

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

**ИНСТИТУТ ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ**

Кафедра «Промышленная электроника»

11.03.04 Электроника и наноэлектроника  
(код и наименование направления подготовки, специальности)

Промышленная электроника  
(наименование профиля, специализации)

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

на тему Лабораторный стенд « Аналоговый стабилизатор напряжения»

Студент О.В. Павлов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель А.К. Кудинов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

**Допустить к защите**

Заведующий кафедрой к.т.н., доцент А.А. Шевцов

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

(личная подпись)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_\_ г.

Тольятти 2016

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Голыяттинский государственный университет»

**ИНСТИТУТ ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ**

Кафедра «Промышленная электроника»

УТВЕРЖДАЮ  
Зав. кафедрой «Промышленная электроника»  
\_\_\_\_\_ А.А. Шевцов  
(подпись) (И.О. Фамилия)  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**ЗАДАНИЕ  
на выполнение бакалаврской работы**

Студент Павлов Олег Владимирович

1. Тема Лабораторный стенд «Аналоговый стабилизатор напряжения»
2. Срок сдачи студентом законченной выпускной квалификационной работы 30 мая 2016г.
3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе Входное напряжение: 12В 50 Гц. Ток нагрузки, не более 20 мА. Основные измеряемые параметры: коэффициент стабилизации, выходное сопротивление. Выходное напряжение: регулируемое, 2...8В.
4. Содержание выпускной квалификационной работы (перечень подлежащих разработке вопросов, разделов) Введение. 1. Состояние вопроса. 1.1. Описание существующего лабораторного стенда. 1.2. Обзор схем аналоговых стабилизаторов напряжения. 1.3. Задачи БР. 2. Основная часть. 2.1. Расчет схемы стабилизатора. 2.2. Модернизация схемы. 2.3. Конструкция лабораторного стенда. 2.4. Методика измерения параметров. 2.5. Экспериментальные исследования. 3. Экономическое обоснование работы. Заключение.
5. Ориентировочный перечень графического и иллюстративного материала  
1. Внешний вид стенда. 2. Аналоговый стабилизатор напряжения. Схема электрическая принципиальная. 3. Обзор схем аналоговых стабилизаторов. 4. Временные диаграммы работы стенда. 5. Экспериментальные данные. 6. Модернизированный стенд, общий вид.
6. Консультанты по разделам \_\_\_\_\_
7. Дата выдачи задания « 02 » февраля \_\_\_\_\_ 2016 г.

Руководитель выпускной  
квалификационной работы

Задание принял к исполнению

\_\_\_\_\_ А.К. Кудинов  
(подпись) (И.О. Фамилия)  
\_\_\_\_\_ О.В. Павлов  
(подпись) (И.О. Фамилия)

## **Аннотация**

к выпускной бакалаврской работе на тему

« Лабораторный стенд аналогового стабилизатора напряжения»

Студент – дипломник группы Элбз 1101 Павлов О.В.

Страниц 41, рисунков 30, таблиц 8, использованных литературных источников 5.

Ключевые слова: стабилизатор напряжение, коэффициент стабилизации, выходное сопротивление.

Для улучшения проведения лабораторных работ по исследованию аналогового стабилизатора напряжения была спаяна схема его на монтажной плате.

На монтажной плате с аналоговым стабилизатором напряжения были проведены экспериментальные исследования и рассчитаны его коэффициент стабилизации и выходное сопротивление.

## Содержание

Введение.....	5
1.Состояние вопроса .....	6
1.1 Описание существующего лабораторного стенда.....	6
1.1.1. Монтажное поле.....	7
1.1.2. Блок источников питания.....	7
1.1.3. Блок мультиметров .....	8
1.1.4. Планшет компенсационного стабилизатора напряжения .....	9
1.1.5. Осциллограф.....	10
1.1.6. Универсальный функциональный генератор.....	10
1.2. Обзор схем стабилизаторов напряжения.....	11
1.3. Задачи работы.....	15
2.Основная часть .....	16
2.1. Расчет компенсационного стабилизатора напряжения.....	16
2.2. Модернизация схемы компенсационного стабилизатора напряжения .....	20
2.3. Конструкция лабораторного стенда.....	24
2.4. Методика измерения параметров .....	29
2.5. Экспериментальные исследования .....	31
3. Экономическое обоснование схемы.....	38
Заключение .....	39
Литература .....	40

## **Введение**

В промышленной сети напряжение не постоянно. Оно меняется в зависимости от потребления энергии промышленными предприятиями, электрическим транспортом и расхода в наших квартирах в течение суток. Радиоэлектронным устройствам требуется стабильное напряжение. При изменении питающего напряжения нарушается режим работы электронных приборов, что приводит к ухудшению работы всего устройства. Например, в радиоприемнике при изменении режима работы транзисторов могут возникнуть сильные искажения звука, хрипы, гудение. Чтобы этого не происходило, напряжение питания стабилизируют.

Стабилизировать напряжение можно двумя способами: стабилизировать переменное напряжение на входе силового трансформатора или стабилизировать выпрямленное напряжение. В первом случае применяют специальные феррорезонансные стабилизаторы. Их недостатками являются большие габариты и вес. Чаще прибегают к стабилизации выпрямленного напряжения, осуществляемой с помощью электронных стабилизаторов.

**Цель работы:** улучшение лабораторного стенда « Аналоговый стабилизатор напряжения» и методики измерения его выходного сопротивления и коэффициента стабилизации.

## 1. Состояние вопроса

### 1.1 Описание существующего лабораторного стенда

Лабораторный стенд представлен на рис 1.1.

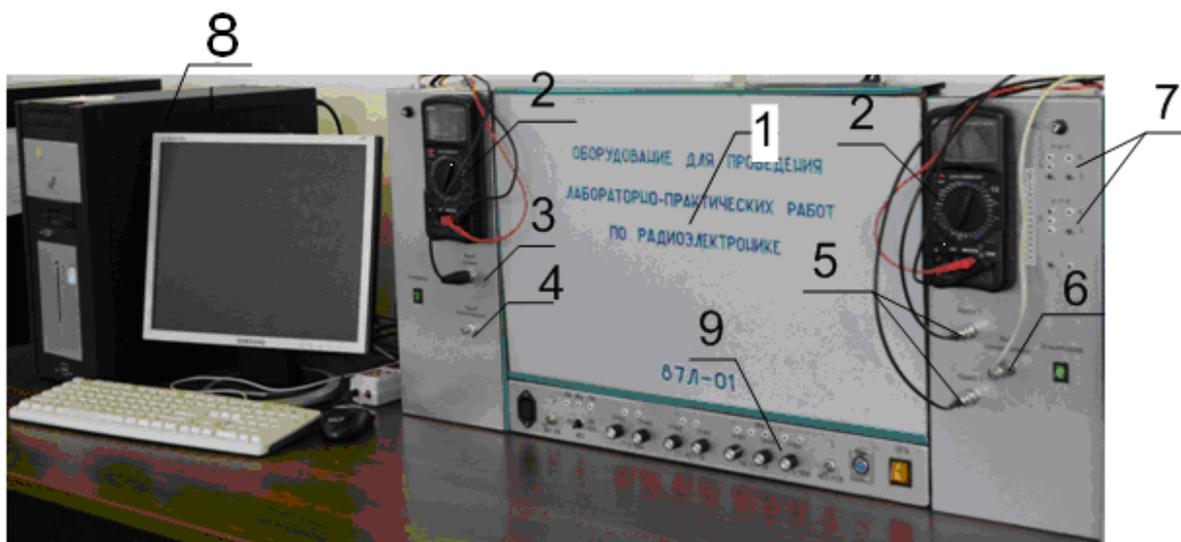


Рисунок 1.1 – Внешний вид лабораторного стенда

Он состоит из монтажного поля 1, на котором монтируются элементы исследуемых схем, двух мультиметров 2, которыми измеряются токи, напряжения в исследуемых элементах, сопротивления, на левой панели стенда расположены сигнальный выход 3 и выход синхронизации 4 универсального генератора, а на правой панели – сигнальные входы 5 и вход синхронизации 6 двухканального осциллографа.

На правой панели располагаются гнезда 7 для подключения биполярных транзисторов к мультиметру. В состав стенда входит также персональный компьютер 8, предназначенный для отображения и обработки результатов исследований.

На нижней панели располагаются выходы регулируемых источников питания 9.

### 1.1.1 Монтажное поле

Двустороннее монтажное поле (рис. 1.2) предназначено для монтажа навесных элементов исследуемых в лабораторных работах электронных схем. Монтажное поле состоит из закрепленных на гетинаксовой пластине однополюсных гнезд, соединенных специальным образом внутри монтажного поля.

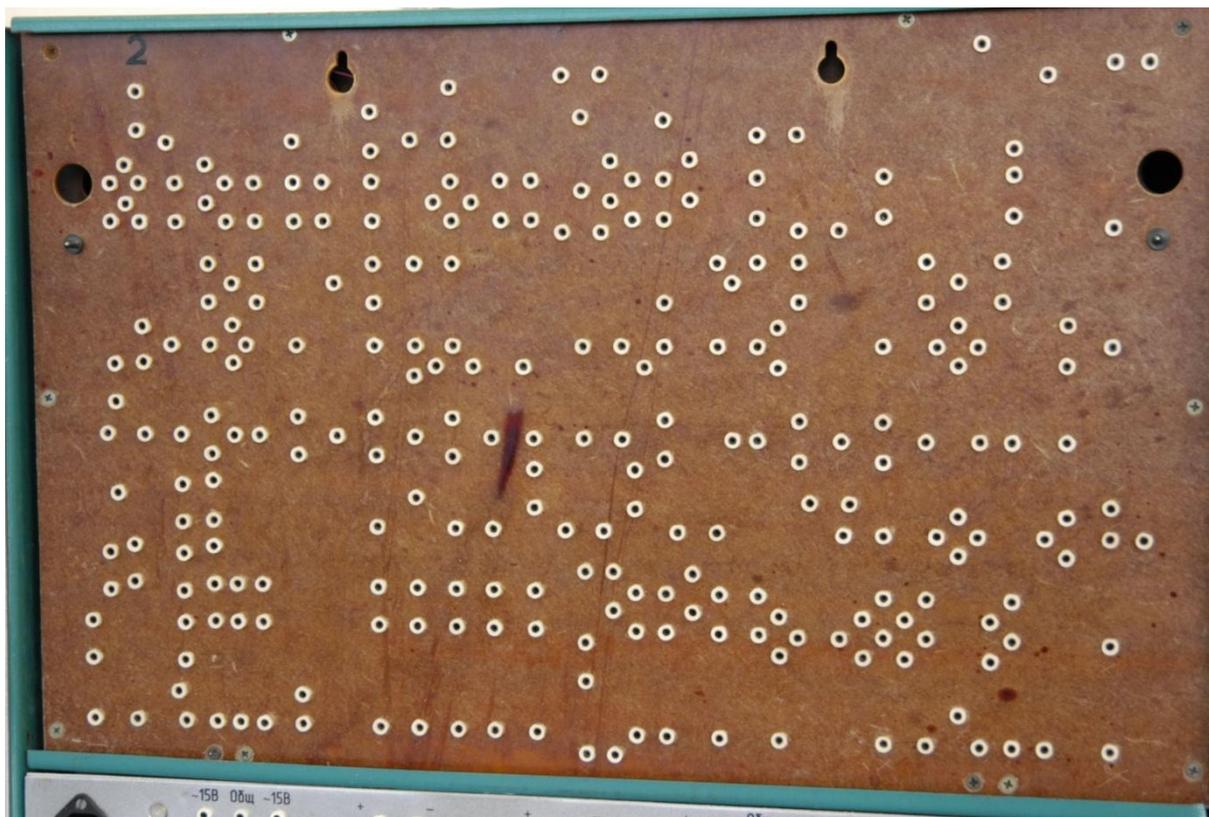


Рисунок 1.2 – Монтажное поле универсального лабораторного стенда

На монтажное поле крепятся планшеты с изображенными на них схемами электрическими принципиальными исследуемых устройств, поверх которых устанавливаются соответствующие элементы.

