 1.Закрепить знания основ построения двусторонних каналов и их нормируемых характеристик.
2. Получить практические навыки измерений и регулировок остаточного затухания.
3. Получить навыки исследования нормируемых характеристик КТЧ.
4. Овладеть методикой анализа состояния КТЧ на предмет его пригодности к эксплуатации.

#### **Программа работы:**

1. Исследование функциональной схемы и экспериментальных возможностей лабораторной установки.
- 2.Компьютерное моделирование процессов в КТЧ.
3. Установка номинального значения остаточного затухания КТЧ и измерительный контроль его величины.
4. Экспериментальное исследование АХ, АЧХ и защищенности КТЧ.
5. Обработка результатов экспериментальных исследований и анализ состояния КТЧ на предмет его пригодности к эксплуатации.

Учебное время - 4 часа.

#### **Оборудование рабочего места:**

- 1.Стойка лабораторных работ СЛР- 1.
- 3.Комплекс средств измерений.
- 4.Локальная вычислительная сеть.
- 5.Комплект учебных программ.

#### **Методические указания**

Процесс выполнения лабораторной работы предусматривает:

- индивидуальную подготовку к работе за счёт времени, предусмотренного в программе дисциплины на самостоятельную работу;

- допуск к самостоятельным экспериментальным исследованиям;
- экспериментальные исследования;
- защиту полученных результатов с их теоретическим обоснованием.

Для получения допуска к выполнению лабораторной работы студент должен:

- знать основные термины и определения теории и техники телекоммуникационных систем;
- знать нормируемые характеристики каналов передачи и нормы МСЭ-Т;
- знать устройство лабораторного макета, его принцип действия и функциональные возможности;
- уметь пользоваться рекомендованными средствами измерений;
- иметь в рабочей тетради по лабораторному практикуму подготовленные формы отчетности и отработанные вопросы подготовки к работе.

Для подготовки к лабораторной работе необходимо:

***на целевой консультации в лаборатории МСП:***

- изучить тему, цели и содержание программы работы;
- ознакомиться с лабораторной установкой, средствами измерений и выполнить требования по п.1 программы;
- изучить порядок подготовки лабораторной установки и средств измерений к работе, методику проведения экспериментальных исследований и порядок возвращения макета и средств измерений в исходное состояние;

***самостоятельно***

- подготовить в рабочей тетради по лабораторному практикуму рекомендованные формы отчетности;
- повторить ключевые положения теории изучаемого вопроса;
- вычертить схему канала тональной частоты, уяснить назначения функциональных элементов, их взаимодействие и основные технические характеристики;
- зарисовать теоретически ожидаемые осциллограммы сигналов в указанных на схеме макета контрольно-измерительных точках (КИТ);

**перед проведением лабораторной работы:**

- представить результаты подготовки, доложить о готовности к проведению измерений и получить допуск на компьютерное моделирование и решение поставленных экспериментальных задач;
- привести лабораторную установку и средства измерений в исходное состояние для проведения измерений.

### КЛЮЧЕВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Каналом передачи называется совокупность технических средств и среды распространения, обеспечивающие передачу сигналов электросвязи между двумя пунктами сети связи.

Канал передачи представляет собой четырехполюсник. В большинстве случаев в каждом из пунктов сети связи имеются как источник, так и получатель сообщений, следовательно, должна быть обеспечена возможность передачи сигналов связи на встречных направлениях. Поскольку в состав канала входят односторонние устройства (например, усилители), то в системе двусторонней связи необходимо иметь два одинаковых канала противоположных (встречных) направлений передачи, образующие четырёхпроводные окончания (рис. 1).

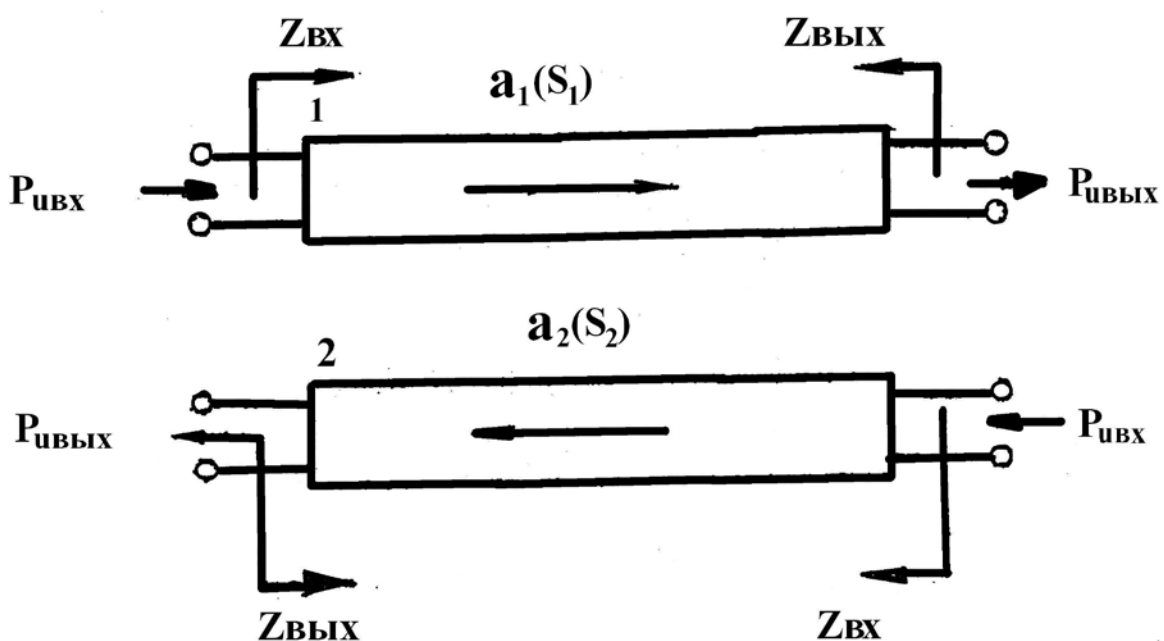


рис. 1

Каналы передачи характеризуются:

- остаточным затуханием  $a_0$ (остаточным усилением  $S_0$ )
- входным сопротивлением  $Z_{вх}$ ;
- выходным сопротивлением  $Z_{вых}$ .

Для обеспечения необходимого качества связи каналы должны быть согласованы по входу и выходу. Для этого используются входное  $Z_{вх}$  и выходное  $Z_{вых}$  сопротивления и их допустимое отклонение от номинальных значений, характеризующее величинами коэффициента несогласованности по входу и выходу

$$K_H = \left| \frac{Z_H - Z_p}{Z_H + Z_p} \right|$$

или затухания несогласованности

$$a_H = 20 \lg \left| \frac{Z_H + Z_p}{Z_H - Z_p} \right| \text{ дБ},$$

где  $Z_H$  – номинальное входное (выходное) сопротивление,

$Z_p$  - реальные значения этих сопротивлений.

Коэффициент несогласованности не должен превышать 10% .

Нормируемые характеристики канала передачи:

1. Остаточное затухание  $a_0 = P_{нвх} - P_{нвых}$  [дБн];[дБм];[Нпн];[Нпм].
2. Полоса эффективно передаваемых частот  $\Delta F$ [Гц];[кГц].
3. Частотная характеристика (или амплитудночастотная характеристика-АЧХ)  
 $a_0 = \varphi(f)$ .
4. Частотная характеристика группового времени распространения (или фазочастотная характеристика-ФЧХ)  
 $\tau = \varphi(f)$  [мс];[мкс].
5. Амплитудная характеристика (АХ)  $a_0 = \varphi(P_{вх})$
6. Защищенность от шумов и переходных помех  $A_z$ .
7. Устойчивость к самовозбуждению  $\sigma = (a_1 + a_2)/2 - (S_1 + S_2)/2$ .

В основе построения каналов передачи лежит базовый канал тональной частоты. Каналом тональности частоты (КТЧ) называется канал с полосой эф-

эффективно передаваемых частот от 300 до 3400 Гц. Номинальные значения входного и выходного сопротивления канала ТЧ равны 600 Ом. Каналы тональной частоты бывают однонаправленные или двунаправленные и имеют двухпроводное или четырехпроводное окончание. Номинальные значения измерительных уровней при четырехпроводном окончании устанавливаются на частоте 800 Гц, при этом принято  $P_{\text{нвх}} = -13$  дБ и  $P_{\text{нвых}} = +4$  дБ. Следовательно, на частоте 800 Гц остаточное затухание  $a_0 = -17$  дБ, что соответствует остаточному усилению канала ТЧ в четырехпроводном окончании  $S_r = 17$  дБ. На других частотах остаточное усиление (затухание) канала ТЧ может отличаться от указанного значения. Эти отклонения приводят к амплитудно-частотным искажениям сигналов и поэтому не должны превышать определенных значений.

Допустимые отклонения остаточного затухания составного канала ТЧ в пределах полосы эффективно -передаваемых частот нормируются рекомендациями МСЭ-Т при помощи шаблона в зависимости от количества транзитных соединений, т.е. количества каскадно соединенных каналов. В ЕСЭ (ВСС) максимальное количество транзитов равно 11, при этом количество каскадно соединенных каналов равно 12. Шаблон предельно допустимых отклонений остаточного затухания канала ТЧ от его номинального значения при максимальном количестве транзитов приведен на рис.2

В многоканальной аппаратуре предусмотрена возможность регулировки величины остаточного затухания и коррекции частотной характеристики канала ТЧ.

Нелинейные искажения определяются зависимостью остаточного затухания (усиления) от уровня сигнала на входе канала, т.е. амплитудной характеристикой канала. При отсутствии нелинейных искажений остаточное затухание (усиление) канала не зависит от уровня сигнала.

В реальных каналах допускается отклонение остаточного усиления на  $\pm 0,3$  дБ при изменении входного уровня от -30,5 до -9,5 дБн (при четырехпроводном окончании - в точке с измерительным уровнем -13 дБ). При повыше-



нии уровня сигнала до  $-4,3$  дБ и до  $+7$  дБ остаточное усиление должно уменьшаться на  $1,75$  и  $7,8$  дБ соответственно.

На рис. 3 приведен шаблон предельно-допустимых отклонений остаточного затухания (усиления) КТЧ от его установочного значения на частоте  $800$  Гц. Установочным значением остаточного затухания полагается величина  $7$  дБ для двухпроводного окончания канала и величина  $-17$  дБ (усиление  $17$  дБ) для четырехпроводного окончания.

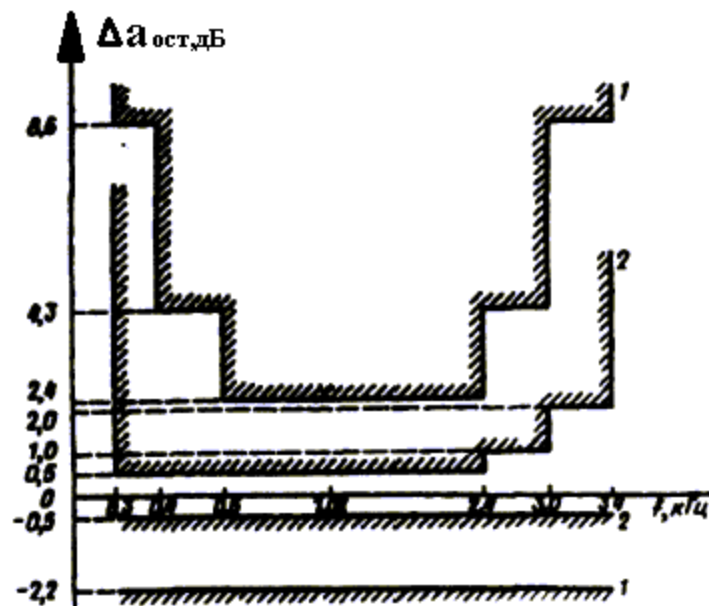


Рис. 2. Пределы допустимой неравномерности частотной характеристики остаточного затухания каналов ТЧ МСП с ЧРК (кривая 1) и ЦСП с ИКМ (кривая 2)



Рис. 3. Пределы допустимых отклонений амплитудной характеристики каналов ТЧ

На абонентских участках сети связи передача сигналов, как правило, осуществляется по двухпроводным цепям. Для получения двухпроводного окончания входы и выходы двух однонаправленных каналов ТЧ подключаются к двухпроводным окончаниям через разделяющие устройства (обычно дифференциальные системы). В результате организуется телефонный канал двунаправленного действия. Схема телефонного канала двунаправленного действия представлена на рис. 4, там же показаны значения номинальных измерительных уровней сигналов ТЧ в контрольных точках.

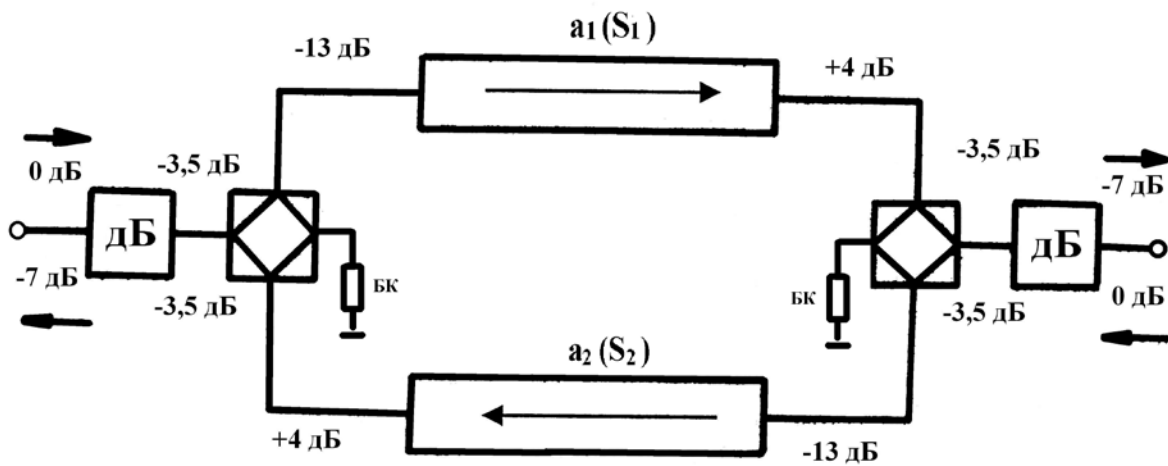


Рис. 4

Для обеспечения задач согласования в схеме используются удлинители (дБ) и балансные контура БК. Как видно из рис. 4 Тлф канал в двухпроводном окончании имеет номинальное остаточное затухание  $a_0 = 7$  дБ.

Уровень мощности помех в КТЧ определяется *псофометрической мощностью помех в точке с нулевым измерительным уровнем*. При максимальной протяженности связи (13900 км) и количестве транзитов (11) величина псофометрической мощности помех не должна превышать 50000 пВт, что соответствует невзвешенной мощности помех 87000 пВт.

Допустимые значения средней и пиковой мощностей сигнала составляют 32 и 2200 мкВт соответственно.

Нормируемая величина защищенности от шумов и переходных помех, определяемая по формуле:

$$A_z = 10 \lg \frac{P_c}{P_{\Pi}} = P_c - P_{\Pi} \text{ [дБм]},$$

должна быть не менее 27 дБм.

Описание лабораторного макета КТЧ.

Лабораторный макет представляет собой функционально законченный блок, входящий в состав СЛР-1. Он обеспечивает моделирование двухпроводного и четырехпроводного вариантов каналов.

Питание блока осуществляется от общесетового источника СЛР-1. Подача питания на элементы блока осуществляется включением тумблера «Сеть» и кнопок «Пуск».

Сущность устройства макета отображается схемой электрической функциональной (рис.5).

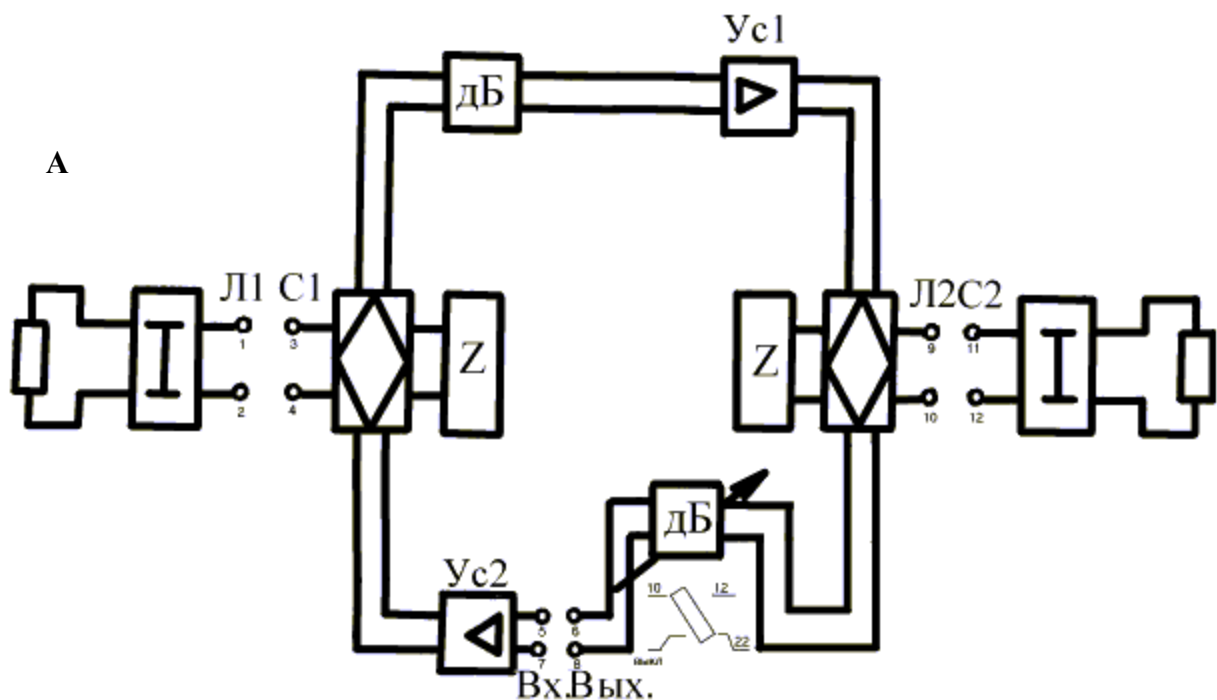


Рис. 5

В состав макета входят:

- два имитатора тракта передачи направления А-Б,Б-А;
- два развязывающих устройства;
- удлинители ;

На панели также выведены коммутационные гнезда и контрольно-измерительные точки (КИТ). Некоторые коммутационные гнезда при экспериментальных исследованиях могут использоваться как измерительные.

Характеристики макета соответствуют характеристикам канала ТЧ. В макете предусмотрена возможность проведения измерений как в четырехпроводном, так и в двухпроводном режимах работы.

Для установки и измерения номинального остаточного затухания (усиления) на вход канала необходимо включить генератор с внутренним сопротивлением 600 Ом на частоте 800 Гц и установить уровень сигнала , равный номинальному измерительному уровню в данной точке (двухпроводное или четырёхпроводное окончание).

Остаточное затухание определяется формуле :

$$a_0 = P_{\text{ВХ}} - P_{\text{ВЫХ}}.$$

Остаточное усиление определяется по формуле:

$$S_r = P_{\text{ВЫХ}} - P_{\text{ВХ}}.$$

Регулировка остаточного затухания (усиления) производится регулятором на выходе канала.

Для измерения амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) остаточного усиления (затухания) канала изменяют частоту измерительного генератора в диапазоне 300 - 3400 Гц, оставляя неизменным уровень сигнала на входе (-13 дБ при четырехпроводном окончании и 0 дБ при двухпроводном окончании).

В условиях эксплуатации измерения рекомендуется выполнять на частотах 0.3, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.6, 2.0, 2.4, 3.0, 3.4 кГц.

Для измерения амплитудной характеристики канала при частоте измерительного сигнала, равной 800 Гц, изменяют уровень входного сигнала в пределах ( $P_{\text{НВХ}}$  - 17,5) дБ до ( $P_{\text{НВЫХ}}$  + 20) дБ.

При проведении лабораторной работы моделирование КТЧ в четырехпроводном режиме может осуществляться с использованием аппаратуры МСП К-60 в режиме “ШЛЕЙФ”

## **ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.**

**Внимание:** пункт 1 программы работы выполняется при подготовке к лабораторной работе.

2. Компьютерное моделирование процессов в КТЧ.

2.1. Открыть файл “КТЧ”.

2.2. Получить допуск к работе по компьютерному моделированию, ответив на предложенные вопросы.

2.3. Смоделировать режим проводности КТЧ и задать значения уровня сигнала на входе.

2.4. Сопоставить результаты эвристического моделирования (т.е. полученного в процессе умозрительного применения общетеоретических знаний к рассматриваемому объекту исследования) и компьютерного моделирования процессов прохождения сигналов в тракте КТЧ, наблюдая уровни сигналов и модельные осциллограммы в указанных контрольных точках.

