

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна

Должность: проректор по учебной работе

Дата подписания: 03.02.2021 18:02:19

Уникальный программный идентификатор:

0b817ca911e6668abb13a5d426d39e5f1c11eabhf73e943df4a4851fda56d089

## МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Юго-Западный государственный университет»  
(ЮЗГУ)

Кафедра космического приборостроения и систем связи



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

О.Г. Локтионова

02 2018 г.

### ИЗМЕРЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕМЕНТОВ ЛИНЕЙНОГО ТРАКТА

Методические указания для проведения лабораторной работы по дисциплине «Многоканальные системы передачи» для студентов направления подготовки 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»

Курск 2018

УДК 621.391

Составители: И.Г.Бабанин, Д.С.Коптев

Рецензент

Доктор физико-математических наук, профессор кафедры  
*А.А. Гуламов*

**Измерение характеристик элементов линейного тракта:**  
методические указания для проведения лабораторной работы для  
студентов направления подготовки 11.03.02 «Инфокоммуникаци-  
онные технологии и системы связи» / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.  
И.Г.Бабанин, Д.С.Коптев.- Курск, 2018.- 18 с.

Содержат необходимые сведения о лабораторной установке и порядке  
измерения полосы пропускания линии связи, обустройстве усилителей с ав-  
томатической регулировкой усиления и линейном тракте цифровой системы  
передачи, а также требования к оформлению отчета.

Методические указания соответствуют учебному плану и рабочей про-  
граммы дисциплины «Многоканальные системы передачи» по направлению  
подготовки 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы свя-  
зи».

Предназначены для студентов направления подготовки 11.03.02 очной  
формы обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать 14.02.18 . Формат 60×84 1/16.  
Усл.печ.л. 1,04. Уч.-изд.л. 0,95. Тираж 100 экз. Заказ 978. Бесплатно.  
Юго-Западный государственный университет.  
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

## Содержание

1	Цель работы.....	4
2	Содержание работы.....	4
3	Основные понятия и определения .....	6
4	Порядок проведения исследований.....	11
4.1	Исследование полосы пропускания линии связи .....	11
4.2	Измерение затухания линии связи .....	12
4.3	Исследование усилителя с АРУ .....	13
5	Содержание отчета .....	16
6	Контрольные вопросы .....	17
	Список использованных источников.....	18

## 1 Цель работы

Изучение структуры линейного тракта цифровой системы передачи. Ознакомление принципами функционирования и свойствами усилителя с автоматической регулировкой усиления. Изучение основных методов исследования амплитудно-частотных характеристик цепей и устройств, определение полосы пропускания линии связи и амплитудной характеристики усилителя с автоматической регулировкой усиления.

## 2 Содержание работы

При подготовке к выполнению работы необходимо самостоятельно с использованием рекомендованной литературы повторить (освежить в памяти):

а) суть временного уплотнения, применяемого в цифровых многоканальных системах передачи, понятие цикла в таких системах и цикловой синхронизации;

б) определение амплитудной и амплитудно-частотной характеристики устройства, порядок действий и необходимые измерительные устройства для измерения последних;

в) принцип и виды автоматической регулировки усиления.

Для выполнения лабораторной работы необходимы следующие оборудование:

- лабораторная установка «Линейный тракт цифровой системы передачи» (см. рисунок 2.1);
- осциллограф;
- низкочастотный генератор синусоидального сигнала;
- соединительные провода.



Рисунок 2.1 – Внешний вид установки

Лабораторная установка состоит из 3 основных частей:

- 1) левая панель – здесь сосредоточены источники цифровых сигналов;
- 2) средняя панель – эквивалент линии связи с изменяемыми значениями затухания и полосы пропускания, и встроенным генератором шума;
- 3) правая панель – устройства приёма и обработки принятого сигнала.

В процессе выполнения лабораторной работы студенту необходимо:

а) используя низкочастотный генератор синусоидального сигнала и осциллограф, выполнить измерение амплитудно-частотных характеристик линии связи для трех положений переключателя «ПОЛОСА ПРОПУСКАНИЯ» и изобразить их на рисунках. Основываясь на полученных результатах, определить значения полосы пропускания этих линий связи и максимальновозможные скорости передачи бинарного цифрового сигнала.