### 1.1.2 Блок источников питания

Блок источников питания предназначены для организации питания исследуемых на лабораторном стенде устройств и состоит из следующих независимых источников (рисунок 1.3):

- источника стабилизированного постоянного напряжения ИП1 с фиксированной величиной напряжения +5В,
- источника переменного напряжения ИП2 с напряжением 15 В с возможностью выбора величины напряжения -15В и +15В+15%,
- источника постоянного тока ГТ с максимальным током до 10мА, выходной ток регулируется рукоятками ГРУБО и ТОЧНО;
- регулируемого источника постоянного напряжения ГТ1 с напряжением на выходных клеммах от +0,5В до -7В, выходное напряжение регулируется рукоятками ГРУБО и ТОЧНО;
- регулируемого стабилизированного источника постоянного напряжения ГН2 с напряжением на выходных клеммах от 0,5В до 15В, выходное напряжение регулируется рукоятками ГРУБО и ТОЧНО, выходной ток до 200 мА при выходном напряжении 15 В;
- регулируемого источника напряжения ГН3 с выходным напряжением от 0 до 100В, регулирование напряжения осуществляется рукояткой ГРУБО;
- источника двуполярного напряжения ИП3 с величиной напряжения  $\pm 12$  В.



Рисунок 1.3 - Нижняя панель универсального лабораторного стенда

### 1.1.3 Блок мультиметров

Блок мультиметров состоит из двух мультиметров модели UNI-T UT54 (далее «мультиметр»), расположенных на левой и правой панели стенда соответственно.

Мультиметр (рисунок 1. 4) имеет дисплей, отображающий 3 ½ значащие разряды и позволяет измерять значения постоянного и переменного тока и напряжения, сопротивление, емкость, частоту и температуру.



Рисунок 1.4 Внешний вид мультиметров модели UNI-T UT54

### 1.1.4 Планшет компенсационного стабилизатора напряжения

Планшет на рис. 1.5 представляет собой панель, на которой изображена схема компенсационного стабилизатора напряжения с отверстиями, в которые вставляются электронные компоненты. Сам планшет крепится на монтажное поле универсального лабораторного стенда.

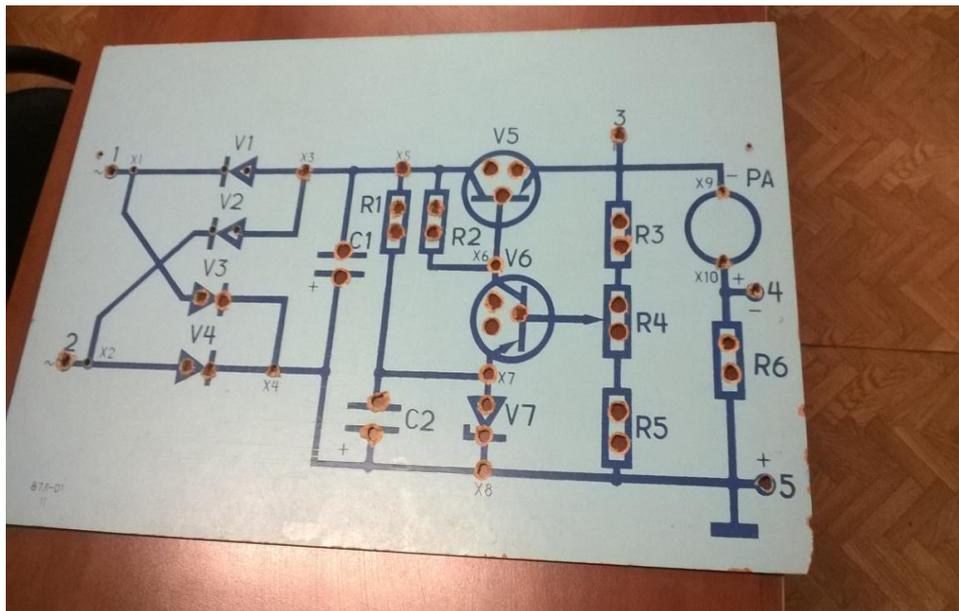


Рисунок 1.5 – Планшет с компенсационным стабилизатором напряжения

### 1.1.5 Осциллограф

Осциллограф, входящий в состав стенда представляет собой осциллографическую приставку, подключающуюся к параллельному порту персонального компьютера.

На правую лицевую панель лабораторного стенда (рисунок 1.6) выведены выключатель осциллографа зеленого цвета, светящийся во включенном состоянии, измерительные входы двух каналов осциллографа (Канал1 и Канал2) и вход синхронизации осциллографа.



Рисунок 1.6 - Правая лицевая панель универсального лабораторного стенда

### 1.1.6 Универсальный функциональный генератор

Универсальный функциональный генератор выполнен в виде приставки к персональному компьютеру, подсоединяется к нему через параллельный порт и объединен в единую информационную систему с осциллографической приставкой. Генератор позволяет получать на своем выходе синусоидальные

сигналы, треугольные и прямоугольные импульсы, а также сигналы произвольной формы. Управление работой осциллографа осуществляется с помощью программной оболочки, вид окна которой показан на рисунке 1.7.

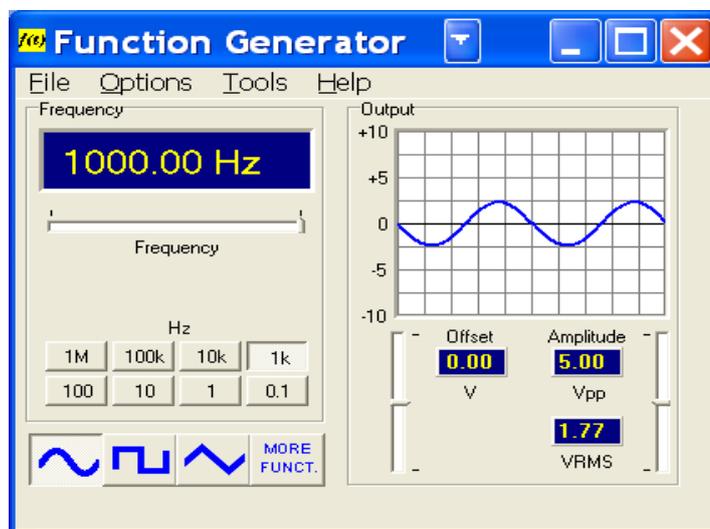


Рисунок 1. 7 - Окно программы PC-Lab в режиме генератора

Из рисунка видно, что программная оболочка предоставляет возможность выбора формы генерируемого сигнала простым нажатием экранной кнопки, при этом в окне Output отображается форма выбранного сигнала. Диапазон частоты повторения сигнала выбирается нажатием на соответствующие экранные кнопки, а точное значение частоты задается с помощью ползунка под цифровым индикатором в поле Frequency.

## 1.2 Обзор схем стабилизаторов напряжения

Одним из самых простых стабилизаторов напряжения является параметрический стабилизатор (рис. 1.8 а). Его принцип действия основан на свойствах полупроводниковых стабилитронов.

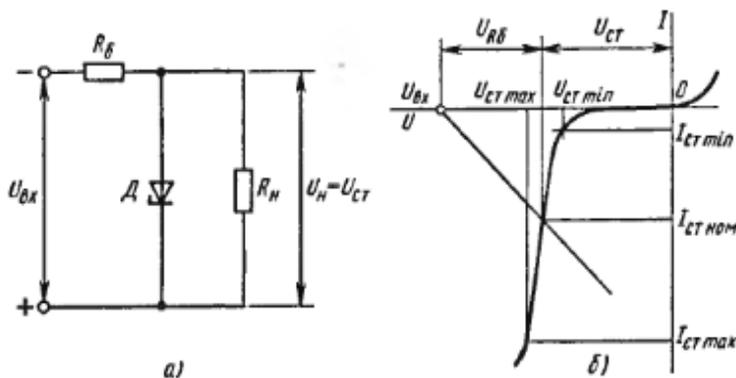


Рисунок 1.8 - а) параметрический стабилизатор напряжения; б) ВАХ полупроводникового стабилитрона

Если включить стабилитрон в прямом направлении, то его вольт – амперная характеристика напоминает характеристику кремниевого диода. Если же в обратном направлении, то сначала ток через него протекает незначительный, но при определенном значении напряжении возникает пробой (рис. 1.8 б). Он называется напряжением стабилизации. В таком режиме работы стабилитрона незначительное изменение напряжение вызывает значительное изменение тока на нем. Напряжение на стабилитроне в момент, когда через него протекает ток от минимального  $I_{ст.мин}$  до максимального  $I_{ст.макс}$ , остается практически постоянным.

Параметрический стабилизатор представляет собой делитель напряжения, состоящий из балластного резистора  $R_b$  и стабилитрона. При изменении напряжения питания изменяется ток на резисторе. Это приводит к изменению тока через стабилитрон, однако напряжение на нем изменяется незначительно.

Входное напряжение распределяется между балластным резистором  $R_b$  и стабилитроном:

$$U_{вх} = U_{Rб} + U_{ст}, \quad (1.1)$$

где  $U_{Rб} = (I_{ст} + I_{н}) R_b$  – падение напряжение на балластном резисторе  $R_b$  от протекания токов стабилитрона  $I_{ст}$  и нагрузки  $I_{н}$ .

Так как напряжение на стабилитроне  $U_{CT}$  почти не зависит от тока стабилитрона в пределах участка от  $I_{CT \min}$  до  $I_{CT \max}$ , то изменение входного напряжения  $\Delta U_{вх}$  равно приращению  $\Delta U_{Rб}$  на резисторе  $R_б$ .

Так как ток нагрузки  $I_H = U_H/R_H = U_{CT}/R_H$  остается при этом неизменным, то

$$\Delta U_{вх} = \Delta U_{Rб} = \Delta I_{CT} R_б, \quad (1.2)$$

т.е. при изменении входного напряжения на значение  $\Delta U_{вх}$  ток стабилитрона изменяется на значение  $\Delta U_{вх}/R_б$ .

Параметрические стабилизаторы обладают недостатками, такими как малое значение коэффициента стабилизации и отсутствием возможности регулировать выходное напряжение.

Параметрический стабилизатор, который мы рассмотрели ранее, прост по устройству, но позволяет питать устройства с потребляемым током, не превышающим максимального тока стабилизации стабилитрона. Поэтому применяют компенсационные стабилизаторы напряжения. В зависимости от способа включения регулирующего элемента относительно нагрузки компенсационные стабилизаторы напряжения делятся на последовательные и параллельные. В стабилизаторах первого типа регулирующий элемент включен последовательно нагрузке, в стабилизаторах второго типа – параллельно. Структурные схемы таких стабилизаторов показаны на рис. 1.7.