2.5. Если результаты моделирования совпадают, закончить процесс моделирования и закрыть файл. Если в процессе моделирования возникают затруднения, изложить суть вопроса преподавателю и продолжить исследование под его руководством.

3. Установка номинального значения остаточного затухания КТЧ и измерительный контроль его величины.

3.1. Начертить схему измерительного процесса и представить ее преподавателю.

3.2. Провести коммутацию схемы и включить напряжение питания.

3.3. Установить номинальный уровень сигнала на входе КТЧ.

3.4. Исследовать форму и измерить уровень сигнала на выходе КТЧ и результаты измерений занести в таблицу 1.

3.5. Определить номинальное значение остаточного затухания (усиления).

3.6. Если значение остаточного затухания не соответствует номинальному, провести регулировку КТЧ и результаты зафиксировать в таблице 1.

4. Экспериментальное исследование АХ, АЧХ и защищенности КТЧ.

4.1. Экспериментально исследовать АХ КТЧ и результаты измерений занести в таблицу 2.

4.2. Экспериментально исследовать АЧХ КТЧ и результаты измерений занести в таблицу 3.

4.3. Смоделировать помеховый сигнал путем подключения ко входу канала сопротивления, равного входному сопротивлению, и подключив к выходу канала указатель уровня с входным сопротивлением равным выходному сопротивлению канала, измерить уровень сигнала и определить защищенность КТЧ.

5. Обработка результатов экспериментальных исследований и анализ состояния КТЧ на предмет его пригодности к эксплуатации.

5.1. Определить значения отклонений остаточного затухания от номинального значения и нанести на шаблон АХ, сравнить полученные результаты с нормой и сделать выводы.

5.2. Определить значения отклонений остаточного затухания от номинального значения и нанести на шаблон АЧХ, сравнить полученные результаты с нормой и сделать выводы.

5.3. Сделать выводы о пригодности КТЧ к эксплуатации; в случае непригодности разработать рекомендации по восстановлению работоспособности КТЧ.

### **Внимание:**

После выполнения экспериментальных исследований схема измерений должна быть демонтирована и лабораторный макет должен быть приведен в исходное состояние и обесточен.

Отчетность по лабораторной работе.

Результаты лабораторной работы оформляется в тетради по лабораторному практикуму и представляются для отчетности.

Для получения зачета по лабораторной работе студент должен подтвердить достоверность полученных результатов, пояснить физический смысл полученных результатов и ответить на контрольные вопросы.

### **Контрольные вопросы.**

1. Дайте определение понятия “канал передачи”.
2. Каковы основные характеристики и параметры канала передачи?
3. Что такое полоса эффективно передаваемых частот?
4. Какова полоса эффективно передаваемых частот канала тональной частоты?
5. Каковы измерительные уровни на входе и выходе канала передачи в четырехпроводном и двухпроводном окончаниях?
6. Почему необходимо нормировать значения входного и выходного сопротивлений и измерительных уровней канала тональной частоты?
7. С какой целью измеряется амплитудная характеристика канала тональной частоты?
8. Как нормируется амплитудно-частотная характеристика канала тональной частоты?
9. Почему необходимо нормировать частотную характеристику отклонения остаточного затухания канала ТЧ от величины , установленной на частоте 800 Гц?

Лабораторная работа №4

Тема :

Цели работы:

Программа работы :

Техническое обеспечение:

Информационное обеспечение:

Заполняется при подготовке

Определительный базис лабораторной работы

1. Стандартный телефонный канал –
2. Сигнал ТЧ –
3. Канал ТЧ –
4. Виды телефонных каналов:
  - 4.1 симплексный –
  - 4.2 дуплексный –
  - 4.3 полудуплексный –
5. Нормируемые характеристики (параметры) КТЧ:
  - 5.1 остаточное затухание –
  - 5.2 эффективно передаваемая полоса частот –
  - 5.3 АЧХ –
  - 5.4 АХ –
  - 5.5 защищенность от шумов и переходных помех –
  - 5.6 устойчивость от самовозбуждения –

Численные значения нормируемых параметров КТЧ:

Метод исследования – моделирование КТЧ на лабораторной установке.

Схема электрическая функциональная лабораторной установки.

Функциональные элементы и их назначение.

### **Экспериментальное**

Исследуемые параметры.

1. Измерение и установка номинального значения остаточного затухания КТЧ.

Функциональная зависимость

- 1.1 Фиксированный параметр
- 1.2 Устанавливаемый параметр
- 1.3 Измеряемый параметр
- 1.4 Определяемый параметр
- 1.5 Предельно допустимые отклонения

2. Экспериментальное исследование АХ КТЧ.

Функциональная зависимость



- 2.1 Фиксированный параметр
  - 2.2 Устанавливаемый параметр
  - 2.3 Измеряемый параметр
  - 2.4 Определяемый параметр
  - 2.5 Предельно допустимые отклонения
  - 3. Экспериментальное исследование АЧХ КТЧ.
  - Функциональная зависимость
    - 3.1 Фиксируемый параметр
    - 3.2 Устанавливаемый параметр
    - 3.3 Измеряемый параметр
    - 3.4 Определяемый параметр
    - 3.5 Отклонение определяемого параметра от номинального
    - 3.6 Предельно допустимые отклонения
  - 4. Экспериментальное исследование защищенности КТЧ.
  - Функциональная зависимость
    - 4.1 Фиксированный параметр
    - 4.2 Устанавливаемый параметр
    - 4.3 Измеряемый параметр
  - 5.1 Определяемый параметр
  - 5.2 Норма на параметр
  - 5.3 Отклонение определяемого параметра от номинального
- исследование КТЧ.**

Результаты исследования.

1.

Таблица 1.

Пара- метр канал	1	До регули- ровки		После регу- лировки		4	5
		2	3	2	3		
4-х проводн.							

2.

Таблица2.

канал	1	Численные значения исследуемых параметров по п.2.2-2.5							
4-х про водн.		2							
		3							
		4							
		5							

3.

Таб-

лица 3.

канал	1	Численные значения исследуемых параметров по п.3.2-3.6											
4-х про водн.		2											
		3											
		4											
		5											
		6											

4.Защищенность КТЧ.

5.Графическое представление результатов экспериментального исследования.

АХ КТЧ.

АЧХ КТЧ.

Лист отчетности.

**Вывод:**

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5

### «Исследование дифференциальных развязывающих устройств»

#### Описание лабораторного макета ДС

Лабораторный макет ДС включает в себя:

- схему дифсистемы на трансформаторах (в левой части платы);
- схему дифсистемы на резисторах (в центральной части платы);
- схему трехходового развязывающего устройства на трансформаторах (в правой части платы).

Схемы макетов расположены на лабораторной установке.

Экспериментально в работе исследуется ДС на трансформаторах в сбалансированном и несбалансированном режимах.

На рис.6а представлена схема исследуемой ДС, на рис 6б – эквивалентная расчетная схема, состоящая из трансформатора без потерь и чисто активных сопротивлений нагрузки.

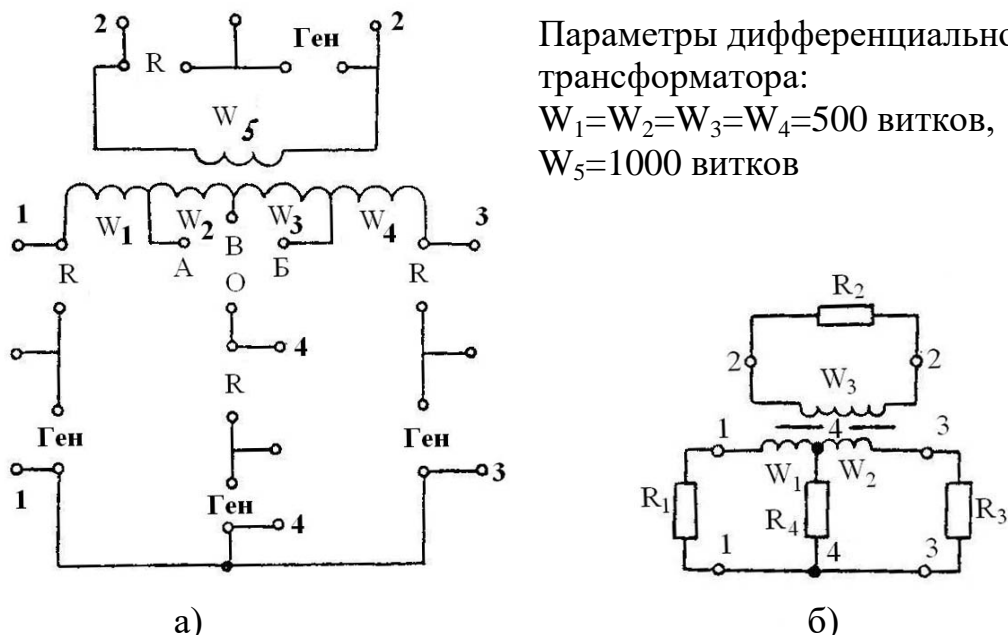


Рис. 6.

Режим равноплечей дифсистемы обеспечивается замыканием гнезд В-О.

Экспериментальные исследования предполагают предварительные расчеты в соответствии с эквивалентной схемой, представленной на рис.6б и следующих исходных данных  $R_1=1200 \text{ Ом}$  ;  $W_1=W_2=W_3=1000$  витков:

- нагрузочных сопротивлений дифсистемы и коэффициентов передачи

$$R_{\text{ЛИН}}=R_1;$$

$$R_{\text{БАЛ}}=R_3=mR_1 ;$$

$$R_{\text{Н ПЕР}}=R_2=\frac{1+m}{n^2} \cdot R_1 ;$$

$$R_{\text{Н ПР}}=R_4=\frac{m}{1+m} R_1;$$

$$m=\frac{W_1}{W_2} ; n=\frac{W_1+W_2}{W_3} .$$

- собственных затуханий дифсистемы:

$$a_{1-4}=10\lg \frac{1+m}{m} ; a_{1-2}=10\lg(1+m).$$

Расчёт переходного затухания дифсистемы для токов обратной связи проводится для сбалансированной и несбалансированной дифсистем.

Для сбалансированной дифсистемы значение  $R_3$  полагать равным определенному выше, для несбалансированной дифсистемы полагать

$R_3 = 750 \text{ Ом}$ .

Переходные затухания рассчитывать по формулам:

$$a_{4-2}=20\lg \left| \frac{R_1 + R_3}{R_1 - R_3} \right| + 6 \text{ дБ} ; a_{1-3}=20\lg \left| \frac{n^2 R_2 + 4R_H}{n^2 R_2 - 4R_H} \right| + 6 \text{ дБ}.$$

### Порядок выполнения работы.

**Внимание:** пункт 1 программы работы выполняется при подготовке к лабораторной работе.

2.Компьютерное моделирование устойчивости двухсторонних каналов.

2.1.Открыть файл «УДК».

2.2.Получить допуск к работе по компьютерному моделированию, ответив на предложенные вопросы.

2.3.Смоделировать режим работы дифференциальных систем и задать значения уровня сигнала на входе.

2.4.Сопоставить результаты эвристического моделирования(т.е. полученного в процессе умозрительного применения общетеоретических знаний к рассматриваемому объекту исследования) и компьютерного моделирования процессов прохождения сигналов в тракте КТЧ, наблюдая модельные осциллограммы в указанных контрольных точках.

2.5.Если результаты моделирования совпадают, закончить процесс моделирования и закрыть файл. Если в процессе моделирования возникают затруднения, изложить суть вопроса преподавателю и продолжить исследование под его руководством.

3. Экспериментальное исследование развязывающих устройств.

3.1. К гнездам «Ген.» со стороны 1-1 подключить ИГ

( $F=0,8$  кГц;  $R_{г}=600$  Ом;  $p_{г}=0$ дБ) и включить питание;

3.2. К гнездам «R» со стороны 1-1 подключить сопротивление  $R=600$  Ом;

3.3. К гнездам «R» со стороны 2-2 подключить сопротивление  $R_n$  пер;

3.4 К гнездам «R» со стороны 3-3 подключить сопротивление  $R_6$ ;

3.5. К гнездам «R» со стороны 4-4 подключить сопротивление  $R_n$  пр.;

3.6.К гнездам «Ген.» со стороны 2-2, 3-3 и 4-4 подключить перемычки;

3.7.С помощью ИУ (режим СИММ. ВЫС. ) измерить уровень в КИТ 1-1, 2-2, 3-3 и 4-4 и зафиксировать результаты измерения в таблицу;

3.8. Рассчитать переходные затухания по формулам:

$$a = p_{вх} - p_{вых} ,$$

где

$$p_{вх} = p_{вх\ изм} - 10 \lg R_{расч}/600; \quad p_{вых} = p_{вых\ изм} - 10 \lg R_{расч}/600 .$$

3.9. Провести перекоммутацию схемы: -

- к гнездам R 1-1 подключить сопротивление  $R = 1200$  Ом;
- к гнездам «Ген.» 4-4 подключить ИГ;
- к гнездам «Ген.» 1-1 и R 4-4 подключить перемычки;

3.10. С помощью ИУ (режим СИММ. ВЫС.) измерить уровень в КИТ 2-2 зафиксировать результаты измерения в таблицу;

3.11. Рассчитать затухания аналогичным образом;

3.12. Измерить переходное затухание разбалансированной дифсистемы, для чего:

- к гнездам «R» со стороны 3-3 подключить сопротивление  $R_6 = 750 \text{ Ом}$ ;
- провести измерения и расчеты в соответствии с пунктами 3.7, 3.8, 3.10, 3.11;
- результаты измерений зафиксировать в таблицу.

Экспериментальное исследование зависимости устойчивости телефонного канала от параметров устройств, входящих в его состав.

4.1 Собрать схему измерительной установки в соответствии с рис.7

4.2. Установить номинальное остаточное затухание КТЧ в четырехпроводном режиме.

4.3. Снять частотную характеристику КТЧ (см. Л. Р. № 3) для «слабого» абонента ( $p_{\text{вх}} = -20 \text{ дБ}$ ) и «сильного» абонента ( $p_{\text{вх}} = 0 \text{ дБ}$ ), результаты измерений занести в таблицу 1.

4.4 Установить коэффициент устойчивости КТЧ по петле ОС для чего:

- отключить генератор от входа канала и подключить ко входу искусственную линию (ИЛ1);
- замкнуть цепь ОС, закоротив гнезда Вх. – Вых.;
- изменяя положение переключателя в сторону увеличения цифрового отсчета добиться возникновения генерации в КТЧ (момент возникновения генерации – граница запаса устойчивости - определяется по скачкообразному изменению положения стрелки ИУ);
- установить соответствующий данной границе запаса устойчивости коэффициент устойчивости, уменьшив цифровой отсчет в два раза.

4.5 Снять частотную характеристику затухания по петле обратной связи при согласованной и несогласованной нагрузке дифсистемы, для чего:

- осуществить коммутацию схемы в соответствии с рис.8 (для согласованной нагрузки переключки в гнездах С2-Л2 включить, для несогласованной нагрузки-снять);
- уровень сигнала на выходе генератора установить равным -20дБ;
- изменяя частоту ИГ от 0,3 до 3,4 кГц, измерить уровни сигнала на выходе тракта ОС и результаты измерений занести в таблицу 2.
- уровень сигнала на выходе генератора установить равным 0дБ;
- изменяя частоту ИГ от 0,3 до 3,4 кГц, измерить уровни сигнала на выходе тракта ОС и результаты измерений занести в таблицу 2.

4.6. Снять частотную характеристику КТЧ при наличии токов обратной связи, для чего:

- собрать лабораторную установку в соответствии со схемой приведенной на рис.7;
- замкнуть гнезда Вх. – Вых. переключками, не изменяя заданной величины устойчивости;
- установить уровень выходного сигнала ИГ равным – 20 дБ;
- изменяя частоту ИГ от 0,3 до 3,4 кГц, измерить уровни сигнала на выходе тракта ОС и результаты измерений занести в таблицу 3.
- установить уровень выходного сигнала ИГ равным – 20 дБ;
- изменяя частоту ИГ от 0,3 до 3,4 кГц, измерить уровни сигнала на выходе тракта ОС и результаты измерений занести в таблицу 3.

Обработка результатов экспериментальных исследований и анализ состояния канала на предмет его пригодности к эксплуатации.

1. Определить остаточные затухания (усиления) КТЧ.
2. Определить остаточные затухания по петле ОС и принять решение о возможности или невозможности организации двустороннего телефонного канала.
3. Определить остаточные затухания (усиления) КТЧ при наличии токов ОС.

4. Определить величины отклонений АЧХ с ОС и без ОС.
5. Определить максимальные значения отклонения при +ОС и –ОС.
6. Определить величину минимального запаса устойчивости канала к самовозбуждению.
7. В одной системе координат построить графики зависимости усиления от частоты при отсутствии ( $S_{\text{БЕЗ О.С.}}$ ) и наличии токов обратной связи ( $S_{\text{О.С.}}$ ). Указать на графиках величины максимальных искажений от обратной связи  $\Delta S_+$  и  $\Delta S_-$ , сравнить характер изменения устойчивости при переходе от «слабого» абонента к «сильному» абоненту. Для контроля правильности полученных результатов использовать графики, представленные на рис.9.

Построить графики зависимости затухания по петле обратной связи от частоты -  $a_{\text{ос}}$ , сравнить характер изменения затухания при переходе от «слабого» абонента к «сильному» абоненту.

8. Сравнить величину минимального запаса устойчивости канала к самовозбуждению, полученную экспериментальным путем, с нормированной величиной запаса устойчивости КТЧ к самовозбуждению и сделать выводы о пригодности его к эксплуатации.

### **Лабораторная работа №5.**

Тема:

Цели:

Техническое обеспечение:

Информационное обеспечение:

**Численное и экспериментальное исследование характеристик развязывающих устройств (РУ).**

Тип исследуемого устройства – равноплечая несимметричная ДС.



Схема электрическая принципиальная    Эквивалентная расчетная схема    ДС.  
ДС.

Подключаемые элементы двустороннего ТлФ  
канала.

Модельные элементы двустороннего ТлФ  
канала.

Результаты численного исследования ДС.

1) Исходные данные:

- 1) Расчет значений сопротивлений  $z_2, z_3, z_4$ ;
- 2) Расчет балансного затухания ДС
- 3) Расчет переходного затухания ДС для токов ОС.
  - а) сбалансированная ДС (условие  $z_1=z_3$ )

б) несбалансированная ДС (условие  $z_1 \neq z_3$ ),  $z_3=750$  Ом

## Схемы экспериментальных исследований.

Сбалансированной ДС.

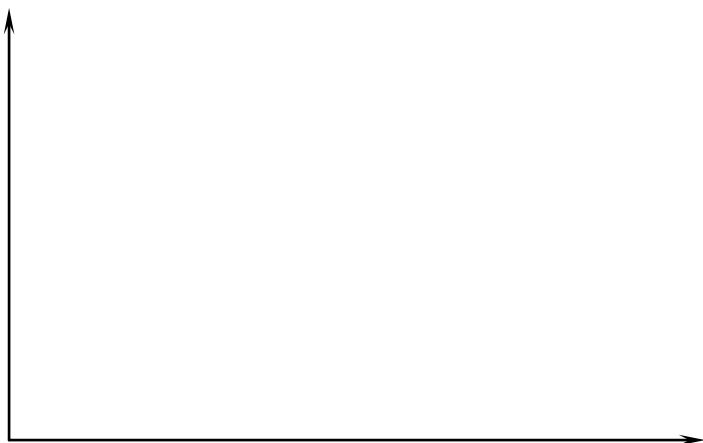
Несбалансированной ДС.



## Результаты численных и экспериментальных исследований.

Параметры ДС		$z_1, \text{Ом}$	$z_2, \text{Ом}$	$z_3, \text{Ом}$	$z_4, \text{Ом}$	$a_{12}, \text{дБ}$	$a_{14}, \text{дБ}$	$a_{42}, \text{дБ}$	$a_{13}, \text{дБ}$
ДС	Сбалансированная								
	Несбалансированная								

Зависимость переходного затухания ДС от коэффициента рассогласования.



Вывод:

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6**

### **«Исследование устойчивости двусторонних телефонных каналов»**

#### **Цели работы**

Закрепить знания принципов работы двухсторонних телефонных каналов и их функциональных элементов.

Овладеть методикой исследования устойчивости двусторонних телефонных каналов.

Получить практические навыки количественной оценки устойчивости каналов двухстороннего действия.

#### **Программа работы:**

1. Исследование функциональной схемы и экспериментальных возможностей лабораторной установки, расчет параметров дифференциальных систем.
2. Компьютерное моделирование устойчивости двусторонних каналов.
3. Экспериментальное исследование развязывающих устройств.
4. Экспериментальное исследование зависимости устойчивости телефонного канала от параметров устройств, входящих в его состав.
5. Обработка результатов экспериментальных исследований и анализ состояния канала на предмет его пригодности к эксплуатации.