б) на частоте 500 Гц, с помощью низкочастотного генератора синусоидального сигнала и осциллографа, выполнить измерение затухания линии связи. При этом переключатель «ПОЛОСА ПРОПУСКАНИЯ» должен быть установлен в положении 3.

в) измерить амплитудную характеристику усилителя с автоматической регулировкой усиления  $U_{\text{ВЫХ}} = F(U_{\text{ВХ}})$  и изобразить ее на графике;

г) исследовать, используя осциллограф, прохождение импульсных сигналов через усилитель с автоматической регулировкой усиления;

д) сформулировать выводы по полученным результатам лабораторных исследований.

### 3 Основные понятия и определения

Амплитудно-частотная характеристика (частотная характеристика) - зависимость амплитуды колебания на выходе устройства от частоты входного гармонического сигнала. Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) показывает, как передаются отдельные гармонические составляющие сигнала, и позволяет оценить искажения его спектра.

Из определения следует наиболее простой метод измерения АЧХ: снятие зависимости отношения амплитуд выходного и входного напряжений гармонического сигнала в отдельных частотных точках (“по точкам”) с последующей интерполяцией. На практике обычно снимают зависимость напряжения на выходе исследуемого устройства от частоты при постоянной амплитуде гармонического напряжения на входе.

Полосой пропускания (частот) линии связи называется диапазон частот, в пределах которого ее АЧХ достаточно равномерна для того, чтобы обеспечить передачу спектра сигнала без существенного искажения. Обычно полоса пропускания  $\Delta F = f_e - f_n$  определяется как область частот, в которой амплитуда сигнала (напряжение или ток) уменьшается не более чем в  $\sqrt{2}$  раз (для мощности - в 2 раза) по сравнению с максимальным значением, что примерно соответствует значению -3 дБ (рисунок 3.1).

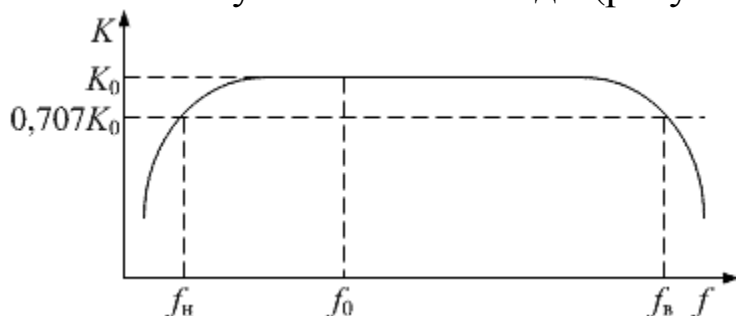


Рисунок 3.1 – Определение полосы пропускания по АЧХ

Существует другой, более точный, способ, при котором предварительно в рабочем диапазоне частот находят частоту  $f_0$  с максимальным уровнем гармонического сигнала на выходе линии, а затем, изменяя частоту генератора, находят такую частоту гармонического сигнала, на которой амплитуда синусоидального сигнала уменьшится на 3 дБ.

Для качественной передачи цифрового сигнала по каналу связи необходимо, чтобы полоса пропускания линии связи была не

менее эффективной ширины спектра сигнала, а ослабление (затухание) сигнала и дрожание фазы (джиттер) не превышали некоторых пороговых величин, необходимых для его корректного восстановления (регенерации).

Максимальная скорость передачи данных ( $C$ ) канала определяется его полосой пропускания по формуле, полученной математиком Найквистом:  $C = 2B \log_2 M$  бит/с,

где  $B$  - полоса пропускания в герцах;

$M$  - количество уровней, используемых для передачи элемента сигнала.

Под затуханием понимается ослабление сигнала вследствие уменьшения его мощности. Любая среда передачи сигнала вызывает его затухание. Большое затухание сигнала может привести к тому, что на сигнал в месте приема не сможет быть восстановлен. Поэтому в линейных трактах аналоговых и цифровых систем передачи (ЦСП) предусматриваются специальные промежуточные усилители аналоговых сигналов или специальные промежуточные регенераторы цифровых сигналов.

Линейный тракт ЦСП, структурная схема которого представлена на рисунке 3.2, аналогичен линейному тракту АСП. В его состав входят станции оконечных пунктов (ОП), соединенные линиями связи с промежуточными необслуживаемыми регенерационными пунктами (НРП) и обслуживаемыми регенерационными пунктами (ОРП).