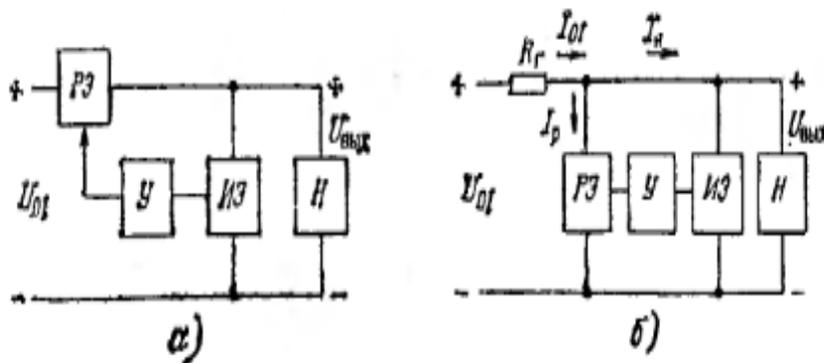


Рисунок 1.9 – Структурные схемы компенсационных стабилизаторов напряжения: а) с последовательным включением регулирующего элемента; б) с параллельным

На рис. 1.9 а представлена структурная схема компенсационного стабилизатора напряжения с последовательным включением регулирующего элемента. Опорное напряжение формируется источником опорного напряжения. Измерительный элемент ИЭ сравнивает выходное напряжение  $U_n$  с опорным напряжением  $U_{оп}$ . Разностный сигнал рассогласования, формируемый ИЭ, поступает на вход усилителя постоянного тока У, усиливается и воздействует на регулирующий элемент РЭ. Схема такого стабилизатора представлена на рис. 1.10.

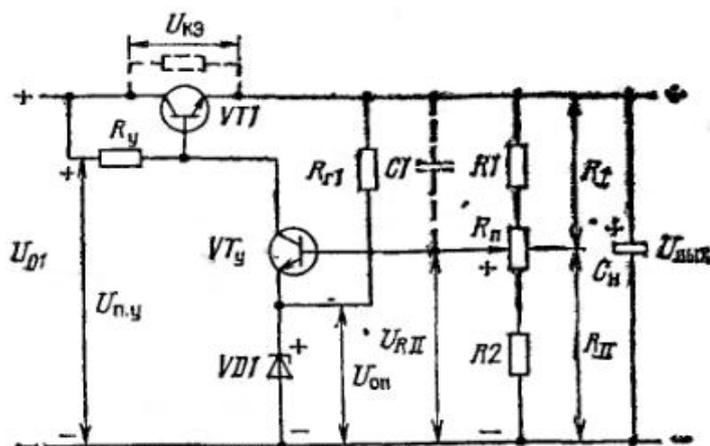


Рисунок 1.10 – Схема стабилизатора напряжения с последовательным включением регулирующего элемента

Широкое применение компенсационных стабилизаторов объясняется их высокими качественными показателями и хорошей электромагнитной совместимостью с радиоэлектронной аппаратурой. Их основным недостатком является относительно низкий КПД.

В настоящее время получили распространение схемы стабилизаторов напряжения на основе операционных усилителей. На рис 1.11 изображена простейшая схема такого стабилизатора.

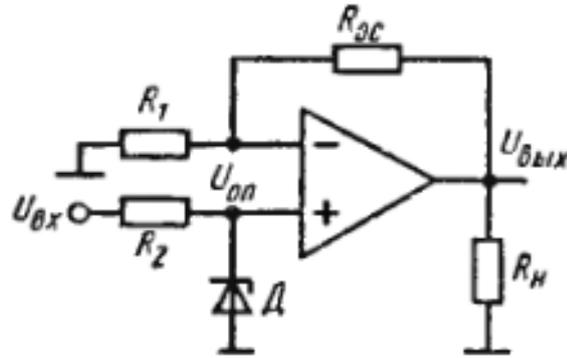


Рисунок 1.11 – Схема стабилизатора напряжения на ОУ

Напряжение на выходе схемы

$$U_{\text{вых}} = K_{\text{ОУос}} U_{\text{оп}} = (R_{\text{ос}}/R_1 + 1) U_{\text{оп}} \quad (1.3)$$

остаётся постоянным при изменении сопротивления нагрузки  $R_{\text{н}}$ . Опорного напряжения  $U_{\text{оп}}$  создает параметрический стабилизатор напряжения, состоящий из резистора  $R_2$  и стабилитрона Д.

Изменяя сопротивления в цепи обратной связи  $R_{\text{ос}}$ , можно регулировать выходное сопротивление схемы.

### 1.3 Задачи работы

Одним из главных недостатков лабораторной работы является стенд, а именно разъемы монтажного поля, в которые вставляются электронные компоненты. Из-за длительного эксплуатирования стенда разъемы не могут держать компоненты, поэтому приходится их придерживать руками. Поэтому проблематично проводить измерения. Также недостатком лабораторной работы является методика измерений, она слишком сложна. Приходится делать много измерений и расчетов. В связи с этим возникают главные задачи работы:

- изменение конструкции стенда,
- выбор и расчет схемы стабилизатора,
- разработка методики измерения параметров стабилизатора,
- модернизация схемы для удобства измерения параметров,
- разработка методических указания к выполнению лабораторной работы.

## 2. Основная часть

### 2.1 Расчет компенсационного стабилизатора напряжения

Схема компенсационного стабилизатора с плавной регулировкой напряжения нарисована на планшете рис. 1.5. На вход схемы подается синусоидальное напряжение с амплитудой  $U_{вх\ max} = 15\ В$ . На выходе стабилизатор должен выдавать напряжение в пределах от 4 В до 8 В, максимальный ток нагрузки  $I_{нmax}$  стабилизатора 20мА.

Максимальное напряжение коллектор – эмиттер регулирующего транзистора V5  $U_{кэmax1}$  равняется сумме входного максимального напряжения  $U_{вхmax}$  и отклонению  $\Delta U_{вх}$  его минус минимальное напряжение нагрузки  $U_{нmin}$ .

$$U_{кэmax1} = U_{вхmax} + \Delta U_{вх} - U_{нmin} \quad (2.1)$$

$$U_{кэmax1} = 15 + 2,25\ В - 4\ В = 13,25\ В.$$

Максимальная мощность транзистора V5  $P_{к1max}$  равняется произведению максимального тока нагрузки  $I_{нmax}$  на максимальное напряжение коллектор – эмиттер  $U_{кэmax1}$ .

$$P_{к1max} = U_{кэmax1} * I_{нmax} \quad (2.2)$$

$$P_{к1max} = 13,25\ В * 0,02\ А = 0,27\ Вт.$$

По данным расчета  $U_{кэmax1}$  и  $P_{к1max}$  выбираем транзистор, для которого максимальное напряжение коллектор – эмиттер  $U_{кэ1max}$  меньше напряжения коллектор –эмиттер допустимого  $U_{кэдоп}$ , указанного в справочниках, максимальный ток эмиттера  $I_{кэ1}$  меньше тока допустимого  $I_{кэдоп}$ , максимальная рассеиваемая мощность  $P_{к1max}$  меньше мощности допустимой  $P_{маждоп}$ . Этим условиям удовлетворяет транзистор 2N4125, для которого допустимое напряжение коллектор – эмиттер равняется  $U_{кэдоп} 30\ В$ , ток коллектор допустимый  $I_{кэдоп} - 0,2\ А$ , максимальная рассеиваемая мощность  $P_{маждоп} - 0,31\ Вт$ , коэффициент усиления тока  $h_{21} - 50$ .

Для создания опорного напряжения  $U_{оп}$  выберем стабилитрон 1N4728А, для которого напряжение стабилизации  $U_{ст}$  равно 3,3В, а ток стабилизации  $I_{стном} - 10\ мА$ .

Определим максимальное напряжение коллектор- эмиттер усилительного транзистора V6  $U_{кэ2max}$ . Оно равняется максимальное напряжение нагрузки  $U_{нmax}$  минус опорное напряжение  $U_{оп}$ .  $U_{кэ2max} = U_{нmax} - U_{оп} = 8 \text{ В} - 3,3 \text{ В} = 4,7 \text{ В}$ . Исходя из условия, что максимальное напряжение коллектор-эмиттер  $U_{кэ2max}$  меньше допустимого напряжения для транзистора  $U_{кэдоп}$ , выбираем в качестве усилительного транзистора 2N6727 с достаточно высоким коэффициентом  $h_{21}$  равным 50 -250.

Полагая, что ток коллектора транзистора V6  $I_{к2}$  равен току эмиттера этого же транзистора  $I_{э2}$ , и равны оба 5 мА, найдем сопротивление резистора  $R_1$ . Оно равняется разности напряжения среднего значения нагрузки  $U_{н.ср}$  и опорного напряжения  $U_{оп}$ , деленной на разность тока стабилизации стабилитрона V7  $I_{ст}$  и тока эмиттера транзистора V6  $I_{э2}$ .

$$R_1 = (U_{н.ср} - U_{оп}) / (I_{ст} - I_{э2}) \quad (2.3)$$

$$R_1 = (6 \text{ В} - 3,3 \text{ В}) / (0,01 \text{ А} - 0,005 \text{ А}) = 580 \text{ Ом}.$$

Ток  $I_{э2}$ , протекающий через резистор  $R_2$ , равен сумме тока коллектора  $I_{к2}$  транзистора V6 и тока базы транзистора V5  $I_{б1}$ . Максимальный ток базы транзистора V5  $I_{б1max}$  равен максимальному току нагрузки  $I_{нmax}$ , деленному на сумму коэффициента усиления тока  $h_{21}$  транзистора V5 и единицы.  $I_{б1max} = I_{нmax} / (h_{21} + 1) = 0,02 \text{ А} / (50 + 1) = 0,4 \text{ мА}$ . Сопротивление резистора  $R_2$  равно делению разности входного напряжения и максимального напряжения нагрузки на сумму максимального тока базы  $I_{б1max}$  транзистора V5 и тока коллектора  $I_{к2}$  транзистора V6.

$$R_2 = (U_{вхmax} - U_{нmax}) / (I_{б1max} + I_{к2}) \quad (2.4)$$

$$R_2 = (15 \text{ В} - 8 \text{ В}) / (0,005 \text{ А} + 0,0004 \text{ А}) = 1291 \text{ Ом}.$$

Теперь определим сопротивление резисторов делителя  $R_3$ ,  $R_4$ ,  $R_5$ . Условимся считать, если движок потенциометра  $R_4$  стоит в крайнем верхнем положении, то выходное напряжение стабилизатора имеет минимальное значение. Если в крайнем нижнем положении, то максимальное значение. Тогда можно записать уравнения

$$|U_{нmin} - U_{оп}| = I_{дел} * R_3, \quad (2.5)$$

$$|U_{оп}| = I_{дел} * R_5, \quad (2.6)$$

$$|U_{нmax} - U_{оп}| = I_{дел} * (R_3 + R_4). \quad (2.7)$$

Полагая, что  $I_{дел} = 20 * I_{б2} = 20 * I_{к2} / h_{21} = 20 * 0,005 \text{ А} / 50 = 2 \text{ мА}$ ,

Получим  $R_3 = |U_{нmin} - U_{оп}| / I_{дел} = 450 \text{ Ом}$ ,

$$R_4 = |U_{нmax} - U_{оп}| / I_{дел} - R_3 = 2 \text{ кОм},$$

$$R_5 = |U_{оп}| / I_{дел} = 2,5 \text{ кОм}.$$

Значения рассчитанных сопротивлений резисторов заменены на ближайшие значения сопротивлений ряда номиналов резисторов E 24 (табл. 2.1).

Таблица 2.1- Значения сопротивлений ряда номиналов резисторов E24

Резистор	Сопротивление, Ом	Сопротивление E24, Ом
R <sub>1</sub>	580	560
R <sub>2</sub>	1291	1300
R <sub>3</sub>	450	430
R <sub>4</sub>	2000	2000
R <sub>5</sub>	2500	2400

Схема компенсационного стабилизатора напряжения собрана в программе Multisim National Instruments (рис. 2.1).