Учебное время – 4 часа.

#### **Оборудование рабочего места:**

1. Стойка лабораторных работ СЛР-1.
2. Средства наблюдения и измерения параметров сигналов.
3. Локальная вычислительная сеть.
4. Комплект учебных программ.

### **Информационный базис**

1. Снегов А.Д. Четкин С.В. Шаврин С.С. Основы построения телекоммуникационных систем и сетей. – М.: изд. МТУСИ, 2000.
2. Сорокин Г.И. Основы построения телекоммуникационных систем и сетей. – М.: изд. МТУСИ, 2000.
3. Крухмалев В.В., Гордиенко В.Н. Основы построения телекоммуникационных систем и сетей: Учебник для ВУЗов.-М.: Горячая линия-Телеком, 2004.
4. Хромов Е.И. Основы построения аналоговых систем передачи. – М.: Радио и связь, 1983.
5. Конспект лекций по дисциплине ОПТКСС.

### **Методические указания:**

Процесс выполнения лабораторной работы предусматривает:

- индивидуальную подготовку к работе за счёт времени, предусмотренного в программе дисциплины на самостоятельную работу;
- допуск к самостоятельным экспериментальным исследованиям;
- экспериментальные исследования;
- защиту полученных результатов с их теоретическим обоснованием.

Для получения допуска к выполнению лабораторной работы студент должен:

- знать основные термины и определения теории передачи сигналов по каналам связи;
- знать принципы построения и функционирования развязывающих устройств двусторонних каналов связи;
- знать методы расчёта устойчивости к самовозбуждению;
- знать устройство лабораторного макета изучаемого двухстороннего телефонного канала, его принцип действия и функциональные возможности;
- уметь пользоваться рекомендованными средствами измерений;
- иметь в рабочей тетради по лабораторному практикуму подготовленные формы отчетности и отработанные вопросы подготовки к работе.

Для подготовки к лабораторной работе необходимо:

***на целевой консультации в лаборатории МСП:***

- изучить тему, цели и содержание программы работы;
- ознакомиться с лабораторной установкой, средствами измерений и выполнить требования по п.1 программы;
- изучить порядок подготовки лабораторной установки и средств измерений к работе, методику проведения экспериментальных исследований и порядок возвращения макетов и средств измерений в исходное состояние;

***самостоятельно:***

- подготовить в рабочей тетради по лабораторному практикуму рекомендованные формы отчетности;
- повторить ключевые положения теории изучаемого вопроса;
- вычертить схему лабораторного макета двустороннего телефонного канала, уяснить назначения функциональных элементов, их взаимодействие и основные технические характеристики;
- зарисовать теоретически ожидаемые осциллограммы сигналов в указанных на схемах макетов контрольно-измерительных точках (КИТ);

***перед проведением лабораторной работы:***

- представить результаты подготовки, доложить о готовности к проведению измерений и получить допуск на компьютерное моделирование и решение поставленных экспериментальных задач;
- привести лабораторную установку и средства измерений в исходное состояние для проведения измерений.

**Ключевые положения**

Канал передачи обеспечивает передачу сигналов электросвязи между двумя пунктами сети связи. В состав канала входят односторонние устройства (усилители), обеспечивающие передачу сигналов только в одном направлении, поэтому для осуществления передачи сигналов во встречных направлениях необходимо иметь два одинаковых канала противоположных направлений передачи, образующих четырехпроводные окончания (рис.1).

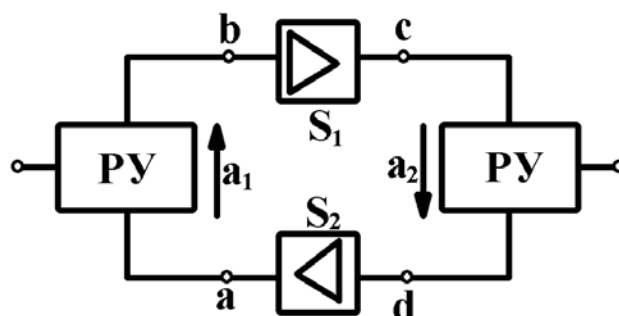


Рис. 1 Двухсторонний телефонный канал

На рис. 1 обозначено:

$S_1$  и  $S_2$  – усиление усилительных элементов,

$a_1$  и  $a_2$  – переходные затухания развязывающих устройств (РУ) между двумя направлениями передачи.

При организации двухсторонних каналов неизбежно возникают замкнутые электрические системы. Их появление обусловлено использованием развязывающих устройств – дифференциальных систем и направляющих фильтров, имеющих конечную величину затухания между встречными направлениями передачи.

Из-за конечного значения переходного затухания РУ в этой системе одно направление передачи влияет на другое, вследствие чего возникает петля обратной связи. Наличие токов обратной связи (ОС) может привести к самовозбуждению системы, и передача информации станет невозможной.

Условия устойчивой работы этой замкнутой системы определяются по критерию Найквиста. Согласно этому критерию система самовозбудится, если одновременно будут выполнены два условия:

-условие амплитуд  $\Sigma S \geq \Sigma a$ , т.е. сумма усиления больше или равна сумме затуханий по петле ОС:

- условие фаз  $\Sigma \varphi = \Sigma \pi$ , где  $n=0,1,2,\dots$

Если в замкнутых системах контролировать фазовые соотношения сложно (в частности, в каналах ТЧ), то полагают, что условие фаз выполняется на какой-нибудь частоте эффективно передаваемой полосы частот. Следовательно, для

обеспечения требуемой безусловной устойчивости замкнутой системы необходимо, чтобы

$$\Sigma a \geq \Sigma S.$$

Отсюда рассматриваемая замкнутая система (рис. 1) будет устойчива, если  $(a_1 + a_2) \geq (S_1 + S_2)$

Величина, показывающая, на сколько сумма затуханий больше суммы усилений, называется *запасом устойчивости* замкнутой системы или затуханием по петле ОС:

$$\chi = (a_1 + a_2) - (S_1 + S_2)$$

Величина, показывающая, на сколько можно увеличить усиление усилителей, прежде чем система самовозбудится (при выполнении условия фаз), называется *устойчивостью* и определяется по формуле

$$\sigma = (a_1 + a_2)/2 - (S_1 + S_2)/2 = \chi/2$$

Если в замкнутой системе в качестве РУ используются дифсистемы (рис 2), то запас устойчивости

$$\chi = (a_{3-4} + a_{4-3}) - (S_{YЭ1} + S_{YЭ2}).$$

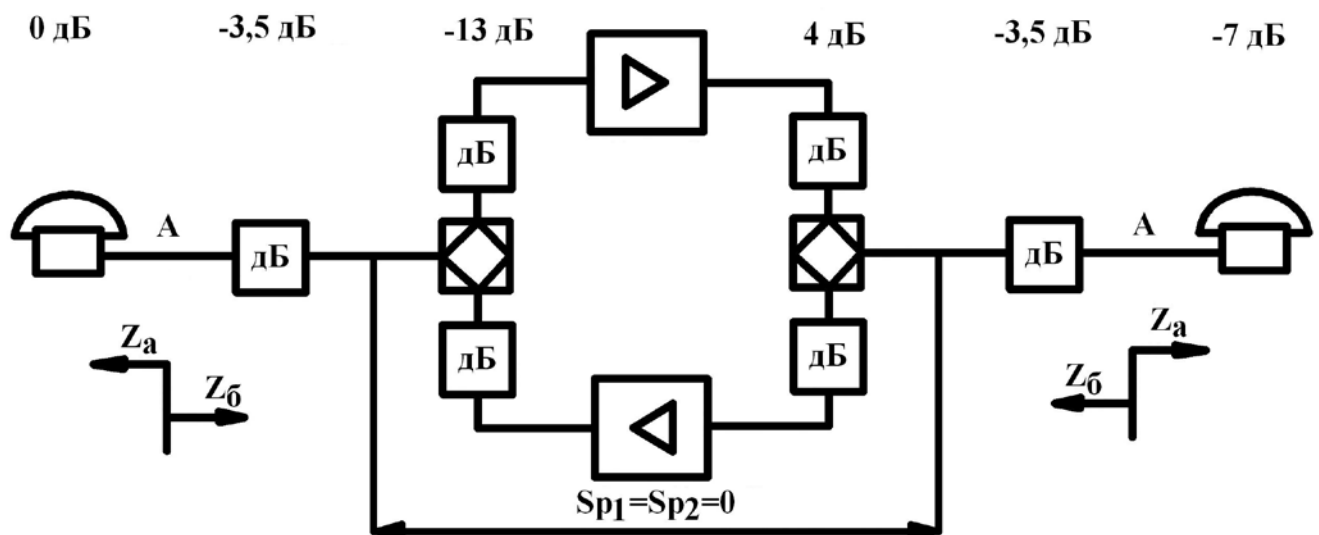


Рис. 2. Двусторонний телефонный канал.

1. При использовании равноплечей дифсистемы  $a_{3-4} = A_{e1} + 6\text{дБ}$  и  $a_{4-3} = A_{e2} + 6\text{дБ}$ , где  $A_{e1}$ , и  $A_{e2}$  – балансные затухания дифсистем. Из рис. 2 видно, что рабочие усиления
  2.  $Sp1 = SY\mathcal{E}1 - a_{1-3} - a_{3-1} = SY\mathcal{E}1 - 6\text{дБ}$  и
  3.  $Sp2 = SY\mathcal{E}2 - a_{1-4} - a_{4-1} = SY\mathcal{E}2 - 6\text{дБ}$ .
  4. Отсюда
  5.  $SY\mathcal{E}1 = Sp1 + 6\text{дБ}$  и  $SY\mathcal{E}2 = Sp2 + 6\text{дБ}$ .
  6. С учётом этих выражений запас устойчивости замкнутой системы, где в качестве РУ применяются равноплечие дифсистемы,
- $$\chi = (A_{e1} + A_{e2}) - (Sp1 + Sp2).$$

Данные выражения позволяют определить запас устойчивости двухсторонних каналов.

В настоящее время каналы ТЧ организуются в основном по четырёхпроводной однополосной или двухпроводной двухполосной системе. Токи паразитной ОС в каналах, организованных по четырёхпроводной однополосной системе, возникают главным образом вследствие недостаточно полной балансировки оконечных дифсистем. Токами паразитной ОС за счёт переходных влияний можно пренебречь, т.к. переходное затухание между кабельными цепями велико и значительно превышает усиление. В каналах, организованных по двухполосной двухпроводной системе, токи ОС также возникают только за счёт неполной балансировки дифсистем. Токами ОС, возникающими в промежуточных усилительных пунктах, можно пренебречь, поскольку затухания направляющих фильтров в полосе задержания значительно превышают сумму усиления обоих направлений передачи. Таким образом, можно считать, что в канале двухстороннего действия паразитная ОС возникает только из-за неполной балансировки дифсистем на оконечных станциях. Запас устойчивости определяется с использованием схем представленных на рис.1 и рис.2.

На практике канал ТЧ реализуется с использованием схемы представленной на рис.2, поэтому запас устойчивости этого канала

$$\chi = (A_{e1} + A_{e2}) - (Sp1 + Sp2).$$



Из рис 1 видим, что  $Sp1=Sp2=a_{ост} - 2a_{удл} = 0$ . Следовательно, запас устойчивости канала двухстороннего действия равен сумме балансных затуханий:  $\chi = A_{e1} + A_{e2}$ . Если положить, что  $A_{e1} = A_{e2} = A_e$ , то  $\chi = 2A_e$ .

Балансное затухание  $A_e$  определяется затуханием отражённых токов. В рассматриваемом случае они будут возникать в точке двухпроводного окончания канала (точка а на рис 1). Ток ОС сначала поступит в точку Б схемы, пройдёт через транзитный удлинитель с затуханием  $a_{ост}/2$ , отразится в точке А с затуханием отражения  $A_{ea}$  и через транзитный удлинитель возвратится в точку Б, опять претерпев затухание  $a_{ост}/2$ .

Следовательно,

$$A_e = 2a_{удл} + A_{ea} = a_{ост} + A_{ea}.$$

Здесь

$$A_{ea} = 20 \lg \left| (Z_a + Z_b) / (Z_a - Z_b) \right|, \text{ где}$$

$Z_a$  – входное сопротивление цепи, подключаемое ко входу канала (к точке А);

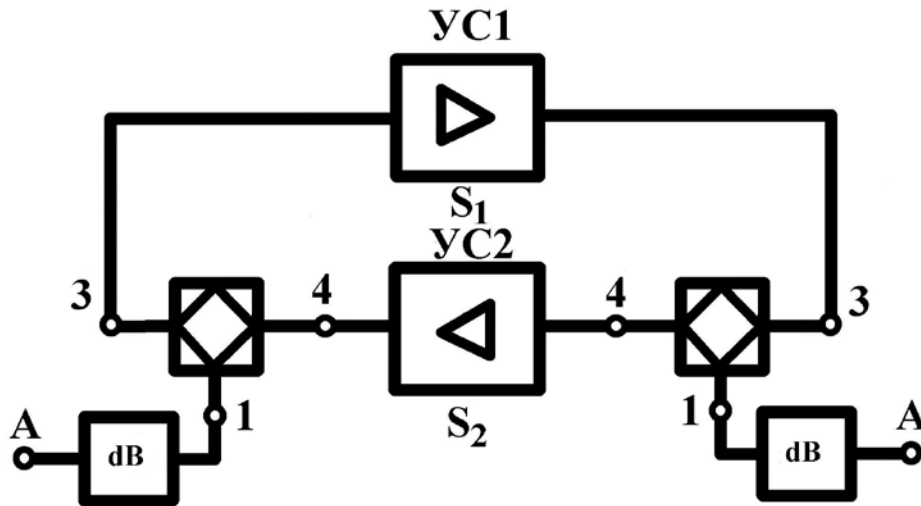
$Z_b$  – входное сопротивление канала.

Самые неблагоприятные условия работы двустороннего канала с точки зрения его устойчивости будут в режиме холостого хода. В этом случае  $A_{ea} = 0$  и запас устойчивости канала  $\chi = 2a_{ост}$ . Т.к.  $a_{ост} = 7$  дБ, то канал, безусловно, устойчив. Устойчивость телефонного канала (рис. 2) будет выше на величину затухания отражения, которая на практике равна или больше 5 дБ. Поэтому минимальный запас устойчивости телефонного канала равен 24 дБ, а устойчивость  $\sigma = \chi/2 = 12$  дБ.

Следует отметить, что запас устойчивости канала двухстороннего действия не зависит от затухания транзитного удлинителя, т.к. увеличение его затухания требует увеличения на ту же величину усиления. В противном случае изменится остаточное затухание канала.

В канале двухстороннего действия, несмотря на выполнения условия его устойчивости работы, всегда присутствуют токи паразитной ОС из-за недостаточной балансировки дифсистем. Указанные токи оказывают влияние уси-

ление усилителей. Рассмотрим это влияние на усиление одного из направлений передачи (например  $S_1$ ). С этой целью схему канала двухстороннего действия представим в виде, изображённом на рис.3 .



**Рис 3 К определению искажений за счёт токов ОС**

Из рисунка видно что усилитель UC1 можно рассматривать как усилитель с ОС. За счёт ОС коэффициент передачи усилителя изменяется в  $F$  раз и определится соотношением

$$K_{1OC} = K_1 / F$$

Где  $K_1$  – коэффициент передачи усилителя без ОС;

$F = (1 - T)$  – глубина ОС

Для рассматриваемой замкнутой системы петлевое усиление

$$T = 10^{0,05(S_1 + S_2 - a_{3-4} - a_{4-3})} \cdot e^{j\varphi}$$

где  $\varphi$  - суммарный фазовый сдвиг по петле ОС.

На основе двух последних формул после соответствующих преобразований получим:

$$20 \lg K_1 - 20 \lg K_{1OC} = 20 \lg [1 - 10^{0,05(S_1 + S_2 - a_{3-4} - a_{4-3})} \cdot e^{j\varphi}]$$

Это выражение определяет изменение коэффициента передачи усилителя из-за наличия токов паразитной обратной связи и соответственно изменения усиления усилителя определится выражением

$$\Delta S = S_1 - S_{1OC} = 20 \lg |1 - 10^{0,05(S_1 + S_2 - a_3 - 4 - a_4 - 3)} \bullet e^{j\varphi}| = 20 \lg |1 - 10^{0,05\chi} \bullet e^{j\varphi}|$$

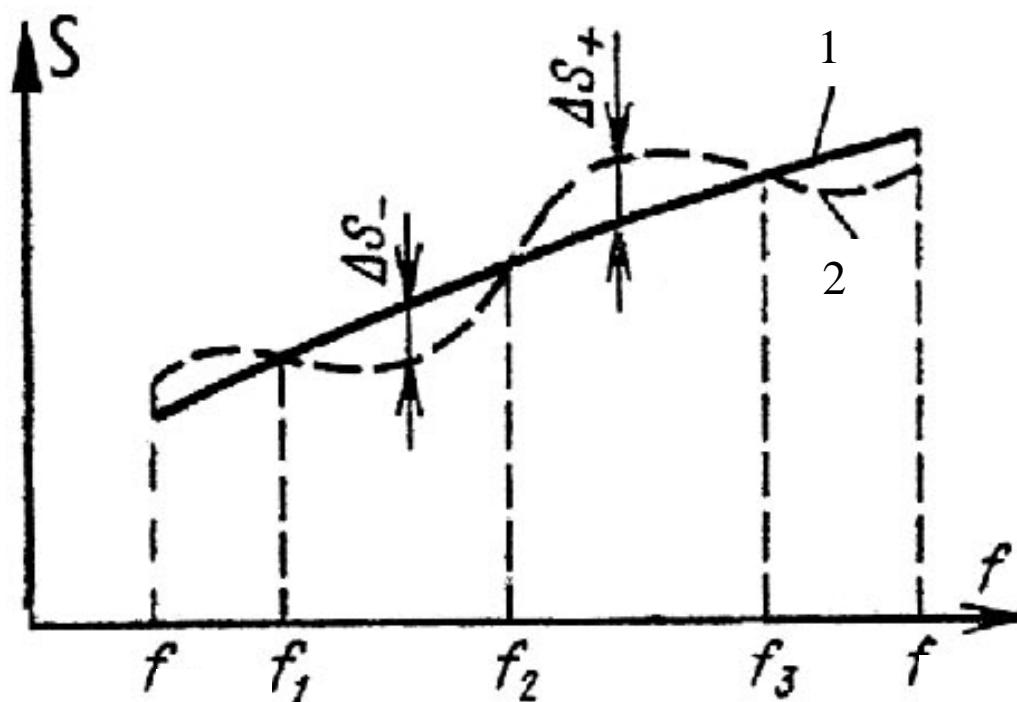
Из полученного выражения следует, что характеристика зависимости усиления усилителя от частоты при наличии паразитной ОС будет иметь волнообразный характер по сравнению с аналогичной характеристикой при разомкнутой петле ОС (рис.4). Такой характер зависимости объясняется тем, что при различных частотах  $\chi$  и  $\varphi$  могут быть различными и в зависимости от значения суммарного фазового сдвига по петле ОС обратная связь может быть либо положительной, либо отрицательной, т.е. уменьшать или увеличивать усиление усилителя.

Для положительной ОС  $e^{j\varphi} = 1$  величина искажений от положительной ОС будет равна  $\Delta S_+ = 20 \lg |1 - 10^{0,05\chi}|$ , для отрицательной ОС  $e^{j\varphi} = -1$  и величина искажений от отрицательной ОС равна  $\Delta S_- = 20 \lg |1 + 10^{0,05\chi}|$

Таким образом, наличие токов паразитной ОС в каналах двустороннего действия приводит к специфическим амплитудным-частотным искажениям, которые называются искажениями от ОС. Корректировать такие искажения почти невозможно.

Приведенные теоретические данные позволяют определить запас устойчивости системы на основе экспериментально найденных величин  $\Delta S_+$  и  $\Delta S_-$  по формулам:

$$\chi_+ = 20 \lg \left[ \left( 1 + \frac{1}{10^{0,05\Delta S_+}} \right)^{-1} \right]; \quad \chi_- = 20 \lg \left[ \left( 1 - \frac{1}{10^{0,05\Delta S_+}} \right)^{-1} \right]$$



**Рис. 4. Частотная характеристика двустороннего усилителя** при обрыве цепи обратной связи (кривая 1) и при наличии обратной связи (кривая 2).

### Описание лабораторных макетов

Для выполнения лабораторной работы используются два макета представляющие собой функционально законченные блоки, входящие в стойку СЛР-1:

- макет КТЧ;
- макет ДС.

### Описание лабораторного макета КТЧ

Лабораторный макет представляет собой функционально законченный блок, входящий в состав СЛР-1. Он обеспечивает моделирование двухпроводного и четырехпроводного варианта КТЧ.

Питание блока осуществляется от общестоечного источника СЛР-1. Подача питания на элементы блока осуществляется включением тумблера «Сеть» и кнопок «Пуск».