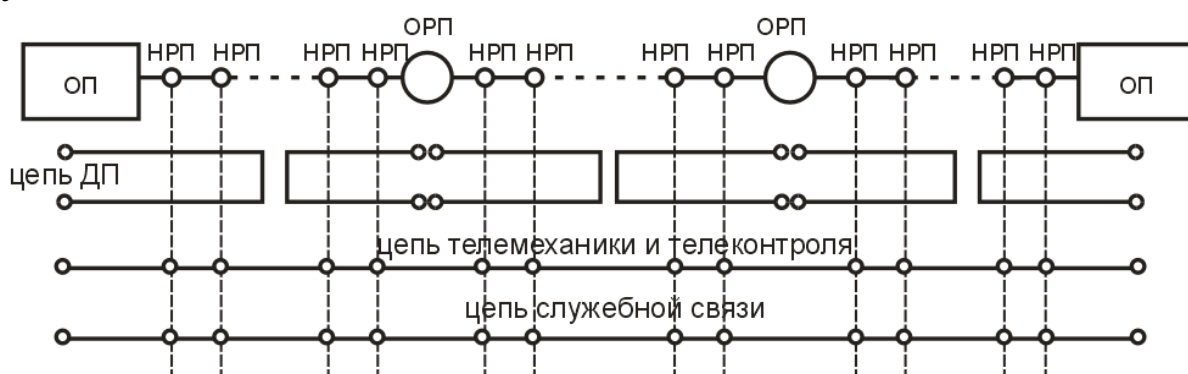


Рисунок 3.2 – Линейный тракт ЦСП

В качестве линий связи могут использоваться медные и волоконно-оптические кабели. Электропитание НРП обеспечивается аппаратурой дистанционного питания (ДП), расположенной в ОП и ОРП, и может осуществляться по информационному кабелю либо по выделенной паре проводов, имеющих в составе кабеля свя-

зи. Для целей телеконтроля, телемеханики и служебной связи используются другие пары, присутствующие в кабеле.

В ЦСП совокупность участка кабельной линии и регенератора, подключенного к нему, образуют регенерационный участок. Линейный тракт, как правило, четырехпроводный и может быть организован по однокабельной или двухкабельной схемам.

В однокабельной схеме входящий и исходящий сигналы передаются по парам одного кабеля. В этом случае переходные явления на ближнем конце являются основным фактором, определяющим качество передачи. В двухкабельной схеме входящий и исходящий сигналы передаются по разным кабелям. Выигрыш по помехозащищенности от применения двухкабельной схемы по сравнению с однокабельной может достигать 10 дБ.

Уровень сигнала на входе регенератора из-за температурных колебаний, старения кабеля и др. может изменяться и, следовательно, приводить к изменению параметров качества восстановления цифрового сигнала (изменению вероятности ошибки) в широких пределах. Автоматическая регулировка усиления (АРУ) предназначена для поддержания постоянства уровня сигнала, необходимого для нормальной работы выходных устройств системы цифровой системы передачи.

Для этого усилитель с АРУ должен иметь минимальный коэффициент усиления при максимальном уровне сигнала на его входе, и наоборот - максимальный коэффициент усиления при минимальном уровне сигнала на входе. Таким образом, усилитель с АРУ содержит устройство, напряжение  $E_{рег}$  на выходе которого зависит от уровня сигнала. Таким устройством является амплитудный детектор, вырабатывающий напряжение, пропорциональное уровню сигнала. Это напряжение подается на усилительные каскады и уменьшает их коэффициент усиления.

Простейший усилитель с АРУ включает в себя: детектор АРУ, фильтр низких частот и регулируемый усилитель. В зависимости от способа подачи регулируемого напряжения  $E_{рег}$  АРУ подразделяются на обратные (АРУ «назад»), прямые (АРУ «вперед») и комбинированные.

В схеме усилителя с обратной АРУ (рисунок 3.3) напряжение регулировки  $E_{рег}$  получают из напряжения  $U_{вых}$  регулируемого усилителя.