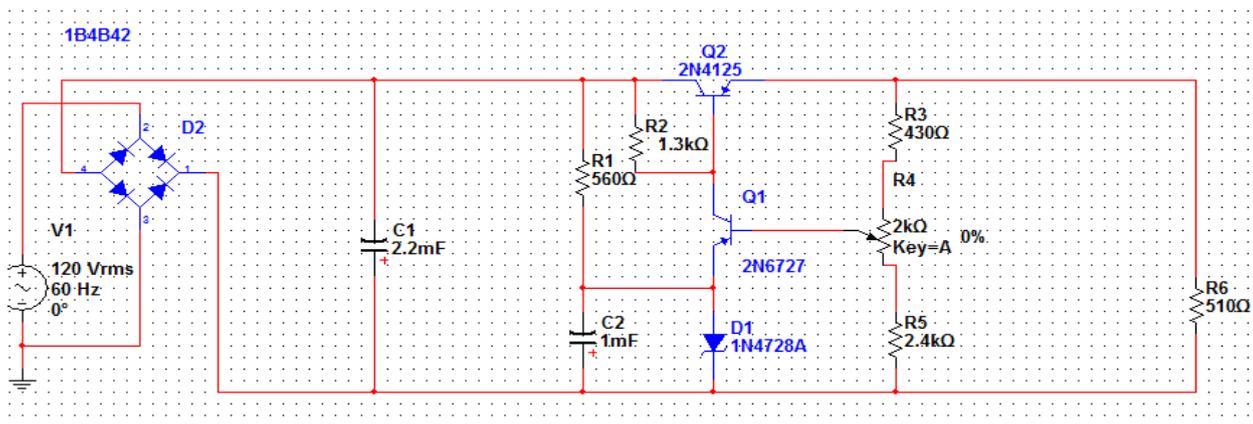


Рисунок 2.1 – Схема компенсационного стабилизатора напряжения в программе Multisim

Было проведено моделирование. Результаты моделирования представлены на рисунках 2.2,2.3. На рисунке 2.2 изображено минимальное выходное напряжение  $U_{\text{выхmin}}$ , движок потенциометра стоит в крайнем верхнем положении. На рисунке 2.3 изображено максимальное выходное напряжение  $U_{\text{выхmax}}$ , движок потенциометра стоит в крайнем нижнем положении.

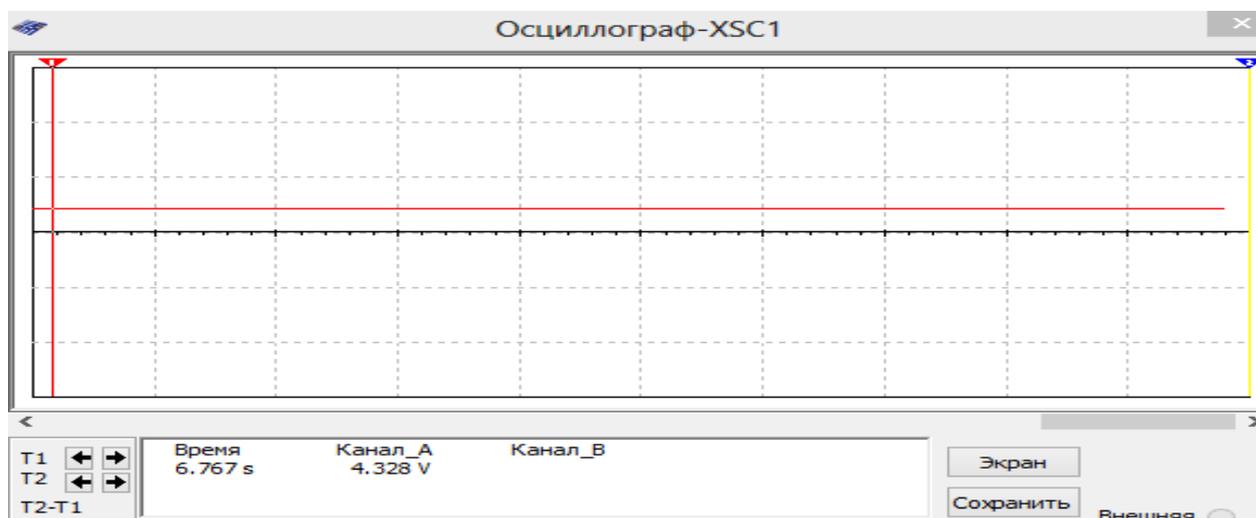


Рисунок 2.2 – Минимальное выходное напряжение стабилизатора

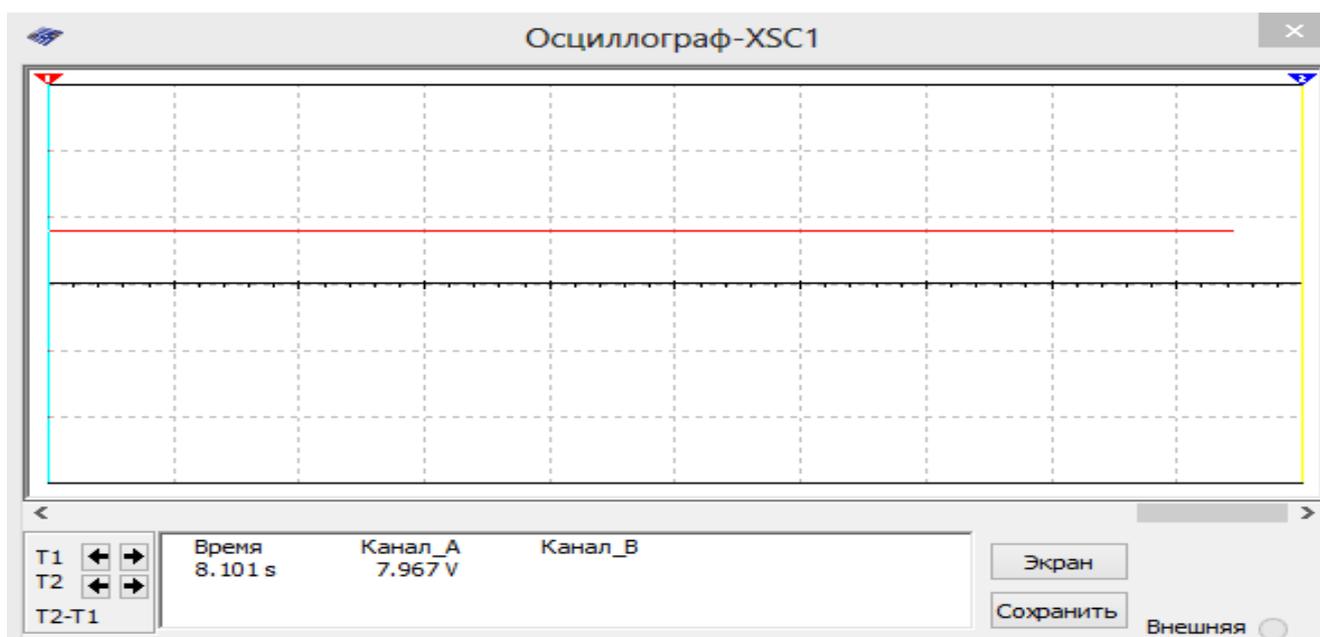


Рисунок 2.3– Максимальное выходное напряжение стабилизатора

Минимальное выходное напряжение компенсационного стабилизатора  $U_{\text{выхmin}} = 4,328 \text{ В}$ , а максимальное выходное напряжение  $U_{\text{выхmax}} = 7,967 \text{ В}$ .

## 2.2 Модернизация схемы компенсационного стабилизатора напряжения

Для измерения важных параметров стабилизатора напряжения, таких как коэффициент стабилизации, выходное сопротивление, нужно модернизировать схему стабилизатора. Коэффициент стабилизации стабилизатора напряжения рассчитывается по формуле:

$$K_{\text{ст}} = \Delta U_{\text{вх}} U_{\text{н}} / (U_{\text{вх}} \Delta U_{\text{н}}). \quad (2.8)$$

Для расчета этого параметра на стабилизатор нужно подавать два напряжения и смотреть, как меняется напряжение на выходе схемы. Входное напряжение должно быть больше, чем напряжение нагрузки, иначе не будет происходить стабилизация напряжения. Осуществить подачу двух периодически меняющихся напряжения на вход схемы можно при помощи делителя напряжения и ключа на транзисторе. Модернизированная схема стабилизатора представлена на рис. 2.4.

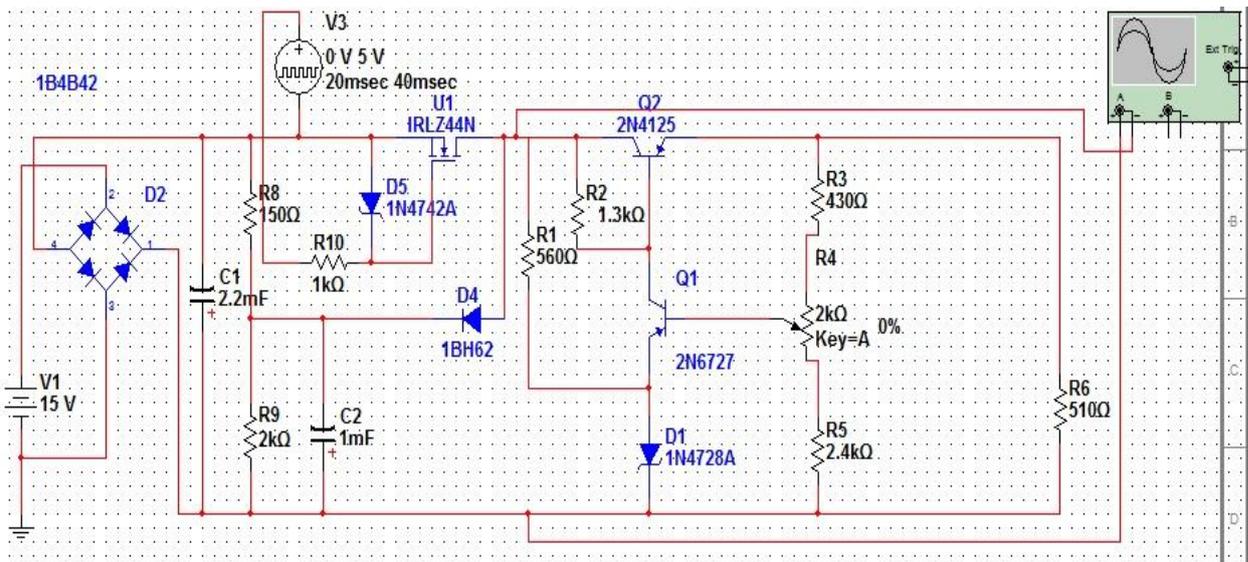


Рисунок 2.4— Модернизированная схема стабилизатора напряжения для расчета коэффициента стабилизации

Делитель напряжения представляет собой два последовательно подключенных резистора параллельных источнику напряжения номиналом 150 Ом и 2 кОм. Ключ выполнен на полевом транзисторе IRLZ44N. Стабилитрон 1N4742A нужен для того, чтобы напряжение на затворе транзистора не превышало 12 В. Если подать на вход транзистора напряжение 5 В, то он откроется, и на вход схемы будет подаваться напряжение, соответствующее напряжению источника питания. Если же на вход транзистора не подавать напряжение, то он будет оставаться закрытым, и на вход схемы будет подаваться напряжение с нижнего плеча делителя напряжения.

На рис. 2.5 изображено входное напряжение стабилизатора. Если транзистор открыт, то на вход стабилизатора подается 13,509 В, если закрыт, то – 9,644 В. Отсюда мы можем найти разницу напряжений  $\Delta U_{\text{вх}} = 13,509 \text{ В} - 9,644 \text{ В} = 3,965 \text{ В}$ . Входное напряжение в формуле коэффициента стабилизации  $U_{\text{вх}}$  равняется не 15 В, как у источника питания, а 13,509 В из-за падений напряжений на диодном мосте 1B4B42.