Сущность устройства макета отображается схемой электрической функциональной (рис.5). На панели также выведены коммутационные гнезда и контрольно-измерительные точки (КИТ). Некоторые коммутационные гнезда при экспериментальных исследованиях могут использоваться как измерительные. Характеристики макета соответствуют характеристикам канала ТЧ. В макете предусмотрена возможность проведения измерений как в четырехпроводном, так и в двухпроводном режимах работы.

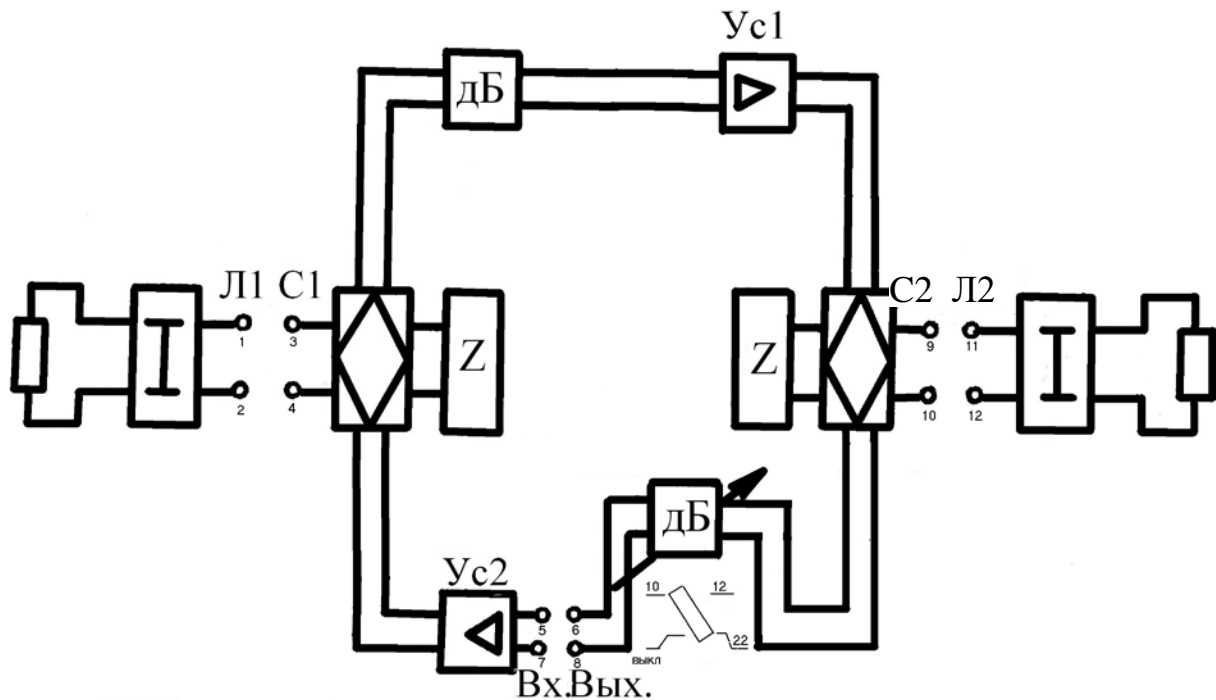


Рис. 5

В состав макета входят:

- два имитатора тракта передачи направления А-Б,Б-А;
- два развязывающих устройства;
- удлинители.

Для установки и измерения номинального остаточного затухания (усиления) на вход канала необходимо включить генератор с внутренним сопротивлением 600 Ом и на частоте 800 Гц установить уровень сигнала, разный номинальному измерительному уровню в данной точке (двухпроводное или четырёхпроводное окончание). Остаточное усиление определяется по формуле

$$S_{\Gamma} = p_{\text{ВЫХ}} - p_{\text{ВХ}}$$

а остаточное

$$a_0 = p_{\text{ВХ}} - p_{\text{ВЫХ}}$$

Регулировка остаточного затухания (усиления) производится регулятором на выходе канала.

Для измерения частотной характеристики остаточного усиления (затухания) канала заменяют частоту измерительного генератора в диапазоне 0,3 – 3,4 кГц. В условиях эксплуатации измерения рекомендуется выполнять на частотах 0,3, 0,4, 0,6, 0,8, 1,0, 1,2, 1,6, 2,0, 2,4, 2,7, 3,0, 3,4 кГц.

Для измерения амплитудной характеристики канала при частоте измерительного сигнала, равной 800 Гц, изменяют уровень входного сигнала в пределах

$$(p_{\text{НВХ}} - 17,5) \text{ дБ до } (p_{\text{НВЫХ}} + 20) \text{ дБ.}$$

При проведении лабораторной работы моделирование КТЧ в четырехпроводном режиме может осуществляться с использованием аппаратуры МСП К-60П в режиме “ШЛЕЙФ”.

### **Отчетность по лабораторной работе.**

Результаты лабораторной работы оформляется в тетради по лабораторному практикуму и представляются для отчетности.

Для получения зачета по лабораторной работе студент должен подтвердить достоверность полученных результатов, пояснить физический смысл полученных результатов и ответить на вопросы преподавателя.

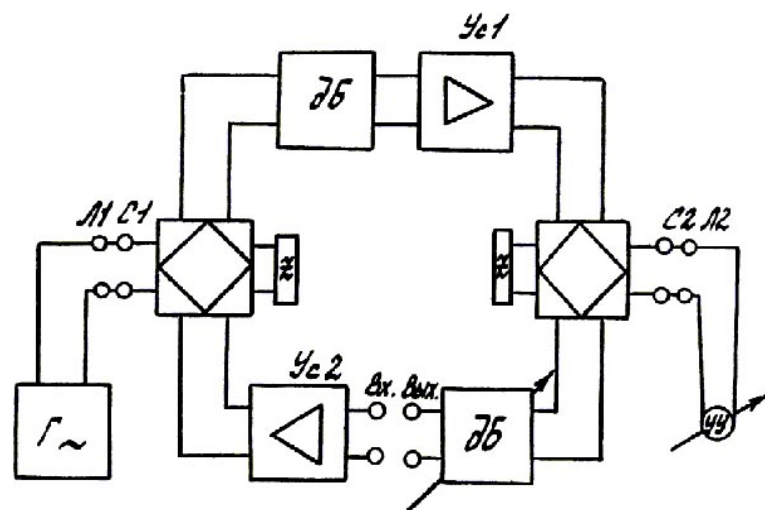


Рис.7. Схема измерения частотной характеристики усиления при выключенной цепи обратной связи

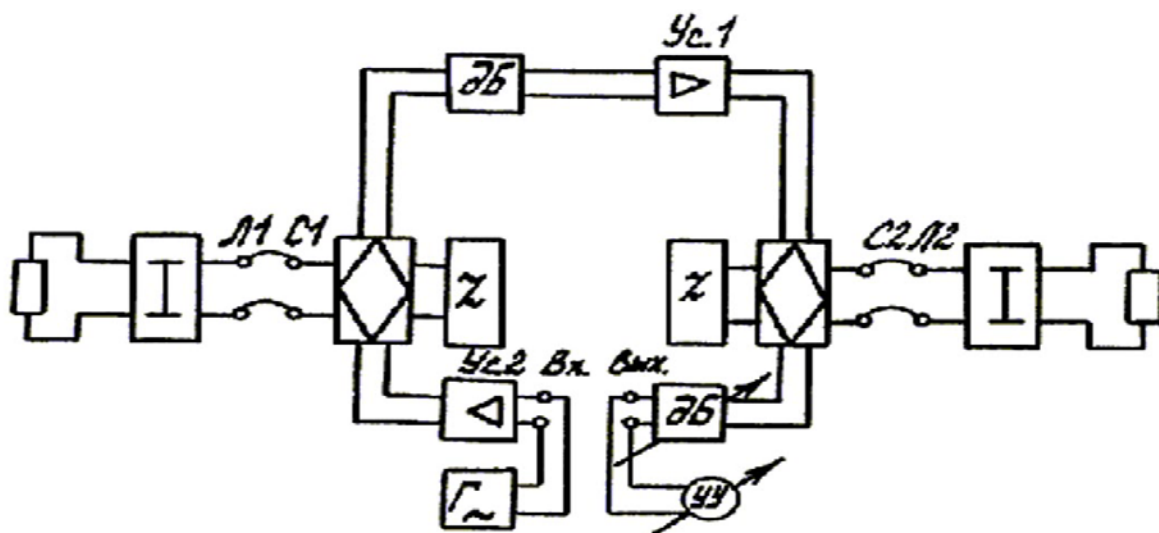


Рис. 8. Измерение частотной характеристики затухания по петле обратной связи

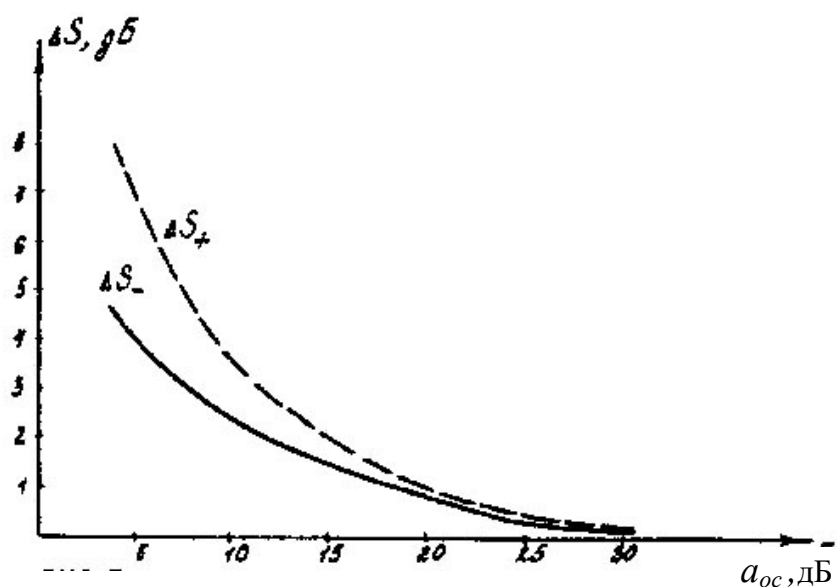


Рис.9 Предельно допустимые значения искажений от обратной связи при заданной величине устойчивости

### Лабораторная работа №6

Тема:

Цели:

Техническое обеспечение:

Информационное обеспечение:

Определительный базис лабораторной работы.

1. Двухпроводный ТлФ канал –
2. Четырехпроводный ТлФ канал –
3. Двусторонний ТлФ усилитель –
4. Согласование двустороннего ТлФ усилителя с двухпроводной линией связи –
5. Дифсистема –
6. Типы дифсистем:
7. Виды дифсистем:
8. Основные характеристики дифсистем –



9. Балансное затухание дифсистемы –
10. Обратная связь (ОС) в замкнутых системах –
11. Критерий Найквиста для замкнутых систем –
12. Причины возникновения паразитной ОС в канале двухстороннего действия –
13. Критерий безусловной устойчивости замкнутой системы –
14. Запас устойчивости замкнутой системы –
15. Устойчивость замкнутых систем –
16. Нормированные значения устойчивости ТлФ каналов и предельно допустимые отклонения –

Обобщенная структурная схема замкнутой системы.

Модель ТлФ канала двустороннего действия. Диаграмма уровней.

Эффекты, возникающие в исследуемом канале и причины их вызывающие.

### **Экспериментальное исследование зависимости устойчивости**

#### **Метод исследования – экспериментальное моделирование**

- 1). Схема экспериментального макета исследования АЧХ при выключенной цепи обратной связи.
- 2). Схема экспериментального макета исследования АЧХ по петле ОС;
- 3). Схема экспериментального исследования АЧХ при наличии токов ОС.

**ТлФ каналов от параметров устройств, входящих в его состав.**

**ТлФ канала двустороннего действия.**

- 1) Результаты исследования АЧХ канала при выключенной ОС.

Таблица 1.

f, кГц		0.3	0.4	0.6	0.8	1.2	1.6	2.0	2.4	2.7	3.0	3.4
p <sub>вх</sub> = -20дБ	p <sub>вых</sub> , дБ											
	S, дБ											
p <sub>вх</sub> = 0дБ	p <sub>вых</sub> , дБ											
	S, дБ											

2). Результаты исследования АЧХ по петле ОС; ( $\sigma = \dots$  дел.)

Таблица 2.

f, кГц		0.3	0.4	0.6	0.8	1.2	1.6	2.0	2.4	2.7	3.0	3.4
$p_{вх} = -20\text{дБ}$	$p_{вых}, \text{дБ}$											
	$a_{ос}, \text{дБ}$											
$p_{вх} = 0\text{дБ}$	$p_{вых}, \text{дБ}$											
	$a_{ос}, \text{дБ}$											

3). Результаты исследования АЧХ при наличии токов ОС.

Таблица 3.

f, кГц		0.3	0.4	0.6	0.8	1.2	1.6	2.0	2.4	2.7	3.0	3.4
$p_{вх} = -20\text{дБ}$	$p_{вых}, \text{дБ}$											
	$S, \text{дБ}$											
	$S_{\text{без ос}}, \text{дБ}$											
	$\Delta S_+$											
	$\chi_+$											
	$\Delta S_-$											
	$\chi_-$											
$p_{вх} = 0\text{дБ}$	$p_{вых}, \text{дБ}$											
	$S, \text{дБ}$											
	$S_{\text{без ос}}, \text{дБ}$											
	$\Delta S_+$											
	$\chi_+$											
	$\Delta S_-$											
	$\chi_-$											

Лист отчетности.

Графическое представление результатов измерений.

Вывод:

## **Лабораторная работа №7**

### **«Исследование частотного уплотнения линии связи и частотного разделения каналов тональной частоты».**

#### **Цель работы.**

Изучить упрощенную структурную схему и принципы действия многоканальной системы передачи с разделением каналов по частоте.

#### **Программа работы.**

1. Ознакомиться с основными теоретическими положениями.
2. Ознакомиться с лабораторным макетом и измерительными приборами.
3. Снять осциллограммы токов в характерных точках макета.
4. Измерить величину защищенности от переходных помех при включении имитатора линейного тракта с различными характеристиками.
5. Исследовать принципы построения и функционирования модуляторов МСП с ЧРК.

Учебное время – 4 ч.

#### **Оборудование рабочего места.**

1. Стойка лабораторных работ СЛР-1.
2. Средства наблюдения и измерения параметров сигналов.
3. Локальная вычислительная сеть.
4. Комплект учебных программ.

#### **Методические указания:**

Процесс выполнения лабораторной работы предусматривает:

- индивидуальную подготовку к работе за счет времени, предусмотренного в программе дисциплины на самостоятельную работу;
- допуск к самостоятельным экспериментальным исследованиям;
- экспериментальные исследования;

- защиту полученных результатов с их теоретическим обоснованием.

Для получения допуска к выполнению лабораторной работы студент должен:

- знать основные термины и определения теории и техники аналоговых систем передачи;
- знать основные процессы преобразования сигнала при уплотнении линии связи;
- знать основные процессы преобразования сигнала при частотном разделении каналов;
- знать теоретические основы работы модуляторов и демодуляторов;
- знать основные виды помех и их влияние на параметры каналов;
- знать устройство лабораторного макета изучаемой МСП, его принцип действия и функциональные возможности;
- уметь пользоваться рекомендованными средствами измерений;
- иметь в рабочей тетради по лабораторному практикуму подготовленные формы отчетности и отработанные вопросы подготовки к работе.

Для подготовки к лабораторной работе необходимо:

*на целевой консультации в лаборатории МСП:*

- изучить тему, цели и содержание программы работы;
- ознакомиться с лабораторным макетом МСП с ЧРК, средствами измерений и выполнить требования по п.п. 1 и 2 программы;
- изучить порядок подготовки макета и средств измерений к работе, методику проведения экспериментальных исследований и порядок возвращения макета и средств измерения в исходное состояние;

*самостоятельно*

- подготовить в рабочей тетради по лабораторному практикуму рекомендованные формы отчетности;
- повторить основные положения теории изучаемого вопроса;

- вычертить схему исследуемой МСП с ЧРК, уяснить назначение функциональных элементов и их взаимодействие;
- зарисовать теоретически ожидаемые осциллограммы сигналов в указанных на схеме макета контрольно-измерительных точках (КИТ);

*перед проведением лабораторной работы:*

- представить результаты подготовки, доложить о готовности к проведению измерений и получить допуск на решение поставленных экспериментальных задач;
- привести лабораторный макет МСП с ЧРК и средства измерений в исходное состояние для проведения измерений.

### **Описание лабораторного макета МСП с ЧРК.**

Для изучения принципа частотного разделения каналов используется лабораторный макет, который имитирует одностороннюю трехканальную систему с передачей одной боковой без несущей. Структурная схема макета приведена на рис. 1. Слева расположена передающая часть, далее следуют три четырехполосника, имитирующие различные линии связи, затем – приемная часть аппаратуры. Соединения узлов показаны в однопроводном изображении, вторым проводом является земля (гнезда 16 и 39). Слева от передатчиков расположены генераторы гармонических колебаний с частотой 1 кГц, заменяющие источники первичных сигналов. Каждый генератор с помощью дужек можно подключить к входу канала. В нижней части передающего и приемного оборудования расположены генераторы несущих частот. От них на каналные модуляторы и демодуляторы подаются гармонические несущие колебания с частотами 4 кГц для 1-го канала, 8 кГц – для 2-го, 12 кГц – для 3-го. Канальными полосовыми фильтрами выделяются верхние боковые частоты. Выбор необходимого типа линии осуществляется коммутацией соответствующих гнезд при помощи дужек.

Порядок выполнения работы.

Внимание: пункты 1 и 2 программы работы выполняются при подготовке к лабораторной работе.

### 3. Снятие осциллограмм токов сигналов в характерных точках макета.

#### 3.1 Включить питание стойки и средств измерений.

Для этого нажатием на кнопки «+6,3 В», «-6,3 В», «-24 В» включить источники стабилизированных напряжений. После пятиминутного прогрева приступить к снятию осциллограмм (при зарисовке осциллограмм соблюдайте одинаковый масштаб по осям координат для всех осциллографируемых сигналов).

#### 3.2 Провести считывание показаний средств измерений в следующих КИТ тракта передачи:

- на выходе источника первичных сигналов 1-го, 2-го и 3-го каналов в гнездах 1-16, 3-16, 5-16;
- на выходах генераторов несущих частот передатчика в гнездах 7-16, 8-16, 9-16;
- на выходах модуляторов 1-го, 2-го, 3-го каналов в гнездах 10-16, 11-16, 12-16, предварительно соединив дужками гнезда 1-2, 3-4, 5-6;
- на выходах канальных полосовых фильтров в гнездах 13-16, 14-16, 15-16;
- на выходе группового тракта передачи в гнездах 17-16. При снятии этих осциллограмм последовательно наращивайте количество канальных сигналов от одного до трех дужками в гнездах 1-2, 3-4, 5-6;

#### 3.3 Подключить к выходу усилителя группового тракта передачи линию без искажений (установить дужки в гнезда 17-18, 22-23) и снять осциллограммы в следующих КИТ на выходах разделительных фильтров приемной части макета в гнездах 25-39, 26-39, 27-39;

- на выходах генераторов несущих частот приемной части системы в гнездах 28-39 для 1-го канала, 31-39 для 2-го канала, 32-39 для 3-го канала.

#### 3.4 После выполнения этого пункта установить дужку в гнезда 28-29 и снять осциллограммы:

- на выходах канальных демодуляторов в гнездах 33-39, 34-39, 35-39;

- на выходе 1-го, 2-го, 3-го каналов в гнездах 36-39, 37-39, 38-39.

#### 4. Измерение переходных помех между каналами.

4.1 Для наблюдения и измерения взаимных переходов между первым и вторым каналами при прохождении группового сигнала через линию без искажений подать сигнал на вход только первого канала, для чего:

- установить дужку в гнезда 1-2, вынув дужки из гнезд 3-4 и 5-6;
- проверить наличие дужек в гнездах 17-19 и 21-23;
- проверить наличие сигнала на выходе 1-го канала, для чего подключить осциллограф к гнездам 36-39;
- подключить осциллограф на выход второго канала (гнезда 37-39) и проверить наличие переходной помехи между первым и вторым каналом;
- подключить к выходу второго канала вместо осциллографа селективный вольтметр;
- измерить напряжение переходной помехи  $U_{\Pi}$  на частоте 3 кГц.

4.2 Измерить напряжение полезного сигнала на выходе 2-го канала. Для этого следует установить переключатель пределов измерения селективного вольтметра в положение «1000 мВ», вынуть дужку из гнезд 1-2 и подать сигнал на вход 2-го канала, установив дужку в гнезда 3-4 определить напряжение полезного сигнала  $U_c$  в гнездах 37-39 на частоте 1 кГц.