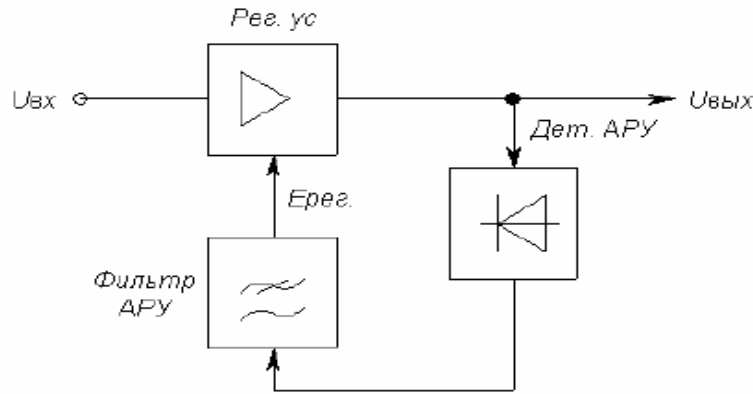


Рисунок 3.3 – Схема обратной АРУ

Цепь АРУ, содержащая только детектор и фильтр, называется простой АРУ.

В цепь АРУ может быть включен усилитель до или после детектора. В этом случае АРУ называют усиленной. Недостаток простых схем АРУ состоит в том, что коэффициент усиления усилителя с такой АРУ уменьшается даже при приёме сигналов малого уровня.

Для устранения этого недостатка применяют АРУ с задержкой, в которой изменение усиления начинает действовать, когда напряжение  $U_{вх}$  превысит некоторый порог  $U_{пор}$ . В этом случае слабые сигналы не ослабляются (рисунок 3.4).

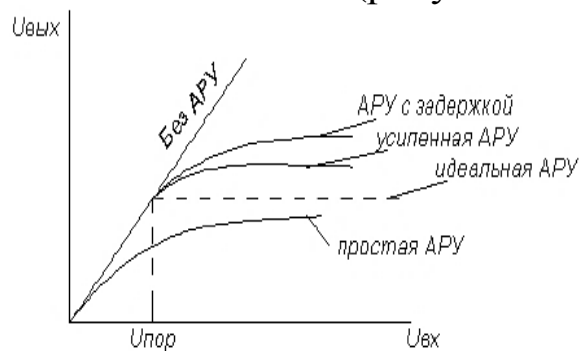


Рисунок 3.4 – Амплитудная характеристика усилителя с АРУ

В усилителях с обратной АРУ невозможно получить идеальную характеристику. К ней можно только приблизиться, увеличивая усиление в цепи АРУ.

В схеме прямой АРУ цепь АРУ подключена к входу регулируемого усилителя и напряжение регулировки  $E_{рег}$  получается в результате детектирования  $U_{вх}$ . При увеличении  $U_{вх}$  напряжение на выходе детектора АРУ возрастает, при этом увеличивается  $E_{рег}$ , что

вызывает уменьшение коэффициента усиления усилителя. Для достижения такого же эффекта от действия АРУ как и в схеме обратной АРУ необходимо, чтобы напряжение  $U_{\text{ВЫХ}} = K_0 U_{\text{ВХ}}$ . Чтобы  $U_{\text{ВЫХ}}$  оставалось постоянным при увеличении  $U_{\text{ВХ}}$ , пропорционально должен уменьшаться  $K_0$  (рисунок 3.5).

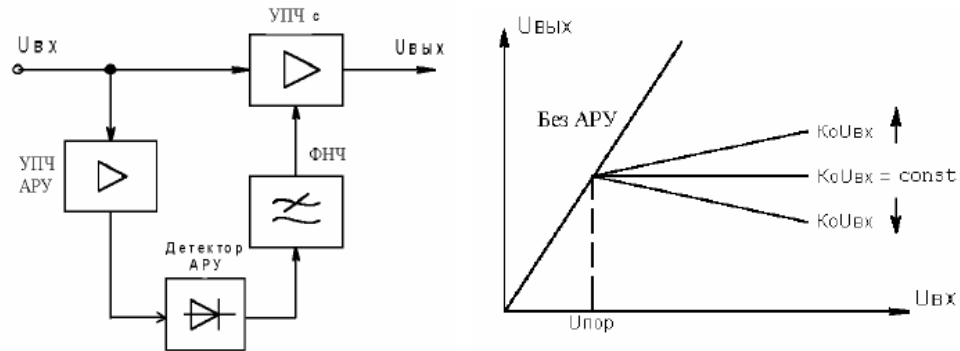


Рисунок 3.5 – Схема и амплитудная характеристика усилителя прямой АРУ

В усилителе с прямой АРУ, теоретически, можно добиться идеальной амплитудной характеристики, но на практике добиться этого затруднительно. Основным недостатком такой АРУ - наличие дополнительного усилителя в цепи АРУ с таким же коэффициентом усиления, как и в основном тракте приёма.