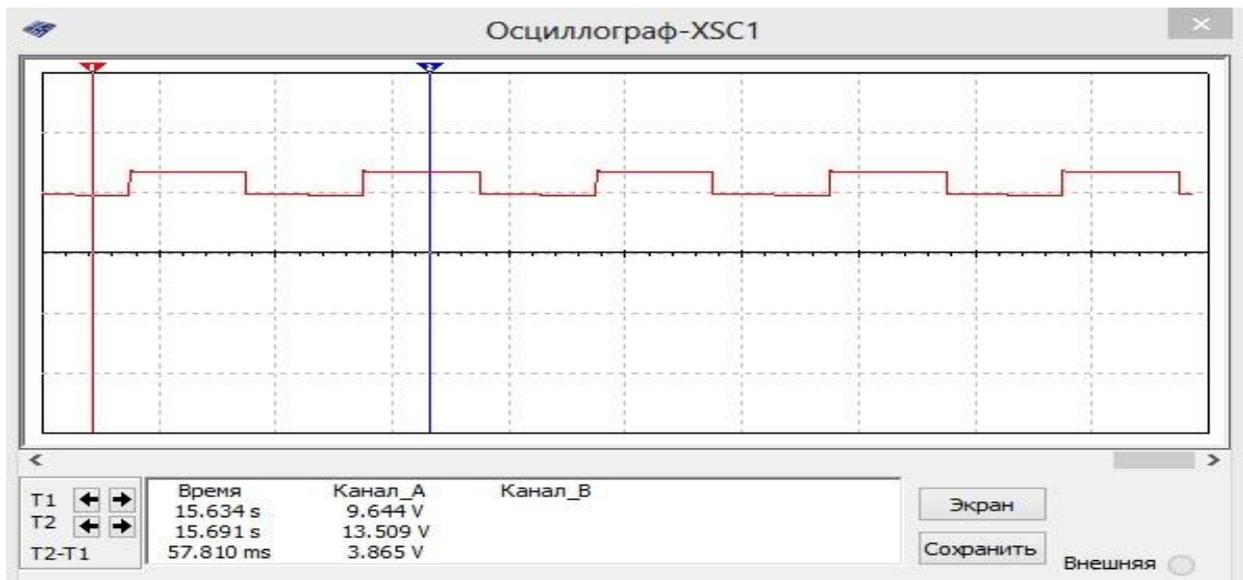


Рисунок 2.5 – Напряжение, подаваемое на вход стабилизатора напряжения

Выходное сопротивление стабилизатора напряжения рассчитывается как разность напряжений  $U_1$  без нагрузки и  $U_2$  с нагрузкой, деленной на силу тока нагрузки  $I_n$ .

$$R_{\text{вых}} = (U_1 - U_2) / I_n. \quad (2.9)$$

Для расчета этого параметра стабилизатора также нужно модернизировать схему, представленную на рис. 2.1. Чтобы померить разность напряжений  $U_1$  и  $U_2$ , на выходе схемы стабилизатора напряжения нужно поставить ключ на транзисторе (рис. 2.6).



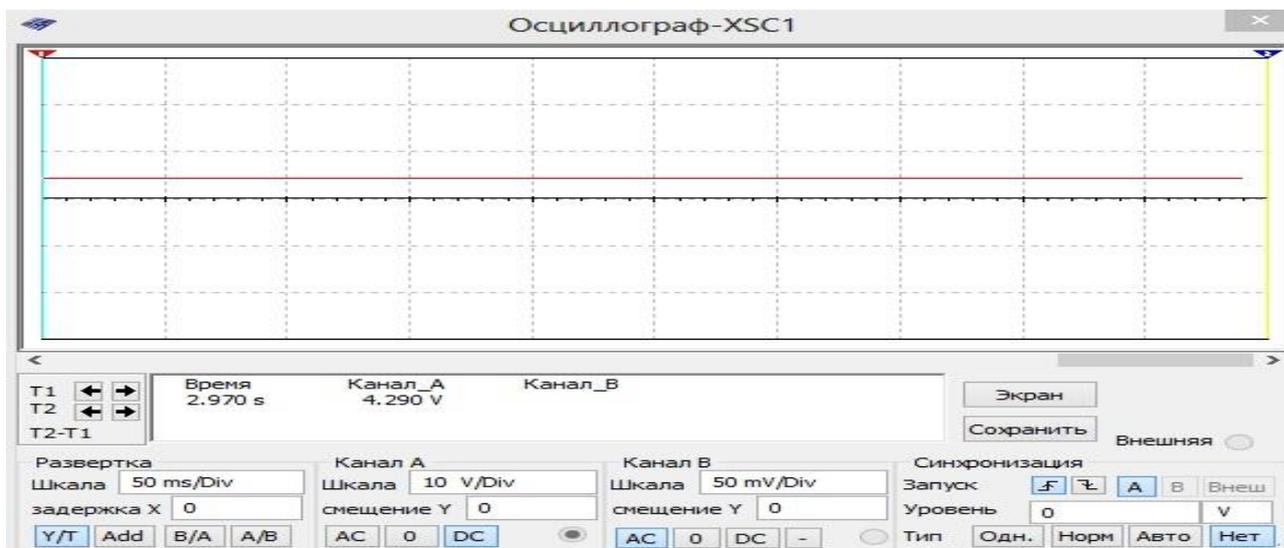


Рисунок 2.7- Выходное напряжение, измеренное в режиме работы DC осциллографа



Рисунок 2.8 – Выходное напряжение стабилизатора, измеренное в режиме работы AC осциллографа

### 2.3 Конструкция лабораторного стенда

Конструкция стенда основана на конструкции универсального лабораторного стенда, описанного в главе 1.1. Однако в связи с изменениями в методиках измерения ключевых параметров стабилизатора напряжения конструкция меняет вид. Вместо монтажного поля используется монтажная плата, на которой спаян стабилизатор напряжения.

Лабораторный стенд состоит из следующих основных элементов:

- блок источника питания,
- осциллограф,
- универсальный функциональный генератор,
- персональный компьютер,
- монтажная плата, на которой смонтирована электрическая схема компенсационного стабилизатора напряжения (рис 2.9).

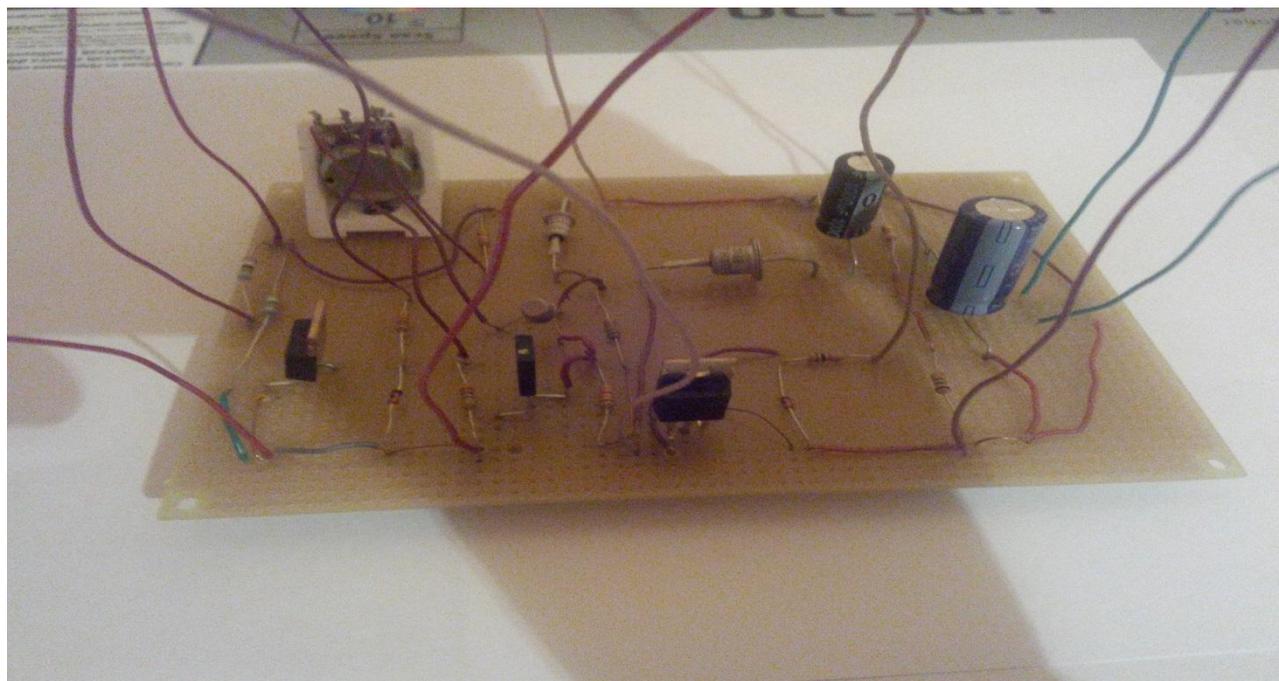


Рисунок 2.9 – Монтажная плата с компенсационным стабилизатором напряжения

Стабилизатор напряжения спаян на монтажной плате по электрической схеме на рис. 2.6. Однако некоторые электронные компоненты заменены на другие со схожими техническими параметрами из-за того, что найти их проблематично в магазинах. Диодный мост 1B4B42 заменен на DB104S. Технические характеристики этих диодных мостов представлены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Технические характеристики диодных мостов 1B4B42, DB104S

Технические параметры	1B4B42	DB104S
Максимальное	100	400

обратное напряжение, В		
Максимальный прямой ток, А	1	1
Максимальный допустимый импульсный ток, А	30	50
Максимальное прямое напряжение, В	-	1
Максимальное импульсное обратное напряжение, В	30	50
Рабочая температура, °С	-40...150	-55...100

Диод 1ВН62 в электрической схеме стабилизатора заменен на диод Д226Д. Технические характеристики этих диодов представлены ниже в табл. 2.3.

Таблица 2.3 - Технические характеристики диодов 1ВН62, Д226Д

Технические параметры	1ВН62	Д226Д
Обратное максимальное напряжение, В	100	100
Прямой максимальный ток, мА	10	3001ВН62
Прямое напряжение, В	1,2	1
Максимальная температура, °С	50	80

Транзистор 2N4125 заменен на транзистор КТ501Д. Технические характеристики приведены в таб. 2.4.

Таблица 2.4 - Технические характеристики транзисторов 2N4125, КТ501Д

Технические параметры	2N4125	КТ501Д
Макс. доп. напряжение коллектор – база, В	30	30
Макс. напряжение коллектор – эмиттер, В	30	30
Макс. доп. мощность коллектора, Вт	0,31	0,35
$h_{21}$	50	40-120

Транзистор 2N6727 заменен на транзистор КТ8130А. Технические характеристики приведены в таб. 2.5.

Таблица 2.5 – Технические характеристики транзисторов 2N6727, КТ8130А

Технические параметры	2N6727	КТ8130А
Макс. доп. напряжение коллектор – база, В	50	40
Макс. доп. напряжение коллектор – эмиттер, В	40	40
Макс. доп. постоянный ток коллектора, А	2	4
Макс. доп.	2	20

рассеиваемая мощность коллектора, Вт		
Статистический коэффициент передачи тока в схеме с общим коллектором	50	50-1500

Стабилитрон 1N4728A заменен на стабилитрон КС133А. Технические характеристики этих стабилитронов приведены в табл. 2.6.