4.3 Определить защищенность канала по формуле:

$$A_3 = 20 \lg(U_c / U_{\Pi}), \text{ дБ} \quad (1)$$

и зафиксировать в рабочей тетради.

5. Измерение взаимных переходов между третьим и вторым каналом при прохождении группового сигнала через линию без искажений.

- подать сигнал на вход только третьего канала, установив дужку в гнезда 5-6 (в гнездах 1-2 и 3-4 дужек быть не должно);
- проверить наличие сигнала на выходе третьего канала, для чего подключить осциллограф к выходу этого канала (гнезда 38-39);

- подключить осциллограф на выход второго канала (гнезда 37-39) и проверить наличие взаимной переходной помехи между третьим и вторым каналами;
- подключить к выходу второго канала вместо осциллографа селективный вольтметр и измерить напряжение помехи  $U_{\Pi}$  на частоте 3 кГц;
- определить защищенность по формуле (1).

6. Наблюдение и измерение взаимных переходов между каналами при прохождении группового сигнала через линию с нелинейными искажениями.

6.1 Измерить величину защищенности от нелинейных переходов во 2-ом канале при загрузке системы сигналом первого канала, для чего:

- подключить к выходу усилителя группового тракта передачи линию с нелинейными искажениями, для чего установить дужки в гнезда 17-20 и 24-23;
- определить напряжение полезного сигнала на выходе 2-го канала, установив дужку только в гнезда 3-4 и измерив селективным вольтметром напряжение сигнала  $U_c$  в гнездах 37-39 на частоте 1 кГц;
- переключить дужку из гнезд 3-4 в гнезда 1-2 и измерить напряжение переходной помехи  $U_{\Pi}$  на частоте 2 кГц;
- подключить вместо селективного вольтметра осциллограф и произвести наблюдение переходной помехи;
- рассчитать защищенность по формуле (1).

7. Измерить величину защищенности от нелинейных переходов в третьем канале при загрузке системы сигналами первого и второго каналов, для чего:

- определить напряжение полезного сигнала на выходе 3-го канала, установив дужку только в гнезда 5-6 и измерив селективным вольтметром напряжение полезного сигнала  $U_c$  в гнездах 38-39 на частоте 1 кГц. После измерения вынуть дужку из гнезд 5-6;
- установить дужки в гнезда 1-2 и 3-4 и измерить напряжение переходных помех на частотах 1 кГц, 2 кГц, 3 кГц.
- рассчитать защищенность по формуле:



$$A_3 = 10 \lg(U_c^2 / (U_{п1}^2 + U_{п2}^2 + U_{п3}^2)), \text{ дБ.} \quad (2)$$

Внимание: после выполнения экспериментальных исследований макет должен быть приведен в исходное состояние и обесточен.

8. Исследовать работу модуляторов и демодуляторов сигналов с помощью компьютерного моделирования с применением программы «ЧРК».

8.1 Перед началом моделирования компьютерная программа предлагает пройти тестирование, для чего:

- в меню «Файл» выберите пункт «Опрос»; в появившемся окне отметьте правильные ответы, фиксируя ответ нажатием на кнопку «ОК»;
- после ответа на все вопросы сравните результаты с правильными, нажатием на кнопку «Проверка». (Если ошибок окажется больше четырех, тест считается не пройденным.)

8.2 Для начала моделирования:

- в меню «Файл» выберите пункт «Лабораторная работа №2». На передней панели макета изображена упрощенная схема электрическая принципиальная исследуемого модулятора и установлены коммутационные и измерительные гнезда. Кроме модуляторов в состав макета входят генераторы сигналов и несущих частот преобразования;
- установить коммутационные дужки в гнезда, обеспечивающие формирование исследуемой схемы преобразователя (преобразователь частоты по однотоктной, последовательно-балансной, кольцевой, мостовой, параллельно-балансной схемам);
- приступить к осциллографированию формы тока и измерению частот сигналов в измерительных гнездах, для чего с помощью осциллографа произвести наблюдения и зарисовку форм тока сигналов на выходах вышеперечисленных схем и провести измерения параметров сигналов с помощью частотомера и осциллографа;

- после завершения исследований закройте работающую программу и приведите компьютер в исходное состояние.

### Отчетность по лабораторной работе.

Результаты лабораторной работы оформляются в тетради по лабораторному практикуму и представляются для отчетности.

Для получения зачета по лабораторной работе студент должен подтвердить достоверность полученных результатов, пояснить физический смысл полученных результатов и ответить на контрольные вопросы.

### ***Контрольные вопросы:***

1. Укажите назначение узлов многоканальной системы с разделением по частоте.
2. Какова классификация способов передачи амплитудно-модулированных сигналов?
3. Перечислите достоинства и недостатки многоканальных систем с передачей одной боковой полосы без несущей.
4. Каково влияние на качество связи асинхронности и асинфазности несущих колебаний приемника и передатчика в системе с ОБП?
5. Укажите причины, затрудняющие разделение сигналов в системе с ЧРК.
6. Почему нелинейные искажения в групповом тракте приводят к появлению переходных помех?
7. Объясните, почему напряжения переходных помех измеряются на частотах, указанных в описании работы.

### Форма отчетности ЛР №7

Тема работы:

Цели:

Исследуемые вопросы:

Программа работы:

Техническое обеспечение:

Информационное обеспечение:

Заполняется в процессе подготовки к выполнению лабораторной работы.

#### Определительный базис.

1. Стандартный телефонный канал –
2. Телефонный КТЧ –
3. Частотное уплотнение линий связи –
4. Частотное разделение КТЧ -
5. Многоканальные системы передачи с ЧРК –
6. Диаграмма уровней –
7. Внешняя –
8. Внутренняя –
9. Канальный сигнал –
10. Групповой сигнал –
11. Линейный сигнал –
12. АЧИ и АЧХ канала –
13. ФЧИ и ФЧХ канала –
14. Защищенность КТЧ –

Схема электрическая функциональная лабораторной установки.

#### Функциональные элементы и их назначение.

## 3.

## Лабораторные исследования

№ измер.	№ измерит. гнезд	Место измерения	Измеряемые параметры	Исследуемые осциллограммы	
				Теоретич.	Эксперим.

Результаты измерений.				
Временная область.		Частотная область		Выводы.
Отсчетные значения.	Результаты измерений.	Вид измеряемого параметра.	Результаты измерений параметра.	

Исследование пассивных модуляторов МСП с ЧРК.

4. Тип модулятора

5. Схема электрическая принципиальная

Однотактный.	
Последовательно балансный.	
Кольцевой.	
Мостовой.	
Параллельно балансный.	

Формы выходного тока.

Спектры сигналов.



## Исследование активных

6.                                      Тип модулятора                                      Схема электрическая  
принципиальная

Амплитудный.	
Балансный.	
Двойной балансный.	

Формы выходного тока.

Спектры сигналов.


Лист отчетности.

Вывод.

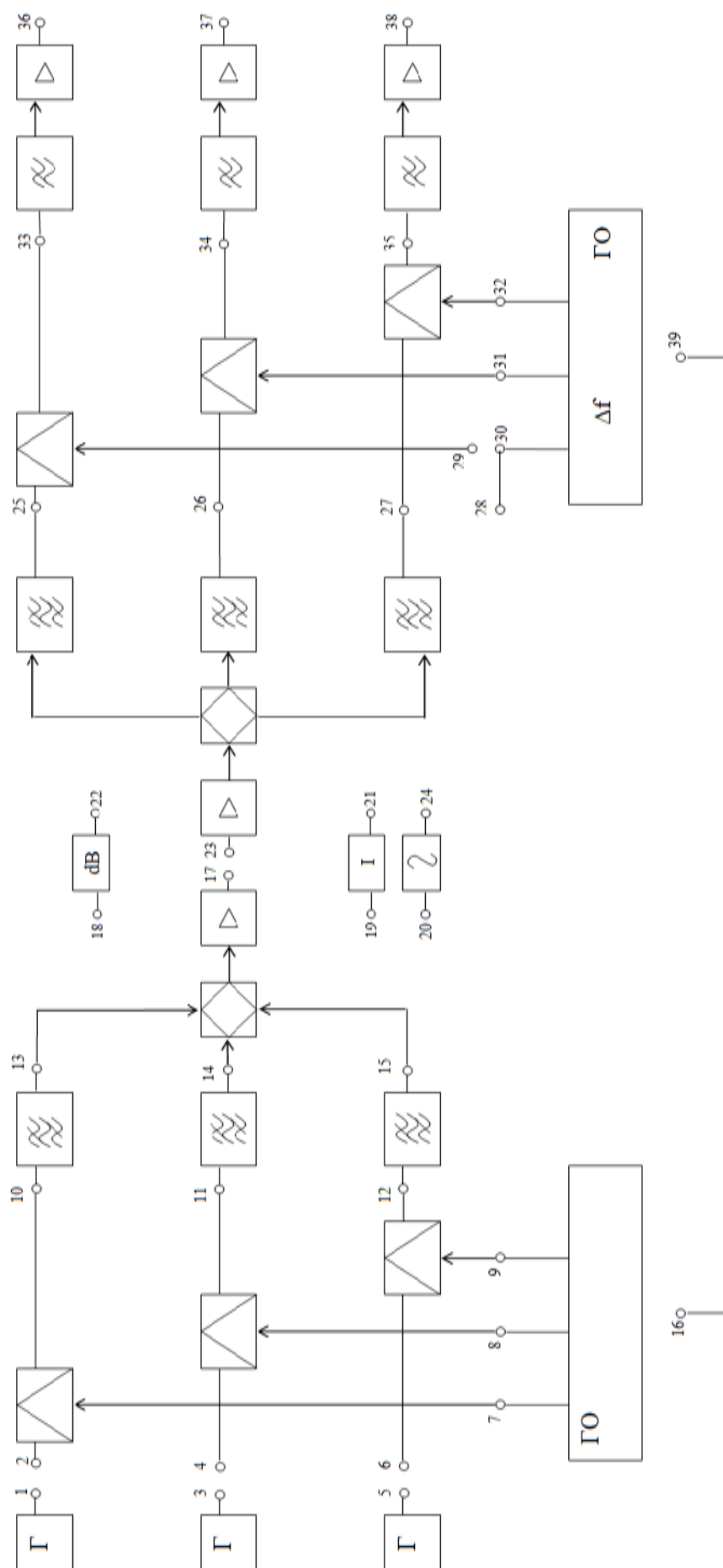


Рис.1 Схема электрическая функциональная лабораторной установки

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №8**

### **«Исследование основ построения МСП с АИМ-ВРК»**

#### **Цели работы**

1. Изучение основ построения аппаратуры МСП с АИМ-ВРК.
2. Исследование процессов дискретизации первичных сигналов связи и передачи данных и их мультиплексирование в групповой сигнал.
3. Исследование процессов демультиплексирования группового сигнала и восстановления первичных сигналов связи и передачи данных.
4. Исследование влияния качества синхронизации на работу МСП с АИМ-ВРК.
5. Исследование влияния искажений группового сигнала на качество связи.
6. Исследование динамических процессов в МСП с АИМ-ВРК методом компьютерного моделирования.

#### **Программа работы:**

1. Изучение схемы и назначения функциональных элементов лабораторного макета МСП с АИМ-ВРК.
2. Изучение конструктивных особенностей лабораторного макета МСП с АИМ - ВРК и методики его экспериментального исследования.
3. Компьютерное моделирование динамических процессов в МСП с АИМ-ВРК.
4. Экспериментальное исследование процессов дискретизации первичных сигналов связи и передачи данных и их мультиплексирование в групповой сигнал.
5. Экспериментальное исследование процессов демультиплексирования группового сигнала и восстановление первичных сигналов связи и передачи данных.
6. Исследование влияния нарушения синхронизации на работу МСП с АИМ-ВРК.



7. Исследование влияния линейных и нелинейных искажений группового сигнала на качество передачи.

Учебное время – 4 часа.

#### **Оборудование рабочего места:**

- 1.Стойка лабораторных работ СЛР-1.
- 2.Средства наблюдения и измерения параметров сигналов.
- 3.Локальная вычислительная сеть.
- 4.Комплект учебных программ.

#### **Информационный базис:**

1.Цифровые и аналоговые системы передачи. Под ред. В.И. Иванова, учебник для студентов ВУЗов, обучающихся по направлению “ Телекоммуникация ”. Москва, Горячая линия - Телеком, 2003.

2.Сорокин Г.И. Основы построения телекоммуникационных систем и сетей. Конспект лекций. МТУСИ, Москва 2000.

3.Снегов А.Д., Четкин С.В., Шаврин С.С. Основы построения телекоммуникационных систем и сетей. Конспект лекций. МТУСИ, Москва 2000.

4.Конспект лекций по дисциплине ОПТКСС.

5.Методическое руководство к лабораторной работе.

6.Компьютерная программа моделирования процессов в МСП с АИМ-ВРК.

#### **Методические указания:**

Процесс выполнения лабораторной работы предусматривает:

- индивидуальную подготовку к работе за счёт времени, предусмотренного в программе дисциплины на самостоятельную работу;
- допуск к самостоятельным экспериментальным исследованиям;
- экспериментальные исследования;
- защиту полученных результатов с их теоретическим обоснованием.

Для получения допуска к выполнению лабораторной работы студент должен:

- знать основные термины и определения теории и техники дискретных систем передачи;
- знать теоретические основы процессов преобразования первичных сигналов связи и передачи данных в дискретные, методы мультиплексирования и демультиплексирования в дискретных системах передачи, принципы синхронизации в МСП с АИМ-ВРК, основные виды помех и их влияние на параметры каналов;
- знать устройство лабораторного макета изучаемой МСП, его принцип действия и функциональные возможности;
- уметь пользоваться рекомендованными средствами измерений;
- иметь в рабочей тетради по лабораторному практикуму подготовленные формы отчетности и отработанные вопросы подготовки к работе.

Для подготовки к лабораторной работе необходимо:

***на целевой консультации в лаборатории МСП:***

- изучить тему, цели и содержание программы работы;
- ознакомиться с лабораторным макетом МСП с АИМ-ВРК, средствами измерений и выполнить требования по п.п. 1 и 2 программы;
- изучить порядок подготовки макета и средств измерений к работе, методику проведения экспериментальных исследований и порядок возвращения макета и средств измерений в исходное состояние;

***самостоятельно***

- подготовить в рабочей тетради по лабораторному практикуму рекомендованные формы отчетности;
- повторить основные положения теории изучаемого вопроса;
- вычертить схему исследуемой МСП с АИМ-ВРК, уяснить назначения функциональных элементов и их взаимодействие;

- зарисовать теоретически ожидаемые осциллограммы сигналов в указанных на схеме макета контрольно-измерительных точках (КИТ);

***перед проведением лабораторной работы:***

- представить результаты подготовки, доложить о готовности к проведению измерений и получить допуск на решение поставленных экспериментальных задач;

- привести лабораторный макет МСП с АИМ-ВРК и средства измерений в исходное состояние для проведения измерений.

**Описание лабораторного макета МСП с АИМ – ВРК.**

Лабораторный макет представляет собой функционально законченный блок, входящий в состав СЛР-1. Он обеспечивает моделирование трехканальной МСП с амплитудно-импульсной модуляцией и временным разделением каналов (АИМ - ВРК).

Питание блока осуществляется от общесетового источника СЛР-1. Подача питания на элементы блока осуществляется включением тумблера «Сеть» и кнопок «Пуск ».

Сущность устройства макета отображается схемой электрической функциональной (рис. 1), нанесенной на переднюю панель макета. На панели также выведены коммутационные гнезда и контрольно-измерительные точки (КИТ). Некоторые коммутационные гнезда при экспериментальных исследованиях могут использоваться как измерительные.

В состав макета входят:

- источники имитационных сигналов связи и передачи данных (И1, И2, И3), амплитудно-импульсные модуляторы (МД1, МД2, МД3), задающие генераторы сигналов тактовой частоты и распределители стробирующих импульсов трактов передачи и приема, устройства формирования синхросигналов;

- суммирующее устройство, формирующее групповой сигнал в тракте передачи; имитатор тракта передачи без искажений, с линейными и нелинейными искажениями;
- селектор синхросигнала и линия задержки для выделения синхросигнала из группового сигнала и обеспечение процесса фазирования;
- демодуляторы АИМ сигналов для выделения канальных дискретизированных сигналов;
- фильтры нижних частот для восстановления первичных сигналов связи и передачи данных.

Макет МСП обеспечивает:

- формирование двух аналоговых сигналов связи частотой 1 кГц и сдвинутых по фазе друг относительно друга на  $180^\circ$ ;
- формирование одного дискретного сигнала передачи данных со скоростью передачи 2 кбит/с;
- дискретизацию первичных сигналов с частотой 8 кГц;
- формирование группового сигнала с тактовой частотой АИМ сигнала 32 кГц;
- мультиплексирование в групповой сигнал 1, 2 и 3-х первичных сигналов;
- регулирование процесса синхронизации и взаимного фазирования синхросигналов трактов передачи и приема;
- моделирование трактов передачи без искажений, с линейными искажениями, с нелинейными искажениями.

В тракте синхронизации реализуются 4 варианта работы системы синхронизации МСП с ВРК:

- I «СИНХР. СИНФ.» - режим синхронной и синфазной работы распределителей импульсов каналов (РИК) трактов передачи и приема;

- II «СИНХР. НЕСИНФ. I» - режим сдвига синхросигнала в тракт приема на время, равное интервалу между двумя соседними канальными импульсами группового АИМ - сигнала;
- III «СИНХР. НЕСИНФ. II» - аналогичный режиму II, но временной сдвиг увеличен вдвое;
- IV «НЕКОГЕР.» - режим, при котором осуществляется несинхронный процесс мультиплексирования и демуплексирования сигналов связи и передачи данных.

В тракте передачи группового АИМ - сигнала реализуются следующие режимы:

- передача без помех;
- передача при наличии линейных помех в тракте;
- передача при наличии нелинейных помех в тракте.

Для проведения экспериментальных исследований могут использоваться расположенные в СЛР-1 осциллограф и указатель уровня, а также средства измерения общего назначения, технические и метрологические характеристики обеспечивают решение экспериментальных задач, определенных в программе работы.

### **Порядок выполнения работы.**

**Внимание:** пункты 1 и 2 программы работы выполняются при подготовке к лабораторной работе.

3. Компьютерное моделирование динамических процессов в МСП с АИМ-ВРК.

3.1 Открыть файл «ВРК».

3.2 Получить допуск к работе по компьютерному моделированию, ответив на предложенные вопросы.

3.3 Задать значение частоты информационного сигнала для указанного канала, смоделировать тип линии передачи.

3.4 Сопоставить результаты эвристического исследования (т. е. полученного в процессе умозрительного применения обще теоретических знаний к рассматриваемому объекту исследования) и компьютерного моделирования процесса преобразования сигнала в тракте МСП, наблюдая модельные осциллограммы в указанных контрольных точках.

3.5 Если результаты моделирования совпадают, закончить процесс моделирования и закрыть файл. Если в процессе моделирования возникают затруднения, изложить суть вопроса преподавателю и продолжить исследование под его руководством.

4. Экспериментальное исследование процессов дискретизации первичных сигналов связи и передачи данных и их мультиплексирование в групповой сигнал.

4.1 Собрать схему измерительной установки.

4.2 Исследовать формы и параметры сигналов в КИТ тракта передачи и зафиксировать их в соответствующих местах формы отчетности.

Исследование проводить в следующем порядке:

- провести осциллографирование первичных сигналов связи и передачи данных (КИТ 1, 3, 5);
- провести осциллографирование сигнала тактовой частоты (КИТ 32);
- провести осциллографирование АИМ-сигналов каждого канала (КИТ 12) и групповых сигналов при условии прохождения по групповому тракту последовательно одного, двух и трех первичных сигналов.

4.3 Провести исследование спектрального состава сигналов в рассмотренных КИТ (экспериментально или на основе численных расчетов по указанию преподавателя).

4.4 Сопоставить полученные результаты экспериментальных исследований с теоретическими и сделать выводы.

5. Экспериментальное исследование процессов демультиплексирования группового сигнала и восстановление первичных сигналов связи и передачи данных.

5.1 Смоделировать МСП без искажений. Для этого подключить тракт приёма к тракту передачи непосредственно (соединить перемычками гнезда 10-12 ; 12-13 ; 15-17 ;19-20).

5.2 Обеспечить по каналу синхронизации оптимальный режим синхронизации и синфазности сигналов тактовой частоты генератора тракта приёма с сигналами генератора тактовой частоты генератора тракта передачи. Для этого переключатель ПК(R15) поставить в положение “ СИНХР., СИНФ.” и с помощью переменного резистора П (R63) установить оптимальную фазу стробирующих импульсов приёмной части макета МСП по максимальной амплитуде сигнала на выходе одного из каналов при отключенных остальных.

5.3 Провести осциллографирование группового сигнала до демультиплексирования (КИТ 18) и канальных сигналов после демультиплексирования (КИТ 26 , 27 , 28).