Усилитель с прямой АРУ имеет низкую стабильность, он подвержен действию различных дестабилизирующих факторов. Если, например, из-за изменения температуры или напряжения источника питания коэффициент усиления регулируемого усилителя увеличивается, то характеристика АРУ из идеальной превратится в характеристику с нарастающим или уменьшающимся  $U_{\text{ВЫХ}}$ .

## 4 Порядок проведения исследований

### 4.1 Исследование полосы пропускания линии связи

При измерении АЧХ линии используются:

- лабораторная установка «Линейный тракт цифровой системы передачи» (см. рисунок 2.1);
- осциллограф;
- низкочастотный генератор синусоидального сигнала;
- соединительные провода/кабели.

Используя соединительные кабели, соберите схему, изображенную на рисунке 4.1.

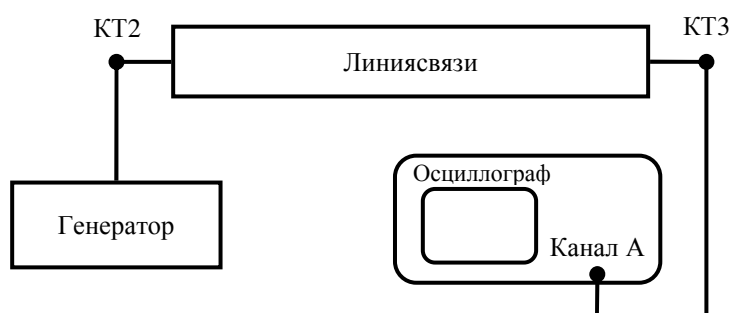


Рисунок 4.1 -Схема соединений при проведении исследований

Линия связи имеет параметры, которые можно изменять: полосу пропускания, затухание и уровень шума. Для исследования АЧХ и полосы пропускания линии связи переключатель «затухание» должен быть установлен в положение 1, а уровень шума быть минимальным (повернуть ручку против часовой стрелки до упора).

Рекомендуемая последовательность действий:

- установите на генераторе начальную частоту 100 Гц;
- изменяя выходное напряжение синусоидального генератора, установите на выходе линии связи 1 В;
- последовательно устанавливая частоту генератора и контролируя постоянство выходного напряжения генератора, замерьте и запишите в таблицу 1 величину напряжения на выходе линии связи.;
- произведите те же измерения для второй и третьей полосы пропускания.

Таблица 1

№ линии связи	1	2	3
Частота, Гц	$U_{\text{вых}}, \text{В}$	$U_{\text{вых}}, \text{В}$	$U_{\text{вых}}, \text{В}$
100			
500			
1000			
2000			
4000			
8000			
10000			

Изобразите на графиках полученные АЧХ и укажите на них значения полос пропускания исследованных 3-х линий связи.

Выполните определение полосы пропускания вторым способом без построения АЧХ: путем изменения частоты генератора синусоидального сигнала найдите такую частоту, на которой амплитуда синусоидального сигнала на выходе линии связи уменьшится на 3 дБ относительно максимального уровня. Определите максимально возможную скорость передачи  $C$  бинарного сигнала по линиям связи 1, 2 и 3. Результаты занесите в таблицу.

Таблица 2

Полоса пропускания	1	2	3
$f, \text{Гц}$			
$C, \text{бит/с}$			

Сравните полученные двумя методами результаты измерений полосы пропускания канала связи, сделайте выводы о точности измерений этими методами.

#### 4.2 Измерение затухания линии связи

При измерении затухания линий связи используется тот же перечень оборудования, что и в разделе 4.1.

Перед проведением измерений установите переключатель «полоса пропускания» в положение 3, и уровень шума минимальным (повернуть ручку против часовой стрелки до упора).