Таблица 2.6- Технические характеристики стабилитронов 1N4728А, КС133А

Технические параметры	1N4728A	КС133А
Напряжение стабилизации, В	3,3	3,3
Ток стабилизации, мА	-	10
Постоянное прямое напряжение, В	-	1
Дифференциальное сопротивление, Ом	10	65
Мин. доп. ток стабилизации, мА	1	3
Макс. доп. ток стабилизации, мА	76	81
Рабочий диапазон температуры, °С	-	-60...125

Стабилитрон 1N4742А заменен на стабилитрон МТЗ12. Технические характеристики этих стабилитронов приведены в табл. 2.7.

Таблица 2.7 - Технические характеристики стабилитронов 1N4742А, МТЗ1

Технические	1N4742А	МТЗ12
-------------	---------	-------

параметры		
Напряжение стабилизации, В	12	12
Дифференциальное сопротивление, Ом	9	10
Макс. Доп. Ток стабилизации, мА	76	76

## 2.4 Методика измерения параметров

Как было описано в главе 2.2 Модернизация схемы компенсационного стабилизатора напряжения коэффициент стабилизации рассчитывается по формуле

$$K_{CT} = \Delta U_{BX} U_H / (U_{BX} \Delta U_H). \quad (2.10)$$

Также мы нашли  $\Delta U_{BX}$  и знаем  $U_{BX}$  ( $\Delta U_{BX} = 3,965$  В;  $U_{BX} = 13,509$  В). Теперь нам остается найти напряжение нагрузки  $U_H$  и  $\Delta U_H$ .

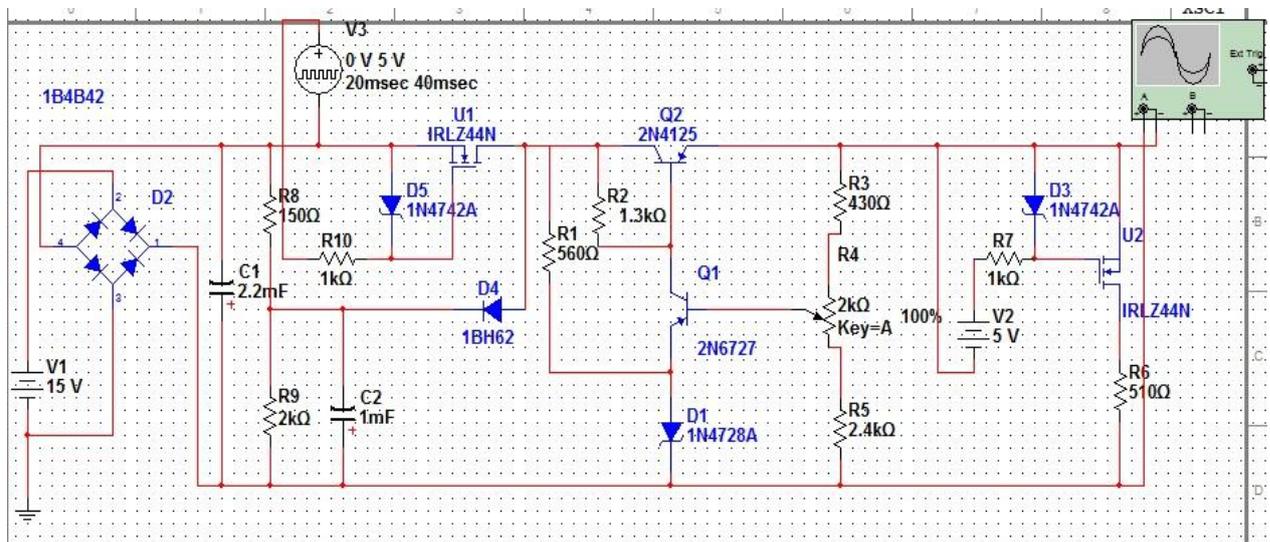


Рисунок 2.10 – Схема компенсационного стабилизатора напряжения

Для того, чтобы измерить напряжения нагрузки откроем ключ на выходе стабилизатора. Подадим постоянное напряжение на затвор полевого транзистора 5 В ( рис. 2.10). Теперь можно снять осциллограмму с выхода стабилизатора. Отметим также, что измерения проводим для минимального

выходного напряжения. Движок потенциометра стоит в крайнем верхнем положении.



Рисунок 2.11 – Выходное напряжение стабилизатора в режиме DC

Из рисунка 2.11 мы видим, что  $U_n$  равняется 4,289 В. Измерение проводилось в режиме DC измерений. Чтобы заметить, как меняется напряжение на выходе стабилизатора, нужно переключить осциллограф в режим работы AC и уменьшить развертку по напряжению.

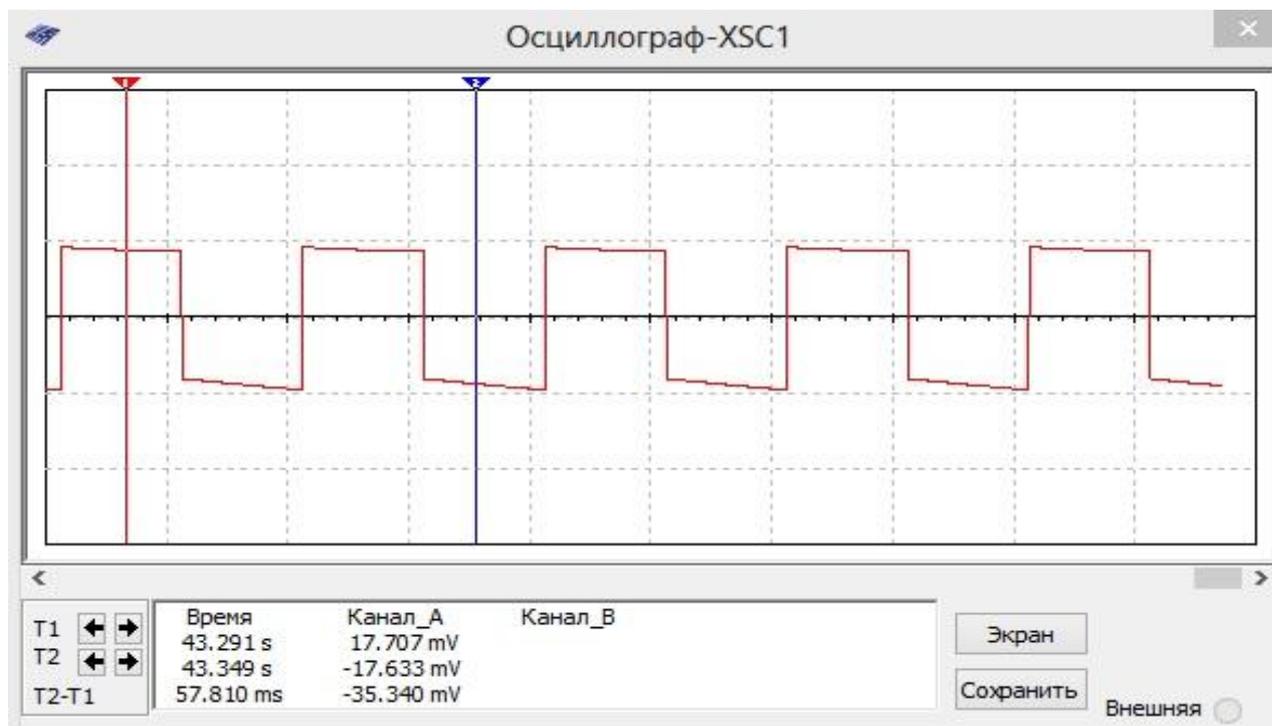


Рисунок 2.12 – выходное напряжение, измеренное в режиме AC осциллографа

Размах прямоугольного импульса есть искомая величина  $\Delta U_H$  ( рис.2.12). Она составляет 35,4 мВ. Теперь у нас есть все данные для расчета коэффициента стабилизации.

$$K_{ст} = (3,965 \text{ В} * 4,289 \text{ В}) / (13,509 \text{ В} * 35,4 \text{ мВ}) = 36.$$

Коэффициент стабилизации рассчитывается по формуле  $R_{вых} = (U_1 - U_2) / I_H$ , где  $U_1$  – напряжение без нагрузки,  $U_2$  – с нагрузкой. Ток нагрузки мы можем найти, поделив выходное напряжение на сопротивление нагрузки. На рис. 2.11 мы нашли выходное напряжение, отсюда мы можем найти ток нагрузки.  $I_H = 4,289 \text{ В} / 510 \text{ Ом} = 8,4 \text{ мА}$ . Разница напряжений  $U_1 - U_2$  есть размах импульса ( рис. 2.8). Она равняется 1,32 мВ. Отсюда выходное сопротивление

$$R_{вых} = 1,32 \text{ мВ} / 8,4 \text{ мА} = 0,16 \text{ Ом}.$$

Отметим, что оба измерения проведены, когда стабилизатор выдавал минимальное выходное напряжение.

## 2.5 Экспериментальные исследования

В главе 2.4 мы ознакомились с методикой измерения выходного сопротивления и коэффициента стабилизации стабилизатора. В ходе эксперимента нам нужно снять осциллограммы. Для этого на ПК установлена специальная программа PC Lab 2000. Также нам нужно измерить выходные сопротивления и коэффициенты стабилизации, когда стабилизатор выдает на выходе максимальное, среднее и минимальное напряжения.

Для расчета выходного сопротивления подадим на вход схемы постоянное напряжение 15 В от блока источника питания ( рис 1.5). На второй ключ на полевом транзисторе подадим импульсное напряжение частотой 10 Гц и амплитудой 5 от универсального функционального генератора ( рис. 1.7) как на рис 2.6. На выход стабилизатора подключим канал 2 осциллографа, канал 1 осциллографа подключим между транзистором и сопротивление нагрузки ( рис1.6), и будем наблюдать осциллограмму в программе PC Lab 2000 ( рис.2.13).

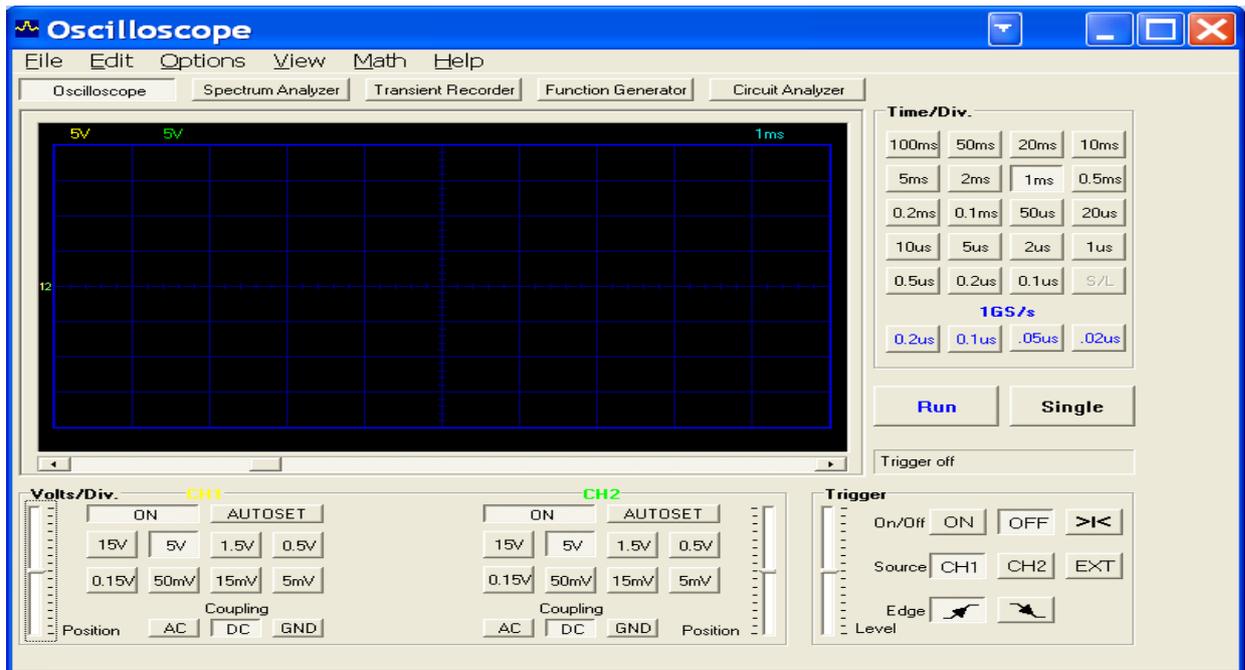


Рисунок 2.13 – Главное окно программы PC-Lab2000, режим осциллографа

Получим осциллограмму, когда стабилизатор выдает минимальное напряжение на выходе (рис. 2.14).