5.4 Провести осциллографирование восстановленных первичных сигналов (КИТ 29 , 30 , 31).

5.5 Сопоставить полученные результаты экспериментальных исследований с теоретическими и сделать выводы.

5.6 Качественно оценить степень отличия восстановленных первичных сигналов от переданных и сделать выводы.

6. Исследование влияния нарушения синхронизации на работу МСП с АИМ-ВРК.

6.1 Установить переключатель ПК в положение “ СИНХР.,НЕСИНФ. I ” и провести осциллографирование канальных и восстановленных сигналов.

6.2 Установить переключатель ПК в положение “ СИНХР.,НЕСИНФ. II ” и провести осциллографирование канальных и восстановленных сигналов.

6.3 Установить переключатель ПК в положение “НЕСИНХР.” и провести осциллографирование канальных и восстановленных сигналов.

6.4 Вернуть переключатели ПК в исходное состояние.

**6.5** Качественно оценить степень отличия восстановленных сигналов от переданных и на этом основании оценить влияние нарушения работы канала синхронизации на работу МСП с ИКМ-ВРК, и сделать выводы.

7. Исследование влияния линейных и нелинейных искажений группового сигнала на качество передачи.

7.1 Смоделировать МСП с линейными искажениями. Для этого подключить тракт приёма к тракту передачи через имитатор тракта с линейными искажениями (соединить перемычками гнезда 12-14 и 16-17; тумблер в положение Л1).

7.2 Убедиться в наличии линейных искажений и провести осциллографирование группового сигнала (КИТ 18) при отключенных информационных сигналах и при включенном сигнале первого или второго канала.

7.3 Определить защищённость каналов МСП с ИКМ-ВРК. Для этого:

- провести осциллографирование сигналов;
- измерить напряжение  $U_c$  или уровень  $p_c$  исследуемого восстановленного сигнала при отключённых остальных (КИТ 29 , 30 , 31);
- отключить информационный сигнал от входа исследуемого канала и подать на вход МСП два других сигнала поочерёдно, а затем вместе.
- измерить напряжение помехи  $U_n$  или уровень переходной помехи  $p_{np}$  на выходе исследуемого канала;
- определить защищённость каналов исследуемой МСП с АИМ-ВРК, сравнить с нормированными значениями и оценить качество передачи.

7.4 Смоделировать нелинейные искажения в групповом тракте МСП с АИМ-ВРК. Для этого:

- поставить тумблер в положение Л2;
- убедиться в наличии нелинейных искажений в групповом тракте (КИТ 18);



- провести осциллографирование сигнала в этой точке при подаче информационного сигнала на вход 1 и 2 канала МСП.

7.5 Определить защищённость каналов от нелинейных помех по методике изложенной в п. 6.3 .

### **Внимание.**

После выполнения экспериментальных исследований макет должен быть приведён в исходное состояние и обесточен.

### **Отчетность по лабораторной работе.**

Результаты лабораторной работы оформляются в тетради по лабораторному практикуму и представляются для отчетности.

Для получения зачета по лабораторной работе студент должен подтвердить достоверность полученных результатов, пояснить физический смысл полученных результатов и ответить на контрольные вопросы.

### ***Контрольные вопросы:***

1. Теоретический базис основ построения МСП с ВРК.
2. Методика определения циклового и канальных интервалов МСП с ВРК.
3. Методика определения частоты дискретизации.
4. Физический смысл численного значения частоты дискретизации.
5. Сущность временного мультиплексирования сигналов связи и передачи данных.
6. Сопоставительный анализ частотного и временного мультиплексирования.
7. Технология временного мультиплексирования.
8. АИМ 1 и АИМ 2, условие перехода от АИМ 1 и АИМ 2.
9. Условия обеспечения эффективности демультиплексирования группового сигнала.
10. Чем объясняется возможность применения ФНЧ для восстановления первичного сигнала из канального дискретизированного сигнала.

10. Структура помех в трактах МСП с ВРК.
11. Назначение канала синхронизации.
12. Влияние несинхронности и несинфазности на качество восстановления первичных сигналов.
13. Чем определяется тактовая частота группового многоканального сигнала при АИМ-ВРК.
14. Почему МСП с ИКМ-ВРК не нашли непосредственного практического применения.
15. Роль и место АИМ-ВРК в построении МСП с ИКМ-ВРК.

Форма отчетности ЛР №8

Тема работы:

Цели работы:

Программа работы:

Техническое обеспечение:

Информационный базис:

**Заполняется в процессе подготовки  
Определительный базис лабораторной работы.**

Сигнал ТЧ:

Канал ТЧ:

Сигнал с ограниченным спектром:

Теорема Котельникова:

Правило дискретизации:

Требование МСЭ по выбору частоты дискретизации:

Частота дискретизации канала ТЧ:

АИМ-1, спектр АИМ-1:

АИМ-2, спектр АИМ-2:

Синхронизм:

Синфазность:

Синхронность и синфазность подключения приемника и передатчика:

Линейные искажения:

Уровень сигнала:

Уровень помехи:

Защищенность:

Принцип детектирования АИМ сигналов:

к выполнению лабораторной работы.

**Схема электрическая функциональная лабораторного макета  
МСП с АИМ-ВРК.**

**Функциональные возможности лабораторного макета МСП с АИМ-ВРК.**

**Функциональные элементы схемы их назначение.**

Исследование по п.п.5-6 программы работы

**Тракт передачи**

**Внимание:** колонки 2,3 и 8,9 заполняются в процессе подготовки к лабораторной

Исслед. сигнал связи	Место изм. (КИТ)	Осциллограмма		Рез. exper. исследов.		
		Теоретическая	Эксперимент.	Т, Тсл	Ф, Фсл	Рн
1	2	3	4	5	6	7
Аналоговый сигнал связи №1.						
Анало-						

ГОВЫЙ СИГНАЛ СВЯЗИ №2						
Дис- крет- ный сигнал переда- чи дан- ных						
Синхро сигнал						
Каналь- наль- ный сиг нал 1						
Каналь- наль- ный сиг нал 2						
Каналь ный сиг нал 3						
Группо вой сиг. Гр1-2						
Групп- овой						

сиг. Гр2-3						
Группо вой сиг. Гр1-2-3						

### Тракт приема

Место изм. (КИТ)	Осциллограмма		Результаты экс- пер.исследов.			Выводы
	Теоретич.	Эксперим.	Т, Тсл	F Fсл,	Рн	
8	9	10	11	12	13	14

### Исследование по пункту 6

Исслед. сигнал связи	Место измер. (КИТ)	Режим синхронизации II				Режим
		Осциллограмма	Т, Тсл	F, Fсл	рн	Осциллограмма

Групповой сигнал Гр1-2-3						
Канальный сигнал КС1						
Канальный сигнал КС2						
Канальный сигнал КС3						
Восст. сигнал 1канала ВС 1						
Восст. сигнал 2канала ВС 2						
Восст. сигнал 3канала ВС 3						

Синхро сигнал переда чи Сспер.						
Синхро сигнал приема ССпр						

синхронизации III			Режим синхронизации IV				Выводы
Т, Тсл	F Fсл,	p <sub>н</sub>	Осциллограмма	Т, Тсл	F Fсл,	p <sub>н</sub>	

Исслед. сигнал связи	Место Измер. (КИТ)	МСП с линейными искажениями					
		Источн. помехи	Осциллограмма	$p_c$	$p_{пп}$	$A_3$	Выводы
Восст. сигнал 1 канала BC1		Отсутству- ет					
		KC2					
		KC3					
		KC2+KC3					
Восст. сигнал 3 канала BC3		Отсутст- вует					
		KC1					
		KC2					
		KC1+KC2					

МСП с нелинейными искажениями						
Источн. помехи	Осциллограмма	$p_c$	$p_{пп}$	$A_3$	Выводы	
Отсутству- ет						
KC2						
KC3						
KC2+KC3						
Отсутст- вует						
KC1						



КС2					
КС1+КС2					

Лист отчетности.

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №9**

### **Исследование трех программно вещательного приемника**

#### **Цели работы**

1. Закрепить знания структур систем радиотехнического сегмента телекоммуникационной сети.
2. Изучить основные элементы магистрали радиорелейной связи.
3. Изучить принципы построения систем радиовещания.
4. Получить навыки экспериментального исследования характеристик радиотрансляционного приёмника сети звукового вещания.

#### **Программа работы**

1. Изучение принципов построения радиорелейных систем и сетей радиовещания
2. Изучение принципов построения магистрали радиорелейной связи и основных элементов оконечных радиорелейных станций.
3. Изучение принципов построения и структуры сети звукового вещания.
4. Исследование эксплуатационных характеристик радиотрансляционного приёмника сети звукового вещания:
  - 4.1. чувствительности приёмника;
  - 4.2. АХ и АЧХ приёмника;
  - 4.3. избирательности приёмника.

#### **Техническое обеспечение**

4. Учебная магистраль радиорелейной связи.
4. Радиовещательный приёмник «Ишим».
4. Комплекс средств измерений.

#### **Методические указания:**

Процесс выполнения лабораторной работы предусматривает:

- индивидуальную подготовку к работе за счет времени, предусмотренного в программе дисциплины на самостоятельную работу;
- допуск к самостоятельным экспериментальным исследованиям;
- экспериментальные исследования;
- защиту полученных результатов с их теоретическим обоснованием.

Для получения допуска к выполнению лабораторной работы студент должен:

- знать основные термины и определения;
- знать взаимосвязи уровней сигнала по напряжению, току и мощности;
- знать устройство радиоприемника супергетеродинного типа, его принцип действия и функциональные возможности;
- владеть методикой измерения основных параметров функциональных узлов и приборов аппаратуры связи;
- уметь пользоваться рекомендованными средствами измерений;
- иметь в рабочей тетради по лабораторному практикуму подготовленные формы отчетности и отработанные вопросы подготовки к работе.

Для подготовки к лабораторной работе необходимо:

***на целевой консультации в лаборатории РС и ТВ:***

- изучить тему, цели и содержание программы работы;
- ознакомиться с оконечным оборудованием радиорелейной станции;
- ознакомиться с исследуемым радиоприемником, средствами измерений;
- изучить порядок подготовки радиоприемника и средств измерений к работе, методику проведения экспериментальных исследований и порядок возвращения приемника и средств измерения в исходное состояние;

***самостоятельно***

- подготовить в рабочей тетради по лабораторному практикуму рекомендованные формы отчетности;
- повторить ключевые положения теории изучаемого вопроса;

- вычертить схемы учебной магистрали радиорелейной связи и экспериментальной лабораторной установки, уяснить назначение функциональных элементов и их взаимодействие;

***перед проведением лабораторной работы:***

- представить результаты подготовки, доложить о готовности к проведению измерений и получить допуск на решение поставленных экспериментальных задач;
- привести лабораторную установку и средства измерений в исходное состояние для проведения измерений.

### **КЛЮЧЕВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

Радиотехнический сегмент телекоммуникационных сетей включает в себя:

- системы и сети спутниковой связи (ССС);
- системы и сети радиорелейной связи (СРС);
- сети связи с подвижными объектами (ССПО);
- сети звукового и телевизионного вещания (СЗВ и СТВ).

Оконечные станции рассматриваемых сетей включают в себя тракты радиопередающих и радиоприемных устройств, обеспечивающих возможность двусторонней связи (ССС, СРС, ССПО) и односторонней связи (СЗВ и СТВ).

#### **1.1. Структура системы радиорелейной связи.**

СРС организуются на магистральных и зонавых телекоммуникационных сетях и предназначены для резервирования кабельных магистралей или обеспечения связи и передачи данных в регионах, где по экономическим, техническим или другим условиям создание кабельных магистралей не целесообразно или технически невозможно.

Для организации только телефонных зонавых РРЛ протяженностью до 250 км на базе отечественной радиорелейной станции " КУРС - 8 " разработана СРС "ОБЛАСТЬ – 1" (" КУРС - 8 - О "). Учебная магистраль СРС представлена в лаборатории СР и ТВ.

Радиорелейная система " КУРС - 8 - О" имеет только один дуплексный ТлФ ствол с пропускной способностью 300 ТлФ каналов в режиме ЧРК–ЧМ или 120 каналов ТЧ в режиме ИКМ – ЧМ.

СРС реализует двухчастотный план в диапазоне 7,9 – 8,4 ГГц.

Максимальное число оконечных и узловых станций на магистрали – 10. В системе предусмотрено выделение до пяти отдельных вторичных групп путем параллельного ответвления спектра частот всего группового сигнала 60 - 1300 кГц и выделения из него нужной для данной узловой радиорелейной станции части спектра.

## 1.2. Радиопередающее устройство.

Структурная схема радиопередающего устройства приведена на  рис.

### 1.1.

Радиопередающее устройство обеспечивает одностороннюю передачу СВЧ сигнала на одной из 16 фиксированных несущих частот заданного диапазона. В передатчике обеспечивается частотная модуляция сигнала на промежуточной частоте (ПЧ), затем модулированная ПЧ переносится в заданный диапазон.

Передатчик " КУРС - 8 - О " имеет два входа для группового сигнала (ГС). Первый вход ГС - 1 (-41 дБм (-18 дБм)), предназначенный для соединения с каналообразующей аппаратурой, содержит усилитель и предусаждающий контур. Второй вход ГС - 2 (-26 дБм) предназначен для транзитной передачи сигнала с приемника на передатчик (для узловых станций).

Усиленный модулирующий групповой сигнал с выхода блока ГУПд (групповой усилитель передачи) поступает на варикапы частотного модулятора ЧМд. Варикапы управляют частотой автогенераторов Г1 (250 МГц) и Г2 (320 МГц), колебания с которых подаются на диодный смеситель См, обеспечивающий получение промежуточной частоты (ПЧ)

70 МГц. Сигнал ПЧ усиливается, ограничивается для подавления паразитной амплитудной модуляции и подается на вход мощного усилителя промежуточной частоты (МУПЧ). Напряжение, полученное на выходе МУПЧ (5 - 8 В) через фильтр нижних частот (ФНЧ), подводится к повышающему преобразователю передатчика (См Пд), на который также подается несущее напряжение от задающего генератора.

Задающий генератор включает в себя:

- блок автогенератора (Гкв);
- блок мощного гетеродина (МЩГ);
- блок умножителей частоты (УмЧ).

Колебания автогенератора (блок Гкв) частотой 105 - 120 МГц, стабилизированного кварцевым резонатором, через буферный усилитель поступают на фазовый модулятор (ФМд), предназначенный для введения в тракт сигналов служебной связи. С выхода ФМд сигнал поступает на удвоитель частоты и усилитель. Удвоенный и усиленный до 1 Вт сигнал поступает на блок мощного гетеродина (МЩГ). В блоке МЩГ колебания усиливаются по мощности до 20 - 28 Вт и через ферритовый циркулятор

ФЦКЧ - 8, работающий в режиме вентиля, поступают на вход удвоителя частоты. Затем через развязывающий ферритовый циркулятор

ФЦКЗ - 34 колебания с частотой 420 - 480 МГц поступают на вход следующего удвоителя, на выходе которого сигнал имеет параметры: 10 Вт, 840 - 960 МГц.

Выход МЩГ через ферритовый циркулятор ФЦКЗ - 31 соединен со входом умножителей частоты УмЧ, обеспечивающих девятикратное умножение частоты сигнала при выходной мощности 1.4 - 1,8 Вт. Через цепь ФЦВ2 - 12 (развязывающий циркулятор) и двухзвенный фильтр гетеродина (ПФГ) колебания мощного гетеродина подводятся к повышающему преобразователю частоты (См Пд). После преобразования образуются колебания верхней и нижней боковых полос  $f_2 \pm f_{пч}$ ; полезная верхняя боковая полоса выделяется фильтром верхней боковой полосы (ФБП).

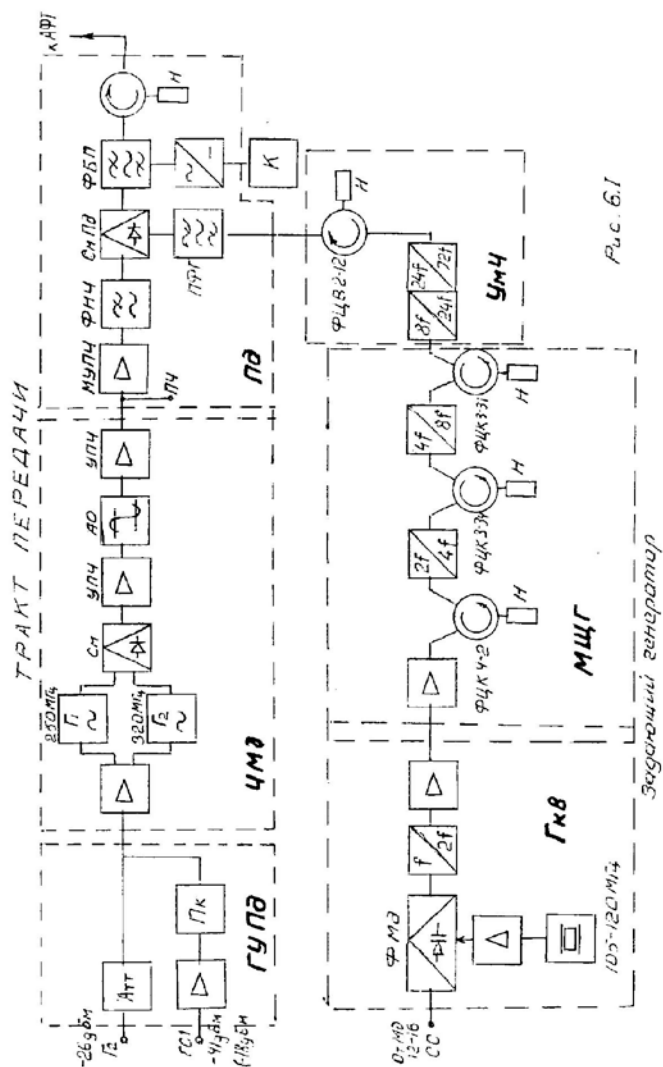


Рис. 6.1

Рис 1.1 Структурная схема передающего устройства аппаратуры «К 3-0».

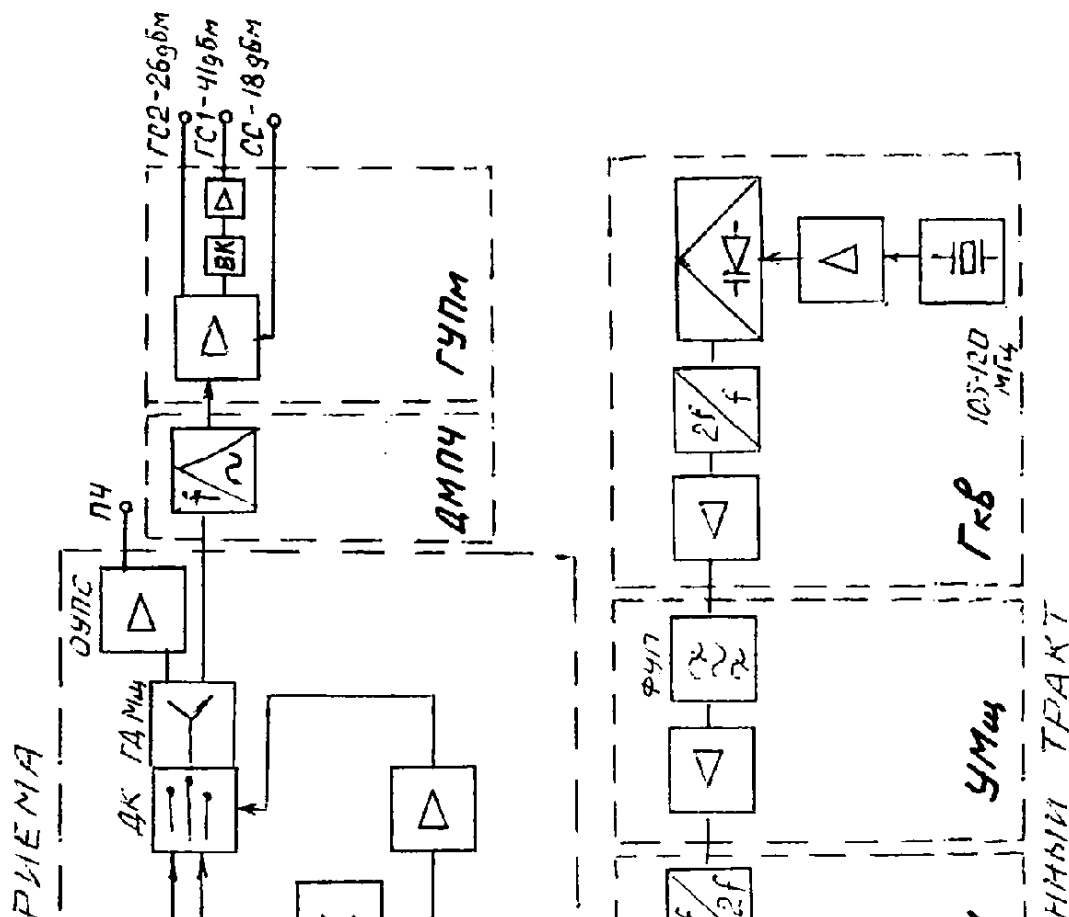


Рис. 1.2. Структурная схема приёмного устройства аппаратуры «Курс - 8-0».