Последовательность измерений:

- установите переключатель «затухание» в положение 1;
- установите на генераторе частоту 800 Гц и напряжение 1 В;

– измерьте напряжение на выходе линии связи и запишите в таблицу 2;

– произведите те же измерения для 2 и 3 затухания.

Результаты измерений занесите в таблицу 3.

Таблица 3

Затухание	1	2	3
$U_{\text{вых}}$ В			
Затухание, дБ			

Определите значение затухания по формуле (1) и результаты занесите в таблицу 3:

$$a = 20 \cdot \lg \left( \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}} \right) \quad (1)$$

#### 4.3 Исследование усилителя с АРУ

Амплитудная характеристика показывает, как зависит амплитуда выходного сигнала усилителя от амплитуды сигнала на его входе  $U_{\text{вых}} = F(U_{\text{ген}})$ .

При исследовании усилителя с АРУ используются:

- генератор гармонического сигнала;
- усилитель с АРУ, размещенный на правой панели лабораторной установки;
- осциллограф.

Выполните подключения в соответствии со схемой соединений, изображенной на рисунке 4.2.

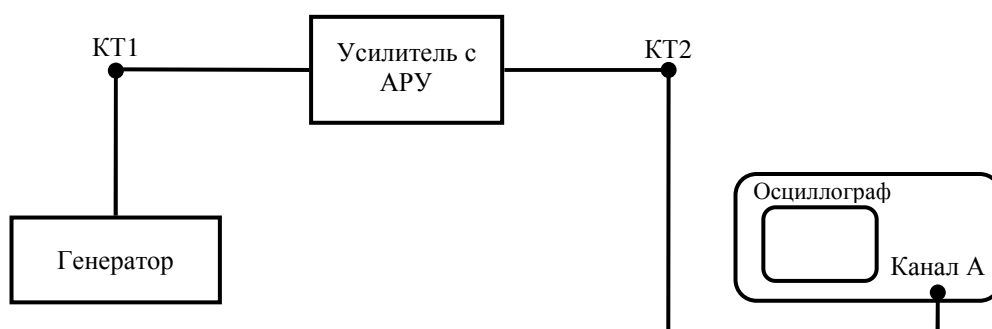


Рисунок 4.2 - Схема соединений для исследования амплитудной характеристики усилителя с АРУ

Последовательность измерений:

- установите на генераторе частоту синусоидального сигнала 1 кГц и амплитуду на входе усилителя с АРУ - 0,1 В;
- измерьте амплитуду сигнала на выходе усилителя с АРУ и запишите значение в таблицу 3;
- в диапазоне от 0,1 В до 2 В повторите измерения амплитуды сигнала на выходе усилителя с АРУ для других значений амплитуды сигнала на его входе, замерить напряжение на выходе усилителя, полученные значения запишите в таблицу 4.

Таблица 4

$U_{\text{ген}}, \text{В}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	1	1,5	2
$U_{\text{вых}}, \text{В}$									

По данным таблицы 4 постройте график зависимости  $U_{\text{вых}} = F(U_{\text{ген}})$ . По графику этой зависимости определите динамический диапазон изменения амплитуды сигнала на входе, при котором амплитуда сигнала на выходе не изменяется более чем на 10%.

При исследовании передачи импульсных сигналов усилителем с АРУ используются:

- формирователь тестовых импульсов, расположенный на левой панели лабораторной установки;
- линия связи, расположенная на средней панели;
- усилитель с АРУ, расположенный на правой панели;
- двухлучевой или двухканальный осциллограф.

Выполните подключения в соответствии со схемой соединений, изображенной на рисунке 4.3.