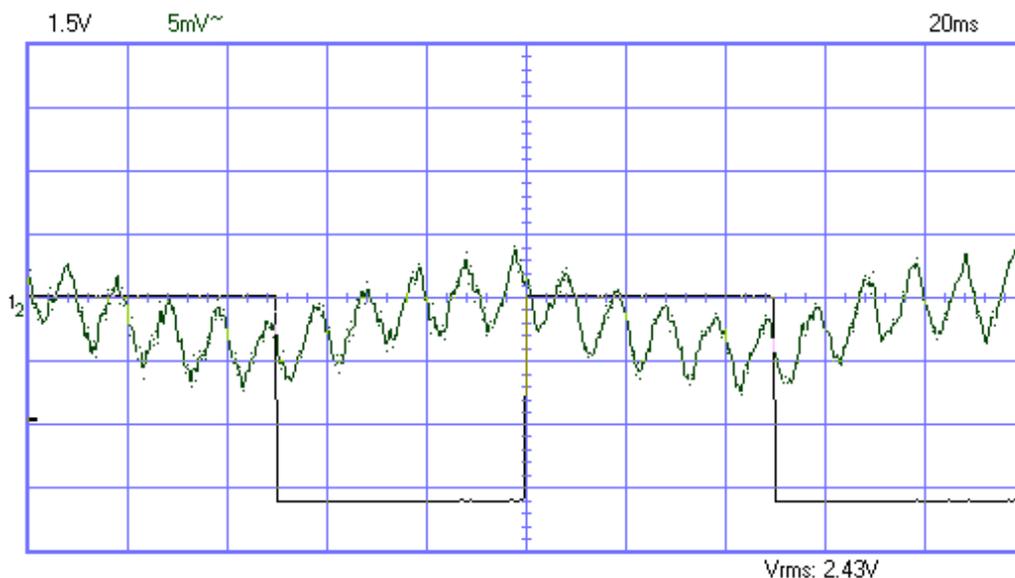


Рисунок 2.14 – Осциллограмма минимального выходного напряжения стабилизатора для расчета выходного сопротивления

Первый канал осциллографа в режиме DC показывает, где изображена ступенька, работу ключа. Когда напряжение равно 0, тогда ключ закрыт и не пропускает ток. Когда он открыт, то на осциллограмме мы наблюдаем

минимальное напряжение нагрузки. Оно равно 4,8 В. На втором графике в режиме АС осциллографа мы должны наблюдать также импульсы, и размах этих импульсов есть разница напряжений  $U_1 - U_2$  (рис 2.8). В данном случае мы получаем синусоиду с пульсациями. Если мы проведем среднюю линию между пульсациями и померим размах синусоиды, то получим искомую разницу напряжений.

$$I_H = 4,8 \text{ В} / 510 \text{ Ом} = 9,4 \text{ мА},$$

$$U_1 - U_2 = 5 \text{ мВ},$$

$$R_{\text{ВЫХ}} = 5 \text{ мВ} / 9,4 \text{ мА} = 0,5 \text{ Ом}.$$

Проделаем такие же измерения для среднего и минимального напряжений нагрузки.

Среднее напряжение нагрузки равно 6 В (рис.2.15). Разница напряжений  $U_1 - U_2$  равно 10 мВ.

$$I_H = 6 \text{ В} / 510 \text{ Ом} = 11,8 \text{ мА},$$

$$R_{\text{ВЫХ}} = 10 \text{ мВ} / 11,8 \text{ мА} = 0,8 \text{ Ом}$$

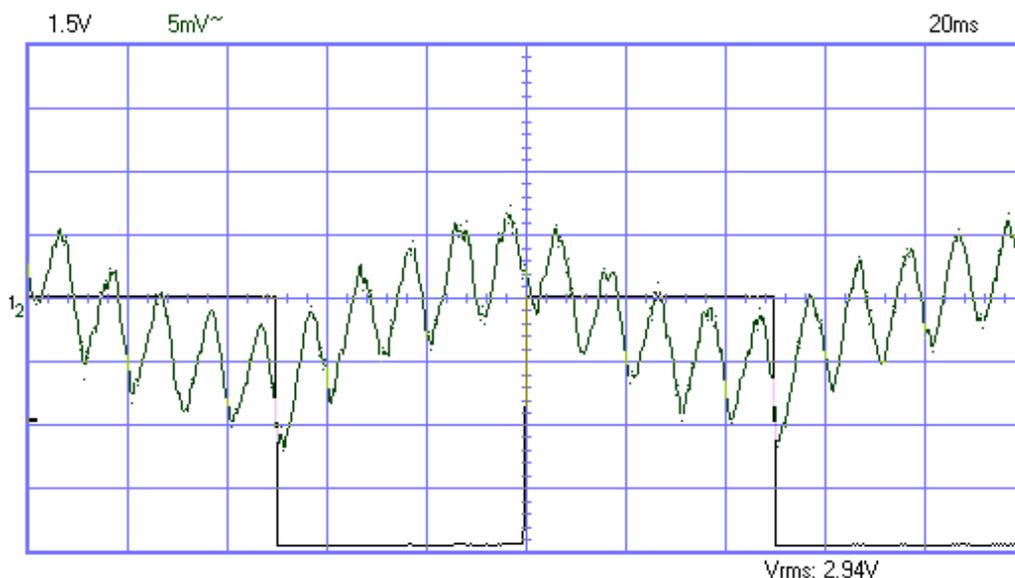


Рисунок 2.15- Осциллограмма среднего выходного напряжения стабилизатора для расчета выходного сопротивления

Максимальное напряжение нагрузки - 8,5 В (рис.2.16). Разница напряжений – 30мВ.

$$I_H = 8,5 \text{ В} / 510 \text{ Ом} = 16,7 \text{ мА},$$

$$R_{\text{вых}} = 30\text{мВ} / 16,7 \text{ мА} = 1,8 \text{ Ом}.$$

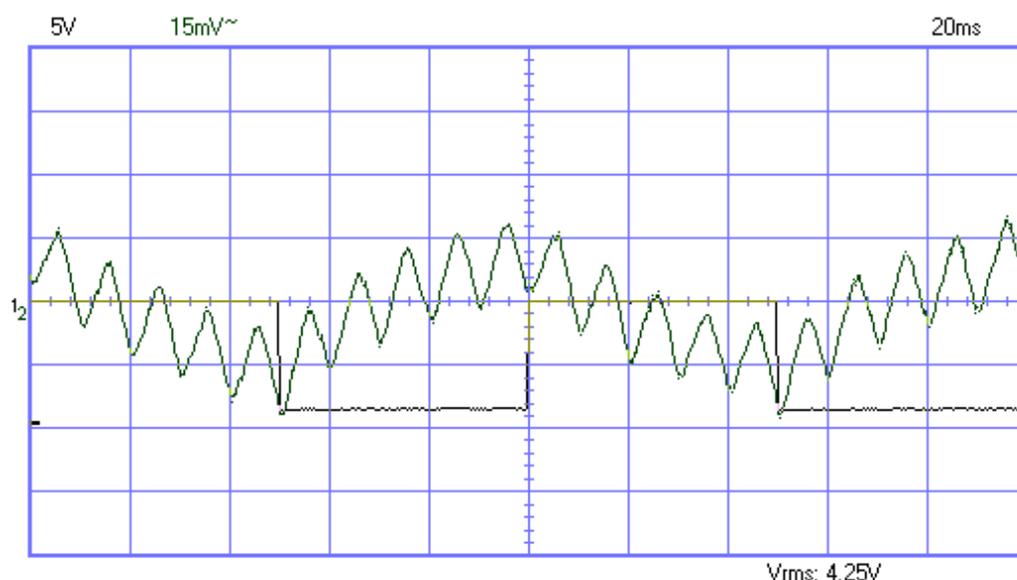


Рисунок 2.16 – Осциллограмма максимального выходного напряжения стабилизатора для расчета выходного сопротивления

Для расчет коэффициента стабилизации подадим на вход схемы постоянное напряжение 15 В от блока источника питания ( рис 1.5). На первый ключ на полевом транзисторе подадим импульсное напряжение частотой 10 Гц и амплитудой 5 от универсального функционального генератора как на рис 2.4. На выход стабилизатора подключим канал 2 осциллографа, а канал 1 осциллографа подключим после первого ключа на полевом транзисторе.

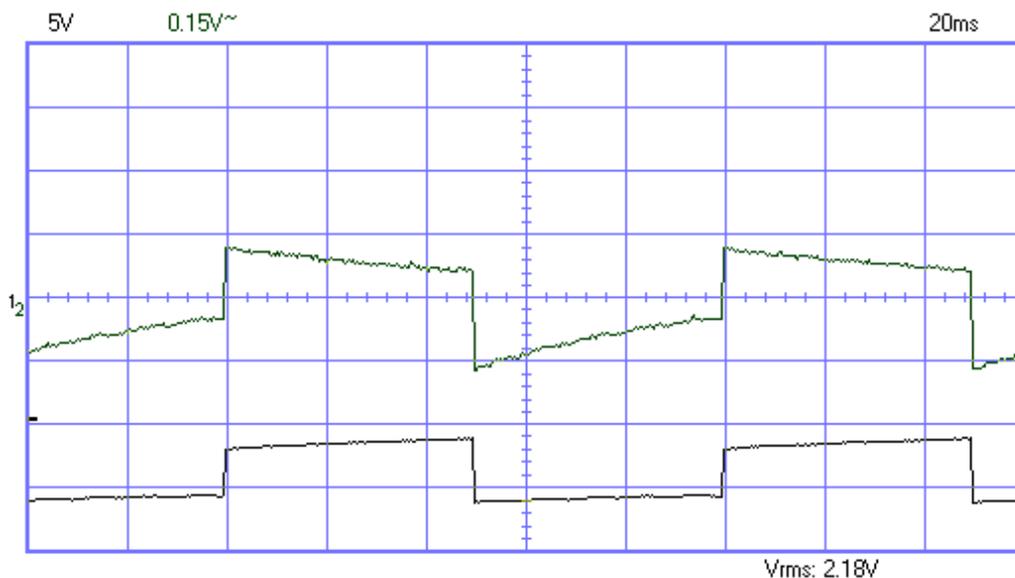


Рисунок 2.17 – Осциллограмма изменения минимального выходного напряжения стабилизатора для расчета коэффициента стабилизации

На рисунке 2.17 мы видим, как изменяется выходное напряжение при изменении входного напряжения. В режиме измерения DC канал 1 осциллографа мы наблюдаем изменение входного напряжения. При это измерения проводим при минимальном напряжении нагрузки ( $U_H = 4,8 \text{ В}$ ). Канал 2 осциллографа в режиме AC показывает изменение выходного напряжения. Входное напряжение равно 16 В.

$$\Delta U_{\text{вх}} = 5 \text{ В},$$

$$\Delta U_H = 0,21 \text{ В},$$

$$K_{\text{ст}} = 5 \text{ В} * 4,8 \text{ В} / (16 \text{ В} * 0,21 \text{ В}) = 6.$$

Проведем аналогичные вычисления при среднем и максимальном напряжении нагрузки.