### 1.3. Радиоприемное устройство.

Структурная схема радиоприемного устройства приведена на рис. 1.2.

Радиоприемное устройство обеспечивает односторонний прием СВЧ сигналов на одной из 16 - фиксированных частот в диапазоне 7,9 – 8,4 ГГц, преобразование сигнала СВЧ в сигнал ПЧ, усиление сигнала ПЧ и его демодуляцию, а также усиление группового сигнала.

СВЧ сигнал из антенно-фидерного тракта (АФТ) поступает на ферритовый циркулятор ФЦВ - 2 - 12 и пятизвенный полосовой фильтр. Этот фильтр обеспечивает избирательность по зеркальному каналу и частично избирательность по соседнему каналу. Далее сигнал через циркулятор ФЦВ - 2 - 12 поступает на



преобразователь приемника. ФЦВ -2-12 совместно с нагрузкой Н работает в режиме вентили и является развязывающим устройством между полосовым фильтром и преобразователем приемника (Пр Пм ).

ПрПм предназначен для преобразования сигнала СВЧ в сигнал промежуточной частоты. Фильтр нижних частот (ФНЧ) на входе ПрПм обеспечивает подавление гармоник передатчика, способных создавать помехи по паразитным каналам приема. Преобразование радиосигнала осуществляется смесителем См. Напряжение несущей частоты подается с блока УмЧ – 2 гетеродинного тракта.

Задающий генератор блока Гкв гетеродинного тракта приемника идентичен соответствующему блоку Гкв передатчика. С выхода блока Гкв колебания с удвоенной частотой (210 - 240 МГц ) поступают на блок усиления мощности ( УМщ ), на входе которого включен узкополосный фильтр (ФУП ), настроенный на частоту гетеродина и регулируемый усилитель. С выхода УМщ колебания гетеродина подаются на умножитель частоты (УМЧ-1), где частота колебаний возрастает до 840 - 860 МГц и через развязывающий циркулятор ФЦКЗ - 32 подаются на вход умножителя (удевятерителя) частоты УмЧ-2. В УмЧ-2 частота гетеродина достигает номинального значения. На смеситель См приемника через ФУП поступает колебания гетеродина мощностью 2-3 мВт.

В результате взаимодействия двух сигналов (принятого из антенны и гетеродина) на выходе смесителя См будет присутствовать составляющая промежуточной частоты. Сигнал ПЧ с выхода См поступает на вход малошумящего предварительного усилителя промежуточной частоты (ПУПЧ) коэффициент усиления которого составляет 30 дБ и далее на блок промежуточной частоты (блок ПЧ). Коэффициент усиления блока ПЧ составляет 67 дБ. В блоке ПЧ осуществляется: дополнительная фильтрация с помощью фильтра ФрП; корректировка характеристики группового времени запаздывания и усиление сигнала ПЧ в главном усилителе промежуточной частоты (ГУПЧ).

Далее сигнал ПЧ разветвляется на два направления.

С первого выхода разветвителя сигнал ПЧ через диодные ключи (ДК) подается на гибридный делитель мощности (ГД Мщ). С одного из двух выходов ГД Мщ сигнал поступает на вход блока частотного демодулятора (ДмПЧ). Второй выход ГД Мщ используется для организации переприема по ПЧ на ПРС.

Поступающие со второго выхода разветвителя колебания ПЧ усиливаются узкополосным усилителем ПЧ, преобразуется в постоянное напряжение, контролируемое индикатором несущей частоты. Это напряжение управляет состоянием диодных ключей ДК. ГЗ является замещающим генератором и формирует сигнал частотой 70 МГц, который замещает сигнал на выходе блока ПЧ при неисправности приемника или уменьшении уровня принимаемого сигнала.

Блок ДмПЧ предназначен для выделения группового сигнала из ЧМ ПЧ. С выхода ДмПЧ групповой сигнал поступает на блок группового усилителя приема (ГУПм), который имеет два информационных и служебный выходы.

С первого выхода сигнал поступает на восстанавливающий контур (Вк), затем на выход группового усилителя приема и далее на выход выделения каналов ГС – 1

(–41дБм). Второй информационного выход ГС – 2 (-26дБм) предназначен для образования режима переприема (транзит).

Третий выход усилителя блока ГУПм предназначен для выделения сигналов служебной связи (СС) с уровнем –18дБм.

## 2.1. Структура радиотрансляционного приёмника сети звукового вещания

Важнейшим элементом СЗВ и СТВ являются радиоприемные устройства (вещательные и телевизионные)

Вещательные радиоприемные устройства предназначены для приема радиочастотных сигналов и выделения из них информации звукового вещания.

Такие радиоприемные устройства подразделяются на ретрансляционные и бытовые.

vi.

#### Радиотрансляционные

приёмники звукового вещания выполнены по супергетеродинной схеме с одним преобразованием частоты (старый парк приемников) или с многократным преобразованием частоты (современный парк приемников).

Типовая структурная схема супергетеродинного приемника АМ-ЧМ сигналов с одним преобразованием частоты представлена на рис. 2.1.

В ее состав входят следующие элементы:

Входная цепь (ВхЦ)- связывает антенну с входным каскадом приемника и осуществляет предварительную фильтрацию поступающих на вход радиосигналов, ослабляя или подавляя мешающие сигналы других станций. Выполняется на основе LC - колебательных контуров.

Основной эксплуатационный параметр ВхЦ - амплитудно-частотная характеристика (АЧХ ) - зависимость выходного напряжения от частоты при постоянном входном напряжении.

Типовая АЧХ такого контура показана на рис. 2.2 , где

$$f_p = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad - \quad \text{резонансная частота контура.}$$

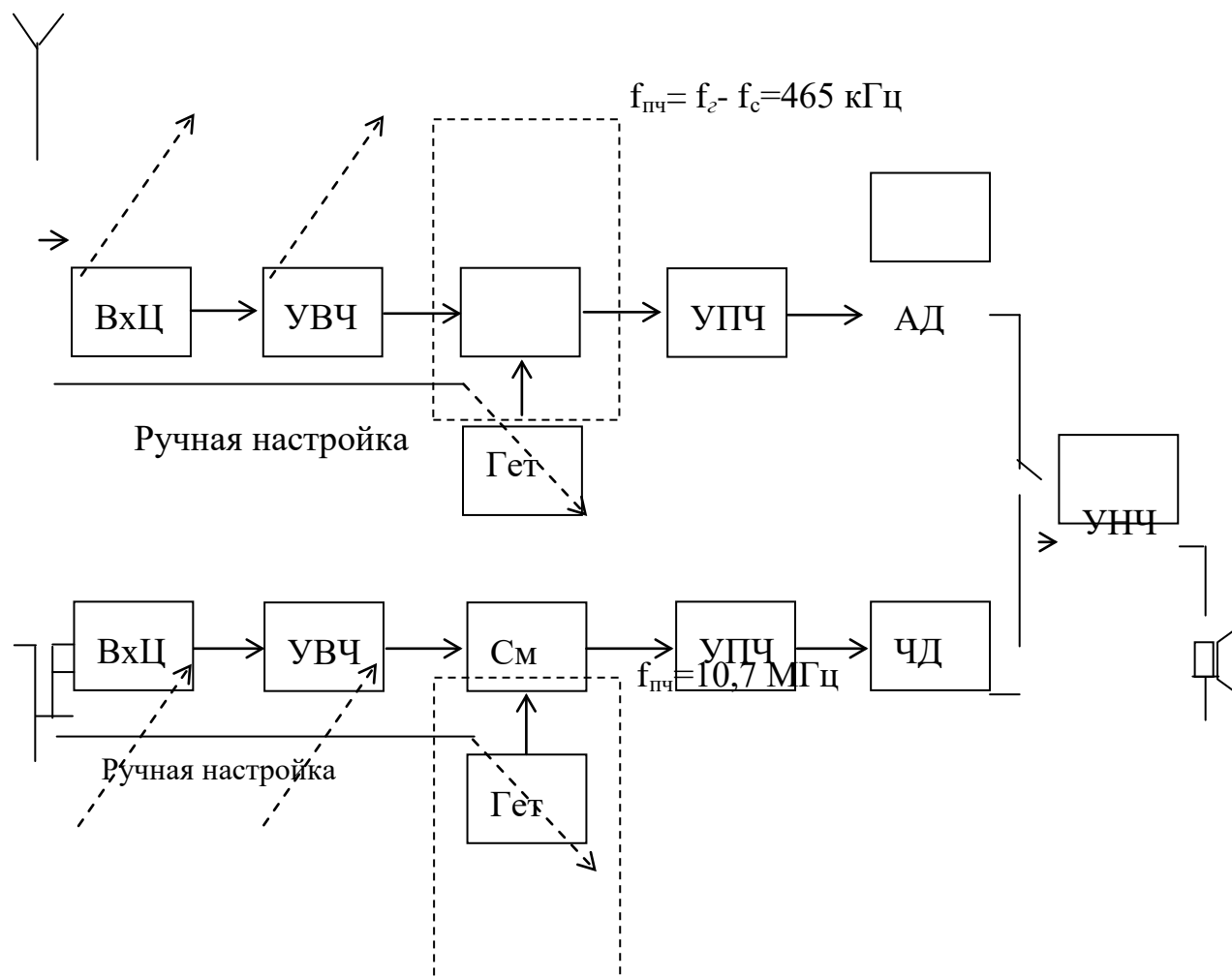
$$\Delta f = f_2 - f_1 \quad - \quad \text{полоса пропускания контура (ПП)}$$

ПП - область частот, в пределах которой ослабление сигнала не превышает 3 дБн.

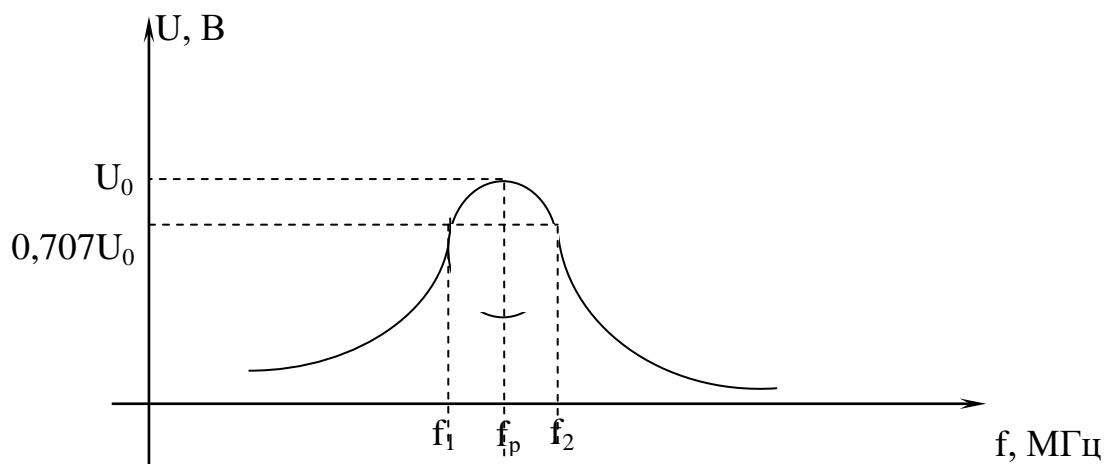
Настройка резонансной частоты контура  $f_p$  на частоту принимаемого сигнала  $f_c$  осуществляется путем изменения емкости переменного конденсатора С входящего в состав колебательного контура. Ориентировочная полоса пропус-

кания входных цепей для диапазонов ДВ и СВ - 8...40 кГц и УКВ- 330...700 кГц

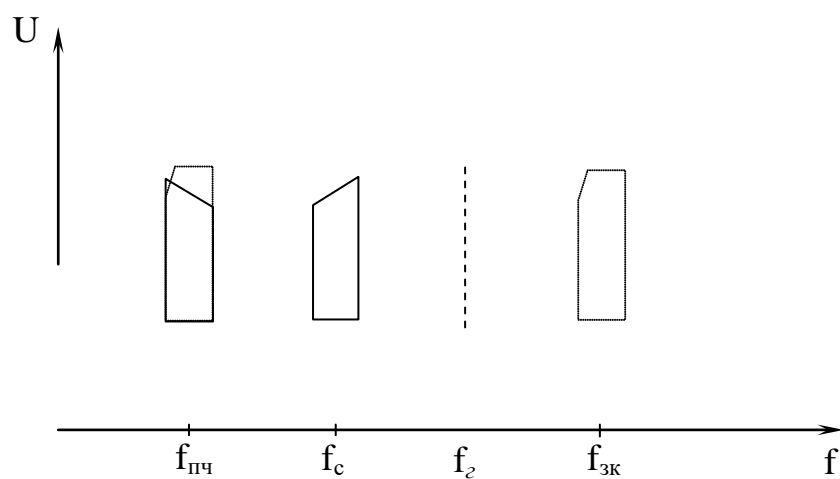
Усилитель высокой частоты (УВЧ) - предназначен для усиления принимаемого высокочастотного сигнала и обеспечения избирательности, которая реализуется за счет использования в качестве нагрузки усилителя резонансного колебательного контура. При настройке приемника на частоту принимаемого сигнала емкости контуров УВЧ и ВхЦ изменяются одновременно (на рис. 2.1. это показано пунктирной линией). УВЧ может состоять из нескольких каскадов усиления.



**Рис. 2.1. Структурная схема супергетеродинного приемника звукового вещания.**



**Рис. 2.2. Амплитудно-частотная характеристика колебательного контура.**



### Частотная характеристика преобразователя частоты

Преобразователь частоты (Пр) - предназначен для переноса спектра принимаемого сигнала с высокочастотной несущей на промежуточную частоту, на которой можно обеспечить более качественное усиление и селекцию сигнала. В состав Пр входят:

гетеродин (Гет) – местный генератор, формирующий синусоидальное напряжение  $U_{\Gamma}$  с частотой  $f_{\Gamma}$ , которая перестраивается одновременно с перестройкой резонансных частот предыдущих элементов;

смеситель (См) - элемент, в котором в результате взаимодействия напряжений

с частотами  $f_c$  и  $f_{\Gamma}$ , в общем случае, образуются составляющие с частотами  $n f_{\Gamma} \pm m f_c$ , где  $n$  и  $m = 1, 2, \dots$ . В качестве промежуточной частоты используется основная составляющая преобразования с частотой:

$$f_{\text{пч}} = f_{\Gamma} - f_c$$

остальные являются побочными (помехами). Значительная часть побочных составляющих фильтруется колебательными контурами, фильтром смесителя, а также УПЧ.

Наибольшую опасность представляют помехи, поступающие на вход приёмника по следующим каналам (рис. 2.3):

- "зеркальному", в котором частота мешающего сигнала равна:

$$f_{\text{зк}} = f_{\Gamma} + f_{\text{пч}}$$

- и каналу промежуточной частоты, с частотой  $f_{\text{пч}}$ .

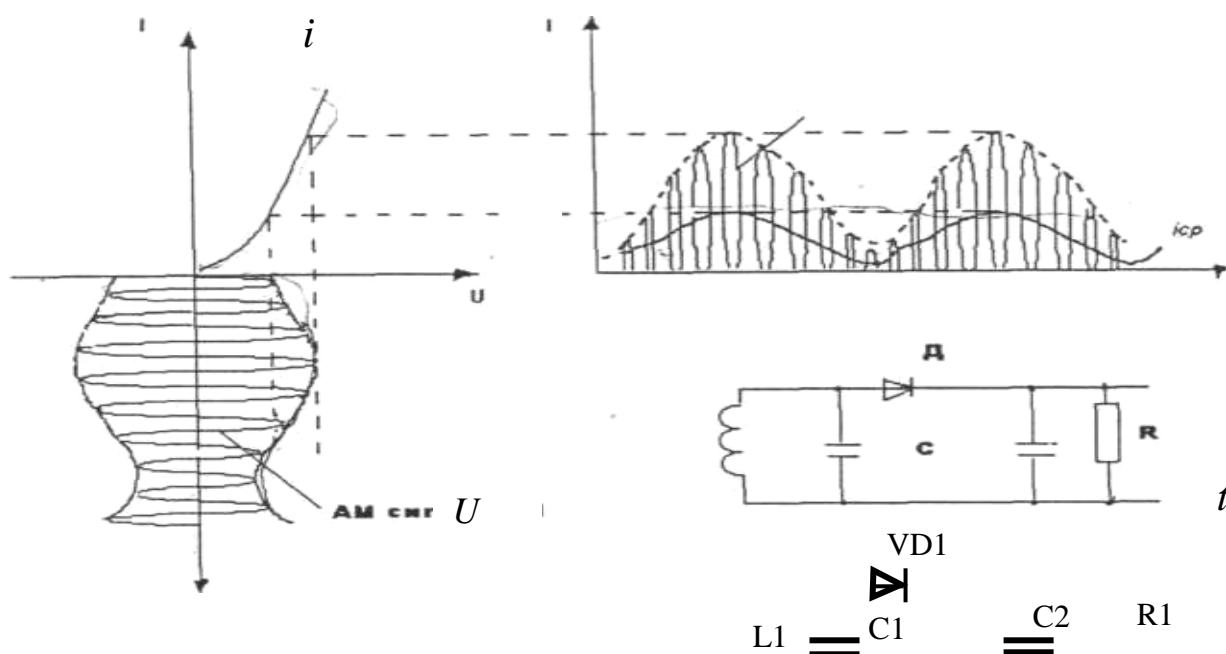
Основной принцип супергетеродинного приемника заключается в том, что при изменении частоты настройки приемника  $f_c$  изменяется частота гетеродина, а промежуточная частота остаётся постоянной. Стандартные промежуточные частоты радиовещательных приемников АМ сигналов - 465 КГц, ЧМ сигналов - 10,7 МГц.

Усилитель промежуточной частоты (УПЧ) - предназначен для усиления сигнала промежуточной частоты. Неизменность значения промежуточной частоты при настройке приемника позволяет обеспечить высокий коэффициент усиления и высокую избирательность за счет качественных не перестраиваемых полосовых фильтров. УПЧ, как правило, состоит из нескольких каскадов усиления.

Амплитудный детектор (АД)- предназначен для преобразования АМ колебаний промежуточной частоты в исходный (вещательный) сигнал. Принцип работы АД поясняет рис. 2.4 . При подаче сигнала ПЧ через диод с характеристикой  $I=\varphi(v)$  проходит пульсирующий ток , амплитуда которого изменяется по закону пульсирующего сигнала. Нагрузкой детектора является резистор  $R$  . Величина емкости конденсатора  $C$  выбирается такой, чтобы емкостное сопротивление на высоких частотах было значительно меньше сопротивления  $R$ , а на низких частотах наоборот больше этого сопротивления:

$$1/\omega C \ll R \ll 1/\Omega C$$

В этом случае высокочастотные составляющие тока диода проходят через конденсатор  $C2$ , а низкочастотные через резистор  $R1$  . Характер изменения среднего значения тока  $i_{cp}$ , проходящего через резистор, соответствует модулирую-

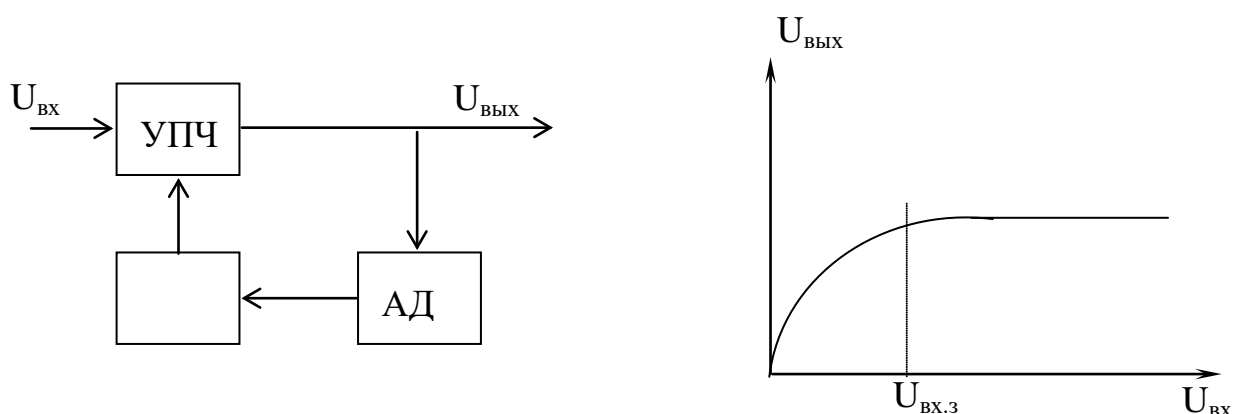


щему сигналу (на рис. 2.4 показано жирной линией).