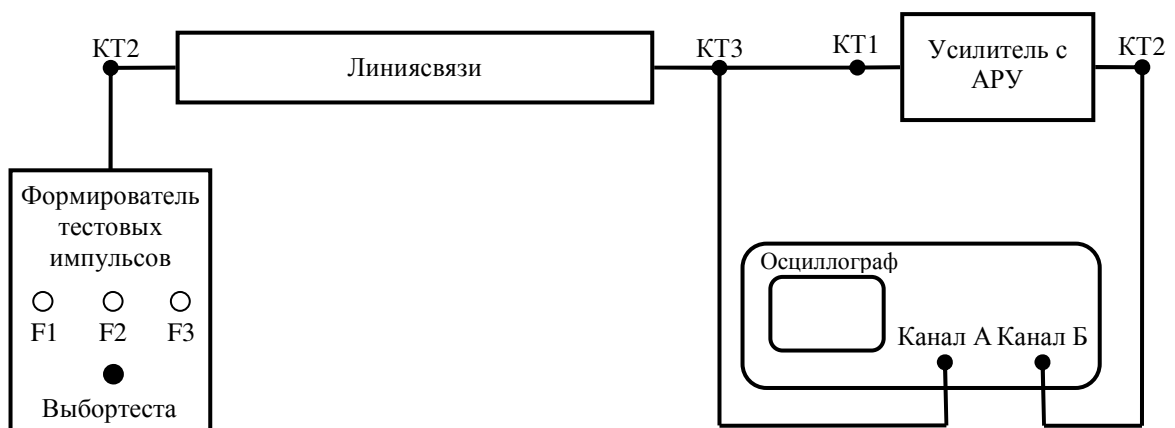


Рисунок 4.3 - Схема соединений для исследования передачи импульсных сигналов усилителем с АРУ

При исследовании установить переключатель «полоса пропускания» в положение 3, уровень шума уменьшить до минимального значения (ручку регулировки уровня шума повернуть против часовой стрелки до упора).

Последовательность исследования:

- установите переключатель тестовых импульсов в положение F3;

- установите переключатель «затухание» в положение 1;

- установите переключатель «полоса пропускания» в положение 3;

- установите на осциллографе режим внутренней синхронизации и вращая ручку «синхронизация осциллографа» добейтесь на экране осциллографа устойчивого изображения импульса;

- зарисуйте осциллограмму на входе (КТ1 правая панель) и выходе (КТ2 правая панель) усилителя с АРУ при трёх положениях переключателя «затухание».

Путем сравнения формы импульсного сигнала на входе и выходе импульсного сигнала сформулируйте выводы о характере влияния усилителя с АРУ на последовательность прямоугольных импульсов.

## 5 Содержание отчета

Отчет о выполнении лабораторной работы должен содержать:

- а) краткое изложение цели и задачи исследования;
- б) графики амплитудно-частотных характеристик линии связи;
- в) таблицы 1 - 4 с результатами измерений;
- г) изображения (графики) АЧХ линий связи с указанными на них значениями полос пропускания;
- д) выводы о точности измерения полосы пропускания исследуемыми методами;
- е) изображения (график) амплитудной характеристики усилителя сАРУ и значение в децибелах динамического диапазона изменения амплитуды сигнала на входе, при котором амплитуда сигнала на выходе усилителя не изменяется более чем на 10%;
- ж) осциллограммы импульсных сигналов на входе и выходе усилителя с АРУ;
- з) выводы о характере влияния усилителя сАРУ на форму прямоугольного импульса;
- и) вывод о роли и основной функции усилителя сАРУ в аналоговых и цифровых системах передачи.



## 6Контрольные вопросы

1. Сформулируйте определение линейного тракта цифровой системы передачи.
2. Перечислите основные элементы линейного тракта цифровой системы передачи.
3. Сформулируйте определение амплитудно-частотной характеристики.
4. Сформулируйте определение полосы пропускания устройства.
5. Каким образом можно измерить полосу пропускания и какое оборудование для этого необходимо?
6. Что такое затухание сигнала, чем оно обусловлено и как его можно определить?
7. Как связана скорость передачи цифрового сигнала с полосой пропускания линии связи?
8. Какие виды автоматической регулировки усиления вы знаете?
9. Что такое динамический диапазон усилителя, как он определяется?
10. С какой целью применяют усилители сАРУ в системах связи?
11. Какое влияние оказывает автоматическая регулировка усиления на форму прямоугольного импульсного сигнала?

**Список использованных источников**

1. Гордиенко В. Н. Многоканальные телекоммуникационные системы [Текст] : учебник / В. Н. Гордиенко, М. С. Тверецкий. - М. : Горячая линия - Телеком, 2007. - 416 с. : ил. - ISBN 5-93517-219-4, Гриф: Допущено Министерством РФ по связи и информатизации.