Среднее напряжение нагрузки -6 В. Изменение напряжения на выходе  $\Delta U_H = 0,5 \text{ В}$  (рис.2.18).

$$\Delta U_{\text{вх}} = 5 \text{ В},$$

$$K_{\text{ст}} = 5 \text{ В} * 6 \text{ В} / (16 \text{ В} * 0,5 \text{ В}) = 4.$$

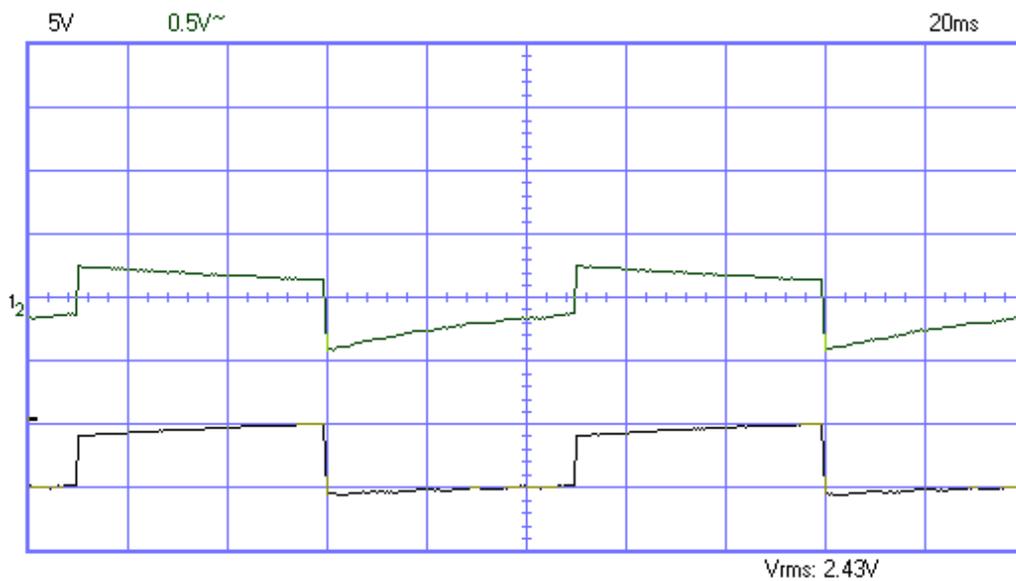


Рисунок 2.18 - Осциллограмма изменения среднего выходного напряжения стабилизатора для расчета коэффициента стабилизации

Максимальное напряжение нагрузки – 8,5 В. Изменение напряжения на выходе -1 В (рис. 2.19).

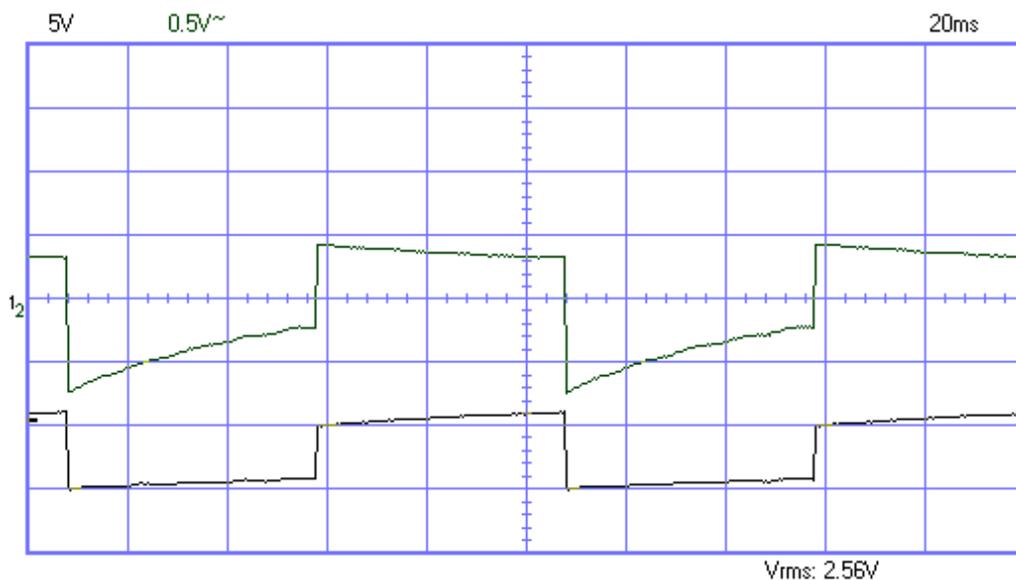


Рисунок 2.19- Осциллограмма изменения максимального выходного напряжения стабилизатора для расчета коэффициента стабилизации

$$\Delta U_{\text{BX}} = 5 \text{ В,}$$

$$K_{\text{CT}} = 5 \text{ В} * 8,5 \text{ В} / (16 \text{ В} * 1 \text{ В}) = 3.$$

Таким образом, у стабилизатора напряжения, чем больше напряжение нагрузки на выходе стабилизатора, тем больше его выходное сопротивление и меньше коэффициент стабилизации, и наоборот, чем меньше напряжение нагрузки, тем меньше выходное сопротивление и больше коэффициент стабилизации.

### 3. Экономическое обоснование схемы

На пайку компенсационного стабилизатора напряжения потребовались электронные компоненты и монтажная плата. Их стоимость приведена ниже в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Стоимость электронных компонентов

Наименование эл. компонента	Тип эл. компонента	Количество	Цена, р
	Монтажная плата	1	300
	Конденсатор2200мкф	1	40
	Конденсатор100мкФ	1	25
КТ501Д	транзистор	1	12
КТ8130А	транзистор	1	18
IRLZ44N	транзистор	2	122
КС133А	стабилитрон	1	3
МТЗ12	стабилитрон	2	4
Д226Д	диод	1	3
	потенциометр 2кОм	1	22
	Резистор 510Ом	1	2
	Резистор150Ом	1	2
	Резистор2кОм	1	2
	Резистор1кОм	2	4
	Резистор560ом	1	2
	Резистор1,3кОм	1	2
	Резистор430Ом	1	2
	Резистор2,4кОм	1	2
DB104S	Диодный мост	1	13
Итого			580

## Заключение

В ходе бакалаврской работы был изменен стенд « Аналогово стабилизатора напряжения». Монтажное поле было заменено на монтажную плату, на которой был спаян компенсационный стабилизатор напряжения. Был проведен расчет стабилизатора. Были проведены его исследования в программе Multisim National Instruments и рассчитаны его основные параметры, такие как выходное сопротивление и коэффициент стабилизации. Также были проведены экспериментальные исследования стабилизатора, получены осциллограммы выходного напряжения и рассчитаны выходное сопротивление и коэффициент стабилизации.

После трех измерений выходного напряжения стабилизатора и расчета коэффициента стабилизации и выходного сопротивления можно сделать вывод, что для компенсационного стабилизатора с плавной регулировкой выходного напряжения: чем больше напряжение нагрузки на выходе стабилизатора, тем больше его выходное сопротивление и меньше коэффициент стабилизации, и наоборот, чем меньше напряжение нагрузки, тем меньше выходное сопротивление и больше коэффициент стабилизации.

## Литература

1. Расчеты электронных схем. Примеры и задачи. Изъюрлова Г.И., Королев Г.В., Терехов В.А., Ожогин М.А., Серов В.Н.// Учебное пособие для вузов.-М.: Высшая школа, 1987-331 с.;
2. Расчет источников электропитания устройств связи. Китаев В.Е., Бокуняев А.А., Колканов М.Ф. // Учебное пособие для вузов.-М.: Радио и связь,1993 -227с.;
3. Методическое пособие к лабораторным работам. Шевцов А.А., Чепелев В.И. - Тольятти : ТГУ, 2015 - 75с.;
4. Методические рекомендации по проведению лабораторных работ по курсу « Источники питания». Шевцов А.А., Чепелев В.И. - Тольятти: ТГУ,2014 -19с.;
5. Промышленная электроника. Горбачев Г.Н., Чеплыгин Е.Е. –М: Энергоатомиздат,1988-319с.
- 6 Фолкенберри Л. Применение операционных усилителей и линейных ИС: Пер с англ. – М.: Мир, 1985. – 572 с. с ил.
- 7 Забродин Ю.С. Промышленная электроника: Учебник для вузов. – М.: Высш. Школа, 1982. – 496 с., ил.
- 8 Руденко В.С., Сенько В.И., Чиженко И.М. Основы преобразовательной техники: Учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. школа, 1980. – 424 с., ил.
- 9 Гусев В.Г., Гусев .М. Электроника: Учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. школа, 1991. – 622 с., ил.
- 10 Справочник по радиоэлектронным устройствам. В 2-х томах. Т. 2/ Варламов Р. Г., Додик С. Д., Иванов-Цыганов А. И. и др.; Под ред. Д. П. Линде. – М.: Энергия, 178. – 328с., ил.
- 11 Основы промышленной электроники. Исаков Ю.А., Платонов А.П. и др. Изд-во «Техніка», 1976г., стр.424-429.
- 12 Китаев В.Е. и др. расчет источников электропитания устройств связи. Учебное пособие для вузов. – М.: Радио и связь, 1993 г., стр. 68-74.

13 Полупроводниковые приборы. Транзисторы большой и средней мощности: Справочник– 2-е изд. стереотип./ А. А. Зайцев, А. И. Миркин., В. В. Мокряков и др. Под ред. А. В. Голомедова. – М.: - Радио и связь. КУБК-а, 1994. – 640с., ил.

14 Полупроводниковые приборы. Диоды выпрямительные, стабилитроны, тиристоры: Справочник – 2-е изд. стереотип. /А. Б. Гитцевич, А. А. Зайцев, В. В. Мокряков и др. Под ред. А. В. Голомедова. – М.: Радио и связь. КУБК-а, 1994. – 528с., ил.

15 Резисторы: Справочник/ В. В. Дубровский, Д. М. Иванов, Н. Я. Пратусевич и др.; Под ред. И. И. Четверткова и В. М. Терехова. – М.: радио и связь, 1987. – 352 с., ил.

16 Краткий справочник конструктора радиоэлектронной аппаратуры. Под ред. Р.Г.Варламова.-М.: Сов.радио, 1972.

17 Сидоров И. Н. И др. Малогабаритные трансформаторы и дроссели: Справочник/ И. Н. Сидоров, В. В. Мукрсеев, А. А. Христинин. – М.: Радио и связь, 1985. – 416 с., ил.

18 Полупроводниковые приборы. Транзисторы малой мощности: Справочник– 2-е изд. стереотип./ А. А. Зайцев, А. И. Миркин., В. В. Мокряков и др. Под ред. А. В. Голомедова. – М.: - Радио и связь. КУБК-а, 1994. – 384с., ил.

19 Дульнев Г.Н., Парфенов В.Г., Сигалов А.В.. Методы расчета теплового режима приборов. – М.: Радио и связь, 1990. – 312 с.

20 ГОСТ 2.105-95 МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ. Единая система конструкторской документации. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ТЕКСТОВЫМ ДОКУМЕНТАМ.

21 Усатенко С.Т. и др. Графическое изображение электрорадиосхем: Справочник / С.Т. Усатенко. Т.К. Каченюк, М.В. Терехова. – К.: Техніка, 1986. – 120 с., ил.