Рис. 2.4. Принцип работы амплитудного детектора.

Частотный детектор (ЧД)- преобразует ЧМ сигнал в исходный (вещательный). Преобразование обычно осуществляется в 2 этапа: сначала ЧМ преобразуется в АМ сигнал, который затем детектируется амплитудным детектором.

Автоматическая регулировка усиления (АРУ) - предназначена для поддержания требуемого уровня сигнала на выходе приемника при изменении амплитуды сигнала на входе приемника из-за внешних факторов. Характеристика схемы АРУ показана на рис. 2.5 .



ii.

Рис. 2.5. Принцип работы системы АРУ.

При напряжении на входе УПЧ меньшем некоторого заданного значения



$U_{\text{ВХ}} < U_{\text{ВХ}3}$  схема АРУ не работает. При  $U_{\text{ВХ}} > U_{\text{ВХ}3}$  на выходе схемы АРУ формируется напряжение, которое изменяет коэффициент усиления одного или нескольких каскадов УПЧ таким образом, чтобы напряжение на выходе УПЧ оставалось постоянным.

Усилитель низкой частоты (УНЧ) - предназначен для усиления мощности полученного после детектирования низкочастотного вещательного сигнала до величины, обеспечивающей нормальное функционирование оконечного устройства: громкоговорителя, головных телефонов, трансляционной линии. Основными элементами УНЧ являются предварительный усилитель и усилитель мощности.

Автоматическая подстройка частоты (АПЧ) - предназначена для подстройки частоты гетеродина  $f_r$  при изменении её под воздействием дестабилизирующих факторов. В состав схемы АПЧ входят ЧД, фильтр нижних частот и регулятор частоты. При изменении частоты гетеродина изменяется значение промежуточной частоты. В результате этого на входе ЧД формируется управляющее напряжение, которое подается на схему регулятора частоты, подстраивающего частоту гетеродина.

Питание радиотрансляционных приемников осуществляется от сети переменного тока с резервированием от гальванических элементов или аккумуляторов. При питании от сети переменного тока в состав приемника входит блок питания, преобразующий переменное напряжение в постоянное.

## 2.2. Ручные регулировки в радиоприемнике.

Настройка приемника состоит из следующих операций:

- выбор диапазона производится с помощью переключателя диапазонов, осуществляющего коммутацию колебательных контуров внешних цепей;
- плавная настройка в пределах выбранного диапазона - изменение параметров

контуров ВхЦ, УВЧ и Гет с помощью блока конденсаторов переменной емкости или варикапов (полупроводниковых элементов, емкость которых зависит от величины приложенного напряжения).

- Регулировка громкости, как правило, осуществляется с помощью переменного резистора, включаемого перед УНЧ.

### 2.3. Классификация радиовещательных приемников:

- по виду модуляции принимаемых сигналов:

приемники АМ сигналов;

приемники однополосных сигналов (АМОП);

приемники ЧМ сигналов;

- по диапазону принимаемых радиоволн:

приемники длинноволнового диапазона (ДВ);

приемники средневолнового диапазона (СВ);

приемники коротковолнового диапазона (КВ);

приемники ультракоротковолнового диапазона (УКВ);

многодиапазонные приемники.

**Внимание: В сетях звукового вещания используются традиционные названия диапазонов, поэтому названия и границы диапазонов в сетях звукового вещания отличается от рекомендованных МСЭ-Р.**

- по месту установки:

приемники стационарные и мобильные.

Для звукового вещания выделены следующие участки:

- в диапазоне ДВ - 0,15-0,2850 МГц(2000...785,5 м);
- в диапазоне СВ - 0,521...1,605 МГц (575...187 м);
- в диапазоне КВ - 3.2...3.4 МГц (90 м); 3,95-4,00 (75 м); 4,75-..4,995 {31 м); 5,05...5,06 (59 м); 5,95...6,20(49 м); 7,1...7,3 (49 м); 9,50-9,775(31 м);

11.70...11,975 (25 м); 15.10... 15,45 (19 м); 17,7...17,9 (16 м) ;21,45...21,75 (13 м)  
;25,6...26,1 МГц (11м);

- в диапазоне УКВ - 66...74 и 88... 108 МГц (4,54...4,05 и 3,45...2,78 м)

В диапазонах ДВ, СВ и КВ осуществляется прием АМ радиосигналов, в диапазоне УКВ ЧМ радиосигналов. Ведутся работы по внедрению радиоприемников однополосных сигналов (SSB) и приемников цифрового вещания в этих диапазонах.

#### 2.4. Основные параметры радиовещательных приемников.

Диапазон рабочих частот - область частот, в пределах которой обеспечивается устойчивый прием радиосигналов.

Чувствительность - минимальное значение мощности, э.д.с. или уровня сигнала на входе приемника, которое обеспечивает выделение нормальной выходной мощности в нагрузке приемника при заданном отношении сигнал/шум. Величину чувствительности обычно экспериментально определяют в трех точках каждого диапазона.

Для тракта АМ сигналов используется модулирующий сигнал частотой 1кГц и глубиной модуляции 30% , для тракта ЧМ сигналов используется сигнал частотой 1 кГц при величине девиации 15 кГц.

Избирательность – способность приемника выделять полезный сигнал из совокупности сигналов и помех, приходящих на его вход. Количественно избирательность оценивается величиной ослабления мешающих сигналов на частоте, отличающейся от частоты настройки приемника на величину  $\Delta f$ . Различают следующие виды избирательности:

- избирательность по соседнему каналу - величина, показывающая во сколько раз подавляются сигналы других станций, работающих на частотах, отличающихся от частоты настройки приемника (для трактов АМ на  $\Delta f_{СК} = 10$  кГц, для трактов ЧМ на  $\Delta f_{СК} = 250$  кГц);

- избирательность по "зеркальному каналу" - аналогично, но для  $\Delta f_{3K} = 2f_{пч}$  (для случая верхней настройки гетеродина при  $f_{г} > f_{с}$ );
- избирательность по промежуточной частоте - аналогично, но для мешающего сигнала с частотой, равной промежуточной частоте  $f_{с} = f_{пч}$

Коэффициент гармоник - оценивает процентное содержание гармонических составляющих основного колебания, возникающих из-за нелинейных искажений.

Эффективность АРУ - оценивает степень изменения сигнала на выходе приемника при заданном изменении величины радиосигнала на входе.

Диапазон воспроизводимых частот приемного тракта - полоса частот, в пределах которой неравномерность частотной характеристики не превышает заданной величины. Он определяется АЧХ выходного сигнала и в свою очередь определяет класс приемника.

Номинальная выходная мощность - максимальная мощность, которая может быть получена на выходе приемника при заданной величине нелинейных искажений.

### 3. Описание лабораторной установки.

Структурная схема лабораторной установки приведена на рис.3.1.

В качестве исследуемого используется радиотрансляционный приемник типа «Ишим».

Источником высокочастотных сигналов является генератор сигналов высокой частоты (ГВЧ) типа Г4-158.

Для амплитудной модуляции высокочастотного сигнала (несущей частоты) используется генератор сигналов низкочастотный (ГНЧ) типа ГЗ-111.

Контроль напряжений сигналов на входе и выходе приемника производится с помощью милливольтметров (В), типа ВЗ-38Б.

Контроль формы сигнала на выходе приемника осуществляется с помощью осциллографа (Осц.) типа С1-94.

Технические характеристики и назначение органов управления приборов приведены в Приложении.

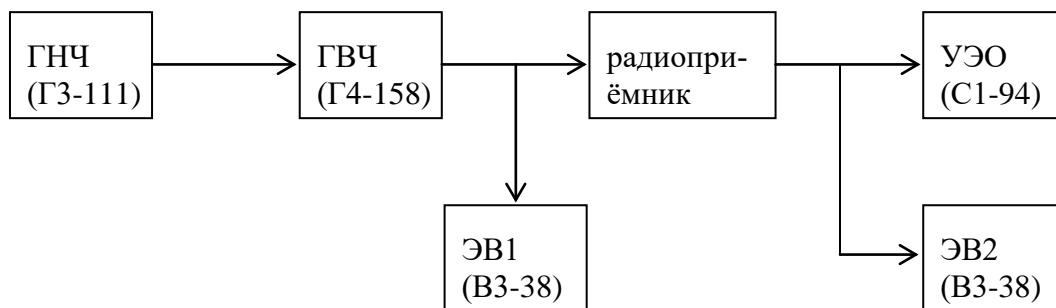


Рис.3.1. Схема лабораторной установки.

### Порядок выполнения работы

**Внимание:** пункт 1 программы работы выполняется при подготовке к лабораторной работе.

2. Изучение принципов построения магистрали радиорелейной связи и основных элементов оконечных радиорелейных станций.

2.1. изучение устройства тракта передачи оконечной станции путем сопоставления аппаратурной реализации со схемой электрической функциональной.

2.2. Изучение процессов прохождения группового сигнала по тракту передачи и процессов преобразования его в радиосигнал.

2.3. Изучение устройства тракта приема оконечной станции путем сопоставления аппаратурной реализации со схемой электрической функциональной.

2.4. Изучение процессов прохождения радиосигнала по тракту приема и процессов преобразования его в групповой сигнал.

2.5. Изучение устройства преобразователей сигналов СВЧ диапазона.

3. Изучение принципов построения и структуры сети звукового вещания.

- 3.1. Изучение состава и структуры сети звукового вещания региона.
- 3.2. Изучение состава аппаратуры сети звукового вещания.
4. Исследование эксплуатационных характеристик радиотрансляционного приёмника сети звукового вещания.
  - .1. Собрать лабораторную установку по схеме, приведенной на рис.
  - 3.1.
  - .2. Определить чувствительность приемника в диапазоне средних волн, для чего выполнить следующие операции:
    - 4.2.1. Отключить АРУ приемника (переключатель на задней панели).
    - 4.2.2. Настроить приемник на частоту в районе 1 МГц.
    - 4.2.3. Настроить ГВЧ на частоту, соответствующую частоте настройки приемника (ручка и кнопка "Установка частоты").
    - 4.2.4. Установить режим внутренней модуляции ВЧ колебаний (кнопка "Режим", индикация "Внутренняя АМ").
    - 4.2.5. Установить глубину модуляции  $M=30\%$  (кнопкой "Инд" высветить на табло "%", кнопкой "Установка выхода" установить на табло требуемое значение индекса модуляции).
    - 4.2.6. Изменяя уровень сигнала ГВЧ (кнопкой "Инд" высветить на табло символ "dB", кнопкой "Установка уровня" изменять уровень, контролируя его значение на табло), установить напряжение сигнала на выходе приемника равным 0,775 В (милливольтметр В2).
    - 4.2.7. Определить минимально возможное напряжение и уровень ВЧ сигнала путем измерения их с помощью вольтметра ЭВ1 с использованием шкал измерения напряжения и измерения уровня. Полученные значения, соответствующие чувствительности приемника зафиксировать в таблице 1.
    - 4.2.8. Сравнить полученный результат с нормированным значением для приемника (Приложение 1) и сделать выводы.

Точность совпадения настроек ГВЧ и приемника по частоте контролировать по максимуму выходного сигнала и при необходимости подстраивать ГВЧ.

**ВНИМАНИЕ:** Для выполнения задания по п. 4.3. исходным состоянием лабораторной установки является конечное состояние настройки объекта измерения и ГВЧ по п.п. 4.2.1.-4.2.5. п.4.2.

4.3. Измерение амплитудной характеристики (АХ) приемника с выключенной АРУ.

4.3.1 Выполнить задания 4.2.1.-4.2.5. п.4.2;

4.3.2 Увеличивая уровень сигнала ГВЧ (кнопкой "Инд" высветить на табло символ "dB", кнопкой "Установка уровня" изменять уровень, контролируя его значение) от -90 дБ определить уровень, при котором начинаются искажения синусоидального сигнала на выходе приемника (контроль по УЭО).

4.3.3 Выбрать шаг изменения уровня входного сигнала таким образом, чтобы в пределах динамического диапазона изменений входного радиосигнала располагалось 8-10 значений, последовательно устанавливая эти значения измерить напряжение на выходе приемника и занести их в таблицу.

4.3.4 Провести обработку результатов измерений и построить АХ радиоприемника без АРУ.

4.4. Измерение АХ со включенной АРУ.

4.4.1 Включить АРУ приемника (переключатель на задней панели).

4.4.2 Выполнить задания 4.2.1.-4.2.5. п.4.2.

4.4.3 Увеличивая уровень сигнала ГВЧ от -90 определить уровень, при котором начинаются искажения синусоидального сигнала на выходе приемника (контроль по УЭО);

4.4.4 Выбрать шаг изменения уровня входного сигнала таким образом, чтобы в пределах динамического диапазона изменений входного радиосигнала располагалось 8-10 значений, последовательно устанавливая эти значения измерить напряжение на выходе приемника и занести их в таблицу.

4.4.5 Провести обработку результатов измерений и построить АХ радиоприемника с АРУ.

4.4.6 Оценить качество АРУ, как степень изменения напряжения на выходе приемника при изменении уровня входного сигнала на 60 дБ по формуле:

$$B = 20 \lg \frac{U_{\text{вых max}}}{U_{\text{вых min}}}$$

Провести анализ АХ приемника с АРУ и без АРУ и сделать сопоставительные выводы.

**ВНИМАНИЕ: В процессе выполнения задания контролировать совпадение настроек ГВЧ и приемника, при необходимости подстраивать ГВЧ.**

4.5. Измерение амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) звукового тракта в диапазоне СВ.

4.5.1. Включить АРУ приемника (переключатель на задней панели).

4.5.2. Настроить приёмник и ГВЧ лабораторной установки на частоту 1 МГц.

4.5.3. Установить значение полосы пропускания приемника в положении "Узкая".

4.5.4. Установить значение уровня выходного сигнала ГВЧ равным чувствительности приемника (по результату, полученному в п. 4.2).

4.5.5. Включить ГНЧ.

4.5.6. Установить на ГВЧ режим внешней АМ модуляции (кнопка "Режим", индикация "Внешняя АМ").

4.5.7. Изменением уровня сигнала ГНЧ установить глубину модуляции выходного сигнала ГВЧ  $M=20\%$ .



4.5.8. Изменяя значение частоты ГНЧ (0,031; 0,063; 0,125; 0,25; 6,5; 1; 2; 4; 8; 12; 16 кГц) измерить соответствующие значения напряжения сигнала на выходе приемника (милливольтметр ЭВ2). Результаты измерений занести в таблицу.

4.5.9. Повторить п.п.8 данного пункта для значений полосы пропускания приемника в положениях «средняя» и «широкая».

4.5.10. Провести обработку результатов измерений:

- определить значение коэффициента усиления в децибелах на всех частотах;
- определить величину отклонения коэффициента усиления на всех частотах от величины коэффициента усиления на частоте 1 кГц;
- результаты расчетов зафиксировать в таблице 1.

4.5.11. Построить график АЧХ приемника как функцию

$$\Delta S = S(f) - S(1 \text{ кГц})$$

совместив его с шаблоном АЧХ.

Определить для каждого случая, к какому классу соответствует приемник.

Сделать выводы.

**В процессе измерений контролировать точность совпадения настроек ГВЧ и приемника, точность установки глубины модуляции.**

4.6. Определение избирательности приемника по каналу промежуточной частоты.

4.6.1. Определить коэффициент усиления приемника:

$$K_c = \frac{U_{\text{вых с}}}{U_{\text{вх с}}}$$

( $U_{\text{вх с}}$  – принять равным значению чувствительности приёмника.)

( $U_{\text{вых с}}$  – принять равным значению напряжения абсолютного нулевого уровня.)

4.6.2. Установить на выходе ГВЧ сигнал с параметрами:  $f=465$  кГц;  $p=-60$  дБ и не изменяя частоты настройки приемника измерить напряжение на выходе вольтметром ЭВ2 ( $U_{\text{ВЫХ ПЧ}}$ )

4.6.3. Определить коэффициент усиления приемника на промежуточной частоте:

$$K_{\text{ПЧ}} = \frac{U_{\text{ВЫХ ПЧ}}}{U_{\text{ВХ ПЧ}}}$$

4.6.4. Определить избирательность приемника по каналу промежуточной частоты:

$$G_{\text{ПЧ}} = 20 \lg \frac{K_c}{K_{\text{ПЧ}}}$$

4.7. Определение избирательности приемника по «зеркальному» каналу.

4.7.1. Не изменяя настройки приемника и уровня выходного сигнала ГВЧ, установить частоту ГВЧ  $f=1930$  кГц.

4.7.2. Измерить напряжения на входе и выходе приемника.

4.7.3. Определить коэффициент усиления приемника по «зеркальному» каналу.

$$K_{\text{ЗК}} = \frac{U_{\text{ВЫХ ЗК}}}{U_{\text{ВХ ЗК}}}$$

4.7.4. Определить избирательность приемника по «зеркальному» каналу

$$G_{\text{ЗК}} = 20 \lg \frac{K_c}{K_{\text{ЗК}}}$$

4.7. Определение избирательности приемника по соседнему каналу.

4.7.1. Не меняя частоты настройки приемника (1МГц) и выходного уровня ГВЧ (-60 дБ), установить частоту ГВЧ  $f=1009$  кГц.

4.7.2. Измерить напряжения на входе и выходе приемника.

4.7.3. Определить коэффициент усиления приемника по соседнему каналу

$$K_{\text{ск}} = \frac{U_{\text{выхск}}}{U_{\text{вх ск}}}$$

4.7.4. Определить избирательность приемника по соседнему каналу.

$$G_{\text{ск}} = 20 \lg \frac{K_{\text{с}}}{K_{\text{ск}}}$$

Результаты расчетов зафиксировать в тетради, сравнить с нормированными значениями и сделать выводы.

#### Контрольные вопросы.

1. Назначение системы СРС, решаемые задачи.
2. Назначение СРС " ОБЛАСТЬ - 1 ", решаемые задачи.
5. Принципы построения передающего и приемного устройств аппаратуры " КУРС - 8 - 0 " .
4. Преобразования сигнала при прохождении через передающий тракт аппаратуры СРС.
6. Преобразование сигнала при прохождении через приемный тракт аппаратуры СРС.
7. Назначение элементов передающего тракта аппаратуры СРС.
8. назначение элементов приемного тракта аппаратуры СРС.
9. Сеть звукового вещания, назначение, составные элементы.
10. Супергетеродинный приемник, назначение отдельных элементов.

11. Что дает преобразование несущей частоты в приемнике.
12. В каких блоках осуществляется основное усиление радиосигнала.
13. В каких элементах схемы осуществляется настройка приемника на частоту принимаемой станции.
14. Что такое чувствительность радиоприемного устройства.
15. Что такое избирательность радиоприемного устройства.
16. Нормируемые параметры радиовещательных приемников.
17. Требования к АЧХ радиовещательных приемников различных классов.
18. Методы контрольно-корректировочных измерений АХ и АЧХ радиовещательных приемников.
19. Методы контрольно-корректировочных измерений чувствительности радиовещательных приемников.
20. Методы контрольно-корректировочных измерений избирательности радиовещательных приемников.

### **Лабораторная работа №8.**

Тема:

Цели:

Программа работы:

Техническое обеспечение:

Информационное обеспечение:

Определительный базис системный.

1. Радиотехнический диапазон –
2. Диапазоны радиоволн –
3. Диапазоны радиочастот –
4. Системы радиосвязи –
5. Система РРл связи –
6. Система радиовещания –

7. Канал радиосвязи –
8. Линия радиосвязи –
9. Магистраль РРл связи –
10. План частот радиосвязи –
11. План частот РРл связи –
12. Амплитудная модуляция –
13. Частотная модуляция –
14. Диапазоны радиовещания –

#### Определительный базис аппаратурный.

1. РПДУ –
2. РПУ –
3. РПД –
4. РП –
5. Диапазоны рабочих частот РПД и РП –
6. Чувствительность –
7. Избирательность –
8. АРУ –
9. АПЧ –
10. Нормируемые характеристики РП и их численные значения –

#### Сеть радиовещания.

#### Схема электрическая структурная радиовещательного приемника.

#### Назначение структурных элементов.

#### Магистраль РРл связи.

Экспериментальное исследование радиотрансляционного приемника.

Пункт програм- мы ра- боты	Исследуе- мая характе- ристика РП	Нормиро- ванные значения параметра	Схема экспериментального исследова- ния.

Измеряемая величина	Расчетн. формула опред. знач. параметра	Измерен- ное значение параметра	Вел. откло- нения от нормиров. знач.	Относит. вел. откло- нения.	Выводы.
	АХ без АРУ				
	АХ с АРУ				
	АХ в широкой полосе				
	АЧХ в узкой полосе				

Лист отчетности.

АХ

АЧХ

Выводы и рекомендации.